

Diagnóstico de perdas qualitativas e quantitativas no armazenamento de trigo



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Trigo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

DOCUMENTOS 186

Diagnóstico de perdas qualitativas e quantitativas no armazenamento de trigo

*Casiane Salete Tibola
Alberto Luiz Marsaro Júnior
Martha Zavariz de Miranda
Volnei Luiz Meneghetti
Eliana Maria Guarienti
Maria Imaculada Pontes Moreira Lima
Luiz Eichelberger
Marcio Nicolau
Paulo Roberto Valle da Silva Pereira
Elessandra da Rosa Zavareze
Luiz Carlos Gutkoski*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Trigo
Rodovia BR 285, Km 294
Caixa Postal 3081
Telefone: (54) 3316-5800
Fax: (54) 3316-5802
99050-970 Passo Fundo, RS
<https://www.embrapa.br/fale-conosco>

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Trigo

Presidente
Gilberto Rocca da Cunha

Vice-Presidente
Luiz Eichelberger

Secretária
Gessi Rosset

Membros
Alberto Luiz Marsaro Júnior, Alfredo do Nascimento Junior, Ana Lídia Variani Bonato, Elene Yamazaki Lau, Fabiano Daniel De Bona, Gisele Abigail Montan Torres, Maria Imaculada Pontes Moreira Lima

Normalização bibliográfica
Rochelle Martins Alvorcem (CRB 10/1810)

Tratamento das ilustrações e editoração eletrônica
Márcia Barrocas Moreira Pimentel

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Capa
Márcia Barrocas Moreira Pimentel

Fotos da capa
Casiane Salete Tibola

1ª edição
versão on-line (2020)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Nome da unidade catalogadora

Diagnóstico de perdas qualitativas e quantitativas no armazenamento de trigo. / por Casiane Salete Tibola... [et al.]. – Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2020. 41 p. : il. color. - (Embrapa Trigo. Documentos Online, 186).

ISSN 1518-6512

1. Trigo. 2. Produção. 3. Grãos. 4. Perdas quantitativas. 5. Perdas qualitativas. I. Tibola, Casiane Salete. II. Embrapa Trigo. III. Série.

CDD 633.11

Rochelle Martins Alvorcem (CRB 10/1810)

©Embrapa 2020

Autores

Casiane Salete Tibola

Engenheira-agrônoma, Dra. em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

Alberto Luiz Marsaro Júnior

Engenheiro-agrônomo, Dr. em Ciências Biológicas/Entomologia, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

Martha Zavariz de Miranda

Farmacêutica bioquímica e industrial, Dra. em Tecnologia de Alimentos, pesquisadora da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

Volnei Luiz Meneghetti

Engenheiro agrícola, Dr. em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Professor do Instituto Federal Farroupilha campus Panambi, Panambi, RS.

Eliana Maria Guarienti

Engenheira-agrônoma, Dra. em Tecnologia de Alimentos, pesquisadora da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

Maria Imaculada Pontes Moreira Lima

Engenheira-agrônoma, Dra. em Agronomia/Fitopatologia, pesquisadora da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

Luiz Eichelberger

Engenheiro-agrônomo, Dr. em Ciências e Tecnologia de Sementes, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

Marcio Nicolau

Estatístico, M.Sc. em Computação Aplicada, analista da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

Paulo Roberto Valle da Silva Pereira

Engenheiro-agrônomo, Dr. em Ciências Biológicas/Entomologia, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR.

Elessandra da Rosa Zavareze

Engenheira de alimentos, Dra. em Engenharia e Ciência de Alimentos, docente da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

Luiz Carlos Gutkoski

Engenheiro agrônomo, Dr. em Engenharia de Alimentos, professor da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, RS.

Agradecimentos

Os autores agradecem:

- a disponibilidade das equipes das unidades armazenadoras da CONAB e Unnilodi, que auxiliaram em todas etapas de condução do trabalho.
- a colaboração de Ândrea Caprini Sagiorato, Tânia Aparecida Soster Santetti, Bárbara Biduski e Tatiana Oro (UPF), Antonio Airton Polippo (Emater-RS/Ascar), Francine Tavares da Silva e Laura Martins Fonseca (UFPel), Claudia Cristina Clebsch, Antonio Sérgio Brizola de Oliveira, Ellen Traudi Wayerbacher Rogoski, Helena Araújo de Andrade, Paulo Rocha de Albuquerque, Pihetra Oliveira Tatsch e Rogerio Delanora (Embrapa Trigo).

Apresentação

A produção de grãos no Brasil apresentou crescimento exponencial nas últimas décadas, demandando estruturas e manejos adequados na etapa de armazenamento, visando manter a qualidade dos produtos colhidos e reduzir as perdas. A determinação de índices de perdas quantitativas, o diagnóstico da presença de contaminantes, a caracterização da aptidão tecnológica e a indicação de boas práticas no armazenamento de trigo, são importantes para obtenção de um alimento seguro, além de manter a qualidade e a eficiência na cadeia produtiva.

O documento técnico '**Diagnóstico de perdas qualitativas e quantitativas no armazenamento de trigo**', tem por objetivo apresentar diagnóstico da qualidade tecnológica e dos contaminantes detectados no trigo durante dez meses de armazenamento em silos metálicos e de alvenaria, visando apresentar panorama representativo do armazenamento comercial de trigo no Brasil.

Nesta publicação foram reunidas as contribuições de equipe multidisciplinar e multi-institucional, abrangendo diferentes indicadores de qualidade: tipo e classe de trigo; características físico-químicas, reológicas e de panificação; presença de fungos; micotoxinas; infestação de insetos-praga; presença de fragmentos de insetos na farinha; quebra técnica e fator de compactação no armazenamento.

A Embrapa e todas as instituições participantes esperam que o diagnóstico apresentado neste documento forneça informações importantes para orientar investimentos em infraestrutura e equipamentos, estabelecer boas práticas no armazenamento, promover ações de capacitação, bem como, para implementar políticas públicas, para minimizar as perdas no armazenamento de trigo.

Oswaldo Vasconcellos Vieira
Chefe-Geral da Embrapa Trigo

Sumário

1. Introdução.....	11
2. Material e Métodos.....	12
2.1. Caracterização das unidades armazenadoras.....	12
2.2. Coleta das amostras nos silos.....	13
2.3. Tipo e classe do trigo.....	14
2.4. Caracterização físico-química, composição química e atividade enzimática.....	15
2.5. Caracterização reológica.....	18
2.6. Características de panificação e de textura dos pães.....	19
2.7. Avaliação da presença de fungos.....	19
2.8. Análise de micotoxinas.....	19
2.9. Avaliação da infestação por insetos-praga e dos fragmentos de insetos na farinha obtida a partir dos grãos armazenados.....	20
2.10. Quebra-técnica e fator de compactação.....	20
2.11. Análise estatística dos dados.....	22
3. Resultados, Discussão e Conclusões.....	23
3.1. Efeito do armazenamento na tipificação de trigo.....	23
3.2. Alterações físico-químicas, composição química e atividade enzimática no armazenamento de trigo.....	25
3.3. Alterações na reologia das farinhas no armazenamento de trigo.....	29
3.4. Alterações nas características de panificação e textura do pão no armazenamento de trigo.....	29
3.5. Resumo das alterações na qualidade tecnológica de trigo.....	30
3.6. Presença de fungos no armazenamento de trigo.....	30

3.7. Níveis de micotoxinas em lotes de trigo	30
3.8. Avaliação da infestação por insetos-praga e fragmentos de insetos na farinha de trigo obtida a partir de grãos armazenados nos silos.....	34
3.9. Efeitos do armazenamento de trigo na quebra-técnica e porcentagem de compactação	35
4. Considerações Finais.....	38
Referências	40

1. Introdução

As perdas quantitativas médias brasileiras de grãos, estimadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), indicam valores de, aproximadamente, 10% do total produzido anualmente (Lorini, 2007). As perdas qualitativas também são de extrema relevância, uma vez que comprometem a utilização dos grãos produzidos, ou os classificam para outras finalidades de menor valor agregado, ou ainda, resultam em produtos finais com a inocuidade comprometida (Tibola et al., 2011).

Entre os grãos que sofrem estas perdas está o trigo, que é a principal fonte de nutrientes para a população mundial. No Brasil, o consumo anual de trigo em 2019 foi de 12 milhões de toneladas e o consumo de farinha em 2019 foi de 40,62 kg/habitante/ano (Abitrigo, 2019). O trigo deve ser comercializado de acordo com o Regulamento Técnico do Trigo (Brasil, 2010). Além de exigências de normativas oficiais, do ponto de vista tecnológico, cada produto derivado de trigo necessita de parâmetros físico-químicos e reológicos específicos, para que se obtenha o máximo de rendimento e produto final com características de qualidade desejadas pelo consumidor.

A adoção de boas práticas na produção a campo deve ser complementada com manejo adequado na pós-colheita, visando preservar a quantidade e a qualidade dos grãos produzidos. A deterioração do grão está relacionada principalmente ao teor de umidade, que é fundamental para a armazenagem segura. O tempo de armazenagem em trigo aumenta no fator de 1,5 para cada um por cento de redução no conteúdo de umidade. Não é possível conservar grão muito úmido e satisfazer exigências comerciais, como poder germinativo, cor e odor normais. O grão seco não sofre alteração ou deterioração durante o armazenamento, mesmo se a temperatura for relativamente alta, por exemplo, 25 °C (Poichotte, 1980). Para períodos de armazenagem mais longos, de quatro a 12 meses, o teor de umidade deve ser reduzido para 13%, que é o limite máximo permitido pela legislação brasileira (Tibola et al., 2011).

Outro importante desafio no armazenamento é preservar a qualidade dos produtos, minimizando a presença de contaminantes biológicos, físicos e químicos. Para trigo, a presença de contaminantes químicos como resíduos de agrotóxicos e de micotoxinas, que são imperceptíveis visualmente no produto final, é um desafio para a produção de alimentos seguros. O manejo destes contaminantes tornou-se uma preocupação crescente, considerando que, com base em dados de monitoramento, limites máximos de tolerância estão sendo estabelecidos e regulados por legislação, em níveis cada vez mais restritivos.

A determinação de índices de perdas quantitativas, o diagnóstico da presença de contaminantes, a caracterização da aptidão tecnológica e a indicação de boas práticas no armazenamento de trigo, são importantes para a cadeia produtiva. A disponibilidade de critérios claros para a comercialização minimiza as perdas na etapa de pós-colheita e garante o reconhecimento de atributos diferenciados de qualidade. Primeiro, pela segregação de produtos de acordo com a qualidade tecnológica e a inocuidade otimizando o uso da estrutura física na pós-colheita; segundo, pela formação de lotes homogêneos e melhorias na qualidade tecnológica para produtos finais específicos; e, terceiro, pela redução na devolução de cargas que não atendam ao padrão na comercialização, minimizando perdas e o alto custo de transporte e de logística.

O armazenamento de grãos no Brasil ocorre em estruturas permanentes como armazéns graneliros e silos metálicos e de concreto, além do uso dos silos bolsa como sistema de armazenagem alternativa. A análise comparativa entre as estruturas de armazenagem de grãos pode ser consultada em Paturca (2014). De forma geral, os silos de alvenaria apresentam maior custo de implantação e

possuem vida útil maior que os silos metálicos. O silo metálico é o mais utilizado atualmente devido à facilidade de construção e instalação, no entanto, devido as características de condutividade térmica do aço, é importante que o sistema de arrefecimento dos grãos seja mantido sob controle constante através de sistemas automatizados (Polat, 2013). Ambas as estruturas são praticamente herméticas se a construção foi adequada e as aberturas estiverem devidamente vedadas.

Para subsidiar indicações de manejo adequado na pós-colheita, foi conduzido o projeto de pesquisa 'Redução de Perdas Quantitativas e Qualitativas no Armazenamento de Trigo', cujos objetivos foram: (1) determinar o índice de perda de peso; (2) diagnosticar a presença de contaminantes; (3) indicar boas práticas no armazenamento; (4) determinar indicadores de qualidade tecnológica, para definir a aptidão de uso final; e (5) promover a adoção de tecnologias inovadoras, como métodos rápidos para avaliar contaminantes e qualidade tecnológica de grãos e derivados.

Como resultado, este documento apresenta um diagnóstico da qualidade tecnológica e dos contaminantes observados no trigo durante dez meses de armazenamento em silos metálicos e de alvenaria, localizados em Marau, RS, e em Ponta Grossa, PR, respectivamente, visando obter panorama representativo do armazenamento comercial de trigo no Brasil. Para tanto, foram realizadas as seguintes avaliações: tipo e classe de trigo; características físico-químicas, reológica e de panificação; presença de fungos; micotoxinas; infestação de insetos-praga; presença de fragmentos de insetos na farinha; quebra técnica e fator de compactação no armazenamento.

2. Material e Métodos

2.1. Caracterização das unidades armazenadoras

O trabalho foi coordenado pela Embrapa Trigo em colaboração com a Universidade de Passo Fundo (UPF), o Instituto Federal Farroupilha -*Campus* Panambi, e a EMATER/ASCAR-RS.

As unidades armazenadoras, parceiras deste projeto estão localizadas no Paraná (Ponta Grossa) e Rio Grande do Sul (Marau). A CONAB opera a unidade de armazenamento de Ponta Grossa, composta de silos de alvenaria, onde foram coletadas amostras de trigo, para posteriores análises quantitativas e qualitativas. A unidade armazenadora Unnilodi localizada em Marau, RS, possui silos metálicos e é credenciada na CONAB. Na Tabela 1 estão as principais características das unidades armazenadoras de Marau e de Ponta Grossa.

2.1.1. Informação sobre controle de insetos em grãos armazenados nos silos monitorados

Na Tabela 2 são apresentadas as informações sobre o manejo adotado para o controle de insetos dos grãos nas Unidades armazenadoras Conab (Ponta Grossa, PR) e Unnilodi Agronegócios de Cereais Ltda. (Marau, RS). O manejo foi definido pelas equipes das unidades armazenadoras da CONAB e da Unnilodi, sem a interferência da equipe do projeto.

Tabela 1. Características das unidades armazenadoras de Ponta Grossa e de Marau⁽¹⁾.

Característica	Conab - Unidade Armazenadora de Ponta Grossa, PR	Unnilodi Agronegócios Cereais Ltda - Marau, RS
Ano de construção	1979	1988
Capacidade estática total	420.000 ton.	29.700 ton.
Recebimento anual de trigo	150.000 ton.	6.000 ton.
Planejamento da produção pré-recebimento	Não	Não
Balanças	4	1
Moegas	7	5
Capacidade de segregação	Por classe	PH, umidade e cultivar
Maquinas de pré-limpeza	2	2
Secadores	1	2
Tipo de combustível	GNV ⁽²⁾	Lenha
Máquina de ar e peneiras	4	1
Silos graneleiros horizontais	6	Não
Silos verticais metálicos	Não	13
Aeração	Sim	Sim
Termometria	Sim	Sim
Manejo integrado de pragas de armazenamento	Sim	Sim

⁽¹⁾ Levantamento realizado por Luiz Eichelberger (Embrapa Trigo).

⁽²⁾ GNV = Gás Natural Veicular.

Tabela 2. Manejo adotado para controle de insetos nas unidades armazenadoras de Ponta Grossa, PR e de Marau, RS.

Unidades armazenadoras	Manejos adotados ⁽¹⁾
Conab, em Ponta Grossa, PR	<ul style="list-style-type: none"> - Os grãos de trigo passaram por máquina de limpeza; - Tratamento curativo com 10 kg de Phostek (fosfina), por meio de sonda pneumática, em 09/08/2018; - Tratamento curativo com 10 kg de fosfeto de alumínio (fosfina), por meio de sonda pneumática, em 19/09/2018; devido à constatação de infestação por insetos.
Unnilodi Agronegócios de Cereais Ltda., Marau, RS	<ul style="list-style-type: none"> - Antes do enchimento do silo foi realizada limpeza geral (varredura) na parte interna da estrutura, em 23/01/18; - Logo após, foi realizado tratamento preventivo com aplicação de Terra Diatomácea (Keepdry) na estrutura do silo, através de exaustor, em 24/01/2018; - Tratamento preventivo dos grãos com ProStore (Bifentrina) e Actellic (Pirimifós-metílico) (ambos com 16,97 mL.t⁻¹), durante o carregamento do silo, na correia transportadora, de 30/01/2018 a 07/02/2018; - Tratamento curativo com 13 kg de Gastoxin (fosfina), em 26/02/18; devido à constatação de infestação por insetos; pulverização com 5,5 kg de terra de diatomácea (Keepdry) na camada superior da massa de grãos, com aparelho manual costal, em 01/11/18.

⁽¹⁾ Informações repassadas pelos responsáveis técnicos das unidades armazenadoras.

2.2. Coleta das amostras nos silos

O armazenamento do trigo foi avaliado no período de dez meses. A coleta de amostras foi definida da seguinte forma: duas coletas dinâmicas no enchimento e descarregamento do silo (1º e 10º meses, correspondendo a fevereiro e novembro); e quatro coletas estáticas através de sonda pneumática nos meses (2º, 5º, 8º e 10º meses, que correspondem a março, junho, setembro e novembro, respectivamente).

Para a coleta estática, as unidades armazenadoras (silos) foram divididas em 36 unidades amostrais. As unidades amostrais compreenderam três diferentes alturas: superior (S), intermediária (I) e base (B), subdivididas em três alturas; e quatro quadrantes conforme representado na Figura 1. A identificação das amostras por exemplo 17 (1Q I2) significa que foi sorteada a unidade amostral 17 localizada no primeiro quadrante, no nível intermediário e na altura 2. Em cada coleta estática foram amostrados três pontos, aleatoriamente, baseado em sorteio entre as unidades amostrais (triplicata). A amostragem estática foi realizada próximo aos cabos de termometria. O tamanho da amostra foi de 30 kg para cada unidade amostral (repetição).

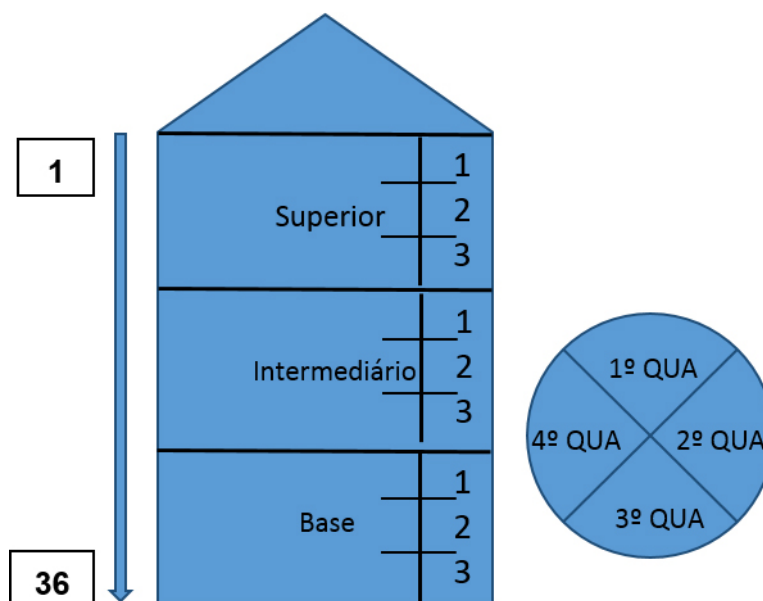


Figura 1. Representação das 36 unidades amostrais de grãos de trigo em unidades armazenadoras (silos), que compreenderam três diferentes alturas: superior (S), intermediária (I) e base (B), subdivididas em três alturas; e quatro quadrantes nos silos de armazenamento.

Na primeira coleta estática, a empresa Gehaka, realizou capacitação técnica quanto ao uso do equipamento para a coleta de amostras de trigo no silo. A coleta das amostras foi realizada sob a responsabilidade da equipe técnica do projeto, com o apoio da equipe operacional nas unidades armazenadoras.

As amostras foram acondicionadas (em embalagens resistentes e atóxicas), identificadas e encaminhadas para o Laboratório de Pós-colheita da Embrapa Trigo. As amostras de trigo foram protocoladas, homogeneizadas, quarteadas e separadas em sub-amostras para as avaliações de qualidade tecnológica e de contaminantes.

2.3. Tipo e classe do trigo

As análises relativas ao tipo de trigo foram realizadas pelo Serviço de Classificação e Certificação da Emater/RS-Ascar e as de classe no Laboratório de Qualidade de Grãos da Embrapa Trigo.

Foram realizadas as análises para determinação de tipo, para trigo do GRUPO II (destinado à moagem e outras finalidades), conforme estabelecido no Anexo IV da Instrução Normativa nº 38 de 31 de novembro de 2010, alterada pela IN nº 23, de 01/07/2016, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Mapa (Brasil, 2010), mostrado na Tabela 3.

Tabela 3. Tipos do trigo do Grupo II (destinado à moagem e outras finalidades), conforme estabelecido no Anexo IV da Instrução Normativa nº 38, de 31/11/2010, alterada pela IN nº 23, de 01/07/2016, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Tipo	Peso do hectolitro (valor mínimo)	Matérias estranhas e impurezas (% máximo)	Defeitos (% máximo)			Total de defeitos (% máximo)
			Danificados por insetos	Danificados pelo calor, mofados e ardidos	Chochos, triguilhos e quebrados	
1	78	1,00	0,50	0,50	1,50	2,00
2	75	1,50	1,00	1,00	2,50	3,50
3	72	2,00	2,00	2,00	5,00	7,00
Fora de Tipo	< 72	> 2,00	> 2,00	10,00	> 5,00	> 7,00

Para a determinação da Classe de trigo do Grupo II (destinado à moagem e outras finalidades), foram realizadas as análises de qualidade tecnológica de trigo, conforme estabelecido no Anexo III da Instrução Normativa nº 38, de 31 de novembro de 2010, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Mapa (Brasil, 2010), alterada pela IN nº 23, de 1º de julho de 2016, do Mapa (Brasil, 2016). As análises foram realizadas conforme especificado na Tabela 4.

Tabela 4. Classes do trigo do Grupo II (destinado à moagem e outras finalidades), conforme estabelecido no Anexo III da Instrução Normativa nº 38, de 31/11/2010, alterada pela IN nº 23 de 01/07/2016, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Classe	Força de glúten, "W" (valor mínimo, expresso em 10 ⁻⁴ J)	Estabilidade (tempo mínimo, expresso em minutos)		Número de Queda (valor mínimo, expresso em segundos)
Melhorador	300	14	e	250
Pão	220	10	ou	220
Doméstico	160	6	ou	220
Básico	100	3	ou	200
Outros Usos	Qualquer	Qualquer		Qualquer

2.4. Caracterização físico-química, composição química e atividade enzimática

As amostras de trigo, na forma de grão, de trigo moído (farinha de trigo obtida do grão inteiro) ou de farinha de trigo (branca ou refinada) foram analisadas quanto às características físico-químicas (Figura 2) no Laboratório de Pós-colheita da Embrapa Trigo. As amostras de farinha de trigo foram analisadas quanto à composição química e atividade enzimática na Universidade Federal de Pelotas (UFPel), de acordo com os métodos descritos a seguir.

2.4.1 Análises realizadas no grão de trigo:

Peso do hectolitro (PH): obtido em balança Dalle-Molle, pelo método 55-10.01, da AACC International (1999f), sendo o resultado expresso em kg.hL⁻¹, no lugar de kg/Bushel.

Peso de mil grãos (PMG): determinado segundo método descrito por Brasil (2009), onde se realiza a contagem manual de 100 grãos de trigo, que a seguir são pesados em balança semi-analítica. O resultado é multiplicado por 10 para que o resultado seja equivalente a mil grãos.

Balança Dalle Molle
Peso do hectolitro (trigo em grão)



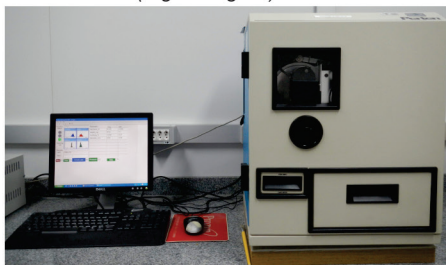
Balança semi-analítica
Peso de mil grãos (trigo em grão)



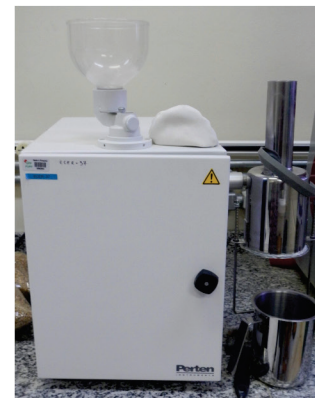
Determinador de umidade Multigrain, Dickey-John
Umidade (trigo em grão)



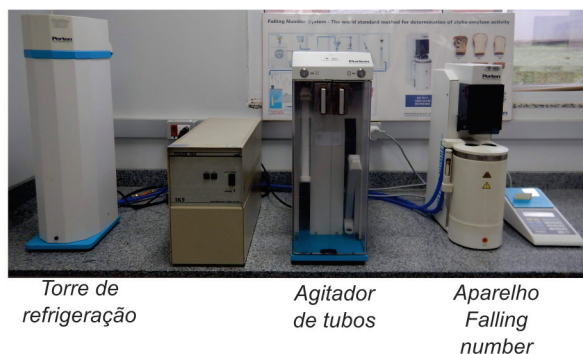
Sistema de caracterização individual da semente - SKCS, Perten
Índice de dureza do grão (trigo em grão)



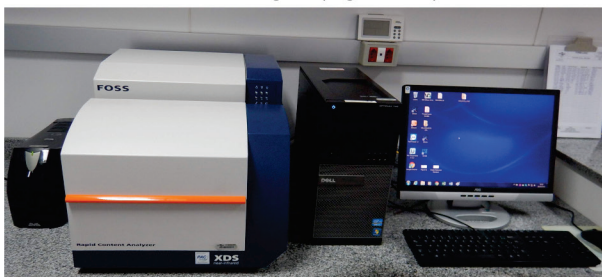
Moinho de martelos LabMill 1900, Perten
Obtenção do trigo moído



Sistema Falling Number fungal 1900, Perten
Número de queda ou falling number (trigo moído)



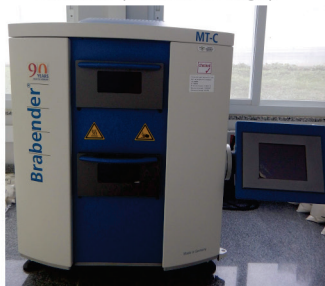
NIR: infravermelho próximo (Foss, modelo XDS)
Proteína do grão (trigo moído)



Moinho experimental de rolos Quadrumat Senior, Brabender
Extração de farinha de trigo



Estufa MT-C, Brabender
Umidade (farinha de trigo)



Sistema Glutomatic, Perten
Índice de glúten, glúten úmido e seco (farinha de trigo)



Colorímetro CR-410, Minolta
Cor (farinha de trigo)



Farinógrafo, Brabender, com cuba de 50 g
(farinha de trigo)



Viscosímetro RVA-3D, Newport Scientific
(farinha de trigo)



Alveógrafo, Chopin
(farinha de trigo)



Figura 2. Equipamentos usados para caracterização físico-química e reológica de trigo.

Umidade do grão (UG): determinada por leitura direta em equipamento marca Dickey-John, modelo Multigrain, segundo instruções do fabricante.

Índice de dureza do grão (IDG): determinado através de espectroscopia de infravermelho próximo (NIRs), em equipamento XDS Rapid Content Analyser, marca FOSS (FOSS NIRSystems, Hoganas, Sweden), modelo XDS-RCA (XDS acoplado ao módulo Rapid Content Analyser), com curva elaborada com base no método de referência 55-31.01, da AACC International (1999g). O índice de dureza do grão é a medida experimental da força necessária para triturar o grão.

2.4.2 Análises realizadas na farinha integral (grão de trigo moído inteiro)

Proteína do grão (PTG): determinada através de espectroscopia de infravermelho próximo (NIRs), em equipamento XDS Rapid Content Analyser, marca FOSS (FOSS NIRSystems, Hoganas, Sweden), modelo XDS-RCA (XDS acoplado ao módulo Rapid Content Analyser), de acordo com método 39-10.01, da AACC International (1999c).

Número de Queda do grão (NQG) ou “Falling Number”: determinado de acordo com método 56-81.03, da AACC International (1999h), em equipamento “Falling Number”, marca Perten, modelo 1900 Fungal.

Moagem experimental ou extração de farinha (EXT): realizada em moinho experimental de laboratório, marca Brabender, modelo Quadrumat Senior, segundo método 26-10.02, da AACC International, 1999b), sendo obtidas quatro frações, farinha de quebra, farinha de redução, farelo e farelinho de redução. O rendimento em farinha de trigo é dado pela soma das farinhas de quebra e redução, sendo o resultado expresso em porcentagem.

2.4.3 Análises realizadas na farinha de trigo (branca ou refinada):

Cor da farinha de trigo: determinada em colorímetro Minolta, modelo CR-410, pelo sistema CIEL*a*b*, com iluminante D₆₅ e ângulo de leitura de 10°, segundo instruções do fabricante. Foram considerados os parâmetros: luminosidade (L*), que varia de 0= preto a 100= branco, e coordenadas de cromaticidade a*e b*, que variam de -a*(-60)= verde à +a*(+ 60)= vermelho e de -b* (-60)= azul à +b*= amarelo (+60).

Glúten: determinado em sistema Glutomatic, da Perten, conforme método 38-12.02, da AACC International (2000), considerando os parâmetros: índice de glúten (IG), glúten úmido (GU) e glúten seco (GS).

Composição química: a umidade da farinha foi determinada em estufa Brabender a 130 °C por uma hora pelo método 44-15.02, da AACC International (2010); o teor de nitrogênio total foi determinado pelo método 46-13.01 (AACC..., 1999d), sendo o teor de proteína bruta obtido pela multiplicação pelo fator 5,7. O teor de cinza foi analisado pelo método 08-01.01 (AACC..., 1999a), modificado, usando mufla a 600 °C até peso constante. O teor de lipídios foi determinado de acordo com o método 31.4.02 (AOAC..., 1997). Os carboidratos totais foram calculados por diferença (100 g – gramas totais de umidade, proteína, lipídios e cinzas).

Atividade de lipase: analisada segundo a metodologia proposta por Kaur et al. (1993), utilizando como substrato a mistura por homogeneização de 2 g de álcool polivinílico, 40 mg de desoxicolato de sódio e 50 mL de azeite de oliva em 100 mL de tampão fosfato 0,2 mol.L⁻¹, pH 7,4 (0,5:1), incubados a 38 °C por 24 horas. A quantidade de ácidos graxos livres foi determinada pela titulação

da mistura com KOH 0,1 mol.L⁻¹ até pH 8,3. A atividade de lipase foi expressa em porcentagem de hidrólise com base no índice de saponificação do substrato.

Atividade de peroxidase: determinada de acordo com a técnica descrita por Ferhmann e Diamond (1967), com algumas modificações. O extrato enzimático foi obtido com a homogeneização de 0,5 g de farinha em 15 mL de solução fosfato 0,1 mol.L⁻¹, pH 6,0, durante 3 minutos a 40 °C, centrifugação a 5000 rpm por 20 minutos e filtração. Uma alíquota de 1 mL de extrato enzimático foi incubada com 0,4 mL de peróxido de hidrogênio a 3% e 2,0 mL de tampão 0,1 mol.L⁻¹ pH 5,0 e 4,0 mL de guaiacol a 0,5%. A leitura foi feita imediatamente em espectrofotômetro a 470 nm. Uma unidade enzimática foi considerada como a quantidade de enzima que promoveu o aumento de 0,001 unidade de absorvância por minuto de reação. A atividade enzimática da peroxidase foi expressa em unidade de gramas de amostra.minuto⁻¹.

Acidez lipídica: a determinação de ácidos graxos livres foi determinada pela acidez lipídica, utilizando o método oficial da AOCS (2009). Primeiramente uma amostra de 2 g foi colocada em Erlenmeyer de 125 mL, adicionado de 25 mL de solução de éter: álcool etílico (2:1, v/v) e agitado. Na reação foram adicionadas 2 gotas de fenolftaleína e posteriormente realizada titulação com solução de KOH 0,1N até coloração rósea. O cálculo de acidez foi realizado pela equação

$$\%acidez = [\text{Volume de KOH} \times \text{fator} \times 56,1] / (\text{massa da amostra, em gramas})$$

Para expressar em ácido oleico, láurico ou palmítico, o resultado da equação acima será dividido por 1,99, 2,81, ou 2,19, respectivamente.

2.5. Caracterização reológica

As análises reológicas (Figura 2) foram realizadas nas amostras de farinha de trigo (branca ou refinada), sendo alveografia e farinografia no Laboratório de Pós-colheita da Embrapa Trigo e de RVA na Universidade de Passo Fundo.

Alveografia: realizada em alveógrafo marca Chopin, pelo método 54-30.02, da AACC International (1999e). Os parâmetros considerados foram: força de glúten (W), tenacidade (P), extensibilidade (L), relação entre a tenacidade e a extensibilidade (P/L), índice de intumescimento (G) e índice de elasticidade (Ie).

Farinografia: realizada em farinógrafo marca Brabender pelo método de análise 54-21.02, da AACC International (2011). Os parâmetros considerados foram: absorção de água (AA); tempo de desenvolvimento da massa (TDM); estabilidade (EST) e índice de tolerância à mistura (ITM).

RVA: as propriedades de pasta foram avaliadas em equipamento viscosímetro (“rapid visco analyser”, modelo RVA-3D, Newport Scientific, Austrália), equipado com software Termocline for Windows, versão 3.1, de acordo com o método 76-21.01 da AACC International (1999i). Foram utilizados 3,5 g de farinha corrigidos para 14% de umidade e 25 ± 0,1 mL de água destilada e empregado o perfil de temperatura Standard 1 (amostras são mantidas a 50 °C por 1 minuto, aquecidas até 95 °C em 3,5 minutos e mantidas nesta temperatura durante 2,5 minutos, resfriadas a 50 °C em 3,8 minutos e mantidas nesta temperatura até completar o tempo total de 13 minutos de análise). Os parâmetros considerados foram: viscosidade máxima (Vmax), viscosidade mínima à temperatura constante (VminTcte), quebra (Q), viscosidade final (Vfinal) e tendência à retrogradação (TR).

2.6. Características de panificação e de textura dos pães

Teste de panificação experimental: foi usado farinógrafo com cuba de 50 g e a seguinte formulação: farinha de trigo (100%), açúcar (5%), fermento biológico granulado (3%), sal (2%), gordura vegetal hidrogenada (3%) e ácido ascórbico (90 ppm). Os ingredientes foram misturados, adicionada água suficiente para atingir a consistência de 650 unidades farinográficas (UF) com tempo de desenvolvimento da massa de 6 minutos. A massa foi dividida em duas porções de 35 g cada, que foram modeladas, colocadas em formas untadas, deixadas descansar (30 °C/100% UR/40 min) e levadas ao forno (150 °C/13 min), de acordo com teste de panificação rápido em pequena escala, desenvolvido por ORO (2013). Os pães foram esfriados a temperatura ambiente durante 1 hora. Após este período, o volume específico dos pães foi avaliado pelo método de deslocamento de semente de acordo com a AACC International 10-05.01 (2010) e calculado pela divisão da massa pelo volume. O volume dos pães foi calculado em triplicata.

Avaliação da textura dos pães: A análise do perfil de textura (TPA) dos pães de forma foi realizada em texturômetro (Texture Analyser, modelo TA.XT.plus, Stable Micro Systems, Inglaterra), equipado com software Exponent 32. Os pães foram fatiados na espessura de 25,0 mm com emprego de faca elétrica, realizadas a remoção da crosta e a redução do tamanho das fatias para 25 mm de largura x 25 mm de comprimento. Dois ciclos de compressão foram aplicados e as amostras foram comprimidas a 40% de sua espessura inicial por um probe cilíndrico de alumínio com 20 mm de diâmetro (P/20), a uma velocidade de pré-teste de 1,0 mm.s⁻¹; velocidade de teste de 1,7 mm.s⁻¹; velocidade de pós-teste de 10,0 mm.s⁻¹. Os parâmetros considerados foram: firmeza, elasticidade, coesividade e mastigabilidade.

Cor: os pães foram avaliados quanto à cor do miolo utilizando espectrofotômetro de refletância difusa (modelo ColorQuest II, HunterLab, EUA) com sensor óptico geométrico de esfera para obtenção dos valores L* (luminosidade), que variam entre zero (preto) e 100 (branco) e a* e b* são coordenadas de cromaticidade, que variam de -a*(-60)= verde à +a*(+ 60)= vermelho e de -b* (-60)= azul à +b*= amarelo (+60).

2.7. Avaliação da presença de fungos

A análise patológica dos grãos infectados foi realizada no Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Trigo, sendo realizada em três repetições com mil grãos cada, em meio de cultura BDA (batata, dextrose, ágar), totalizando 3.000 grãos. Após a assepsia em hipoclorito de sódio 1:1, mil grãos de cada amostra foram colocados no meio de cultura. A incubação ocorreu em sala climatizada, com temperatura de 25 °C ± 2 °C e fotoperíodo de 12 horas. Após cinco dias de incubação foi determinada a incidência dos fungos: *Alternaria* spp., *Aspergillus* spp. (*A. flavus* e *A. niger*), *Bipolaris sorokiniana*, *Fusarium graminearum* e *Penicillium* spp., *Drechslera tritici repentis* e *Cladosporium* spp., com auxílio de microscópio estereoscópico binocular. O número de grãos germinados, também foi incluído na avaliação.

2.8. Análise de micotoxinas

Os níveis das micotoxinas deoxinivalenol, zearalenona, aflatoxinas (AFB1, AFB2, AFG1 e AFG2) e ocratoxina A foram analisados nas amostras de trigo moído. O método utilizado foi cromatografia líquida de ultra alta eficiência acoplada à espectrometria de massas sequencial (UHPLC-MS/MS). As análises foram realizadas no laboratório Samitec (Santa Maria/RS), de acordo com método descrito em Varga et al. (2012). A metodologia apresenta os seguintes limites de quantificação e

recuperação: 200 ppb e 99% para DON, 20 ppb e 85% para ZEA, 1 ppb e 92% para AFLA e 2,5 ppb e 89% para OCRA.

As micotoxinas deoxinivalenol, zearalenona, aflatoxina e ocratoxina A também foram avaliadas através do método ELISA (Enzyme-linked immunosorbent assay), no Laboratório de Pós-colheita da Embrapa Trigo. A quantificação de DON foi realizada opticamente, através da leitora de microplacas modelo MR-96A, série WH-46105387 (Mindray), com filtro de absorvância de 450nm e um filtro diferencial de 630 nm. A faixa de quantificação para DON é de 250-5000 ppb e o limite de detecção é de 200 ppb. Os procedimentos de extração, calibração e leitura, foram efetuados de acordo com o protocolo do fabricante.

2.9. Avaliação da infestação por insetos-praga e dos fragmentos de insetos na farinha obtida a partir dos grãos armazenados

O nível de infestação por insetos-praga nos grãos armazenados, foi analisado em três sub-amostras de 3,3 kg de grãos (repetições), retiradas de cada amostra coletada dos silos. No Laboratório de Entomologia da Embrapa Trigo, as sub-amostras foram peneiradas, com peneira de malha 2 mm x 12 mm, para separação dos insetos da massa de grãos. Posteriormente, os insetos foram contados e identificados.

A determinação de fragmentos de insetos presentes na farinha do trigo dos silos das unidades armazenadoras, foi realizada em três amostras de 200 gramas de farinha (repetições), a partir de cada uma das três sub-amostras da avaliação anterior (infestação por insetos-praga). A farinha foi obtida por meio de moinho experimental, no Laboratório de Qualidade da Embrapa Trigo. Essas amostras foram enviadas ao Centro de Pesquisa em Alimentação, da Universidade de Passo Fundo, para avaliação do teor de fragmentos de insetos. O método utilizado foi o de Sujidades leves-Fragmentos de insetos (AOAC..., 2012). A extração dos fragmentos foi realizada por hidrólise ácida e a quantificação em microscópio estereoscópico.

2.10. Quebra-técnica e fator de compactação

A determinação da quebra técnica foi realizada através de análises nas amostras dos grãos nas coletas dinâmicas durante o enchimento e o descarregamento dos silos armazenadores (1º e 10º mês), sendo que o resultado da quebra técnica nos grãos armazenados foi obtido pelo cálculo da diferença de matéria seca no início e no final do armazenamento através do uso das equações 1 e 2.

$$MS = \left[1 - \left(\frac{U}{100} \right) \right] * MMG \quad (Eq.1)$$

Onde:

MS é a matéria seca (g);

U é o grau de umidade

MMG é a massa de mil grãos (g);

$$QT = \left(\frac{MS_{início} - MS_{final}}{MS_{início}} \right) * 100 \quad (Eq.2)$$

Onde:

QT é a quebra técnica (%);

$MS_{início}$ é a matéria seca no início do armazenamento (g);

MS_{final} é a matéria seca no final do armazenamento (g).

O fator de compactação dos grãos de trigo armazenados foi estimado através da variação da altura da camada de grãos que ocorreu durante o tempo de armazenamento em função da compressão dos grãos, conforme mostra a Figura 3. A partir do momento em que o silo armazenador foi carregado e o cone natural formado pelos grãos horizontalizado, foi feita uma identificação da altura inicial da camada de grãos na lateral superior do silo.

A estimativa de cubagem considerando os efeitos de compactação dos grãos de trigo armazenados foi calculado através do emprego de equações matemáticas e coeficientes propostos por Cheng et al. (2017). De posse dos dados técnicos: altura de massa de grãos; diâmetro interno do silo; teor de água e massa inicial do produto calculou-se a pressão vertical exercida pela massa de grãos (Equação 3) (Freitas, 2001) e estimou-se a massa volumétrica em compressão (Equação 4).

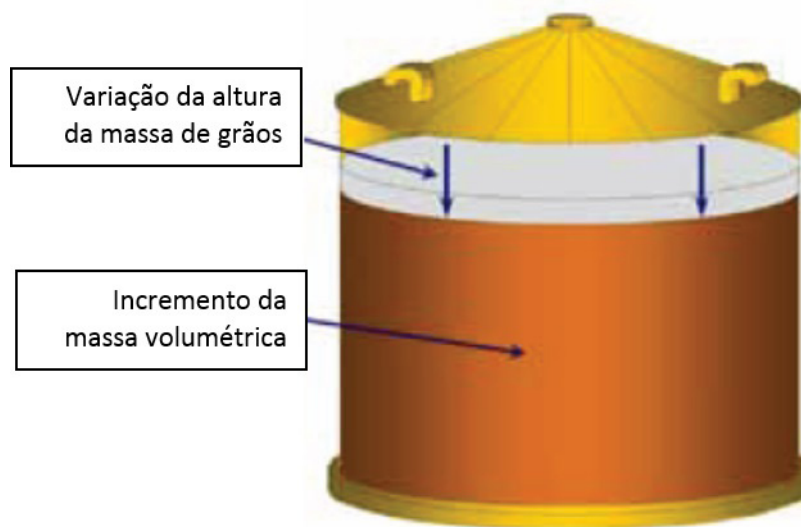


Figura 3. Desenho esquemático do silo de armazenamento de trigo, demonstrando os efeitos da compactação de grãos, que são importantes para determinar o fator de compactação.

$$p_v = \frac{Yh \left[1 - 0,9(x/d)^2 \right] 1,1}{10.000} \quad (\text{Eq.3})$$

Onde:

p_v é a pressão vertical em (kgf.cm^{-2});

Y é a massa volumétrica (kg.m^{-3});

h é a altura da massa de grãos (m);

x varia de $-R$ a R e $x = 0$ no centro do silo; e

d é o diâmetro interno do silo.

$$Y = a\rho_m^2 + b\rho_m + c \quad (\text{Eq.4})$$

Onde:

Y é a massa volumétrica em compressão (kg.m^{-3});

ρ_m é a pressão máxima sobre os grãos (kPa) (Tabela 5); e

a , b e c são constantes empíricas (Tabela 6).

Tabela 5. Pressão máxima sobre os grãos de trigo em função da pressão vertical e do teor de água.

Pressão vertical (kgf.cm^{-2})	Teor de água (%)				
	11,70	13,33	15,18	16,55	18,18
	Pressão máxima (ρ_m - kPa)				
0,00	0,59	0,60	0,59	0,57	0,55
0,51	35,97	36,01	36,04	36,15	36,27
1,01	73,38	73,46	73,59	73,85	74,15
1,52	108,93	109,04	109,30	109,74	110,26
2,03	151,12	151,26	151,64	152,19	152,87
2,54	181,84	182,00	182,58	183,37	184,36
3,05	217,84	217,85	218,80	219,79	221,07

Tabela 6. Coeficientes de correlação da equação de massa volumétrica do grão em função do teor de água.

Teor de água (%)	Coeficientes da equação		
	a	b	c
11,70	-0,0010	0,4133	795,83
13,33	-0,0012	0,4553	807,99
15,18	-0,0013	0,5324	789,17
16,55	-0,0017	0,6405	770,56
18,18	-0,0019	0,7254	744,74

2.11. Análise estatística dos dados

Para as avaliações da qualidade tecnológica de trigo e da presença de fungos (itens 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5) os resultados das análises foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e por silo, as médias comparadas entre si, pelo teste de Tukey com significância de 5% de probabilidade.

Para o item 2.9. “Avaliação da infestação por insetos-praga e dos fragmentos de insetos na farinha obtida a partir dos grãos armazenados” foi ajustado um modelo de regressão linear, para a média das 3 repetições, utilizando-se o Software R.

Para avaliação de perdas qualitativas e quantitativas (itens 3.7.1 e 3.9) entre as coletas dinâmicas foi utilizado teste-t para avaliar se houve diferença entre os valores mensurados. Em relação às coletas estáticas, estas foram ajustadas em uma regressão linear simples, para cada variável de interesse, e foi avaliado se o coeficiente beta foi significativo, o que representa taxa (positiva ou negativa) de evolução do parâmetro durante o período de armazenamento. Todos os testes foram avaliados com nível de significância de 5% de probabilidade.

3. Resultados, Discussão e Conclusões

3.1. Efeito do armazenamento na tipificação de trigo

A tipificação é fundamental para a comercialização do trigo e segue sempre a legislação brasileira em vigor, no caso, a IN 38 (Brasil, 2010), que inclui parâmetros como peso do hectolitro (PH) e defeitos dos grãos. O trigo armazenado pertence ao Grupo 2 – trigo destinado à moagem e outras finalidades (Brasil, 2010). Entretanto, durante o armazenamento podem ocorrer alterações no enquadramento do trigo em “tipo”, que estão relacionadas indiretamente com perdas da qualidade tecnológica na fase de pós-colheita de trigo. Desse modo, os resultados de tipificação estão mostrados na Tabela 7. Na Figura 4 estão representados graficamente os principais parâmetros do item 3.1.

Os resultados médios obtidos em cada coleta são heterogêneos independentemente do tipo de silo, se de alvenaria ou metálico, bem como do local do silo onde o trigo foi armazenado (Ponta Grossa, PR, ou Marau, RS). As oscilações entre as coletas podem ser explicadas, pois embora todo o trigo seja procedente da mesma região produtora (Paraná), estes grãos foram oriundos de vários produtores, compreendendo diferentes cultivares, explicando assim, em parte, a variabilidade e também, para alguns parâmetros, o elevado desvio padrão (DP). A umidade do grão (UG) foi inferior a 13% em todas as coletas, estando dentro do limite máximo permitido pela IN 38, de 2010. Contudo, a tendência do teor de umidade, em ambos os silos, foi de diminuir proporcionalmente ao tempo de armazenamento, embora sem diferenças estatísticas significativas. Quanto ao peso do hectolitro (PH), se somente este parâmetro fosse considerado, todo o trigo teria sido enquadrado como Tipo 1, em todas as coletas ($PH \geq 78 \text{ kg.hL}^{-1}$), sem considerar o DP.

No silo de alvenaria (Ponta Grossa, PR), para os valores de PH, apenas a primeira coleta dinâmica (CD1-PG), em que as amostras foram obtidas no enchimento do silo, diferiu significativamente de todas as coletas estáticas, apresentando o menor valor ($78,13 \text{ kg.hL}^{-1}$), mas ainda trigo de Tipo 2. Neste silo, não variaram significativamente apenas as porcentagens de matérias estranhas e impurezas e de grãos esverdeados. A porcentagem de grãos danificados pelo calor, mofados e ardidos foi menor na primeira coleta dinâmica (CD1-PG).

Nas amostras do silo metálico (Marau, RS), as coletas não diferiram significativamente entre si quanto aos parâmetros PH, umidade, porcentagem de grãos chochos, triguilhos e quebrados, porcentagem total de defeitos, porcentagens de grãos esverdeados e de grãos germinados, ocorrendo variações apenas nas porcentagens de matérias estranhas e impurezas e de grãos danificados por insetos. A última coleta estática (CE4-MA) apresentou maior porcentagem de grãos danificados

pele calor, mofados e ardidos que as demais, superando o limite máximo de 1,5% quanto ao total de defeitos, por isso o enquadramento do trigo em Tipo 2.

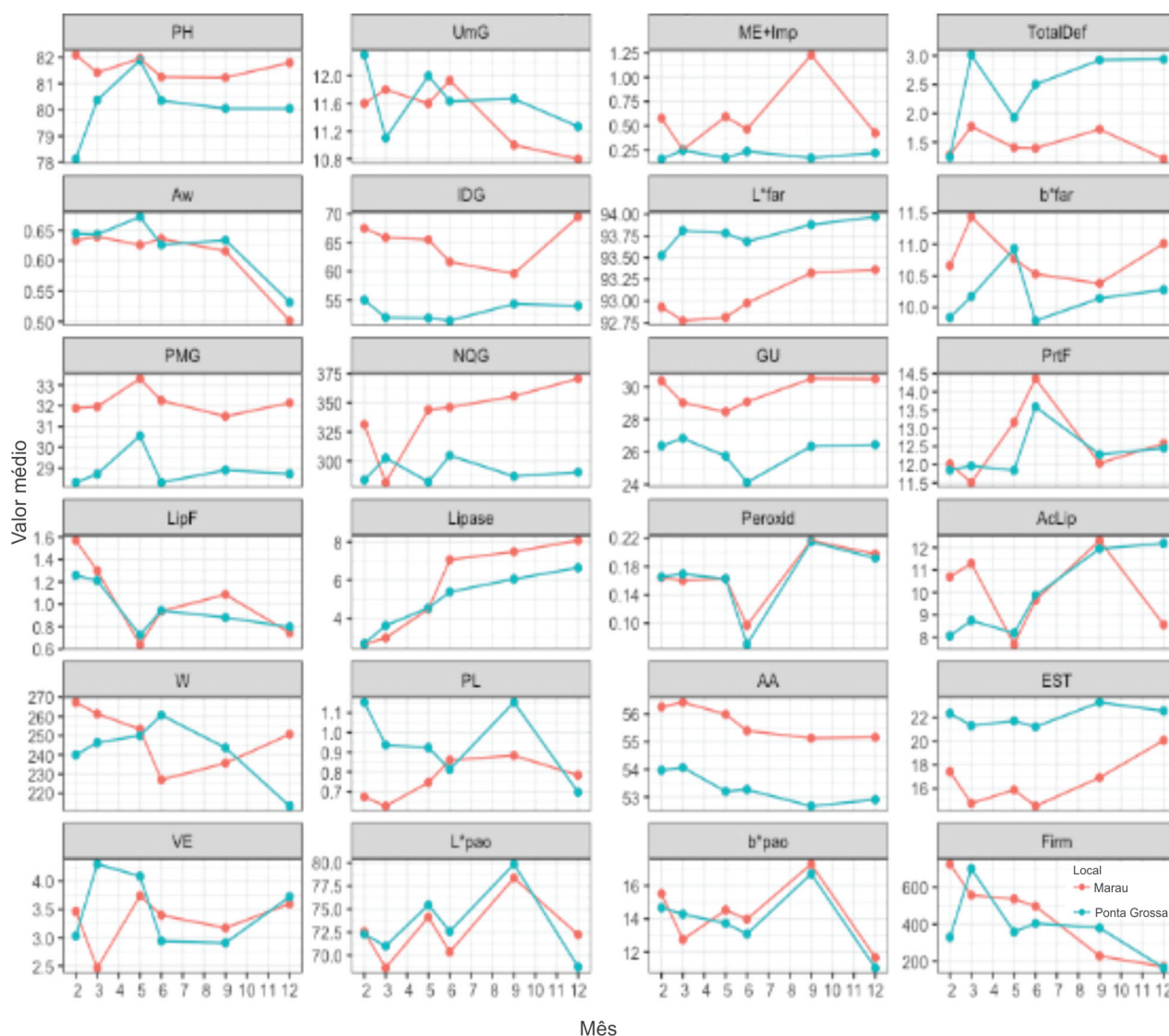


Figura 4. Gráfico temporal dos principais parâmetros de tipificação de trigo (item 3.1) e de características físico-químicas (item 3.2), reológicas (item 3.3) e de panificação (item 3.4), avaliados no armazenamento de trigo em dois silos: Ponta Grossa, PR (silo de alvenaria) e Marau, RS (silo metálico), por dez meses em 2018.

Onde: PH= peso do hectolitro (kg.hL⁻¹); UmG= umidade do grão (%); ME+Imp= matérias estranhas e impurezas (%); TotalDef= total de defeitos (%); Aw= atividade de água; IDG= índice de dureza do grão; L* e b* = luminosidade e cor amarela, respectivamente, sendo far= farinha de trigo e paó= miolo do pão; PMG= peso de mil grãos (g); NQG= número de queda do grão (segundos); GU= glúten úmido; PrtF= proteína da farinha de trigo; LipF= lipídios da farinha de trigo; Lipase= atividade de lipase (% de lipólise); Peroxid= atividade de peroxidase (U.mL⁻¹); AcLip= acidez lipídica (%); W= força de glúten (x 10-4J); PL= relação P/L, tenacidade/extensibilidade; AA= absorção de água (%); EST= estabilidade (minutos); VE= volume específico do pão (mL.g⁻¹); Firm= firmeza do pão (J). Meses de armazenamento: 2 (fev.= CD1) a 11 (nov.= CE4) = 10 meses. O mês 12 no gráfico refere-se a segunda coleta dinâmica (CD2) realizada no mês de novembro.

Por estes resultados, a tipificação do trigo variou de acordo com o tipo de silo e a coleta. Para o silo de alvenaria, o trigo foi enquadrado em Tipo 1 na 1ª coleta dinâmica (CD1) e na 2ª estática (CE2); e em Tipo 2 nas demais coletas (CE3, CE4 e CD2). No silo de Marau, o trigo foi enquadrado em Tipo 2 somente na última coleta estática (CE4-MA), nas demais (CD1 e 2, CE1, 2 e 3) em Tipo 1.

Na segunda coleta dinâmica (CD2), ocorrida no esvaziamento do silo, o silo de Ponta Grossa, PR, teve as amostras enquadradas em Tipo 2 e o silo de Marau, RS, em Tipo 1.

No silo metálico as amostras foram enquadradas em Tipo 1 em três das quatro coletas estáticas, enquanto que no silo de alvenaria o Tipo 1 apareceu em apenas uma amostragem dinâmica. Assim, quanto à tipificação de trigo, em geral, pode-se considerar que o silo metálico (Marau, RS) apre-

sentou melhores resultados de conservação no armazenamento de trigo por 10 meses. De acordo com a Tabela 7 o trigo armazenado no silo de alvenaria apresentou mais defeitos totais, quando comparado com o trigo do silo metálico. Além disso, no silo metálico, a limpeza inicial do silo, o controle da aeração e o tratamento químico realizados, possivelmente proporcionaram amostras com menores valores de defeitos totais, grãos chochos e danificados por insetos, resultando em melhor conservação, quando comparadas com as amostras que foram coletadas no silo de alvenaria.

3.2. Alterações físico-químicas, composição química e atividade enzimática no armazenamento de trigo

Esta atividade teve como objetivo quantificar alterações físico-químicas no trigo durante o armazenamento, observando se as alterações estão relacionadas indiretamente com perdas da qualidade tecnológica na pós-colheita. Os resultados de análises físico-químicas das amostras estão na Tabela 8 e os de composição química e atividade enzimática na Tabela 9. Na Figura 4 estão representados graficamente os principais parâmetros do item 3.2.

Na caracterização físico-química (Tabela 8) das amostras de trigo armazenado, a maior parte dos parâmetros avaliados não apresentou alterações estatisticamente significativas. Não foram observadas diferenças para os parâmetros PMG (no silo de Marau, RS), NQG (nos dois silos), extração experimental de farinha (nos dois silos), umidade da farinha (no silo de Ponta Grossa, PR), cor da farinha (para os três parâmetros: L^* , a^* e b^* no silo de Marau, RS e para b^* - cor amarela, no silo de Ponta Grossa, PR), índice de glúten e glúten úmido (nos dois silos) e glúten seco (no silo de Marau, RS). Os valores de NQG foram superiores a 220 segundos, ou seja, o trigo não apresentou atividade de α -amilase elevada em nenhuma amostra. Já a cor da farinha obtida de trigo do silo de Ponta Grossa, PR (alvenaria), apresentou aumento da luminosidade (L^*) como esperado, pois no armazenamento ocorrem reações de oxidação, que ocorrem naturalmente e favorecem a maturação do grão e conseqüentemente, da farinha, fazendo com que esta fique mais clara à medida que o tempo de armazenamento aumenta. Esta maturação é positiva e desejável. As demais alterações físico-químicas ocorridas, não foram críticas.

Quanto à composição química (Tabela 9), os teores de umidade de todas as amostras de farinha de trigo estiveram dentro do valor máximo permitido pela legislação brasileira vigente para farinha de trigo, 15% (Brasil, 2005). O teor de umidade de farinhas deve ser controlado, pois é um dos principais fatores de aceleração de reações químicas, provocando alterações nas suas características nutricionais, sensoriais e tecnológicas. Teores de umidade abaixo do limite máximo permitido, normalmente asseguram a conservação das farinhas na estocagem comercial (Faroni et al. (2002) citado por Oro (2013).

Ainda na composição química (Tabela 9), o teor de cinza das farinhas variou de 0,45 a 0,66%, sendo que os grãos coletados em silo de alvenaria em Ponta Grossa, PR apresentaram menores teores de minerais nos meses de junho a novembro comparado aos meses iniciais da coleta (fevereiro a maio). O teor de proteínas das farinhas de trigo variou de 11,51 a 14,36%, valores estes considerados normais. Houve pequena redução do teor de lipídios no armazenamento em ambos os silos, nas coletas intermediárias, que pode ser decorrente da amostragem em diferentes pontos de coleta em cada silo.

Tabela 7. Tipificação de amostras de trigo, provenientes do projeto “Redução de Perdas Quantitativas e Qualitativas no Armazenamento de Trigo”, coletadas em silos de Ponta Grossa, PR, e de Marau, RS, em 2018. Emater/RS-Ascar, 2018.

Mês	Coleta	Peso do hectolitro (kg.hL ⁻¹)	Umidade do grão (%)	Matérias estranhas e impurezas (%)	Defeitos				Tipo	Grãos esverdeados (%)	Grãos germinados (%)
					Danificados por insetos (%)	Danificados pelo calor, mofados e ardidos (%)	Chochos, triguilhos e quebrados (%)	Total de defeitos (%)			
Ponta Grossa, PR (silo de alvenaria)											
Fevereiro	CD1-PG	78,13 ± 1,08 b	12,30 ± 0,14 a	0,16 ± 0,01 a	0,16 ± 0,02 c	0,08 ± 0,02 b	1,00 ± 0,17 a	1,24 ± 0,18 b	1	0,00 ± 0,00 a	0,07 ± 0,00 b
Março	CE1-PG	80,37 ± 0,55 a	11,10 ± 0,14 d	0,24 ± 0,10 a	0,45 ± 0,04 ab	0,41 ± 0,01 a	2,14 ± 0,31 a	3,01 ± 0,36 a	2	0,00 ± 0,00 a	0,28 ± 0,00 ab
Junho	CE2-PG	81,88 ± 0,45 a	12,00 ± 0,16 ab	0,17 ± 0,03 a	0,42 ± 0,05 b	0,38 ± 0,05 a	1,13 ± 0,13 a	1,93 ± 0,08 ab	1	0,09 ± 0,02 a	0,44 ± 0,02 a
Setembro	CE3-PG	80,35 ± 0,73 a	11,63 ± 0,05 bc	0,23 ± 0,13 a	0,51 ± 0,11 ab	0,33 ± 0,12 a	1,66 ± 0,68 a	2,50 ± 0,78 ab	2	0,02 ± 0,03 a	0,39 ± 0,03 ab
Novembro	CE4-PG	80,05 ± 0,56 ab	11,67 ± 0,17 bc	0,17 ± 0,07 a	0,63 ± 0,06 ab	0,45 ± 0,10 a	1,85 ± 0,58 a	2,92 ± 0,68 a	2	0,00 ± 0,00 a	0,43 ± 0,00 a
Novembro	CD2-PG	80,05 ± 0,21 ab	11,27 ± 0,05 cd	0,22 ± 0,12 a	0,68 ± 0,09 a	0,43 ± 0,07 a	1,83 ± 0,29 a	2,94 ± 0,43 a	2	0,12 ± 0,16 a	0,24 ± 0,16 ab
Marau, RS (silo metálico)											
Fevereiro	CD1-MA	82,08 ± 0,09 a	11,60 ± 0,08 a	0,58 ± 0,08 ab	0,10 ± 0,02 b	0,08 ± 0,02 b	1,09 ± 0,20 a	1,28 ± 0,17 a	1	0,09 ± 0,02 a	0,15 ± 0,02 a
Março	CE1-MA	81,42 ± 1,41 a	11,80 ± 0,00 a	0,25 ± 0,14 b	0,41 ± 0,05 ab	0,26 ± 0,05 b	1,10 ± 0,10 a	1,77 ± 0,09 a	1	0,05 ± 0,07 a	0,11 ± 0,11 a
Junho	CE2-MA	81,95 ± 1,06 a	11,60 ± 0,37 a	0,59 ± 0,46 ab	0,34 ± 0,01 ab	0,27 ± 0,11 b	0,80 ± 0,22 a	1,40 ± 0,25 a	1	0,02 ± 0,02 a	0,12 ± 0,08 a
Setembro	CE3-MA	81,25 ± 0,64 a	11,93 ± 0,87 a	0,46 ± 0,33 ab	0,48 ± 0,09 a	0,11 ± 0,05 b	0,80 ± 0,49 a	1,39 ± 0,53 a	1	0,02 ± 0,03 a	0,10 ± 0,12 a
Novembro	CE4-MA	81,23 ± 0,98 a	11,00 ± 0,22 a	1,23 ± 0,18 a	0,53 ± 0,24 a	0,55 ± 0,08 a	0,64 ± 0,23 a	1,72 ± 0,51 a	2	0,00 ± 0,00 a	0,15 ± 0,08 a
Novembro	CD2-MA	81,80 ± 0,49 a	10,80 ± 0,08 a	0,42 ± 0,03 ab	0,40 ± 0,04 ab	0,10 ± 0,04 b	0,71 ± 0,03 a	1,21 ± 0,09 a	1	0,00 ± 0,00 a	0,06 ± 0,17 a

Os resultados são médias de três repetições, cada uma coletada em quadrante diferente do silo. Onde: CD= coleta dinâmica; CE= coleta estática; CD 1 e 2= 1ª e 2ª coletas dinâmicas, respectivamente; CE 1, 2, 3 e 4= 1ª, 2ª, 3ª e 4ª coletas estáticas, respectivamente. PG= coleta em Ponta Grossa; MA= coleta em Marau. Letras diferentes nas colunas, por local, diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os números destacados em negrito correspondem a valores acima da porcentagem máxima permitida pela legislação vigente.

Tabela 8. Caracterização físico-química de amostras de trigo e das farinhas obtidas, provenientes do projeto “Redução de perdas quantitativas e qualitativas no armazenamento de trigo”, coletadas em silos de Ponta Grossa, PR, e de Marau, RS, em 2018. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2018.

Mês	Coleta	PMG (g)	NQG (s)	Aw	IDG	UG (%)	EXT (%)	UF (%)	Cor da farinha			Glúten		
									L*	a*	b*	IG	GU (%)	GS (%)
Ponta Grossa, PR (silo de alvenaria)														
Fevereiro	CD1-PG	28,3 ± 0,6 b	284 ± 3 a	0,644 ± 0,00 b	55 ± 1 a	13,6 ± 0,1 a	61,08 ± 1,91 a	14,17 ± 0,12 a	93,52 ± 0,07 b	-0,62 ± 0,02 b	9,84 ± 0,49 a	99 ± 1 a	26,37 ± 1,11 a	9,20 ± 0,19 ab
Março	CE1-PG	28,7 ± 0,3 ab	303 ± 56 a	0,643 ± 0,00 b	52 ± 1 a	13,5 ± 0,3 a	60,13 ± 0,19 a	14,00 ± 0,28 a	93,81 ± 0,08 ab	-0,50 ± 0,05 ab	10,17 ± 0,35 a	100 ± 0 a	26,83 ± 0,66 a	9,29 ± 0,25 ab
Junho	CE2-PG	30,6 ± 1,1 a	282 ± 17 a	0,672 ± 0,01 a	52 ± 2 a	12,7 ± 0,1 b	59,45 ± 1,40 a	14,03 ± 0,05 a	93,78 ± 0,23 ab	-0,56 ± 0,03 ab	10,93 ± 0,13 a	99 ± 1 a	25,74 ± 1,64 a	9,14 ± 0,40 ab
Setembro	CE3-PG	28,3 ± 0,6 b	305 ± 14 a	0,626 ± 0,01 b	51 ± 1 a	12,1 ± 0,1 c	58,40 ± 0,72 a	13,97 ± 0,05 a	93,68 ± 0,07 ab	-0,44 ± 0,03 a	9,79 ± 0,03 a	100 ± 0 a	24,12 ± 0,62 a	8,50 ± 0,20 b
Novembro	CE4-PG	28,9 ± 0,3 ab	287 ± 29 a	0,634 ± 0,00 b	54 ± 3 a	12,7 ± 0,0 b	59,16 ± 2,00 a	13,83 ± 0,12 a	93,88 ± 0,10 ab	-0,49 ± 0,04 ab	10,14 ± 0,30 a	100 ± 0 a	26,34 ± 1,05 a	9,30 ± 0,24 ab
Novembro	CD2-PG	28,7 ± 0,2 ab	290 ± 2 a	0,532 ± 0,01 c	54 ± 2 a	11,5 ± 0,3 c	56,56 ± 1,05 a	14,33 ± 0,31 a	93,97 ± 0,15 a	-0,54 ± 0,06 ab	10,28 ± 0,66 a	99 ± 0 a	26,44 ± 0,69 a	9,57 ± 0,37 a
Marau, RS (silo metálico)														
Fevereiro	CD1-MA	31,9 ± 0,2 a	331 ± 30 a	0,633 ± 0,00 a	67 ± 1 a	13,5 ± 0,1 a	61,02 ± 0,24 a	13,83 ± 0,17 b	92,93 ± 0,10 a	-0,20 ± 0,04 a	10,66 ± 0,14 a	95 ± 3 a	30,36 ± 0,57 a	10,27 ± 0,13 a
Março	CE1-MA	32,0 ± 0,9 a	282 ± 2 a	0,639 ± 0,00 a	66 ± 2 a	13,5 ± 0,3 a	60,06 ± 1,98 a	14,03 ± 0,12 b	92,77 ± 0,34 a	-0,31 ± 0,13 a	11,44 ± 0,37 a	97 ± 0 a	29,01 ± 0,81 a	9,95 ± 0,39 a
Junho	CE2-MA	33,3 ± 0,1 a	344 ± 28 a	0,626 ± 0,01 a	65 ± 10 a	12,4 ± 0,4 ab	60,54 ± 1,25 a	14,23 ± 0,12 ab	92,81 ± 0,50 a	-0,21 ± 0,07 a	10,77 ± 0,92 a	99 ± 1 a	28,46 ± 0,48 a	9,95 ± 0,17 a
Setembro	CE3-MA	32,3 ± 0,7 a	346 ± 54 a	0,636 ± 0,03 a	62 ± 9 a	12,4 ± 1,1 ab	62,12 ± 0,42 a	14,23 ± 0,12 ab	92,98 ± 0,38 a	-0,26 ± 0,08 a	10,53 ± 0,99 a	98 ± 1 a	29,07 ± 1,81 a	9,94 ± 0,54 a
Novembro	CE4-MA	31,5 ± 0,7 a	356 ± 32 a	0,616 ± 0,00 a	60 ± 8 a	12,5 ± 0,5 ab	61,80 ± 1,94 a	13,97 ± 0,12 b	93,32 ± 0,67 a	-0,32 ± 0,13 a	10,38 ± 0,87 a	97 ± 2 a	30,50 ± 1,53 a	10,44 ± 0,44 a
Novembro	CD2-MA	32,1 ± 0,9 a	371 ± 23 a	0,501 ± 0,01 b	69 ± 1 a	11,2 ± 0,1 b	58,13 ± 0,69 a	14,63 ± 0,19 a	93,36 ± 0,05 a	-0,42 ± 0,00 a	11,01 ± 0,09 a	94 ± 1 a	30,47 ± 0,46 a	10,22 ± 0,07 a

Os resultados são médias de três repetições, cada uma coletada em quadrante diferente do silo. Onde: CD= coleta dinâmica; CE= coleta estática; CD 1 e 2= 1ª e 2ª coletas dinâmicas, respectivamente; CE 1, 2, 3 e 4= 1ª, 2ª, 3ª e 4ª coletas estáticas, respectivamente. PG= coleta em Ponta Grossa; MA= coleta em Marau. Letras diferentes nas colunas, por local, diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05). Onde: PMG= peso de mil grãos; NQG= número de queda do grão; Aw= atividade de água; IDG= índice de dureza do grão; UG= umidade do grão; EXT= extração experimental de farinha; UF=umidade da farinha; L*= luminosidade da farinha, a*= valor a* (-a= cor verde, +a= cor vermelha), b*= valor b* (-b= cor azul, +b= cor amarela); IG=índice de glúten; GU= glúten úmido; GS= glúten seco.

Tabela 9. Composição química e de atividade enzimática de amostras de farinha obtidas a partir de trigo oriundas do projeto “Redução de perdas quantitativas e qualitativas no armazenamento de trigo”, coletadas em silos de Ponta Grossa, PR, e de Marau, RS, em 2018. UFPel, Pelotas, RS, 2018.

Mês	Coleta	Umidade da farinha (%)	Cinza (%)	Proteína (%)	Lipídios (%)	Carboidratos (%)	Atividade de lipase (% de lipólise)	Atividade de peroxidase (U/mL)	Acidez lipídica (%)
Ponta Grossa, PR (silo de alvenaria)									
Fevereiro	CD1-MA	12,86 ± 0,11 a	0,53 ± 0,02 b	11,86 ± 0,27 b	1,26 ± 0,17 a	86,36 ± 0,37 ab	2,67 ± 1,04 b	0,165 ± 0,001 c	8,07 ± 0,42 a
Março	CE1-MA	12,80 ± 0,14 a	0,58 ± 0,01 a	11,97 ± 0,62 b	1,21 ± 0,06 ab	86,24 ± 0,64 ab	3,62 ± 2,20 ab	0,169 ± 0,001 c	8,76 ± 0,44 c
Junho	CE2-MA	12,95 ± 0,06 a	0,52 ± 0,01 b	11,85 ± 0,20 b	0,73 ± 0,11 b	86,91 ± 0,31 a	4,54 ± 0,14 ab	0,163 ± 0,006 c	8,19 ± 0,30 a
Setembro	CE3-MA	10,75 ± 0,25 b	0,50 ± 0,01 bc	13,59 ± 0,47 a	0,94 ± 0,04 ab	84,97 ± 0,47 b	5,38 ± 0,60 ab	0,070 ± 0,003 d	9,86 ± 0,14 b
Novembro	CE4-MA	12,87 ± 0,10 a	0,46 ± 0,01 c	12,28 ± 0,21 b	0,88 ± 0,19 ab	86,38 ± 0,17 ab	6,06 ± 0,48 ab	0,215 ± 0,002 a	11,95 ± 0,18 a
Novembro	CD2-MA	12,75 ± 0,35 a	0,45 ± 0,01 c	12,46 ± 0,24 a	0,80 ± 0,23 ab	86,29 ± 0,40 ab	6,65 ± 0,07 a	0,192 ± 0,007 b	12,19 ± 0,30 a
Marau, RS (silo metálico)									
Fevereiro	CD1-MA	12,88 ± 0,13 a	0,62 ± 0,01 ab	12,02 ± 0,35 cd	1,57 ± 0,07 a	85,80 ± 0,36 ab	2,64 ± 0,12 b	0,164 ± 0,004 b	10,70 ± 1,25 abc
Março	CE1-MA	13,16 ± 0,27 a	0,66 ± 0,03 a	11,51 ± 0,18 d	1,30 ± 0,22 ab	86,53 ± 0,34 ab	2,97 ± 1,43 b	0,160 ± 0,013 b	11,30 ± 0,41 ab
Junho	CE2-MA	13,15 ± 0,14 a	0,56 ± 0,04 ab	13,16 ± 0,09 b	0,64 ± 0,08 d	85,64 ± 0,18 b	4,49 ± 0,08 b	0,163 ± 0,006 b	7,70 ± 0,54 d
Setembro	CE3-MA	11,16 ± 0,06 b	0,54 ± 0,05 ab	14,36 ± 0,16 a	0,94 ± 0,02 bcd	84,17 ± 0,13 c	7,07 ± 0,84 a	0,097 ± 0,003 c	9,65 ± 0,24 bcd
Novembro	CE4-MA	12,71 ± 0,26 a	0,32 ± 0,21 b	12,04 ± 0,06 cd	1,09 ± 0,12 bc	86,55 ± 0,10 ab	7,49 ± 0,34 a	0,217 ± 0,001 a	12,32 ± 0,43 a
Novembro	CD2-MA	13,02 ± 0,14 a	0,46 ± 0,01 ab	12,58 ± 0,27 bc	0,75 ± 0,02 cd	86,21 ± 0,25 ab	8,08 ± 0,00 a	0,198 ± 0,001 a	8,56 ± 0,54 cd

Os resultados são médias de três repetições, cada uma coletada em quadrante diferente do silo. Onde: CD= coleta dinâmica; CE= coleta estática; CD 1 e 2= 1ª e 2ª coletas dinâmicas, respectivamente; CE 1, 2, 3 e 4= 1ª, 2ª, 3ª e 4ª coletas estáticas, respectivamente. PG= coleta em Ponta Grossa; MA= coleta em Marau. Letras diferentes nas colunas, por local, diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Resultados da composição química expressos em base seca (b.s.).

A determinação da atividade enzimática em farinha de trigo é importante para avaliar sua qualidade. As lipases são enzimas que catalisam a hidrólise de lipídios liberando ácidos graxos livres, diglicerídeos, monoglicerídeos e glicerol (Beisson et al., 2000). A atividade da lipase em trigo e outros grãos é altamente dependente do conteúdo de água. Em função do teor de umidade nos grãos não ter sofrido grandes alterações (Tabela 9), as mudanças ocorridas entre as amostras foram devidas, principalmente ao tempo de armazenamento, sendo observado aumento na atividade desta enzima com o decorrer do armazenamento, o mesmo ocorrendo com a atividade de peroxidase. O tipo de silo não afetou a atividade da lipase.

A acidez lipídica das farinhas de trigo aumentou com o tempo de armazenamento (Tabela 9).

3.3. Alterações na reologia das farinhas no armazenamento de trigo

As alterações na qualidade reológica da farinha de trigo, obtida a partir do trigo armazenado foram investigadas através das análises de alveografia e farinografia (qualidade proteica), bem como de viscosidade em RVA (propriedades de pasta do amido na massa de farinha de trigo). Os resultados destas análises podem ser visualizados na Tabela 10. Na Figura 4 estão representados graficamente os principais parâmetros do item 3.3.

Considerando os valores de força de glúten (W, Tabela 10) e de número de queda do grão (NQG, Tabela 8), o trigo usado neste estudo de armazenamento foi classificado comercialmente como Trigo Pão. Após 10-11 meses de armazenamento, em ambos os silos, a classe comercial do trigo não se alterou em nenhuma das coletas, indicando que a sua qualidade proteica variou pouco, confirmando o enquadramento inicial na classe Trigo Pão.

Por outro lado, foi possível observar pelas análises em RVA que a qualidade do amido sofreu maiores alterações que a da proteína. Os resultados apresentaram grande variação entre as coletas (alguns com elevado DP) não seguindo uma sequência lógica de aumento ou diminuição com o tempo de armazenamento do trigo. Exceto, o parâmetro viscosidade máxima, que aumentou proporcionalmente ao tempo de armazenamento.

3.4. Alterações nas características de panificação e textura do pão no armazenamento de trigo

O efeito do armazenamento de trigo nos silos de Ponta Grossa, PR (alvenaria) e de Marau, RS (metálico) nas características dos pães (volume específico, cor e textura do miolo) elaborados com farinhas obtidas de trigo coletado em diferentes tempos de armazenamento estão na Tabela 11. Na Figura 4 estão representados graficamente os principais parâmetros do item 3.4.

Os pães elaborados com essas farinhas, obtidas dos grãos de trigo armazenados nas duas localidades estudadas apresentaram comportamento similar nas avaliações de panificação. O volume específico dos pães apresentou tendência para valores mais elevados nos primeiros meses e diminuição ao final do armazenamento, embora sem diferença significativa ($p > 0,05$).

Alguns autores relataram que a maturação pós-colheita de grãos durante o armazenamento a curto prazo aumenta a qualidade do processamento tecnológico. Esta melhora está associada ao lento processo de oxidação dos grupos tiol (-SH) para grupos dissulfeto (SS) nas proteínas gluteninas, o que aumenta a força e a elasticidade do glúten (González-Torralba et al., 2013; Gras & O'riordan, 1998), uma vez que o volume específico está diretamente relacionado à quantidade de gás pro-

duzido e à capacidade de retenção desses gases pela rede de glúten. Além disso, a formação alveolar mais fechada do miolo do pão, contribui para maiores valores de firmeza e mastigabilidade. O aumento do tempo de armazenamento dos grãos de trigo influenciou no perfil de resultados de textura dos pães (Tabela 11), com tendência à diminuição progressiva na firmeza e mastigabilidade, embora as diferenças não tenham sido significativas.

Avaliar a textura dos pães é fundamental para prever aceitação do produto pelo consumidor, uma vez que menor firmeza proporciona maior aceitação. A coesividade mede a força das ligações internas que compõem a estrutura da amostra. Esta não diferiu significativamente no período de armazenamento, nas localidades avaliadas. O mesmo ocorreu para a elasticidade dos pães, que é um parâmetro determinado pela altura que as amostras recuperam durante o tempo entre as compressões.

3.5. Resumo das alterações na qualidade tecnológica de trigo

De uma forma geral, as alterações ocorridas na qualidade tecnológica de trigo (sejam nos parâmetros físico-químicos e reológicos, sejam na panificação não foram tão importantes nos 10-11 meses de armazenamento, uma vez que os principais parâmetros considerados comercialmente (UG, PH, W, EST, UF e NQ) mantiveram-se praticamente inalterados.

Visando facilitar a visualização global dos resultados da avaliação conjunta dos parâmetros de qualidade tecnológica de trigo (QTT) do trigo armazenado foi elaborado gráfico temporal (Figura 4) dos 24 principais parâmetros de QTT, comparando os dois silos (Ponta Grossa, PR, e Marau, RS).

3.6. Presença de fungos no armazenamento de trigo

Nas amostras de grãos foi avaliada a incidência dos seguintes fungos: *Alternaria* spp., *Aspergillus flavus*, *Bipolaris sorokiniana*, *Cladosporium* spp., *Drechslera tritici-repentis*, *Fusarium graminearum* e *Penicillium* spp. O fungo *Penicillium* spp., considerado fungo de armazenamento, foi detectado nos dois silos em todas as coletas realizadas, sendo que a maior incidência ocorreu no silo de Marau (Tabela 12). *F. graminearum* apresentou baixa incidência, nos dois silos e em todas as coletas realizadas, situação esperada por ser considerado fungo que causa doença em espigas e grãos de trigo na lavoura e morre com o armazenamento, devido à baixa atividade de água (Tibola et al., 2011). *Alternaria* spp. foi o fungo mais incidente nos dois silos durante todo o período avaliado. O número de grãos germinados em meio de cultura não alterou durante o período de armazenamento. Os fungos são importantes porque são produtores de micotoxinas que podem causar lesões em órgãos de animais e humanos. Apesar da presença de fungos nos grãos avaliados, constatou-se que não foram detectadas as principais micotoxinas nas amostras analisadas, ou quando detectáveis elas ficaram abaixo do limite máximo estabelecido pela legislação brasileira, conforme mostraram as análises apresentadas no item 3.6 (Níveis de micotoxinas em lotes de trigo).

3.7. Níveis de micotoxinas em lotes de trigo

A micotoxina deoxinivalenol (DON) foi detectada na primeira coleta dinâmica em Ponta Grossa (496 ppb) e em Marau (433 ppb), quando analisada pelo método Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). Nas coletas subsequentes nenhuma amostra apresentou níveis detectáveis de micotoxinas, quando analisadas através de ELISA.

Tabela 10. Reologia da farinha obtida de amostras de trigo provenientes do projeto “Redução de perdas quantitativas e qualitativas no armazenamento de trigo”, coletadas em silos de Ponta Grossa, PR e de Marau, RS, em 2018. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2018.

Mês	Coleta	Alveografia					Farinografia					RVA			
		W (x10 ⁻⁴ J)	P (mm)	P/L	G (mm)	le (%)	AA (%)	TDM (min)	EST (min)	ITM (UF)	Vmax (Cp)	Quebra (Cp)	Vfinal (Cp)	Retrog (Cp)	
Ponta Grossa, PR (silo de alvenaria)															
Fevereiro	CD1-PG	240 ± 19 a	82 ± 11 a	1,15 ± 0,49 a	19,7 ± 2,5 a	63 ± 2 a	54,0 ± 0,1 ab	11,5 ± 1,5 a	22,3 ± 1,0 a	8 ± 0,9 b	1832 ± 48 b	723 ± 28 b	1927 ± 62 c	819 ± 30 c	
Março	CE1-PG	246 ± 29 a	75 ± 9 a	0,94 ± 0,29 a	20,4 ± 1,8 a	66 ± 3 a	54,1 ± 0,3 a	11,4 ± 1,4 a	21,3 ± 1,2 a	10 ± 3,3 ab	1572 ± 47 bc	752 ± 0 b	1570 ± 70 cd	750 ± 24 cd	
Junho	CE2-PG	250 ± 14 a	76 ± 9 a	0,92 ± 0,27 a	20,6 ± 1,7 a	65 ± 2 a	53,2 ± 0,0 abc	11,2 ± 1,0 a	21,7 ± 1,6 a	7 ± 0,8 b	1628 ± 115 bc	743 ± 20 b	1695 ± 119 cd	810 ± 18 c	
Setembro	CE3-PG	261 ± 17 a	72 ± 6 a	0,81 ± 0,09 a	21,0 ± 0,5 a	69 ± 1 a	53,3 ± 0,1 abc	13,1 ± 0,8 a	21,2 ± 1,1 a	15 ± 0,9 a	1069 ± 32 c	445 ± 11 c	1210 ± 60 d	585 ± 19 d	
Novembro	CE4-PG	244 ± 16 a	79 ± 15 a	1,15 ± 0,60 a	19,6 ± 2,8 a	68 ± 2 a	52,7 ± 0,7 c	15,0 ± 0,4 a	23,3 ± 1,0 a	12 ± 0,9 ab	3270 ± 367 a	1111 ± 110 a	3526 ± 434 a	1366 ± 126 a	
Novembro	CD2-PG	213 ± 17 a	61 ± 2 a	0,70 ± 0,04 a	20,8 ± 1,0 a	68 ± 3 a	52,9 ± 0,3 bc	13,6 ± 1,9 a	22,5 ± 1,3 a	10 ± 3,7 ab	2860 ± 251 a	1207 ± 50 a	2806 ± 131 b	1153 ± 75 b	
Marau, RS (silo metálico)															
Fevereiro	CD1-MA	267 ± 19 a	70 ± 9 a	0,67 ± 0,14 a	23,0 ± 1,1 ab	64 ± 1 a	56,3 ± 0,1 a	9,9 ± 0,3 a	17,4 ± 0 a	12 ± 0,8 a	1881 ± 23 cd	693 ± 21 b	2093 ± 45 bc	905 ± 9 bc	
Março	CE1-MA	261 ± 31 a	71 ± 8 a	0,63 ± 0,10 a	23,9 ± 0,6 a	58 ± 2 b	56,4 ± 0,7 a	9,9 ± 1,5 a	14,8 ± 1,4 a	15 ± 4,1 a	1987 ± 310 bc	709 ± 18 b	2260 ± 481 bc	982 ± 171 bc	
Junho	CE2-MA	253 ± 28 a	72 ± 7 a	0,75 ± 0,05 a	21,9 ± 0,6 abc	63 ± 1 ab	56,0 ± 0,1 a	9,8 ± 0,7 a	15,9 ± 0 a	17 ± 7,7 a	2030 ± 275 bc	665 ± 22 b	2295 ± 382 bc	930 ± 125 bc	
Setembro	CE3-MA	227 ± 47 a	71 ± 16 a	0,86 ± 0,23 a	20,4 ± 0,5 c	64 ± 2 a	55,4 ± 0,1 a	9,0 ± 3,0 a	14,5 ± 6,1 a	21 ± 6,5 a	1189 ± 113 d	369 ± 30 c	1431 ± 271 c	644 ± 92 c	
Novembro	CE4-MA	236 ± 14 a	73 ± 7 a	0,88 ± 0,12 a	20,4 ± 0,5 c	65 ± 2 a	55,1 ± 0,5 a	9,8 ± 1,6 a	16,9 ± 0 a	16 ± 2,2 a	2690 ± 260 ab	1102 ± 137 a	2784 ± 288 ab	1196 ± 121 ab	
Novembro	CD2-MA	251 ± 22 a	72 ± 5 a	0,80 ± 0,07 a	21,4 ± 0,6 bc	64 ± 2 a	55,2 ± 0,4 a	11,4 ± 1,3 a	20,1 ± 0,1 a	12 ± 2,2 a	3319 ± 153 a	1153 ± 22 a	3571 ± 156 a	1382 ± 42 a	

Os resultados são médias de três repetições, cada uma coletada em quadrante diferente do silo. Onde: CD= coleta dinâmica; CE= coleta estática; CD 1 e 2= 1ª e 2ª coletas dinâmicas, respectivamente; CE 1, 2, 3 e 4= 1ª, 2ª, 3ª e 4ª coletas estáticas, respectivamente. PG= coleta em Ponta Grossa; MA= coleta em Marau. Letras diferentes nas colunas, por local, diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

Onde: Alveografia: W= força de glúten (expresso em 10-4 Joules), P= tenacidade, P/L= relação entre tenacidade e extensibilidade, G= índice de intumescimento, e le= índice de elasticidade; Farinografia: AA= absorção de água, TDM= tempo de desenvolvimento da massa (expresso em unidades farinográficas), EST= estabilidade, e ITM= índice de tolerância à mistura (expresso em unidades farinográficas, UF); RVA (analisador rápido de viscosidade): Vmax= viscosidade máxima, Vfinal= viscosidade final e Retrog= retrogradação (todos expressos em Centipoises, Cp).

Tabela 11. Caracterização dos pães elaborados com farinha obtida de amostras de trigo provenientes do projeto “Redução de perdas quantitativas e qualitativas no armazenamento de trigo”, coletadas nos silos de Ponta Grossa, PR e de Marau, RS, em 2018. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2018.

Mês	Coleta	VE (mL.g ⁻¹)	Cor do miolo do pão			Textura do miolo do pão						
			L*	a*	b*	Firmeza (g)	Adesiv (g.seg)	Elastic (mm)	Coesividade	Gomosidade	Mastig (J)	
Ponta Grossa, PR (silo de alvenaria)												
Fevereiro	CD1-PG	3,03 ± 0,48 a	72,29 ± 1,10 ab	-0,26 ± 0,07 b	14,67 ± 0,27 ab	329 ± 133 a	-0,369 ± 0,140 a	0,97 ± 0,01 a	0,84 ± 0,02 a	274 ± 105 a	267 ± 100 a	
Março	CE1-PG	4,30 ± 0,69 a	71,00 ± 1,69 ab	-0,24 ± 0,05 b	14,28 ± 0,88 abc	702 ± 371 a	-0,693 ± 0,146 a	0,97 ± 0,01 a	0,80 ± 0,03 a	545 ± 280 a	523 ± 266 a	
Junho	CE2-PG	4,09 ± 0,86 a	75,45 ± 1,40 ab	-0,26 ± 0,04 b	13,73 ± 0,45 abc	358 ± 33 a	-1,513 ± 1,161 a	0,96 ± 0,01 a	0,81 ± 0,04 a	491 ± 245 a	472 ± 232 a	
Setembro	CE3-PG	2,94 ± 0,37 a	72,58 ± 0,18 ab	-0,16 ± 0,09 b	13,09 ± 0,73 bc	404 ± 114 a	-1,043 ± 0,434 a	0,96 ± 0,02 a	0,81 ± 0,03 a	343 ± 65 a	312 ± 79 a	
Novembro	CE4-PG	2,90 ± 0,17 a	79,87 ± 6,01 a	0,29 ± 0,22 a	16,71 ± 2,11 a	380 ± 144 a	-1,080 ± 0,453 a	0,97 ± 0,01 a	0,80 ± 0,04 a	299 ± 103 a	291 ± 100 a	
Novembro	CD2-PG	3,72 ± 0,14 a	68,75 ± 3,89 b	-0,44 ± 0,12 b	11,04 ± 0,76 c	162 ± 43 a	-2,743 ± 1,851 a	0,98 ± 0,01 a	0,81 ± 0,04 a	131 ± 31 a	129 ± 29 a	
Marau, RS (silo metálico)												
Fevereiro	CD1-MA	3,46 ± 0,66 a	72,55 ± 1,23 a	-0,09 ± 0,01 a	15,52 ± 0,71 ab	727 ± 307 a	-0,979 ± 0,327 a	0,97 ± 0,02 a	0,81 ± 0,02 a	582 ± 242 a	560 ± 228 a	
Março	CE1-MA	2,46 ± 0,63 a	68,63 ± 0,54 a	-0,09 ± 0,03 a	12,75 ± 0,42 ab	558 ± 274 a	-0,575 ± 0,268 a	0,99 ± 0,00 a	0,84 ± 0,02 a	464 ± 218 a	456 ± 213 a	
Junho	CE2-MA	3,74 ± 0,47 a	74,14 ± 3,86 a	0,35 ± 0,45 a	14,53 ± 0,97 ab	537 ± 306 a	-0,870 ± 0,369 a	0,94 ± 0,01 a	0,84 ± 0,01 a	447 ± 251 a	423 ± 239 a	
Setembro	CE3-MA	3,40 ± 0,70 a	70,36 ± 0,84 a	0,02 ± 0,36 a	13,98 ± 0,88 ab	498 ± 125 a	-1,720 ± 1,133 a	0,96 ± 0,01 a	0,80 ± 0,00 a	400 ± 99 a	387 ± 99 a	
Novembro	CE4-MA	3,17 ± 0,21 a	78,37 ± 6,24 a	0,75 ± 0,84 a	17,30 ± 2,97 a	227 ± 14 a	-0,640 ± 0,437 a	0,99 ± 0,02 a	0,84 ± 0,00 a	192 ± 12 a	191 ± 15 a	
Novembro	CD2-MA	3,60 ± 0,12 a	72,24 ± 2,09 a	-0,12 ± 0,09 a	11,67 ± 0,76 b	168 ± 16 a	-1,287 ± 0,284 a	0,98 ± 0,02 a	0,82 ± 0,01 a	138 ± 11 a	136 ± 11 a	

Os resultados são médias de três repetições, cada uma coletada em quadrante diferente do silo. Onde: CD= coleta dinâmica; CE= coleta estática; CD 1 e 2= 1ª e 2ª coletas dinâmicas, respectivamente; CE 1, 2, 3 e 4= 1ª, 2ª, 3ª e 4ª coletas estáticas, respectivamente. PG= coleta em Ponta Grossa; MA= coleta em Marau. Letras diferentes nas colunas, por local, diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05). Cor do miolo= média de quatro determinações em cada pão e textura = foram apresentadas as médias de quatro determinações (duas em cada pão). Onde: VE= Volume específico; Adesiv= adesividade; Elastic= elasticidade; Mastig= mastigabilidade.

Tabela 12. Incidência (nº de grãos) de fungos e de grãos germinados em amostras de trigo armazenado, coletadas nos silos de Ponta Grossa, PR (alvenaria) e de Marau, RS (metálico), na safra 2018. Laboratório de Fitopatologia, Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2018, (nº = 1.000 grãos).

Mês	Coleta	Local	Fungos ⁽¹⁾							Nº de grãos germinados
			Fus g	Alt	Bip	Dres	Pen	Asp f	Clad	
Ponta Grossa, PR (silo de alvenaria)										
Fevereiro	Dinâmica	CD1-PG	0,7 ± 0,5 a	325,7 ± 20,9 a	5,0 ± 2,4 a	58,0 ± 14,2 b	4,7 ± 4,6 a	6,0 ± 2,9 a	22,3 ± 2,5 a	871,7 ± 12,2 a
Março	Estática	CE1-PG	0,0 ± 0,0 a	219,3 ± 3,7 b	2,3 ± 1,2 a	89,3 ± 15,8 ab	13,3 ± 3,4 a	41,0 ± 29,8 a	12,7 ± 1,2 b	837,0 ± 22,4 a
Junho	Estática	CE2-PG	0,0 ± 0,0 a	141,0 ± 22,7 c	3,7 ± 2,9 a	102,3 ± 21,0 ab	13,7 ± 2,1 a	4,0 ± 2,2 a	9,3 ± 1,2 b	856,0 ± 13,4 a
Setembro	Estática	CE3-PG	0,0 ± 0,0 a	50,3 ± 5,4 d	2,0 ± 1,6 a	109,0 ± 18,2 a	41,0 ± 29,8 a	4,7 ± 4,1 a	4,3 ± 3,1 bc	810,3 ± 44,7 a
Outubro	Estática	CE4-PG	0,3 ± 0,5 a	23,7 ± 7,4 d	0,7 ± 0,9 a	100,3 ± 5,2 ab	8,3 ± 2,9 a	0,3 ± 0,5 a	0,3 ± 0,5 c	815,7 ± 27,9 a
Novembro	Dinâmica	CD2-PG	0,0 ± 0,0 a	60,3 ± 5,2 d	1,7 ± 1,2 a	94,7 ± 8,7 ab	8,0 ± 0,8 a	1,0 ± 0,8 a	5,0 ± 4,5 bc	811,0 ± 5,0 a
Marau, RS (silo metálico)										
Fevereiro	Dinâmica	CD1-MA	2,0 ± 0,8 a	248,0 ± 15,9 a	11,7 ± 2,6 a	29,3 ± 7,8 a	11,3 ± 3,8 a	12,3 ± 4,5 a	24,0 ± 0,8 a	909,0 ± 6,2 a
Março	Estática	CE1-MA	1,0 ± 1,4 a	254,3 ± 88,4 a	8,0 ± 4,3 a	29,3 ± 9,4 a	27,3 ± 15,7 a	5,0 ± 0,8 a	24,0 ± 7,8 a	903,0 ± 14,2 a
Junho	Estática	CE2-MA	0,0 ± 0,0 a	210,7 ± 49,3 a	3,3 ± 2,6 a	26,0 ± 9,4 a	36,7 ± 21,4 a	6,0 ± 5,7 a	15,0 ± 3,6 ab	916,3 ± 8,7 a
Setembro	Estática	CE3-MA	1,3 ± 1,2 a	211,3 ± 99,3 a	2,0 ± 0,8 a	16,0 ± 4,5 a	216,3 ± 287,6 a	7,3 ± 7,1 a	8,0 ± 6,5 b	890,3 ± 42,2 a
Outubro	Estática	CE4-MA	0,7 ± 0,9 a	203,0 ± 39,9 a	7,3 ± 9,0 a	19,3 ± 18,9 a	23,3 ± 14,1 a	3,0 ± 1,6 a	11,7 ± 1,9 ab	923,7 ± 14,1 a
Dezembro	Dinâmica	CD2-MA	0,3 ± 0,5 a	185,3 ± 8,8 a	10,3 ± 2,6 a	28,3 ± 7,0 a	20,7 ± 10,7 a	4,7 ± 2,5 a	8,0 ± 1,4 b	910,3 ± 14,1 a

⁽¹⁾Média ± desvio padrão. Letras diferentes nas colunas, por local, diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Os resultados são médias de três repetições, cada uma coletada em quadrante diferente do silo. Onde: CD= coleta dinâmica; CE= coleta estática; CD 1 e 2= 1ª e 2ª coletas dinâmicas, respectivamente; CE 1, 2, 3 e 4= 1ª, 2ª, 3ª e 4ª coletas estáticas, respectivamente. PG = local de coleta: Ponta Grossa; MA = local de coleta: Marau. Onde: *Fus g*= *Fusarium graminearum*; *Alt*= *Alternaria* spp.; *Bip*= *Bipolaris sorokiniana*; *Dres*= *Drechslera-tritici-repentis*; *Pen*= *Penicillium* spp; *Asp*= *Aspergillus flavus*; *Clad*= *Cladosporium* spp.

As micotoxinas deoxinivalenol (DON), zearalenona (ZEA), aflatoxina (AFB1, AFB2, AFG1 e AFG2) e ocratoxina A não foram detectadas em nenhuma amostra analisada através de cromatografia líquida de ultra alta eficiência acoplada à espectrometria de massas sequencial (UHPLC-MS/MS).

Considerando o atual nível máximo tolerado de DON pela legislação brasileira (1000 ppb para farinha de trigo) todas as amostras analisadas são seguras para o consumo humano (Brasil, 2011). Os níveis de micotoxinas refletiram as adequadas condições climáticas da safra 2017 e adequadas condições de armazenamento, garantindo sanidade e inocuidade dos grãos de trigo.

3.8. Avaliação da infestação por insetos-praga e fragmentos de insetos na farinha de trigo obtida a partir de grãos armazenados nos silos

O silo de alvenaria de Ponta Grossa, PR, e metálico de Marau, RS, foram semelhantes, com relação ao nível de infestação por insetos-praga e ao número de fragmentos de insetos na farinha obtida a partir dos grãos armazenados (Figura 5).

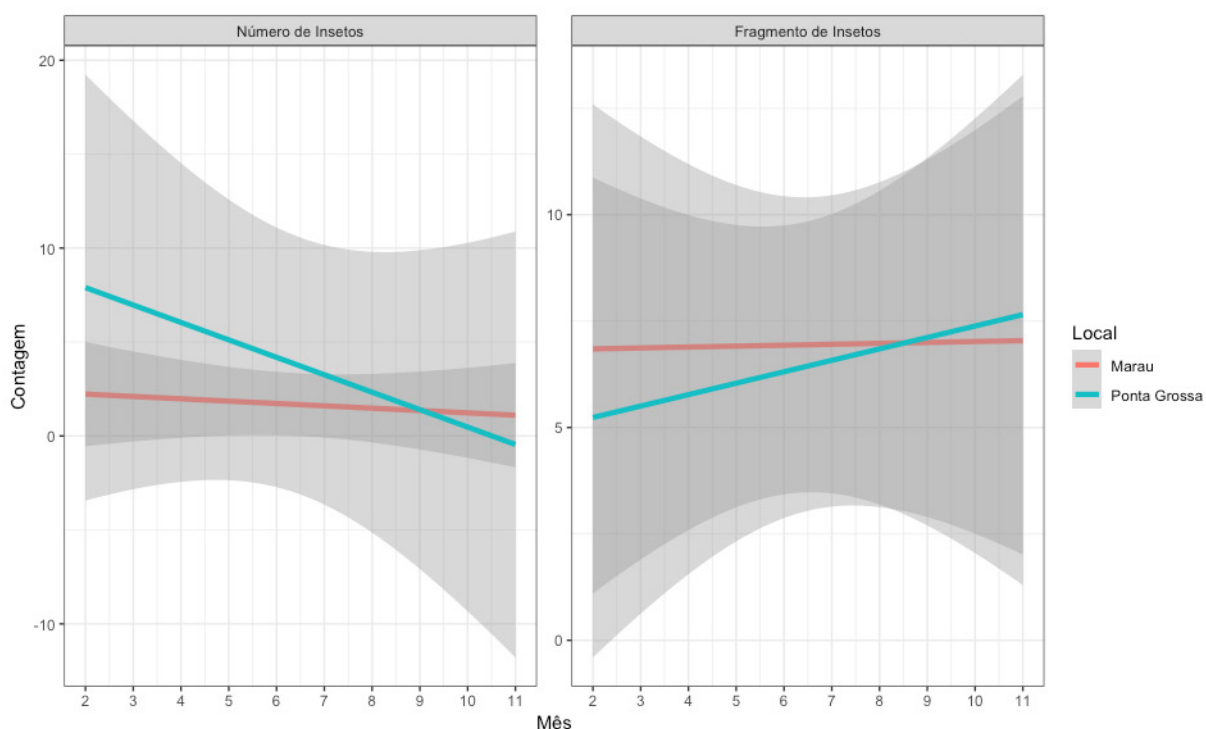


Figura 5. Nível de infestação por insetos e número de fragmentos de insetos na farinha obtida a partir dos grãos armazenados, ao longo do período de armazenamento de trigo, em Ponta Grossa (silo de alvenaria) e em Marau (silo metálico), em 2018. As linhas contínuas representam a média ajustada pelo modelo de regressão e, a área sombreada, representa o intervalo de confiança (IC95%) obtido para cada ajuste.

Com relação aos níveis de infestação, em ambos os silos, observa-se que houve uma tendência de redução ao longo do período de armazenamento (Figura 5), indicando que os manejos adotados para o controle de insetos podem ter contribuído para essa redução, conforme apresentado na Tabela 2.

As espécies de insetos encontradas foram *Sitophilus oryzae* (mais frequente e em ambos os silos), *Oryzaephilus surinamensis* (apenas na coleta de agosto, 3ª coleta estática, somente no silo de Ponta Grossa, PR) e *Tribolium castaneum* (apenas 1 exemplar na coleta de maio, 2ª coleta estática, somente no silo de Marau, RS).

Com relação ao número de fragmentos de insetos, em ambos os silos, observa-se que houve uma leve tendência de aumento ao longo do período de armazenamento (Figura 5), porém os valores ficaram bem abaixo dos 75 fragmentos de insetos/50 gramas de farinha de trigo, que é o limite máximo permitido pela legislação brasileira em vigor (Anvisa, 2014). Portanto, todas as amostras coletadas no período de armazenamento, nos dois silos, estão de acordo com essa legislação, sendo, portanto, as farinhas desses grãos aptas para o consumo. Esses resultados indicam um manejo de insetos eficiente no armazenamento, que restringiu o crescimento populacional dessas pragas, acarretando baixas infestações internas (dentro dos grãos) e finalmente baixos números de fragmentos de insetos nas farinhas.

3.9. Efeitos do armazenamento de trigo na quebra-técnica e porcentagem de compactação

3.9.1. Quebra técnica

A quebra técnica nos grãos armazenados foi avaliada por meio do cálculo da diferença de matéria seca consumida pelos grãos no processo de respiração e dos organismos vivos que compõem o sistema de armazenagem. Observa-se na Tabela 13 que no silo alvenaria a porcentagem de quebra técnica da massa de grãos de trigo foi maior que no silo metálico. A quebra técnica total dos grãos de trigo armazenados no silo de alvenaria foi de 4,72 %. Este trigo ficou armazenado nesta célula armazenadora por 328 dias, aproximadamente 11 meses, resultando numa quebra técnica de 0,43 % ao mês. Para os grãos armazenados no silo metálico, a quebra técnica total foi de 1,07 %, o trigo ficou armazenado neste equipamento por 304 dias, em torno de 10 meses, resultando numa quebra aproximada de 0,11 % ao mês.

Tabela 13. Quebra técnica da massa de grãos de trigo armazenado por 10 e 11 meses em silo metálico e alvenaria, respectivamente.

Silo	Matéria seca inicial (g)	Matéria seca final (g)	Quebra Técnica (%)
Alvenaria	26,85 ± 0,53	25,58 ± 0,81	4,72
Metálico	29,81 ± 0,45	29,49 ± 0,43	1,07

Médias aritméticas simples de três amostras e quatro repetições, com desvio padrão.

A temperatura da massa de grãos foi o fator determinante nos resultados de quebra técnica do estudo. De acordo com Gonzalez-Torralba et al. (2013), patamares de temperatura de massa de grãos próximo de 15 °C são ideais para a manutenção da qualidade do trigo. Esta temperatura foi obtida a partir do mês de junho, em função do inverno com baixas temperaturas no ano de 2018, no Estado do Rio Grande do Sul.

Os grãos foram aerados com ar em temperatura ambiente, não foi utilizada a tecnologia de condicionamento do ar. No silo de alvenaria (Figura 6), foram identificadas maiores temperaturas de massa de grãos em relação ao silo metálico (Figura 7). Embora o projeto tenha sido executado em diferentes estados, as temperaturas de Marau ao longo do ano, em geral variaram de 9 °C a 29 °C e raramente foi inferior a 3 °C ou superior a 32 °C. Estes valores são similares aos registrados em Ponta Grossa que ao longo do ano, em geral a temperatura varia de 10 °C a 28 °C e raramente é inferior a 5 °C ou superior a 31 °C (INMET, 2019). O fato das temperaturas mais elevadas da massa de grãos em Ponta Grossa, deve ter ocorrido devido à eficiência do sistema de aeração ou o manejo operacional na unidade armazenadora.

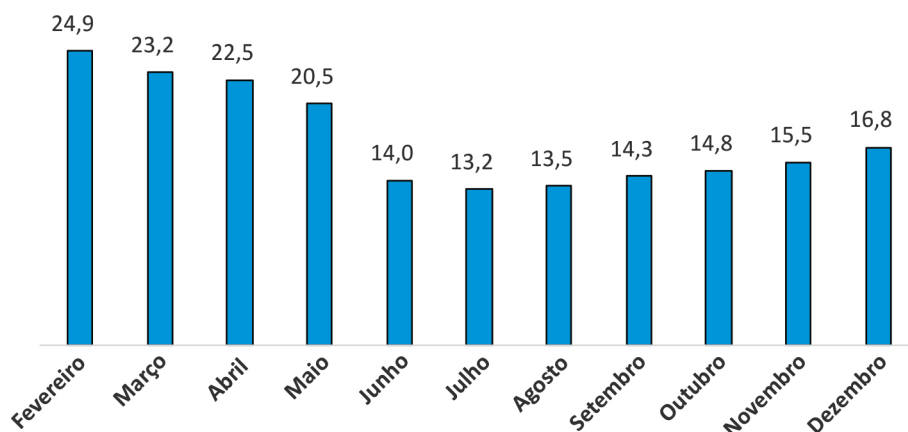


Figura 6. Temperatura mensal média da massa de grãos no silo de Ponta Grossa, PR, obtida por cabos de termometria, em 2018.

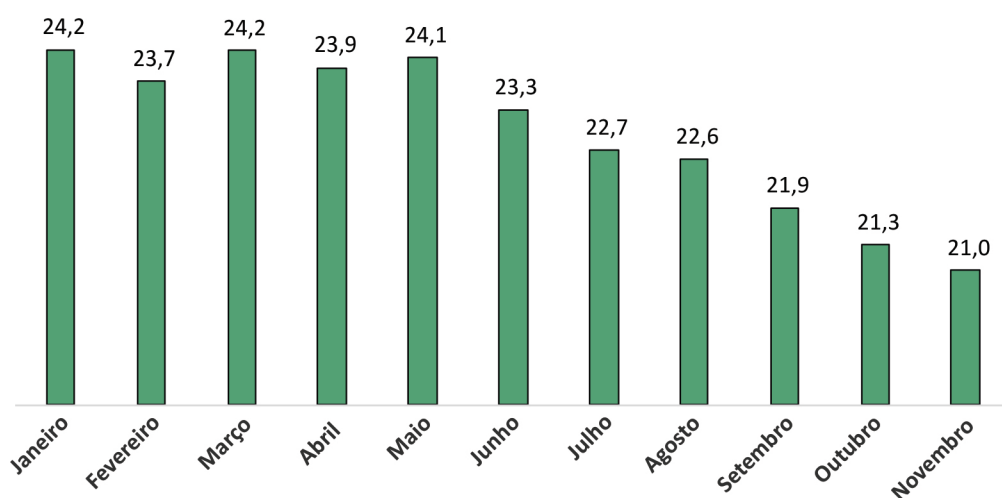


Figura 7. Temperatura mensal média da massa de grãos no silo de Marau, RS, obtida por cabos de termometria, em 2018.

O valor encontrado de quebra técnica para o silo de alvenaria é superior e para o silo metálico é inferior ao praticado pela Conab, como órgão normativo federal, que propõe uma quebra técnica de até 0,3 % ao mês. A Conab adotou, a partir de 1º de julho de 1992, o pagamento de uma sobretaxa de 0,15 % sobre o preço de mercado do produto armazenado por quinzena-calendário. As perdas econômicas podem ser exemplificadas em um silo de 1.650 t, como um dos utilizados no estudo, apresentando perdas anuais por quebra técnica estimadas em 2,97 t. De acordo com o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea), a média de valor da tonelada no RS para o Trigo Básico no mês de janeiro de 2019 foi de R\$ 791,17. Assim, a perda financeira seria de aproximadamente R\$ 2.350,00 para cada ano de armazenamento.

De acordo com os dados obtidos, conclui-se que ambos os silos de alvenaria e metálico podem ser utilizados para o apropriado armazenamento de trigo, em termos de proteção da qualidade e redução de perdas quantitativas. A manutenção de adequadas condições ambientais internas (temperatura e umidade relativa do ar), devem estar sob constante monitoramento e são mais importantes no armazenamento seguro de trigo, do que a forma construtiva do silo.

3.9.2. Porcentagem de compactação dos grãos

A porcentagem de compactação em função da compressão dos grãos foi estimada por meio da variação da altura da camada de grãos que ocorreu durante o tempo de armazenamento (10 e 11 meses em silos metálico e de alvenaria, respectivamente), medindo-se o total de acomodação dos

grãos armazenados em dois silos comerciais. De acordo com Khatchatourian e Savicki (2004), camadas de materiais granulares têm tendência natural de se compactar, especialmente com grandes alturas e diâmetros no silo armazenador.

O silo metálico possuía 14,55 m de diâmetro e altura do cilindro de 12,88 m. A altura de grãos inicial foi de 12,00 m, sendo que no final do tempo de armazenamento a camada de grãos diminuiu em média 0,15 m nos quatro quadrantes, o que resultou em uma porcentagem de compactação de 1,25%.

O silo de alvenaria tinha 8 m de diâmetro, altura de corpo do silo de 31,25 m, e altura inicial da camada de grãos foi de 27,68 m. No final do tempo de armazenamento houve uma redução média de 0,2 m na altura da camada de grãos nos quatro quadrantes, resultando em uma porcentagem de compactação de 0,72%.

Os resultados encontrados no estudo estão abaixo do que é reportado na literatura especializada. Estudo de Thompson et al. (1987), obtiveram percentuais de compactação da massa de grãos de trigo branco de inverno variando de 4,7% a 7,6% e de trigo duro de inverno variando de 3,5% a 5,7%.

De acordo com a Figura 8, a massa de grãos do silo metálico do estudo estaria sujeita a mais de 4% de compactação; no caso do silo de alvenaria a compactação foi próxima a 5%. Em avaliações de compactação de grãos em diferentes estados americanos, 34 silos de armazenagem de grãos de trigo com teores de água de 10 a 13% e diâmetros de 5 a 34,65 m e altura da camada de grãos de 5,94 a 44,88 m foi observada uma variação de porcentagem de compactação de 3,4 a 8,1% (Boac et al., 2012).

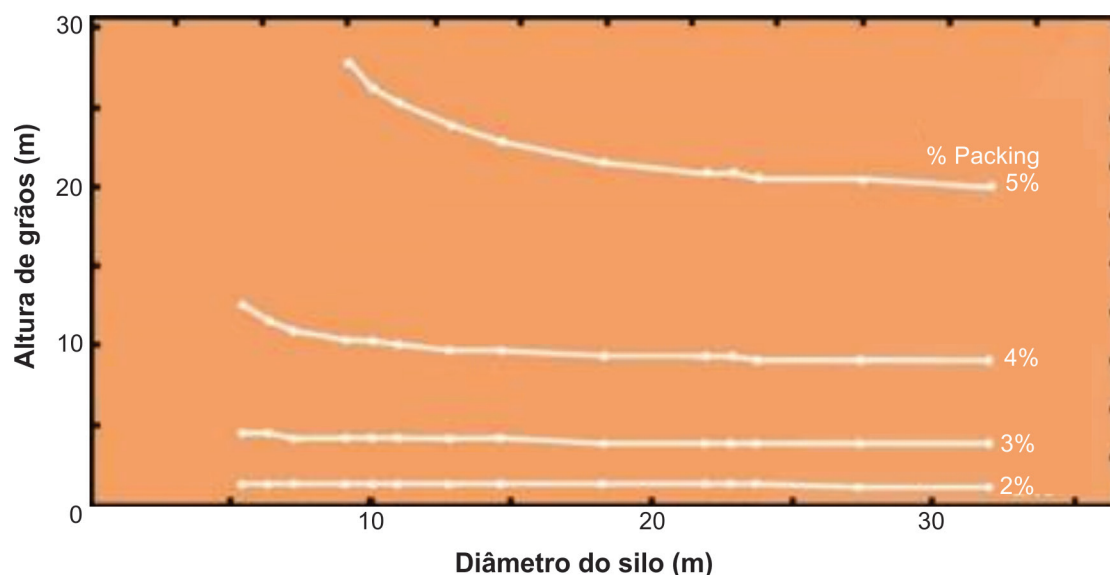


Figura 8. Porcentagem de compactação em silos de armazenagem em função do diâmetro e da altura dos grãos. Fonte: adaptado de Bhadra (2013).

Neste estudo, foram encontradas dificuldades em medir com precisão a variação de altura da massa de grãos que pode ter comprometido o cálculo exato de porcentagem de compactação:

- os grãos disponibilizados para a pesquisa já haviam sido armazenados em outra estrutura em torno de 90 dias até serem transferidos para os silos onde ocorreram as pesquisas;

- o tempo em que foi demarcado nas laterais dos silos foi em torno de 30 dias após o enchimento do silo, sendo que, de acordo com Malm e Baker (1985), a maior porcentagem de compactação ocorre durante os primeiros dias de armazenamento.

- ocorreram coletas de amostras durante o armazenamento e o movimento das pessoas e a remoção de grãos pode ter perturbado as condições da superfície da massa de grãos.

Pelos resultados de fator de compactação foi possível obter estimativas de cubagem considerando os efeitos de compressão da massa de grãos de trigo armazenados em silo metálico através da aplicação dos modelos propostos por Cheng et al. (2017). O controle sobre o volume de grãos armazenados é um parâmetro universal e de grande importância para a gestão dos empreendimentos que atuam com commodities. Produtores e gerentes de empresas privadas ou públicas utilizam esta informação para controlar seus estoques, cumprir com suas obrigações contratuais e projetar seus investimentos.

Os resultados estimados de massa volumétrica e o total de grãos de trigo em compressão foram comparados com os valores reais obtidos através de pesagem em balança rodoviária em silo metálico (Tabela 14). Os modelos propostos resultaram em uma massa volumétrica em compressão de $834,96 \text{ kg.m}^{-3}$, 1% a mais em relação a massa volumétrica real que é de $826,96 \text{ kg.m}^{-3}$. A diferença entre a massa total de grãos apresentou uma variação 4.869 kg ou de 0,30%. O modelo aplicado para obter estimativas de cubagem em grãos em compressão pode ser utilizado de forma confiável para gerenciar estoques em instalações de armazenamento de grãos.

A redução de altura de massa de grãos do estudo foi obtida após 10 meses de armazenamento. Cheng et al. (2017) aplicaram estes mesmos modelos em grãos de trigo armazenados em silo metálico com 21,9 m de diâmetro, 15,87 m de altura e encontraram uma variação de massa de grãos de 1,45% e de massa volumétrica de 2,73%.

Tabela 14. Comparação dos valores de massa de grãos de trigo considerando os efeitos de compactação em silo metálico após 10 meses de armazenamento.

Descrição	Valores
Volume ocupado pelos grãos (m^3)	1.995,25
Massa Inicial (kg)	1.650.000,00
Massa volumétrica inicial (kg.m^{-3})	826,96
Pressão vertical (kgf.cm^{-2})	1,09
Redução de altura de massa de grãos (m)	0,15
Volume atual ocupado pelos grãos (m^3)	1.970,31
Massa estimada (kg)	1.645.130,00
Massa volumétrica em compressão (kg.m^{-3})	834,96
Diferença (kg)	4.869,00
Variação (%)	0,30

4. Considerações finais

A identificação e a quantificação das perdas que ocorrem no armazenamento de trigo no Brasil fornecem informações fundamentais para a tomada de decisão e para a implementação de políticas visando a minimização das perdas no armazenamento. Independente da forma construtiva do silo de armazenagem, as condições ambientais (temperatura e umidade relativa do ar), o manejo dos

grãos, como o controle de aeração e o controle preventivo de insetos são fundamentais para a diminuição das perdas dos grãos de trigo armazenado.

Nesse trabalho a homogeneidade da massa de grãos foi um dos maiores entraves encontrados na pesquisa, embora todo o trigo fosse originário da mesma região produtora, houve grande variação entre as coletas devido à mistura de diferentes cultivares, oriundas de vários produtores. Outro fator foi a ausência da coleta de amostras logo após a colheita (tempo zero), o que permitiria avaliar a situação inicial do lote de partida, especialmente quanto a qualidade tecnológica que tende a se estabilizar durante o armazenamento.

Considerando que infestações por insetos-praga em trigo armazenado podem reduzir a qualidade dos grãos e seus derivados, são indicadas medidas preventivas e curativas (controle) para o manejo dessas pragas. Dentre as medidas preventivas são recomendadas: limpar silos, depósitos e equipamentos; eliminar focos de infestação de insetos com a retirada e a queima de resíduos do armazenamento anterior; pulverizar as instalações que receberão os grãos, utilizando-se inseticidas protetores, na dose registrada e recomendada pelo fabricante; armazenar os grãos de trigo com grau de umidade máximo de 13%; não misturar lotes de grãos não infestados com outros já infestados com insetos, dentro do silo ou armazém; realizar o tratamento preventivo dos grãos com inseticidas protetores, que deve ser realizado no momento de abastecimento do silo e pode ser feito na forma de pulverização na correia transportadora ou em outros pontos durante a movimentação dos grãos. Dentre as medidas curativas recomenda-se realizar o expurgo dos grãos, caso apresentem infestação por insetos, empregando-se o inseticida fosfina. Esse procedimento deve ser feito em silos de concreto ou em câmaras de expurgos, sempre com vedação total, observando-se o período de exposição necessário para controle das pragas e a dose indicada do produto. Após o expurgo, indica-se fazer aplicação de cobertura na massa de grãos, com inseticidas protetores, para evitar a reinfestação por insetos externos.

Destaca-se como inovações a metodologia de coleta de amostras, na qual foi testada a coleta estática através do equipamento sonda pneumática, importante para agilizar a coleta de amostra representativa no armazenamento. Também foram testados os métodos rápidos baseados em espectroscopia no infravermelho próximo (NIR tradicional e NIR hiperspectral), detalhados na publicação Tibola et al. (2018). Os kits imunoenzimáticos (ELISA) foram utilizados nas análises de micotoxinas, com acurácia similar aos métodos de referência. Ainda foi mensurada a concentração de CO₂ do ar intergranular, através de detector de multigases.

A manutenção da qualidade dos grãos de trigo no armazenamento depende de infraestrutura e equipamentos adequados, processos bem definidos e operadores capacitados. Assim, recomenda-se que hajam ações de capacitação de técnicos, produtores e operários envolvidos no setor de pós-colheita de grãos no que tange ao momento ideal da colheita, operações na secagem, no armazenamento e na conservação dos grãos de trigo. A capacitação está diretamente associada à eficiência da utilização de máquinas e equipamentos, ao aprimoramento dos processos e à melhor orientação de investimentos em infraestrutura.

Outra alternativa para reduzir as perdas no armazenamento é o estímulo da armazenagem dos grãos na propriedade rural, o que facilita a segregação de acordo com a qualidade, agregando valor aos lotes de trigo na comercialização.

Referências

- AACC International. **Approved Methods of Analysis**, 11th Ed. AACCI: St. Paul, MN, U.S.A. Method 08-01.01. Ash—Basic Method. Approved Nov 3, 1999a.
- AACC International. **Approved Methods of Analysis**, 11th Ed. AACCI: St. Paul, MN, U.S.A. Method 26-10.02. Experimental milling: introduction, equipment, sample preparation, and tempering. Approved Nov 3, 1999b.
- AACC International. **Approved Methods of Analysis**, 11th Ed. AACCI: St. Paul, MN, U.S.A. Method 39-10.01. Near-infrared reflectance method for protein determination in small grains. Approved Nov 3, 1999c.
- AACC International. **Approved Methods of Analysis**, 11th Ed. AACCI: St. Paul, MN, U.S.A. Method 46-13.01. Crude Protein—Micro-Kjeldahl Method. Approved Nov 3, 1999d.
- AACC International. **Approved Methods of Analysis**, 11th Ed. AACCI: St. Paul, MN, U.S.A. Method 54-30.02. Alveograph method for soft and hard wheat flour. Approved Nov 3, 1999e.
- AACC International. **Approved Methods of Analysis**, 11th Ed. AACCI: St. Paul, MN, U.S.A. Method 55-10.01. Test weight per bushel. Approved Nov 3, 1999f.
- AACC International. **Approved Methods of Analysis**, 11th Ed. AACCI: St. Paul, MN, U.S.A. Method 55-31.01. Single-kernel characterization system for wheat kernel texture. Approved Nov 3, 1999g.
- AACC International. **Approved Methods of Analysis**, 11th Ed. AACCI: St. Paul, MN, U.S.A. Method 56-81.03. Determination of falling number. Approved Nov 3, 1999h.
- AACC International. **Approved Methods of Analysis**, 11th Ed. AACCI: St. Paul, MN, U.S.A. Method 76-21.01. General pasting method for wheat or rye flour or starch using the rapid visco analyser. Approved Nov 3, 1999i.
- AACC International. **Approved Methods of Analysis**, 11th Ed. AACCI: St. Paul, MN, U.S.A. Method 38-12.02. Wet gluten, dry gluten, water-binding capacity, and gluten index. Approved Nov 8, 2000.
- AACC International. **Approved Methods of Analysis**, 11th Ed. AACCI: St. Paul, MN, U.S.A. Method 44-15.02. Moisture—air-oven methods. Approved May 28, 2010.
- AACC International. **Approved Methods of Analysis**, 11th Ed. AACCI: St. Paul, MN, U.S.A. Method 54-21.02. Rheological behavior of flour by farinograph: constant flour weight procedure. Approved Jan 6, 2011.
- ABITRIGO. **Estatísticas farinha de trigo**. Disponível em: <http://www.abitrigo.com.br/categoria-estatisticas/farinha-de-trigo>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) n° 14, de 28 de março de 2014. Dispõe sobre matérias estranhas macroscópicas e microscópicas em alimentos e bebidas, seus limites de tolerância e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 61, 31 mar. 2014. Seção 1, p. 58. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2014/rdc0014_28_03_2014.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2019.
- AOAC International. Official methods 972.32. In: LATIMER, G. W. (Ed.). **Official methods of analysis**. 19th ed. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists, 2012. Chapter 16.
- AOAC International. Official methods 31.4.02. In: CUNNIFF, P. (Ed.). **Official methods of analysis**. 16th ed. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists, v. 2, 1997.
- AOCS. Official Method Cd 3d-63: Acid Value In: **Official methods and recommended practices of the AOCS**. 6th ed. Champaign: American Oil Chemists' Society, 2009.
- BEISSON, F.; TISS, A.; RIVIÈRE, C.; VERGER, R. Methods for lipase detection and assay: a critical review. **European Journal of Lipid Science and Technology**, Weinheim, v.102, n. 2, p. 133-153, 2000.
- BHADRA, R. **Stored grain compaction factor**. Word-Grain.com. 12 sept. 2013. Disponível em: <<https://www.world-grain.com/articles/10171-stored-grain-compaction-factor>>. Acesso em: 14 jun. 2018.
- BOAC, J. M. **Updating the pack factor for calculation of bushels from volumetric measurements**. 2012. Disponível em: <https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/30200525/GEAPS-Pack_Factor_web.pdf> Acesso em: 14 jun. 2018.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n° 23, de 1° de julho de 2016. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, n. 126, 4 jul. 2016. Seção 1.

- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 7, de 18 de fevereiro de 2011. Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, n. 46, 9 mar. 2011. Seção 1, p. 66-67.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010. Estabelece o regulamento técnico do trigo. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, n. 229, 1 dez. 2010. Seção 1.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: Mapa/ACS: Secretaria de Defesa Agropecuária, p. 345-347, 2009.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 8, de 2 de junho de 2005. Aprovar o regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 105, 3 jun. 2005. Seção 1, p. 91.
- CHENG X.D.; ZHANG Q.; SHI C.X.; YAN X.J. Model for the prediction of grain density and pressure distribution in hopper-bottom silos. **Biosystem Engineering**, v. 163, p. 159-166, 2017. Doi: 10.1016/j.biosystemseng.2017.09.006.
- FERHMAN, H.; DIAMOND, A. E. Peroxidase activity and phytophthora resistance in different organs of the potato plant. **Phytopathology**, v. 57, n. 1, p. 69-72, 1967.
- FREITAS, E. das G. A. **Estudo teórico e experimental das pressões em silos cilíndricos de baixa relação altura/diâmetro e fundo plano**. 2001. 197 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
- GONZÁLEZ-TORRALBA, J.; ARAZURI, S.; JARÉN, C.; ARREGUI, L. M. Influence of temperature and r.h. during storage on wheat bread making quality. **Journal of Stored Products Research**, v. 55, p.134-144, Oct. 2013. Doi: 10.1016/j.jspr.2013.10.002.
- KAUR, J.; RAMAMURTHY, V.; KOTHARI, R. M. Characterization of oat lipase for lipolysis of rice bran oil. **Biotechnology Letters**, London, v. 15, n. 3, p. 257-262, March 1993.
- KHATCHATOURIAN, O. A.; SAVICKI, D. L. Mathematical modelling of airflow in an aerated soya bean stored under non-uniform conditions. **Biosystems Engineering**, v. 88, n. 2, p. 201–211, June 2004. Doi: 10.1016/j.biosystemseng.2004.03.001.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Estações e Dados. **Estações automáticas**. Disponível em:< <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 14 abr. 2019.
- LORINI, I. **Manual técnico para o manejo integrado de pragas de grãos de cereais armazenados**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. 80 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 73).
- MALM, J. K.; BAKER, L. F. Compaction factors for six crops. **Transactions of the ASAE**, v. 28, n. 5, p.1634-1636, 1985. Doi: 10.13031 / 2013.32489.
- ORO, T. **Adaptação de métodos para avaliação da qualidade tecnológica de farinha de trigo integral**. 2013. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- PATURCA, E. Y. **Caracterização das estruturas de armazenagem de grãos: um estudo de caso no mato grosso**. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz De Queiroz”, Departamento de Economia, Administração e Sociologia, Piracicaba, SP, 2014. 35 p.
- POICHOTTE, J. L. Wheat storage. In: CIBA-GEIGY. **Wheat: document**. Switzerland, 1980. 95 p.
- POLAT, H. E. Integration the effects of different storage types on nutritional quality characteristics of some feedstuffs. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 11, n. 3-4, p. 897-903, Jan. 2013.
- TIBOLA, C. S.; MEDEIROS, E. P. de; SIMEONE, M. L. F.; OLIVEIRA, M. A. de. **Espectroscopia no infravermelho próximo para avaliar indicadores de qualidade tecnológica e contaminantes em grãos**. Brasília: DF: Embrapa, 2018. 198 p.
- TIBOLA, C. S.; MORI, C. de; GUARIENTI, E. M.; LORINI, I.; LIMA, M. I. P. M.; MIRANDA, M. Z. de. Gestão da qualidade do trigo na pós-colheita. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da. (Ed.). **Trigo no Brasil: bases para a produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 391-425.
- THOMPSON, S. A.; MCNEILL, S. G.; ROSS, I. J.; BRIDGES, T. C. Packing factors of whole grains in storage structures. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 3, n 2, p. 215–221, 1987. Doi: 10.13031/2013.26677.
- VARGA, E.; GLAUNER, T.; KÖPPEN, R.; MAYER, K.; SÜLYÖK, M.; SCHUHMACHER, R.; KRŠKA, R.; BERTHILLER, F. Stable Isotope dilution assay for the accurate determination of mycotoxins in maize by UHPLC-MS/MS. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 402, n. 9, p. 2675–2686, Mar. 2012. Doi: 10.1007/s00216-012-5757-5.

Embrapa

Trigo