

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ALIMENTOS  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

LUANA DALAGRANA DOS SANTOS

**INFLUÊNCIA DE DEXTRINA E MALTODEXTRINA OXIDADAS DE  
AMIDO DE MANDIOCA NAS CARACTERÍSTICAS FARINOGRÁFICAS  
DA FARINHA DE TRIGO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2016

LUANA DALAGRANA DOS SANTOS

**INFLUÊNCIA DE DEXTRINA E MALTODEXTRINA OXIDADAS DE  
AMIDO DE MANDIOCA NAS CARACTERÍSTICAS FARINOGRÁFICAS  
DA FARINHA DE TRIGO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Engenharia de Alimentos, do Departamento Acadêmico de Alimentos – DALIM – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Manuel Plata Oviedo

CAMPO MOURÃO

2016



---

**TERMO DE APROVAÇÃO**

**INFLUÊNCIA DE DEXTRINA E MALTODEXTRINA OXIDADAS DE AMIDO DE MANDIOCA NAS CARACTERÍSTICAS FARINOGRÁFICAS DA FARINHA DE TRIGO**

**POR**

**LUANA DALAGRANA DOS SANTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado em 17 de novembro de 2016 às 16 h como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos. A candidatoa foi argüida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho **APROVADO**.

---

Prof. Dr. Manuel Plata Oviedo  
Orientador

---

Prof Dr. Bogdan Demczuk Jr  
Membro da banca

---

Prof. Dr. Alexandre Azevedo  
Membro da banca

---

**Nota:** O documento original e assinado pela Banca Examinadora encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia de Alimentos da UTFPR *Campus* Campo Mourão.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais que sempre me apoiaram e me incentivaram em todos os momentos de minha vida. Obrigada por cada sermão e toda confiança em mim depositada. Sem o apoio deles nada disso seria possível.

À minha irmã Luise pelas infindáveis conversas quando mais precisei. Mesmo estando longe fisicamente em muitos momentos, sempre esteve presente da maneira em que podia.

Às minhas irmãs que a vida me permitiu escolher: minhas amigas Marcela, Eloísa, Davyllen e Larissa. À Marcela pelos 20 e tantos anos de amizade e companheirismo; mesmo estando longe em alguns momentos sempre esteve presente me apoiando e me aconselhando. À Eloísa por ser ora uma mãe, me aconselhando, me guiando, me consolando e me chamando a atenção; e ora uma irmã mais nova, me fazendo rir quando choro ou me fazendo chorar de tanto rir. À Davyllen pelo carinho e conselhos desde o começo dessa jornada. À Larissa por todo o apoio, desde me ajudar a preparar as amostras até as nossas conversas intermináveis, e todas as orações e energias boas a mim direcionadas. Cada uma possui um espaço muito especial em meu coração.

À amiga e mestranda, Amanda Salgado Dionízio, pelo fundamental apoio e cooperação. Sem ela esse trabalho não seria possível.

Ao meu orientador Professor Dr. Manuel Plata Oviedo pela orientação, ensinamentos e amizade nesses 7 anos de curso superior.

À Coamo, principalmente à gerência do moinho de trigo (Romão Rodrigues Ferreira Neto, Jair Ferreira Ramos e Valdemir Camargo Proença), pelo apoio e oportunidade oferecidos.

Aos meus colegas de trabalho e amigos, especialmente Gladyson, William, Francieli e Marcos, pelo apoio indispensável.

Ao meu namorado, Jason Luis, por todo carinho, atenção e motivação para que eu conseguisse chegar ao fim dessa etapa.

À banca examinadora, professores Dr. Bogdan Demczuk Jr. e Dr. Alexandre Azevedo pelas sugestões e críticas construtivas, além da amizade construída nesses anos de graduação; e também aos meus tantos outros professores pelos ensinamentos que certamente contribuíram para quem sou hoje.

Por fim, e não menos importante, a todos meus colegas e amigos que caminharam comigo nessa jornada pelo apoio e companheirismo. Alguns ainda se fazem presentes em minha vida; outros, por alguma razão, não mais, porém possuem lugar cativo em minhas memórias.

“Sonhos determinam o que você quer.  
Ação determina o que você conquista”.

Aldo Novak.

## RESUMO

SANTOS, Luana Dalagrana dos. **Influência de dextrina e maltodextrina oxidadas de amido de mandioca nas características farinográficas da farinha de trigo**. 2016. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Engenharia de Alimentos), Departamento Acadêmico de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2016.

O uso da farinha de trigo nacional para panificação muitas vezes demanda a adição de melhoradores, como agentes oxidantes que reforçam o complexo do glúten e garantem os atributos necessários para um bom produto. Uma alternativa para este fim são os aldeídos que reagem ou se interligam com proteínas, podendo estes ser provindos de amidos oxidados. Uma vez que os produtos derivados da hidrólise do amido, como a dextrina e maltodextrina, são mais acessíveis à oxidação do que o amido nativo, este trabalho objetivou a prospecção do uso de maltodextrina e dextrina oxidadas na aditivação para melhoramento do glúten em panificação. Amostras de maltodextrina e dextrina foram oxidadas com peróxido de hidrogênio e catalisador sulfato ferroso em três concentrações diferentes (7, 14 e 20%). As amostras foram secas em *spray dryer* e adicionadas à farinha de trigo à 0,8 e 1,6% para a verificação do comportamento dos aditivos na etapa de mistura através da análise de farinografia. As amostras oxidadas foram quantificadas quanto ao conteúdo de grupos carbonila e carboxila. Na análise de farinografia, os tempos de desenvolvimento para os ensaios de 0,8 e 1,6% de dextrina oxidada à 14% apresentaram os maiores valores ( $13,17 \pm 0,06$  e  $13,43 \pm 0,06$ , respectivamente). Somente os ensaios com adição de 1,6% dextrina oxidada à 7% e maltodextrina oxidada à 20% demonstraram alta resistência ao amassamento, com os valores de  $5,00 \pm 0,00$  e  $4,33 \pm 0,58$  de índice de tolerância à mistura, respectivamente. Para a estabilidade, mais da metade dos ensaios não se diferenciaram estatisticamente do controle ( $p > 0,05$ ). O restante apresentou valores ligeiramente menores do que o controle. E para o tempo de saída, em geral as amostras testadas não se diferenciaram estatisticamente ( $p > 0,05$ ) do controle. A ação desejada dos aditivos testados não foi verificada pela análise de farinografia potencialmente devido ao uso de uma farinha muito forte para o teste ou a ação dos aditivos serem mais tardios, agindo posteriormente na fermentação e no assamento.

**Palavras-chave:** dextrina, maltodextrina, oxidação, aditivo, panificação, melhorador, glúten.

## ABSTRACT

SANTOS, Luana Dalagrana dos. **Influence of oxidized dextrin and maltodextrin of cassava starch on rheological characteristics of wheat flour**. 2016. 56 p. Final Project Paper (Major in Food Engineering), Academic Department of Food, Technological Federal University of Parana. Campo Mourão, 2016.

The application of national wheat flour sometimes demands the addition of improvers, as oxidizers which fortify the gluten complex and ensure the needed attributes for a good product. An alternative for this are the aldehydes which react or crosslink with proteins, which can be from oxidized starches. Once the derivative products of starch hydrolysis, as dextrin and maltodextrin, are more accessible to oxidation as native starch, this Project aimed to prospect the use of oxidized maltodextrin and dextrin as additives for gluten enhancing for baking. Samples of maltodextrin and dextrin were oxidized with hydrogen peroxide and iron sulfate catalyzer at three different concentrations (7, 14 and 20%). The samples were dried in spray dryer and added to the wheat flour at 0.8 and 1.6% for the verification of the additives behavior at the mixing stage through the farinograph analysis. The oxidized samples were quantified regarding to carbonyl and carboxyl groups contents. In the farinograph analysis, the development times for the 0.8 and 1.6% tests of oxidized dextrin at 14% showed the biggest values ( $13.17 \pm 0.06$  and  $13.43 \pm 0.06$ , respectively). Only the tests with 1.6% oxidized dextrin at 7% and oxidized maltodextrin at 20% additions showed great mixing resistance, with values of  $5.00 \pm 0.00$  and  $4.33 \pm 0.58$  of mixing tolerance index, respectively. For the stability, more than half of the tests didn't statically differentiate with the control ( $p > 0.05$ ). The other tests showed values a little smaller than the control. And for the departure time, generally the samples didn't statistically differentiate ( $p > 0.05$ ) with the control. The desired action of the additives weren't verified for the farinograph analysis potentially due to the use of a hard wheat flour for the testing or the additive action being slow, acting after in the fermentation or baking stage.

**Keywords:** dextrin, maltodextrin, oxidation, additive, baking, improver, gluten.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 –	CAMADAS DO GRÃO DE TRIGO.....	16
FIGURA 2 –	TIPO DE GRÃOS COM DIFERENTES VALORES PROTEICOSE INDICAÇÃO DE PRODUTOS OBTIDOS.....	19
FIGURA 3 –	(A) GLIADINA; (B) HMW-GS MOSTRANDO POSSÍVEL AÇÃO DE $\beta$ ESPIRAL COMO “AFLORAMENTO MOLECULAR”; (C) HMW-GS MOSTRANDO A LIGAÇÃO DISSULFÍDICA PREVENINDO EXTENSÃO DA $\beta$ ESPIRAL; (D) LMW-GS.....	22
FIGURA 4 –	REPRESENTAÇÃO DA REAÇÃO DE TROCA DE DISSULFETO- SULFIDRILA.....	24
FIGURA 5 –	FARINOGRAMA COM INDICAÇÃO DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS: 1. ABSORÇÃO DE ÁGUA; 2. TEMPO DE CHEGADA; 3. TEMPO DE DESENVOLVIMENTO; 4. TEMPO DE SAÍDA; 5. ESTABILIDADE; 6. ÍNDICE DE TOLERÂNCIA À MISTURA.....	26
FIGURA 6 -	(A) FARINOGRAMA DE UMA FARINHA FRACA; (B) FARINOGRAMA DE UMA FARINHA FORTE; (C) FARINOGRAMA DE UMA FARINHA INTERMEDIÁRIA.....	29
FIGURA 7 -	O OXIDANTE BROMATO DE POTÁSSIO USADO PARA OPTIMIZAR A PERFORMANCE PANIFICÁVEL : 1. CONTROLE SEM A ADIÇÃO DE BROMATO; 2. COM ADIÇÃO DE 2 MG DE BROMATO; 3. COM ADIÇÃO DE 3 MG DE BROMATO.....	32
FIGURA 8 -	GRUPOS SULFIDRILAS NO ESTADO REDUZIDO E LIGADOS (NO ESTADO OXIDADO).....	33
FIGURA 9 -	ESTRUTURA QUÍMICA DA DEXTRINA.....	35
FIGURA 10 -	ESTRUTURA QUÍMICA DA MALTODEXTRINA.....	36
FIGURA 11 -	TEOR DE CARBONILAS OBTIDAS PARA A MALTODEXTRINA E DE CARBOXILAS PARA A DEXTRINA OBTIDAS COM DIFERENTES PORCENTAGENS DO AGENTE OXIDANTE.....	42
FIGURA 12 -	EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE BROMATO DE POTÁSSIO NO TEMPO DE DESENVOLVIMENTO NO MÉTODO DE ALTA VELOCIDADE DE FARINOGRAFIA VIA DOUGHLAB.....	47

FIGURA 13 - EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE BROMATO DE POTÁSSIO  
NA ESTABILIDADE NO MÉTODO DE ALTA VELOCIDADE DE  
FARINOGRAFIA VIA DOUGHLAB..... 48

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 –	TIPOS DE TRIGO DO GRUPO I .....	18
TABELA 2 –	TIPOS DE TRIGO DO GRUPO II .....	18
TABELA 3 –	CLASSES DE TRIGO DO GRUPO II .....	18
TABELA 4 –	LIMITES DE TOLERÂNCIA PARA A FARINHA DE TRIGO.....	20
TABELA 5 -	INDICAÇÕES DE CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE POR PRODUTO À BASE DE TRIGO.....	20
TABELA 6 -	PARÂMETROS FARINOGRÁFICOS CARACTERÍSTICOS DE FARINHAS DE DIFERENTES FORÇAS .....	28
TABELA 7 -	TEORES DE CARBOXILAS E CARBONILAS NAS AMOSTRAS OXIDADAS.....	41
TABELA 8 -	TEMPO DE DESENVOLVIMENTO E ABSORÇÃO DE ÁGUA NOS ENSAIOS.....	44
TABELA 9 -	ESTABILIDADE, EM MINUTOS, E ÍNDICE DE TOLERÂNCIA À MISTURA NOS ENSAIOS.....	45
TABELA 10 -	TEMPO DE SAÍDA, EM MINUTOS, DOS ENSAIOS.....	46

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
2.1 OBJETIVO PRINCIPAL .....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>15</b>
3.1. FARINHA DE TRIGO .....	15
3.1.1. TRIGO .....	15
3.1.2. CLASSIFICAÇÃO DO TRIGO E DA FARINHA DE TRIGO .....	16
3.2. GLÚTEN.....	19
3.2.1. GLIADINA.....	20
3.2.2. GLUTENINA .....	21
3.2.3. REAÇÃO DE TROCA DISSULFETO-SULFIDRILA.....	22
3.3. METODOLOGIAS DE ANÁLISE DA REOLOGIA DA FARINHA DE TRIGO.....	23
3.3.1. FARINOGRAFIA.....	24
3.4. ADITIVOS .....	28
3.4.1. REDUTORES .....	29
3.4.2. OXIDANTES.....	30
3.5. DEXTRINA E MALTODEXTRINA .....	33
3.6. OXIDAÇÃO DE AMIDOS .....	35
<b>4. MÉTODOS E PROCEDIMENTOS.....</b>	<b>37</b>
4.1 MATÉRIA-PRIMA.....	37
4.2 OBTENÇÃO DA DEXTRINA E MALTODEXTRINA OXIDADAS .....	37
4.3 QUANTIFICAÇÃO DOS GRUPOS CARBONILAS E CARBOXILAS NA DEXTRINA E MALTODEXTRINA OXIDADAS .....	38
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>40</b>
5.2 TESTE FARINOGRÁFICO DA FARINHA DE TRIGO ADITIVADA COM MALTODEXTRINA E DEXTRINA OXIDADAS .....	42

<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>49</b>
-----------------------------	-----------

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria de panificação requer farinhas de trigo de alto conteúdo protéico; em especial proteínas que formam o complexo do glúten: gliadina e glutenina. As farinhas para pão variam de 12 a 14 % de proteínas (DELCOUR e HOSENEY, 2010), sendo estas obtidas através da moagem de trigo melhorador. Em geral, o trigo melhorador é importado de outros países, como Estados Unidos e Argentina, apresentando características apropriadas para fabricação de crackers, massas alimentícias e panificação, podendo ser mesclado com trigo brando para a última aplicação (COSTA et al, 2008).

As farinhas de trigo obtidas com trigo produzido no Brasil, classificado em geral como trigo pão e brando, apresentam características próprias para a fabricação de biscoitos, bolos, pizzas, bolachas e uso doméstico (COSTA et al, 2008). Isso deve-se ao fato de que este trigo possui menor conteúdo proteico.

Verifica-se então que a qualidade do trigo brasileiro para panificação precisa ser melhorada, mas este não é o único problema. Ainda é muito comum o produtor não segregar os grãos na etapa de armazenamento por sua qualidade tecnológica de uso final, prejudicando a qualidade da farinha (MIRANDA et al, 2009).

Assim, o uso da farinha de trigo nacional para panificação muitas vezes demanda a adição de melhoradores, como agentes oxidantes que reforçam o complexo do glúten e garantem os atributos necessários para um bom produto. Entretanto, a legislação brasileira é bem restrita quanto ao uso desses agentes na panificação, permitindo somente o uso de ácido ascórbico e azodicarbonamida; tendo o segundo a limitação máxima de 0,004 g/100 g de farinha de trigo (BRASIL, 2004).

Outros oxidantes tem seu uso proibido por conta de sua toxicidade e possíveis efeitos adversos à saúde. Um exemplo disso é o bromato de potássio que tem seu uso proibido por este ser classificado como um agente possivelmente cancerígeno para humanos (BRASIL, 2004). A azodicarbonamida, apesar de ainda ter seu uso permitido por lei, tem sido reportado por causar sensibilidade pulmonar e dermatite em pessoas (MEDINSKY et al, 1990).

Sob este panorama, faz-se necessário a pesquisa de novas alternativas para o melhoramento da farinha de trigo e reforço do glúten que não tragam malefícios à saúde humana. Para isso, novas substâncias que são capazes de se ligar às proteínas

devem ser pesquisadas, uma vez que a elasticidade e coesividade do glúten dependem do fenômeno de interligação entre estas (NIELSEN et al, 1962).

Uma alternativa para este fim são os aldeídos que reagem ou se interligam com proteínas (CHATTERJI, 1963). A primeira evidência dessa interação foi através do estudo feito por Fein e Filachione (1957), onde foi encontrado que dialdeídos provindos de amido poderiam curtir couro de bezerro.

Através do estudo de Nayudamma et al (1961) foi concluído que o aminoácido lisina tem maior reatividade com dialdeídos provindos de amido. Outros aminoácidos como arginina, leucina, ácido glutâmico, valina, glutamina e asparagina apresentaram reação intermediária com estes. Outro estudo feito por Chatterji (1963) mostrou também a habilidade desses dialdeídos se interligarem ao glúten. Os dialdeídos são grupos mais seletivos ao ligarem-se às proteínas, porém tem seu uso para fins alimentícios limitado, uma vez que os agentes oxidantes utilizados para sua obtenção, como o periodato de potássio, são tóxicos e potencialmente cancerígenos.

Os aldeídos provindos de amido são potenciais aditivos para o uso em panificação sem acarretar efeitos adversos à saúde humana, uma vez que apresentaram baixa toxicidade para ratos por vias oral, dermal e respiratória de introdução (WILSON, 1959). Além disso, os aldeídos podem ser obtidos através da oxidação de dextrinas com peróxido de hidrogênio, o qual não produz efeitos tóxicos ao organismo, se ingerido em pequenas quantidades, devido à rápida decomposição química ocorrida no intestino pela enzima catalase (APLEVICZ e DEMIATE, 2007). Em menor grau, os dialdeídos também são obtidos no processo de oxidação com peróxido de hidrogênio, já que esse oxidante é menos seletivo que o periodato de potássio, comumente usado para obtenção de dialdeídos.

Outros estudos usando amido de mandioca oxidado como ingrediente de panificação foram realizados e obtiveram resultados positivos. Um exemplo foi o estudo de Silva (2013) o qual resultou em maiores volumes específicos para pães elaborados com amido de mandioca oxidado com mistura de peróxido de hidrogênio/permanganato de potássio quando comparados com o controle.

Desta maneira, assume-se que o uso de dextrinas ao invés do amido podem gerar resultados mais promissores, uma vez que o primeiro resulta da hidrólise do segundo, apresentando-se em um carboidrato simples (CARGILL, 2015). A dextrina e maltodextrina então tornam-se mais acessíveis à oxidação frente ao amido, o qual por conformação granular é de acesso restrito.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Prospectar o uso da dextrina e maltodextrina oxidadas de mandioca como melhorador da farinha de trigo.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Oxidar a dextrina e maltodextrina de mandioca com peróxido de hidrogênio e catalisador ferro;
- Quantificar os grupos carbonila e carboxila nas dextrina e maltodextrina oxidada de mandioca;
- Avaliar o efeito da dextrina e maltodextrina oxidadas nas características farinográficas da farinha de trigo.



minerais, 20% celulose e 0,5% de lipídios (DELCOUR e HOSENEY, 2010). As partes mais internas são compostas pela testa, a qual possui os pigmentos da casca, e a hialina (KULP e PONTE, 2000).

O germe representa de 2 a 4% do peso do grão e localiza-se na parte dorsal do grão. Este é composto pelo embrião e o escutelo; o segundo corresponde a um órgão de transporte de nutriente para o primeiro durante o brotamento (KULP e PONTE, 2000).

A maior parte do grão é composto pelo endosperma, o qual corresponde a aproximadamente 92% do peso do grão. Duas subcamadas constituem o endosperma: a aleurona, que representa somente de 6 a 7%, e o endosperma amiláceo, representando o restante dessa camada (PYLER e GORTON, 2008). A aleurona recobre o endosperma amiláceo, não apresentando amido durante a maturidade do grão. É basicamente composta de celulose, apresentando alta atividade enzimática e altos conteúdos de minerais, proteínas, lipídios e vitaminas. Durante a moagem do grão a aleurona é retirada junto com a casca, o que origina o farelo de trigo (DELCOUR e HOSENEY, 2010). As células do endosperma amiláceo são preenchidas com grânulos de amido incorporados a uma matrix protéica, a qual é composta majoritariamente por proteínas formadoras do glúten (gliadina e glutenina). Quando esta camada é reduzida a tamanhos de partículas apropriados produz-se a farinha de trigo.

### 3.1.2. CLASSIFICAÇÃO DO TRIGO E DA FARINHA DE TRIGO

O padrão oficial brasileiro de classificação do trigo é estabelecido pela Instrução Normativa 38/2010 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2010). Esta classificação dá-se em função dos requisitos de identidade e qualidade do grão. A identidade define-se pela própria espécie do produto; enquanto a qualidade é definida em função de parâmetros como estabilidade, força do glúten, número de queda, peso hectolitro e limites máximos de tolerância de defeitos (BRASIL, 2010).

O trigo pode ser classificado em dois grupos, dependendo da sua finalidade de aplicação: Grupo I e Grupo II. O Grupo I abrange os trigos destinados para uso

diretamente à alimentação humana; e o Grupo II trigos destinados à moagem e a outros usos (BRASIL, 2010). Ainda, o Grupo I pode ser classificado em tipos, conforme detalhado na Tabela 1; e o Grupo II em tipos e classes, apresentados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

**Tabela 1.** Tipos de trigo do Grupo I, com os limites máximos de tolerância (% em peso)

Tipos	Matérias estranhas e impurezas	Danificados por insetos	Danificados pelo calor, mofados e ardidos	Chocos, triguilhos e quebrados
1	0,30	0,30	0,10	0,75
2	0,50	0,70	0,20	1,50
3	0,70	1,00	0,50	2,50
Fora de Tipo	1,50	2,00	1,00	5,00

Fonte: BRASIL, 2010.

**Tabela 2.** Tipos de trigo do Grupo II

Tipos	Peso do Hectolitro (Valor mínimo)	Número de Queda (Valor mínimo expresso em segundos)	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	250	1,00	0,50	0,50	1,50	2,50
2	75	220	1,50	1,00	1,00	2,50	4,00
3	72	150	2,00	1,50	2,00	5,00	7,00
Fora de Tipo	Menor que 72	Menor que 150	Maior que 2,00	Maior que 1,50	10,00	Maior que 5,00	Maior que 7,00

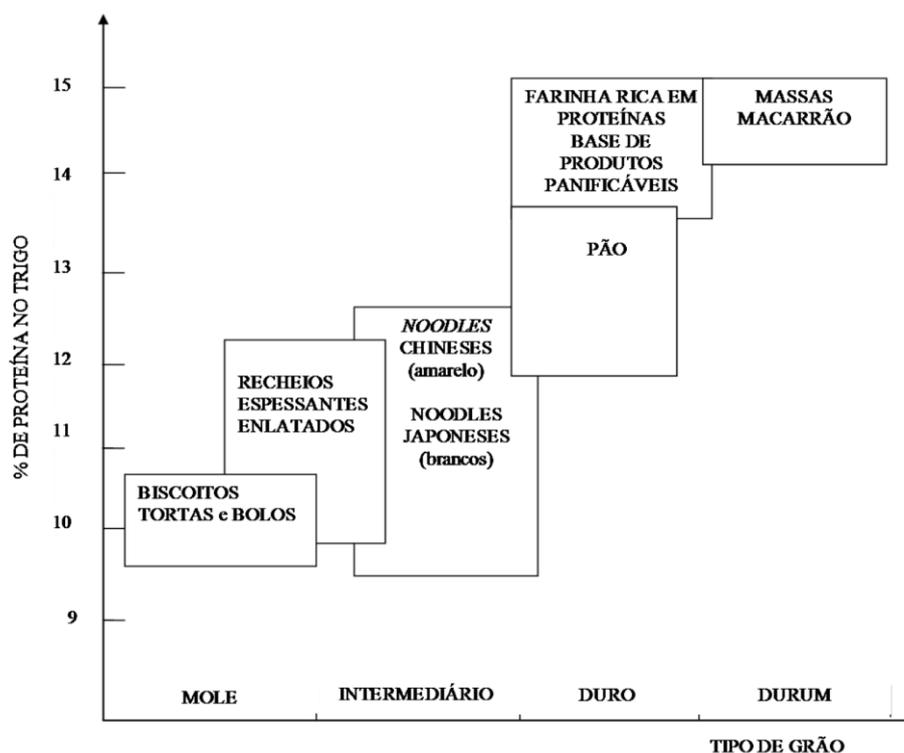
Fonte: BRASIL, 2010.

**Tabela 3.** Classes de trigo do Grupo II

Classes	Força do Glúten (Valor mínimo, em $10^{-4}J$ )	Estabilidade (minutos)	Número de Queda (Valor mínimo, em segundos)
Melhorador	300	14	250
Pão	220	10	220
Doméstico	160	6	220
Básico	100	3	200
Outros Usos	Qualquer	Qualquer	Qualquer

Fonte: BRASIL, 2010.

O trigo ainda pode ser classificado de acordo com a quantidade de proteína contida em mole, duro e durum. O trigo mole possui menor conteúdo proteico, o que acarreta em uma baixa absorção de água e em uma massa de glúten fraca (SCHEUER et al, 2011). Deste modo, este trigo é utilizado para a fabricação de bolos, biscoitos e tortas (DELCOUR e HOSENEY, 2010). De maior conteúdo proteico, o trigo duro produz farinhas com qualidade de glúten desejável para a produção de pães e produtos fermentados (SCHEUER et al, 2011). Já o trigo durum apresenta mais teor de proteínas, sendo utilizado para a fabricação de sêmolas e semolinas, as quais são matérias-primas na fabricação de macarrão (LEÓN, 2007; DELCOUR e HOSENEY, 2010). Na Figura 2 podem ser observadas as finalidades tecnológicas do trigo de acordo com seus valores proteicos.



**Figura 2.** Tipo de grãos com diferentes valores proteicos e indicação de produtos obtidos.  
Fonte: MOSS (1973) apud SCHEUER (2011).

Para a farinha de trigo, no Brasil, a definição das características de identidade e qualidade da desta são determinadas pela Instrução Normativa 8/2005 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2005). Esta norma estabelece a classificação da farinha; podendo serem estas: Tipo 1, Tipo 2 e Integral (Tabela 4).

**Tabela 4.** Limites de tolerância para a farinha de trigo\*

Tipos	Teor de Cinzas* (máximo)	Granulometria	Teor de Proteína* (mínimo)	Acidez Graxa (mg de KOH/100g do produto) (máximo)	Umidade (máximo)
Tipo 1	0,8%	95% do produto deve passar pela peneira com abertura de malha de 250 µm.	7,5%		
Tipo 2	1,4%		8,0%	100	15,0%
Integral	2,5%		-	8,0%	100

\*Os teores de cinzas e proteínas deverão ser expressos em base seca.

Fonte: BRASIL, 2005.

Comercialmente, a farinha de trigo pode ser classificada de acordo com seus usos tecnológicos, considerando-se os parâmetros de valores força geral do glúten, número de queda e relação da tenacidade/extensibilidade (Tabela 5). Estas características dependem diretamente da qualidade da matéria-prima utilizada na fabricação da farinha, inerente à aspectos ambientais e genéticos (COSTA et al, 2008; SCHEUER et al, 2011).

**Tabela 5.** Indicações de características de qualidade por produto à base de trigo

Produto	W (10 <sup>-4</sup> J)	P/L	Número de queda (segundos)
Bolo	50-150	0,40-1,00	>150
Biscoitos	50-150	0,40-1,00	>150
Cracker	250-350	0,70-1,50	225-275
Pão francês	180-250	0,50-1,20	200-300
Uso doméstico	150-220	0,50-1,00	200-300
Pão de forma	220-300	0,50-1,20	200-300
Massas alimentícias	>200	1,00-3,00	>250

Legenda: W – força geral do glúten; P/L – relação tenacidade/extensibilidade.

Fonte: EMBRAPA, 2004.

### 3.2. GLÚTEN

O significado tradicional do glúten usado na Ciência de Cereais é que este se trata de uma substância proteica viscoelástica, o qual atribui características singulares à massa obtida através da farinha de trigo, permitindo a produção de uma massa aerada após a fermentação e um pão com um miolo desejável e alto volume. A farinha de trigo sem o glúten não tem serventia para a panificação (DON e KOEHLER, 2014).

A formação da rede do glúten ocorre durante a mistura, onde, na presença de água e energia, a estrutura das proteínas e suas interações mudam, resultando em um conjunto de propriedades e ligações que definem a funcionalidade do glúten. As interações entre as proteínas do glúten, gliadina e glutenina, durante a mistura da massa são responsáveis por estabelecer as propriedades viscoelásticas únicas da massa, além de sua estabilidade ser contribuída pela estrutura primária, ligações de hidrogênio e covalentes junto com as interações hidrofóbicas entre estas (JAZAERI et al, 2015). Sullivan et al (1940), em um estudo sobre a ação de agentes oxidantes e redutores na farinha, descobriram que as ligações dissulfídicas entre estas proteínas são o fator chave para as características reológicas do glúten, complementando o estudo de Balls e Hale (1936), o qual já havia reconhecido a necessidade dessas ligações para a estrutura e funcionalidade deste complexo proteico.

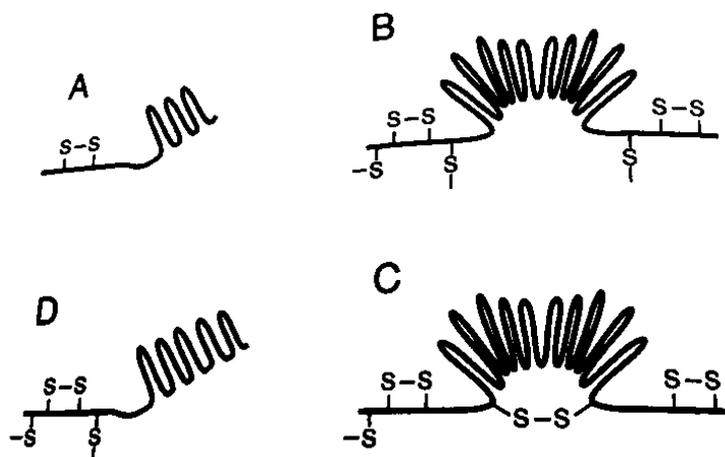
Mais de 50% da estrutura primária do glúten é composta por glutamina (o aminoácido mais abundante), prolina e glicina (DELCOUR e HOSENEY, 2010). Além disso, o glúten apresenta aproximadamente 35% de resíduos de aminoácidos hidrofóbicos e uma baixa densidade de carga devido à falta de aminoácidos básicos e a presença de aminoácidos ácidos na forma amídica (BOCK e SEETHARAMAN, 2012).

### 3.2.1. GLIADINA

Mais de 70 diferentes espécies de gliadinas já foram identificadas até hoje, constituindo um heterogêneo grupo das prolaminas, sendo insolúveis em água ou soluções salinas (CAUVAIN e YOUNG, 1995). Estas correspondem a 50% das proteínas do glúten, servindo como “recheio” que contribui para a extensibilidade e coesividade deste complexo protéico (BOCK e SEETHARAMAN, 2012; FALCÃO-RODRIGUES et al, 2005). São proteínas de cadeia única com ligações dissulfídicas

intramoleculares, o que promove conformações moleculares globulares ou dobradas (CAUVAIN e YOUNG, 1995; PYLER e GORTON, 2008; BOCK e SEETHARAMAN, 2012), como pode ser visto na Figura 3A.

Quatro frações são conhecidas:  $\alpha$   $\beta$   $\gamma$   $\omega$  (BOCK e SEETHARAMAN, 2012). As  $\gamma$  gliadinas são mais hidrofóbicas, contribuindo para o aumento do volume do pão (CAUVAIN e YOUNG, 1995). Junto com as  $\alpha$  e  $\beta$  gliadinas, estas são ricas em enxofre devido aos abundantes resíduos cisteína e metionina (BOCK e SEETHARAMAN, 2012). Já as  $\omega$  gliadinas diminuem este efeito por serem mais hidrofílicas (menor quantidade de resíduos cisteína e metionina) (CAUVAIN e YOUNG, 1995; BOCK e SEETHARAMAN, 2012).



**Figura 3.** (A) Gliadina; (B) HMW-GS mostrando possível ação de  $\beta$  espiral como “afloramento molecular”; (C) HMW-GS mostrando a ligação dissulfídica prevenindo extensão da  $\beta$  espiral; (D) LMW-GS.

Fonte: CAUVAIN e YOUNG, 1995.

### 3.2.2. GLUTENINA

Gluteninas são um tipo de glutelinas. Possuem composição primária parecida com as gliadinas, também sendo bastante hidrofóbicas (CAUVAIN e YOUNG, 1995; FALCÃO-RODRIGUES et al, 2005). Comparando-se com as gliadinas, possuem maior número de ligações dissulfídicas entre as cadeias de polipeptídeo, o que resulta em maiores agregados moleculares. Conferem propriedades viscoelásticas ao glúten

o qual está baseado na presença de proporções apropriadas de ligações dissulfídicas intra e intermolecular (PYLER e GORTON, 2008).

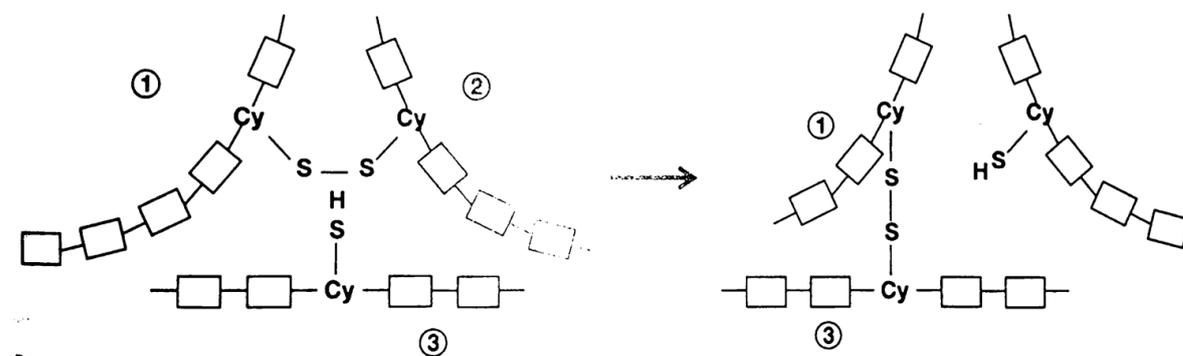
Apresentam-se em duas formas: gluteninas de alto peso molecular (HMW-GS) (Figura 3B e 3C), as quais variam de 80.000 a 120.000 Da; e gluteninas de baixo peso molecular (LMW-GS) (Figura 3D) que variam de 40.000 a 55.000 Da (CAUVAIN e YOUNG, 1995). A razão molar entre estas duas subunidades são de 2:1 ou maior (LMW-GS:HMW-GS), sendo suas associações não aleatórias (DELCOUR e HOSENEY, 2010). Nos HMW-GS as subunidades de cisteína estão concentradas em regiões próximas às duas terminações da cadeia. Já para as LMW-GS o mesmo acontece, porém somente em uma terminação. Assim as duas terminações das HMW-GS podem participar de reações de polimerização, enquanto nas LMW-GS somente uma (CAUVAIN e YOUNG, 1995). Isto faz com que os resíduos de cisteína se envolvam ambos na formação intra e intermolecular de ligações dissulfídicas, permitindo uma ótima interação e contribuindo para a propriedade elástica do glúten (DELCOUR e HOSENEY, 2010).

### 3.2.3. REAÇÃO DE TROCA DISSULFETO-SULFIDRILA

A formação do glúten é permitida através da reação de troca de dissulfeto-sulfidrila que ocorre durante o batimento da massa. O aminoácido cisteína contido nas proteínas do glúten oxida-se para o aminoácido cistina, o qual pode formar uma ponte dissulfídica entre duas cadeias polipeptídicas adjacentes. Os grupos tiol da cisteína quando oxidada são ligados covalentemente em pares. Se essas ligações envolvem grupos tiol entre diferentes cadeias polipeptídicas, então ligações dissulfídicas são estabelecidas entre estas. Essa ligação promove um mais intrínseco e rígido complexo proteico, aumentando a capacidade de retenção de gás e diminuindo a tendência de escoamento da massa (PYLER e GORTON, 2008).

A teoria da reação de troca de dissulfeto-sulfidrila (Figura 4) foi proposta por Goldstein (1957). Através do stress mecânico causado pelo batimento da massa, as ligações dissulfídicas originais são quebradas e então reconstituídas quando os resultantes grupos tiol interagem intra ou intermolecularmente. Assim a estabilidade da massa é aumentada, impactando também na mobilidade da massa pois cada troca

resulta na formação de novos grupos tiol susceptíveis à oxidação ou outras reações (CAUVAIN e YOUNG, 1995).



**Figura 4.** Representação da reação de troca de dissulfeto-sulfidrílica.  
Fonte: CAUVAIN e YOUNG, 1995.

### 3.3. METODOLOGIAS DE ANÁLISE DA REOLOGIA DA FARINHA DE TRIGO

A reologia trata-se do estudo de como os materiais deformam, escoam ou caem quando uma força é aplicada (DELCOUR e HOSENEY, 2010). Esta ciência tem como objetivo a descrição quantitativa das propriedades mecânicas, além da simulação e caracterização do desempenho dos materiais durante o processamento e controle da qualidade do produto (SCHEUR et al, 2011).

A massa demonstra comportamento não-newtoniano, uma vez que sua viscosidade decresce conforme a taxa de cisalhamento é aumentada. A massa obtida através da farinha de trigo é um sistema viscoelástico: escoam sob stress e não se recupera imediatamente ou totalmente quando relaxado, dependendo do balanço de propriedades viscosas e elásticas (DELCOUR e HOSENEY, 2010). Estas características são delineadas pela participação do amido, água e proteínas, sendo que as últimas têm o poder de formação da rede viscoelástica contínua do glúten na presença de água suficiente para a hidratação e energia mecânica para produzir a mistura (SCHEUR et al, 2011).

As propriedades reológicas da massa são provavelmente os parâmetros mais críticos. Estas indicam como será o comportamento da massa durante seu processamento, desde o amassamento até o assamento, e estão relacionadas com

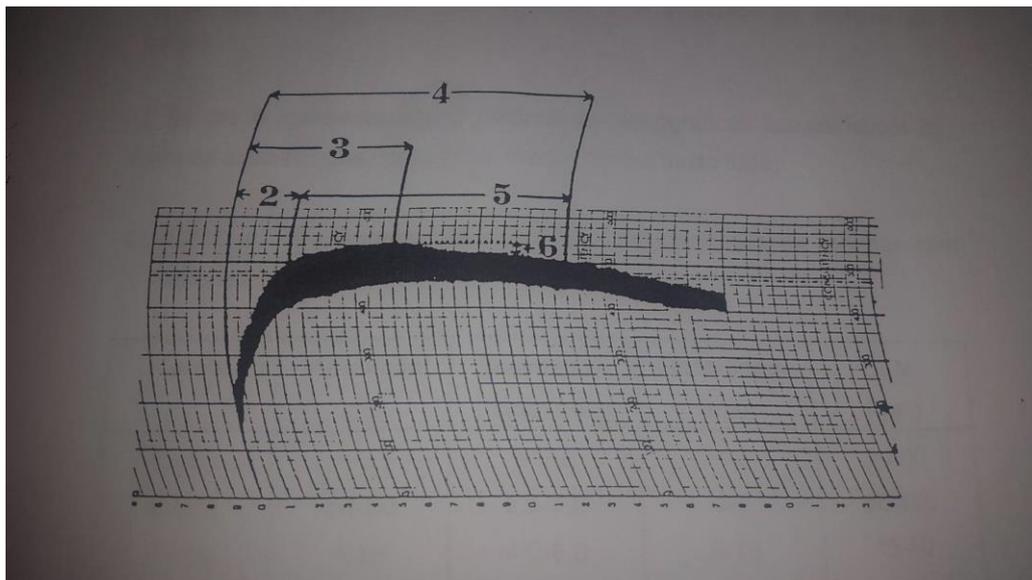
a qualidade do produto acabado (CAUVAIN e YOUNG, 1995). Em geral, são influenciadas basicamente pela dureza do grão, granulometria da farinha e hidratação da massa. O comportamento reológico da massa pode ser predito através das análises reológicas, como análise do glúten, extensografia, análise da atividade da  $\alpha$ -amilásica (*falling number*), análise rápida de viscosidade e farinografia (SCHEUR et al, 2011), sendo a última escolhida para predizer o comportamento da massa neste estudo.

### 3.3.1. FARINOGRAFIA

A farinografia é um método que avalia a qualidade da farinha no que se refere-se à sua capacidade de absorção de água e sua resistência ao amassamento (COSTA et al, 2008). Ela é amplamente utilizada como uma forma de monitoração do desenvolvimento do glúten durante o processo de mistura da massa, auxiliando a predizer assim a aplicação tecnológica da farinha (SCHEUR et al, 2011).

O farinógrafo, equipamento utilizado para a realização da análise, consiste em uma unidade motora com controle contínuo de velocidade e um misturador acoplado para o amassamento da massa em teste. O operador enche o misturador com a farinha a ser testada e água, enquanto os rotores do misturador exercem o stress mecânico sobre esta. A resistência da massa contra os misturadores é medida como torque, sendo esta em função da sua viscosidade (PYLER e GORTON, 2008).

O teste é realizado em duas etapas: na primeira determina-se a quantidade de água necessária para que a curva atinja a linha de 500 UF (unidades farinográficas) no ponto máximo, chamada de curva de titulação; na segunda, a quantidade de água determinada é adicionada de uma vez só, sendo a curva padrão (PIZZINATTO, 1999). O gráfico obtido nesta análise chama-se farinograma (Figura 5), o qual mostra a absorção de água, tempo de desenvolvimento, estabilidade da massa e o grau de amolecimento, entre outros parâmetros (PYLER e GORTON, 2008).



**Figura 5.** Farinograma com indicação dos principais parâmetros: 1. Absorção de água; 2. Tempo de chegada; 3. Tempo de desenvolvimento; 4. Tempo de saída; 5. Estabilidade; 6. Índice de tolerância à mistura.

Fonte: PIZZINATTO, 1999.

A absorção de água é definida como a quantidade de água requerida, em gramas por 100 gramas de farinha, para que a massa atinja a consistência ótima de 500 UF no ponto máximo, ou seja, quando o centro da banda atinge a linha de 500 UF no pico da curva (PIZZINATTO, 1999). Com uma sobre-absorção, o centro da curva não atinge a linha de 500 UF, enquanto com uma sob-absorção, isso irá exceder essa linha (PYLER e GORTON, 2008). Farinha mais fortes com maior conteúdo proteico e melhor qualidade do glúten são caracterizadas por ter maiores absorções (KULP e PONTE, 2000).

Outro parâmetro mensurado é o tempo de chegada (Figura 5 - item 2). Este é definido como o tempo requerido para que o topo da curva atinja a linha de 500 UF, em minutos, e serve como a taxa a qual a água é absorvida pela farinha (PIZZINATTO, 1999; KULP e PONTE, 2000). Também indica a relativa força da farinha (PYLER e GORTON, 2008); quanto maior a granulometria da farinha e seu conteúdo proteico, maior é o tempo de chegada (PIZZINATTO, 1999).

O tempo, em minutos, requerido para que a curva atinja o ponto máximo a partir do início da adição de água é conhecido como tempo de desenvolvimento ou tempo de pico (Figura 5 - item 3) (PIZZINATTO, 1999). Este ponto máximo alcançado caracteriza-se pelo ponto de máxima viscosidade obtida pela massa (CAUVAIN e YOUNG, 1995). Indica a qualidade da proteína, com farinha mais fortes normalmente

requerendo maiores tempos de desenvolvimento do que farinha mais fracas (PYLER e GORTON, 2008). Podem ser observados dois picos, dos quais o segundo deve ser considerado como o ponto de desenvolvimento da massa (PIZZINATTO, 1999).

Já o tempo requerido para que o topo da curva caia abaixo da linha de 500 UF é conhecido como o tempo de saída (Figura 5 - item 4) (PYLER e GORTON, 2008). O tempo de saída é igual a soma do tempo de chegada mais a estabilidade. Maiores tempos de saída indicam farinhas mais fortes (KULP e PONTE, 2000). Quanto mais cedo ocorre a saída da curva da linha de 500 UF, menos tolerante aos abusos fermentativo e mecânico a farinha é (PYLER e GORTON, 2008).

Outro parâmetro importantíssimo obtido através do farinograma é a estabilidade (Figura 5 – item 5). Este parâmetro corresponde à diferença entre o tempo de saída e o de chegada, sendo então o intervalo de tempo, em minutos, no qual a curva permanece acima da linha de 500 UF (PIZZINATTO, 1999). Em outras palavras, é o tempo pelo qual a massa mantém estável suas características viscoelásticas (BRASIL, 2010). Deste modo, é uma medida também da tolerância da farinha ao amassamento (CAUVAIN e YOUNG, 1995). A estabilidade da massa depende geralmente do grau de interação entre as moléculas das proteínas do glúten, levando em conta também a força das ligações cruzadas entre estas, além das pontes de enxofre e pontes de hidrogênio que também são importantes para a formação do glúten (COSTA et al, 2008).

O índice de tolerância à mistura (I.T.M) (Figura 5 – item 6) é representado como a diferença em UF do pico do topo da curva e 5 minutos após deste pico e é outra medida indicada para os requerimentos de amassamento da farinha (PYLER e GORTON, 2008). Quanto maior este índice, menor é a tolerância da farinha à mistura (PIZZINATTO, 1999).

O parâmetro de grau de amolecimento ou de decaimento também pode ser observado. Este é a diferença entre o centro da curva no ponto de máxima viscosidade e o centro da mesma passados 12 minutos (CAUVAIN e YOUNG, 1995). Enquanto o índice de tolerância à mistura e o grau de decaimento são inversamente proporcionais ao aumento da força da farinha, o tempo de desenvolvimento e estabilidade comportam-se de maneira proporcional à força (KULP e PONTE, 2000).

Para expressar a força da farinha testada como um valor empírico único, o valor valorímetro pode ser determinado a partir do tempo de desenvolvimento da massa e tolerância à mistura por meio de um gabarito especial fornecido pelos

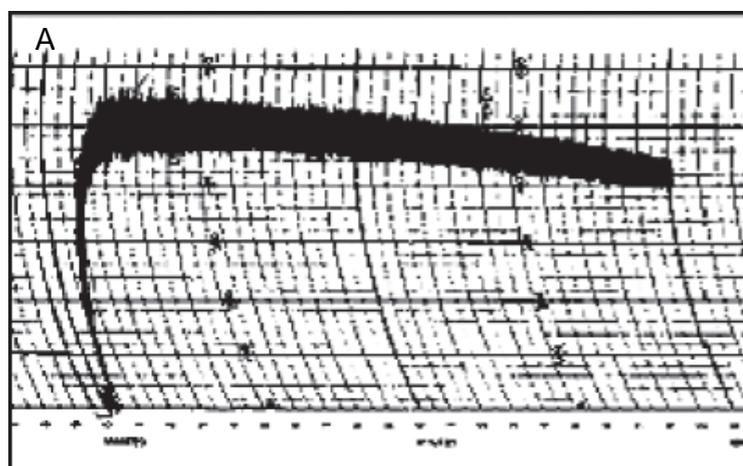
fabricantes do equipamento. Maior este valor, mais forte a farinha (PIZZINATTO, 1999; KULP e PONTE, 2000).

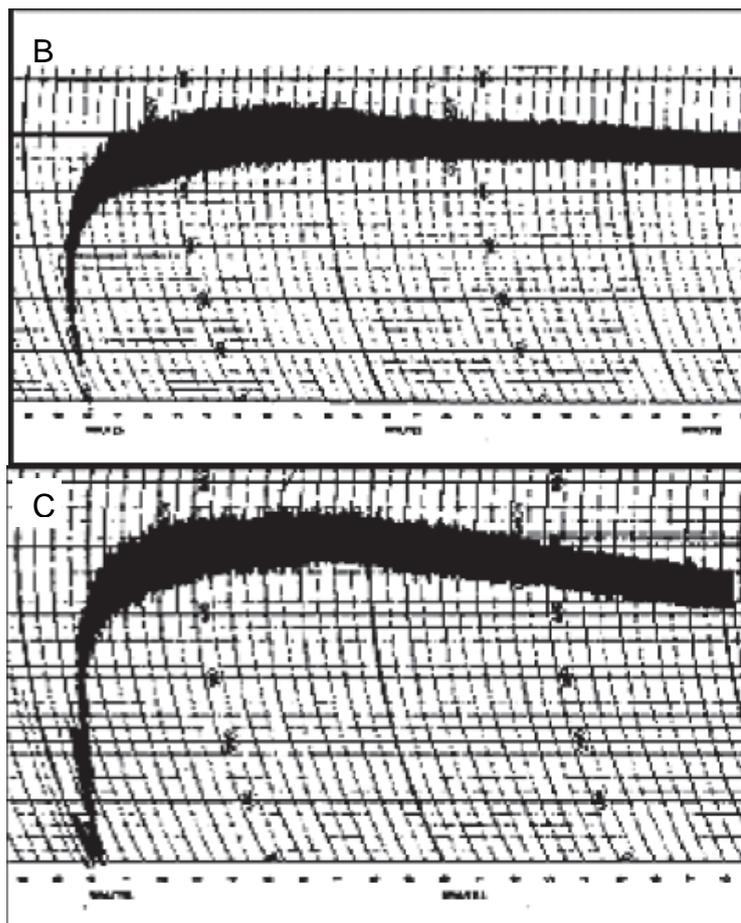
A qualidade e quantidade proteica do trigo utilizado para a obtenção da farinha impactam diretamente nas características da mistura, resultando em farinogramas distintos para cada tipo de trigo e farinha (PIZZINATTO, 1999). A Tabela 6 traz os parâmetros farinográficos característicos de farinhas com diferentes forças. A Figura 6 exemplifica essas diferenças obtidas. Na Figura 6A, a curva gerada pela análise desta farinha se mantém muito pouco tempo sobre a linha das 500 UF, caracterizando o farinograma de uma farinha fraca. A Figura 6B traz o farinograma de uma farinha forte, a qual a curva gerada pela análise desta farinha se mantém muito tempo sobre a linha das 500 UF, ao contrário da farinha fraca. Na Figura 6C tem-se uma farinha intermediária, nem tão forte e nem tão fraca, mantendo a curva por um período de tempo médio sobre a linha das 500 UF (ICTA, 2016).

**Tabela 6.** Parâmetros farinográficos característicos de farinhas de diferentes forças

Farinha	Absorção (%)	Desenvolvimento (min)	Estabilidade (min)	I.T.M. (UF)
Fraca	< 55	< 2,5	< 3	> 100
Média	54 - 60	2,5 – 4,0	3 - 8	60 - 100
Forte	> 58	4,0 – 8,0	8 - 15	15 - 50
Muito forte	> 58	> 10,0	> 15	< 10

Fonte: PIZZINATTO, 1999.





**Figura 6.** (A) Farinograma de uma farinha fraca; (B) Farinograma de uma farinha forte; (C) Farinograma de uma farinha intermediária.  
Fonte: ICTA, 2016.

### 3.4. ADITIVOS

A farinha de trigo, por ser um ingrediente natural, varia suas características qualitativas e quantitativas, em termos de proteínas e atividade enzimática, a cada colheita. Desta maneira, faz-se necessário muitas vezes ajustes na sua performance através de aditivos, como oxidantes e redutores, para que o padrão de qualidade seja mantido (PYLER e GORTON, 2008). Uma vez que estes possuem efeitos na massa sobre o sistema de troca tiol-dissulfídeo, afetam o grau de polimerização das subunidades de glutenina, modificando as propriedades mecânicas e reológicas da massa (DELCOUR e HOSENEY, 2010). Esses aditivos por vezes são adicionados também com o objetivo de facilitar e acelerar o processo de panificação (STAUFFER, 1990).

Como Cauvain e Young (1995) apontaram, devido à crescente pressão dos consumidores por produtos mais naturais, a indústria de panificação tem procurado eliminar totalmente a aditivação química, recorrendo à adição de ácido ascórbico. Porém, outras formas de aditivos mais naturais podem ser encontradas, como no caso de estudo deste trabalho.

### 3.4.1. REDUTORES

Como um fator limitante na taxa de produção da indústria de panificação, padeiros têm-se focado em achar maneiras de reduzir o tempo de amassamento (STAUFFER, 1990). Uma boa maneira de conseguir essa redução é através do uso de agentes redutores na massa. Ademais, existem outras razões para a adição de redutores, como a diminuição da resiliência da massa, obtendo-se maior extensibilidade desta (SLUIMER, 2005). Agentes redutores são frequentemente adicionados aos produtos nos quais a diminuição da elasticidade é muito importante para evitar-se rachaduras e encurtamento após o processo de laminação e corte, como em tortillas, pizzas, cookies e outros biscoitos (SLUIMER, 2005; PYLER e GORTON, 2008; LALLEMAND, 2011).

Os agentes redutores mais usados na indústria de panificação são a glutathione, L-cisteína e vários sais de bissulfito (STAUFFER, 1990). L-cisteína é um aminoácido muito comum em proteínas naturais, mas para o uso comercial é produzido de forma sintética: L-cisteína hidrocloreídica (SLUIMER, 2005; LALLEMAND, 2011). Esse redutor é comumente adicionado ao misturador e tem rápida ação (LALLEMAND, 2011). L-cisteína acelera o desenvolvimento da massa através do impedimento da reforma das ligações dissulfídicas após estas terem sido quebradas na etapa de amassamento (STEAR, 1990). O nível usual do uso de L-cisteína varia de 10 a 90 ppm (PYLER e GORTON, 2008).

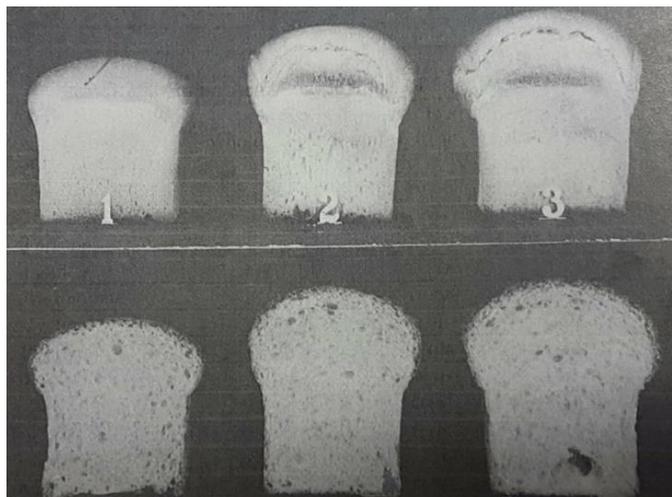
Glutathione é um peptídeo composto por três aminoácidos: ácido glutâmico, glicina e cisteína (STEAR, 1990). Ela atua como a L-cisteína, porém é mais efetiva pois é ativa para múltiplas reações (LALLEMAND, 2011). Glutathione está presente em muitas fontes, incluindo trigo, farinha e também leveduras. Recentemente na França, padeiros estavam adicionando leveduras não fermentescíveis na massa de baquetes,

croissants e brioques com o objetivo de ter a ação redutora da glutatona sem a rotulagem de aditivação química (PYLER e GORTON, 2008).

Outro redutor muito usado é o bissulfito de sódio. Este é sintetizado quando dióxido sulfúrico é solubilizado em água e neutralizado com álcali (STAUFFER, 1990). Bissulfito de sódio é usualmente utilizado para cookies e crackers. Esse redutor necessita ser usado com moderação desde que destrói a vitamina tiamina e inibe as leveduras. Nos Estados Unidos, quando os sulfitos são adicionados no produto na concentração de 10 ppm a legislação obriga a indicação destes na rotulagem, uma vez que há pessoas sensíveis a eles (PYLER e GORTON, 2008). A reação dos dissulfídeos da proteína com o bissulfito é um pouco diferente do mecanismo da L-cisteína, mas o efeito geral de redução do peso molecular da proteína também é conseguido (STAUFFER, 1990).

### 3.4.2. OXIDANTES

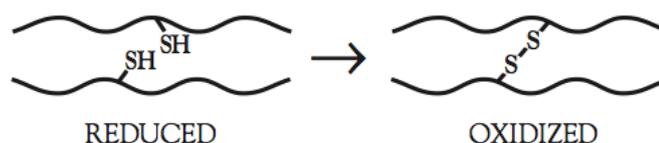
Agentes oxidantes são utilizados na indústria de panificação com o objetivo de melhorar a reforma do glúten, ajustando a força, elasticidade e tolerância do mesmo (LALLEMAND, 1996). Eles tornam a massa mais elástica, resistente à extensão e menos pegajosa, além de ser capaz de se expandir sem rupturas durante o período de crescimento rápido dos alvéolos de gás na fase mais inicial de assamento, quando comparadas às massas obtidas com farinhas não-tratadas (CAUVAIN e YOUNG, 1995; PYLER e GORTON, 2008). O pão resultante apresenta maior volume, crosta com uma quebra mais suave, miolo mais uniforme e textura mais macia, como pode ser visto na Figura 7 (PYLER e GORTON, 2008). Além disso, estes são adicionados ao processo com o objetivo de desenvolver a massa mais rapidamente com menos passos de produção, como nos sistemas de amassamento contínuo (LALLEMAND, 1996).



**Figura 7.** O oxidante bromato de potássio usado para otimizar a performance panificável : 1. Controle sem a adição de bromato; 2. Com adição de 2 mg de bromato; 3. Com adição de 3 mg de bromato.

Fonte: PYLER e GORTON, 2008

Os oxidantes melhoram a performance panificável da farinha de trigo de várias maneiras. As explicações deste feito foram listadas por Kulp (1981), *apud* Pyler e Gorton (2008); algumas delas são: oxidação dos grupos tiol que iriam amaciar a massa se não fossem oxidadas; e facilitamento da troca entre tiol e ligações dissulfídicas nas proteínas. De maneira geral, quando as gluteninas tornam-se ligadas, ou seja oxidadas (Figura 8), durante o processo de panificação, a força da massa aumenta e a extensibilidade diminui. Entretanto, essas ligações são quebradas mecanicamente durante o amassamento, permitindo a moldagem através da extensibilidade gerada com essa quebra. Como este mecanismo é reversível, através da adição de agentes oxidantes há um aumento das ligações sulfidrilas, aumentando a força do glúten (LALLEMAND, 1996). Deste modo, tem-se que o papel principal dos oxidantes é eliminar do sistema os grupos  $-SH$  das proteínas solúveis. Por consequência ocorrem mais ligações dissulfídicas entre as gluteninas do que entre as gluteninas e proteínas solúveis, gerando uma estrutura mais elástica.



**Figura 8.** Grupos sulfidrilas no estado reduzido e ligados (no estado oxidado).

Fonte: LALLEMAND, 1996

Os agentes oxidantes são classificados em segundo sua velocidade de reação em: 1. agentes oxidantes de ação lenta; 2. agentes oxidantes de ação intermediária; e 3. agente oxidantes de ação rápida. Em geral os agentes de ação lenta agem durante o assamento da massa, no forno, enquanto os de rápida e intermediária ação agem durante o amassamento e a fermentação, melhorando a retenção de gás (PYLER e GORTON, 2008). Alguns exemplos de oxidantes seguem abaixo.

O bromato de potássio é o agente oxidante de mais lenta ação, agindo durante a fermentação e assamento, sendo que sua ação torna-se mais rápida durante a fermentação devido à queda de pH. Historicamente foi um dos aditivos mais utilizados (DELCOUR e HOSENEY, 2010). Entretanto, este tem seu uso proibido no Brasil por ser classificado como um agente possivelmente cancerígeno para humanos (BRASIL, 2004). O bromato de potássio reage com compostos tióis de baixo peso molecular como glutatonas reduzidas contidas na farinha e formam compostos dissulfídicos que não são ativos na mudança da reologia da massa. Este aditivo também forma ligações dissulfídicas intermoleculares nas proteínas do glúten e contribuem para a força da massa (DELCOUR e HOSENEY, 2010). A reação entre o bromato de potássio e o glúten segue abaixo (Equação 1).



A azocarbonamida é um agente oxidante de rápida ação; uma vez formada a massa este é rapidamente e completamente convertido em ácido oxálico de dihidrazina, o qual é metabolicamente inerte, atóxico e estável no pão (LALLEMAND, 1996; DELCOUR e HOSENEY, 2010). A azocarbonamida reduz o tempo de amassamento em sistemas de alta velocidade de desenvolvimento da massa (PYLER e GORTON, 2008). No Brasil a limitação máxima deste aditivo é de 0,004 g/100 g de farinha de trigo (BRASIL, 2004). A azodicarbonamida, apesar de ainda ter seu uso permitido por lei, tem sido reportada por causar sensibilidade pulmonar e dermatite em pessoas (MEDINSKY et al, 1990).

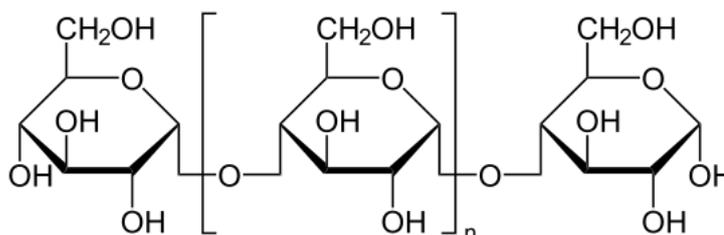
O ácido ascórbico é um aditivo único, pois se encontrado na sua forma oxidada (dehidro-L-ascórbico) comporta-se como um agente oxidante de ação

intermediária capaz de manter sua função durante quase todo o processamento da massa (antes do assamento); e se encontrada na sua forma reduzida age como um redutor (PYLER e GORTON. 2008). O ácido ascórbico é adicionado à massa na sua forma reduzida, porém na presença de oxigênio durante os estágios iniciais de amassamento a enzima ácido ascórbico oxidase o transforma para sua forma oxidada. Nesta forma, o ácido ascórbico funciona como um acceptor de elétron na oxidação de glutaniona endógena pela enzima glutaciona desidrogenase, a qual está presente na farinha de trigo, e reduz drasticamente o nível de glutaciona reduzida. Se esta glutaciona reduzida ainda estivesse presente na massa ela a enfraqueceria através das reações de ligações dissulfídicas no glúten (DELCOUR e HOSENEY, 2010). As reações que ocorrem seguem abaixo (Equação 2 e 3).



### 3.5. DEXTRINA E MALTODEXTRINA

As dextrinas pertencem a classe de carboidratos de baixo peso molecular, sendo obtidas por hidrólise parcial do amido em estado seco quando submetido a tratamento térmico na presença de ácido mineral em baixas concentrações. Comercialmente, dextrinas são oligômeros de amido, sendo uma combinação de unidades de D-glicose unidas por ligações glicosídicas  $\alpha(1 \rightarrow 4)$  ou  $\alpha(1 \rightarrow 6)$ , apresentando a estrutura linear e ramificada da amilose e amilopectina, respectivamente, porém com baixo grau de polimerização (SILVA et al, 2014; WALTER, 1997). A fórmula química da dextrina é  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , conforme ilustrado na Figura 9.

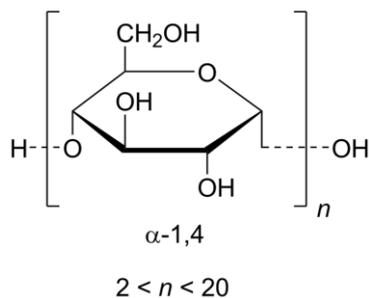


**Figura 9.** Estrutura química da dextrina.  
Fonte: WALTER, 1997.

A extensão da hidrólise para a obtenção da dextrina é expressada em termos de DE (dextrose equivalente) e é uma medida do poder redutor total. Dextrinas com mesmo DE podem apresentar diferentes comportamentos em termos de higroscopicidade, fermentacibilidade, doçura, gelatinização, viscosidade, estabilidade, solubilidade e biodisponibilidade, o que pode ser atribuído às diferentes estruturas (CHRONAKIS, 1998 *apud* SILVA et al, 2014). Diferentes tipos de dextrina podem ser obtidas de acordo com as condições da hidrólise e a fonte de amido utilizada, sendo usadas para diferentes fins como adesivos, alimentício, têxtil e cosmético (SILVA et al, 2014).

Dextrinas brancas, comercialmente chamadas assim por sua aparência esbranquiçada, são produzidas a partir da hidrólise por termoconversão do amido desidratado (menos de 2% de umidade), sob condições brandas (79 a 120°C por 3 a 8 h em 0,1 a 2% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ou HCl). Já as dextrinas amarelas são resultado da hidrólise parcial sob condições maiores de tempo e temperatura (WALTER, 1997).

Maltodextrinas são também hidrolisados de amido, as quais são formadas por unidades de  $\alpha$ -D-glicose unidas por ligações glicosídicas (1 $\rightarrow$ 4) com DE menor que 20. Sua fórmula química é [(C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub>H<sub>2</sub>O], demonstrado na Figura 10. São produzidas a partir a partir da hidrólise ácida (HCl) ou enzimática ( $\alpha$ -amilase) do amido gelatinizado resultando em oligossacarídeos, em média, 5 a 10 unidade de glicose por molécula (KENNEDY, 1995).



**Figura 10.** Estrutura química da maltodextrina.  
Fonte: WALTER, 1997.

Assim como para as dextrinas, para as maltodextrinas o principal parâmetro que indica as características funcionais e reológicas destas é a DE. Da mesma forma, maltodextrinas com DE iguais também podem se comportar de maneiras diferentes, uma vez que a fonte do amido pode variar, além da estrutura e razão entre amilose e amilopectina (PYCIA et al, 2016).

### 3.6. OXIDAÇÃO DE AMIDOS

O desenvolvimento de técnicas para a modificação de amidos objetiva superar as limitações dos amidos nativos, aumentando a gama de aplicações destes na indústria (APLEVICZ e DEMIATE, 2007). O comportamento funcional dos amidos pode ser modificado tanto por métodos químicos, físicos e enzimáticos.

Um importante método usado para modificação de amidos é a oxidação (DIAS et al, 2011). O amido oxidado apresenta propriedades funcionais de interesse industrial, tais como elevada transparência, resistência a retrogradação, capacidade de formação de filme e propriedades ligantes (APLEVICZ e DEMIATE, 2007; DIAS et al, 2011). Além disso, através da oxidação, é adquirida a capacidade de geração de pastas fluidas com alto teor de sólidos devido ao fato de que a viscosidade do amido degradado não é afetada pelo aumento da concentração. Isso torna o uso de amidos oxidados muito mais fácil que o nativo em altas concentrações (JONHED, 2006). A principal utilização de amidos oxidados é na indústria de papel, como agentes ligantes (SANGSEETHONG et al, 2010). Na indústria alimentícia possuem sua aplicação como agentes gelificantes (SALMI et al, 2016).

Amidos oxidados são obtidos através da reação do amido nativo com agentes oxidantes sob temperatura e pH controlados (SANGSEETHONG et al, 2010). Na oxidação, os grupos hidroxila são substituídos por grupos carboxila e carbonila, sendo que a quantificação destes grupos gerados indica o grau da modificação (DIAS et al, 2011). A extensão da modificação depende principalmente da origem do amido nativo, o tipo de agente oxidante e as condições da reação (SANGSEETHONG et al, 2010).

Os agentes utilizados para oxidação de amidos são inúmeros, como hipoclorito de sódio, periodato, permanganato, peróxido de hidrogênio e persulfato de amônio. O hipoclorito de sódio é o agente mais utilizado industrialmente, porém induz à formação de produtos tóxicos, não sendo seguro para o uso em alimentos (SANGSEETHONG et al, 2010). Por outro lado, a utilização do peróxido de hidrogênio em alimentos pode ser considerada, uma vez que a ingestão de pequenas quantidades deste agente não produz efeitos tóxicos devido à rápida decomposição promovida pela enzima catalase presentes nas células intestinais. Além disso, o peróxido de hidrogênio é instável ao entrar em contato com alguns tipos de alimentos e após o cozimento (APLEVICZ e DEMIATE, 2007).

Os grupos hidroxilas do amido nativo quando tratados com peróxido de hidrogênio são parcialmente transformados para aldeídos (ZHANG et al, 2010). Os amidos aldeídos têm chamado a atenção nos últimos anos por serem agentes formadores de ligações cruzadas com as proteínas. Estudos indicam que os grupos aldeídos formam ligações cruzadas com os grupos aminos primários da lisina, formando uma ligação dupla carbono/nitrogênio e melhorando as propriedades da gelatina como material para embalagens biodegradáveis (MU et al, 2011).

## 4. MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

### 4.1 MATÉRIA-PRIMA

A farinha de trigo utilizada nas análises experimentais foi adquirida no moinho de trigo da COAMO, localizado na cidade de Campo Mourão (PR) no mês de setembro de 2016. A farinha utilizada foi obtida através de trigo provindo da safra 2015. O tipo de farinha escolhido foi o Tipo 2 e sem adição de melhoradores.

A dextrina e maltodextrina (não oxidadas) foram doadas respectivamente pela Lorenz e Cassava S/A. Os demais reagentes necessários, como peróxido de hidrogênio (32 % m/m de pureza e densidade 1,11 g/mL) e sulfato ferroso heptahidratado, foram todos de grau analítico e fornecidos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). A enzima catalase foi fornecida pela Prozyn.

### 4.2 OBTENÇÃO DA DEXTRINA E MALTODEXTRINA OXIDADAS

Para a obtenção da maltodextrina e dextrina oxidadas foi utilizado como agente oxidante o peróxido de hidrogênio, em três concentrações diferentes (7 %, 14 % e 20 %), juntamente com o catalisador sulfato ferroso, de acordo com a metodologia de Zhang et al (2010). Para todas as amostras foram pesados 300 gramas em base seca de maltodextrina ou dextrina, adicionadas diferentes volumes de solução de peróxido de hidrogênio (32 % de pureza e densidade 1,11 g/mL) para atingir concentrações de 20, 14 e 7 % (m/m) de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em relação ao amido. Como catalizador em cada ensaio foram utilizados 15 mL de solução de sulfato ferroso 0,2 mg/mL. Após completa homogeneização, todas as amostras foram completadas para 500 mL com água destilada e o pH foi ajustado para 8,4. O tempo da reação de oxidação foi de 24 h sob agitação de 800 rpm com auxílio de um agitador mecânico.

A neutralização do peróxido de hidrogênio foi obtida através da adição de enzima catalase. Considerando que o pH ótimo para a ação da catalase está entre 7,0 e 9,0 e a temperatura ótima entre 20 e 50 °C (DIAS, 2000), todas as

amostras tiveram o pH ajustado para 7,0 e encubadas em banho de água a 40 °C. Para as amostras oxidadas com 20 % de peróxido, foram adicionados 2,7 g de catalase e para as demais, 1,5 g. Para a completa eliminação do peróxido a dispersão foi deixada em agitação por 12 h.

Para aferição da eficiência da neutralização do peróxido de hidrogênio, todas as amostras foram submetidas ao teste de iodeto de potássio: uma pequena alíquota de iodeto de potássio sólido foi dissolvido em 1 mL da amostra; se apresenta-se coloração arroxeadada indicaria a presença de peróxido e que a neutralização do mesmo não foi eficiente.

Após a verificação do sucesso da neutralização, as amostras foram secas em *spray dryer* a 190 °C, com vazão de 0,6 L/h, vazão de ar de secagem de 3,6 m<sup>3</sup>/min e fluxo do ar comprimido de 45 L/min, usando bico injetor com orifício de 1,2 mm de diâmetro.

#### 4.3 QUANTIFICAÇÃO DOS GRUPOS CARBONILAS E CARBOXILAS NA DEXTRINA E MALTODEXTRINA OXIDADAS

Os teores de carboxilas e carbonilas foram determinados através de titulação com NaOH (0,1 mol.L<sup>-1</sup>) e reação com cloridrato de hidroxilamina, respectivamente, segundo metodologia de Smith (1967). As equações utilizadas para quantificação dos teores de carboxilas e carbonilas foram as Equações 4 e 5, respectivamente. Os resultados foram analisados quanto à análise de variância ANOVA e teste de *Tukey* para comparação das médias utilizando-se o programa Statistica 7.0. Amostras de maltodextrina e dextrina não oxidados de mesmo lote dos oxidados no experimento foram utilizadas como branco.

$$\text{teor de carboxila (\%)} = \frac{(Va - Vb) \times M \times 0,045 \times 100}{m} \quad (\text{Equação 4})$$

$$\text{teor de carbonila (\%)} = \frac{(Vc - Vd) \times M \times 0,028 \times 100}{m} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde  $V_a$  é o volume (mL) necessário de NaOH necessário para titular a prova em branco;  $V_b$  é o volume (mL) necessário de NaOH necessário para titular a amostra;  $M$  é a concentração mol.L<sup>-1</sup> NaOH ou HCl utilizada para a titulação e  $m$  é a massa da amostra, em gramas, base seca.

#### 4.4 TESTE FARINOGRÁFICO DA FARINHA DE TRIGO ADITIVADA COM MALTODEXTRINA E DEXTRINA OXIDADAS

Para o teste de farinografia foi utilizado o Farinógrafo Brabender de acordo com o método 54-21 da AACC (1995), como modificações. Foram testadas amostras de farinha de trigo sem a adição de aditivos (controle) e com 0,8% e 1,6% de cada amostra, em triplicata, sendo realizado em duas fases. Na primeira foi obtida a curva de titulação, adicionando-se água gradativamente até que o centro da curva atingisse  $500 \pm 20$  unidades farinográficas (U.F.). Deste modo foi determinada a absorção da farinha de trigo através da quantidade de água acrescentada à mistura. Na segunda fase foi obtido o farinograma padrão, adicionando a quantidade de água determinada previamente e procedendo o teste por 25 minutos.

Os parâmetros de absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa, tempo de saída, estabilidade e índice de tolerância obtidos através dos farinogramas de farinha de trigo adicionada com dextrina e maltodextrina oxidadas e controle foram analisados quanto à análise de variância ANOVA e teste de *Tukey* para comparação das médias utilizando-se o programa Statistica 7.0.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 QUANTIFICAÇÃO DOS GRUPOS CARBONILAS E CARBOXILAS NA DEXTRINA E MALTODEXTRINA OXIDADAS

Na Tabela 7, estão descritos os teores de carbonila e carboxila para as amostras testadas. Percebe-se que as amostras oxidadas de dextrina, em todos os níveis de oxidação, demonstraram maiores conteúdos de carboxilas, ao passo que as maltodextrinas apresentaram maiores teores de carbonilas.

**Tabela 7.** Teores de carboxilas e carbonilas nas amostras oxidadas.

Amostra	Teor de carbonilas (%)	Teor de carboxilas (%)	Carbonila + Carboxila
Controle maltodextrina	0,00 <sup>f</sup> ±0,00	0,00 <sup>d</sup> ±0,00	0,00
Controle dextrina	0,00 <sup>f</sup> ±0,00	0,00 <sup>d</sup> ±0,00	0,00
Dextrina oxidada 7%	0,01 <sup>f</sup> ±0,00	0,10 <sup>c</sup> ±0,00	0,11
Dextrina oxidada 14%	0,04 <sup>e</sup> ±0,00	0,18 <sup>b</sup> ±0,02	0,21
Dextrina oxidada 20%	0,09 <sup>d</sup> ±0,00	0,22 <sup>a</sup> ±0,01	0,31
Maltodextrina oxidada 7%	0,52 <sup>c</sup> ±0,00	0,01 <sup>d</sup> ±0,00	0,51
Maltodextrina oxidada 14%	0,64 <sup>b</sup> ±0,02	0,03 <sup>d</sup> ±0,02	0,67
Maltodextrina oxidada 20%	0,76 <sup>a</sup> ±0,01	0,07 <sup>c</sup> ±0,02	0,83

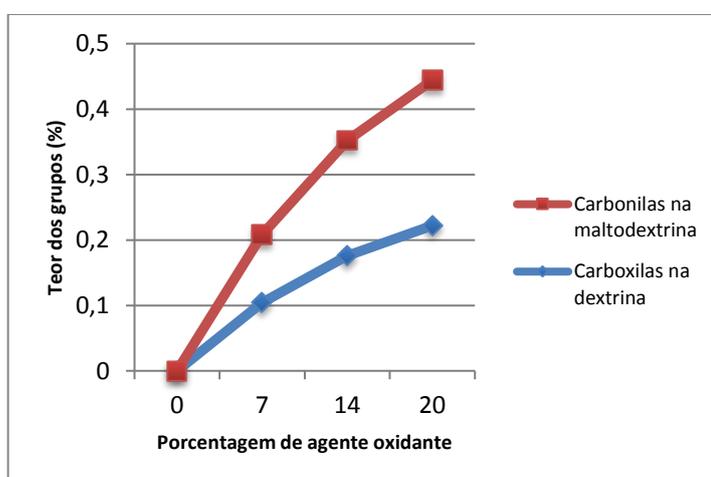
NOTA: Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Segundo Sangseethong et al (2010), na oxidação com peróxido de hidrogênio um maior número de grupos carbonila são formados, enquanto há menor geração de grupos carboxilas, como pode ser observado para a oxidação da maltodextrina. A reação na presença de um catalisador metálico ocorre de maneira que o peróxido de hidrogênio é prontamente decomposto gerando radicais hidroxila, o qual reage com o carboidrato retirando um H de um grupo CH. Neste processo há formação de um radical ( $R^*CHOH$ ), o qual resulta ao final da reação na quebra de uma ligação

glicosídica e na formação de um grupo carbonila que, em condições alcalínicas, pode ocorrer outras reações e haver a geração de grupos carboxilas (SANGSEETHONG et al, 2010).

Ao final da oxidação o pH da dextrina 20% foi de 4,6 enquanto da maltodextrina 7,6. Uma hipótese para o pH final da maltodextrina apresentar-se maior em relação à dextrina, mesmo demonstrando que sua oxidação foi potencialmente mais intensa, é o fato de que a primeira é mais degradada que a segunda. Assim, não há a possibilidade de ocorrer uma forte degradação durante a oxidação e a geração de substâncias ácidas, apresentando pH mais estável ao final da reação.

Tanto no processo de oxidação da maltodextrina quanto da dextrina, quanto maior o nível de oxidante usado, maior foi a geração de grupos carbonilas e carboxilas (Figura 11). Segundo Dias et al (2011), o número de grupos carbonila e carboxila no amido oxidado indicam o nível de oxidação; assim verifica-se que a oxidação para a maltodextrina foi potencialmente mais intensa do que para a dextrina. Este fato pode ser explicado pelo pH final de cada reação, (mais ácido para a dextrina (4,6) e mais alcalino para a maltodextrina (7,6)) uma vez que o processo de oxidação geral é favorecida em maiores valores de pH (SALMI et al, 2016). Whistler and Schweiger (1959 *apud* SANGSEETHONG et al, 2010) em um estudo sobre a oxidação de amilopectina com altos níveis de peróxido de hidrogênio, observaram uma extensa degradação de amilopectina em pH maior que 7, enquanto em condições de pH inferior a 5 a oxidação pouco ocorria.



**Figura 11.** Teor de carbonilas obtidas para a maltodextrina e de carboxilas para a dextrina obtidas com diferentes porcentagens do agente oxidante.

Na oxidação com peróxido de hidrogênio do amido de batata na presença de um catalizador complexo de ferro foi observado em pH 8,4 (TOLVANEN et al, 2009) maior formação de grupos carbonilas (5,08%) em relação aos carboxilas (1,03%). Por outro lado, Sorokin et al (2004), relatam que em pH 3,0 o tratamento do amido com peróxido de hidrogênio com  $Fe^{2+}$  como catalizador não oxidou a amidos. Esses estudos corroboram os resultados do presente trabalho que indica que a maior introdução de grupos aldeídos aconteceu em pH ligeiramente alcalino (7,6), o qual favorece a formação do radical hidroxila a partir do peróxido de hidrogênio, oxidando grupos hidroxilas do amidos para aldeídos (TOLVANEN et al, 2009).

Outra justificativa para a maior oxidação da maltodextrina pode estar relacionada com o tamanho dos fragmentos. Enquanto a maltodextrina é o resultado da hidrólise com alfa-amilase do amido gelatinizado, gerando fragmentos de baixo de grau de polimerização, a dextrina é um corpúsculo granular (WALTER, 1997), hidrolisado, porém fisicamente menos exposta ao ataque de agentes oxidantes quando comparado à primeira (KENNEDY et al,1995).

Em outro estudo sobre o uso de amido oxidado como aditivo para panificação, Silva (2013) obteve os teores de 0,196 % de carboxila e 1,66 % de carbonilas com o uso de peróxido de hidrogênio e sulfato ferroso . Em comparação com o presente estudo, para os ensaios que resultaram em maiores teores de carboxila ou carbonila tem-se a maltodextrina oxidada com 20 % de peróxido de hidrogênio foi obtido 0,76 % e 0,07 % de teores de carbonila e carboxila, respectivamente; e para a dextrina oxidada ao mesmo nível foi obtido e 0,09 % e 0,22 % de teores de carbonila e carboxila, respectivamente. Potencialmente, os resultados inferiores deste estudo comparado ao de Silva (2013) deve-se aos erros experimentais, uma vez que as frações de maltodextrina e dextrina são menores que o amido, sendo mais facilmente carregados pelo etanol da lavagem e subestimando a quantificação dos grupos pelo método.

## 5.2 TESTE FARINOGRÁFICO DA FARINHA DE TRIGO ADITIVADA COM MALTODEXTRINA E DEXTRINA OXIDADAS

Na Tabela 8, encontram-se descritos os valores de tempo de desenvolvimento e absorção de água para todos os ensaios. Para os tempos de desenvolvimento, tem-se que os ensaios utilizando a adição de 0,8 e 1,6 % de dextrina oxidada à 14 % apresentaram os maiores valores ( $13,17 \pm 0,06$  e  $13,43 \pm 0,06$ , respectivamente). Em geral, quase todos os ensaios realizados com a adição da dextrina oxidada diferenciaram-se estatisticamente do controle ( $p < 0,05$ ). Já para os ensaios com a adição de maltodextrina, somente o experimento realizado com 0,8 % de adição de maltodextrina à 20 % diferenciou-se do controle. A maioria dos ensaios usando dextrina oxidada como aditivo obtiveram tempos de desenvolvimento maiores em relação à maltodextrina oxidada e ao controle.

**Tabela 8.** Tempo de desenvolvimento e absorção de água nos ensaios.

Amostra	Adição	Tempo de desenvolvimento (min)	Absorção de água (%)
Controle	0%	$11,10^f \pm 0,75$	$63,57^{de} \pm 0,11$
Dextrina oxidada 7%	0,8%	$11,37^{ef} \pm 0,06$	$63,97^{ab} \pm 0,06$
Dextrina oxidada 7%	1,6%	$12,57^{bc} \pm 0,06$	$62,77^h \pm 0,06$
Dextrina oxidada 14%	0,8%	$13,17^{ab} \pm 0,06$	$63,63^{de} \pm 0,06$
Dextrina oxidada 14%	1,6%	$13,43^a \pm 0,06$	$63,70^{cd} \pm 0,10$
Dextrina oxidada 20%	0,8%	$12,50^{cd} \pm 0,10$	$63,03^g \pm 0,06$
Dextrina oxidada 20%	1,6%	$12,23^{cd} \pm 0,06$	$63,47^{ef} \pm 0,06$
Maltodextrina oxidada 7%	0,8%	$11,47^{ef} \pm 0,06$	$63,47^{ef} \pm 0,06$
Maltodextrina oxidada 7%	1,6%	$11,87^{ef} \pm 0,06$	$63,30^f \pm 0,10$
Maltodextrina oxidada 14%	0,8%	$11,43^{ef} \pm 0,06$	$63,43^{ef} \pm 0,06$
Maltodextrina oxidada 14%	1,6%	$11,27^{ef} \pm 0,06$	$63,33^f \pm 0,11$
Maltodextrina oxidada 20%	0,8%	$12,17^{cd} \pm 0,06$	$63,87^{bc} \pm 0,06$
Maltodextrina oxidada 20%	1,6%	$11,13^f \pm 0,06$	$64,13^a \pm 0,06$

NOTA: Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Analisando a absorção de água dos ensaios, percebe-se que a maioria dos resultados obtidos não foi estatisticamente diferente ao controle ( $p > 0,05$ ). Somente os

ensaios com adição de maltodextrina oxidada à 20%, nas duas concentrações testadas, e com adição de 0,8% de dextrina oxidada à 7%. Em contrapartida, as amostras com adição 1,6% de dextrina e maltodextrina oxidada à 7%, maltodextrina oxidada à 14% e adição de 0,8% de dextrina oxidada à 20% tiveram valores de absorção de água ligeiramente menores do que o controle.

Na Tabela 9, estão descritos os valores obtidos para a estabilidade e índice de tolerância à mistura. Para o índice de tolerância, quanto maior este índice, menor é a tolerância da farinha à mistura (PIZZINATTO, 1999). Nos resultados obtidos, somente os ensaios com adição de 1,6% dextrina oxidada à 7% e maltodextrina oxidada à 20% demonstraram alta resistência ao amassamento, com os valores de  $5,00 \pm 0,00$  e  $4,33 \pm 0,58$  respectivamente. Para os demais ensaios, ou não se diferenciaram estatisticamente ( $p > 0,05$ ) ou apresentaram valores de índice de tolerância ligeiramente maiores, indicando uma tolerância um pouco menor à mistura.

**Tabela 9.** Estabilidade, em minutos, e índice de tolerância à mistura nos ensaios.

Amostra	Adição	Estabilidade(min)	Índice de tolerância à mistura (UF)
Controle	0%	$16,93^{abc} \pm 0,57$	$10,67^{def} \pm 3,51$
Dextrina oxidada 7%	0,8%	$16,17^d \pm 0,06$	$16,33^{bc} \pm 0,58$
Dextrina oxidada 7%	1,6%	$17,37^{ab} \pm 0,06$	$5,00^{gh} \pm 0,00$
Dextrina oxidada 14%	0,8%	$16,87^{bc} \pm 0,06$	$25,00^a \pm 1,00$
Dextrina oxidada 14%	1,6%	$17,13^{abc} \pm 0,06$	$19,67^b \pm 0,58$
Dextrina oxidada 20%	0,8%	$16,20^d \pm 0,17$	$16,33^{bc} \pm 0,58$
Dextrina oxidada 20%	1,6%	$15,73^d \pm 0,06$	$13,67^{cd} \pm 0,58$
Maltodextrina oxidada 7%	0,8%	$17,33^{ab} \pm 0,06$	$10,33^{def} \pm 0,58$
Maltodextrina oxidada 7%	1,6%	$15,77^d \pm 0,15$	$8,33^{efg} \pm 0,58$
Maltodextrina oxidada 14%	0,8%	$16,77^c \pm 0,06$	$7,67^{fgh} \pm 0,58$
Maltodextrina oxidada 14%	1,6%	$17,43^a \pm 0,11$	$4,33^g \pm 0,58$
Maltodextrina oxidada 20%	0,8%	$16,17^d \pm 0,11$	$17,67^b \pm 0,58$
Maltodextrina oxidada 20%	1,6%	$16,90^{abc} \pm 0,10$	$11,33^{de} \pm 0,58$

NOTA: Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

A estabilidade é um dos aspectos mais importantes obtidos através da farinografia, indica a tolerância da farinha ao amassamento e depende do grau de interação entre as proteínas do glúten (CAUVAIN e YOUNG, 1995; COSTA et al, 2008). Nos resultados obtidos observa-se que 60% dos ensaios não se diferenciaram estatisticamente do controle ( $p>0,05$ ). O restante dos ensaios apresentou valores ligeiramente menores do que o controle.

Na Tabela 10 estão descritos os valores do tempo de saída obtidos para os ensaios, ou seja, o tempo em que a curva do farinograma deixa a linha das 500 UF (PYLER e GORTON, 2008). Observa-se que todos os ensaios não obtiveram resultados diferentes significativamente ( $p>0,05$ ) do controle, com exceção do teste utilizando a adição de 1,6% de de maltodextrina oxidada à 14%.

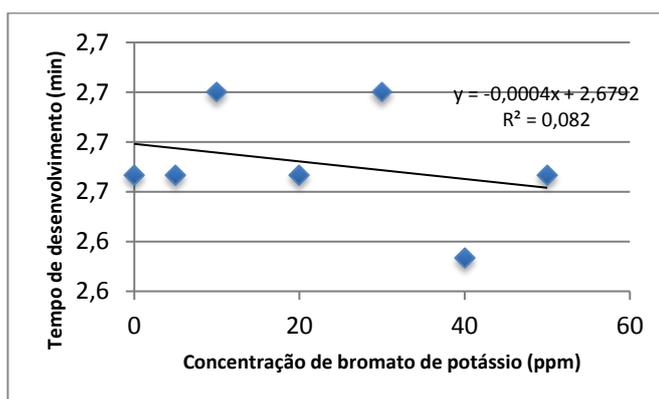
**Tabela 10.** Tempo de saída, em minutos.

Amostra	Adição	Tempo de saída (min)
Controle	0%	19,70 <sup>b</sup> ±0,36
Dextrina oxidada 7%	0,8%	19,80 <sup>ab</sup> ±0,10
Dextrina oxidada 7%	1,6%	20,03 <sup>ab</sup> ±0,06
Dextrina oxidada 14%	0,8%	19,90 <sup>ab</sup> ±0,10
Dextrina oxidada 14%	1,6%	20,07 <sup>ab</sup> ±0,06
Dextrina oxidada 20%	0,8%	19,97 <sup>ab</sup> ±0,06
Dextrina oxidada 20%	1,6%	20,03 <sup>ab</sup> ±0,06
Maltodextrina oxidada 7%	0,8%	20,00 <sup>ab</sup> ±0,00
Maltodextrina oxidada 7%	1,6%	20,00 <sup>ab</sup> ±0,10
Maltodextrina oxidada 14%	0,8%	20,00 <sup>ab</sup> ±0,00
Maltodextrina oxidada 14%	1,6%	20,17 <sup>a</sup> ±0,15
Maltodextrina oxidada 20%	0,8%	19,80 <sup>ab</sup> ±0,10
Maltodextrina oxidada 20%	1,6%	20,07 <sup>ab</sup> ±0,11

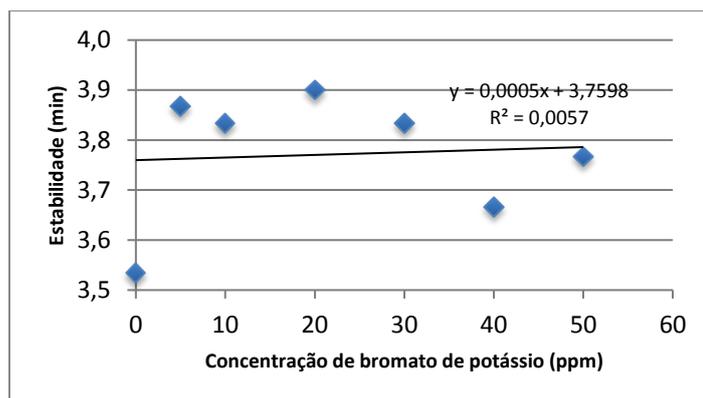
NOTA: Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si ( $p<0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Como observado, os resultados das análises não demonstraram a ação esperada dos agentes oxidantes testados. Potencialmente, este resultado deve-se ao tempo de ação do aditivo em questão. Em geral os agentes de ação lenta agem durante o assamento da massa, no forno, enquanto os de rápida e intermediária ação agem durante o amassamento e a fermentação (PYLER e GORTON, 2008). Desta maneira, a ação desejada de melhoramento do glúten para aditivos de ação intermediária ou lenta não é detectada pela farinografia, o qual somente avalia o comportamento da massa na etapa de mistura (20 minutos). Para tal fim, o teste final de panificação avaliaria a ação global do aditivo.

Um exemplo deste comportamento, é a farinografia para amostras testadas com bromato de potássio. Nas Figuras 12 e 13, encontram-se os valores obtidos para o tempo de desenvolvimento e estabilidade de amostras testadas com diferentes concentrações. Os autores, Santos e Regan (2015), esperavam um comportamento linear dos resultados, fato que não ocorreu. Segundo os autores, isso potencialmente se deveu ao fato do bromato de potássio tratar-se de um agente oxidante de ação mais lenta, agindo durante a fermentação e assamento. Desta maneira sua ação não foi detectada pela farinografia, mas isso não indica que ele não agiu como um melhorador do glúten no processo global.



**Figura 12.** Efeito da concentração de bromato de potássio no tempo de desenvolvimento no método de alta velocidade de farinografia via Doughlab. Fonte: Santos e Regan (2015).



**Figura 13.** Efeito da concentração de bromato de potássio na estabilidade no método de alta velocidade de farinografia via Doughlab. Fonte: Santos e Regan (2015).

Uma evidência da interação desejada neste estudo entre os aldeídos obtidos na oxidação dos amidos e/ou seus derivados e proteínas do glúten é o estudo de Silva (2013) sobre o uso de amidos oxidados como aditivo para panificação. Uma das avaliações da ação do aditivo foi através do teste de panificação em que o pão preparado com amido oxidado com peróxido de hidrogênio e sulfato ferroso se destacou por produzirem pães de volumes específicos superiores ao controle. Porém, este não se diferenciou estatisticamente do volume específico do pão acrescido de ácido ascórbico.

Existem inúmeros outros estudos que indicam a capacidade de ligação entre aldeídos e proteínas, como o estudo de Park et al, (2000) com proteínas da soja, Lieberman & Gilbert, (1973) com colágeno, Marquié et al, (1995) com proteínas do algodão, Parris & Coffin, (1997) com proteínas zeínas do milho, Orliac et al, (2002) com isolado de proteínas de girassol e Gallietta et al, (1998) com proteínas de soro de leite.

Pizzinato (1999) classificou as farinhas muito fortes como tendo absorção de água maior que 58%, tempo de desenvolvimento superior à 10 minutos, estabilidade maior que 15 minutos e índice de tolerância à mistura menor que 10. Analisando estes valores, nota-se que a farinha testada trata-se de uma farinha muito forte. Desta maneira, além da hipótese da ação do aditivo testado em questão ser mais lento e não ter sido detectado pela farinografia, a hipótese de que os resultados ficaram mascarados devido a farinha testada ser muito forte também deve ser considerada. Potencialmente, através do uso de uma farinha mais fraca para o teste, seriam obtidos resultados mais promissores, os quais mostrariam melhor a ação dos aditivos testados no presente estudo.

## CONCLUSÃO

Durante a oxidação da dextrina e maltodextrina com peróxido de hidrogênio há a formação de grupos aldeídos que potencialmente reagem com as cadeias laterais de aminoácidos, como lisina, tirosina e cisteína; sendo plausível a formação de ligações cruzadas covalentes com proteínas. Desta maneira, essa interação poderia fortalecer o complexo glúten, trazendo benefícios tecnológicos como maior retenção de gás da massa na etapa de fermentação e maior sustentação mecânica no produto final. Porém, no presente estudo este comportamento não foi verificado, uma vez que somente a farinografia foi analisada, a qual demonstra somente a etapa de mistura. Provavelmente, este fato deve-se ao uso de uma farinha muito forte a qual mascarou os resultados e/ou à ação do aditivo ser mais tardia, agindo durante a fermentação e o assamento. Para um estudo mais aprofundado, é interessante o uso de outras metodologias que possam apresentar resultados globais, como o teste de panificação o qual mostra o produto final obtido e ação do aditivo em todas as etapas.

## 6. REFERÊNCIAS

AACC - AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods**. 9. ed., Saint Paul: AACC, 1995.

APLEVICZ, K. S.; DEMIATE, I. M. Caracterização de amidos de mandioca nativo e modificados e utilização em produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p 478-484, jul.-set., 2007.

BALLS, A. K.; HALE, W. S. Futher studies on the activity of proteinase in flour. **Cereal Chemistry Journal**, Saint Paul, v. 13, p 656-664, 1936.

BOCK, J.; SEETHARAMAN, K. Unfolding Gluten: an overview of research on gluten. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 57, n. 5, p 209-214, set.-out., 2012.

BRASIL. ANVISA. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Nota técnica nº 013/2004-GGALI/GACTA – Advertência quanto ao estrito cumprimento da proibição de "bromato de potássio", em qualquer quantidade, na composição de ingredientes ou aditivos de qualquer espécie para uso na panificação, conforme a Lei nº 10.273, de 05 de setembro de 2001. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/alimentos/bromato\\_potassio.pdf](http://www.anvisa.gov.br/alimentos/bromato_potassio.pdf)> . Acesso em: 22 out. 2015.

BRASIL. MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Instrução Normativa 8/2005 – Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=803790937>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

BRASIL. MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Instrução Normativa 38/2010 – Regulamento Técnico do Trigo. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=358389789>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

CARGILL. **Ingredientes Alimentícios** - Dextrina. Disponível em: <<http://www.cargillfoods.com/lat/pt/produtos/amidos-edextrinas/dextrina/index.jsp>> Aceso em: 28 out. 2015

CAUVAIN, S. P.; YOUNG, L. S. **Technology of Breadmaking**. Aspen, 1995.

CHATTERJI, A. K. Reactions of dialdehyde starches and wheat proteins. 1963. 90 f. **Dissertação (Doutorado em Engenharia Química)** - Iowa State University of Science and Technology, Ames, 1963.

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

DELCOUR, J. A.; HOSENEY, R. C. **Principles of Cereal Science and Technology**. 3 ed. St. Paul: AACC International Inc., 2010.

DIAS, A. R. G.; ZAVAREZE, E. R.; HELBIG, E.; MOURA, F. A.; VARGAS, C. G.; CIACCO, C. F. Oxidation of fermented cassava starch using hydrogen peroxide. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, p 185-191, 2011.

DIAS, I. M. Otimização da metodologia de análise da enzimas catalase e glutatona s-transferase para a glândula digestiva do mexilhão Perna perna. 2000. 72 f. **Dissertação de mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina**, Centro de Ciências Agrárias, 2000. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/79182>>. Acesso em: 29 set. 2016

DON, C.; KOEHLER, P. Enzyme-Linked Immunosorbent Assays for the Detection and Quantitation of Gluten in Cereal-Based Foods. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 59, p 171-178, jul.-ago., 2014

EMBRAPA. Indicações Técnicas da Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo. 36ª Reunião da Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo, Passo Fundo, 2004. Disponível em: < <http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/trigo/rcsbpt04/classi.htm>>. Acesso em: 29 ago. 2016

FALCÃO-RODRIGUES, M. M.; MOLDÃO-MARTINS, M.; BEIRÃO-DA-COSTA, M. L. Thermal properties of gluten proteins of two soft wheat varieties. **Food Chemistry**, v. 93, p. 459-465, 2005.

FEIN, M. L.; FILACHIONE E. M. Tanning studies with aldehydes. **American Leather Chemists Association Journal**, Lubbock, v. 52, p. 17-23, 1957.

GALIETTA, G.; GIOIA, L.; GUILBERT, S.; CUQ, B. Mechanical and thermomechanical properties of films based on whey proteins as affected by plasticizer and cross-linking agents. **Journal of Dairy Science**, v. 81, p. 3123-3130, 1998.

GOLDSTEIN, S. Correlation between sulfhydryl and disulfide groups of gluten proteins and baking properties of bread flour. **Mitteilungen aus Lebensmitteluntersuchung und Hygiene**, Bern, v. 48, n. 2, p. 87-93, 1957.

ICTA – Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos. **Avaliação da Qualidade Tecnológica/Industrial da Farinha de Trigo**. Disponível em: <  
<http://www.ufrgs.br/napead/repositorio/objetos/avaliacao-farinha-trigo/2a3.php> > .  
Acesso em: 10 set. 2016.

JAZAERI, S.; BOCK, J. E.; BAGAGLI, M. P.; IAMETTI, S.; BONOMI, F.; SEETHARAMAN, K. Structural modifications of gluten proteins in strong and weak wheat dough during mixing. **Cereal Chemistry Journal**, Saint Paul, v. 92, n. 1, p. 105-113, jan.-fev., 2015.

JONHED, A. Properties of modified starches and their use in the surface treatment of paper. 2006. 42 f. **Dissertação (Doutorado em Engenharia Química)** - Karlstad University Studies, Karlstad, 2006.

KENNEDY, J. F.; KNILL, C. J.; TAYLOR, D.W. **Maltodextrins**. In: KEARSLEY, M. W.; S. Z. DZIEDZIC. Handbook of Starch Hydrolysis Products and Their Derivates. Londres: Chapman & Hall, 1995.

KULP, K.; PONTE, J. G. **Handbook of cereal science and technology**. Nova Iorque: M. Dekker, 2000.

LALLEMAND. Continuous Mixing – Oxidizing Agents. **Baking Update**, Montreal, v. 2, n. 2, 1996.

LALLEMAND. A guide to reducing agents. **Baking Update**, Montreal, v. 7, n. 1, 2011.

LEÓN, A. E. **De tales y harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica**. Córdoba: Hugo Báez, 2007.

MARQUIÉ, C.; AYMARD, C.; CUQ, J. L.; GUILBERT, S. Biodegradable packaging made from cottonseed flour: formation and improvement by chemical treatments with gossypol, formaldehyde and glutaraldehyde. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 43, p. 2762-2767, 1995.

MEDINSKY, M. A.; BECHTOLD, W. E.; BIRNBAUM, L. S.; BOND, J. A.; BURT, D. G.; CHENG, Y. S.; GILLET, N. A.; GULATI, D. K.; HOBBS, C. H.; PICKRELL, J. A.

Effect of inhaled azodicarbonamide on F344/N rats and B6C3F1 mice with 2-week and 13-week inhalation exposures. **Toxicology Science**, Oxford, v. 15, n. 2, p. 308-319, ago 1990.

MIRANDA, M. Z.; MORI, C.; LORINI, I. **Qualidade comercial trigo brasileiro: Safra 2006**. Passo Fundo: EMBRAPA, 2009.

MU, C.; GUOA, J.; LIB, X.; LINC, W.; LI, D. Preparation and properties of dialdehyde carboxymethyl cellulose crosslinked gelatin edible films. **Revista Food Hydrocolloids**. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X1100261X>. Acesso em: 01 de setembro de 2016.

NAYUDAMMA, Y.; JOSEPH, K. T.; BOSE, S. M. Studies on the interaction of collagen with dialdehyde starch. **American Leather Chemists Association Journal**, Lubbock, v. 56, n. 10, p. 548–567, 1961.

NIELSEN, H. C.; BABCOCK, G. E.; SENTI, F. R. Molecular weight studies on glutenin before and after disulfide-bond splitting. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 96, n. 2, p. 252-258, fev. 1962.

ORLIAC, O.; ROUILLU, A.; SILVESTRE, F.; RIGAL, L. Effect of additives on the mechanical properties, hydrophobicity and water uptake of termo-moulded films produced from sunflower protein isolate. **Polymer**, v. 43, p. 5417-5425, 2002.

PARK, S. K.; BAE, D. H.; RHEE, K. C. Soy protein biopolymers cross-linked with glutaraldehyde. **Journal of the American Oil Chemist Society**, v. 77, n. 8, p. 879-883, 2000.

PARRIS, N.; COFFIN, D. R. Composition factors affecting the water vapour permeability and tensile properties of hydrophilic zein films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, p. 1596-1599, 1997.

PIZZINATTO, A. **Qualidade da farinha de trigo: conceito, fatores determinantes e parâmetros de avaliação e controle**. Campinas: Cereal Chocotec, 1999.

PYCIA, K.; JUSZCZAK, L.; GALKOWSKA, D.; WITCZAK, M.; JAWORSKA, G. Maltodextrins from chemically modified starches. Selected physicochemical properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 146, p. 301-309, 2016.

PYLER, E. J.; GORTON, L. A. **Baking Science and Technology**. Volume I: Fundamentals & Ingredients. 4 ed. Kansas City: Sosland Publising Company, 2008.

SALMI, T.; TOLVANEN, P.; WÄRNA, J.; MÄKI-ARVELA, P.; MURZIN, D.; SOROKIN, A. Mathematical modeling of starch oxidation by hydrogen peroxide in the presence of an iron catalyst complex. **Chemical Engineering Journal**, v. 146, p 19-25, 2016.

SANGSEETHONG, K.; TERMVEJSAYANON, N.; SRIROTH, K. Characterization of physicochemical properties of hypochlorite- and peroxide-oxidized cassava starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 82, p 446-453, 2010.

SANTOS, L. D.; REGAN, R. M. Use DoughLab high speed method to measure affect of reductants and oxidizers on dough mixing. 2015. 15 f. **Trabalho de Estágio Curricular da Kansas States University**, Manhattan, 2015.

SCHEUER, P. M.; FRANCISCO, A.; MIRANDA, M. Z.; LIMBERGER, V. M. Trigo: características e utilização na panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 211-222, 2011.

SLAVIN, J.L.; JACOBS, D.; MARQUART, L. Grain processing and nutrition. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 21, p 49-66, 2001.

SMITH, R. J. **Characterization and analysis of starches**. In: WHISTLER, R.L.; PASCHALL, E.F. Starch: chemistry and technology, New York Academic Press, v.2: Industrial aspects, p.569-635, Nova Iorque, 1967.

SILVA, A. L. Aplicação de amido oxidado de mandioca como ingrediente em panificação. 2013. 42 f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) Universidade Tecnológica Federal do Paraná**, Campo Mourão, 2013.

SILVA, D. M.; NUNES, C.; PEREIRA, I.; MOREIRA, A. S. P.; DOMINGUES, M. R. M.; COIMBRA, M. A.; GAMA, F. M. Structural analysis of dextrans and characterization of dextrin-based biomedical hydrogels. **Carbohydrate Polymers**, v. 114, p. 458-466, 2014.

SLUIMER, P. **Principles of breadmaking. Functionality of Raw Materials and Process Steps**. Saint Paul: AACC, 2005.

SOROKIN, A. B.; KACHKAROVA-SOROKINA, S. L.; DONZÉ, C.; PINEL, C.; GALLETZOT, P. From native starch to hydrophilic and hydrophobic products: a catalytic approach. **Topics in Catalysis**, v. 27, p. 67–76, 2004.

STAUFFER, C. **Functional additives for bakery foods**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.

STEAR, C. **Handbook of breadmaking technology**. New York: Elsevier Applied Science, 1990.

SULLIVAN, B.; HOWE, M.; SCHMALZ, F. D.; ASTELEFORD, G. R. The action of oxidizing and reducing agents on flour. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 17, p. 507-528, 1940.

TOLVANEN, P.; MÄKI-ARVELA, P.; SOROKIN, A.B.; SALMI, T.; MURZIN, D. Y. Kinetics of starch oxidation using hydrogen peroxide as an environmentally friendly oxidant and an iron complex as a catalyst. **Chemical Engineering Journal**, v. 154, p. 52-59, 2009.

WALTER, R. H. **Polysaccharide Dispersions: Chemistry and Technology in Food**. San Diego: Academic Press, 1997.

WILSON, R.H. Utilization and toxicity of dialdehyde- and dicarboxyl-starches. **Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine**, Nova lorque, v. 102, n. 3, p. 735–737, 1959.

ZHANG, Y. R.; ZHANG, S. D.; WANG, X. L.; CHEN, R. Y.; WANG, Y. Z. Effect of carbonyl content on the properties of thermoplastic oxidized starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 78, p. 157–161, 2010.