

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Programa de Pós-Graduação em**  
**Ciência e Tecnologia Agroindustrial**



Tese

**APLICAÇÃO DE TERRA DE DIATOMÁCEA E A INFESTAÇÃO COM *Rhizopertha dominica* NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS DE GRÃOS DE TRIGO ARMAZENADOS NO SISTEMA CONVENCIONAL**

**Janete Deliberali Freo**

Pelotas, 2010

**JANETE DELIBERALI FREO**

**APLICAÇÃO DE TERRA DE DIATOMÁCEA E A INFESTAÇÃO COM *Rhizopertha dominica* NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS DE GRÃOS DE TRIGO ARMAZENADOS NO SISTEMA CONVENCIONAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências.

Comitê de orientação:

Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias  
Prof. Dr. Álvaro Renato Guerra Dias  
Prof. Dr. Luiz Carlos Gutkoski

Pelotas, 2010

**Dados de catalogação na fonte:**  
( Marlene Cravo Castillo – CRB-10/744 )

F849a Freo, Janete Deliberali

Aplicação de terra de diatomácea e a infestação com *Rhizopertha dominica* nas propriedades físico-químicas e tecnológicas de grãos de trigo armazenados no sistema convencional / Janete Deliberali Freo; orientadores Moacir Cardoso Elias; Álvaro Renato Guerra Dias e Luiz Carlos Gutkoski. Pelotas, 2010.-106f.; il. - Tese ( Doutorado ) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2010.

1. Triticum aestivum 2.Armazenamento 3.Insetos  
4.Alveografia 5.Panificação 6.Silício I. Dias, Alvaro Renato Guerra (orientador) II. Elias, Moacir Cardoso (orientador)  
III.Gutkoski, Luiz Carlos (orientador) IV.Título.

CDD 633.11

Banca examinadora:

Prof. Dr. Paulo Romeu Gonçalves

Prof. Dr. Fabrizio da Fonseca Barbosa

Prof. Dr<sup>a</sup>. Luciana Bicca Dode

Prof. Dr. Marcelo Zaffalon Peter

Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias (Orientador)

.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, me ajudaram para a realização deste trabalho, proporcionando-me conhecimento e crescimento profissional e pessoal.

De modo especial agradeço ao orientador professor Dr. Moacir Cardoso Elias pela orientação e incentivo na realização deste trabalho.

Ao Dr. Professor Luiz Carlos Gutkoski, da Universidade de Passo Fundo, pela co-orientação, oportunidade, orientação e apoio para a realização da pesquisa.

Ao Centro de Pesquisa em Alimentação (CEPA) da Universidade de Passo Fundo em especial aos funcionários dos laboratórios de Cereais e de Físico-Química.

À professora Dra. Neiva Deliberali Rosso, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, PR, pela orientação e ajuda na realização de parte da pesquisa.

Às colegas de pesquisa, Lidiane e Vera, pela ajuda e amizade durante o curso.

Aos meus familiares, em especial minha mãe que sempre me ajudou e me apoiou de forma incondicional.

Ao meu marido Alberto e as minhas filhas Luiza e Anna Clara pelo companheirismo, cumplicidade, amor e incentivo durante o curso.

## RESUMO

FREO, Janete Deliberali. **Aplicação de terra de diatomácea e a infestação com *Rhizopertha dominica* nas propriedades físico-químicas e tecnológicas de grãos de trigo armazenados no sistema convencional.** 2010. 85f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Dentre os diversos fatores que afetam a qualidade da farinha, pode-se destacar a infestação por insetos, que, além de reduzir a qualidade das proteínas dos cereais debilitam o glúten, reduzem as propriedades tecnológicas e as condições sanitárias. Embora existam trabalhos sobre a aplicação de terra de diatomácea em grãos de trigo, a literatura não apresenta informações sobre a quantidade de resíduo que permanece na farinha após a moagem do trigo. Objetivou-se, com o trabalho, avaliar a infestação com *Rhizopertha dominica* e o efeito da aplicação de terra de diatomácea nas propriedades físico-químicas e tecnológicas de grãos armazenados no sistema convencional e quantificar o resíduo de silício na farinha de trigo. O trabalho foi realizado com amostra de grãos de trigo (*Triticum aestivum* L) do cultivar Abalone e terra de diatomácea marca KeepDry®. No experimento com *Rhizopertha dominica*, o trigo foi infestado com densidades populacionais de zero, 4, 24 e 48 insetos em cada 8 kg de grãos e armazenado por 240 dias, em condições controladas de temperatura e umidade relativa (25 °C e 70 ± 5%, respectivamente). Na instalação do experimento e a cada 60 dias de armazenamento foi coletado 2 kg de grãos de trigo de cada densidade populacional e realizado as análises laboratoriais. No experimento com terra de diatomácea, amostras de 10 kg de trigo foram tratadas com zero, 2,0 e 4,0 g.kg<sup>-1</sup>, homogeneizadas e armazenadas em sacos de algodão, em ambiente com temperatura de 25 °C e umidade relativa de 70 ± 5% e a cada 60 dias realizadas as análises físico-químicas e tecnológicas. Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 4 x 5 (quatro níveis de infestação x cinco períodos de armazenamento) e 3 x 4 (três doses de terra de diatomácea x quatro períodos de armazenamento) respectivamente, sendo realizadas três repetições para cada tratamento. As análises realizadas nos grãos de trigo foram umidade, peso do hectolitro, cinzas, proteínas, lipídios e acidez graxa e na farinha número de queda, teor de glúten, cor, alveografia, farinografia, panificação experimental e quantificação de silício. Os resultados foram analisados através do emprego da ANOVA e nos modelos significativos as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Também foi realizada análise de regressão entre as variáveis respostas pelo emprego do programa estatístico Sisvar® Versão 5.3. As análises e os gráficos das equações de regressão foram elaborados com o auxílio do programa Origin® 5.0. A aplicação de terra de diatomácea e a infestação com *Rhizopertha dominica* reduzem as propriedades físico-químicas e tecnológicas da farinha extraída de grãos de trigo armazenados no sistema convencional. O método colorimétrico empregado para a quantificação de silício é adequado e pode ser

indicado para a determinação de resíduo de terra de diatomácea que permanece na farinha após a moagem dos grãos de trigo.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*. Armazenamento. Insetos. Alveografia. Panificação. Silício.

## ABSTRACT

FREO, Janete Deliberali. **Application of diatomaceous earth and *Rhyzopertha dominica* infestation on physicochemical and technological properties of wheat grain stored in the conventional system.** 2010. 110f. Thesis (Ph.D.) - Graduate Program in Science and Technology Agroindustrial. Federal University of Pelotas, Pelotas.

Among the many factors that affect the quality of flour, you can highlight the insect infestation, which also reduces the quality of cereal protein gluten weaken, reduce the technological characteristics and health conditions. Although there are studies on the application of diatomaceous earth in wheat grains, the literature does not provide information about the amount of residue that remains after the flour milling wheat. The aim of the study was to evaluate the infestation of *Rhyzopertha dominica* and the effect of diatomaceous earth on physicochemical and technological properties of grain stored in the conventional system and quantify the residual silicon in wheat flour. The study was conducted with a sample of wheat (*Triticum aestivum*) cultivar Abalone and diatomaceous earth KeepDry® brand. In the experiment with *Rhyzopertha dominica*, the wheat was infested with densities of zero, 4, 24 and 48 insects in each 8 kg of grain and stored for 240 days, under controlled temperature and relative humidity (25 °C and 70 ± 5%, respectively). In the experiment and every 60 days of storage was collected 2 kg of wheat grains of each population and performed laboratory tests. In the experiment with diatomaceous earth, samples of 10 kg of wheat were treated with zero, 2.0 and 4.0 g.kg<sup>-1</sup>, homogenized and stored in bags of cotton in the temperature of 25 °C and relative humidity 70 ± 5% every 60 days and made the physicochemical and technological. The experiments were conducted in a randomized design in a factorial 4 x 5 (four x five levels of infestation periods of storage) and 3 x 4 (three doses of diatomaceous earth x storage period) respectively, with three replicates for each treatment. The analysis carried out in wheat grains were moisture, test weight, ash, proteins, lipids and fatty acidity and flour falling number, gluten content, color, alveography, farinograph, bakery and experimental quantification of silicon. The results were analyzed by use of ANOVA and significant models the averages were compared by Tukey test at 5% probability. Was also performed regression analysis between the responses by the use of statistical program Sisvar® Version 5.3. The analysis and graphs of the regression equations were developed with the help of the program Origin® 5.0. The application of diatomaceous earth and the infestation with *Rhyzopertha dominica* reduce the physicochemical and technological properties of flour from wheat grain stored in the conventional system. The colorimetric method used for the quantitation of silicon and may be suitable for determination of residue of diatomaceous earth in the flour that remains after the milling of wheat grains.

Keywords: *Triticum aestivum*. Storage. Insects. Alveography. Bakery. Silicon.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>ESTUDO 1 – PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS DE GRÃOS DE TRIGO INFESTADOS COM <i>Rhizopertha dominica</i> E ARMAZENADOS NO SISTEMA CONVENCIONAL</b> .....  | 38 |
| Figura 1 - Teor de proteínas (a) e lipídios (b) (%) em grãos de trigo infestados com <i>Rhizopertha dominica</i> e armazenados, pelo período de 240 dias.....   | 48 |
| Figura 2 - Teor de cinzas (%) em grãos de trigo infestados com <i>Rhizopertha dominica</i> e armazenados, pelo período de 240 dias.....   | 49 |
| Figura 3 - Acidez graxa (mg KOH.100 g <sup>-1</sup> ) (a) e peso do hectolitro Kg.hL <sup>-1</sup> de farinha de grãos de trigo infestados com <i>Rhizopertha dominica</i> e armazenados, pelo período de 240 dias.....                     | 51 |
| Figura 4 - Teor de glúten úmido (a) e glúten seco (b) (%) de farinha de grãos de trigo infestados com <i>Rhizopertha dominica</i> e armazenados, pelo período de 240 dias...  | 52 |
| Figura 5 - Índice de glúten (%) de farinha de grãos de trigo infestados com <i>Rhizopertha dominica</i> e armazenados, pelo período de 240 dias.....  | 53 |
| Figura 6 - Intensidade de cor do componente L* (luminosidade) (a) e intensidade de cor do componente +b* (amarelo) (b) da farinha de grãos de trigo infestados com <i>Rhizopertha dominica</i> e armazenados, pelo período de 240 dias..... | 55 |
| Figura 7 – Diferença de cor DE* da farinha de grãos de trigo infestados com <i>Rhizopertha dominica</i> e armazenados, pelo período de 240 dias.....  | 55 |
| Figura 8 – Força de glúten (W) (a) e estabilidade (E) (b) da farinha de grãos de trigo infestados com <i>Rhizopertha dominica</i> e armazenados, pelo período de 240 dias...  | 58 |
| Figura 9 – Volume específico (cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> ) (a) e escore de pontos (0 a 100) (b) do pão elaborado com farinha de grãos de trigo infestados com <i>Rhizopertha dominica</i> e armazenados, pelo período de 240 dias..... | 60 |
| Figura 10 - Características externas (a) e características internas (b) do pão elaborado com farinha de grãos de trigo infestados com <i>Rhizopertha dominica</i> e armazenados, pelo período de 240 dias.....                              | 61 |
| Figura 11 – Sabor (a) e aroma (b) do pão elaborado com farinha de grãos de trigo infestados com <i>Rhizopertha dominica</i> e armazenados, pelo período de 240 dias...  | 62 |

**ESTUDO 2 – PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS DE GRÃOS DE TRIGO TRATADOS COM TERRA DE DIATOMÁCEA E ARMAZENADOS NO SISTEMA CONVENCIONAL.....65**

Figura 1 - Teor de proteínas (a) e lipídios (b) (%) em grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias .....75

Figura 2 - Teor de cinzas (%) em grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias .....76

Figura 3 - Acidez graxa ( $\text{mg KOH} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ) (a) e teor de glúten úmido (%) (b) em farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias.....79

Figura 4 - Teor de glúten seco (a) e glúten índice (b) (%) de farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias .....80

Figura 5 - Peso do hectolitro ( $\text{Kg hL}^{-1}$ ) em grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias.....81

Figura 6 - Intensidade de cor do componente L\* (luminosidade) (a) e intensidade de cor do componente +b\* (amarelo) (b) da farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados, pelo período de 180 dias.....83

Figura 7 – Diferença de cor ( $\text{DE}^*$ ) da farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados, pelo período de 180 dias.....83

Figura 8 – Força de glúten (W) e estabilidade (E) (b) de farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias .....86

Figura 9 – escore de pontos (0 a 100) do pão elaborado com farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias...88

Figura 10 - Características externas (a) e características internas (b) do pão, elaborado com farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias .....89

Figura 11 – Sabor (a) e aroma (b) do pão, elaborado com farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias .....90

**ESTUDO 3 – QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUO DE TERRA DE DIATOMÁCEA EM FARINHA DE TRIGO ..... 93**

Figura 1 - Espectros das absorvâncias de Si nas concentrações de 0 a  $7,3752 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$  de terra de diatomácea (a) e curva analítica de Si (b)..... 98

|  |     |
|--|-----|
| Figura 2 - Espectros das absorbâncias de Si em amostras de farinha de trigo<br>acrescidas de terra de diatomácea .....                                     | 100 |
| Figura 3 - Espectros das absorbâncias de Si em amostras de farinha de trigo tratado<br>com zero, 2,0 e 4,0 g kg <sup>-1</sup> de terra de diatomácea ..... | 102 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| <b>ESTUDO 1 – PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS DE GRÃOS DE TRIGO INFESTADOS COM <i>Rhizopertha dominica</i> E ARMAZENADOS NO SISTEMA CONVENCIONAL</b> .....  | 39 |
| Tabela 1 - Análise de variância para proteínas, lipídios, cinzas e umidade em grãos de trigo infestados com <i>Rhizopertha dominica</i> e armazenados pelo período de 240 dias.....   | 46 |
| Tabela 2 - Teor de umidade (%) em grãos de trigo infestados com <i>Rhizopertha dominica</i> e armazenados pelo período de 240 dias .....  | 49 |
| Tabela 3 - Análise de variância para acidez graxa (AG), peso do hectolitro (PH), glúten úmido (GU), glúten seco (GS) e índice de glúten (IG) de farinha de grãos de trigo infestados com <i>Rhizopertha dominica</i> e armazenados, pelo período de 240 dias.....   | 50 |
| Tabela 4 - Análise de variância para intensidade de cor dos componentes L* (luminosidade), +b* (amarelo) e DE* diferença de cor em farinha de grãos de trigo infestados com <i>Rhizopertha dominica</i> e armazenados pelo período de 240 dias....  | 54 |
| Tabela 5 - Número de queda (segundos) de farinha de grãos de trigo infestados com <i>Rhizopertha dominica</i> e armazenados, pelo período de 240 dias.....  | 56 |
| Tabela 6 - Força de glúten (W), relação tenacidade e extensibilidade (P/L) e estabilidade (E) da farinha de grãos de trigo infestados com <i>Rhizopertha dominica</i> e armazenados, pelo período de 240 dias .....   | 57 |
| Tabela 7 - Análise de variância para características volume específico (VE), externas (CE), características internas (CI), aroma (A), sabor (S) escore de pontos (EP) do pão elaborado com farinha de grãos de trigo infestados com <i>Rhizopertha dominica</i> e armazenados, pelo período de 240 dias ..... | 59 |
| <br>  |    |
| <b>ESTUDO 2 – PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS DE GRÃOS DE TRIGO TRATADOS COM TERRA DE DIATOMÁCEA E ARMAZENADOS NO SISTEMA CONVENCIONAL</b> .....  | 65 |

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Análise de variância para as determinações de proteínas, lipídios, cinzas e umidade em grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias.....  | 74 |
| Tabela 2 - Teor de umidade (%) em grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias .....   | 77 |
| Tabela 3 - Análise de variância para as determinações de acidez graxa (AG), glúten úmido (GU), glúten seco (GS), índice de glúten (IG) e peso do hectolitro (PH) em grãos e farinha de trigo tratado com terra de diatomácea e armazenado pelo período de 180 dias.....                              | 77 |
| Tabela 4 - Análise de variância para as determinações de intensidade de cor dos componentes L* (luminosidade), +b* (amarelo) e DE* diferença de cor em farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados, pelo período de 180 dias.....                                       | 81 |
| Tabela 5 - Número de queda (s) de farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias.....   | 84 |
| Tabela 6 - Força de glúten (W), relação elasticidade e extensibilidade (P/L) e estabilidade (E) de farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias .....   | 85 |
| Tabela 7 - Análise de variância para volume específico (VE), características externas (CE), características internas (CI), aroma (A), sabor (S) e score de pontos (EP) do pão, elaborado com farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias ..... | 87 |

**ESTUDO 3 – QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUO DE TERRA DE DIATOMÁCEA EM FARINHA DE TRIGO ..... 93**

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 1 - Massa de farinha de trigo (FT), massa de terra de diatomácea (TD), número de mols (mols), molaridade teórica ( $M_T$ ) e molaridade experimental ( $M_E$ ) de Si em farinha de trigo .....                                 | 101 |
| Tabela 2 - Massa da amostra (MA), número de mols (mols), molaridade teórica ( $M_T$ ) e molaridade experimental ( $M_E$ ) das amostras de farinha de trigo tratado com zero, 2,0 e 4,0 g.kg <sup>-1</sup> de terra de diatomácea..... | 104 |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....  | 15 |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....   | 18 |
| 2.1 Trigo, composição química e qualidade industrial.....  | 18 |
| 2.2 Insetos em grãos armazenados .....   | 25 |
| 2.3 Terra de diatomácea .....  | 30 |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....   | 33 |
| <br>   |    |
| <b>3 ESTUDO 1 – PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS DE GRÃOS DE TRIGO INFESTADOS COM <i>Rhizopertha dominica</i> E ARMAZENADOS NO SISTEMA CONVENCIONAL</b> ..... | 38 |
| <b>RESUMO</b> .....  | 39 |
| <b>3.1 INTRODUÇÃO</b> .....  | 39 |
| <b>3.2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....  | 41 |
| 3.2.1 Material experimental .....  | 41 |
| 3.2.2 Métodos.....   | 41 |
| 3.2.2.1 Delineamento experimental.....   | 41 |
| 3.2.2.2 Análises.....  | 42 |
| 3.2.2.2.1 Umidade.....   | 42 |
| 3.2.2.2.2 Peso do hectolitro.....  | 42 |
| 3.2.2.2.3 Cinzas .....   | 42 |
| 3.2.2.2.4 Proteínas .....  | 43 |
| 3.2.2.2.5 Lipídios .....   | 43 |
| 3.2.2.2.6 Acidez graxa.....  | 43 |
| 3.2.2.2.7 Número de queda.....   | 43 |
| 3.2.2.2.8 Glúten.....  | 43 |
| 3.2.2.2.9 Cor.....   | 44 |

|  |    |
|--|----|
| 3.2.2.2.10 Alveografia .....   | 44 |
| 3.2.2.2.11 Farinografia .....  | 44 |
| 3.2.2.2.12 Panificação experimental .....  | 45 |
| 3.2.2.2.13 Avaliação dos pães .....  | 45 |
| 3.2.3 Análise estatística .....  | 46 |
| <b>3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....  | 46 |
| 3.3.1 Composição química .....   | 46 |
| 3.3.2 Características físicas e químicas .....   | 50 |
| 3.3.3 Características tecnológicas dos pães .....  | 68 |
| <b>3.4 CONCLUSÕES</b> .....  | 62 |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....   | 63 |
| <br>   |    |
| <b>4 ESTUDO 2 – PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS DE GRÃOS DE TRIGO TRATADOS COM TERRA DE DIATOMÁCEA E ARMAZENADOS NO SISTEMA CONVENCIONAL</b> ..... | 65 |
| <b>RESUMO</b> .....  | 66 |
| <b>4.1 INTRODUÇÃO</b> .....  | 66 |
| <b>4.2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....  | 68 |
| 4.2.1 Material experimental .....  | 68 |
| 4.2.2 Métodos .....  | 69 |
| 4.2.2.1 Delineamento experimental .....  | 69 |
| 4.2.2.2 Análises .....   | 69 |
| 4.2.2.2.1 Umidade .....  | 69 |
| 4.2.2.2.2 Peso do hectolitro .....   | 69 |
| 4.2.2.2.3 Cinzas .....   | 70 |
| 4.2.2.2.4 Proteínas .....  | 70 |
| 4.2.2.2.5 Lipídios .....   | 70 |
| 4.2.2.2.6 Acidez graxa .....   | 70 |
| 4.2.2.2.7 Número de queda .....  | 70 |
| 4.2.2.2.8 Glúten .....   | 71 |
| 4.2.2.2.9 Cor .....  | 71 |
| 4.2.2.2.10 Alveografia .....   | 71 |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.2.2.2.11 Farinografia .....                     | 71        |
| 4.2.2.2.12 Panificação experimental .....         | 72        |
| 4.2.2.2.13 Avaliação dos pães .....               | 72        |
| 4.2.3 Análise estatística .....                   | 73        |
| <b>4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>           | <b>73</b> |
| 4.3.1 Composição química .....                    | 73        |
| 4.3.2 Características físicas e químicas .....    | 77        |
| 4.3.3 Características tecnológicas dos pães ..... | 86        |
| <b>4.4 CONCLUSÕES .....</b>                       | <b>90</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                          | <b>91</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>5 ESTUDO 3 – QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUO DE TERRA DE DIATOMÁCEA EM FARINHA DE TRIGO .....</b>                       | <b>93</b>  |
| <b>RESUMO .....</b>   | <b>94</b>  |
| <b>5.1 INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>94</b>  |
| <b>5.2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>   | <b>96</b>  |
| 5.2.1 Material experimental .....   | 96         |
| 5.2.2 Métodos .....   | 96         |
| 5.2.2.1 Delineamento experimental .....   | 96         |
| 5.2.2.2 Digestão das amostras .....   | 97         |
| 5.2.2.3 Determinação de silício .....   | 97         |
| <b>5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>   | <b>98</b>  |
| 5.3.1 Curva analítica .....   | 98         |
| 5.3.2 Determinação de silício na farinha de trigo, acrescida de quantidades conhecidas de terra de diatomácea ..... | 99         |
| 5.3.3 Determinação de silício nas amostras de farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea .....      | 102        |
| <b>5.4 CONCLUSÕES .....</b>   | <b>104</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>  | <b>105</b> |

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento populacional está mais acelerado que a disponibilidade de alimentos, por essa razão, segundo a FAO (Food and Agriculture Organization) a busca por alternativas de conservação se faz necessária. A preocupação constante dos pesquisadores tem sido utilizar novas tecnologias de conservação para manter a qualidade original dos produtos.

O trigo é de grande importância para a economia mundial e do Brasil, pois é único quanto às propriedades do glúten e capacidade de formar massa, sendo consumido na forma de pão, macarrão, bolo e biscoitos. A produção nacional do grão tem sido insuficiente para atender à demanda, além de haver perdas quantitativas e qualitativas decorrentes de chuvas de final do ciclo, operações inadequadas na colheita e pós-colheita e o ataque de insetos no armazenamento.

O trigo é a segunda cultura em produção de grãos no mundo, perdendo, somente para o milho que ocupa o primeiro lugar. No Brasil, a produção da safra 2008/2009 foi 6,0 milhões de toneladas, estando concentrada nos estados da região Sul, com aproximadamente 90% da produção. O consumo interno de trigo é de 10,6 milhões de toneladas, sendo necessário importar cerca de 70% da necessidade para atender o mercado (CONAB, 2009).

Os segmentos armazenador e moageiro, frequentemente, questionam sobre a necessidade, implicações e vantagens do período de descanso pós-colheita de trigo. No período pós-colheita, ocorre uma série de alterações físico-químicas que completam a maturação do grão provocando modificações na qualidade da farinha de trigo. Essa qualidade pode ser afetada pelo ataque de pragas durante o período de armazenamento, debilitando, assim, as propriedades tecnológicas da farinha de trigo (GUTKOSKI et al., 2008; Elias, 2002).

Segundo Aja et al. (2004), existem muitos fatores que podem ocasionar a deterioração dos grãos após a colheita. A composição e as características dos grãos (forças internas), que são variáveis, encontram-se submetidas às forças externas, entre elas os fatores físicos e os agentes biológicos. Ocorre uma grande perda de grãos armazenados no período pós-colheita, ou seja, no período de

armazenamento, onde o grão está sujeito ao ataque de insetos e fungos, que contribuem para a redução da qualidade e quantidade dos produtos armazenados.

As perdas de grãos no armazenamento, estimadas pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, são aproximadamente de 10% do total produzido a cada ano. Por esta razão, cuidados constantes devem ser tomados no armazenamento de grãos para garantir a qualidade e minimizar perdas. A presença de insetos provoca perda de qualidade e de valor comercial, consumindo não apenas o grão, mas também, contaminando com seus excrementos e fragmentos de insetos imaturos (LORINI, 2002).

Os grãos de trigo infestados por insetos apresentam mudanças nos teores de glúten, açúcares não redutores, valor de sedimentação e na qualidade das proteínas. As farinhas obtidas a partir de trigo infestado por insetos apresentam redução na absorção de água, estabilidade da massa, sendo produzidos pães de coloração mais escura, volume reduzido e odor desagradável (PEDERSEN, 1994; SÁNCHEZ-MARIÑEZ et al., 1997).

O controle de insetos em grãos armazenados é um dos aspectos mais relevantes na etapa de pré-processamento dos produtos agrícolas. Por ser efetivo, de baixo custo e de fácil manejo, o controle químico tradicional tem sido a forma mais utilizada para a proteção de grãos armazenados. A crescente resistência aos agentes químicos, à possibilidade de intoxicação dos operadores e à presença de resíduos nos alimentos, levou à busca de alternativas menos danosas ao homem e que proporcionassem menor impacto ambiental. Uma alternativa encontrada é a proteção do produto armazenado por pós inertes, que se mostram eficientes e não apresentam toxicidade (KORUNIC, 1998).

A terra de diatomácea é um sedimento amorfo, originado a partir de carapaças de organismos unicelulares vegetais tais como algas microscópicas aquáticas, marinhas e lacustres. Os depósitos fossilizados são recolhidos e tratados para utilização comercial por secagem e moagem até obtenção de um pó fino. A terra de diatomácea causa a morte dos insetos através da aderência em sua cutícula, tendo perda de água e dessecação (LORINI, 2003).

Porém, a mistura da terra de diatomácea com os grãos tem apresentado problemas como alterações em propriedades físicas e mecânicas, podendo ser destacadas a redução da escoabilidade e da densidade, bem como a presença

visível de resíduos sobre os grãos. Outro problema é o efeito da sua abrasividade nos equipamentos de moagem do trigo (KORUNIC et al., 1998).

A aplicação de terra de diatomácea deixa os grãos de trigo com aparência fosca, esbranquiçada e sem brilho natural (VARDEMAN, 2007). Entretanto, quando aplicada nos grãos não é de fácil detecção e quantificação nos produtos de moagem. Assim, existe a necessidade de metodologia que permita a sua detecção para que a indústria e os laboratórios oficiais responsáveis pela emissão de certificados de sanidade possam quantificar a presença em lotes de farinha de trigo, representado assim, um avanço no controle de qualidade.

Os objetivos do trabalho foram avaliar as propriedades físico-químicas e tecnológicas de farinha de trigo infestado com *Rhizopertha dominica* e armazenado no sistema convencional pelo período de 240 dias. Avaliar as propriedades físico-químicas e tecnológicas de farinha de trigo tratado com diferentes doses de terra de diatomácea e armazenado no sistema convencional pelo período de 180 dias. Quantificar o resíduo de silício na farinha de trigo tratado com terra de diatomácea.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Trigo, composição química e qualidade industrial

O trigo é uma gramínea do gênero *Triticum*, que contém em torno de 30 espécies, geneticamente diferenciadas, sendo produzidos comercialmente *aestivum*, *durum* e *compactum*. O *durum* é utilizado na produção de macarrão e outras massas, o *compactum* é um trigo de baixo teor de glúten, produzido em pequena proporção, utilizado para fabricar biscoitos suaves, enquanto o *aestivum* é responsável por mais de quatro quintos da produção mundial, por ser adequado à panificação (HOSENEY, 1991).

O tamanho dos grãos de trigo varia, amplamente, dependendo do cultivar e da posição na espiga. Os grãos de trigo são arredondados na parte dorsal e possuem sulco ao longo da parte ventral. A composição química depende, entre outros fatores, da variedade, das condições ambientais, do sistema de cultivo e das operações de pós-colheita e de industrialização. Dentre os constituintes do trigo, as proteínas e carboidratos são os componentes mais importantes (TORBICA et al., 2007; LUKOW et al., 1995).

As propriedades físico-químicas, reológica e tecnológica diferem, significativamente, entre as variedades de trigo, possuem efeito de longo alcance sobre a qualidade de uso final dos produtos. A qualidade do trigo pode ser melhorada tanto genética, como bioquimicamente, influenciando na composição das propriedades tecnológicas conhecidas. Tanto a quantidade como a qualidade das proteínas são consideradas importantes para estimar o potencial de uso final da farinha de trigo (ABID et al., 2009).

Os fatores de qualidade da farinha de trigo podem ser divididos em dois grupos básicos: os inerentes ao trigo, resultantes da composição genética e das condições de crescimento da planta e os que dependem do processo de armazenamento e moagem do trigo em farinha. As proteínas formadoras do glúten (gliadina e glutenina), o amido, os lipídeos e outros compostos hidrossolúveis são essenciais para garantir o potencial de panificação, dependendo do teor e da qualidade destes na farinha (TORBICA et al., 2007).

A composição química do trigo e a distribuição dos nutrientes têm sido exaustivamente estudadas. O amido, encontrado predominantemente no endosperma, é o maior constituinte do grão de trigo, com 64 a 74%. Os grânulos de aspecto cristalino contribuem com 70% do endosperma, os pequenos e esféricos contribuem, aproximadamente com 30%. A proporção de amilose e amilopectina é de 1:3. A maior parte dos açúcares está concentrada no embrião, embora pentoses e celuloses estejam concentradas no pericarpo, na testa e na camada de aleurona (GOESAERT et al., 2005; TORBICA et al., 2007).

Uma fração significativa dos grânulos de amido (cerca de 8%) é danificada durante a moagem do trigo. Este dano mecânico, na estrutura do grânulo, afeta amplamente as propriedades do amido. O amido danificado perde a sua birrefringência tendo uma maior absorção de água e fica mais suscetível à hidrólise enzimática (TORBICA et al., 2007).

O conteúdo de proteína é de 8 a 16%, sendo o glúten o principal. O farelo e o gérmen são geralmente mais ricos em proteína do que o endosperma (HOSENEY, 1991). Do ponto de vista funcional, as proteínas do trigo são classificadas em dois grupos: as proteínas que não fazem parte do glúten e as proteínas do glúten que possuem papel importante na panificação. As proteínas que não fazem parte do glúten são entre 15 a 20% do total das proteínas do trigo, ocorrem, principalmente, nas camadas mais externas do grão, com menor concentração no endosperma. As proteínas do glúten estão entre 80 a 85% do total das proteínas do trigo. As proteínas do glúten são encontradas no endosperma do trigo maduro, são, em grande parte, insolúveis em água ou em soluções salinas diluídas. Dois grupos distintos fazem parte das proteínas do glúten, as gliadinas e as gluteninas (GOESAERT et al., 2005).

Os lipídios presentes nos grãos estão na forma de triglicerídios e a sua hidrólise em ácidos graxos livres e glicerol durante o armazenamento é resultante da respiração do próprio grão, processos de oxidação, ação de enzimas, entre outros fatores. A fração lipídica é a mais suscetível à deterioração e o grau de degradação é proporcional ao teor presente nos grãos (FLEURAT-LESSARD, 2002).

Os lipídios no trigo variam de 0,88 a 3,33%, concentrados em maior parte no gérmen (HOSENEY, 1991). O óleo do gérmen é formado, principalmente, por triglicerídeos. Os lipídios da farinha contribuem para as propriedades da massa e estão envolvidos no envelhecimento dos alimentos. A alteração de quantidade e

proporção da fração de lipídios polares e apolares pode causar mudanças substanciais no volume do pão. Quanto mais elevado o conteúdo de óleo no gérmen, mais suscetível é o grão à infestação e à deterioração durante o armazenamento (GOESAERT et al., 2005; TORBICA et al., 2007).

Dentre os constituintes do trigo, o conteúdo de cinzas é a fração que apresenta menor variação em conteúdo total, durante o armazenamento. Essa variação é devida à degradação da fração orgânica. A atividade metabólica dos grãos e dos microrganismos associados consome matéria orgânica, produzindo gás carbônico, água, calor e outros produtos, podendo alterar a proporção de cinzas presentes no grão. Dessa forma, a determinação do teor de cinzas assume valores, proporcionalmente, maiores na medida em que a matéria orgânica é consumida (BHATTACHARYA & RAHA, 2002).

O trigo possui conteúdo médio de cinzas de 1,5%, que não se distribui uniformemente no grão, estando mais concentrados na periferia e no gérmen. Os minerais estão em maior concentração no farelo. O fósforo e o potássio são os principais minerais presentes no grão de trigo (HOSENEY, 1991). O teor de cinzas nos grãos de trigo varia de acordo com a cultivar, bem como condições de plantio e a aplicação de fertilizantes no solo. O trigo apresenta, na sua composição, cerca de 410 mg de fósforo, 580 mg de potássio, 60 mg de cálcio, 180 mg de magnésio, 6 mg de ferro, 0,8 mg de cobre, 5,5 mg de manganês, 4,4 mg de zinco e 4,6 mg de sódio para cada  $100\text{g}^{-1}$  de trigo, em base seca (RYAN et al., 2004).

O teor de umidade corresponde à relação percentual entre a quantidade de água e o peso da massa total de cada quantidade de grãos. É considerado o fator mais importante no controle do processo de deterioração de grãos armazenados. Condições de armazenamento que promovem um aumento da intensidade da respiração dos grãos são prejudiciais porque produzem mudanças nas suas propriedades físicas e químicas que os tornam impróprias para o consumo "in natura" ou processamento industrial. Para a perfeita conservação do grão é necessário a redução dos teores de umidade a níveis que inibam as reações do seu metabolismo e atividade enzimática (ELIAS, 2002).

A qualidade do trigo varia, significativamente, devido às diferenças na fisiologia, às condições de cultivo, colheita e técnicas de armazenagem. O monitoramento da qualidade de trigo é, portanto, um fator considerado importante em todo o mundo para garantir a comercialização de qualidade. Diferentes padrões

de classificação são estabelecidos em relação às classes de trigo produzido em vários países com base nas características de uso final (DIGVIR et al., 2008).

No Brasil, de acordo com a Normativa nº 7, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2001), as cultivares estão classificadas de acordo com a alveografia e o número de queda em cinco classes: Trigo brando, trigo pão, trigo melhorador, trigo para outros usos e trigo *durum*.

No que se refere às classes de trigo, nas variedades tipo brando estão enquadrados os genótipos para a produção de bolos, bolachas (biscoitos doces), produtos de confeitaria, pizzas e massa do tipo caseira fresca. Na classe trigo pão, estão os genótipos de trigo com aptidão para a produção do pão tipo francês ou d'água, consumido no Brasil. A classe de trigo melhorador, envolve os grãos de genótipos de trigo aptos para mesclas com grãos de genótipos de trigo brando, para panificação, produção de massas alimentícias, biscoito do tipo crackers e pães industriais (como pão de forma e pão para hambúrguer). Na classe do trigo *durum*, especificamente os grãos da espécie *Triticum durum*, estão os grãos de genótipos de trigo para a produção de massas alimentícias secas. Trigos para outros usos são destinados à alimentação animal ou outro uso industrial. Estes envolvem os grãos de genótipos de trigo com qualquer valor de W, não estando enquadrados em nenhuma das outras classes por apresentarem número de queda inferior a 200 (BRASIL, 2001).

A qualidade do trigo é influenciada tanto pelo genótipo como pelo meio ambiente. As propriedades físico-químicas, reológicas e tecnológicas diferem, significativamente, entre as variedades de trigo que têm efeito na qualidade do produto final. A qualidade real do trigo é o resumo do solo, do clima das variedades de trigo e dos componentes do grão. Tanto a quantidade de proteína como a qualidade são consideradas importantes para estimar o potencial de qualidade da farinha para o seu uso final (ABID et al., 2009).

O peso do hectolitro (PH) é um indicador que reflete o rendimento dos grãos em farinha ou sêmola. Esse rendimento será mais elevado quanto maior for o peso do hectolitro da amostra. Existem valores mínimos estabelecidos, sendo que estes são utilizados para definir o tipo de trigo, de acordo com a Instrução Normativa de classificação do trigo (BRASIL, 2001). O trigo com maior valor de PH não indica que apresente melhor qualidade; esta relação somente será significativa quando se compara a mesma variedade com valores de PH bem diferenciados. O teste de PH

é, amplamente, empregado na indústria como teste rápido e indicativo da qualidade do grão recebido para moagem. No entanto, é difícil fazer qualquer afirmação sobre a qualidade de um determinado trigo para o uso em panificação a partir apenas desse resultado (GERMANI, 1990).

O peso do hectolitro é um indicador de qualidade que se correlaciona com taxa de extração de farinha, sendo mais elevada quanto maior o valor obtido. Com o aumento do tempo de armazenamento ocorre redução de PH, devido ao consumo de componentes orgânicos dos próprios grãos (FLEURAT-LESSARD, 2002). Os valores de PH refletem as perdas quantitativas totais, resultantes dos processos de deterioração dos grãos, devido ao seu metabolismo intrínseco, à atividade microbiana e à de pragas associadas (SEOK-HO PARK et al., 2008).

A qualidade da farinha de trigo é determinada por uma série de características dependendo do uso ou do tipo de produto a ser elaborado. Estas características podem ser classificadas em físicas, químicas, enzimáticas e funcionais (GUTKOSKI et al., 2002).

O teste de número de queda tem por finalidade verificar a atividade da enzima alfa amilase do grão, a fim de detectar danos causados pela germinação na espiga. No o início da germinação, ocorre incremento da atividade das enzimas  $\alpha$  e  $\beta$ -amilase. O acréscimo de produção da  $\alpha$ -amilase provoca a sacarificação das moléculas de amido durante o processo de fabricação do pão, resultando em pães com textura interna pegajosa e úmida, com descoloração da crosta, miolo seco e pequeno volume. Por outro lado, a baixa atividade da enzima  $\alpha$ -amilase afeta negativamente a panificação (GUTKOSKI et al., 2008).

A avaliação reológica da farinha, na qual são determinadas as propriedades viscoelásticas da massa, é de vital importância para a indústria de panificação, permitindo predizer o seu uso final (GUTKOSKI et al., 2002).

A alveografia é um teste reológico usado para a determinação de características qualitativas da farinha, através dos parâmetros força de glúten ( $W \times 10^{-4}J$ ), relação tenacidade e extensibilidade (P/L) e índice de elasticidade (IE). A expressão força de glúten, normalmente, é utilizada para designar a maior ou menor capacidade de uma farinha sofrer um tratamento mecânico ao ser misturada com água. Também, é associada à maior ou menor capacidade de absorção de água pelas proteínas formadoras de glúten, que, combinadas à capacidade de retenção do gás carbônico, resultam em um pão de volume aceitável, textura interna sedosa e

de granulometria aberta (DOBRASZCZYK & MORGENSTERN, 2003). Embora o alveograma forneça dados relevantes para prever a qualidade da farinha, seus índices são baseados em correlações entre o comportamento da massa durante o processo de fabricação dos produtos finais e os diferentes gráficos produzidos. Em muitos casos, considerando-se outras características qualitativas da amostra, como percentual de amido danificado, granulometria da farinha e percentual de absorção de água, o alveograma pode não expressar o verdadeiro potencial qualitativo do trigo (GUTKOSKI et al., 2007).

O farinógrafo e o extensógrafo podem ser usados como instrumentos de controle de processo. A farinografia é um dos mais complexos e sensíveis testes de avaliação e controle de qualidade da farinha de trigo, simulando o processo de mistura, medindo e registrando a resistência da massa durante os sucessivos estágios de seu desenvolvimento. Assim, tem-se o comportamento da massa durante a mistura. A partir do farinógrafo obtém-se o valor AA (absorção de água), que é a quantidade de água requerida para que a massa atinja a consistência ótima; tempo de desenvolvimento da massa (TDM), que é o tempo necessário para que a massa atinja o máximo de sua consistência; a estabilidade (E), ou o tempo que a massa permanece consistente durante o batimento (500UF) e o índice de tolerância à mistura (ITM), que é o tempo decorrido após um intervalo de cinco minutos do ponto de consistência máxima da massa, até a sua perda total. Todos esses valores podem ser determinados no gráfico resultante do teste. No extensógrafo são avaliadas as características de extensibilidade e elasticidade, que estão relacionadas com a qualidade protéica (OLIVER, 1992).

A farinha de trigo pode apresentar diferentes colorações, dependendo do tamanho das partículas, do conteúdo de pigmentos carotenóides e da atividade da enzima lipoxigenase. As partículas finas, por refletirem uma maior quantidade de luz, geralmente apresentam uma aparência mais branca que as partículas mais grossas. Os pigmentos carotenóides são responsáveis pela coloração amarelada da farinha. Já, a enzima lipoxigenase oxida os pigmentos da farinha (ORTOLAN & MIRANDA, 2010). A farinha de trigo deve apresentar cor branca com tons leves de amarelo, marrom ou cinza conforme a origem do trigo (BRASIL, 2005).

A cor da farinha é avaliada pelas medidas de brilho e tom amarelo. O brilho é afetado pelo conteúdo de farelo ou material estranho, enquanto o amarelo está relacionado com a quantidade de pigmentos presentes. A cor da farinha é definida

pelo uso da escala de cor tridimensional que descreve os diferentes componentes da cor. A luz refletida é feita de um componente escuro ou luminoso em adição a um vermelho ou verde e um componente azul ou amarelo, determinada por colorímetros ou espectrofotômetros (PETERSON et al., 2001).

A cor da farinha de trigo é afetada por muitas variáveis. As mais importantes são: genótipo de trigo, processo de moagem (condicionamento do trigo antes da moagem, grau de extração, tamanho de partículas e teor de cinzas), estocagem da farinha e o efeito dos tratamentos de branqueamento. O ano da colheita (condições climáticas) e o local do plantio podem afetar a cor da farinha de trigo (ORTOLAN & MIRANDA, 2010).

Segundo Carvalho Junior (1999), a qualidade física da farinha pode também ser determinada pelo teor de glúten, a porção insolúvel das proteínas, através da utilização do equipamento Glutomatic. Este método determina o valor do glúten úmido, glúten seco e índice de glúten, valor que se relaciona com a qualidade de panificação.

O glúten pode ser definido como a massa de borracha que permanece após a lavagem da massa de farinha de trigo para retirada dos grânulos de amido e os componentes solúveis em água. O glúten refere-se às proteínas, que desempenham papel fundamental na determinação da qualidade da farinha de trigo, conferindo capacidade de absorção de água, coesividade, viscosidade e elasticidade da massa. As proteínas do glúten são divididas em frações aproximadamente iguais, de acordo com sua solubilidade em água e álcool e soluções de glúten. Quando as gluteninas são tratadas com agentes redutores e analisadas por eletroforese, dois grupos de proteínas são obtidos com base no peso molecular: subunidades de gluteninas de peso molecular elevado e subunidades de gluteninas de peso molecular baixo. Ambas as gluteninas e gliadinas são importantes contribuintes para as propriedades reológicas da massa, mas suas funções são divergentes. Gliadinas hidratadas possuem pouca elasticidade e são menos coesas do que gluteninas contribuem principalmente para a viscosidade e a extensibilidade da massa. Em contraste, gluteninas hidratadas são coesas e elásticas, são responsáveis pela resistência e elasticidade da massa (TORBICA et al., 2007).

O glúten tem como função elasticidade e extensibilidade, características da farinha de trigo. O teste de glúten úmido fornece informações sobre a quantidade e estimativas da qualidade de glúten nos grãos de trigo ou de amostras de farinha.

Glúten úmido reflete o conteúdo de proteína e é uma especificação comum da farinha exigido pelos usuários finais na indústria alimentícia (ABID et al., 2009).

O teor de glúten úmido é determinado por lavagem da farinha ou amostra de trigo com uma solução salina para remover o amido e outras substâncias solúveis da amostra. O resíduo remanescente após a lavagem é o glúten úmido. O glúten é pesado e, em seguida, centrifugado por meio de uma fina tela de malha. O glúten forte é mantido após centrifugação e o glúten fraco passa parcialmente através da tela. Durante a centrifugação, o glúten é forçado a passar através de uma peneira. A percentagem de glúten restante na peneira é definida como o índice de glúten, que é uma indicação de força de glúten. Índice de glúten elevado indica glúten forte. O índice de glúten é uma medida de força de glúten, obtida no sistema glutomatic. O princípio deste teste é que o glúten de trigo forte vai resistir à força centrífuga para um maior grau do que a de trigo fraco (ABID et al., 2009).

Quando o glúten é muito fraco, passa todo através da peneira, com isto o índice de glúten é 0. Quando nada passa através da peneira, o índice é 100. O índice de glúten pode ser utilizado para a detecção de calor e de insetos. O aquecimento excessivo fará com que haja desnaturação das proteínas e diminuição do glúten úmido ou destruirá a capacidade de formar o glúten. As infestações de insetos em grãos de trigo causam danos, produzindo uma enzima que enfraquece o glúten. O calor ou danos causados por insetos em grãos de trigo não podem ser detectados através de uma análise única proteína (ŠIMIĆ et al., 2006).

## **2.2 Insetos em grãos armazenados**

Os segmentos armazenador e moageiro frequentemente questionam sobre a necessidade, implicações e vantagens do período de descanso pós-colheita de trigo. No período pós-colheita, ocorre uma série de reações físico-químicas que completam a maturação do grão e podem provocar modificações na qualidade de trigo. A qualidade pode ser prejudicada quando não ocorre o devido controle de pragas durante o período de armazenamento, debilitando assim, as propriedades do glúten, reduzindo a qualidade tecnológica da farinha de trigo (ELIAS, 2002; GUTKOSKI et al., 2008).

Segundo Aja et al. (2004), existem muitos fatores que podem ocasionar a deterioração dos produtos após a colheita. A composição e as características dos

grãos (forças internas), que são variáveis, encontram-se sempre submetidos às forças externas, entre eles os fatores físicos e os agentes biológicos. Ocorre uma grande perda de grãos armazenados no período pós-colheita, ou seja, no período de armazenamento, quando o grão está sujeito ao ataque de insetos e fungos, que contribuem para a redução da qualidade e quantidade dos produtos armazenados.

A estimativa de perdas de grãos no armazenamento segundo o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento são de aproximadamente, 10% do total produzido a cada ano. Por esta razão, cuidados constantes são necessários no armazenamento dos grãos, de maneira a garantir a qualidade e minimizar as perdas. A presença de insetos provoca perda de qualidade e de valor comercial, consumindo não apenas o grão, mas também contaminando com seus excrementos e fragmentos de insetos imaturos (LORINI, 2002).

Grãos de cereais e seus subprodutos estão sujeitos ao ataque de pragas, que causam perdas qualitativas e quantitativas, reduzindo os valores nutritivos e comerciais do produto. As perdas podem atingir até 30% em alguns casos, sendo 10% causados, diretamente, pelo ataque de pragas durante o armazenamento. A maioria dessas pragas tem taxa de desenvolvimento capaz de multiplicar a população inicial em pelo menos 10 vezes por mês, sob condições ótimas de desenvolvimento (SANTOS et al., 2002).

As pragas secundárias que se desenvolvem fora do grão também podem contribuir para a geração de fragmentos de insetos na farinha. Cuidados devem ser exercidos durante o armazenamento, manipulação e processamento de grãos, visando minimizar a contaminação do produto final por fragmentos de insetos (PEREZ-MENDONZA, 2003). De acordo com a legislação americana de alimentos (Food and Drug Administration-FDA), o número de fragmentos de insetos aceitável na farinha de trigo é 75 por 50 g (PEREZ-MENDONZA, 2003). No Brasil, o Ministério da Saúde através da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) estabeleceu valores similares ao da legislação dos Estados Unidos. Não é aceita qualquer indicação de infestação viva; sendo o limite máximo de tolerância para derivados, tais como massas alimentícias, biscoitos, produtos de panificação e confeitaria de 225 fragmentos de insetos, ao nível microscópico, em 225 g do produto (BRASIL, 1994).

A *Rhizopertha dominica* (F.) pertence à Família Bostrichidae e é a menor broca dos grãos, o adulto mede de 2,5 a 3 mm de comprimento. Tem o corpo

cilíndrico e a cabeça protegida pelo protórax, sua coloração vai de castanho ao café-escuro. As fêmeas chegam a ovipositar até 400 ovos na superfície dos grãos ou entre eles. Os ovos são brancos com uma superfície áspera. A duração da incubação varia de 5 a 21 dias, em função da temperatura. As larvas da *Rhyzopertha* possuem patas, sendo esta uma característica da família Bostrichidae (LORINI, 2003).

A oviposição pode ocorrer em grupos de ovos ou em ovos isolados, em fendas ou rachaduras de grãos ou mesmo na própria massa de grãos. A duração do período larval é de, aproximadamente, 22 dias, o período pupal é de cinco dias e a longevidade dos adultos atinge 29 dias, a 30 °C e 70% de umidade relativa. O ciclo de vida é de, aproximadamente, 60 dias. A fêmea tem fecundidade média de até 250 ovos isto depende da qualidade do alimento e das condições de temperatura e de umidade da massa de grãos (LORINI, 2003).

Ao emergirem, as larvas abrem caminho até o interior dos grãos com os quais se alimentam. Estas larvas são muito ativas e podem penetrar por aberturas feitas pelos adultos ou por elas próprias. O adulto tem uma longevidade de 4 a 6 meses e grande capacidade de voo. Tanto a larva como os adultos têm preferência por cereais e seus subprodutos. Encontra-se em todo o mundo, predominando sobre outras espécies em climas quentes ou temperados, com baixa umidade relativa ou baixo teor de umidade dos grãos. Por ser inseto primário externo, a *Rhyzopertha* é capaz de romper o grão inteiro ou sadio. Ataca externamente o grão, podendo atingir a parte interna, favorecendo, desta forma, a invasão de outras pragas que seriam incapazes de romper o tegumento dos grãos. É considerada uma das pragas mais destrutivas dos grãos armazenados em todo o mundo. Em temperaturas entre 30 e 35 °C, este inseto pode atingir até sete gerações no ano, quando se alimenta de trigo. Desenvolve-se entre 18 °C e 35 °C, e à medida que se reduz a temperatura, o potencial de multiplicação diminui, progressivamente, em razão do aumento do tempo necessário para o desenvolvimento das fases jovens e em virtude da redução da fertilidade das fêmeas. (LORINI, 2003).

A *Rhyzopertha dominica* (F.) é considerada praga primária pois, se alimenta de grãos inteiros e sadios, deixando os grãos perfurados e com grande quantidade de resíduos em forma de farinha. As pragas primárias são as que atacam grãos inteiros e sadios e, dependendo da parte do grão que atacam, podem ser denominadas pragas primárias internas ou externas. As pragas primárias internas

perfuram grãos e penetram para completar seu desenvolvimento. Alimentam-se de todo o interior do grão e possibilitam a instalação de outros agentes de deterioração dos grãos (LORINI, 2003).

A *Rhizopertha dominica* (F.) é a principal praga de pós-colheita de trigo no Brasil, devido à alta densidade populacional e ao grande potencial de causar prejuízos aos grãos. Destrói, consideravelmente, os grãos, deixando-os perfurados e com grande quantidade de resíduos na forma de farinha, decorrente do hábito alimentar. Tanto adultos como larvas causam danos aos grãos armazenados e possuem grande número de hospedeiros, como trigo, cevada, triticales, arroz e aveia. A infestação por *R. dominica* pode causar perdas de biomassa e diminuição da qualidade, devido aos danos causados nos grãos, através da alimentação ou contaminação por fragmentos de insetos e ácido úrico. Também, reduz o teor de aminoácidos essenciais em trigo, milho e sorgo e diminui a germinação e vigor das sementes. Os grãos infestados são mais vulneráveis a danos causados por pragas secundárias e fungos. A *Rhizopertha dominica* é muito difícil de ser eliminada com inseticidas aplicados, diretamente sobre os grãos, por passar a maior parte do seu ciclo de vida no centro grão. (LORINI et al., 1999; SEOK-HO PARK et al., 2008).

Dentre os diversos fatores que afetam a qualidade da farinha, pode-se destacar a infestação por insetos, que, segundo Seok-Ho Park et al. (2008), além de reduzir a qualidade das proteínas dos cereais, aumenta a quantidade de ácido úrico, cria más condições higiênicas e reduz a digestibilidade das proteínas (JOOD, 1996).

Segundo Pedersen (1994), grãos de trigo infestados por insetos e armazenados apresentam efeitos significativos sobre o glúten, açúcares não redutores, valor de sedimentação e qualidade de proteína em. Farinhas obtidas a partir de trigo infestado por insetos apresentam mudanças nas propriedades reológicas, na absorção de água e na estabilidade da massa. Pães preparados a partir de farinha obtida de trigo infestado por insetos apresentam cor mais escura, redução de volume e odor desagradável (SÁNCHEZ-MARIÑEZ et al., 1997).

Farinha de trigo obtida de grãos infestados por *Rhizopertha dominica* apresenta mudanças na estabilidade da massa, no tempo de desenvolvimento, na absorção de água e na estabilidade de mistura, indicando que a infestação afeta a qualidade protéica reduzindo a capacidade do glúten de formar uma massa de estrutura forte. (SÁNCHEZ-MARINEZ et al., 1997).

Os grãos de trigo infestados por insetos apresentam decréscimo no volume do sedimento durante o período de armazenamento. A variação no volume do sedimento implica na redução da qualidade do glúten, devido ao ataque dos insetos e, principalmente, no aumento da umidade do produto, causando um rompimento dos grânulos de amido pela ação de enzimas amilases, reduzindo, assim, a qualidade de glúten. A extensibilidade da massa de farinha de trigo também diminui com o tempo de armazenamento e com o aumento da densidade populacional de insetos (PINTO, 2002).

Infestação com *Trogoderma granarium* e *Rhyzopertha dominica* em grãos de trigo, milho e sorgo, separadamente, e, em populações mistas, resultam em mudanças substanciais no conteúdo de cálcio, fósforo, zinco, ferro, cobre e manganês. No mais alto nível de infestação (75%) com *R. dominica* causam significativo aumento no teor de cinzas em grãos de trigo e sorgo, devido à perda do conteúdo do endosperma. As variações no conteúdo de cinzas estão relacionadas com a distribuição dos componentes dos grãos e do modo de alimentação dos insetos (JOOD et al., 1992).

Análise química dos grãos infestados por insetos revelam efeitos significativos sobre nutrientes. Grãos de trigo e milho infestados com insetos durante o armazenamento apresentam diminuição em qualidade de Glúten, de açúcares não redutores, valor de sedimentação e de proteínas (SÁNCHEZ-MARIÑEZ et al., 1997).

Os insetos ao se desenvolverem atacam o grão de trigo e inoculam através da saliva enzimas proteolíticas. A farinha resultante é contaminada com proteases, que são, particularmente, ativas na massa, causando a hidrólise de proteínas do glúten liberando peptídeos de baixo peso molecular. A ação das enzimas proteolíticas, presentes no inseto danifica o grão, sendo quantificado pelas alterações nas propriedades físicas na massa da farinha de trigo e no seu desempenho na panificação, mostrando um efeito de enfraquecimento significativo do glúten. A massa é caracterizada como sendo fraca, pegajosa e de difícil de manuseio (devido à redução progressiva da capacidade de retenção de água), mostrando-se de baixa consistência e tolerância à mistura. O pão elaborado com farinha danificada por inseto apresenta menor volume, baixa qualidade do miolo, análise sensorial prejudicada (textura, cor, odor e sabor) e forma irregular (CABALLERO et al., 2005).

A enzima protease rompe a estrutura do glúten durante a mistura e fermentação, resultando em propriedades reológicas pobres, pão com volume reduzido e textura inaceitável. Farinha moída de grãos de trigo danificado por insetos apresenta baixas propriedades de massa e qualidade de cozimento insatisfatório devido à degradação enzimática e degradação de proteínas de glúten (OZDEREN et al, 2008). A infestação por insetos afeta as proteínas gluteninas e gliadinas do trigo, com maior especificidade para as subunidades de gluteninas de alto peso molecular (OZDEREN et al, 2008).

### **2.3 Terra de diatomácea**

A terra de diatomácea é um sedimento amorfo, originado a partir de frústulas ou carapaças de organismos unicelulares vegetais, tais como algas microscópicas aquáticas, marinhas e lacustres, normalmente denominadas diatomitas. Por apresentarem natureza silicosa, as frústulas desenvolvem-se, indefinidamente, nas camadas geológicas da crosta terrestre. Os depósitos fossilizados são recolhidos e processados para uso comercial por secagem, trituração e moagem para criar um pó fino. A terra de diatomácea é um material leve e de baixa massa específica aparente, cuja coloração varia do branco ao cinza escuro. Este material é constituído, principalmente, por cerca de 81 a 93% de óxido de silício e impurezas, tais como argilominerais, matéria orgânica, hidróxidos, areia quartzosa e carbonatos de cálcio e de magnésio (STATHERS, 2004; KORUNIC, 1998).

A terra de diatomácea tem sido utilizada para o controle de insetos em grãos armazenados, por ser atóxica, segura para pessoas, animais e meio ambiente, ainda, apresenta a vantagem de não promover a resistência dos insetos (LORINI et al., 2002). O modo de ação dá-se pela desidratação ou dessecação, uma vez que partículas do pó aderem ao corpo dos insetos, removendo a cera epicuticular, devido à abrasão no tegumento ou a adsorção. Assim, o inseto perde água excessivamente e morre (KORUNIC, 1998).

O controle de insetos em grãos armazenados é um dos aspectos mais relevantes na etapa de pré-processamento de produtos agrícolas. Por ser efetivo, de baixo custo e de fácil manejo, o controle químico tradicional tem sido a forma mais utilizada em todo o mundo, para a proteção de grãos armazenados contra a infestação de insetos. Contudo, a crescente resistência aos agentes químicos, a

possibilidade de intoxicação dos operadores e a presença de resíduos nos alimentos, conduziram à busca de alternativas menos danosas ao homem e que proporcionassem menor impacto ambiental. A alternativa encontrada para a proteção dos grãos armazenados foi com a terra de diatomácea, que se mostra eficiente e segura (KORUNIC, 1998).

No mercado, existem formulações à base de terra de diatomácea (dióxido de sílica amorfa) cuja atividade inseticida já foi avaliada e, segundo Vardeman (2007), é eficiente para o controle de pragas em grãos armazenados. No entanto, a grande quantidade de terra de diatomácea necessária para o adequado controle de insetos, muitas vezes, resultará em variações nas propriedades dos grãos e danos mecânicos para os equipamentos (KORUNIC et al., 1996). Novas formulações de terra de diatomácea são mais eficazes do que alguns dos produtos mais antigos. Contudo, mesmo com baixas taxas de aplicação ocorrem alterações nas propriedades, quando toda a massa de grão é tratada, como diminuição do fluxo e aumento da densidade (KORUNIC et al., 1998). Em função dos efeitos negativos nas propriedades físicas dos grãos, o interesse em utilizar terra de diatomácea cresceu, principalmente, como tratamento de superfície de grãos armazenados no controle de insetos. A eficácia deste composto pode ser afetada pelas condições do ambiente em que os grãos são armazenados. Em geral, diminui com o aumento da umidade relativa e a umidade dos grãos, mas aumenta com a temperatura (STATHERS, 2004).

Segundo Miranda et al. (1999), os pós inertes utilizados em grãos de trigo não provocam alterações na qualidade da farinha, porém ocorre redução do peso hectolitro e aumento do tempo de moagem dos grãos tratados. O emprego desses produtos no armazenamento de trigo deve ser indicado no momento da comercialização, pois pode afetar a classificação comercial do grão. A aplicação de formulações de terra de diatomácea em grãos inteiros de trigo, triticale, cevada, aveia, milho e feijão deixam os mesmos com aparência fosca, esbranquiçada e sem brilho natural. Grãos tratados com pós inertes não apresentam riscos no seu manuseio e processamento. Entretanto, a detecção e a quantificação da terra de diatomácea aplicada não são de fácil visualização nos produtos de moagem (VARDEMAN, 2007).

Embora existam trabalhos sobre a aplicação de terra de diatomácea em trigo, a literatura não apresenta informações sobre a quantidade de resíduo que

permanece na farinha após a moagem do grão, mesmo com retirada parcial na etapa de limpeza (ATUI et al., 2003). Estudos para quantificar os resíduos de terra de diatomácea na farinha de trigo são de interesse da indústria e de laboratórios oficiais de análise de alimentos.

A palavra silício provém do latim *silex*, rocha constituída de sílica (dióxido de silício) amorfa hidratada e sílica microcristalina. O silício é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre com 27% em massa, superado apenas pelo oxigênio. O elemento não é encontrado na sua forma elementar na natureza, devido à sua alta afinidade pelo oxigênio. É encontrado somente em formas combinadas, como a sílica e minerais silicatados. O método clássico para determinação do conteúdo de silício (Si) total em diversos materiais tem sido por meio da conversão de silicatos insolúveis em silicato de sódio solúvel. O Si pode ser determinado pelos métodos de espectrometria de emissão gravimétrica, colorimetria e absorção atômica. Também, pode ser determinado por gravimetria após a digestão ácida (SRIPANYAKORN et al., 2005). O sucesso da aplicação do método colorimétrico está condicionado na dissolução da sílica presente nos materiais. As técnicas utilizadas estão baseadas na fusão da amostra com substâncias alcalinas, como carbonato de sódio e hidróxido de sódio e fluorização, em presença de excesso de ácido bórico (ELLIOTT, 1991).

O método colorimétrico do azul de molibdênio é um dos mais utilizados para a determinação de silício. O método consiste na formação do complexo molibdo-silícico reduzido ou azul-de-molibdênio. Este método depende da acidez do meio, parâmetro este capaz de minimizar a influência de espécies interferentes. Quando a interferência se deve ao fosfato, o ácido oxálico tem sido frequentemente empregado como agente mascarante. Outro aspecto de importância se relaciona à acidez da amostra, pois, existem situações em que o meio ácido é necessário e outras em que a adição de ácido não é recomendada (FERREIRA et al., 1987).

## REFERÊNCIAS

ABID, H.; ALI, A.; HUSSAIN, A. Suitability of different wheat varieties grown in NWFP for bread making and effects of falling number on storage. *Pakistan Journal of Nutrition*, v. 8, n. 5, p. 616-619, 2009.

AJA, S.; PE´REZ, G.; ROSELL, C.M. Wheat damage by *Aelia* spp. and *Erygaster* spp.: effects on gluten and water-soluble compounds released by gluten hydrolysis. *Journal of Cereal Science*, v. 39, n. 1, p. 187-193, 2004.

ATUI, M. B.; LAZZARI, F. A. LAZZARI, S. M. N. Avaliação de metodologia para detecção de resíduos de terra diatomácea em grãos de trigo e farinha. *Instituto Adolfo Lutz*, São Paulo, v.62, n. 1, p. 11-16, 2003.

BEQUETTE, R. K. Influence of variety and environment on wheat quality. *Association of operative millers-bulletin*, p. 5443-5450, may 1989.

BELEIA, A. **Níveis de alfa-amilase de farinhas de algumas cultivares de trigos brasileiros**. EMBRAPA, 1982 (Boletim de Pesquisa, 5).

BETTGE, A.; RUBENTHALER, G. L.; POMERANZ, Y. Alveograph algorithms to predict functional properties of wheat in bread and cookie baking. *Cereal Chemistry*, v. 66, n. 2, p. 81-86, 1989.

BHATTACHARYA, K.; RAHA, S. Deteriorative changes of maize, groundnut and soybean seeds by fungi in storage. *Mycopathologia*, v. 155, n. 3, p. 135-141, 2002.

BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 1992. 365 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SARC nº 7 de 15 de agosto de 2001. Aprova o regulamento técnico de identidade e qualidade do trigo. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 21 de agosto de 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 8, 03 jun. 2005. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 03 jun. 2005, Seção 1, n. 105, 9.91.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria SVS Nº 74, de 4 de agosto de 1994. Estabelece limite de fragmentos de insetos em farinha de trigo e derivados e as

metodologias a serem adotadas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 5 de agosto de 1994.

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

CABALLERO, P.A.; BONET, A.; ROSELL, C.M.; GO´MEZ, M. Effect of microbial transglutaminase on the rheological and thermal properties of insect damaged wheat flour. **Journal of Cereal Science**, v. 42, n. 1, p. 93-100, 2005.

CARVALHO JUNIOR, A. Interpretação dos resultados de análises de farinha de trigo e conseqüências em sua utilização. **Núcleo de desenvolvimento e tecnologia**, Granotec, 1999.

CIACCO, C. F.; CHANG, Y. K. **Tecnologia de massas alimentícias**. São Paulo, Secretaria da Indústria e Comércio. Ciência e Tecnologia, (série Tecnologia Agroindustrial), 1982.

DIGVIR, S. JAYAS; PRABAL, K. GHOSH; JITENDRA P.;CHITHRA K. Quality evaluation of wheat. **Machine vision**, 2008. p. 350-376.

DOBRAZCZYK, B. J.; MORGENSTERN, M. P. Rheology and the breadmaking process. **Journal of Cereal Science**, v. 38, n. 2, p. 229-245, 2003.

ELIAS, M.C. Fatores que influenciam a aeração e o manejo da conservação de grãos. In: LORINI, I.; MIIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. (Ed.) **Armazenagem de grãos**. Campinas: IBG, 2002. p. 311-359.

ELLIOTT, C. L.; SNYDER G. H. Autoclave-Induced Digestion for the Colorimetric Determination of Silicon in Rice Straw? **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 39, p.1118-1119, 1991.

FERREIRA, J. R.; KRONKA, E. A. M.; JACINTHO, A. O. Determinação de silício em águas naturais pelo método azul de molibdênio através de sistemas de análise por injeção em fluxo. **Revista Química Nova**, v. 10, n. 14, p. 270-273, 1987.

FLEURAT-LESSARD, F. Qualitative reasoning and integrated management of the quality of stored grain: a promising new approach. **Journal of Stored Products Research**, v.38, p. 191-218, 2002.

GERMANI, R. & MAZZARI, M. **Efeitos do tempo de estocagem do trigo em grão e da farinha de trigo na qualidade tecnológica da farinha**. ENBRAPRA-CTAA, novembro, 1990.

GUTKOSKI, L. C.; et al. Efeito do 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.

GUTKOSKI, L. C.; et al. Características tecnológicas de genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivados no cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 786-792, 2007.

GUTKOSKI, L. C.; ROSA FILHO, O.; TROMBETTA, C. Correlação entre o teor de proteínas em grãos de trigo e a qualidade industrial das farinhas. **BOLETM CEPPA**, v. 20, n. 1, p. 29-40, 2002.

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

HOSENEY, C. R. **Princípios de Ciência y Tecnologia de los Cereales**. Zaragoza: ACRI Bia, 1991.

JOOD, S.; KAPOOR, A. C.; SINGH, R. Mineral contents of cereal-grains as affected by storage and insect infestation. **Journal of Stored Products Research**, v. 28, n. 3, p. 147-151, 1992.

JOOD, S.; KAPOOR, A. C.; SINGH, R. Effect of Insect Infestation and Storage on Lipids of Cereal Grains. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.44, n. 6, p. 1502-1506, 1996.

KORUNIC, Z.; CENKOWSKI, S.; FIELDS, P. Grain bulk density as affected by diatomaceous earth and application method. **Postharvest Biology and Technology**, v. 13, n. 1, p. 81-89, 1998.

KORUNIC, Z. et al. The effect of diatomaceous earth on grain quality. **Postharvest Biology and Technology**, v.9, n. 3, p. 373-387, 1996.

KORUNIC, Z. Diatomaceous earths, a group of natural insecticides. **Journal of Stored Products Research**, v. 34, n. 23, p. 87-97, 1998.

LORINI, I. **Manual técnico para o manejo integrado de pragas de grãos de cereais armazenados**. Passo Fundo: Embrapa, p.16-20, 2003.

LORINI, I.; GALLEY D.J. Deltamethrin resistance in *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: *Bostrichidae*), a pest of stored grain in Brazil. **Journal of Stored Products Research**, v. 35, n. 1, p. 37-45, 1999.

LORINI, I. Manejo integrado de pragas de grãos armazenados. In: LORINI, I.; MIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. (Ed) **Armazenagem de grãos**. Campinas: IBG, 2002. p. 607-621.

LUKOW, O. M.; WHITE, N. D. G.; SINHA, R. N. Influence of ambient storage conditions on the breadmaking quality of two hard red spring wheats. **Journal of Stored Products Research**, v. 31, n. 4, p. 279-289, 1995.

MIRANDA, M. Z.; LORINI, I.; GUARIENTI, E. M. Efeitos de pós inerentes usados no controle de insetos de grãos armazenados sobre características de qualidade de trigo. In XVIII Reunião Nacional de Pesquisa de Trigo, Embrapa, **Anais**, Passo Fundo, 1999. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. p. 406-411.

OLIVER, J. R.; ALLEN, H. M. The prediction of hacad performance using the farinograph and estensograph. **Journal of Cereal Science**, v. 15, n. 2, p. 79-89, 1992.

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 Alimentos**, v. 30, p.55-59, 2010.

OZDEREN, T. L.; OLANCA, B.; SANAL, T.; OZAY, D. S.; KOKSEL, H. Effects of suni-bug (*Eurygaster* spp.) damage on semolina properties and spaghetti quality characteristics of durum wheats (*Triticum durum* L.). **Journal of Cereal Science**, v. 48, n. 2, p. 464-470, 2008.

PEDERSEN, J. Storage of cereal grains. **Cereal Chemistry**, v. 24, n. 2, p. 435-489, 1994.

PETERSON, C. J.; SHELTON, D. R.; MARTIN, T. J.; SEARS, R. G. WILLIAMS E.; GRAYBOSCH, R. A. Grain color stability and classification of hard white wheat in the US. **Euphytic**, v. 119, n. 2, p. 101–106, 2001.

PEREZ-MENDONZA, J.; et al. Detection of insect fragments in wheat flour by near-infrared spectroscopy. **Journal of Storead Products Research**, v. 32, p. 305-312, 2003.

PINTO, U. M.; FARONI, L. R. D.; ALVES, 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.

RYAM, M. H.; DERRICK, J. W. & DANN, P. R. Grain mineral concentrations and yield of wheat grown under organic and conventional management. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, p. 207-216, 2004.

SÁNCHEZ-MARIÑEZ, R. I.; CORTEZ-ROCHA, M. O.; ORTEGA-DORAME, F.; MORALES-VALDES, M.; SILVEIRA, M. I. End-Use Quality of Flour from *Rhizopertha dominica* Infested Wheat. **Cereal Chemistry**, v. 74, n.4, p.481–483, 1997.

SANTOS, A. K.; FARONI, L. R. D. A.; GUEDES, R. N. C.; SANTOS, J. P. DOS; ROZAZDO, A. F. Nível de dano econômico de *Sitophilus zeamais* (M.) em trigo armazenado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.273-279, 2002.

SEOK-HO PARK; FRANK, H. A.; SCOTT, R. B.; TILMAN, J. S. Impact of differing population levels of *Rhizopertha dominica* (F.) on milling and physicochemical

properties of sorghum kernel and flour. **Journal of Stored Products Research**, v.44, n. 4, p.322– 327, 2008.

ŠIMIĆ, G.; HORVAT, D.; JURKOVIĆ, Z.; DREZNER, G.; NOVOSELOVIĆ, D.; DVOJKOVIĆ, K. The genotype effect on the ratio of wet gluten content to total Wheat grain protein. **Journal of Central European Agriculture**, v. 7, n. 1, p. 122-128, 2006.

SRIPANYAKORN, S.; JUGDAOHSINGH, R.; THOMPSON, R. P. H.; POWELL, J. J. Dietary silicon and bone health. **Nutrition Bulletin**, v. 30, n. 3, p. 222-230, 2005.

STATHERS, T. E.; DENNIFF, M.; GOLOB, P. The efficacy and persistence of diatomaceous earth admixed with commodity against four tropical stored product beetle pests. **Journal of Stored Products Research**, v. 40, n. 3, p. 113-123, 2004.

TORBICA M. ANTOV J. MASTILOVIC´ D. KNEZEVIC´ The influence of changes in gluten complex structure on technological quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Food Research International**, v. 40, p. 1038–1045, 2007.

VARDEMAN, E. A.; ARTHUR, F. H.; NECHOLS, J. R.; CAMPBELL, J. F. Efficacy of surface applications with diatomaceous earth to control *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) in stored wheat. **Journal of Stored Products Research**, v. 43, p. 335–341, 2007.

**3 ESTUDO 1 – PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS DE GRÃOS DE TRIGO INFESTADOS COM *Rhizopertha dominica* E ARMAZENADOS NO SISTEMA CONVENCIONAL**

## PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS DE GRÃOS DE TRIGO INFESTADOS COM *Rhizopertha dominica* E ARMAZENADOS NO SISTEMA CONVENCIONAL

### RESUMO

Dentre os diversos fatores que afetam a qualidade da farinha, pode-se destacar a infestação por insetos, que, além de reduzir a qualidade das proteínas dos cereais debilitam o glúten, reduzem as propriedades tecnológicas e as condições sanitárias. Objetivou-se, com o trabalho, avaliar as propriedades físico-químicas e tecnológicas da farinha de grãos de trigo infestados com *Rhizopertha dominica* e armazenados no sistema convencional pelo período de 240 dias. O trabalho foi realizado com amostra de grãos de trigo (*Triticum aestivum* L) do cultivar Abalone. O trigo foi infestado com densidades populacionais de zero, 4, 24 e 48 insetos por 8 kg e armazenado por 240 dias, em condições controladas de temperatura e umidade relativa (25 °C e 70 ± 5%, respectivamente). Na instalação do experimento e a cada 60 dias de armazenamento foi coletado 2 kg de grãos de trigo de cada densidade populacional e realizada as análises de umidade, peso do hectolitro, cinzas, proteínas, lipídios e acidez graxa e na farinha número de queda, teor de glúten, cor, alveografia, farinografia, panificação experimental. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 4 x 5 (quatro níveis de infestação x cinco períodos de armazenamento), sendo realizadas três repetições para cada tratamento. Os resultados foram analisados através do emprego da ANOVA e nos modelos significativos as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Também foi realizada análise de regressão entre as variáveis respostas pelo emprego do programa estatístico Sisvar<sup>®</sup> Versão 5.3. As análises e os gráficos das equações de regressão foram elaborados com o auxílio do programa Origin<sup>®</sup> 5.0. A infestação com *Rhizopertha dominica* com níveis de zero, 4, 24 e 48 insetos em grãos de trigo pelo período de 240 dias de armazenamento reduziu a qualidade físico-química e tecnológica dos grãos de trigo.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*. Armazenamento. Glúten. Qualidade industrial.

### 3.1 INTRODUÇÃO

No período pós-colheita, ocorre uma série de reações físico-químicas que completam a maturação do grão e podem provocar modificações na qualidade do trigo. Essa qualidade pode ser prejudicada quando não ocorre um devido controle de pragas durante o período de armazenamento, debilitando, assim as propriedades do

glúten, reduzindo a qualidade tecnológica da farinha de trigo (ELIAS, 2002; GUTKOSKI et al., 2008).

Segundo Aja et al. (2004), existem muitos fatores que podem ocasionar a deterioração dos grãos após a colheita. A composição e as características dos grãos (forças internas), que são variáveis, encontram-se submetidas às forças externas, entre elas os fatores físicos e os agentes biológicos. Ocorre uma grande perda de grãos armazenados no período pós-colheita, ou seja, no período de armazenamento, onde o grão está sujeito ao ataque de insetos e fungos, que contribuem para a redução da qualidade e quantidade dos produtos armazenados.

As perdas de grãos no armazenamento, estimadas pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, são aproximadamente de 10% do total produzido a cada ano. Por esta razão, cuidados constantes devem ser tomados no armazenamento de grãos para garantir a qualidade e minimizar perdas. A presença de insetos provoca perda de qualidade e de valor comercial, consumindo não apenas o grão, mas também, contaminando com seus excrementos e fragmentos de insetos imaturos (LORINI, 2002).

Grãos de cereais e seus subprodutos estão sujeitos ao ataque de pragas, que causam perdas qualitativas e quantitativas, reduzindo os valores nutritivos e comerciais do produto, as perdas podem atingir até 30% em alguns casos, sendo 10% causados, diretamente, pelo ataque de pragas durante o armazenamento. A maioria dessas pragas tem taxa de desenvolvimento capaz de multiplicar a população inicial em, pelo menos, 10 vezes por mês, sob condições ótimas (SANTOS et al., 2002). Dentre os diversos fatores que afetam a qualidade da farinha, pode-se destacar a infestação por insetos, que, além de reduzir a qualidade das proteínas dos cereais, aumenta a quantidade de ácido úrico, cria más condições higiênicas e reduz a digestibilidade das proteínas (JOOD et al., 1996).

A *Rhyzopertha dominica* (F.) é a principal praga de pós-colheita de trigo no Brasil, devido à alta densidade populacional e ao grande potencial de causar prejuízos aos grãos. Destrói consideravelmente os grãos, deixando-os perfurados e com grande quantidade de resíduos na forma de farinha, decorrente do hábito alimentar. Tanto adultos como larvas causam danos aos grãos armazenados e possuem grande número de hospedeiros, como trigo, cevada, triticales, arroz e aveia (LORINI et al., 1999; SEOK-HO PARK et al., 2008).

A infestação por *R. dominica* causa perdas de biomassa e diminuição da qualidade pelos danos causados nos grãos através da alimentação ou contaminação por fragmentos dos insetos. Também, reduz o teor de aminoácidos essenciais em trigo, milho e sorgo e diminui a germinação e vigor das sementes. Os grãos infestados são mais vulneráveis a danos causados por pragas secundárias e fungos. (LORINI et al., 1999; SEOK-HO PARK et al., 2008). O trabalho objetivou avaliar as propriedades físico-químicas e tecnológicas da farinha de grãos de trigo infestados com *Rhizopertha dominica* e armazenados no sistema convencional pelo período de 240 dias.

## **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.2.1 Material experimental**

O trabalho de pesquisa foi instalado no laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, da Universidade Federal de Pelotas e as análises realizadas no laboratório de Cereais do Centro de Pesquisa em Alimentação (CEPA) da Universidade de Passo Fundo.

O trigo (*Triticum aestivum* L) utilizado foi do cultivar Abalone, safra 2008/2009, produzido no campo experimental da empresa Biotrigo Genética Ltda., localizado no município de Passo Fundo, RS. A colheita dos grãos foi realizada com colhedora automotriz, realizada a pré-limpeza em máquina de ar e peneiras e a secagem em secador estacionário até a umidade de 13%.

### **3.2.2 Métodos**

#### **3.2.2.1 Delineamento experimental**

O experimento foi conduzido em delineamento, inteiramente casualizado em arranjo fatorial 4 x 5 (quatro níveis de infestação x cinco períodos de armazenamento), totalizando 20 tratamentos, sendo que, para cada tratamento, foram realizadas três repetições. Foram tomadas amostras de 8 kg de grãos de trigo, infestados com densidade de 0, 4, 24 e 48 (TI0, TI4, TI24 e TI48) insetos adultos

recém-emergidos de *Rhyzopertha dominica*, e armazenados em baldes plásticos, com tampa de tela para livre circulação dos gases, em ambiente com temperatura controlada de 25 °C e umidade relativa de 70 ± 5%. Nos tempos zero, 60, 120, 180 e 240 dias de armazenamento foram realizadas as análises físico-químicas e tecnológicas da farinha de trigo. Em cada período de análise foram retirados 2 kg de amostra de cada unidade experimental, peneiradas em conjunto de peneiras de malha de arame, separando os insetos dos grãos de trigo e impurezas. Na primeira peneira, com malha de 1,41 mm (Tyler 12) foram retidos os grãos de trigo e na segunda, com malha de 0,59 mm (Tyler 28), os insetos adultos, passando através destas as impurezas finas. A farinha foi obtida pela moagem dos grãos de trigo em moinho piloto Chopin, modelo CD1, França, realizada de acordo com o método nº 26-10 da AACC (2000).

### **3.2.2.2 Análises**

#### **3.2.2.2.1 Umidade**

O grau de umidade foi estabelecido através do método da estufa, a 105 ± 3°C, com circulação natural de ar, por 24 horas, de acordo com o método oficial de análises de sementes, preconizado pelo Ministério da Agricultura (BRASIL, 1992).

#### **3.2.2.2.2 Peso do hectolitro**

O peso do hectolitro foi determinado de acordo com Regras de Análise de Sementes (Brasil, 1992), pelo uso de balança marca Dalle Molle e os resultados expressos em kg hL<sup>-1</sup>.

#### **3.2.2.2.3 Cinzas**

O teor de cinzas foi determinado em grãos de trigo, realizado de acordo com o método nº 08-01 da AACC (2000). As análises foram realizadas em duplicata e os resultados expressos em porcentagem e em base seca.

#### **3.2.2.2.4 Proteínas**

O teor de proteínas foi determinado em grãos de trigo, realizado de acordo com o método n° 46-12 da AACC (2000). As análises foram realizadas em duplicata e os resultados expressos em porcentagem e em base seca.

#### **3.2.2.2.5 Lipídios**

O teor de lipídios foi determinado em grãos de trigo, realizado de acordo com o método n° 30-20 da AACC (2000). As análises foram realizadas em duplicata e os resultados expressos em porcentagem e em base seca.

#### **3.2.2.2.6 Acidez**

A acidez graxa foi determinada de acordo com o procedimento descrito pela AACC (2000), método número 58-15, pela extração de lipídios em aparelho Soxhlet e a titulação com NaOH 0,1 N. As análises foram realizadas em duplicata e os resultados expressos em porcentagem.

#### **3.2.2.2.7 Número de queda**

O número de queda foi determinado através do uso do aparelho *Falling Number* Perten Instruments (modelo Fungal, Suécia), de acordo com o método 56-81B da AACC (2000), utilizando sete gramas de amostra, corrigido para 14% de umidade.

#### **3.2.2.2.8 Glúten**

O teor de glúten foi determinado através do uso do aparelho Glutomatic Perten Instruments (modelo 2200, Suécia), de acordo com o método 38-12 da AACC (2000), utilizando dez gramas de amostra, corrigido para 14% de umidade e realizado em duplicata, sendo obtidos os valores de glúten úmido, glúten seco e índice de glúten.

### **3.2.2.2.9 Cor**

A cor das amostras de farinha de trigo foi determinada em aparelho espectrofotômetro HunterLab® (modelo ColorQuest II Sphere, Inglaterra), com sensor ótico geométrico de esfera, realizado de acordo com o método n° 14-22 da AACC (2000), em triplicata e os valores expressos em L\* (luminosidade) e coordenada de cromaticidade +b\* (amarelo).

### **3.2.2.2.10 Alveografia**

As características viscoelásticas da massa de farinha de trigo foram determinadas no aparelho Alveógrafo Chopin (modelo NG, França), realizado de acordo com o método n° 54-30 da AACC (2000), através da pesagem de 250 gramas de farinha e volume de 129,4 mL de água, corrigido na base de 14% de umidade. Os parâmetros obtidos nos alveogramas são tenacidade (P), que mede a sobrepressão máxima exercida na expansão da massa (mm); extensibilidade (L), que mede o comprimento da curva (mm) e energia de deformação da massa (W), que corresponde ao trabalho mecânico necessário para expandir a bolha até a ruptura, expressa em  $10^{-4}$  J.

### **3.2.2.2.11 Farinografia**

As características de mistura da massa de farinha de trigo foram determinadas no aparelho Promilógrafo Max Egger (modelo T6, Áustria), pelo uso de 100 g de farinha de trigo e realizado de acordo com o método n° 54-21 da AACC (2000). Os parâmetros avaliados foram absorção de água, que indica a qualidade da farinha pela capacidade de intumescimento do glúten; tempo de desenvolvimento, que corresponde ao intervalo decorrente desde a primeira adição de água até o ponto de máxima consistência (pico); estabilidade, definida como a diferença de tempo entre o ponto em que o topo da curva intercepta a linha média e o ponto da curva que deixa a linha.

### **3.2.2.2.12 Panificação experimental**

O teste de panificação experimental foi realizado de acordo com o método nº 10-80B da AACCC (2000), com adaptações proposta por Gutkoski & Jacobsen Neto (2002). Na formulação foi utilizado farinha (100%), gordura vegetal hidrogenada (3%), sal refinado (1,75%), ácido ascórbico (0,01%), açúcar (5%), fermento biológico (3%) e água a 4°C, adicionada de acordo com a absorção no promilógrafo. Os ingredientes foram misturados na misturadora marca Kitchen Aid, modelo K5SSWH2, na velocidade média por sete minutos. Adicionou-se o fermento biológico e misturou-se por mais seis minutos. A massa foi retirada da misturadora, dividida em porções de 150 g, sendo estas colocadas em formas de tamanho padrão e deixada em descanso por dez minutos. Na operação de fermentação, as massas foram colocadas em câmara marca Multipão, regulada na temperatura de  $30 \pm 1$  °C e umidade relativa de 80%. O monitoramento foi realizado pelo uso de termo-higrógrafo. O cozimento foi realizado no forno, marca Labor Instruments, modelo QA 226, regulado na temperatura de 220 °C por 18 minutos, e, após, os pães esfriarem por uma hora foram realizadas as análises.

### **3.2.2.2.13 Avaliação dos pães**

A avaliação do volume dos pães foi determinada em aparelho marca Vondel, pelo deslocamento de sementes de canola e o volume específico calculado pela relação entre o volume do pão assado e a sua massa, obtida por pesagem em balança semi-analítica. A determinação do volume específico foi realizada uma hora após o cozimento dos pães, com três repetições e os resultados expressos em  $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$ . A avaliação do escore de pontos dos pães foi realizada por provadores treinados e utilizada a escala de pontos para as características cor da crosta, forma e simetria, características da crosta, aspectos de quebra da crosta, textura do miolo, cor do miolo, aroma e sabor, conferindo-lhes, a partir destes resultados, um valor (escore de pontos) com pontuação máxima de 100, realizado de acordo com a metodologia proposta por El-Dash (1978).

### 3.2.3 Análise estatística

Os resultados foram analisados através do emprego da ANOVA e nos modelos significativos as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Também foi realizada análise de regressão entre as variáveis respostas pelo emprego do programa estatístico Sisvar® Versão 5.3, Build 75 (Ferreira, 2010). As análises e os gráficos das equações de regressão foram elaborados com o auxílio do programa Origin 5.0.

## 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.3.1 Composição química

Os quadrados médios da análise de variância para tempo de armazenamento revelaram efeito significativo nas determinações de proteínas, lipídios, cinzas e umidade. Para níveis de infestação com *Rhyzopertha dominica* e interação tempo x insetos foram significativas as determinações proteínas, lipídios e umidade (Tabela 1). Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Sánchez-Mariñez et al. (1997), em estudo similar realizado com grãos de trigo infestados com *Rhyzopertha dominica*.

Tabela 1 - Análise de variância para proteínas, lipídios, cinzas e umidade em grãos de trigo infestados com *Rhyzopertha dominica* e armazenados pelo período de 240 dias.

| Fonte de variação | GL | Quadrado médio |          |                     |         |
|-------------------|----|----------------|----------|---------------------|---------|
|                   |    | Proteínas      | Lipídios | Cinzas              | Umidade |
| Tempo (dias)      | 4  | 8,25*          | 0,19*    | 0,065*              | 0,62*   |
| Insetos           | 3  | 0,33*          | 0,015*   | 0,002 <sup>ns</sup> | 5,16*   |
| Tempo x insetos   | 12 | 0,09*          | 0,008*   | 0,004 <sup>ns</sup> | 0,08*   |
| Total             |    | 39             | 39       | 39                  | 39      |
| CV (%)            |    | 1,13           | 2,68     | 4,81                | 0,66    |

GL - Graus de liberdade; CV - Coeficiente de variação (%); \* - Significativo a 5% de probabilidade ( $p \leq 0,05$ ); ns - não significativo a 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ).

A Fig. 1a mostra o efeito da densidade populacional de *Rhyzopertha dominica* sobre o teor de proteínas totais dos grãos de trigo ao longo do período de armazenamento. Observa-se que, quanto maiores a densidade inicial de *Rhyzopertha dominica* e o período de armazenagem, maior foi o teor de proteínas totais. O acréscimo no teor de proteínas totais devido à infestação com *Rhyzopertha dominica* pode ser explicado pela proteólise e, também, pela alimentação dos insetos, que reduz o conteúdo de carboidratos, ocasionando aumento percentual do conteúdo protéico.

A análise estatística mostrou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para o teor de proteínas, durante o período de armazenamento estudado, e, em função da infestação com *Rhyzopertha dominica*. Os modelos de regressão foram significativos nos vinte tratamentos estudados, sendo utilizados, no ajuste, os termos quadráticos, com coeficientes de determinação acima de 0,92. Os resultados obtidos no presente trabalho estão de acordo com Aja et al. (2004) e Seok-Ho Park et al. (2008), os quais, também, verificaram aumento no teor de proteínas com o período de armazenamento e infestação de insetos.

A análise estatística mostrou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para os teores de lipídios, durante o período de armazenamento estudado, e, em função da infestação com *Rhyzopertha dominica* (Fig. 1b). Os modelos de regressão foram significativos nos vinte tratamentos estudados, sendo utilizados, no ajuste, os termos quadráticos, com coeficientes de determinação acima de 0,94. Com o aumento do tempo de armazenamento e a infestação com *Rhyzopertha dominica* ocorreu redução no teor de lipídios em todos os tratamentos estudados. Os menores valores foram verificados no tratamento TI48.

Os lipídios presentes nos grãos estão na forma de triglicerídios e a sua hidrólise para ácidos graxos livres e glicerol durante o armazenamento é resultante da respiração do próprio grão, processos de oxidação, ação de enzimas e deterioração por insetos (SEOK-HO PARK et al., 2008). Este é o constituinte químico do grão mais suscetível à deterioração e o grau de degradação é indicador de conservabilidade durante o período de armazenamento. Os resultados obtidos no presente trabalho estão de acordo com Jood et al. (1996), os quais também, verificaram diminuição no teor de lipídios com o aumento nos níveis de infestação de insetos, citando que a redução no teor de lipídios e o aumento no teor de ácidos

graxos livres estão, diretamente correlacionados, com a velocidade e intensidade do processo deteriorativo dos grãos.

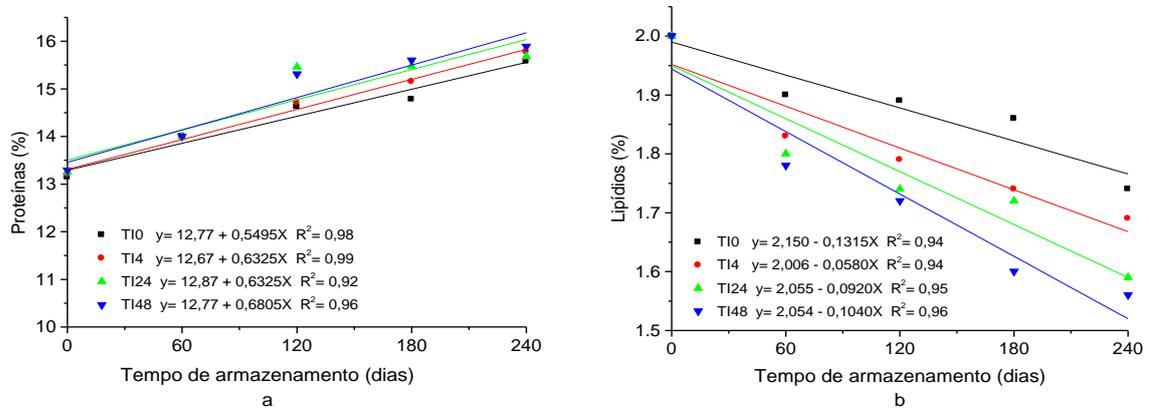


Figura 1 - Teor de proteínas (a) e lipídios (b) (%) em grãos de trigo infestados com *Rhizopertha dominica* e armazenados, pelo período de 240 dias.

A análise estatística mostrou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para os teores de cinzas durante o tempo de armazenamento estudado, e não significativa ( $p > 0,05$ ) para infestação com *R. dominica* e interação tempo x insetos (Fig. 2). O modelo de regressão foi significativo para tempo de armazenamento, sendo utilizados, no ajuste, os termos quadráticos, com coeficiente de determinação de 0,93. Com o aumento do tempo de armazenamento e a infestação com *R. dominica* ocorreu redução no teor de cinzas em todos os tratamentos estudados, os menores valores foram verificados com o nível de infestação de 48 insetos. Os resultados estão de acordo com os obtidos por Jood et al. (1992), os quais observaram que no mais alto nível de infestação (75%) com *R. dominica* ocorreu aumento significativo ( $P < 0,05$ ) no teor de cinzas em grãos de trigo e sorgo, devido à perda do conteúdo do endosperma. As variações no conteúdo mineral estão relacionadas com a distribuição dos componentes dos grãos e do modo de alimentação dos insetos.

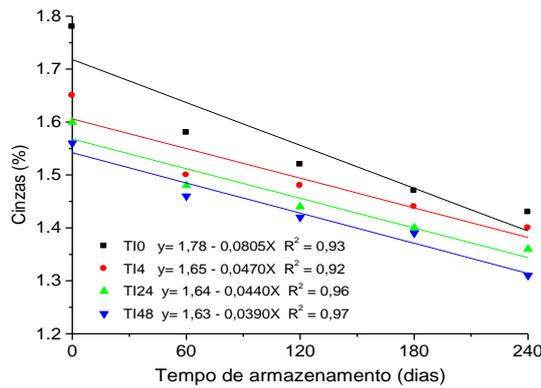


Figura 2 - Teor de cinzas (%) em grãos de trigo infestados com *Rhyzopertha dominica* e armazenados, pelo período de 240 dias.

A umidade dos grãos de trigo variou significativamente tanto para o tempo de armazenamento, níveis de infestação com *Rhyzopertha dominica* quanto para a interação tempo x insetos. No tratamento TI0 a umidade dos grãos ficou na faixa de 11,0% (Tabela 2). A Tabela, também, apresenta o efeito da densidade populacional de *Rhyzopertha dominica* sobre o teor de umidade dos grãos de trigo ao longo do período de armazenamento, houve um acréscimo no teor de umidade da massa de grãos de trigo em todos os tratamentos, comparando com o tratamento controle. Resultados semelhantes foram obtidos por Pinto et al. (2002). Sánchez-Mariñez et al. (1997) relatam que a elevação do teor de umidade se deve ao metabolismo dos insetos.

Tabela 2 - Teor de umidade (%) em grãos de trigo infestados com *Rhyzopertha dominica* e armazenados pelo período de 240 dias.

| Armazenamento<br>(dias) | Número de insetos    |                       |                       |                       |
|-------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                         | Zero                 | 4                     | 24                    | 48                    |
| 0                       | B 11,20 <sup>b</sup> | A 12,67 <sup>a</sup>  | A 12,65 <sup>a</sup>  | A 12,78 <sup>a</sup>  |
| 60                      | C 10,29 <sup>c</sup> | B 12,05 <sup>c</sup>  | AB 12,05 <sup>b</sup> | A 12,27 <sup>b</sup>  |
| 120                     | B 11,02 <sup>b</sup> | A 12,39 <sup>b</sup>  | A 12,59 <sup>a</sup>  | A 12,57 <sup>a</sup>  |
| 180                     | B 11,77 <sup>a</sup> | A 12,48 <sup>ab</sup> | A 12,57 <sup>a</sup>  | A 12,63 <sup>a</sup>  |
| 240                     | C 11,02 <sup>b</sup> | B 12,39 <sup>b</sup>  | A 12,63 <sup>a</sup>  | AB 12,60 <sup>a</sup> |

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

### 3.3.2 Características físicas e químicas

Os quadrados médios da análise de variância para acidez graxa, peso do hectolitro, glúten úmido, glúten seco e índice de glúten apresentaram efeito significativo para variável tempo de armazenamento. No nível de infestação com *Rhizopertha dominica* e interação tempo x insetos revelaram efeito significativo nas determinações de acidez graxa, peso do hectolitro, glúten úmido e índice glúten (Tabela 3).

Tabela 3 - Análise de variância para acidez graxa (AG), peso do hectolitro (PH), glúten úmido (GU), glúten seco (GS) e índice de glúten (IG) de farinha de grãos de trigo infestados com *Rhizopertha dominica* e armazenados, pelo período de 240 dias.

| Fonte de variação | GL             | AG      | PH     | GU      | GS                  | IG     |
|-------------------|----------------|---------|--------|---------|---------------------|--------|
|                   | Quadrado médio |         |        |         |                     |        |
| Tempo (dias)      | 4              | 186,22* | 10,57* | 117,87* | 0,23*               | 88,14* |
| Insetos           | 3              | 706,11* | 0,30*  | 1,28*   | 0,008 <sup>ns</sup> | 16,03* |
| Tempo x insetos   | 12             | 45,47*  | 0,09*  | 0,63*   | 0,015 <sup>ns</sup> | 4,15*  |
| Total             |                | 39      | 59     | 39      | 39                  | 39     |
| CV (%)            |                | 1,41    | 0,24   | 1,00    | 0,77                | 0,79   |

GL - Graus de liberdade; CV - Coeficiente de variação (%); \* - Significativo a 5% de probabilidade ( $p \leq 0,05$ ); ns - não significativo a 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ).

A Fig. 3a mostra o efeito da densidade populacional de *Rhizopertha dominica* sobre o teor de acidez graxa dos grãos de trigo, ao longo do período de armazenamento. A análise estatística dos resultados demonstrou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ), durante o período de armazenamento estudado, e, em função da infestação com *Rhizopertha dominica* dos grãos de trigo. Os modelos de regressão foram significativos nos vinte tratamentos estudados, sendo utilizados, no ajuste, os termos quadráticos, com coeficientes de determinação acima de 0,92. No tratamento TI0 os valores de acidez graxa foram significativamente inferiores, quando comparados com os tratamentos TI4, TI24 e TI48.

Os resultados do presente trabalho estão de acordo com os relatados por Jood et al. (1996) os quais verificaram uma diminuição no conteúdo de lipídios e aumento da acidez graxa em grãos de trigo, milho e sorgo infestados com diferentes

níveis de *Trogoderma granarium* e *Rhizopertha dominica* durante o período de armazenamento.

A Fig. 3b mostra o efeito da densidade populacional de *Rhizopertha dominica* sobre o peso do hectolitro dos grãos de trigo, durante o período de armazenamento. A análise estatística dos resultados demonstrou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ), durante o período de armazenamento estudado, e, em função da infestação com *Rhizopertha dominica* dos grãos de trigo. Os modelos de regressão foram significativos nos vinte tratamentos estudados, utilizados, no ajuste, os termos quadráticos, com coeficientes de determinação acima de 0,80. A inclinação da reta determinada pelas equações de regressão durante o período de armazenamento foi similar para todos os tratamentos. Os resultados do presente trabalho estão de acordo com os obtidos por Seok-Ho Park et al. (2008) onde observaram que as maiores variações de PH foram com maior nível de infestação de *Rhizopertha dominica*. Os valores de PH refletem as perdas quantitativas totais, resultantes dos processos de deterioração dos grãos, devido ao seu metabolismo intrínseco, à atividade microbiana e à de pragas associadas.

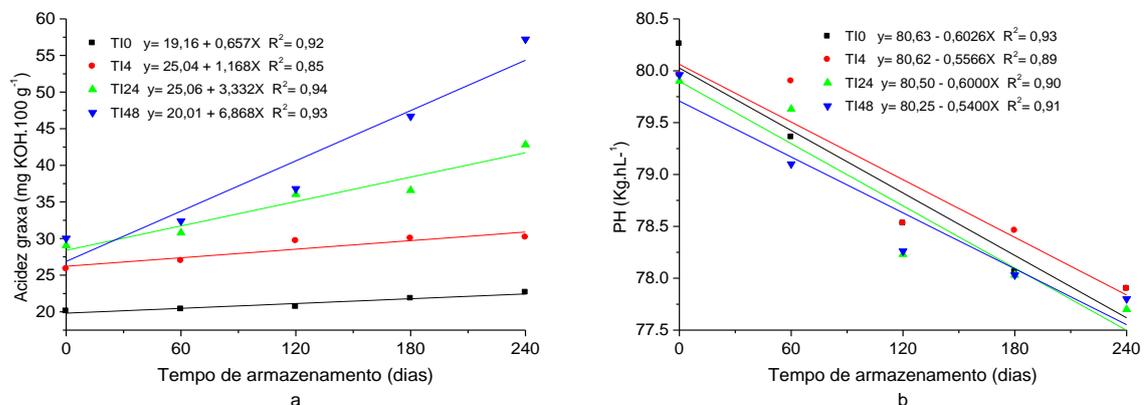


Figura 3 - Acidez graxa (mg KOH.100 g<sup>-1</sup>) (a) e peso do hectolitro Kg.hL<sup>-1</sup> de farinha de grãos de trigo infestados com *Rhizopertha dominica* e armazenados, pelo período de 240 dias.

A análise estatística mostrou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para teores de glúten úmido em todos os tratamentos estudados (Fig. 4a). As equações de regressão foram significativas, sendo utilizados, no ajuste, os termos quadráticos, com coeficientes de determinação, variando entre 0,75 e 0,81. Com o tempo de armazenamento ocorreu diminuição no teor de glúten úmido em todos os tratamentos estudados, sendo verificados menores valores para o tratamento TI48.

A Fig. 4b mostra o efeito da densidade populacional de *Rhizopertha dominica* sobre o teor de glúten seco ao longo do armazenamento. A análise estatística dos resultados demonstrou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) durante o período de armazenamento estudado, e não significativo ( $p \geq 0,05$ ) para insetos e interação tempo x insetos. A equação de regressão para tempo de armazenamento foi significativa, sendo utilizados, nos ajustes, os termos quadráticos, com coeficientes de determinação acima de 0,88.

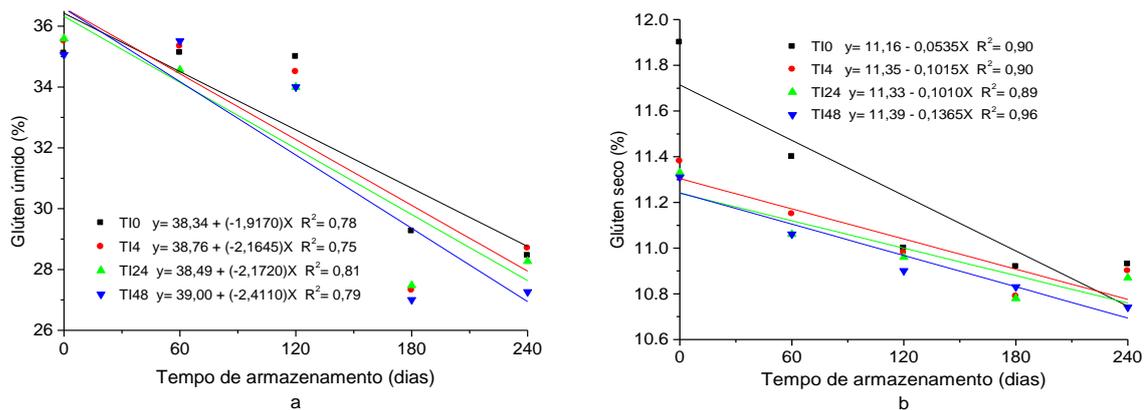


Figura 4 - Teor de glúten úmido (a) e glúten seco (b) (%) de farinha de grãos de trigo infestados com *Rhizopertha dominica* e armazenados, pelo período de 240 dias.

O índice de glúten diminuiu com o aumento da densidade populacional de *Rhizopertha dominica* ao longo do período de armazenamento, estimando-se que a cada 60 dias tenha ocorrido decréscimo de 1,79, em média, sendo significativo em todos os modelos de regressão estudados, com coeficientes de determinação entre 0,79 e 0,93 (Fig. 5). Observa-se que, quanto maior a densidade populacional de *Rhizopertha dominica*, menor foi o índice de glúten. Os resultados estão de acordo com os encontrados por Pinto (2002) que verificou um decréscimo no volume do sedimento com o período de armazenamento, indicando uma diminuição na qualidade do glúten. A variação no volume do sedimento implica na redução da qualidade do glúten, devido ao ataque dos insetos e, principalmente, ao aumento da umidade do produto, o que poderia ter causado um rompimento dos grânulos de amido pela ação de enzimas amilases, reduzindo, assim, a qualidade de glúten.

A explicação para a redução do índice de glúten deve-se, que, os insetos ao se desenvolverem atacam o grão de trigo e inoculam através da saliva enzimas proteolíticas. A farinha resultante é contaminada com proteases, que são, particularmente, ativas na massa, causando a hidrólise de proteínas do glúten

liberando peptídeos de baixo peso molecular. A ação das enzimas proteolíticas, presentes no inseto danifica o grão, torna-se evidente nas propriedades físicas da farinha de trigo na massa e no seu desempenho na panificação, mostrando um efeito de enfraquecimento significativo sobre o glúten. A enzima protease rompe a estrutura do glúten durante a mistura e fermentação, resultando em propriedades reológicas pobres, pão com volume reduzido e textura inaceitável (CABALLERO et al., 2005).

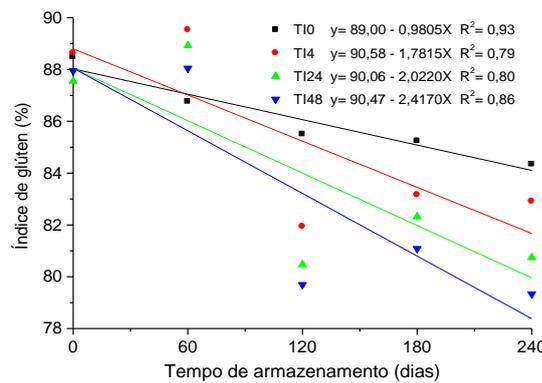


Figura 5 – Índice de glúten (%) de farinha de grãos de trigo infestados com *Rhizopertha dominica* e armazenados, pelo período de 240 dias.

Os quadrados médios da análise de variância para tempo de armazenamento, níveis de infestação de insetos e interação tempo x insetos foram significativos ( $p \leq 0,05$ ) para intensidade do componente  $L^*$  (luminosidade), cromaticidade  $+b^*$  (amarelo) e brancura  $TD^*$  de cor (Tabela 4). Os coeficientes de variação para as determinações revelaram valores de reduzida magnitude, refletindo o controle adequado das técnicas na condução do experimento, conferindo precisão e confiabilidade aos resultados obtidos neste estudo.

Tabela 4 - Análise de variância para intensidade de cor dos componentes L\* (luminosidade), +b\* (amarelo) e DE\* diferença de cor em farinha de grãos de trigo infestados com *Rhizopertha dominica* e armazenados pelo período de 240 dias.

| Fonte de variação | GL | L*     | +b*      | DE*     |
|-------------------|----|--------|----------|---------|
| Quadrado médio    |    |        |          |         |
| Tempo (dias)      | 4  | 2,98*  | 0,00372* | 0,46*   |
| Insetos           | 3  | 0,044* | 0,00015* | 0,083*  |
| Tempo x insetos   | 12 | 0,035* | 0,00005* | 0,0205* |
| Total             |    | 59     | 59       | 59      |
| CV (%)            |    | 0,06   | 0,18     | 0,27    |

GL - Graus de liberdade; CV - Coeficiente de variação (%); \* - Significativo a 5% de probabilidade ( $p \leq 0,05$ ); ns - não significativo a 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ).

Durante o período de armazenamento, a farinha de trigo tornou-se mais clara, com aumento significativo da intensidade do componente L\* (luminosidade) de cor, em que as equações de regressão TI0, TI4, TI24 e TI48 apresentaram coeficiente de determinação entre 0,81 e 0,94 (Fig. 6a). A farinha de trigo TI0 não apresentou diferença na intensidade do componente L\* de cor, durante o período de armazenamento, em comparação com a TI4, TI24 e TI48.

A coordenada de cromaticidade +b\* (amarelo) diminuiu com o aumento do tempo de armazenamento, estimando-se que, a cada 60 dias, tenha ocorrido decréscimo de 0,10, em média, sendo significativo em todos os modelos de regressão estudados, com coeficientes de determinação entre 0,80 e 0,99 (Fig. 6b). Estas alterações foram devido ao processo natural de maturação do grão de trigo. A inclinação das retas determinadas pelas equações de regressão durante o período de armazenamento foi similar para todos os tratamentos estudados. A alteração na cor resulta da oxidação natural dos pigmentos ocorrida durante o período de armazenamento, sendo que os valores variam com a extensão do branqueamento e o envelhecimento da farinha de trigo (GUTKOSKI et al., 2008; ORTOLAN et al., 2010).

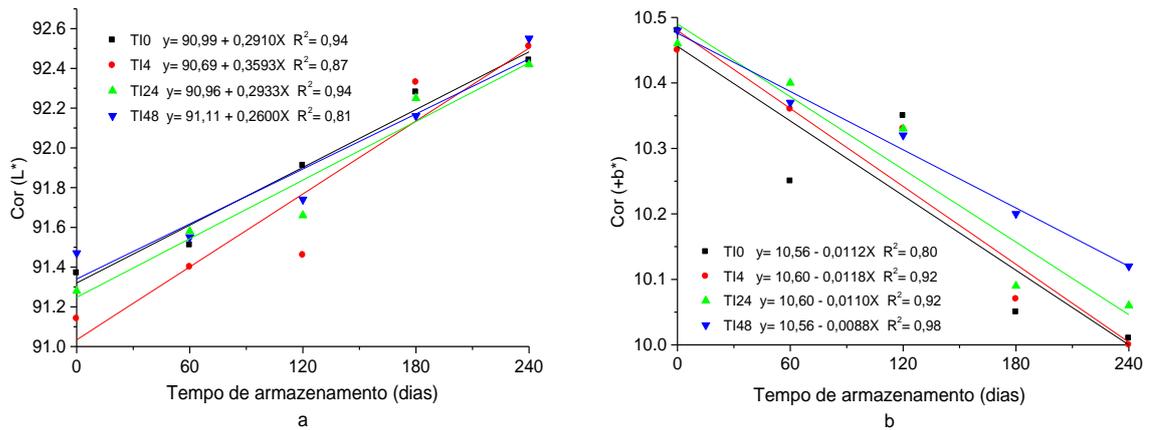


Figura 6 - Intensidade de cor do componente L\* (luminosidade) (a) e intensidade de cor do componente +b\* (amarelo) (b) da farinha de grãos de trigo infestados com *Rhizopertha dominica* e armazenados, pelo período de 240 dias.

A diferença de cor DE\* da farinha de trigo diminuiu com o aumento da densidade populacional de *Rhizopertha dominica* ao longo do período de armazenamento, estimando-se que, a cada 30 dias, tenha ocorrido decréscimo de 0,10, em média, sendo significativo em todos os modelos de regressão estudados, com coeficientes de determinação entre 0,55 e 0,87 (Fig. 7).

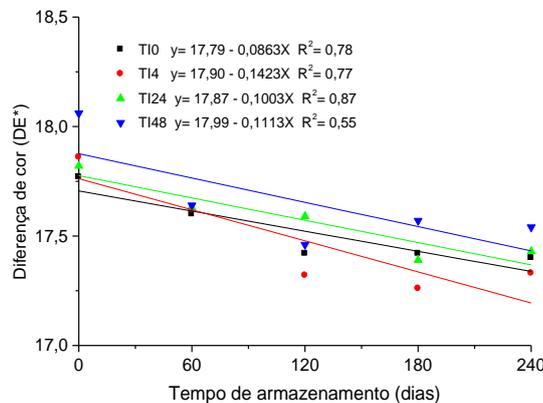


Figura 7 – Diferença de cor DE\* da farinha de grãos de trigo infestados com *Rhizopertha dominica* e armazenados, pelo período de 240 dias.

O valor do número de queda apresenta relação inversa com a atividade da alfa-amilase, ou seja, quanto maior o valor da atividade da alfa-amilase menor o valor do número de queda (ATUI et al., 2009). Neste estudo, os valores de número de queda já se encontravam elevados no início do armazenamento, não apresentando diferença significativa durante todo o período, como, também, no

aumento do nível de infestação com *Rhizopertha dominica* (Tab. 5), o que exigiu a adição de melhorador para a utilização da farinha na elaboração dos pães. Porém, a baixa atividade não é um problema de difícil solução, pois, normalmente, a formulação dos reforçadores ou melhoradores utilizados em panificação apresenta enzima alfa-amilase fúngica, com a finalidade de correção dessa deficiência na farinha de trigo (GUARIENTI, 1996).

Tabela 5 – Número de queda (segundos) de farinha de grãos de trigo infestados com *Rhizopertha dominica* e armazenados, pelo período de 240 dias.

| Armazenamento<br>(dias) | Número de insetos   |                    |                     |                     |
|-------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
|                         | Zero                | 4                  | 24                  | 48                  |
| 0                       | A 473 <sup>ab</sup> | A 474 <sup>a</sup> | A 481 <sup>ab</sup> | A 450 <sup>b</sup>  |
| 60                      | A 471 <sup>ab</sup> | A 468 <sup>a</sup> | A 491 <sup>a</sup>  | A 472 <sup>ab</sup> |
| 120                     | A 500 <sup>a</sup>  | A 481 <sup>a</sup> | A 486 <sup>ab</sup> | A 484 <sup>ab</sup> |
| 180                     | A 460 <sup>ab</sup> | A 461 <sup>a</sup> | A 449 <sup>b</sup>  | A 481 <sup>ab</sup> |
| 240                     | B 443 <sup>b</sup>  | B 453 <sup>a</sup> | B 449 <sup>b</sup>  | A 492 <sup>a</sup>  |

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A alveografia representa o trabalho de deformação da massa que indica a qualidade panificativa da farinha. Analisando os resultados obtidos na Fig. 8, verifica-se que, durante o período de armazenamento, o valor de W aumentou no tratamento T10. A equação de regressão foi significativa, sendo utilizados no ajuste, os termos quadráticos, com coeficiente de determinação 0,92. A força de glúten (W), obtida através da medida da área sob a curva no alveograma, diminuiu com o aumento do nível de infestação de *Rhizopertha dominica* durante o período de armazenamento, estimando-se que, a cada 60 dias, tenha ocorrido um decréscimo de 0,07, em média, sendo significativo em todos os modelos de regressão estudados, com coeficientes de determinação entre 0,91 e 0,99 (Fig. 8).

Tabela 6 - Força de glúten (W), relação tenacidade e extensibilidade (P/L) e estabilidade (E) da farinha de grãos de trigo infestados com *Rhizopertha dominica* e armazenados, pelo período de 240 dias.

| Armazenamento<br>(dias) | Número de insetos |      |      |      |
|-------------------------|-------------------|------|------|------|
|                         | Zero              | 4    | 24   | 48   |
| W (10 <sup>-4</sup> J)  |                   |      |      |      |
| 0                       | 226               | 227  | 225  | 226  |
| 60                      | 228               | 227  | 223  | 222  |
| 120                     | 232               | 226  | 218  | 216  |
| 180                     | 240               | 218  | 214  | 212  |
| 240                     | 259               | 212  | 208  | 205  |
| P/L                     |                   |      |      |      |
| 0                       | 1,00              | 0,98 | 0,98 | 0,97 |
| 60                      | 1,02              | 0,90 | 0,87 | 0,84 |
| 120                     | 1,00              | 0,91 | 0,86 | 0,78 |
| 180                     | 0,98              | 0,88 | 0,81 | 0,74 |
| 240                     | 1,03              | 0,84 | 0,74 | 0,68 |
| E (min)                 |                   |      |      |      |
| 0                       | 14                | 14   | 14   | 14   |
| 60                      | 14                | 13   | 13   | 13   |
| 120                     | 14                | 13   | 13   | 13   |
| 180                     | 16                | 11   | 11   | 11   |
| 240                     | 16                | 11   | 10   | 10   |

A Fig.8b mostra o efeito da densidade populacional de *Rhizopertha dominica*, ao longo do armazenamento dos grãos de trigo, sobre a estabilidade da massa medida pelo farinógrafo de Brabender. Os resultados evidenciam que houve diminuição na estabilidade da massa ao longo do armazenamento, principalmente com o aumento da densidade populacional. Aos 240 dias de armazenamento, na ausência de insetos, houve um aumento na estabilidade da massa. Os resultados de estabilidade apresentaram relação com as propriedades alveográficas, em especial à força de glúten (W). Os resultados do presente trabalho estão de acordo com os relatados por Pinto et al. (2002) os quais verificaram uma diminuição na estabilidade de farinha de trigo infestado com diferentes níveis de *Sitophilus zeamais* durante o

período de armazenamento. Sanchez-Marinez et al. (1997), avaliando a influência da infestação com *R. dominica* na qualidade da farinha, relataram que ocorreu diminuição na estabilidade das amostras infestadas em detrimento das amostras controle, indicando que a infestação afeta a qualidade protéica e reduz a capacidade do glúten formar uma estrutura forte na massa.

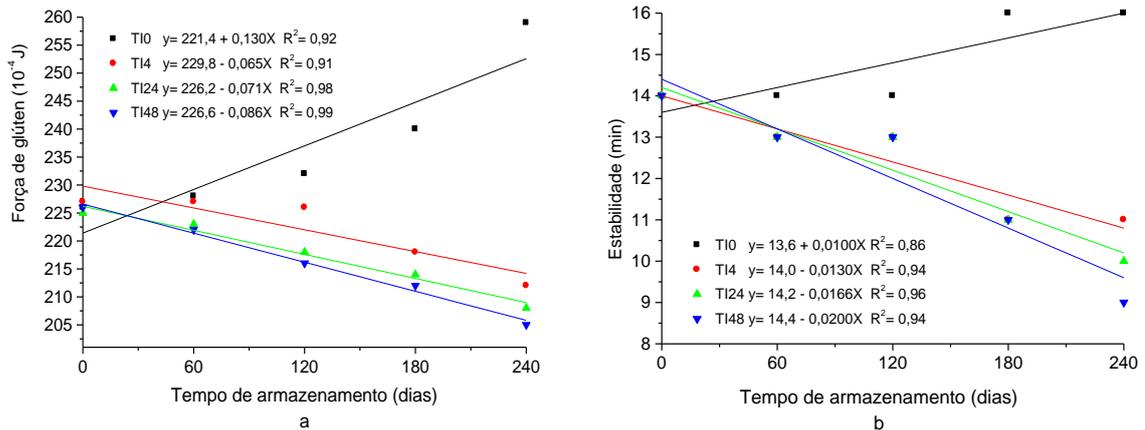


Figura 8 – Força de glúten (W) (a) e estabilidade (E) (b) da farinha de grãos de trigo infestados com *Rhyzopertha dominica* e armazenados, pelo período de 240 dias.

### 3.3.3 Características tecnológicas dos pães

Os quadrados médios da análise de variância para tempo de armazenamento, níveis de infestação de insetos e interação tempo x insetos foram significativos ( $p \leq 0,05$ ) para volume específico, características externas, características internas, aroma, sabor e escore de pontos (Tab. 7). Os coeficientes de variação para as determinações revelaram valores de reduzida magnitude, refletindo o controle adequado das técnicas na condução do experimento, conferindo precisão e confiabilidade aos resultados obtidos neste estudo.

Tabela 7 - Análise de variância para características volume específico (VE), externas (CE), características internas (CI), aroma (A), sabor (S) e escore de pontos (EP) do pão elaborado com farinha de grãos de trigo infestados com *Rhizopertha dominica* e armazenados, pelo período de 240 dias.

| Fonte de variação | GL             | VE     | CE    | CI     | A     | S      | EP      |
|-------------------|----------------|--------|-------|--------|-------|--------|---------|
|                   | Quadrado médio |        |       |        |       |        |         |
| Tempo (dias)      | 4              | 53,18* | 3,65* | 22,84* | 4,16* | 10,10* | 286,24* |
| Insetos           | 3              | 21,70* | 3,20* | 9,55*  | 4,89* | 5,56*  | 136,12* |
| Tempo x insetos   | 12             | 2,77*  | 0,73* | 4,05*  | 5,62* | 1,00*  | 27,76*  |
| Total             |                | 59     | 59    | 59     | 59    | 59     | 59      |
| CV (%)            |                | 1,27   | 1,92  | 2,35   | 4,27  | 2,33   | 2,39    |

GL - Graus de liberdade; CV - Coeficiente de variação; \* - Significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; ns - não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

No teste de panificação experimental foram determinados volume específico, características externas (cor da crosta, forma e características da crosta), características internas (porosidade, cor do miolo e textura do miolo), aroma e sabor dos pães, obtendo-se o escore de pontos.

A Fig. 9a mostra o volume específico de pães elaborados com farinha de trigo infestado com *Rhizopertha dominica*, ao longo do período de armazenamento. A análise estatística dos resultados demonstrou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ), durante o período de armazenamento estudado, e, em função da infestação com *R. dominica* dos grãos de trigo. Os modelos de regressão foram significativos nos vinte tratamentos estudados, utilizados, no ajuste, os termos quadráticos, com coeficientes de determinação acima de 0,95. Sanchez-Marinez et al. (1997), avaliando a influência da infestação com *Rhizopertha dominica* na qualidade da farinha, relataram que ocorreu diminuição no volume específico dos pães das amostras infestadas em detrimento das amostras controle, isso provavelmente pode ser atribuído a redução das propriedades da massa da farinha de trigo infestado.

O escore de pontos dos pães elaborados com farinha de trigo infestado com *Rhizopertha dominica* variou significativamente, sendo que todos os modelos de regressão foram significativos, com coeficientes de determinação entre 0,93 e 0,98 (Fig. 9b). Os pães elaborados com farinha do TI0 ficaram classificados como de boa qualidade, com valor acima de 90 no escore de pontos. Nos tratamentos TI4, TI24 e TI48 os pães apresentaram redução do escore de pontos, com classificação regular com valores inferiores a 81 (FERREIRA, 2002). Os pães elaborados com TI48

apresentaram escore de pontos inferior em comparação com T14, estando em acordo com os resultados de alveografia e intensidade de cor do componente L\*.

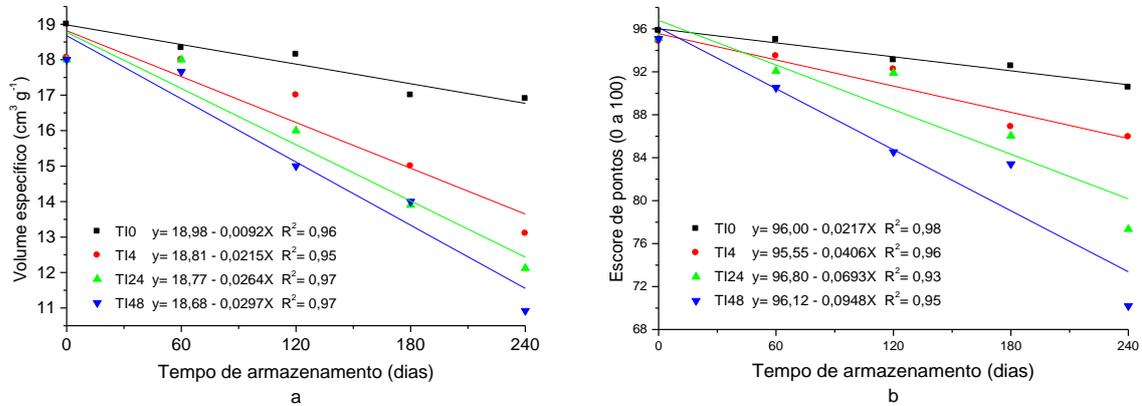


Figura 9 – Volume específico (cm<sup>3</sup> g<sup>-1</sup>) (a) e escore de pontos (0 a 100) (b) do pão elaborado com farinha de grãos de trigo infestados com *Rhizopertha dominica* e armazenados, pelo período de 240 dias.

A análise estatística mostrou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para as características externas, durante o tempo de armazenamento estudado, para a infestação com *Rhizopertha dominica* e interação tempo x insetos. O modelo de regressão foi significativo para todos os tratamentos, sendo utilizados, no ajuste, os termos quadráticos, com coeficiente de determinação de 0,67 a 0,89 (Fig. 10a).

A pontuação das características internas dos pães diminuiu com o aumento do tempo de armazenamento, estimando-se que, a cada 60 dias tenha ocorrido decréscimo de 0,83, em média, sendo significativo em todos os modelos de regressão estudados, com coeficientes de determinação, variando entre 0,62 e 0,83 (Fig. 8b). Estas alterações foram devido ao escurecimento do miolo do pão em função dos excrementos dos insetos e outras secreções do corpo deixadas na superfície ou dentro dos grãos infestados. Os resultados do presente trabalho estão de acordo com os relatados por Sanchez-Marinez et al. (1997) os quais verificaram pães com miolo denso e sem elasticidade quando comparados com os pães do tratamento controle.

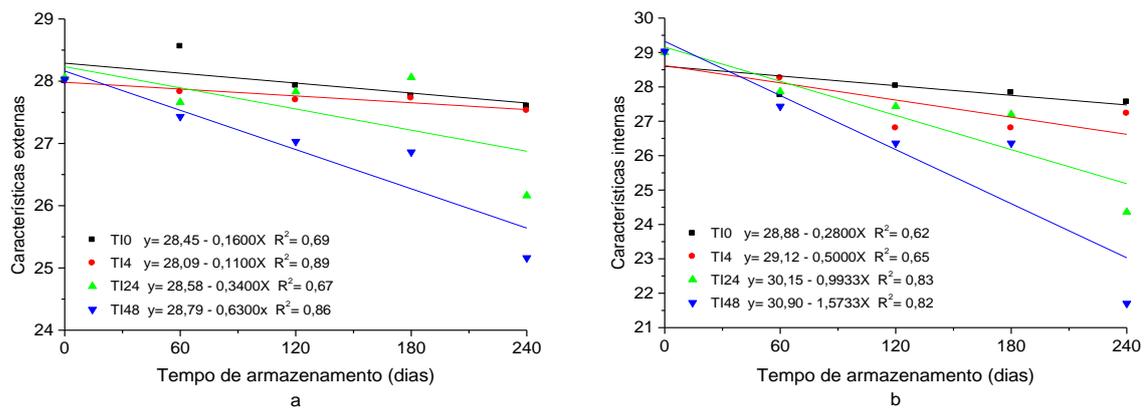


Figura 10 - Características externas (a) e características internas (b) do pão elaborado com farinha de grãos de trigo infestados com *Rhizopertha dominica* e armazenados, pelo período de 240 dias.

Os ajustes obtidos pela análise de regressão (Fig. 11a e 11b) mostram a ocorrência de diminuição na pontuação do aroma e sabor em todos os tratamentos estudados no decorrer do período de armazenamento. O tratamento T10 apresentou menor redução em relação aos tratamentos T14, T124 e T148. Os provadores descreveram que os pães dos tratamentos T14, T124 e T148 apresentaram aroma e sabor a ranço, provavelmente devido a infestação com *Rhizopertha dominica*. Os resultados do presente trabalho estão de acordo com os relatados por Sanchez-Marinez et al. (1997), sendo relatado que em todos os pães feitos com farinha de trigo infestado por insetos com *Rhizopertha dominica* foi detectado pelos provadores forte odor. O odor detectado foi provavelmente devido a presença de material estranho proveniente da infestação do trigo pelos insetos.

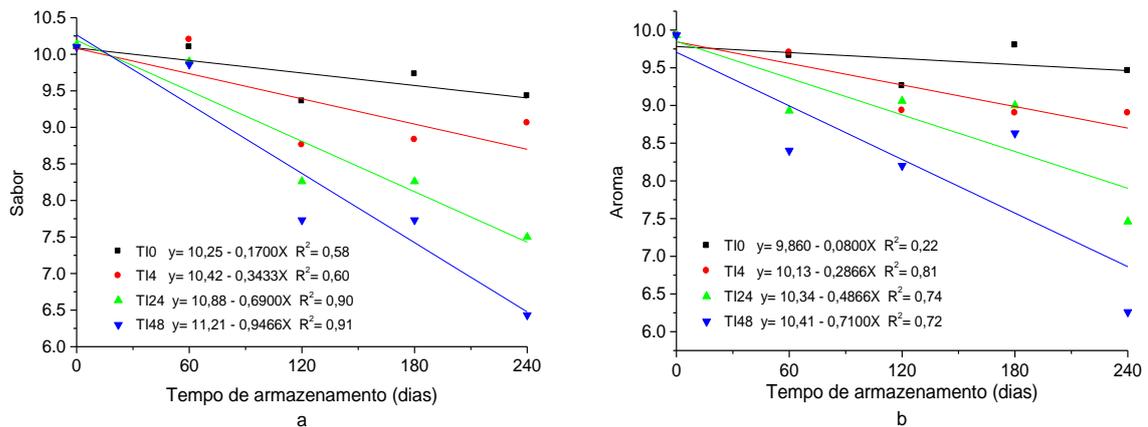


Figura 11 – Sabor (a) e aroma (b) do pão elaborado com farinha de grãos de trigo infestados com *Rhizopertha dominica* e armazenados, pelo período de 240 dias.

### 3.4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que ocorreu incremento nos teores de proteínas e acidez graxa com o aumento do nível de infestação e do período de armazenamento de trigo; no entanto, reduziram os teores de lipídios, cinzas, umidade, peso do hectolitro, glúten úmido, glúten seco e índice de glúten.

Durante o período armazenamento ocorreu aumento na intensidade do componente L\* (luminosidade) de cor, redução na coordenada de cromaticidade +b\* (amarelo) e na DE\* (diferença de cor) da farinha de trigo infestado com *Rhizopertha dominica*.

A força de glúten e a estabilidade aumentaram no tratamento controle (T10) com o período de armazenamento de 226 para 259 W x 10<sup>-4</sup> J, e de 14 para 16 min., respectivamente, ocorrendo redução nos tratamentos com densidades populacionais de 4, 24 e 48 insetos em cada 8 kg de grãos. Para número de queda não foi verificada diferença significativa quanto a infestação com *R. dominica* e período de armazenamento.

No teste de panificação experimental os valores atribuídos para as variáveis volume específico, características externas, características internas, aroma, sabor e escore de pontos reduziram com o aumento da infestação com insetos durante o período de armazenamento.

## REFERÊNCIAS

- AACC. **Approved methods of the AACC**. 10<sup>a</sup> ed. Saint Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, 2000.
- ABID, H.; ALI, A.; HUSSAIN, A. Suitability of different wheat varieties grown in NWFP for bread making and effects of falling number on storage. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 8, n. 5, p. 616-619, 2009.
- AJA, S.; PE´REZ, G.; ROSELL, C.M. Wheat damage by *Aelia* spp. and *Erygaster* spp.: effects on gluten and water-soluble compounds released by gluten hydrolysis. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 1, p. 187–193, 2004.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Regras para análise de sementes. Brasília, 1992. 365 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SARC nº 7 de 15 de agosto de 2001. Aprova o regulamento técnico de identidade e qualidade do trigo. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 21 de agosto de 2001.
- CABALLERO, P.A.; BONET, A.; ROSELL, C.M.; GO´MEZ, M. Effect of microbial transglutaminase on the rheological and thermal properties of insect damaged wheat flour. **Journal of Cereal Science**, v. 42, n. 1, p. 93–100, 2005.
- EL-DASH, A. A. Standardized mixing and fermentation procedures for experiments baking test. **Cereal Chemistry**, v. 55, n. 336, p. 436-446, 1978.
- ELIAS, M.C. Fatores que influenciam a aeração e o manejo da conservação de grãos. In: LORINI, I.; MIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. (Ed) **Armazenagem de grãos**. Campinas: IBG, 2002. p. 311-359.
- FERREIRA, S.M.R. **Controle da qualidade em sistemas de alimentação coletiva I**. São Paulo: Varela, 2002, 173 p.
- FERREIRA, D.F. Sisvar 5.3, Build 75. 2010. Disponível em: <<http://www.dex.ufla.br/danielff/sisvar>>. Acesso em: 13 abril, 2010.
- FLEURAT-LESSARD, F. Qualitative reasoning and integrated management of the quality of stored grain: a promising new approach. **Journal of Stored Products Research**, v.38, p.191-218, 2002.
- GUARIENTI, E. M. **Qualidade industrial de trigo**. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa, 1996, 33 p.
- GUTKOSKI, L. C.; JACOBSEN NETO, R. Procedimento para teste laboratorial de panificação – pão de forma. **Revista Ciência Rural**, v. 32, n. 5, p. 873-879, 2002.

GUTKOSKI, L. C.; et al. Efeito do 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.

JOOD, S.; KAPOOR, A. C.; SINGH, R. Mineral contents of cereal-grains as affected by storage and insect infestation. **Journal of Stored Products Research**, v. 28, n. 3, p. 147-151, 1992.

JOOD, S.; KAPOOR, A. C.; SINGH, R. Effect of insect infestation and storage on lipids of cereal grains. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.44, n. 6, p. 1502-1506, 1996.

LORINI, I.; GALLEY D.J. Deltamethrin resistance in *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae), a pest of stored grain in Brazil. **Journal of Stored Products Research**, v. 35, n. 1, p. 37-45, 1999.

LORINI, I. Manejo integrado de pragas de grãos armazenados. In: LORINI, I.; MIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. (Ed) **Armazenagem de grãos**. Campinas: IBG, 2002. p. 607-621.

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.

PINTO, U. M.; FARONI, L. R. D.; ALVES, 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.

SÁNCHEZ-MARIÑEZ, R. I.; CORTEZ-ROCHA, M. O.; ORTEGA-DORAME, F.; MORALES-VALDES, M.; SILVEIRA, M. I. End-use quality of flour from *Rhyzopertha dominica* infested wheat. **Cereal Chemistry**, v. 74, n.4, p.481–483, 1997.

SEOK-HO PARK; FRANK, H. A.; SCOTT, R. B.; TILMAN, J. S. Impact of differing population levels of *Rhyzopertha dominica* (F.) on milling and physicochemical properties of sorghum kernel and flour. **Journal of Stored Products Research**, v.44, n. 4, p.322– 327, 2008.

**4 ESTUDO 2 – PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS DE GRÃOS DE TRIGO TRATADOS COM TERRA DE DIATOMÁCEA E ARMAZENADOS NO SISTEMA CONVENCIONAL**

## PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS DE GRÃOS DE TRIGO TRATADOS COM TERRA DE DIATOMÁCEA E ARMAZENADOS NO SISTEMA CONVENCIONAL

### RESUMO

A crescente resistência aos agentes químicos, a possibilidade de intoxicação e a presença de resíduos nos alimentos conduziram ao emprego de pós inertes para a proteção de grãos armazenados. Porém os estudos sobre o efeito da terra de diatomácea nas propriedades físico-químicas e tecnológicas são limitados. Objetivou-se, com o trabalho, avaliar propriedades físico-químicas e tecnológicas da farinha de grãos de trigo tratados com diferentes doses de terra de diatomácea e armazenados no sistema convencional pelo período de 180 dias. Em amostras de 10 kg de grãos de trigo foi adicionada terra de diatomácea nas dosagens de 0, 2,0 e 4,0 g kg<sup>-1</sup>, homogeneizadas e armazenadas em sacos de algodão, em ambiente com temperatura de 25 °C e umidade relativa de 70 ± 5% e a cada 60 dias realizadas análises de umidade, peso do hectolitro, cinzas, proteínas, lipídios e acidez graxa e na farinha número de queda, teor de glúten, cor, alveografia, farinografia, panificação experimental. O experimento foi conduzido em delineamento, inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 3 x 4 (três doses de terra de diatomácea x quatro períodos de armazenamento), totalizando 12 tratamentos, sendo realizadas três repetições para cada tratamento. Os resultados foram analisados através do emprego da ANOVA e nos modelos significativos as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Também foi realizada análise de regressão entre as variáveis respostas pelo emprego do programa estatístico Sisvar<sup>®</sup> Versão 5.3. As análises e os gráficos das equações de regressão foram elaborados com o auxílio do programa Origin<sup>®</sup> 5.0. O trigo tratado com terra de diatomácea nas doses zero, 2,0 e 4,0 g.kg<sup>-1</sup> e armazenado pelo período de 180 dias reduziu a qualidade físico-química e tecnológica dos grãos de trigo. As alterações físico-químicas e tecnológicas no grão e na farinha de trigo foram proporcionais às quantidades de terra de diatomácea aplicada.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*. Armazenamento. Qualidade industrial. Glúten.

### 4.1 INTRODUÇÃO

A qualidade de grãos e farinhas de cereais é determinada por uma variedade de características que assumem diferentes significados, dependendo da designação de uso ou tipo de produto. Estas características podem ser divididas em físicas, químicas, enzimáticas e reológicas (ABID et al., 2009). A avaliação reológica da

farinha é de fundamental importância para a indústria de panificação, ajudando a prever as características de processamento da massa e a qualidade dos produtos finais, sendo parte de um conjunto de análises, no qual, necessariamente, deve estar incluído o teste de panificação (GUTKOSKI & JACOBSEN NETO, 2002), quando a farinha de trigo se destina a esta forma de produto final.

A terra de diatomácea é um sedimento amorfo, originado a partir de carapaças de organismos unicelulares vegetais, tais como algas microscópicas aquáticas, marinhas e lacustres, normalmente, denominados pós inertes. Por apresentarem natureza silicosa, as frústulas desenvolvem-se nas camadas geológicas da crosta terrestre. A terra de diatomácea é um material leve e de baixa massa específica aparente, coloração variável desde o branco ao cinza escuro. Este material é constituído, principalmente, por cerca de 80 a 93% de óxido de silício, argilominerais, material orgânico, hidróxidos, areia quartzosa, carbonatos de cálcio e de magnésio (KORUNIC, 1998; VARDEMAN et al., 2007).

Os depósitos fossilizados de terra de diatomácea são recolhidos e processados para uso comercial por secagem, trituração e moagem em pó fino. A terra de diatomácea é um produto atóxico, utilizado no controle de pragas de grãos armazenados e não promove a resistência em insetos (LORINI et al., 2003; ATUI et al., 2003). O modo de ação ocorre pela desidratação ou dessecação, uma vez que partículas do pó aderem ao corpo dos insetos, removendo os lipídios da cutícula, causando abrasão no tegumento e perda excessiva de água (VARDEMAN et al., 2007).

A aplicação de terra de diatomácea em grãos tem apresentado problemas como alterações em propriedades físicas e mecânicas, reduzindo escoabilidade e densidade, com presença visível de resíduos. Outro problema é o efeito da abrasividade em equipamentos e o aumento do tempo de moagem dos grãos de trigo tratados (MIRANDA et al., 1999). A qualidade de grãos e farinhas de cereais é determinada por uma variedade de características que assumem diferentes significados, dependendo da designação de uso ou tipo de produto (ABID et al., 2009). A avaliação reológica da farinha é de fundamental importância para a indústria de panificação, ajudando a prever as características de processamento da massa e a qualidade dos produtos finais, sendo parte de um conjunto de análises, no qual, necessariamente, deve estar incluído o teste de panificação

(GUTKOSKI & JACOBSEN NETO, 2002), quando a farinha de trigo se destina a esta forma de produto final.

Embora exista grande número de trabalhos sobre a aplicação de terra de diatomácea no controle de insetos em grãos de trigo, as informações sobre o resíduo que permanece na farinha, após a moagem, mesmo com retirada parcial na etapa de limpeza, e se este altera a qualidade tecnológica, são restritas. As informações sobre consequências do uso de terra de diatomácea em grãos de trigo armazenados sobre a qualidade físico-química, reológica e funcional da farinha são insuficientes, necessitando de maior investigação científica.

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar propriedades físico-químicas e tecnológicas, através das determinações de umidade, peso do hectolitro, cinzas, proteínas, lipídios, acidez graxa, número de queda, teor de glúten, cor, alveografia, farinografia e panificação experimental da farinha obtida de grãos de trigo, tratados com diferentes doses de terra de diatomácea e armazenados no sistema convencional, pelo período de 180 dias.

## **4.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.2.1 Material experimental**

O trabalho de pesquisa foi instalado no laboratório de Cereais do Centro de Pesquisa em Alimentação (CEPA) da Universidade de Passo Fundo, RS, juntamente com a realização das análises e de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, da Universidade Federal de Pelotas.

O trigo (*Triticum aestivum L*) utilizado foi do cultivar Abalone, produzido no campo experimental da empresa Biotrigo Genética Ltda., localizado no Município de Passo Fundo, RS, safra 2008/2009. A colheita dos grãos foi realizada com colhedora automotriz, posteriormente realizada a pré-limpeza em máquina de ar e peneiras e a secagem em secador estacionário até a umidade de 13%.

A terra de diatomácea utilizada foi da marca KeepDry®, Brazil, com cerca de 93% de dióxido de sílica amorfa (SiO<sub>2</sub>), granulometria de 15 µm, em média e densidade aparente de 200 g L<sup>-1</sup>; coloração clara, insolúvel em água e aspecto de pó seco.

## **4.2.2 Métodos**

### **4.2.2.1 Delineamento experimental**

O experimento foi conduzido em delineamento, inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 3 x 4 (três doses de terra de diatomácea x quatro períodos de armazenamento), totalizando 12 tratamentos, sendo realizadas três repetições para cada tratamento. Nas amostras de 10 kg de grãos de trigo foi adicionada terra de diatomácea nas dosagens de zero, 2.0 e 4.0 g kg<sup>-1</sup>, homogeneizadas em bateadeira planetária Hypo, modelo HB 25, Brazil, armazenadas em sacos de algodão, em ambiente com temperatura de 22 °C e umidade relativa de 70 ± 5%. Nos tempos zero, 60, 120 e 180 dias de armazenamento foram realizadas as análises físico-químicas e tecnológicas. A farinha foi obtida pela moagem dos grãos de trigo em moinho piloto Chopin, modelo CD1, França, realizada de acordo com o método nº 26-10 da AACC (2000).

### **4.2.2.2 Análises**

#### **4.2.2.2.1 Umidade**

O grau de umidade foi estabelecido através do método da estufa, a 105 ± 3°C, com circulação natural de ar, por 24 horas, de acordo com o método oficial de análises de sementes, preconizado pelo Ministério da Agricultura (BRASIL, 1992).

#### **4.2.2.2.2 Peso do hectolitro**

O peso do hectolitro foi determinado de acordo com Regras de Análise de Sementes (Brasil, 1992), pelo uso de balança marca Dalle Molle e os resultados expressos em kg hL<sup>-1</sup>.

#### **4.2.2.2.3 Cinzas**

O teor de cinzas foi determinado em grãos de trigo, realizado de acordo com o método nº 08-01 da AACC (2000). As análises foram realizadas em duplicata e os resultados em porcentagem e em base seca.

#### **4.2.2.2.4 Proteínas**

O teor de proteínas foi determinado em grãos de trigo, realizado de acordo com o método nº 46-12 da AACC (2000). As análises foram realizadas em duplicata e os resultados expressos em porcentagem e em base seca.

#### **4.2.2.2.5 Lipídios**

O teor de lipídios foi determinado em grãos de trigo, realizado de acordo com o método nº 30-20 da AACC (2000). As análises foram realizadas em duplicata e os resultados expressos em porcentagem e em base seca.

#### **4.2.2.2.6 Acidez**

A acidez graxa foi determinada de acordo com o procedimento descrito pela AACC (2000), método número 58-15, pela extração de lipídios em aparelho Soxhlet e a titulação com NaOH 0,1 N. As análises foram realizadas em duplicata e os resultados expressos em porcentagem.

#### **4.2.2.2.7 Número de queda**

O número de queda foi determinado através do uso do aparelho *Falling Number* Perten Instruments (modelo Fungal, Suécia), de acordo com o método 56-81B da AACC (2000), utilizando sete gramas de amostra, corrigido para 14% de umidade.

#### **4.2.2.2.8 Glúten**

O teor de glúten foi determinado através do uso do aparelho Glutomatic Perten Instruments (modelo 2200, Suécia), de acordo com o método 38-12 da AACC (2000), utilizando dez gramas de amostra, corrigido para 14% de umidade e realizado em duplicata, sendo obtidos os valores de glúten úmido, glúten seco e índice de glúten.

#### **4.2.2.2.9 Cor**

A cor das amostras de farinha de trigo foi determinada em aparelho espectrofotômetro HunterLab® (modelo ColorQuest II Sphere, Inglaterra), com sensor ótico geométrico de esfera, realizado de acordo com o método n° 14-22 da AACC (2000), em triplicata e os valores expressos em L\* (luminosidade) e coordenada de cromaticidade +b\* (amarelo).

#### **4.2.2.2.10 Alveografia**

As características viscoelásticas da massa de farinha de trigo foram determinadas no aparelho Alveógrafo Chopin (modelo NG, França), realizado de acordo com o método n° 54-30 da AACC (2000), através da pesagem de 250 gramas de farinha e volume de 129,4 mL de água, corrigido na base de 14% de umidade. Os parâmetros obtidos nos alveogramas são tenacidade (P), que mede a sobrepressão máxima exercida na expansão da massa (mm); extensibilidade (L), que mede o comprimento da curva (mm) e energia de deformação da massa (W), que corresponde ao trabalho mecânico necessário para expandir a bolha até a ruptura, expressa em  $10^{-4}$  J.

#### **4.2.2.2.11 Farinografia**

As características de mistura da massa de farinha de trigo foram determinadas no aparelho Promilógrafo Max Egger (modelo T6, Áustria), pelo uso de 100 g de farinha de trigo e realizado de acordo com o método n° 54-21 da AACC (2000). Os parâmetros avaliados foram absorção de água, que indica a qualidade da

farinha pela capacidade de intumescimento do glúten; tempo de desenvolvimento, que corresponde ao intervalo decorrente desde a primeira adição de água até o ponto de máxima consistência (pico); estabilidade, definida como a diferença de tempo entre o ponto em que o topo da curva intercepta a linha média e o ponto da curva que deixa a linha.

#### **4.2.2.2.12 Panificação experimental**

O teste de panificação experimental foi realizado de acordo com o método nº 10-80B da AACC (2000), com adaptações proposta por Gutkoski & Jacobsen Neto (2002). Na formulação foi utilizado farinha (100%), gordura vegetal hidrogenada (3%), sal refinado (1,75%), ácido ascórbico (0,01%), açúcar (5%), fermento biológico (3%) e água a 4°C, adicionada de acordo com a absorção no promilógrafo. Os ingredientes foram misturados na misturadora marca Kitchen Aid, modelo K5SSWH2, na velocidade média por sete minutos. Adicionou-se o fermento biológico e misturou-se por mais seis minutos. A massa foi retirada da misturadora, dividida em porções de 150 g, sendo estas colocadas em formas de tamanho padrão e deixada em descanso por dez minutos. Na operação de fermentação, as massas foram colocadas em câmara marca Multipão, regulada na temperatura de  $30 \pm 1$  °C e umidade relativa de 80%. O monitoramento foi realizado pelo uso de termo-higrógrafo. O cozimento foi realizado no forno, marca Labor Instruments, modelo QA 226, regulado na temperatura de 220 °C por 18 minutos, e, após, os pães esfriarem por uma hora foram realizadas as análises.

#### **4.2.2.2.13 Avaliação dos pães**

A avaliação do volume dos pães foi determinada em aparelho marca Vondel, pelo deslocamento de sementes de canola e o volume específico calculado pela relação entre o volume do pão assado e a sua massa, obtida por pesagem em balança semi-analítica. A determinação do volume específico foi realizada uma hora após o cozimento dos pães, com três repetições e os resultados expressos em  $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$ . A avaliação do score de pontos dos pães foi realizada por provadores treinados e utilizada a escala de pontos para as características cor da crosta, forma e simetria,

características da crosta, aspectos de quebra da crosta, textura do miolo, cor do miolo, aroma e sabor, conferindo-lhes, a partir destes resultados, um valor (escore de pontos) com pontuação máxima de 100, realizado de acordo com a metodologia proposta por El-Dash (1978).

#### **4.2.3 Análise estatística**

Os resultados foram analisados através do emprego da ANOVA e nos modelos significativos as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Também foi realizada análise de regressão entre as variáveis respostas pelo emprego do programa estatístico Sisvar® Versão 5.3, Build 75 (Ferreira, 2010). As análises e os gráficos das equações de regressão foram elaborados com o auxílio do programa Origin 5.0.

### **4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **4.3.1 Composição química**

Os quadrados médios da análise de variância para proteínas, lipídios, cinzas e umidade apresentaram efeito significativo para variável tempo de armazenamento. No que se refere ao nível de doses de terra de diatomácea e interação tempo x doses revelaram efeito significativo na determinação de cinzas (Tabela 1). Os coeficientes de variação para as determinações revelaram valores de reduzida magnitude, refletindo o adequado controle das técnicas experimentais na condução do experimento, conferindo precisão e confiabilidade aos resultados obtidos neste estudo.

Tabela 1 - Análise de variância para as determinações de proteínas, lipídios, cinzas e umidade em grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias.

| Fonte de variação | GL | Quadrado médio     |                      |        |                     |
|-------------------|----|--------------------|----------------------|--------|---------------------|
|                   |    | Proteínas          | Lipídios             | Cinzas | Umidade             |
| Tempo (dias)      | 3  | 6,70*              | 0,14*                | 0,016* | 4,44*               |
| Dose (g)          | 2  | 0,04 <sup>ns</sup> | 0,0005 <sup>ns</sup> | 0,139* | 0,080 <sup>ns</sup> |
| Tempo x terra     | 6  | 0,01 <sup>ns</sup> | 0,001 <sup>ns</sup>  | 0,001* | 0,007 <sup>ns</sup> |
| Total             |    | 23                 | 23                   | 23     | 23                  |
| CV (%)            |    | 1,29               | 2,05                 | 0,87   | 0,50                |

GL - Graus de liberdade; CV - Coeficiente de variação (%); \* - Significativo a 5% de probabilidade ( $p \leq 0,05$ ); ns - não significativo a 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ).

A Fig. 1a mostra o efeito de diferentes doses de terra de diatomácea sobre o teor de proteínas totais dos grãos de trigo ao longo do período de armazenamento. A análise estatística mostrou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para os teores de proteínas durante o tempo de armazenamento estudado, e não significativa ( $p > 0,05$ ) para doses de terra de diatomácea e interação tempo x doses. O modelo de regressão foi significativo para tempo de armazenamento, sendo utilizados, no ajuste, os termos quadráticos, com coeficiente de determinação de 0,96. A terra de diatomácea em doses de  $2,0 \text{ g kg}^{-1}$  e  $4,0 \text{ g kg}^{-1}$  não apresentou diferença significativa nos teores de proteínas em grãos de trigo. O resultados para tempo de armazenamento estão de acordo com os encontrados por Gutkoski et al. (2008), que observaram aumento nos teores de proteína bruta ao longo do período de armazenamento.

Para a elaboração de produtos de panificação, deve-se avaliar a quantidade e a qualidade de proteínas presentes na farinha de trigo. A qualidade das proteínas está relacionada à capacidade de formação da massa, ou seja, quando farinha de trigo e água são misturadas, o resultado é a formação de uma massa constituída pela rede protéica do glúten ligada aos grânulos de amido que retêm o gás formado, e isso produz o aumento de volume (BUSHUK, 1985).

A análise estatística mostrou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para os teores de lipídios durante o tempo de armazenamento estudado, e não significativa ( $p > 0,05$ ) para doses de terra de diatomácea e interação tempo x doses (Fig. 1b). O modelo de regressão foi significativo para tempo de armazenamento, sendo

utilizados, no ajuste, os termos quadráticos, com coeficiente de determinação de 0,96. A terra de diatomácea em doses de 2,0 g kg<sup>-1</sup>, 4,0 g kg<sup>-1</sup> não apresentou diferença significativa nos teores de lipídios em grãos de trigo. Os resultados do presente trabalho estão de acordo com os obtidos por Rupollo et al. (2004) e Marini et al. (2005) que, também, verificaram redução no teor de lipídios com o aumento do período de armazenamento de grãos de aveia.

Salunkhe (1985) observou redução no teor de lipídios e o aumento no teor de ácidos graxos livres durante o armazenamento e que estes fatores estão, diretamente, correlacionados com a velocidade e intensidade do processo deteriorativo dos grãos. A avaliação destes indicadores constitui em eficiente parâmetro para o controle da conservabilidade de grãos durante o armazenamento.

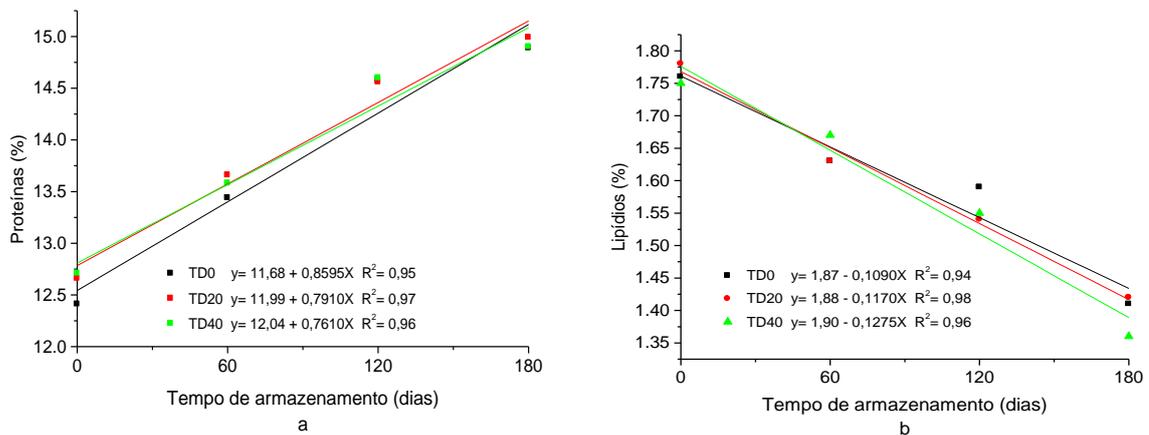


Figura 1 - Teor de proteínas (a) e lipídios (b) (%) em grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias.

A análise estatística mostrou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para teores de cinzas em todos os tratamentos (Fig. 2). As equações de regressão foram significativas para todos os tratamentos, sendo utilizados, no ajuste, os termos quadráticos, com coeficientes de determinação, variando entre 0,96 e 0,98. Com o tempo de armazenamento ocorreu aumento no teor de cinzas em todos os tratamentos estudados, sendo verificados os maiores valores para as amostras de farinha de trigo tratado com 2,0 e 4,0 g kg<sup>-1</sup> de terra de diatomácea. Este aumento está relacionado com a dose de terra de diatomácea aplicada nos grãos de trigo e, também, por apresentar em sua composição cerca de 93 % de dióxido de sílica amorfa (SiO<sub>2</sub>). Os resultados estão de acordo com encontrado por Korunic et al.

(1996), que relataram ter encontrado aumento no teor de cinzas, quando foram adicionado  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  de terra de diatomácea diretamente na farinha de trigo.

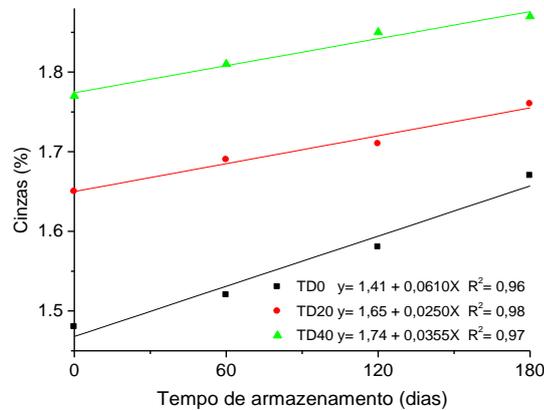


Figura 2 - Teor de cinzas (%) em grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias.

Na Tabela 2 estão apresentados os valores de umidade dos grãos de trigo armazenado durante 180 dias. A análise estatística mostrou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para o teor de umidade durante o período de armazenamento estudado, e não significativa ( $p > 0,05$ ) para doses de terra de diatomácea e interação tempo x doses. Os resultados mostram que as diferentes doses de terra de diatomácea não apresentaram efeito no teor de umidade dos grãos durante o período de armazenamento, isto pode ser explicado pelo fato de a terra de diatomácea ser composta, principalmente, de dióxido silício, que é quimicamente inerte. Segundo Carneiro et al. (2005) e Marini (2005) o equilíbrio higroscópico é influenciado pela composição química do grão, integridade física, estado sanitário, gradientes termo hídricos e as operações de pós-colheita, dentre os quais a secagem e o armazenamento são as mais importantes. A migração de umidade é normal e ocorre em função das condições de temperatura e umidade relativa do local de armazenamento.

Tabela 2 - Teor de umidade (%) em grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias.

| Armazenamento<br>(dias) | Doses de terra (g)    |                      |                      |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
|                         | Zero                  | 2                    | 4                    |
| 0                       | A 12,47 <sup>a</sup>  | A 12,48 <sup>a</sup> | A 12,37 <sup>a</sup> |
| 60                      | AB 10,43 <sup>d</sup> | A 10,54 <sup>d</sup> | B 10,29 <sup>d</sup> |
| 120                     | A 11,27 <sup>c</sup>  | A 11,20 <sup>c</sup> | B 10,94 <sup>c</sup> |
| 180                     | A 11,77 <sup>b</sup>  | A 11,78 <sup>b</sup> | A 11,67 <sup>b</sup> |

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

#### 4.3.2 Características físicas e químicas

Os quadrados médios da análise de variância para tempo de armazenamento revelaram efeito significativo nas determinações de acidez graxa, glúten úmido, glúten seco, índice de glúten e peso do hectolitro. Para doses de terra de diatomácea o efeito foi significativo nas determinações de acidez graxa, glúten úmido, índice de glúten e peso do hectolitro. A interação tempo x doses revelou efeito significativo nas determinações de glúten úmido e peso do hectolitro (Tabela 3). Os coeficientes de variação para as determinações revelaram valores de reduzida magnitude, refletindo o adequado controle das técnicas experimentais na condução do experimento, conferindo precisão e confiabilidade aos resultados obtidos neste estudo.

Tabela 3 - Análise de variância para as determinações de acidez graxa (AG), glúten úmido (GU), glúten seco (GS), índice de glúten (IG) e peso do hectolitro (PH) em grãos e farinha de trigo tratado com terra de diatomácea e armazenado pelo período de 180 dias.

| Fonte de variação | GL             | AG                 | GU     | GS                 | IG                 | PH      |
|-------------------|----------------|--------------------|--------|--------------------|--------------------|---------|
|                   | Quadrado médio |                    |        |                    |                    |         |
| Tempo (dias)      | 3              | 3,49*              | 59,21* | 1,95*              | 16,56*             | 4,05*   |
| Dose (g)          | 2              | 1,03*              | 12,30* | 0,08 <sup>ns</sup> | 2,63*              | 150,22* |
| Tempo x terra     | 6              | 0,12 <sup>ns</sup> | 7,18*  | 0,04 <sup>ns</sup> | 0,58 <sup>ns</sup> | 0,32*   |
| Total             |                | 23                 | 23     | 23                 | 23                 | 35      |
| CV (%)            |                | 1,60               | 0,85   | 1,33               | 0,66               | 0,26    |

GL - Graus de liberdade; CV - Coeficiente de variação (%); \* - Significativo a 5% de probabilidade ( $p \leq 0,05$ ); ns - não significativo a 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ).

A Fig. 3a mostra o efeito das doses de terra de diatomácea sobre o teor de acidez graxa dos grãos de trigo ao longo do período de armazenamento. A análise estatística dos resultados demonstrou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) durante o período de armazenamento estudado, e nas doses de terra de diatomácea utilizadas para a conservação dos grãos de trigo. A equação de regressão foi significativa, sendo utilizados, nos ajustes, os termos quadráticos, com coeficientes de determinação acima de 0,79. No tratamento TD0 os valores de acidez graxa dos grãos de trigo foram, significativamente, inferiores quando comparados com os tratamentos que continham 2,0 e 4,0 g kg<sup>-1</sup> de terra de diatomácea. Os resultados do presente trabalho não estão de acordo com os encontrados por Korunic et al. (1996), que relataram não ter encontrado aumento no teor de acidez graxa em grãos de trigo tratado com 3500 mg kg<sup>-1</sup> de terra de diatomácea e armazenado pelo período de um ano. Normalmente, a acidez do grão de trigo aumenta com o armazenamento. Esse aumento é atribuído à ocorrência de vários fenômenos como a hidrólise gradual de lipídios, produzindo ácidos graxos; hidrólise de proteínas, produzindo aminoácidos ou produtos intermediários da decomposição de proteínas; e separação enzimática da fitina, produzindo ácido fosfórico (ORTOLAN et al., 2010).

Os ajustes obtidos pela análise de regressão (Fig. 3b) mostram a ocorrência de diminuição no teor de glúten úmido em todos os tratamentos estudados no decorrer do período de armazenamento. O tratamento TD0 apresentou menor redução no teor de glúten úmido em relação aos tratamentos TD20 e TD40. A redução no teor de glúten úmido nos tratamentos TD20 e TD40 pode estar relacionado com o efeito do resíduo de terra de diatomácea que, presente na farinha, alterou a constante dielétrica ou força iônica da solução aquosa influenciando na solubilidade das proteínas, ocorrendo a precipitação. Carneiro et al. (2005), estudando diferentes épocas de colheita, secagem e armazenamento na qualidade de grãos de trigo comum e duro observaram redução do teor de glúten úmido com o tempo de armazenamento.

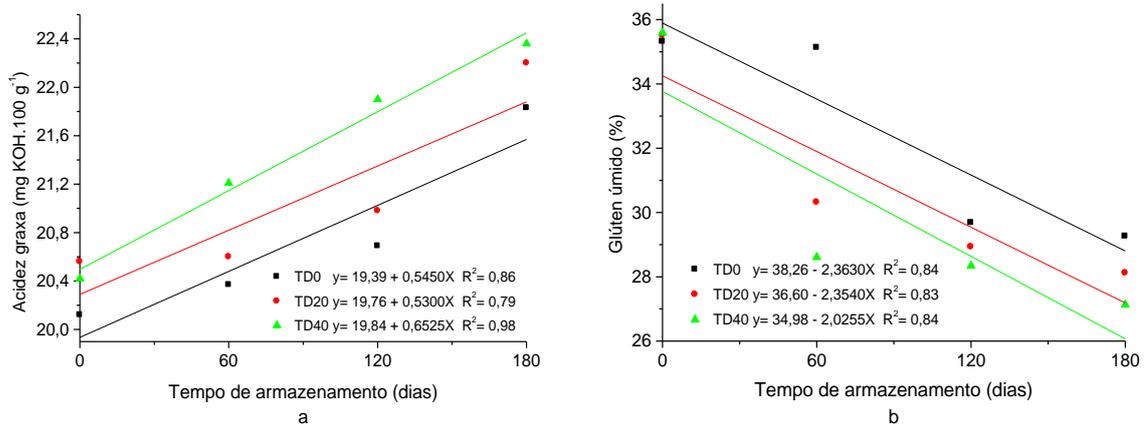


Figura 3 - Acidez graxa (mg KOH.100 g<sup>-1</sup>) (a) e teor de glúten úmido (%) (b) em farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias.

A Fig. 4a mostra o efeito das doses de terra de diatomácea sobre o teor de glúten seco ao longo do armazenamento. A análise estatística dos resultados demonstrou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) durante o período de armazenamento estudado, e não significativa ( $p \geq 0,05$ ) para dose e interação tempo x dose. A equação de regressão para tempo de armazenamento foi significativa, sendo utilizados, nos ajustes, os termos quadráticos, com coeficientes de determinação acima de 0,88.

Para o índice de glúten as equações de regressão foram significativas, sendo utilizados, no ajuste, os termos quadráticos, com coeficientes de determinação variando entre 0,83 e 0,84 (Fig. 4b). Com o tempo de armazenamento ocorreu diminuição no teor de glúten index em todos os tratamentos estudados, sendo verificados menores valores para as amostras de farinha de trigo tratado com TD20 e TD40. Segundo Korunic et al. (1996), não houve evidência de aumento no teor de glúten devido à adição de terra de diatomácea em grãos de trigo antes da moagem. O índice de glúten está relacionado à composição qualitativa das proteínas, principalmente, à combinação alélica das subunidades de gluteninas de alto e baixo peso molecular, consideradas as mais importantes para as propriedades viscoelásticas da massa de farinha de trigo (TORBICA et al., 2007).

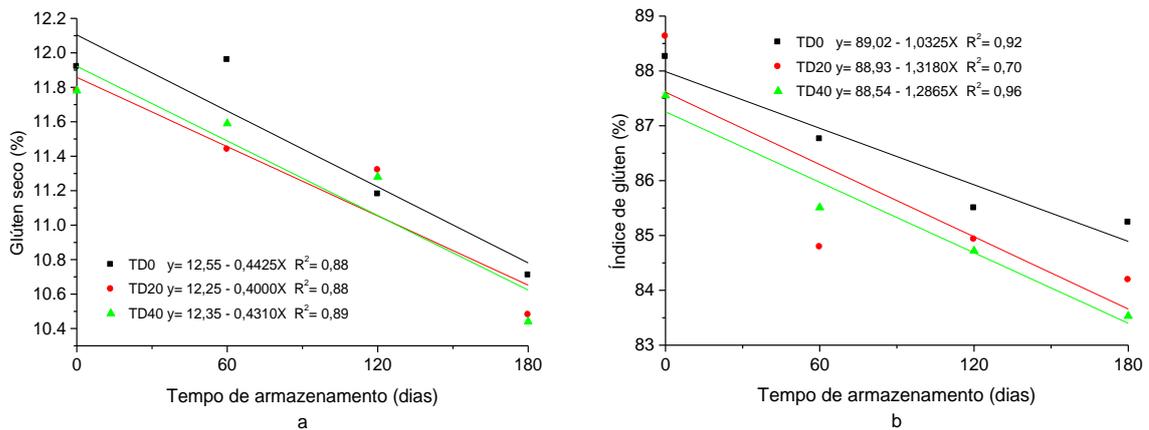


Figura 4 - Teor de glúten seco (a) e índice de glúten (b) (%) de farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias.

A Fig. 5 representa o efeito das doses de terra de diatomácea sobre o peso do hectolitro dos grãos de trigo ao longo do tempo de armazenamento. A análise estatística dos resultados demonstrou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) durante o período de armazenamento estudado e das doses de terra de diatomácea aplicada nos grãos. As equações de regressão foram significativas, sendo utilizados, no ajuste, os termos quadráticos, com coeficientes de determinação acima de 0,80. As maiores variações de PH foram observadas no tratamento com a maior dose de terra de diatomácea. De acordo com a Instrução Normativa nº 7 (BRASIL, 2001), o PH é usado para o enquadramento do trigo em tipos, necessitando, no mínimo, 78 kg hL<sup>-1</sup> para ser considerado tipo 1. Nos tratamentos com 2,0 e 4,0 g kg<sup>-1</sup> de terra de diatomácea, o PH apresentou valores inferiores, sendo classificado em tipo 2.

Os resultados foram similares aos obtidos por Korunic et al (1998) e Miranda et al. (1999), que verificaram redução no peso do hectolitro em grãos de trigo tratados com terra de diatomácea.

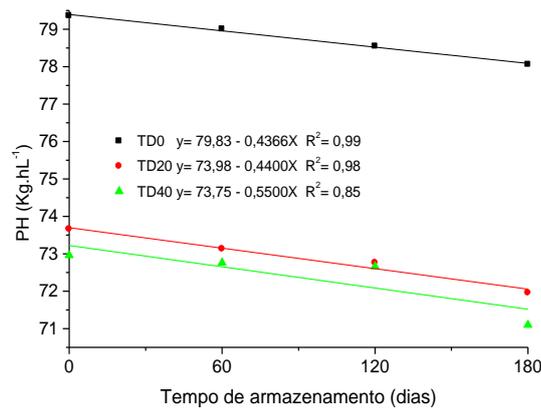


Figura 5 - Peso do hectolitro (Kg hL<sup>-1</sup>) em grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias.

Os quadrados médios da análise de variância para tempo de armazenamento, doses de terra de diatomácea e a interação tempo x doses foram significativos ( $p \leq 0,05$ ) para os componentes de cor L\* (luminosidade), +b\* (amarelo) e diferença de cor DE\* de farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados, pelo período de 180 dias (Tabela 4). Os coeficientes de variação para as determinações revelaram valores de reduzida magnitude, refletindo o adequado controle das técnicas experimentais na condução do experimento, conferindo precisão e confiabilidade aos resultados obtidos neste estudo.

Tabela 4 - Análise de variância para as determinações de intensidade de cor dos componentes L\* (luminosidade), +b\* (amarelo) e DE\* diferença de cor em farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados, pelo período de 180 dias.

| Fonte de variação | GL | L*    | +b*    | DE*    |
|-------------------|----|-------|--------|--------|
| Quadrado médio    |    |       |        |        |
| Tempo (dias)      | 3  | 2,32* | 1,62*  | 0,45*  |
| Dose (g)          | 2  | 9,36* | 6,43*  | 14,26* |
| Tempo x terra     | 6  | 0,09* | 0,019* | 0,02*  |
| Total             |    | 35    | 35     | 35     |
| CV (%)            |    | 0,06  | 0,41   | 0,31   |

GL - Graus de liberdade; CV - Coeficiente de variação (%); \* - Significativo a 5% de probabilidade ( $p \leq 0,05$ ); ns - não significativo a 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ).

Com o período de armazenamento a farinha de trigo tornou-se mais clara, com aumento significativo da intensidade do componente  $L^*$  (luminosidade) de cor, sendo que os tratamentos apresentaram coeficiente de determinação entre 0,89 e 0,97 (Fig. 6a). A farinha do tratamento T10 apresentou, no início do armazenamento, maior valor de  $L^*$  (91,20), sendo que este parâmetro se manteve superior aos demais tratamentos durante todo o período de armazenamento estudado. Por outro lado, a farinha de trigo tratado com 4,0 g kg<sup>-1</sup> de terra de diatomácea foi a que apresentou menores valores de  $L^*$ .

A coordenada de cromaticidade  $+b^*$  (amarelo) diminuiu com o aumento do tempo de armazenamento, estimando-se que, a cada 30 dias tenha ocorrido decréscimo de 0,106, em média, sendo significativo em todos os modelos de regressão estudados, com coeficientes de determinação, variando entre 0,95 e 0,99 (Fig. 6b). Estas alterações foram devido ao processo natural de maturação do grão de trigo com o aumento do tempo de armazenamento, sendo verificados menores valores para a maior dose de terra de diatomácea.

Com o tempo de armazenamento foi verificado um aumento dos valores de  $L^*$  e redução de  $+b^*$ , mas estas alterações de cor foram, significativamente, menores nos tratamentos com terra de diatomácea. A inclinação da reta determinada pelas equações de regressão, durante o período de armazenamento, foi similar para os componentes de  $L^*$ ,  $+b^*$  e  $TD^*$  de cor nas diferentes doses de terra de diatomácea estudadas. A alteração na cor resulta da oxidação natural dos pigmentos durante o armazenamento do grão ou da farinha de trigo, sendo que os valores medidos variam não apenas com a extensão do branqueamento, mas também, com o envelhecimento da farinha (GUTKOSKI et al., 2008; ORTOLAN et al., 2010).

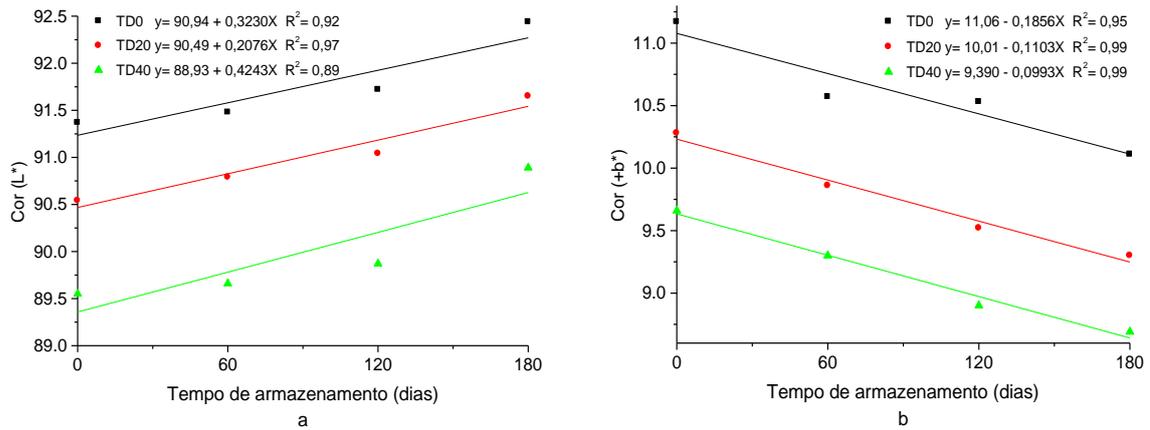


Figura 6 - Intensidade de cor do componente L\* (luminosidade) (a) e intensidade de cor do componente +b\* (amarelo) (b) da farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados, pelo período de 180 dias.

A diferença de cor (DE\*) aumentou com o período de armazenamento em todos os tratamentos estudados. A farinha do tratamento TD0 apresentou, no início do armazenamento, maior valor de DE\* (17,2), sendo que este parâmetro se manteve superior aos demais tratamentos durante todo o período de armazenamento estudado. Por outro lado, o tratamento TD40 foi a que apresentou menores valores de DE\* (Fig. 7).

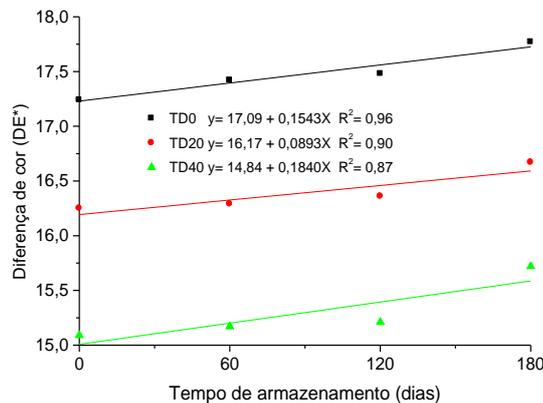


Figura 7 – Diferença de cor (DE\*) da farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados, pelo período de 180 dias.

A quantidade de enzima presente nas farinhas tem uma influência direta sobre a qualidade do pão produzido. Em atividade enzimática de 200 a 350 segundos, o pão apresenta miolo firme com grande volume e textura macia. Os pães elaborados com farinha de atividade enzimática alta (NQ menor que 200 segundos)

ou baixa (NQ maior que 350 segundos) apresentam volume reduzido e características internas e externas indesejáveis. O valor do número de queda apresenta relação inversa com a atividade da alfa-amilase, ou seja, quanto maior o valor da atividade da alfa-amilase menor o valor do número de queda (ATUI et al., 2009). Neste estudo, os valores de número de queda já se encontravam elevados no início do armazenamento, não apresentando diferença significativa durante todo o período, como, também, nas diferentes doses de terra de diatomácea (Tabela 5), o que exigiu a adição de melhorador para a utilização da farinha na elaboração dos pães. Porém, a baixa atividade não é um problema de difícil solução, pois, normalmente, a formulação dos reforçadores ou melhoradores utilizados em panificação apresenta enzima alfa-amilase fúngica, com a finalidade de correção dessa deficiência na farinha de trigo (GUARIENTI, 1996).

Tabela 5 - Número de queda (s) de farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias.

| Armazenamento<br>(dias) | Doses de terra (g) |         |         |
|-------------------------|--------------------|---------|---------|
|                         | Zero               | 2       | 4       |
| 0                       | A 477 ab           | B 439 b | B 442 b |
| 60                      | A 471 ab           | A 479 a | A 483 a |
| 120                     | A 500 a            | A 480 a | A 481 a |
| 180                     | A 460 b            | B 426 b | B 409 c |

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A alveografia representa o trabalho de deformação da massa que indica a qualidade panificativa da farinha. Analisando os resultados obtidos na Fig. 8, verifica-se que, durante o período de armazenamento o valor de W aumentou no TD0. A equação de regressão foi significativa, sendo utilizados, no ajuste, os termos quadráticos, com coeficiente de determinação 0,95. Os resultados estão de acordo com os de Carneiro et al. (2005) e Gutkoski et al. (2008), que observaram aumento do valor de W em todos os tratamentos estudados com o aumento do período de armazenamento de trigo.

A força de glúten (W), obtida através da medida da área sob a curva no alveograma, nos tratamentos TD20 e TD40 não apresentou aumento durante o período de armazenamento estudado. A inclinação das retas determinadas pelas

equações de regressão durante o período de armazenamento foi similar para W nas diferentes doses de terra de diatomácea estudadas, apresentando modelos de regressão não significativos 0,40 e 0,31 (Fig. 8).

Tabela 6 – Força de glúten (W), relação elasticidade e extensibilidade (P/L) e estabilidade (E) de farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias.

| Armazenamento<br>(dias) | Doses de terra<br>(g) |      |      |
|-------------------------|-----------------------|------|------|
|                         | Zero                  | 2    | 4    |
| W ( $10^{-4}$ J)        |                       |      |      |
| 0                       | 226                   | 223  | 224  |
| 60                      | 228                   | 226  | 223  |
| 120                     | 232                   | 224  | 226  |
| 180                     | 240                   | 225  | 224  |
| P/L                     |                       |      |      |
| 0                       | 1,00                  | 1,28 | 1,25 |
| 60                      | 1,02                  | 1,11 | 1,11 |
| 120                     | 1,00                  | 1,31 | 1,21 |
| 180                     | 0,98                  | 1,33 | 1,38 |
| E (min)                 |                       |      |      |
| 0                       | 14                    | 14   | 14   |
| 60                      | 14                    | 14   | 14   |
| 120                     | 14                    | 13   | 12   |
| 180                     | 16                    | 12   | 10   |

As avaliações de farinografia (Fig. 8b), com base no tempo de estabilidade mostram que, com o período de armazenamento, a estabilidade (E) aumentou no TD0. Para os tratamentos TD20 e TD40 a estabilidade diminuiu, sendo que os menores valores de E ocorreram na amostra de farinha de trigo tratado com 4,0 g  $\text{kg}^{-1}$  de terra de diatomácea. Os resultados de estabilidade apresentaram relação com as propriedades alveográficas, em especial à força de glúten (W). Os resultados não estão de acordo com os encontrados por Korunic et al. (1996), os quais relataram que a farinha de trigo tratada com 300 mg  $\text{kg}^{-1}$  de terra de diatomácea apresentou maior estabilidade na mistura e tempo de desenvolvimento da massa

quando comparada com a farinha tratada com  $50 \text{ mg kg}^{-1}$ . No entanto, o aumento da estabilidade da massa não se refletiu no aumento do volume específico no teste de panificação.

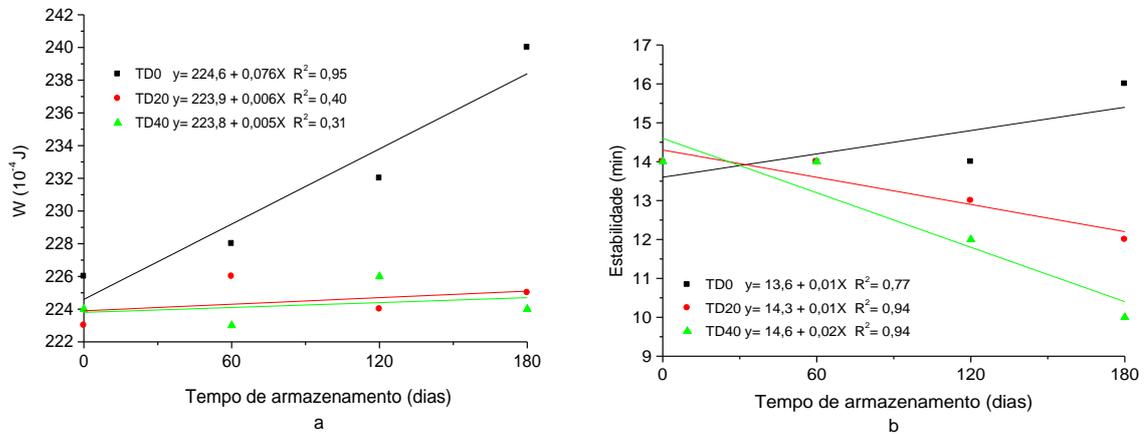


Figura 8 – Força de glúten (W) e estabilidade (E) (b) de farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias.

#### 4.3.3 Características tecnológicas do pão

Os quadrados médios da análise de variância para as características externas, internas, aroma, sabor e escore de pontos de pães, elaborados com farinha de trigo tratado com terra de diatomácea apresentaram efeito significativo para variável tempo de armazenamento. Para doses de terra de diatomácea o efeito foi significativo nas características internas, aroma, sabor e escore de pontos. A interação tempo x doses revelou efeito significativo para o sabor dos pães (Tabela 7). Os coeficientes de variação para as determinações revelaram valores de reduzida magnitude, refletindo o adequado controle das técnicas experimentais na condução do experimento, conferindo precisão e confiabilidade aos resultados obtidos neste estudo.

Tabela 7 - Análise de variância para volume específico (VE), características externas (CE), características internas (CI), aroma (A), sabor (S) e score de pontos (EP) do pão, elaborado com farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias.

| Fonte de variação | GL | VE    | CE                 | CI                 | A                  | S      | EP      |
|-------------------|----|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------|---------|
|                   |    |       |                    |                    |                    |        |         |
| Tempo (dias)      | 3  | 5,31* | 2,39*              | 3,25*              | 4,16*              | 6,44*  | 166,95* |
| Dose (g)          | 2  | 6,89* | 0,67 <sup>ns</sup> | 13,40*             | 4,89*              | 10,77* | 204,42* |
| Tempo x terra     | 6  | 0,63* | 0,19 <sup>ns</sup> | 0,16 <sup>ns</sup> | 0,65 <sup>ns</sup> | 1,35*  | 10,59*  |
| Total             |    | 35    | 35                 | 35                 | 35                 | 35     | 35      |
| CV (%)            |    | 0,98  | 2,72               | 2,04               | 5,95               | 4,74   | 2,00    |

GL - Graus de liberdade; CV - Coeficiente de variação; \* - Significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; ns - não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

No teste de panificação experimental foram determinados volume específico, características externas (cor da crosta, forma e características da crosta), características internas (porosidade, cor do miolo e textura do miolo), aroma e sabor dos pães, obtendo-se o escore de pontos.

A Fig. 9a mostra o volume específico de pães elaborados com farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea, ao longo do período de armazenamento. A análise estatística dos resultados demonstrou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ), durante o período de armazenamento estudado, e, em função do tratamento com terra de diatomácea em grãos de trigo. Os modelos de regressão foram significativos nos doze tratamentos estudados, utilizados, no ajuste, os termos quadráticos, com coeficientes de determinação acima de 0,90. A inclinação da reta determinada pelas equações de regressão, durante o período de armazenamento, foi similar para as diferentes doses de terra de diatomácea estudadas.

O escore de pontos dos pães variou significativamente com o aumento das doses de terra de diatomácea. Os pães elaborados com farinha de trigo sem adição de terra de diatomácea ficaram classificados como de boa qualidade, com valor acima de 92 no escore de pontos. Com adição de terra de diatomácea nas doses de 2 g kg<sup>-1</sup> e 4 g kg<sup>-1</sup> os pães apresentaram redução do escore de pontos, com classificação regular quando empregado, por apresentarem valores inferiores a 81 (FERREIRA, 2002). Os pães elaborados com TD20 e TD40 apresentaram escore de pontos inferior em comparação com TD0, estando em acordo com os resultados de alveografia e intensidade de cor do componente L\*.

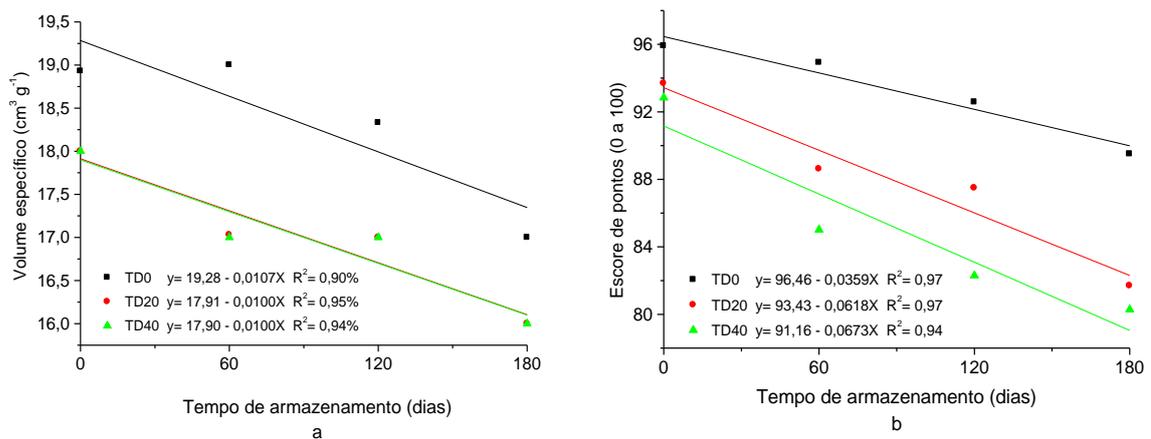


Figura 9 – Volume específico (cm<sup>3</sup> g<sup>-1</sup>) e escore de pontos (0 a 100) do pão elaborado com farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias.

A análise estatística mostrou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) para as características externas, durante o tempo de armazenamento estudado, e não significativa ( $p > 0,05$ ) para doses de terra de diatomácea e interação tempo x doses. O modelo de regressão foi significativo para tempo de armazenamento, sendo utilizados, no ajuste, os termos quadráticos, com coeficiente de determinação de 0,93. A terra de diatomácea em doses de 2,0 g kg<sup>-1</sup> e 4,0 g kg<sup>-1</sup> não apresentou diferença significativa para as características externas de pães (Fig. 10a).

A pontuação das características internas dos pães diminuiu com o aumento do tempo de armazenamento, estimando-se que, a cada 60 dias tenha ocorrido decréscimo de 0,27, em média, sendo significativo em todos os modelos de regressão estudados, com coeficientes de determinação, variando entre 0,92 e 0,98 (Fig. 8b). Estas alterações foram devido ao escurecimento do miolo do pão em função da oxidação natural dos pigmentos durante o armazenamento do trigo, como, também, em função da aplicação de terra de diatomácea nos grãos, sendo verificados os menores valores das características internas dos pães para a maior dose de terra de diatomácea, tratamento TD4.

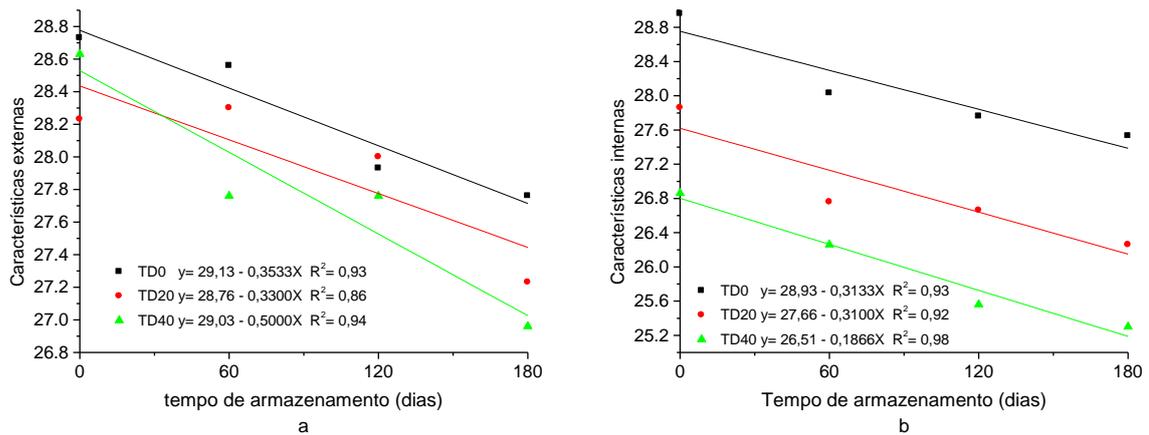


Figura 10 - Características externas (a) e características internas (b) do pão, elaborado com farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias.

As Figuras 11a e 11b mostram o efeito das doses de terra de diatomácea sobre o aroma e o sabor dos pães elaborados com farinha de trigo durante o período de armazenamento. A análise estatística dos resultados demonstrou diferença significativa ( $p < 0,05$ ), durante o período de armazenamento estudado, e nas doses de terra de diatomácea utilizadas. As equações de regressão foram significativas, sendo utilizados, nos ajustes, os termos quadráticos, com coeficientes de determinação acima de 0,89. No TD0, a pontuação do aroma e sabor foi, significativamente, superior quando comparada com os tratamentos que continham 2,0 e 4,0 g  $\text{kg}^{-1}$  de terra de diatomácea.

Os ajustes obtidos pela análise de regressão (Fig. 11a e 11b) mostram a ocorrência de diminuição na pontuação do aroma e sabor em todos os tratamentos estudados no decorrer do período de armazenamento. O tratamento TD0 apresentou menor redução em relação aos tratamentos que continham 2,0 e 4,0 g  $\text{kg}^{-1}$  de terra de diatomácea. Na avaliação dos pães os provadores descreveram que estes apresentavam sabor adstringente crescente com o aumento das doses de terra de diatomácea.

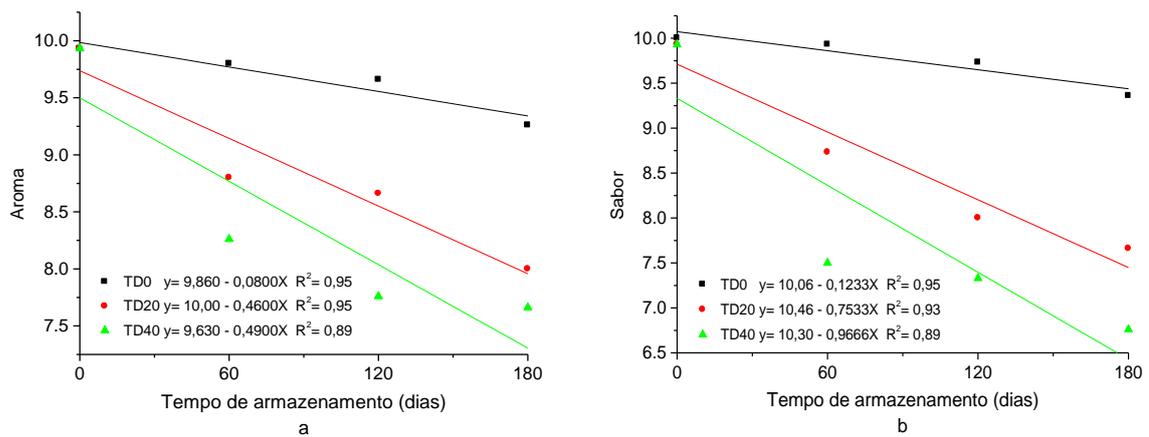


Figura 11 – Sabor (a) e aroma (b) do pão, elaborado com farinha de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea e armazenados pelo período de 180 dias.

#### 4.4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que ocorreu aumento nos teores de proteínas e acidez graxa com o período de armazenamento de grãos de trigo tratados com terra de diatomácea; no entanto, reduziram os teores de lipídios, umidade, peso do hectolitro e cinzas.

Na farinha de trigo tratado com terra de diatomácea e armazenado pelo período de 180 dias ocorreu redução nos teores de glúten úmido, glúten seco, índice de glúten e da coordenada de cromaticidade +b\* (amarelo) de cor e aumento no componente L\* (luminosidade) e DE\* (diferença de cor).

A força de glúten e a estabilidade na farinha aumentaram no tratamento controle (TD0) com o período de armazenamento de 226 para 240  $W \times 10^{-4} J$ , e de 14 para 16 min., respectivamente, ocorrendo redução nos tratamentos com terra de diatomácea nas doses 2,0 e 4,0  $g.kg^{-1}$  em cada 10 kg de grãos de trigo. Para número de queda não foi verificada diferença significativa quanto a aplicação de terra de diatomácea e período de armazenamento.

No teste de panificação experimental os valores atribuídos para as variáveis volume específico, características externas, características internas, aroma, sabor e escore de pontos reduziram com o aumento nas doses de terra de diatomácea e período de armazenamento.

## REFERÊNCIAS

- ATUI, M. B.; LAZZARI, F. A. LAZZARI, S. M. N. Avaliação de metodologia para detecção de resíduos de terra diatomácea em grãos de trigo e farinha. **Instituto Adolfo Lutz**, v.62, n. 1, p. 11-16, 2003.
- ABID, H.; ALI, A.; HUSSAIN, A. Suitability of different wheat varieties grown in NWFP for bread making and effects of falling number on storage. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 8, n. 5, p. 616-619, 2009.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Regras para análise de sementes. Brasília, 1992. 365 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SARC nº 7 de 15 de agosto de 2001. Aprova o regulamento técnico de identidade e qualidade do trigo. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 21 de agosto de 2001.
- CARNEIRO, L.M.T.A.; BIAGI, J. D.; FREITAS, J. G. de; CARNEIRO, M. C.; FELÍCIO, J. C. Diferentes épocas de colheita, secagem e armazenamento na qualidade de grãos de trigo comum e duro. **Bragantia**, v. 64, n. 1, p. 127-137, 2005.
- FERREIRA, S.M.R. **Controle da qualidade em sistemas de alimentação coletiva**. I. São Paulo: Varela, 2002, 173 p.
- FERREIRA, D.F. Sisvar 5.3, Build 75. 2010. Disponível em: <<http://www.dex.ufla.br/danielff/sisvar>>. Acesso em: 13 abril, 2010.
- EL-DASH, A. A. Standardized mixing and fermentation procedures for experiments baking test. **Cereal Chemistry**, v. 55, n. 336, p. 436-446, 1978.
- GUARIENTI, E. M. **Qualidade industrial de trigo**. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa, 1996, 33 p.
- GUTKOSKI, L. C.; JACOBSEN NETO, R. Procedimento para teste laboratorial de panificação – pão de forma. **Revista Ciência Rural**, v. 32, n. 5, p. 873-879, 2002.
- GUTKOSKI, L. C.; DURIGON, A.; MAZZUTTI, S.; SILVA, A. C. T. da; ELIAS, M. C. Efeito do 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.
- KORUNIC, Z.; CENKOWSKI, S.; FIELDS, P. Grain bulk density as affected by diatomaceous earth and application method. **Postharvest Biology and Technology**, v. 13, n. 1, p. 81-89, 1998.

KORUNIC, Z. et al. The effect of diatomaceous earth on grain quality. **Postharvest Biology and Technology**, v.9, n. 3, p. 373-387, 1996.

KORUNIC, Z. Diatomaceous earths, a group of natural insecticides. **Journal of Stored Products Research**, v. 34, n. 23, p. 87-97, 1998.

LORINI, I. **Manual técnico para o manejo integrado de pragas de grãos de cereais armazenados**. Passo Fundo: Embrapa, p.16-20, 2003.

MIRANDA, M. Z.; LORINI, I.; GUARIENTI, E. M. Efeitos de pós inerentes usados no controle de insetos de grãos armazenados sobre características de qualidade de trigo. In XVIII Reunião Nacional de Pesquisa de Trigo, Embrapa, **Anais**, Passo Fundo, 1999. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. p. 406-411.

MARINI, L.J.; GUTKOSKI, L.C.; ELIAS, M.C.; MEZZOMO, N. Efeito da secagem intermitente na estabilidade de grãos de aveia. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 8, n. 3, p. 260-267, 2005.

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.

RUPOLLO, G.; GUTKOSKI, L.C.; MARINI, L.; ELIAS, M.C. Sistemas de armazenamento hermético e convencional na conservabilidade de grãos de aveia. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, p. 1715-1722, 2004.

SALUNKHE, D. K. Nature of postharvest losses. In: SALUNKHE, D. K. **Postharvest Biotechnology of Cereals**. Boca Raton: CRC Press, 1985, p. 9-22.

TORBICA M. ANTOV J. MASTILOVIC´ D. KNEZEVIC´ The influence of changes in gluten complex structure on technological quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Food Research International**, v. 40, p. 1038–1045, 2007.

VARDEMAN, E. A.; ARTHUR, F. H.; NECHOLS, J. R.; CAMPBELL, J. F. Efficacy of surface applications with diatomaceous earth to control *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) in stored wheat. **Journal of Stored Products Research**, v. 43, p. 335–341, 2007.

## **5 ESTUDO 3 – QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUO DE TERRA DE DIATOMÁCEA EM FARINHA DE TRIGO**

## QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUO DE TERRA DE DIATOMÁCEA EM FARINHA DE TRIGO

### RESUMO

Os trabalhos sobre a aplicação de terra de diatomácea em grãos de trigo não apresentam informações sobre a quantidade de resíduo que permanece na farinha após a moagem do trigo. O presente trabalho objetivou quantificar o resíduo de terra de diatomácea em farinha de grãos de trigo tratados. Foram utilizadas amostras de trigo (*Triticum aestivum* L.), cultivar Abalone fornecido pela Fundação Pró Sementes, com umidade de 13%. A farinha foi obtida através de moagem em moinho piloto marca Chopin. A terra diatomácea utilizada foi da marca KeepDry®, com cerca de 80 a 93% de dióxido de sílica amorfa (SiO<sub>2</sub>). Foram pesadas amostras de 0,1g de farinha de trigo, após pesadas às amostras foram transferidas para um cadinho de níquel e incineradas a 650°C, durante 4 horas. Deixou-se esfriar adicionou-se às cinzas obtidas 3,7 ml de solução de hidróxido de sódio a 50%. Levaram-se os cadinhos a uma chapa quente para evaporar até a secura. As amostras foram aquecidas lentamente. Em seguida, o resíduo esfriado foi dissolvido com 35 ml de água deionizada e mantido em repouso durante uma noite. Os cadinhos foram então levados com 15 ml hidróxido de sódio 0,1 M, para um volume total de 50 ml, transferido para frascos de polietileno. A determinação de silício foi realizada em espectrofotômetro UV-Vis, que opera na faixa de comprimento de onda de 200 a 1100 nm. O método empregado foi o proposto por Furlani (1978), com modificações na proporção dos reagentes utilizados. O aparelho foi calibrado com água deionizada, contendo todos os reagentes, exceto amostra. A leitura das absorvâncias foi realizada em comprimento de onda de 815 nm. Para a análise do silício na farinha de trigo tratado com terra de diatomácea, utilizou-se 1000 µL de amostra e os demais reagentes em quantidades proporcionais. A curva padrão para determinação de silício foi construída com solução de terra de diatomácea, tratada conforme descrito anteriormente, na faixa de concentração de 0 a  $7.3752 \times 10^{-5}$  mol L<sup>-1</sup>. A digestão das amostras e o método colorimétrico empregado para a quantificação de silício são adequados e podem ser utilizados na determinação de resíduo de terra diatomácea (sílica) que permanece na farinha de trigo após a moagem dos grãos de trigo.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*. Silício. Método colorimétrico.

### 5.1 INTRODUÇÃO

O Si pode ser determinado por diferentes métodos, incluindo a espectrometria de emissão gravimétrica, colorimetria e absorção atômica. Também, pode ser determinado por gravimetria, após a digestão ácida. O método clássico para

determinação do conteúdo de silício (Si) total de diversos materiais tem sido por meio da conversão de silicatos insolúveis em silicato de sódio solúvel, através da fusão do material em análise com hidróxido de sódio à temperatura elevada (SRIPANYAKORN et al., 2005).

O método colorimétrico consiste na formação do complexo molibdo-silícico reduzido ou "azul-de-molibdênio", este tem sido o mais utilizado para determinação de silício. Porém, o sucesso da aplicação desse método está condicionado à dissolução da sílica presente nos materiais. Dentre as diversas técnicas existentes, destacam-se as baseadas na fusão da amostra com substâncias alcalinas, como carbonato de sódio e hidróxido de sódio e as fundamentadas na fluorização, em presença de excesso de ácido bórico (ELLIOTT, 1991; RODRIGUES, 2005).

No método colorimétrico do azul de molibdênio, o produto da reação é um composto azul, obtido da redução do heteropolíácido, cujo desenvolvimento ocorre em duas etapas, a de formação do ácido silicomolibdico e a de redução por um agente orgânico ou inorgânico. Este método depende da acidez do meio, parâmetro este capaz de minimizar a influência de espécies interferentes. Quando ocorre a interferência devida a fosfato, o ácido oxálico tem sido frequentemente empregado como agente redutor. Outro aspecto de importância se relaciona à acidez da amostra, pois, existem situações em que o meio ácido se faz necessário e outras em que a adição de ácido não é recomendada (FERREIRA et al. 1987; SNYDER, 2001).

A terra de diatomácea é um sedimento amorfo, originado a partir de carapaças de organismos unicelulares vegetais, tais como algas microscópicas aquáticas, marinhas e lacustres, sendo normalmente denominado pó-inerte. Por apresentarem natureza silicosa, as frústulas desenvolvem-se nas camadas geológicas da crosta terrestre. A terra de diatomácea é um material leve e de baixa massa específica aparente e coloração variável, desde o branco até o cinza escuro. Este material é constituído, principalmente, por óxido de silício de 80 a 93%, argilominerais, material orgânico, hidróxidos, areia quartzosa, carbonatos de cálcio e de magnésio (VARDEMAN et al., 2007; KORUNIC, 1998).

A terra de diatomácea é um produto atóxico, utilizado no controle de pragas de grãos armazenados (LORINI et al., 2001). Embora existam trabalhos sobre a aplicação de terra de diatomácea em grãos de trigo, a literatura não apresenta informações sobre a quantidade de resíduo que permanece na farinha após a moagem do trigo mesmo com retirada parcial na etapa de limpeza (ATUI, et al.,

2003). Estudos para quantificar os resíduos de terra de diatomácea na farinha de trigo são de interesse para a indústria e para os laboratórios oficiais de análise de alimentos. O presente trabalho objetivou quantificar o resíduo de silício na farinha de trigo tratado com terra de diatomácea, realizada por meio do método colorimétrico em UV-vis.

## **5.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.2.1 Material Experimental**

O trabalho de pesquisa foi instalado no laboratório de Cereais do Centro de Pesquisa em Alimentação (Cepa) da Universidade de Passo Fundo – RS e as análises realizadas no Departamento de Química da Universidade Estadual de Ponta Grossa - PR.

O trigo (*Triticum aestivum L*) utilizado foi do cultivar Abalone, produzido no campo experimental da empresa Biotrigo Genética Ltda., localizado no Município de Passo Fundo, RS, safra 2008/2009. A colheita dos grãos foi realizada com colhedora automotriz, realizado a pré-limpeza em máquina de ar e peneiras e a secagem em secador estacionário até a umidade de 13%.

A terra de diatomácea utilizada foi da marca KeepDry®, Brazil, com cerca de 93% de dióxido de sílica amorfa ( $\text{SiO}_2$ ), granulometria de 15  $\mu\text{m}$ , em média e densidade aparente de 200  $\text{g L}^{-1}$ ; coloração clara, insolúvel em água e aspecto de pó seco.

### **5.2.2 Métodos**

#### **5.2.2.1 Delineamento Experimental**

Em amostras de 10 kg de grãos de trigo foi adicionada terra de diatomácea (TD) nas dosagens de zero, 2.0 e 4.0  $\text{g kg}^{-1}$ , homogeneizadas em batedeira planetária Hypo, modelo HB 25, Brazil, armazenadas em sacos de algodão, em ambiente com temperatura de 22 °C e umidade relativa de 70 ± 5%. A farinha foi obtida pela moagem dos grãos de trigo em moinho piloto Chopin, modelo CD1, França, realizada de acordo com o método nº 26-10 da AACCC (2000). As análises

de resíduo de silício na farinha de trigo tratado com a terra de diatomácea foram realizadas em amostras de 0,1 g, em duplicata.

#### **5.2.2.2 Digestão das amostras**

As amostras de farinha de trigo foram digeridas de acordo com o procedimento proposto por Elliott (1991), com modificações no tempo e temperatura de incineração e na quantidade de solução de hidróxido de sódio. As amostras foram pesadas e transferidas para cadinhos de níquel e incineradas a 650 °C, por 4 horas. O resíduo foi resfriado e adicionado 3.7 mL de NaOH 12.5 mol L<sup>-1</sup>. Os cadinhos foram aquecidos, lentamente, para evaporação do solvente. O sólido foi redissolvido em 35 mL de água deionizada e mantido em repouso por uma noite. Os cadinhos foram lavados com 15 mL de solução de hidróxido de sódio 0.1 mol L<sup>-1</sup>, o volume foi completado para 50 mL e a solução resultante transferida para frascos de polietileno. Para avaliar a aplicabilidade do método amostras de farinha de trigo de 0.00 a 0.10 g foram acrescidas de quantidades conhecidas de terra de diatomácea e digeridas conforme descrito anteriormente. Também, amostras de 0.10 g de terra de diatomácea isentas de farinha de trigo foram digeridas de forma similar e utilizadas para obter a curva analítica. Os experimentos foram realizados em duplicata.

#### **5.2.2.3 Determinação de silício**

A determinação de silício foi realizada em espectrofotômetro UV-Vis, marca Shimadzu, modelo 1800, Japão, que opera na faixa de comprimento de onda de 200 a 1100 nm. O método empregado na determinação de silício foi o proposto por Furlani (1978), com modificações na proporção dos reagentes utilizados. O aparelho foi calibrado com água deionizada, contendo todos os reagentes, exceto amostra. Para as análises foram utilizados balões volumétricos de 5 mL com 10 µL de amostra digerida, 10 µL de solução de ácido sulfúrico 2,5 mol L<sup>-1</sup>, quantidade suficiente para estabilizar o pH entre 4,5 e 5,0. No balão volumétrico foi adicionado 200 µL de molibdato de amônio 0,043 mol L<sup>-1</sup>, a solução agitada e mantida em repouso por 5 min. Na sequência foi adicionado 100 µL de ácido oxálico 1,11 mol L<sup>-1</sup>, 30 µL de ácido sulfúrico 2,5 mol L<sup>-1</sup> e 100 µL de solução de ácido ascórbico 0,113

mol L<sup>-1</sup>, recém preparada. O volume foi completado com água deionizada e a solução homogeneizada e mantida em repouso por 15 min. A leitura das absorvâncias foi realizada em comprimento de onda de 815 nm. Para a análise do silício na farinha de trigo tratado com terra de diatomácea, utilizou-se 1000 µL de amostra e os demais reagentes em quantidades proporcionais. A curva padrão para determinação de silício foi construída com solução de terra de diatomácea, tratada conforme descrito anteriormente, na faixa de concentração de 0 a 7.3752 x 10<sup>-5</sup> mol L<sup>-1</sup>.

## 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.3.1 Curva analítica

A Fig. 1a representa os espectros da variação de absorvância em função da concentração de silício em terra de diatomácea. A absorvância diminuiu de forma proporcional com a redução da concentração de Si na solução. A absorvância máxima foi observada no comprimento de onda de 815 nm.

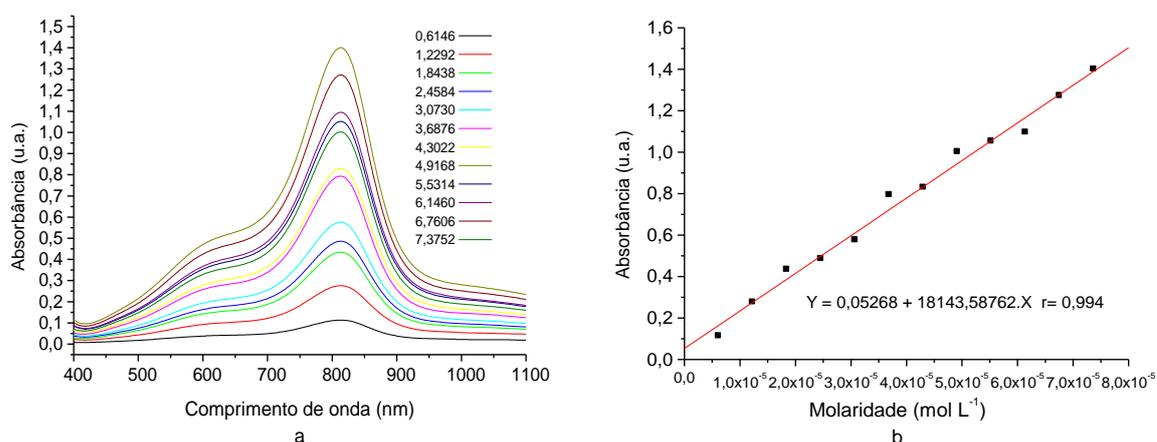


Figura 1 - Espectros das absorvâncias de Si nas concentrações de 0 a 7,3752 x 10<sup>-5</sup> mol L<sup>-1</sup> de terra de diatomácea (a) e curva analítica de Si (b).

A partir dos dados de absorvância para as diferentes concentrações de silício nas soluções foi construída a curva analítica de Si (Fig. 1b). Observou-se uma linearidade da Lei de Beer-Lambert com o aumento na absorvância, em 815 nm, em função das concentrações de silício na amostra, com coeficiente de correlação de

0,994. O elevado valor de  $r$  da curva analítica, associado aos baixos valores de desvio padrão (Tabela 2), indicou precisão do método colorimétrico para a determinação de silício em terra de diatomácea.

### **5.3.2 Determinação de silício na farinha de trigo, acrescida de quantidades conhecidas de terra de diatomácea**

A curva analítica obtida, experimentalmente, está representada na equação 01

$$Y = 0,05268 + 18143,58762 \cdot X \quad (01)$$

Y = absorvância da amostra

X = concentração de silício na solução.

Na Fig. 2 estão representados os espectros obtidos das análises de silício na farinha de trigo, acrescida de quantidades conhecidas de terra de diatomácea. Na amostra A, isenta de terra de diatomácea, não foi detectada a presença de silício, enquanto nas amostras B, C e D a absorvância aumentou de forma proporcional à quantidade de terra de diatomácea adicionada às amostras de farinha de trigo. A partir das leituras das absorvâncias realizadas em amostras de farinha de trigo com quantidades conhecidas de terra de diatomácea, a molaridade de cada solução foi calculada empregando a curva analítica, onde  $y$  foi à absorvância das amostras e  $x$  a concentração de silício nas soluções.

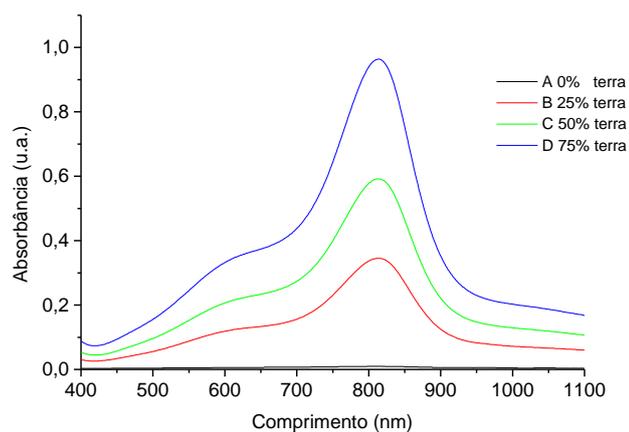


Figura 2 - Espectros das absorvâncias de Si em amostras de farinha de trigo acrescidas de terra de diatomácea.

Exemplo para o cálculo da concentração nas amostras:

$$Y = 0,05268 + 18143,58762 \cdot X$$

$$0,345 = 0,05268 + 18143,58 \cdot X$$

$$X = 1,61115 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$$

Foram utilizados 10 micro litros de cada amostra, ou 0,01 mL e considerando a diluição em um balão de 5 mL.

Exemplo para o cálculo na amostra B:

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$M_1 \times 0,01 = 1,61115 \times 10^{-5} \times 5$$

$$M_E = 0,00805575 \text{ ou } 0,8056 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$$

$$M_E = 8,13 \text{ mmol L}^{-1}$$

Considerando as massas usadas com grau de pureza, de em torno de 93%, com a MM de  $60,09\text{g mol}^{-1}$  para  $\text{SiO}_2$ .

Exemplo para cálculo de silício:

$$0,0264\text{g} - 100\%$$

$$X \text{ ----- } 93\%$$

$$X = 0,0245\text{g}$$

$$n = m / \text{MM} \quad n = 0,0245 / 60,09$$

$$n = 0,000408 \text{ mols}$$

$$M = n / V$$

$$M_T = 0,000408 \text{ mols} / 50 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$M_T = 0,00817 \text{ mol L}^{-1}$$

$$M_T = 8,26 \text{ mmol L}^{-1}$$

A Tabela 1 apresenta a molaridade teórica calculada a partir de quantidade de terra de diatomácea conhecida e acrescentada na farinha de trigo, bem como a molaridade experimental. Os dados mostraram que houve recuperação total da terra de diatomácea adicionada à farinha de trigo, com concordância entre os valores calculados e os determinados experimentalmente. Isso confirma que o tratamento das amostras e o método colorimétrico empregado para a quantificação de silício foram adequados e podem ser utilizados na determinação de resíduo de terra de diatomácea em farinha de trigo comercializada.

Tabela 1 - Massa de farinha de trigo (FT), massa de terra de diatomácea (TD), número de mols (mols), molaridade teórica ( $M_T$ ) e molaridade experimental ( $M_E$ ) de Si em farinha de trigo.

| Amostra | FT<br>(g) | TD<br>(g) | mols     | $M_T$<br>(mmol L <sup>-1</sup> ) | $M_E$<br>(mmol L <sup>-1</sup> ) |
|---------|-----------|-----------|----------|----------------------------------|----------------------------------|
| A       | 0,1000    | 0         | 0        | 0                                | 0                                |
| B       | 0,0766    | 0,0245    | 0,000408 | $8,26 \pm 0,09$                  | $8,13 \pm 0,085$                 |
| C       | 0,0471    | 0,0471    | 0,000783 | $15,72 \pm 0,06$                 | $14,77 \pm 0,082$                |
| D       | 0,0245    | 0,0766    | 0,001275 | $25,57 \pm 0,06$                 | $25,37 \pm 0,26$                 |

Desvio padrão para a  $M_T$  e para a  $M_E$ .

### 5.3.3 Determinação de silício nas amostras de farinha de grãos de trigo tratado com terra de diatomácea

Na Fig. 3 estão representados os espectros das análises das amostras de farinha de trigo, obtidas após o armazenamento e tratamento com zero, 2.0 e 4.0 g kg<sup>-1</sup> de terra de diatomácea. Na amostra de farinha de trigo, isenta de terra de diatomácea (TD0), a absorvância foi próximo de zero, enquanto que nas tratadas com 2.0 e 4.0 g kg<sup>-1</sup> (TD20 e TD40) a absorvância aumentou de forma proporcional.

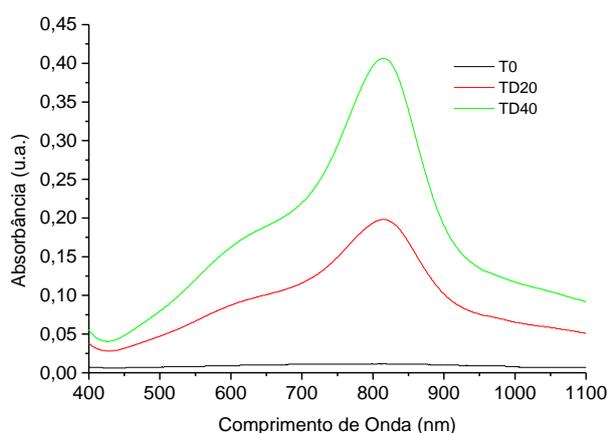


Figura 3 - Espectros das absorvâncias de Si em amostras de farinha de trigo tratado com zero, 2,0 e 4,0 g kg<sup>-1</sup> de terra de diatomácea.

A partir da curva padrão e das análises das amostras, as molaridades foram calculadas a partir da equação 01.

Exemplo para o cálculo da concentração nas amostras:

$$0,202 = 0,05268 + 18143,58 \cdot x$$

$$X = 8,2299 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$$

$$M = 8,2299 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$$

Exemplo para o cálculo da amostra TD20:

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$M_E \cdot 1 = 8,2299 \times 10^{-6} \times 5$$

$$M_E = 4,1149 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$$

$$M_E = 40,59 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$$

Como 10000 g de trigo foram tratados com 20 g e 40 g de terra de diatomácea tem-se para a amostra TD20:

20 g TD → 10000 g de trigo

X → 2000 g amostra de grãos de trigo retirado a cada período de análise

X = 4 g de terra de diatomácea

4 g → 2000 g amostra de grãos de trigo retirado a cada período de análise

X → 1000 g rendimento de farinha

X = 2 g de terra de diatomácea

Exemplo para Cálculo de silício:

2 g → 1000 g rendimento de farinha

X → 0,1044 g massa da amostra para análise

X = 0,0002088 g

Com a MM de  $60,09 \text{ g mol}^{-1}$  para  $\text{SiO}_2$

Nº de mols (n) =  $0,0002088 \text{ g} / 60,09$

n = 0,000003474 mols

$M_T = 0,000003474 \text{ mols} / 50 \times 10^{-3} \text{ L}$

$M_T = 6,9495 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$

$M_T = 70,22 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$

A partir da curva analítica e das leituras das absorvâncias realizadas com amostras de farinha de trigo tratado com zero, 2,0 e 4,0  $\text{g.kg}^{-1}$  de terra de diatomácea foram calculadas as molaridades de cada solução. A Tabela 2 apresenta as molaridades teóricas e as molaridades experimentais das amostras de farinha de trigo tratado com terra de diatomácea. Nas amostras TD20 e TD40 o silício foi, precisamente quantificado, sendo a molaridade experimental nos dois tratamentos inferior à molaridade calculada. Esta diferença foi devida às operações realizadas nos grãos de trigo, como armazenamento, pré moagem e moagem. No processo de moagem parte da terra de diatomácea ficou, provavelmente, retida no farelo, bem

como nas escovas, rolos e peneiras do moinho. Isto explica por que a molaridade experimental das amostras apresentou menor concentração quando comparada com a molaridade teórica.

Por ser um método rápido, preciso e confiável para a quantificação de resíduo de terra de diatomácea o mesmo pode ser indicado aos laboratórios oficiais para emitir certificado quanto à quantidade de terra diatomácea que permanece na farinha após a moagem do trigo.

Tabela 2 - Massa da amostra (MA), número de mols (mols), molaridade teórica ( $M_T$ ) e molaridade experimental ( $M_E$ ) das amostras de farinha de trigo tratado com zero, 2,0 e 4,0  $\text{g.kg}^{-1}$  de terra de diatomácea.

| Amostra | MA<br>(g) | mols       | $M_T$<br>( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) | $M_E$<br>( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) |
|---------|-----------|------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| TD0     | 0         | 0          | 0                                   | 0                                   |
| TD20    | 0,1066    | 0,00038752 | $70,22 \pm 0,73$                    | $40,59 \pm 0,55$                    |
| TD40    | 0,1069    | 0,00116695 | $138,19 \pm 2,06$                   | $92,95 \pm 0,55$                    |

Desvio padrão para a  $M_T$  e para a  $M_E$ .

Elliott & Snyder (1991) em trabalho sobre a determinação de silício em palha de arroz pelo método colorimétrico encontraram maiores dificuldades na solubilização das amostras. Rodrigues & Santana (2005) relatam a determinação de Si em materiais lignocelulósicos, pelo método colorimétrico, utilizando espectrofotômetro na região do UV-Vis, encontrando resultados reprodutíveis. Porém, na literatura não foram encontrados trabalhos de pesquisa sobre a determinação de silício em farinha de trigo tratado com terra de diatomácea.

## 5.4 CONCLUSÕES

A sequência experimental comprovou serem atingidos os objetivos propostos, pois, através do método empregado a quantidade de terra de diatomácea foi, quantitativamente, recuperada. Assim, pode-se afirmar que o método apresenta exatidão, quando aplicado à análise de silício em terra de diatomácea. O método tem aceitável precisão para a determinação de Si em terra de diatomácea.

A metodologia aplicada no presente trabalho fornece resultados reprodutíveis e confiáveis no que se refere à determinação de silício em terra de diatomácea. Esta

pode ser utilizada para quantificar o teor de terra de diatomácea, silício, que permanece na farinha de trigo após a moagem dos grãos. O uso de tal metodologia será de grande importância para a indústria e para os laboratórios oficiais responsáveis pela emissão de certificados.

## REFERÊNCIAS

ATUI, M. B.; LAZZARI, F. A. LAZZARI, S. M. N. Avaliação de metodologia para detecção de resíduos de terra diatomácea em grãos de trigo e farinha. **Instituto Adolfo Lutz**, v.62, n. 1, p. 11 – 16, 2003.

ELLIOTT, C. L.; SNYDER G. H. Autoclave-Induced Digestion for the Colorimetric Determination of Silicon in Rice Straw? **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 39, n. 6, 1118-1119, 1991.

FERREIRA, J. R.; KRONKA, E. A. M.; JACINTHO, A. O. Determinação de silício em águas naturais pelo método azul de molibdênio através de sistemas de análise por injeção em fluxo. **Revista Química Nova**, v. 10, n. 14, p. 270-273, 1987.

FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. Determinação de silício em material vegetal, pelo método colorimétrico do "azul-de-molibdênio". **Bragantia: revista de ciências agrônomicas**, v.2, n. 37, p. 5-11, 1978.

KORUNIC, Z.; CENKOWSKI, S.; FIELDS, P. Grain bulk density as affected by diatomaceous earth and application method. **Postharvest Biology and Technology**, n. 13, p. 81-89, 1998.

SRIPANYAKORN, S.; JUGDAOHSINGH, R.; THOMPSON, R. P. H.; POWELL, J. J. Dietary silicon and bone health. **Nutrition Bulletin**, v. 30, n. 3, p. 222-230, 2005.

LORINI, I.; FERREIRA FILHO, A.; BARBIERI, I.; DEMAMAN, N, A.; MARTINS, R. R.; DALBELLO, O. Terra de diatomáceas como alternativa no controle de pragas de milho armazenado em propriedade familiar. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v.2, n.4, p. 32-36, 2001.

RODRIGUES, L. C.; SANTANA, M. A. E. Metodologia para determinação do teor de sílica em materiais lignocelulósicos via espectrometria no Ultravioleta-visível. **Floresta e Ambiente**, v.12, n.1, p. 57 - 62, 2005.

SNYDER, G. H. Methods for silicon analysis in plants, soils, and fertilizers. **Elsevier Science**, p. 185-196, 2001.

VARDEMAN, E. A.; ARTHUR, F. H.; NECHOLS, J. R.; CAMPBELL, J. F. Efficacy of surface applications with diatomaceous earth to control *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) in stored wheat. **Journal of Stored Products Research**, v. 43, p. 335–341, 2007.