

INSTITUTO FEDERAL MINAS GERAIS CAMPUS BAMBUÍ

Maria Silveira Costa

**INFLUÊNCIA DE ALFA AMILASES FÚNGICAS NA TEXTURA DE PÃO DE  
FORMA**

BambuÍ/MG  
2022

MARIA SILVEIRA COSTA

**INFLUÊNCIA DE ALFA AMILASES FÚNGICAS NA TEXTURA DE PÃO DE  
FORMA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia de Alimentos do Instituto Federal de Minas Gerais campus Bambuí para obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Gustavo Augusto Lacorte

Bambuí/MG  
2022

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí

C837i Costa, Maria Silveira.  
Influência de alfa amilases fúngicas na textura de pão de forma. /  
Maria Silveira Costa. – 2022.  
52 f.; il.: color.

Orientador: Gustavo Augusto Lacorte.  
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí,  
MG, Curso Bacharelado em Engenharia de Alimentos, 2022.

1. Firmeza. 2. Amilase fúngica. 3. Envelhecimento. I. Lacorte, Gustavo  
Augusto. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de  
Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. III. Título.

CDD 641.815

Elaborada por Douglas Bernardes de Castro- CRB-6/2802

MARIA SILVEIRA COSTA

**INFLUÊNCIA DE ALFA AMILASES FÚNGICAS NA TEXTURA DE PÃO DE  
FORMA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia de Alimentos do Instituto Federal de Minas Gerais campus Bambuí para obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Alimentos.

Aprovado em 05 de agosto de 2022.

---

Prof. Gustavo Augusto Lacorte (Orientador – IFMG Bambuí)

---

Prof. Dr. Rogério Amaro Gonçalves (IFMG Bambuí)

---

Prof. Jéssica Ferreira Rodrigues (IFMG Bambuí)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS  
Campus Bambuí  
Diretoria de Ensino  
Departamento de Ciências e Linguagens  
Faz. Varginha - Rodovia Bambuí/Medeiros - Km 05 - Caixa Postal 05 - CEP 38900-000 - Bambuí - MG  
37 3431 4900 - www.ifmg.edu.br

## FOLHA DE APROVAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso: **INFLUÊNCIA DE ALFA AMILASES FÚNGICAS NA TEXTURA DE PÃO DE FORMA**

Aluno (a): **MARIA SILVEIRA COSTA**

Data de aprovação: **25/08/2022**

Banca Examinadora:

- Orientador: Professor **GUSTAVO AUGUSTO LACORTE** - **IFMG** – *campus Bambuí*
- Membro: Professor **ROGÉRIO AMARO GONÇALVES** - **IFMG** - *campus Bambuí*
- Membro: Professora **JÉSSICA FERREIRA ROGRIGUES** - **UFLA**

Bambuí, 31 de agosto de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Augusto Lacorte**, Professor, em 31/08/2022, às 14:20, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Jessica Ferreira Rodrigues**, Professora, em 31/08/2022, às 14:43, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Rogério Amaro Gonçalves**, Professor, em 01/09/2022, às 09:39, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador 1306433 e o código CRC FE887147.

23209.003182/2021-72

1306433v1

## RESUMO

O pão é um alimento básico muito importante em todo o mundo e desempenha um papel significativo na dieta humana. Durante o armazenamento, ocorrem várias alterações físico-químicas complexas, que são coletivamente chamadas de envelhecimento. O envelhecimento do pão leva a uma aceitação reduzida do consumidor e, portanto, a grandes quantidades de desperdício e perdas econômicas para a indústria e consumidores. Várias técnicas têm sido utilizadas para minimizar este problema. Mas, até agora, a abordagem enzimática é a mais bem-sucedida, dentre elas a aplicação de amilases. A alfa-amilase fúngica é utilizada para compensar o baixo teor natural de amilase e carboidratos fermentáveis; sua adição suplementar estimula o crescimento do fermento, melhorando o crescimento da massa e a qualidade do pão, além de contribuir para retardar o processo de envelhecimento do pão. No mercado existe a disponibilidade de alfa-amilases fúngicas com diferentes atividades enzimáticas, o que impacta no manuseio, volume de transporte e estocagem, dosagem, qualidade do produto final e principalmente no custo. Dentro deste contexto, este estudo tem como objetivo avaliar a influência de alfa amilases fúngicas com diferentes atividades enzimáticas sobre os parâmetros relacionados com a textura do pão de forma no decorrer de 21 dias de armazenamento. Os pães foram produzidos em uma indústria de panificação da região, em junho de 2022 sob as mesmas condições ambientais e de processo, variando o tipo de amilase fúngica de acordo com a atividade enzimática – amostras comerciais. Foram realizados 4 testes/bateladas, identificados como T1, T2, T3 e T4, com zero amilase fúngica, com amilase fúngica de 40U, com amilase fúngica de 100U e com amilase fúngica de 140U, respectivamente. Os pães foram armazenados em grades plásticas em temperatura ambiente, local fresco e arejado e avaliados nos tempos 0, 7, 14 e 21 dias. A análise do perfil de textura instrumental (TPA) foi realizada nos pães através do método oficial AACC 74-09. O uso da alfa amilase fúngica, independente do poder enzimático, afetou negativamente os cinco parâmetros de textura analisados, tais quais: firmeza, coesividade, gomosidade, mastigabilidade e resiliência. Portanto, não se recomenda seu uso em pães de forma armazenados por até 21 dias.

**Palavras-chaves:** Firmeza. Amilase fúngica. Retrogradação. Envelhecimento. Textura.

## ABSTRACT

Bread is a very important staple food around the world and plays a significant role in the human diet. During storage, several complex physicochemical changes occur, which are collectively called aging. Bread aging leads to reduced consumer acceptance and therefore large amounts of waste and economic losses for the industry and consumers. Several techniques have been used to minimize this problem. But, so far, the enzymatic approach is the most successful, among them the application of amylases. Fungal alpha-amylase is used to compensate for the naturally low content of amylase and fermentable carbohydrates; its supplementary addition stimulates yeast growth, improving dough growth and bread quality, as well as helping to slow down the bread's aging process. In the market, there is availability of fungal alpha-amylases with different enzymatic activities, which impacts on handling, volume of transport and storage, dosage, quality of the final product and mainly on cost. Within this context, this study aims to evaluate the influence of fungal alpha amylases with different enzymatic activities on the parameters related to the texture of loaf bread during 21 days of storage. The breads were produced in a bakery in the region, in June 2022, under the same environmental and process conditions, varying the type of fungal amylase according to the enzymatic activity - commercial samples. Four tests/batch were performed, identified as T1, T2, T3 and T4, with zero fungal amylase, with fungal amylase of 40U, with fungal amylase of 100U and with fungal amylase of 140U, respectively. The breads were stored in plastic crates at room temperature, in a cool and airy place and evaluated at 0, 7, 14 and 21 days. The analysis of the instrumental texture profile (TPA) was performed on the breads using the official method AACC 74-09. The use of fungal alpha amylase, regardless of the enzymatic power, negatively affected the five texture parameters analyzed, such as: firmness, cohesiveness, gumminess, chewiness and resilience. Therefore, its use in loaves of bread stored for up to 21 days is not recommended.

**Keywords:** Firmness. Fungal amylase. Retrogradation. Aging. Texture.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Panificação.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Trigo .....</b>	<b>11</b>
<i>2.2.1 Estrutura do grão de trigo.....</i>	<i>12</i>
<i>2.2.2 Composição do grão de trigo .....</i>	<i>13</i>
<i>2.2.3 Classificação do grão de trigo.....</i>	<i>15</i>
<i>2.2.4 Farinha de trigo .....</i>	<i>16</i>
2.2.4.1 Composição da farinha de trigo .....	17
2.2.4.2 Tipos de farinha de trigo .....	18
<b>2.3 Amido .....</b>	<b>18</b>
<i>2.3.1 Gelatinização do amido.....</i>	<i>21</i>
<i>2.3.2 Retrogradação do amido .....</i>	<i>24</i>
<b>2.4 Enzimas.....</b>	<b>26</b>
2.4.1 Amilases.....	29
<b>2.5 Textura .....</b>	<b>32</b>
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1 Produção dos pães.....</b>	<b>34</b>
<b>3.2 Enzimas.....</b>	<b>34</b>
<b>3.3 Análise do perfil de textura .....</b>	<b>34</b>
<b>3.4 Análise estatística .....</b>	<b>36</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>37</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>44</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>45</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O pão é um alimento básico muito importante em todo o mundo e desempenha um papel significativo na dieta humana. A vida útil do pão é bastante curta, é um dos alimentos processados com menor prazo de validade (CHEN et al., 2021). Durante o armazenamento, ocorrem várias alterações físico-químicas complexas, que são coletivamente chamadas de envelhecimento. O pão perde gradualmente o aroma agradável e a crosta crocante, além disso a rigidez do miolo aumenta e a resiliência diminui, resultando em um produto percebido mais firme e seco (GOESAERT, 2009).

Embora o envelhecimento do pão tenha sido estudado por muitos anos, o mecanismo exato deste processo ainda não é totalmente compreendido, especialmente no nível molecular. As causas mais plausíveis responsáveis pelo endurecimento do pão são a transformação do amido, a interação amido-glúten e a redistribuição de umidade. Ao envelhecer, as moléculas de amido passam por diferentes processos de reassociação e reordenamento, chamados de retrogradação (FADDA et al., 2014).

O envelhecimento do pão leva a uma aceitação reduzida do consumidor e, portanto, a grandes quantidades de desperdício e perdas econômicas para a indústria e consumidores. Em resposta, diversas pesquisas têm sido realizadas e várias estratégias estabelecidas para reduzir o envelhecimento e prolongar a vida útil do pão – este é o maior desafio das indústrias produtoras de pães embalados. Entre elas, as abordagens enzimáticas são de grande interesse, pois são ecologicamente corretas, biodegradáveis, eficientes e altamente específicas. Até agora, a abordagem enzimática mais bem-sucedida na redução da taxa de envelhecimento do pão é a aplicação de amilases. As amilases têm sido associadas a um maior volume do pão, estrutura do miolo melhorada e impedimento da retrogradação do amido (CHEN et al., 2021).

Entre as amilases temos a alfa e beta amilase, glucoamilase, isoamilase ou pululanase. Sendo as alfa-amilases de maior utilização na panificação, por serem agentes antienvhecimento muito eficazes. É uma enzima hidrolítica extracelular presente em plantas e produzida por várias bactérias, leveduras e fungos. Estas amilases têm características diferentes, principalmente em relação a faixa térmica e pH ótimo de atividade.

Os produtos antienvhecimento contendo amilase consistem principalmente em alfa-amilases bacterianas ou fúngicas com termo estabilidade intermediária (BOWLES, 1996). A alfa-amilase fúngica é utilizada para compensar o baixo teor natural de amilase e carboidratos fermentáveis; sua adição suplementar estimula o crescimento do fermento, melhorando o

crescimento da massa e a qualidade do pão, além de contribuir para retardar o processo de envelhecimento do pão (HOPEK, ZIOBRO, ACHREMOWICZ, 2006).

Ainda, no mercado de aditivos, ingredientes e coadjuvantes de panificação existe a disponibilidade de alfa-amilases fúngicas com diferentes atividades enzimáticas, o que impacta no manuseio, volume de transporte e estocagem, dosagem, qualidade do produto final e principalmente no custo.

Dentro deste contexto, este estudo tem como objetivo avaliar a influência de alfa amilases fúngicas com diferentes atividades enzimáticas sobre os parâmetros relacionados com a textura do pão de forma durante 21 dias de armazenamento.

## **2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO**

### **2.1 Panificação**

A panificação está entre os seis maiores segmentos da indústria do Brasil, com participação de 36% na indústria de produtos alimentares e 6% na de transformação. O consumo de pães nos Estados Unidos é uma referência para os empreendedores do setor de panificação do Brasil, as estatísticas mostram que 77% dos consumidores preferem os alimentos prontos para o consumo; 76% buscam alimentos que precisam apenas esquentar e comer; 65% dão preferência aos embalados para viagem; 64% buscam alimentos que não requerem utensílios; 33% dos consumidores preparam seus alimentos em casa (SEBRAE, 2017).

Apesar do ano de 2020 ter sido marcado pela pandemia do novo coronavírus, com diversos decretos de suspensão de atividades, restrições aos atendimentos presenciais, e uma crise econômica e social que atingiu de norte a sul o país, a Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria (Abip) avalia que o setor conseguiu minimizar os grandes efeitos colaterais da crise, frente aos demais segmentos. Com expertise, integração, associativismo e criatividade a panificação brasileira se reinventou, seguiu ao máximo as demissões e não deixou de inovar (ABIP, 2021).

A apuração de dados permitiu inferir uma queda no segmento da ordem de 3,3%, em 2020 (sem descontar a inflação). Números relevantes, porém, brandos diante da profunda recessão enfrentada pelo Brasil. O setor conseguiu faturar em 2020: R\$ 91,94 bilhões. Os dados também mostram que o faturamento com a produção própria ainda é o fator que puxa o crescimento do setor. No entanto, o destaque é para o crescimento dos produtos de revenda durante a pandemia em 88,89% das empresas pesquisadas (ABIP, 2021).

O setor de panificação tem se fortalecido ano após ano no Brasil. Com a implantação de novas tecnologias, técnicas de preparo e execução e investimentos em cursos de aperfeiçoamento, os profissionais do setor têm conseguido resultados crescentes para a economia brasileira (ABIP, 2021).

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria do Trigo (Abitrigo) o consumo de trigo no Brasil se manteve dentro dos 12 milhões de toneladas em 2020 e aumentou o seu valor de venda. Como reflexo do aumento dos insumos e custos do produto, grande parte das empresas de panificação e confeitaria realizaram ajustes nos preços do pão francês em 2020. Os aumentos variaram de 15,94% a 1,38%, de acordo com a localização e porte do empreendimento (ABIP, 2021).

O atual cenário político, econômico, social e de saúde pública tem exigido do setor de panificação e confeitaria uma nova adaptação e reposicionamento no mercado, com uma estrutura mais ágil, integrada e enxuta. O impacto da pandemia do novo coronavírus na economia brasileira atingiu desde o pequeno panificador até o grande industrial (ABIP, 2021).

É importante frisar que o mercado está vivendo um momento de recuperação gradativa e com novos hábitos de consumo. Com cautela os panificadores brasileiros precisam analisar seu público-alvo e sua localidade para determinar quais necessidades, produtos e sistemas devem ser mantidos, descartados ou aprimorados no pós-covid-19 (ABIP, 2021).

## 2.2 Trigo

A cultura de cereais surgiu há 11 mil anos a.C. no Oriente Próximo, no Oriente Médio e depois na Europa, com a revolução neolítica. Representou a expressão de uma mudança social e ideológica que acarretou modificações na relação entre o homem e o meio. Surgia a necessidade de intensificar a produtividade das principais espécies consumidas, dentre elas o trigo, em decorrência do desequilíbrio entre a demografia humana e os recursos alimentares. Como resposta, iniciou-se a especialização da agricultura (CAUVIN, 1994).

O trigo era inicialmente consumido em grãos, em forma de papa, misturado com peixes e frutas. Por volta de 4.000 a.C., os egípcios descobriram o processo de fermentação do cereal e, a partir dessa descoberta, produziram o pão. O grão espalhou-se pelo mundo e, cerca de 2.000 a.C., os chineses o utilizavam também para elaborar farinha, macarrão e pastéis (FLANDRIN; MONTANARI, 1998).

O trigo (*Triticum aestivum*) é um cereal cultivado em todo o mundo e pertence à família das gramíneas *Poacea*. É uma planta cultivada durante o inverno e primavera, de ciclo anual. O grão de trigo, depois de processado, pode ser destinado ao consumo humano sob várias formas – pão, massa alimentícia, bolos ou biscoitos – podendo também servir para ração animal se for de qualidade inferior (MARTINS et al., 2012).

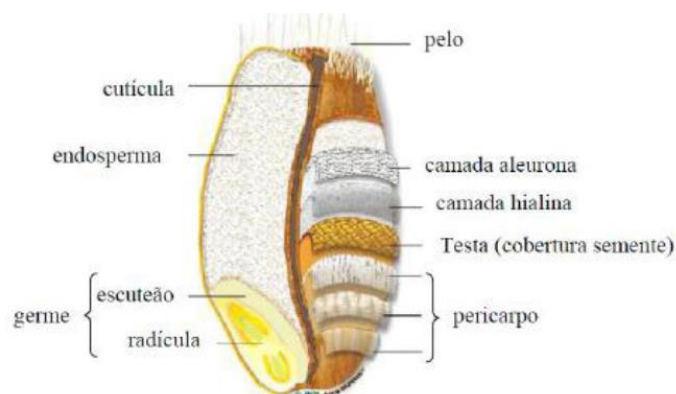
O trigo tem como espécies o *aestivum* (trigo comum, 80% da produção mundial, faz pão), o *compactum* (usado em biscoitos e em bolos mais macios) e o *durum* (para massas, com glúten mais resistente, fazendo textura firme após cozimento). Junto com o milho e com o arroz, o trigo é um dos três cereais mais consumidos no planeta, que, em produção mundial, perde apenas para o milho e tem o triplo de produção em relação à soja. O Brasil é o décimo sexto produtor, sétimo importador e décimo primeiro consumidor mundial de trigo. (ABITRIGO, 2020).

### 2.2.1 Estrutura do grão de trigo

As diferentes variedades de trigo se distinguem pela altura das plantas, produtividade, conteúdo de endosperma, proporção de proteínas na farinha, qualidade da proteína, resistência a diversas doenças e adaptabilidade a solos ácidos, requerimentos climatológicos e pela aparência física (ABITRIGO, 2020). A relação entre esses diversos fatores ambientais e os diferentes genótipos, repercute nas propriedades funcionais (GEORGET et al., 2005) e, principalmente, na qualidade de processamento do trigo, como moagem e elaboração dos produtos (CARCEA et al., 2006), mais especificamente com relação à variação do grau de elasticidade do glúten, o que afeta sobremaneira a fermentação dos pães (SHEWRY et al., 1998).

O grão de trigo é uma cariopse de forma ovalada, arredondada nas extremidades, como pode ser visualizado na Figura 01. É composto por um determinado número de tecidos diferentes: o gérmen (ou embrião); o endosperma, que é envolto com grãos de amido para fornecer energia para a germinação; uma espessa camada de aleurona, encerrando o endosperma com paredes de célula; e o pericarpo. Por peso, o trigo é composto de pericarpo/casca (14-16% do grão), gérmen ou embrião (2-3%), e endosperma central (principalmente amido- 81-84%) (POMERANZ, 1988).

Figura 01 - Estrutura esquemática do grão de trigo



Fonte: Adaptado de Hemery et al., 2007

Durante o processo de moagem o grão é fragmentado e são obtidos o farelo, o endosperma e o gérmen, considerados matérias-primas para a indústria. O farelo de trigo é formado pelo pericarpo, que constitui a camada mais externa e protetora do grão, rica em fibras e minerais, e pela camada de aleurona (ATWELL, 2001). A camada de aleurona, apesar de ser botanicamente considerada parte externa do endosperma, para a maioria dos moinhos é

um dos constituintes do farelo (GWIRTZ et al., 2014). Esta camada contém vitaminas do complexo B e metade do conteúdo mineral presente no grão de trigo (JAEKEL, 2013).

O endosperma dá origem à farinha de trigo branca propriamente dita. Representa aproximadamente 75-80% do peso do grão e é constituído, em média, por 88% de carboidratos, formados basicamente pelo amido na forma de amilose e amilopectina (GWIRTZ et al., 2014).

O gérmen é o embrião que dá origem a uma nova planta. Representa cerca de 3% do peso do grão e é uma das mais ricas fontes de vitaminas do complexo B e E, possuindo, também, teor considerável de proteínas, lipídios e minerais (LEON; ROSELL, 2007). O gérmen é usualmente removido durante o processo de extração por conter lipídios que limitam a manutenção da qualidade da farinha (GWIRTZ et al., 2014).

### 2.2.2 Composição do grão de trigo

A composição química do grão de trigo pode variar conforme a região, as condições de cultivo e o ano da colheita (LEON; ROSELL, 2007). O conteúdo de nutrientes do grão e de suas frações influencia as características funcionais e tecnológicas do produto e, em conjunto com as propriedades estruturais e a microbiota presente, define a qualidade da farinha de trigo (MOUSIA et al., 2004).

De forma geral, a farinha de trigo é composta sobretudo de amido (70 a 75%), água (12 a 14%), proteínas (8 a 16%) e outros constituintes menores, como polissacarídeos não amiláceos (2 a 3%), lipídeos (2%) e cinzas (1%); assim, as quantidades e as diferentes características das composições a partir de diversas cultivares, influenciarão a qualidade da farinha de trigo (MORITA et al., 2002). A composição química do grão de trigo integral, do farelo, do endosperma e do gérmen pode ser visualizada na Tabela 01.

Tabela 01–Composição química do grão de trigo integral, farelo, endosperma e gérmen (% bs)

Parâmetro	Grão integral	Farelo	Endosperma	Gérmen
Peso	100	17	80	3
Carboidratos	82	61	88	56
Proteínas	12	11	10	26
Lipídeos	2	5	1	10
Fibra total	2	14	>0,5	3
Cinzas	1,5	9	0,5	5

Fonte: Gwirtz et al., 2004 apud CONAB, 2017.

Os carboidratos do grão de trigo na forma de amilose e amilopectina são responsáveis pela formação de géis (CHEFTEL; CHEFTEL, 1992 apud SCHEUER et al., 2011) que proporcionam grande potencial na modificação da textura e, conseqüentemente, na qualidade dos produtos elaborados (HUNG et al., 2006 apud SCHEUER et al., 2011). Essas estruturas sofrem transformações quando são submetidas ao tratamento térmico, destacando-se a gelatinização e a retrogradação (BELITZ; GROSCH, 1999 apud LEON; ROSELL, 2007), que dependerão, dentre outros fatores, da proporção de amilose/amilopectina (LEON; ROSELL, 2007).

As proteínas presentes no grão de trigo são divididas em proteínas solúveis – albuminas e globulinas – e proteínas de reserva – gliadina e glutenina. As proteínas de reserva, quando hidratadas e submetidas ao trabalho mecânico, dão origem ao glúten, principal responsável pela funcionalidade do trigo ao proporcionar propriedades viscoelásticas à massa, tornando-a apropriada à elaboração de produtos panificáveis (BUSH, 1998 apud WANG et al., 2007 apud SCHEUER et al., 2011).

Os lipídios do grão de trigo estão presentes principalmente no gérmen e são formados, em sua maioria, por ácidos graxos insaturados, que representam de 72% a 85% do total (LEON; ROSELL, 2007).

Os minerais estão presentes em uma pequena proporção no grão de trigo, sendo sua presença ainda menor no endosperma, o que pode ser comprovado pelo teor de cinzas especificado na Tabela 1. Os minerais presentes em maior quantidade são fósforo, potássio, magnésio e cálcio, sendo encontrados, também, cobre, ferro, manganês, zinco (ARAÚJO et al., 2008) e quantidade significativa de selênio (LYONS et al., 2005 apud SCHEUER et al., 2011).

Considerando que a maioria dos componentes promotores de saúde presentes no grão (fibras, minerais, vitaminas, antioxidantes naturais e aminoácidos) é encontrada no farelo e no gérmen, o consumo de produtos obtidos a partir de farinha de trigo de grão integral traz maiores benefícios à saúde quando comparado aos produtos que utilizam farinhas oriundas apenas do endosperma. O percentual desses constituintes pode ser até 75% maior em grão integral quando comparado aos cereais refinados (HIRAWAN et al., 2010; JAEKEL, 2013). A farinha oriunda do trigo integral é uma boa fonte de fibra, especialmente de fibra insolúvel, que contribui para o funcionamento adequado do trato gastrointestinal (RANHOTRA, 1994 apud LEON; ROSELL, 2007).

### 2.2.3 Classificação do grão de trigo

As diferentes variedades se distinguem pela altura das plantas, produtividade, conteúdo de endosperma, proporção de proteínas na farinha, qualidade da proteína, resistência a diversas doenças e adaptabilidade a solos ácidos, requerimentos climatológicos e pela aparência física (ABITRIGO, 2020). A relação entre esses diversos fatores ambientais e os diferentes genótipos, repercute nas propriedades funcionais (GEORGET et al., 2008) e, principalmente, na qualidade de processamento do trigo, como moagem e elaboração dos produtos (CARCEA et al., 2006), mais especificamente com relação à variação do grau de elasticidade do glúten, o que afeta sobremaneira a fermentação dos pães (SHEWRY et al., 1998).

Segundo a legislação brasileira vigente, Instrução Normativa MAPA 38/2010, os requisitos de qualidade do trigo são definidos em função da força do glúten, da estabilidade, do peso do hectolitro, do número de queda e dos limites máximos de tolerância de defeitos. O trigo, de acordo com o uso proposto, será classificado em dois grupos, sendo: grupo I - trigo destinado diretamente à alimentação humana; e grupo II - trigo destinado à moagem e a outras finalidades.

O trigo dos grupos I e II, de acordo com os limites máximos de tolerância de matérias estranhas e impurezas e dos defeitos é classificado em tipos (1, 2 e 3) podendo ainda ser enquadrado como Fora de Tipo e Desclassificado. O trigo do grupo II, de acordo com a força do glúten ou a estabilidade e o número de queda (Tabela 02), será classificado nas classes Trigo Melhorador, Trigo Pão, Trigo Doméstico, Trigo Básico e Trigo para Outros Usos.

Tabela 02 – Classificação do trigo do grupo II destinado à moagem e outras finalidades

Classes	Força do Glúten (valor mínimo expresso em 10 <sup>4</sup> J)	Estabilidade (Tempo expresso em minutos)	Número de Queda (Valor mínimo expresso 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. Instrução Normativa MAPA nº 38 de 30 de novembro de 2010.

### 2.2.4 Farinha de trigo

Na indústria, o trigo se destaca pela utilização da sua farinha como matéria-prima principal para a fabricação de produtos panificáveis. A farinha de trigo é obtida por meio da moagem e pode ser definida como a redução do endosperma ao pó, com a separação ou não do farelo e do gérmen (COSTA et al., 2008).

De acordo com a legislação vigente, Instrução Normativa MAPA 8/2005, farinha de trigo é o produto elaborado com grãos de trigo (*Triticum aestivum* L.) ou outras espécies de trigo do gênero *Triticum*, ou combinações por meio de trituração ou moagem e outras tecnologias ou processos.

O desempenho da farinha na indústria está relacionado às suas propriedades reológicas, como viscosidade (resistência que o fluido apresenta ao escoamento), plasticidade (qualidade da matéria que pode ser moldada), elasticidade (capacidade de a matéria retornar ao estado original após sofrer uma deformação) e extensibilidade (capacidade de a matéria se esticar sem se romper). O conhecimento dessas propriedades é fundamental para o controle da qualidade efetuado na indústria (GUTKOSKI et al., 2008).

As propriedades reológicas da farinha estão relacionadas à rede de glúten, complexo insolúvel formado pela interação das proteínas de reserva gliadina e glutenina na presença de água e sob trabalho mecânico (amassamento). O glúten possui características únicas relacionadas à extensibilidade, proporcionada pela gliadina; e à elasticidade e à força, conferidas pela glutenina, capazes de gerar uma massa bastante elástica que se estende em todas as direções e se expande em várias vezes o seu volume original, permitindo o aprisionamento de bolhas de gás carbônico produzido durante a fermentação (SCHEUER et al., 2011).

A composição qualitativa e quantitativa das frações de glutenina e de gliadina influencia as propriedades reológicas da massa de trigo, mais especificamente a matriz viscoelástica do glúten (PRUSKA-KEDZIOR et al., 2008, apud SCHEUER et al., 2011).

Quanto à quantidade de proteínas formadoras do glúten, a farinha de trigo pode ser diferenciada em fraca ou forte. Uma farinha forte possui glúten com textura mais firme, absorve mais água, é mais resistente à fermentação e tende a crescer mais (COSTA et al., 2008).

A qualidade da farinha de trigo é influenciada não só por fatores inerentes ao próprio trigo – composição genética e condições de crescimento da planta – mas também por aqueles que estão relacionados com o processo de armazenamento e moagem do cereal em farinha

(QUEJI et al., 2006) – estima-se que 25% da qualidade da farinha é determinada pela tecnologia da moagem, o ajuste do moinho e as condições ambientais do processo e 75% pela qualidade do trigo (POSNER; HIBBS, 1997).

#### 2.2.4.1 Composição da farinha de trigo

A farinha de trigo é o principal ingrediente na panificação. Consiste principalmente em amido (70-75% em peso), água (14%), proteínas (10-12%), polissacarídeos não amiláceos (2-3%), em particular arabinosilanos, e lipídios (cerca de 2%). Durante as diferentes etapas do processo de panificação, ocorrem complexas transformações químicas, bioquímicas e físicas, que afetam e são afetadas pelos diversos constituintes da farinha (GOESAERT et al., 2005).

A composição da farinha de trigo abrange amido, água, proteínas, lipídeos, enzimas, dentre outros componentes minoritários. As proteínas no trigo correspondem a 15% de globulinas e albuminas e 85% de gliadina e glutenina. Com o processo de panificação, as proteínas formadoras de glúten interagem resultando em uma rede elástica responsável pela retenção de gases na fermentação e cocção, dando volume e textura característica do pão. O amido é formado por amilose e amilopectina que quando adicionado água e aquecido acima de 60° C acontece a gelatinização e quando resfriado forma micro cristais. Os lipídeos variam de 2 a 3,5% dependendo da extração da farinha (ESTELLER, 2004). Alfa-amilase, Beta-amilase e Glucoamilase são enzimas naturalmente presentes na farinha de trigo (HOSENEY, 1995 apud ESTELLER, 2004). A Tabela 03 apresenta a composição química da farinha de trigo com 72% de extração.

Tabela 03 – Composição química da farinha de trigo com 72% de extração

<b>Componente</b>	<b>%</b>
Umidade	11-14
Proteína	8-15
Lipídeos	0,8-1,1
Cinzas	0,44
Carboidratos	72-78
Amido	74-76
Açúcar	1,3-2,1
Fibras	0,3-0,4

Fonte: Ciacco e Chang, 1986 apud Zardo, 2010

#### 2.2.4.2 Tipos de farinha de trigo

Conforme Instrução Normativa MAPA 8/2005 a farinha de trigo é classificada em três tipos (1, 2 e integral) de acordo com os limites de tolerância do teor de cinzas, granulometria, teor de proteína, acidez graxa e umidade – como pode ser visualizado na Tabela 04. Também pode ser enquadrada como Fora de Tipo se não atender os requisitos estabelecidos.

Tabela 04 – Classificação da farinha de trigo conforme limites de tolerância

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

Fonte: Brasil, 2005. Instrução Normativa MAPA nº 8 de 2 de junho de 2005

A farinha de trigo deverá se apresentar limpa, seca e isenta de odores ou sabores estranhos ou impróprios ao produto. Não é permitida a comercialização de farinha de trigo que apresentar características macroscópicas, microscópicas, microbiológicas e substâncias nocivas à saúde acima dos limites estabelecidos por legislação específica vigente. A farinha de trigo pode ser comercializada a granel, ensacada ou empacotada. As embalagens utilizadas no acondicionamento da farinha de trigo podem ser de materiais naturais, sintéticos ou qualquer outro material apropriado, desde que sejam novos, limpos, atóxicos, que protejam o produto de dano interno ou externo e que não transmitam odores e sabores estranhos ao produto (BRASIL, 2005).

### 2.3 Amido

O amido encontra-se amplamente distribuído em diversas espécies vegetais como um carboidrato de reserva, sendo abundante em grãos de cereais (40% a 90% do peso seco), leguminosas (30% a 50% do peso seco), tubérculos (65% a 85% do peso seco) e frutas imaturas ou verdes (40% a 70% do peso seco) (LAJOLO & MENEZES, 2006). Ele é também

a fonte mais importante de carboidratos na alimentação humana, representando 80% a 90% de todos os polissacarídeos da dieta (WHO/FAO, 1998). Porém, sabe-se que a taxa e a extensão da digestão do amido no organismo humano podem ser influenciadas por diversos fatores, incluindo a variação na proporção amilose:amilopectina, o processamento dos alimentos e as propriedades físico-químicas, como gelatinização e retrogradação (BJÖRCK et al., 1994).

Além disso, o amido é o principal responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam grande parte dos produtos processados, uma vez que contribui para diversas propriedades de textura em alimentos, possuindo aplicações industriais como espessante, estabilizador de colóides, agente gelificante e de volume, adesivo, na retenção de água, dentre outros (SINGH et al., 2003).

Sendo formado nos plastídeos das plantas superiores, o amido é sintetizado nas folhas, onde serve como carboidrato de reserva temporário, acumulando-se nos cloroplastos durante o dia e servindo como fonte principal para a síntese de sacarose citosólica durante a noite. Essa sacarose é então transportada para os órgãos de armazenamento das plantas, como sementes, frutas, tubérculos e raízes (VANDEPUTTE & DELCOUR, 2004; TESTER et al., 2004).

Estruturalmente, o amido é um homopolissacarídeo composto por cadeias de amilose e amilopectina. A amilose é formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4, originando uma cadeia linear. Já a amilopectina é formada por unidades de glicose unidas em  $\alpha$ -1,4 e  $\alpha$ -1,6, formando uma estrutura ramificada. As proporções em que essas estruturas aparecem diferem em relação às fontes botânicas, variedades de uma mesma espécie e, mesmo numa mesma variedade, de acordo com o grau de maturação da planta (ELIASSON, 2004; TESTER et al., 2004).

O amido – principal forma de armazenamento de hidratos de carbono dos cereais – encontra-se apenas nas células do endosperma, variando no tamanho e forma dos grânulos dependendo do tipo de cereal (BELITZ et al., 2004), sendo o seu conteúdo na farinha de trigo variável (60-70%) consoante o grau de extração (POPPER et al., 2006).

O amido é composto por polímeros de glucose – amilose (molécula linear, de unidades de D-glucopiranosil em ligações  $\alpha$ -1,4, com um grau de polimerização de 500-6000 resíduos de glucose, com uma pequena fração ligeiramente ramificada por ligações  $\alpha$ -1,6) e amilopectina (polímero maior, com um grau de polimerização de  $3 \times 10^5$  -  $3 \times 10^6$  unidades de glucose, altamente ramificado, composto por cadeias de resíduos D-glucopiranosil em ligações  $\alpha$ -1,4 os quais estão interligados por ligações  $\alpha$ -1,6). O rácio entre amilose e amilopectina varia de amido para amido, mas os valores típicos são 25-28% de amilose e 72-

75% de amilopectina (GOESAERT et al., 2005), proporções estas que variam de acordo com as espécies e grau de maturação das plantas (QUEJI et al., 2006).

A amilose e a amilopectina variam na sua dimensão consoante a fonte de amido, podendo conter no máximo 6.000 e 2.000.000 unidades de glucose, respetivamente, sendo a amilopectina considerada por isso uma das maiores moléculas presentes na natureza (QUEJI et al., 2006).

A composição dos grânulos de amido divide-se geralmente numa parte amorfa central – constituída principalmente por cadeias de amilose e amilopectina (WANG et al., 2009) associadas através de ligações por pontes de hidrogénio, estabilizadas internamente por ligações glicosídicas entre as moléculas de glucose (QUEJI et al., 2006) – rodeada por uma parte semi-cristalina em anéis concêntricos que alternam com outros amorfos (WANG et al., 2009).

Durante a moagem dos grãos para obtenção de farinha, uma fração significativa dos grânulos de amido (8%) pode ser danificada, afetando a sua estrutura e conseqüentemente as suas propriedades; o amido danificado torna-se assim mais suscetível à hidrólise enzimática, absorve mais água e perde propriedades de birrefringência (GOESAERT et al., 2005). A severidade da moagem e a dureza do grão de trigo influenciam a quantidade de amido danificado, e quanto maior a quantidade de amido danificado, maior será a absorção de água durante a amassadura e a degradação enzimática do amido (BORGHT et al., 2005).

O processamento e subsequente armazenamento dos alimentos que contêm amido provocam mudanças que irão afetar as suas características nutricionais e de qualidade. As propriedades funcionais do amido são influenciadas por estas alterações que estão relacionadas com a captação de água, o inchamento do grânulo, formação de uma pasta viscoelástica durante o aquecimento, seguida, aquando do arrefecimento de uma reassociação das cadeias de amido dispersas, havendo a formação de um gel. Desta forma o amido tem implicações na humidade, viscosidade, textura, consistência, mouth-feel e tempo de prateleira do produto final (WANG et al., 2009).

Devido ao grande número de grupos hidroxilo expostos, o amido tem uma boa capacidade de hidratação (QUEJI et al., 2006) e assim, na presença de água, os grânulos incham sendo este processo reversível abaixo de uma determinada temperatura – temperatura de gelatinização (GOESAERT et al., 2005). Em água fria o grânulo absorve apenas 30% do seu peso em água devido à sua estrutura cristalina (QUEJI et al., 2006); contudo, quando a suspensão de amido é aquecida acima desta temperatura, dá-se a destruição irreversível da estrutura molecular do grânulo (GOESAERT et al., 2005) ocorrendo a quebra das ligações por

pontes de hidrogénio mais fracas entre a amilose e a amilopectina (QUEJI et al., 2006), formando-se uma pasta – os cristais derretem e a sua estrutura colapsa, as duplas hélices desenrolam e quebram-se as ligações de hidrogénio, sendo estas mudanças acompanhadas pela perda da birrefringência, característica dos grânulos intactos (WANG et al., 2009).

Com o arrefecimento, há uma nova reassociação – passagem de um estado amorfo para um estado mais ordenado ou cristalino – designando-se este processo de retrogradação. Inicialmente há uma rápida recristalização das moléculas de amilose – determina a dureza do gel e a viscosidade e digestibilidade dos alimentos processados – seguindo-se uma recristalização lenta das moléculas de amilopectina. Este processo de recristalização da amilopectina, que leva ao desenvolvimento a longo prazo da estrutura do gel, está relacionado com o envelhecimento do pão (WANG et al., 2009).

Assim, o retardamento ou inibição da retrogradação do amido – influenciada pelo conteúdo em água, fonte de amido, condições de armazenamento – é um grande desafio para a indústria alimentar. Outros componentes dos alimentos, como lipídeos, hidratos de carbono, sais, proteínas e peptídeos, podem retardar este processo indesejado. O conteúdo em água tem um grande efeito na gelatinização e retrogradação durante o armazenamento dos alimentos, sendo a retrogradação influenciada pelo conteúdo em amilose (WANG et al., 2009).

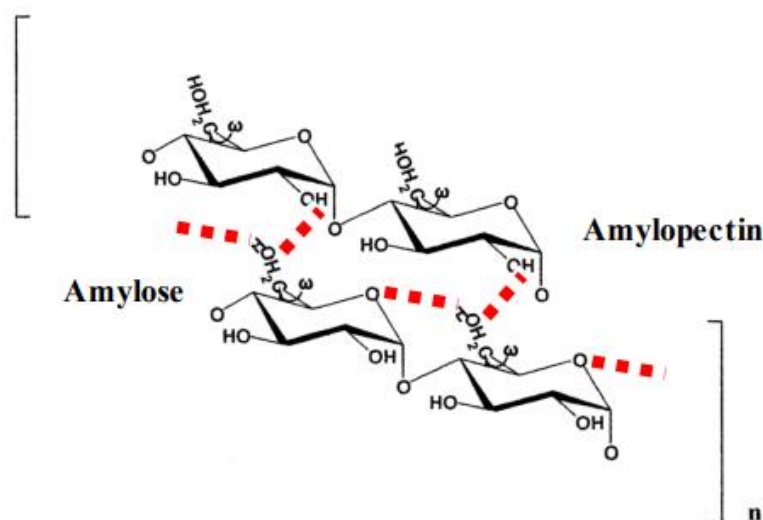
O amido absorve até cerca de 46% de água durante a preparação da massa, mas a sua função ainda não é clara: alguns autores sugerem que o amido atua na incorporação de água na matriz proteica da massa, enquanto outros indicam que a massa é uma rede contínua de amido e proteínas; estudos sugerem também que propriedades específicas da superfície do grânulo, assim como a presença de enzimas amilolíticas, podem influenciar o comportamento reológico das massas de farinha de trigo (GOESAERT et al., 2005).

### ***2.3.1 Gelatinização do amido***

Quando o amido entra em contato com a água fria, os grânulos incham ligeiramente (10 a 20%) devido à difusão e absorção de água nas regiões amorfas, mas esse processo é reversível pela secagem (WHO/FAO, 1998). No entanto, quando os grânulos são aquecidos em água, eles incham irreversivelmente num fenómeno denominado gelatinização (Figura 02), em que ocorre perda da organização estrutural (perda da birrefringência), com fusão dos cristais. Sabe-se que a gelatinização tem início no hilum e se expande rapidamente para a periferia, ocorrendo inicialmente nas regiões amorfas devido à fragilidade das ligações de hidrogénio nessas áreas, ao contrário do que ocorre nas regiões cristalinas (SINGH et al.,

2003). À medida que os grânulos continuam se expandindo, ocorre a lixiviação da amilose da fase intergranular para a fase aquosa, resultando no aumento substancial das propriedades reológicas do sistema. O conjunto de mudanças que envolvem a ruptura da estrutura granular, o inchamento, a hidratação e a solubilização das moléculas de amido é definido como o fim da gelatinização (THARANATHAN, 2002).

Figura 02 – Mecanismo de gelatinização do amido



Fonte: Tako et. al., 2014

Segundo SINGH et al. (2003), quando as moléculas de amido são aquecidas em excesso de água, a estrutura cristalina é rompida, e as moléculas de água formam pontes de hidrogênio entre a amilose e amilopectina, expondo seus grupos hidroxil, o que causa um aumento no inchamento e na solubilidade do grânulo. Esse poder de inchamento e solubilidade varia de acordo com a fonte do amido, fornecendo evidências da interação entre as cadeias de amido dentro dos domínios amorfos e cristalinos. A extensão destas interações é influenciada pela proporção amilose:amilopectina e pelas características dessas moléculas (distribuição e peso molecular, grau e comprimento de ramificações e conformação).

A gelatinização geralmente ocorre numa ampla faixa de temperatura característica para cada fonte de amido (ELIASSON, 1996; SINGH et al., 2003). Existem muitos fatores que afetam essa temperatura de gelatinização, sendo o principal deles a presença de água. Isso ocorre porque a água atua como agente plastificante nos cristais de amido, além de exercer efeito na condução de energia. Com isso, sua presença diminuirá a temperatura de transição vítrea, diminuindo conseqüentemente, a temperatura de fusão (desorganização) dos cristais

(ELIASSON, 1996) e aumentando a suscetibilidade do amido à digestão pelas amilases do trato gastrointestinal (BJÖRCK et al., 1994).

As propriedades de inchamento e gelatinização são controladas, em parte, pela estrutura molecular da amilopectina (comprimento de cadeia, extensão de ramificação, peso molecular), composição do amido (proporção amilose:amilopectina e teor de fósforo) e arquitetura granular (proporção de regiões cristalinas e amorfas). Normalmente, altas temperaturas de transição têm sido associadas a altos graus de cristalinidade, os quais fornecem a estabilidade estrutural e tornam os grânulos mais resistentes à gelatinização (SINGH et al., 2003).

Atualmente, várias técnicas têm sido utilizadas para avaliar o comportamento dos grânulos frente à gelatinização, tais como: difração de raios X, dispersão de nêutrons de pequeno ângulo, microscopia com luz polarizada e, principalmente, calorimetria diferencial de varredura (DSC – Differential Scanning Calorimetry). Além disso, alguns equipamentos também avaliam a viscosidade de pastas de amido, como o viscoamilógrafo Brabender, o visco-analisador rápido (RVA – rapid visco-analyser) e os viscosímetros de rotação, os quais dão uma idéia do comportamento do amido na gelatinização (SINGH et al., 2003; ELIASSON, 2004).

Devido à maior importância da amilopectina na cristalinidade do grânulo de amido, a presença da amilose reduz o ponto de fusão das regiões cristalinas e a energia necessária para o início da gelatinização, uma vez que mais energia é necessária para iniciar a fusão na ausência de regiões amorfas ricas em amilose. Essa correlação indica que amidos com maior conteúdo de amilose, por apresentarem mais regiões amorfas e menos regiões cristalinas, apresentam menores temperaturas de gelatinização.

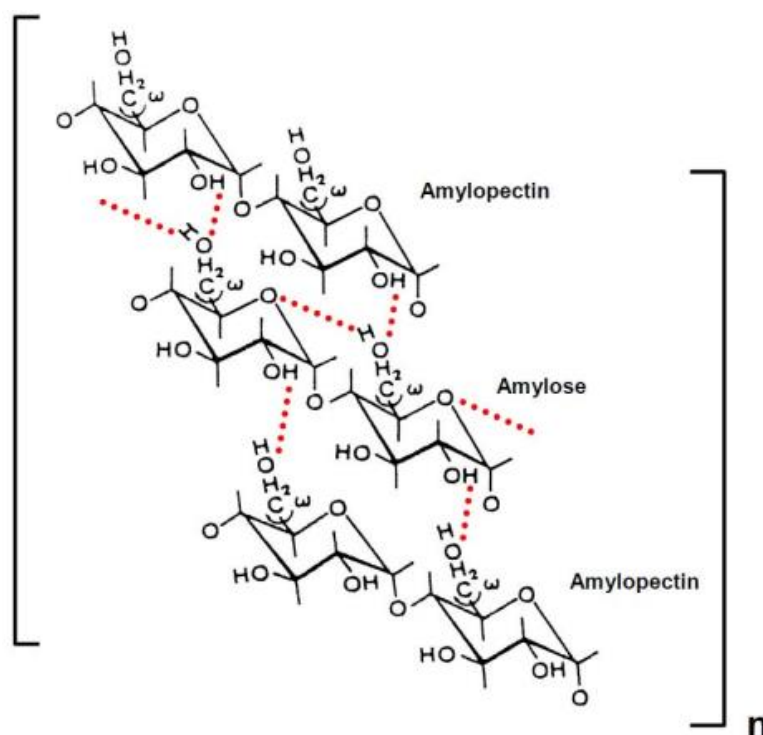
Entretanto, estudos realizados com amido de arroz têm encontrado resultados contraditórios com relação à influência da amilose nas propriedades de gelatinização (VANDEPUTTE et al., 2003a; VANDEPUTTE et al., 2003b). Além disso, as entalpias de gelatinização (expressas no amido ou com base na amilopectina) não estão relacionadas ou diminuem com o conteúdo de amilose. Porém, uma correlação negativa entre o conteúdo de amilose e as temperaturas de pico ( $T_p$ ) e de conclusão ( $T_c$ ) da gelatinização é observada no caso de amidos cerosos e não-cerosos de várias fontes botânicas. Várias hipóteses foram sugeridas para explicar esses resultados conflitantes. Uma delas seria que a amilose pode existir sob a forma de complexos com lipídios (LAM) ou livre (FAM). A LAM é mais estável ao longo de toda a variação de temperatura de gelatinização do DSC, aumentando a  $T_p$ , enquanto a FAM amorfa diminuiria a  $T_p$  (MORRISON, 1995). Esses resultados sugerem que

a FAM pode diminuir a temperatura de gelatinização de amidos normais. Além disso, esses resultados indicam que o aumento nas temperaturas de gelatinização no DSC com o conteúdo de amilose, para amidos de milho ricos em amilose, é possivelmente devido à cristalização conjunta da amilose com a amilopectina (VANDEPUTTE et al., 2003a).

### 2.3.2 Retrogradação do amido

Quando é armazenado e resfriado, o amido gelatinizado pode sofrer um fenômeno denominado de retrogradação (Figura 03). Com o passar do tempo, as moléculas do amido vão perdendo energia e as ligações de hidrogênio tornam-se mais fortes, assim, as cadeias começam a reassociar-se num estado mais ordenado. Essa reassociação culmina com a formação de simples e duplas hélices, resultando no enredamento ou na formação de zonas de junção entre as moléculas, formando áreas cristalinas. Como a área cristalizada altera o índice de refração, o gel vai se tornando mais opaco à medida que a retrogradação se processa (ELIASSON, 1996). A amilose que foi exsudada dos grânulos inchados forma uma rede por meio da associação com cadeias que rodeiam os grânulos gelatinizados.

Figura 03 – Mecanismo de retrogradação do amido



Fonte: Tako et. al., 2014

Como consequência, a viscosidade da pasta aumenta (viscosidade de setback), convertendo-se num sistema viscoelástico turvo ou em concentrações de amido suficientemente altas (>6% p/p) num gel elástico opaco (LAJOLO & MENEZES, 2006), em que, às vezes, ocorre precipitação de cristais insolúveis de amido levando à separação de fases. A forte interação das cadeias entre si promove a saída da água do sistema, sendo essa expulsão chamada de sinérese. As características de retrogradação da amilose e amilopectina são cineticamente diferentes. A amilose retrograda mais rapidamente, tendo forte tendência a reassociar-se por meio da formação de pontes de hidrogênio com outras moléculas de amilose adjacentes, formando estruturas cristalinas de duplas hélices quando a solução esfria e se mantém por longo período de tempo. A amilose apresenta endoterma de fusão de 140°C a 180°C, e a presença de ácidos graxos livres ou lipídios favorece a formação de complexos de inclusão. Por outro lado, a amilopectina retrograda numa taxa muito menor durante um longo período de tempo, e sua endoterma de fusão é menor, aproximadamente, 45°C a 60°C (WU & SARKO, 1978; PARKER & RING, 2001; THARANATHAN, 2002).

A retrogradação é um fenômeno complexo e varia de acordo com diversos fatores, como: temperatura e tempo de armazenamento, pH, fonte de amido, presença de outros componentes (lipídios, eletrólitos e açúcares) e condições de processamento. Sabe-se, por exemplo, que a repetição de ciclos congelamento-descongelamento acelera drasticamente a retrogradação e a sinérese. Porém, a principal influência da retrogradação é observada na textura, na aceitabilidade e na digestibilidade dos alimentos que contém amido (ELIASSON, 1996; THARANATHAN, 2002; ELIASSON, 2004). Com isso, pode-se destacar a influência do processo de retrogradação no envelhecimento de pães e produtos de panificação, bem como na perda de água (sinérese) de algumas sobremesas que utilizam o amido como espessante.

Quanto à digestibilidade, pode-se relacionar a retrogradação, principalmente da amilose, com menor disponibilidade de nutrientes às enzimas digestivas. Esse evento torna a digestão e a absorção, especialmente do amido, menor e/ou mais lenta, resultando em menor resposta glicêmica, situação desejável em diversos indivíduos, como aqueles com sobrepeso ou problemas de glicemia (BJÖRCK et al., 1994).

Alguns estudos têm mostrado que, como ocorre na gelatinização, algumas populações de cadeias de amilopectina podem favorecer (DP 12-22) ou inibir (DP 6-9; DP>25) a retrogradação da amilopectina devido à maior ou menor formação de duplas hélices durante a retrogradação (VANDEPUTTE & DELCOUR, 2004). Porém, a influência exata da amilose na retrogradação ainda permanece obscura. É possível sugerir que a fração amilose apresenta

um efeito sinérgico na retrogradação da amilopectina, atuando como um núcleo de recristalização no caso de baixos conteúdos de amilopectina (VANDEPUTTE et al., 2003c).

## 2.4 Enzimas

Enzimas são proteínas, polímeros de cadeia longa com aminoácidos sucessivamente ligados uns aos outros através de ligações peptídicas em uma sequência determinada geneticamente, que apresentam atividade catalítica. A atividade catalítica de enzimas tem sido utilizada pelo homem há milhares de anos em processos, tais como fermentação do suco de uva para obtenção do vinho, fabricação de queijo e pão. No entanto, estas eram apenas aplicações práticas, uma vez que o conhecimento do modo de ação dos catalisadores biológicos só foi elucidado recentemente, precedido por uma série de fatos que culminaram nos conhecimentos para utilização de enzimas em diferentes ramos da atividade humana (ENZIMAS EM PANIFICAÇÃO, 2009).

A evolução no estudo das enzimas, acompanhado por avanços tecnológicos, possibilitou o isolamento e a identificação das propriedades das enzimas. Desde então, vem sendo feita a caracterização e o estudo cinético de milhares de enzimas de diferentes fontes: animais, vegetais e de microrganismos. Tais avanços tornaram necessária a criação de uma Comissão Internacional de Enzima, pelos componentes da União Internacional de Bioquímica. Esta comissão reuniu-se, em 1956, para estabelecer critérios para a classificação e nomenclatura das enzimas, que eram classificadas e nomeadas arbitrariamente até então, causando problemas para os pesquisadores (ENZIMAS EM PANIFICAÇÃO, 2009).

As enzimas são produtos biológicos seguros, possuem a capacidade de substituir ingredientes químicos com numerosas vantagens, possibilitam a redução de açúcar e gordura utilizados sem reduzir a qualidade dos pães, que tem conseqüentemente efeitos diretos na saúde do consumidor (CARMIGNOLA, 2017).

Quimicamente, as enzimas são proteínas com uma estrutura química especial, contendo um centro ativo, denominado apoenzima e algumas vezes um grupo não protéico, denominado coenzima. À molécula toda (apoenzima e coenzima) é dada o nome de haloenzima. Dependendo de tipo de ligação, o grupo prostético pode ser separado da proteína por métodos brandos como, por exemplo, a diálise (ENZIMAS EM PANIFICAÇÃO, 2009).

Grande parte das proteínas sintetizadas na célula são enzimas, referidas como enzimas intracelulares, citoplasmáticas. Somente podem ser obtidas e avaliadas por rompimento da célula. Mas, esta também tem a capacidade de sintetizar enzimas que são excretadas para fora

da célula, podendo ser encontradas no meio de cultivo ou de propagação celular, lá sendo mais facilmente isoladas e avaliadas. Estas são sintetizadas, provavelmente, nos ribossomos ligados a membrana celular, de lá passando para fora sob forma linear, assumindo sua conformação própria e característica fora da célula (ENZIMAS EM PANIFICAÇÃO, 2009).

Quase todas as enzimas preparadas em escala industrial até hoje são extracelulares, porque seu isolamento dos meios ou caldos de cultivo é geralmente mais simples, embora se encontrem sob forma muito diluída nestes meios, o que pode tornar o seu isolamento muito dispendioso. Porém, a maior parte das enzimas é intracelular, porque lá são continuamente sintetizadas metabolicamente (ENZIMAS EM PANIFICAÇÃO, 2009).

Como fonte de enzimas, os vegetais tem sua limitação no fato de que relativamente pouca enzima pode ser extraída de uma grande massa vegetal; o que somente é econômico onde a mão-de-obra e terra tem custo menor. São poucas as enzimas que podem ser obtidas economicamente nestas condições. Entre elas, as proteínases, papaína, bromelina e ficina.

Enzimas microbianas, produzidas através do cultivo dirigido de microrganismos em substratos apropriados, não sofrem as limitações apontadas. Havendo disponibilidade dos insumos do substrato ou meio de cultura, sendo disponíveis e conhecidos o agente microbiano mais apropriado e o método e condução do cultivo, a produção é potencialmente ilimitada, dependendo da economia do respectivo processo (ENZIMAS EM PANIFICAÇÃO, 2009).

As enzimas são catalisadores muito potentes e eficazes. Um catalisador é uma substância que acelera uma reação química, até torná-la instantânea ou quase instantânea, ao diminuir a energia de ativação. Como catalisadores, as enzimas atuam em pequena quantidade e se recuperam indefinidamente. Não levam a cabo reações que sejam energeticamente desfavoráveis, não modificam o sentido dos equilíbrios químicos, mas aceleram sua realização (ENZIMAS EM PANIFICAÇÃO, 2009).

As enzimas podem ser classificadas de acordo com vários critérios. O mais importante foi estabelecido pela União Internacional de Bioquímica (IUB), e estabelece seis classes (Oxirredutases, Transferases, Hidrolases, Liases, Isomerases e Ligases).

As enzimas alimentares são usadas para a produção de um grande leque de produtos e ingredientes alimentícios. Podem tornar os alimentos mais nutritivos, mais saborosos, mais digestivos ou mais atraentes. São usadas também para aumentar a segurança e a preservação dos alimentos, contribuindo para sua maior durabilidade e para a redução da necessidade de aditivos. As principais enzimas envolvidas no processamento de alimentos são as oxirredutases e as hidrolases. As oxirredutases são enzimas relacionadas com as reações de óxido-redução em sistemas biológicos e, portanto, com os processos de respiração e

fermentação. Dentro desta classe de enzimas pode-se destacar a glucoseoxidase, catalase e lipoxigenase (ENZIMAS EM PANIFICAÇÃO, 2009).

As hidrolases são enzimas de baixa especificidade, como esterase e tioesterases, que hidrolisam um número muito grande de ésteres e tioésteres, embora com velocidades diferentes, enzimas de especificidade muito alta, como as glicosilfosfatases (enzimas glicosílicas) e as peptidases (enzimas proteolíticas). Pertencem também à classe das hidrolases, as fosfatases e as pirofosfatases. Mas, dentro dessa classe destacam-se as proteases, amilases (alfa e beta amilase, glucoamilase, isoamilase ou pululanase), alfa-D-galactosidase, beta-D-galactosidase ou lactase, invertase, enzimas pectinolíticas, celulases, hemicelulases e dextranase (ENZIMAS EM PANIFICAÇÃO, 2009).

No mundo inteiro o pão é um dos alimentos básicos mais comuns e de menor custo. As mudanças no setor de panificação e a demanda cada vez maior por produtos naturais, fizeram com que as enzimas ganhassem uma grande importância na formulação de produtos de panificação. A massa para pão é normalmente composta de farinha, água, fermento, sal e algum outro ingrediente, como açúcar e/ou gordura. A farinha é composta de glúten, amido, polissacarídeos não amiláceos, lipídios e traços de minerais. Tão logo a mistura de ingredientes forme a massa, o fermento começa a agir sobre os açúcares fermentáveis, transformando-os em álcool e dióxido de carbono, e a massa começa a crescer (ENZIMAS EM PANIFICAÇÃO, 2009).

O amido é o maior componente da farinha de trigo. O glúten é uma combinação de proteínas que formam uma ampla cadeia entrelaçada durante a formação da massa. É este entrelaçamento de cadeias que segura os gases dentro da massa durante o seu crescimento e a assadura no forno. A resistência desta cadeia entrelaçada é, então, muito importante para a qualidade final de qualquer pão, cuja massa cresce usando fermento. Enzimas como as hemicelulases ou xilanases, lipases e oxidases podem melhorar, direta ou indiretamente, a resistência da malha do glúten e assim, melhorar a qualidade do produto final, o pão (ENZIMAS EM PANIFICAÇÃO, 2009).

As alfa-amilases transformam os amidos da farinha de trigo em pequenas dextrinas, permitindo ao fermento agir de maneira mais constante durante a fermentação da massa, seu crescimento e nos primeiros momentos no forno. O resultado é um produto final com maior volume e uma melhor textura do miolo, e os pequenos oligossacarídeos e açúcares como a glicose e maltose, produzidos por estas enzimas, aumentam as reações de Maillard, responsáveis pelo dourado da crosta e pelo aroma de pão quente (ENZIMAS EM PANIFICAÇÃO, 2009).

Quando o pão não é mais fresco, ele perde a crocância e o miolo endurece. Este fenômeno de pão amanhecido é responsável por perdas significativas, tanto para os consumidores quanto para os panificadores. Nos Estados Unidos, por exemplo, perde-se mais de US\$ 1 bilhão por ano com pão velho. Acredita-se que o endurecimento da crosta e a perda de elasticidade do miolo se devem a uma mudança na estrutura dos amidos. Hoje, já se produzem enzimas que prolongam o tempo e a conservação do pão (ENZIMAS EM PANIFICAÇÃO, 2009).

#### **2.4.1 Amilases**

A  $\alpha$ -amilase ocorre naturalmente no trigo em concentrações variáveis, mas em geral abaixo das ótimas para o fabrico de pão (LALLEMAND, 1996), sendo as farinhas muitas vezes suplementadas com esta enzima. Há diferentes fontes de  $\alpha$ -amilases diferindo na sua termoestabilidade: as  $\alpha$ -amilases fúngicas são as mais termolábeis, seguindo-se as presentes nos cereais, e finalmente as  $\alpha$ -amilases bacterianas, que são as mais estáveis (ROSELL et al., 2001). A farinha de malte pode ser usada como suplemento, no entanto tem uma utilidade mais limitada, uma vez que também contém enzimas que degradam proteínas, tornando o glúten mais fraco (POPPER et al., 2006). Outras variações de perfil das  $\alpha$ -amilases podem ocorrer nomeadamente no número de locais de ligação e localização das regiões catalíticas, determinando a especificidade do seu substrato, bem como o comprimento dos fragmentos resultantes da hidrólise e consequentemente o perfil em hidratos de carbono do produto final (MIGUEL et al., 2013).

A alfa-amilase é uma endoenzima que hidrolisa ligações  $\alpha$ -1,4- glicosídicas de moléculas de amido, glicogênio e outros  $\alpha$ -1,4-glucanos, liberando, primeiramente, oligossacarídeos de 6-7 unidades de glicose e, posteriormente, açúcares redutores (principalmente, maltose). Esta enzima pode ser de origem cereal, bacteriana e fúngica; sendo que apresenta algumas características em comum, como relativa estabilidade térmica (70°C – 15 minutos), labilidade ácida (todas são inativadas a pH 3,6 por curto tempo), e aumento da estabilidade na presença de íons de cálcio. A viscosidade de uma solução de amido diminui rapidamente com a hidrólise pela alfa-amilase – liquefação do amido. A atividade da enzima decresce rapidamente com o menor grau de polimerização do substrato. O processo de catálise é acelerado quando se tem amido gelatinizado (ENZIMAS EM PANIFICAÇÃO, 2009).

As  $\alpha$ -amilases são endoenzimas por clivarem as moléculas de amilose e de amilopectina internamente, produzindo oligossacarídeos. A  $\alpha$ -amilase age apenas nas ligações  $\alpha$ -1,4 formando também algumas unidades de menor peso molecular tais como a glicose (FENNEMA et al, 2010).

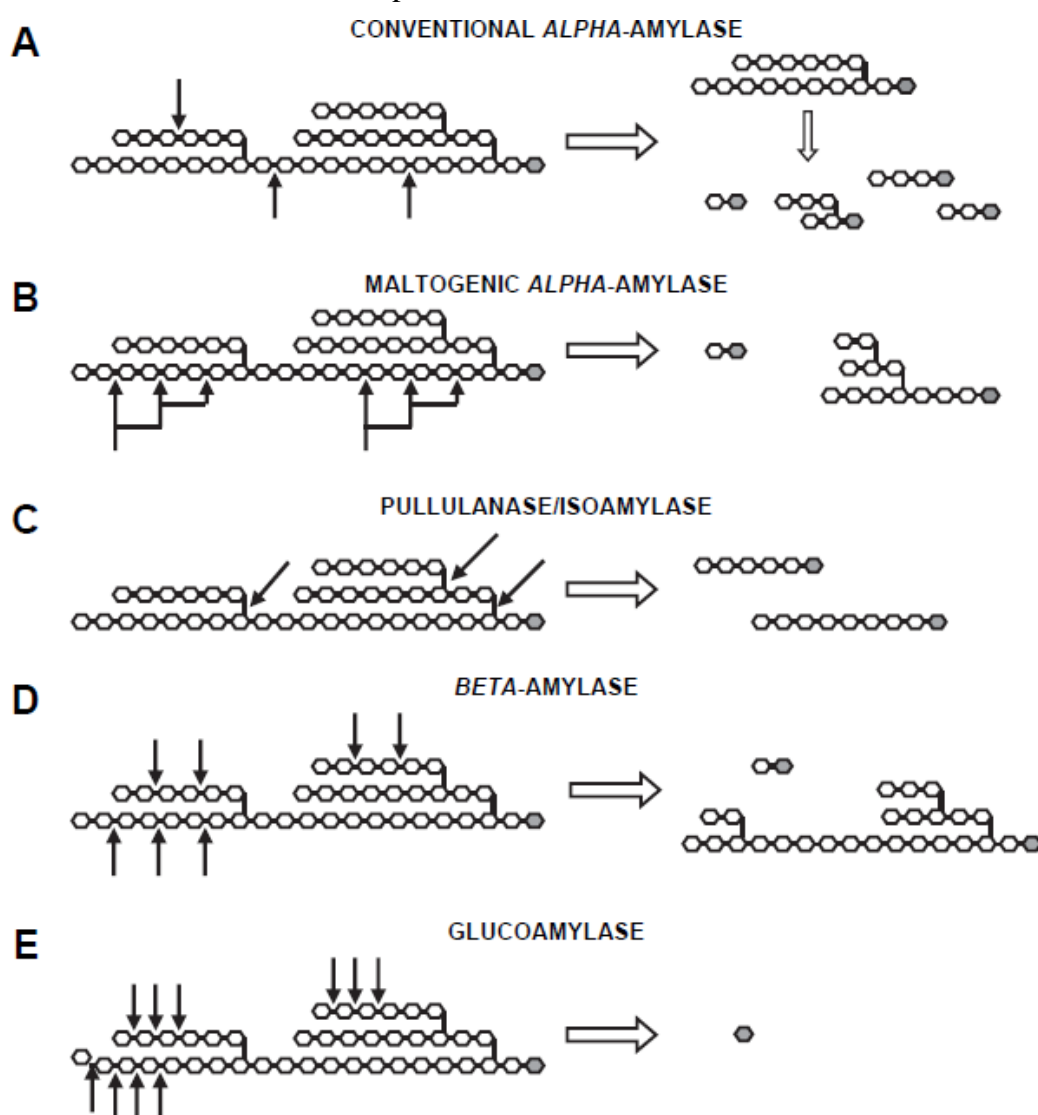
As enzimas amilolíticas (ou amilases) são hidrolases glicosídicas (GHs), que atuam sobre as ligações alfa(1,4) e/ou alfa(1,6) de polímeros de amido. Uma variedade de amilases são agrupadas na família GH 13 (a chamada família alfa-amilase) (MACGREGOR et al., 2001), enquanto beta-amilases e glucoamilases são encontradas em família GH 14 e GH 15, respectivamente (COUTINHO E HENRISSAT, 1999). Alfa-amilases são amilases de ação endo, que mais ou menos aleatoriamente hidrolisam ligações glicosídicas alfa(1-4) de polímeros de amido internamente, resultando em oligossacarídeos com comprimentos variados e diferentes dextrinas alfa-limite contendo alfa(1-6) ligações (Figura 04a). Outras enzimas amilolíticas da família GH 13 incluem amilases maltogênicas e outras produtoras de malto-oligossacarídeos e enzimas de desramificação. As alfa-amilases maltogênicas hidrolisam as ligações glicosídicas alfa(1-4) de polímeros de amido, liberando quase exclusivamente alfa-maltose (OUTTRUP E NORMAN, 1984) (Figura 04b). Seu modo preciso de ação não é claro. Alguns relatos sugerem que uma alfa-amilase maltogênica de *B. stearothermophilus* (BStA) atua como uma exo-amilase (BOWLES, 1996; KRAGH, 2002).

No entanto, consistente com as características de uma endo-alfa-amilase, esta enzima não requer uma extremidade não redutora, não inverte a configuração anomérica (CHRISTOPHERSEN et al., 1998), seu sítio ativo está localizado em uma fenda aberta (DAUTER et al., 1999), e é capaz de reduzir o PM da amilose (CHRISTOPHERSEN et al., 1998; LEMAN et al., 2005). A este respeito, Bijttebier et al. (2007) avaliaram a ação de ataque múltiplo dessa enzima, utilizando a amilose como substrato, e constataram que, nos estágios iniciais da hidrólise, sua ação parecia semelhante à de uma beta-amilase. No entanto, em tempos de incubação mais longos e, principalmente, em temperaturas mais altas, sua endo-ação foi mais pronunciada. Enzimas de desramificação, como pululanase e isoamilase, hidrolisam ligações alfa(1-6), removendo assim as cadeias laterais de polímeros de amido (Figura 04c).

Beta-amilases e glicoamilases são exoamilases invertidas típicas e hidrolisam as ligações alfa(1,4) nas extremidades não redutoras das moléculas de amido. A beta-amilase não pode hidrolisar ou passar por ligações alfa(1,6); sua ação para nos pontos de ramificação. A beta-amilase (potencialmente) degrada o amido em dextrinas b-maltose e b-limite (Figura

04d). A glucoamilase tem uma atividade limitada nas ligações alfa(1-6) e, teoricamente, pode degradar completamente o amido em glicose (Figura 04e).

Figura 04 - Representação esquemática da ação de diferentes enzimas amilolíticas em polímeros de amido



Fonte: Goesart et. al., 2009.

Suas principais aplicações encontram-se na produção de xaropes de amido e açúcares; na panificação, na complementação da farinha, alfa amilase fúngica quando combinada com amiloglicosidase assegura a quantidade suficiente de açúcares fermentáveis para a levedura, auxiliando dessa maneira na produção de massas refrigeradas e congeladas, alfa-amilase bacteriana ou, ainda, uma alfa-amilase com estabilidade térmica intermediária promove retardamento do processo de envelhecimento dos pães e produtos similares; na cervejaria, na substituição e/ou complementação das enzimas do malte, auxilia na liquefação dos agregados;

e na produção de sucos de frutas com alto teor de amido como, por exemplo, maçã e maracujá (ENZIMAS EM PANIFICAÇÃO, 2009).

A  $\alpha$ -amilase fúngica de *Aspergillus oryzae* em pó, é rotineiramente adicionada na farinha de panificação para compensar os baixos teores naturais de amilase da farinha de trigo e açúcares fermentescíveis para as leveduras. Seu suplemento estimula o crescimento de levedura, volume de fermentação e melhora a qualidade do pão (HOPEK, ZIOBRO, ACHREMOWICZ, 2006).

As  $\alpha$ -amilases maltogênicas hidrolisam ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 de polímeros de amido quase que exclusivamente em maltose (GOESAERT, et al., 2009b). As  $\alpha$ -amilases maltogênicas são ativas na temperatura de gelatinização do amido, e inativadas após o forneamento do pão (MATVEEVA, BELLIDO, GAZZOLA, 2012). Alguns estudos sugerem que a  $\alpha$ -amilase maltogênica produzida por *Bacillus stearothermophilus* possui característica de exoamilase em altas temperaturas, porém, é caracterizada como uma endoamilase (GOESTAERT, BIJTTEBIER, DELCOUR, 2010; GOESAERT, et al., 2009b).

A  $\alpha$ -amilase maltogênica hidrolisa as extremidades da cadeia de amilopectina, a estrutura primária da cadeia fica intacta, resultando em grânulos de amido com reduzida taxa de retrogradação e recristalização. Assim, a resiliência e a maciez dos pães são mantidas durante a vida de prateleira do produto (MATVEEVA, BELLIDO, GAZZOLA, 2012).

## 2.5 Textura

A qualidade e aceitação dos alimentos dependem da aparência, aroma, sabor e textura (VERRUMA-BERNARDI e DAMÁSIO, 1999). Textura é a manifestação sensorial e funcional das propriedades estruturais, mecânicas e superficiais dos alimentos, detectadas pelos sentidos da visão, audição, tato e sinestésicas (SZCZESNIAK, 2002; FOEGEDING, 2007). Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, a textura é definida como todas as propriedades reológicas e estruturais (geométricas e de superfície) de um alimento, perceptíveis pelos receptores mecânicos, táteis e eventualmente pelos receptores visuais e auditivos (ABNT, 1993).

As propriedades de textura são mais precisamente medidas por técnicas de análise sensorial (FOEGEDING, 2007). Os métodos instrumentais constituem uma alternativa para a avaliação de textura, fornecendo dados instrumentais que podem estar relacionados com a descrição sensorial (LASSOUED et al., 2008). Porém, a correlação entre a percepção de textura sensorial com as propriedades mecânicas fundamentais não é uma tarefa simples.

Muitos métodos instrumentais têm sido desenvolvidos para determinar as propriedades de textura dos alimentos (BOURNE, 2002), merecendo destaque o Perfil de Textura Instrumental, que vem sendo aplicado com eficiência para uma gama de alimentos (PONS e FISZMAN, 1996). A Análise do Perfil de Textura (TPA) instrumental aplica sucessivas forças deformantes, numa simulação da ação de compressão e corte dos dentes durante a mastigação (BOURNE, 1978; LI et al., 1998).

A determinação do perfil de textura é importante em avaliações de consistência e estabilidade, fornecendo informações sobre a estrutura do produto (SHOEMAKER et al., 1992).

Na literatura, são encontradas correlações satisfatórias entre a análise de textura experimental e sensorial para o parâmetro firmeza (SZCZESNIAK, 2002). A Tabela 05 mostra a relação entre os parâmetros medidos instrumentalmente e os sensoriais.

Tabela 05 – Relação entre parâmetros físicos e sensoriais na análise de textura

<b>Parâmetro</b>	<b>Físico</b>	<b>Sensorial</b>
Firmeza	Força necessária para atingir uma dada deformação	Força requerida para comprimir uma substância sólida entre os dentes incisivos
Coesividade	Extensão que o material pode ser deformado antes da ruptura	Grau de deformação da amostra antes da ruptura com os molares
Elasticidade	Taxa em que o material deformado volta para condição inicial	Grau em que o produto retorna para sua forma original quando comprimido entre os dentes
Mastigabilidade	Energia requerida para desintegrar um alimento a um estado pronto para ser engolido	Número de mastigações necessárias, sob força constante, para reduzir a uma consistência adequada para ser engolida

Fonte: Adaptado de Szczesniak (2002)

A curva força em função do tempo da análise TPA, gerada por analisador de textura, por exemplo, TA-TX2i da Stable Micro Systems (SMS, 1995), é interpretada na Tabela 06.

Tabela 06 – Interpretação da curva força-tempo gerada pelo texturômetro

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Definição</b>
Firme	N	Altura do pico do primeiro ciclo (F2)
Coesividade	Adimensional	Relação entre as áreas do segundo ciclo (A2) e do primeiro (A1), do contato inicial até o pico
Elasticidade	M	Distância medida do contato inicial da amostra no segundo ciclo até o pico F1 (L)
Mastigabilidade	N.m	Firmeza x Coesividade x Elasticidade
Gomosidade	N	Firmeza x Coesividade x 100

Fonte: Adaptado de Szczesniak (2002)

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 Produção dos pães**

Os pães de forma branco tradicional foram produzidos em uma indústria de panificação da região, em junho de 2022, sob as mesmas condições ambientais e de processo. Os ingredientes utilizados na formulação foram farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico, açúcar, gordura vegetal de palma, sal, amido de milho, emulsificantes (mono e diglicerídeos de ácidos graxos, estearoil-2-lactil lactato de cálcio e polisorbato 80), acidulante (ácido cítrico), melhorador de farinha (ácido ascórbico) e conservador (propionato de cálcio).

Os ingredientes foram devidamente pesados, os secos adicionados na amassadeira e misturados por 30 segundos. Em seguida, entrou-se com os ingredientes líquidos e pastosos e misturou-se em velocidade lenta por 7 minutos. Acelerou-se a amassadeira para velocidade rápida e bateu a massa por 16 minutos, momento que atingiu o ponto de véu ideal. A massa foi retirada da amassadeira e colocada no grupo automático, o qual realizou a divisão, modelagem e enlatamento dos pães. As assadeiras foram colocadas nos carrinhos e encaminhadas para estufa de fermentação, onde se mantiveram por aproximadamente 2 horas. Posteriormente os pães foram assados em forno tipo lastro em temperatura de 210°C por aproximadamente 45 minutos, e encaminhados para o setor de resfriamento e embalagem.

#### **3.2 Enzimas**

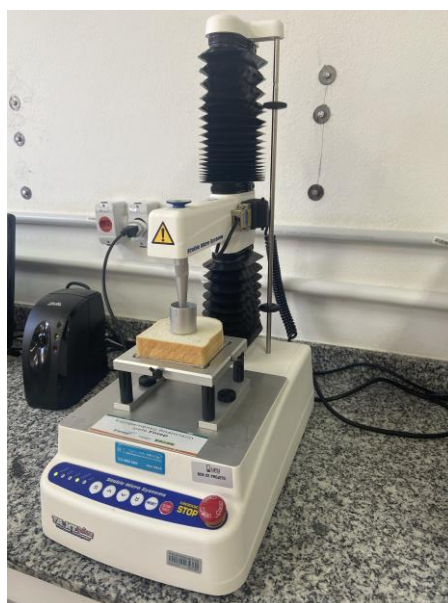
Além dos ingredientes citados anteriormente, os pães foram produzidos variando o tipo de amilase fúngica de acordo com a atividade enzimática – amostras comerciais. Foram realizados 4 testes/bateladas, identificados como T1, T2, T3 e T4, com zero amilase fúngica, com amilase fúngica de 40U, com amilase fúngica de 100U e com amilase fúngica de 140U, respectivamente. A dosagem de amilase fúngica foi fixa em 0,06% sob o peso total da farinha de trigo. Os pães foram armazenados em grades plásticas em temperatura ambiente, local fresco e arejado e avaliados nos tempos 0, 7, 14 e 21 dias.

#### **3.3 Análise do perfil de textura**

A análise do perfil de textura instrumental (TPA) foi realizada nos pães através do método oficial AACC 74-09 (AACC, 2000), que objetiva determinar quantitativamente a força necessária para comprimir pães de forma branco por uma distância predefinida.

O método consistiu na submissão de uma amostra de 25 mm de altura a um teste de compressão com dois ciclos de repetição em uma máquina de teste universal. O equipamento utilizado no experimento foi o texturômetro TA.XT Plus da Stable Micro Systems (Inglaterra) equipado com célula de compressão de 500 g e com probe cilíndrica/êmbolo de alumínio de 36 mm de diâmetro (P/36R; 36 mm DIA ALUMINIUM RADIUSED AACCC), da Universidade Federal de São João del-Rei campus Sete Lagoas (Figura 04).

Figura 04 - Texturômetro TA.XT Plus da Stable Micro Systems



Fonte: Autora

As amostras foram preparadas, onde descartou-se as quatro primeiras fatias de pão da embalagem por serem fatias calcanhares, com dimensões não uniformes. Em seguida, empilhou-se duas fatias de pães – centralizando-as na base do equipamento, posicionou-se o êmbolo de compressão a aproximadamente 1 mm da amostra e efetuou-se a análise. Os parâmetros e condições dos testes foram: velocidade pré-teste de 1 mm/s, velocidade do teste de 1,7 mm/s, velocidade pós-teste de 10 mm/s, taxa de compressão de 40% ou 10 mm e força de gatilho de 0,04903 N. As análises foram realizadas em quintuplicata, utilizando, portanto, 10 fatias de pães de cada embalagem/teste.

Os parâmetros de textura avaliados e calculados foram firmeza, elasticidade, gomosidade, mastigabilidade e coesividade. Estes parâmetros foram utilizados devido à relação direta com os aspectos sensoriais do pão.

### **3.4 Análise estatística**

Os resultados foram analisados estatisticamente realizando a análise de variância da interação tratamentos (amilases) e tempo. Executando o desdobramento, aplicou-se teste de comparações múltiplas – via teste de Tukey com 95% de confiança - para as amilases e regressão linear para o tempo. O software utilizado foi o SISVAR 5.6 - 2006.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

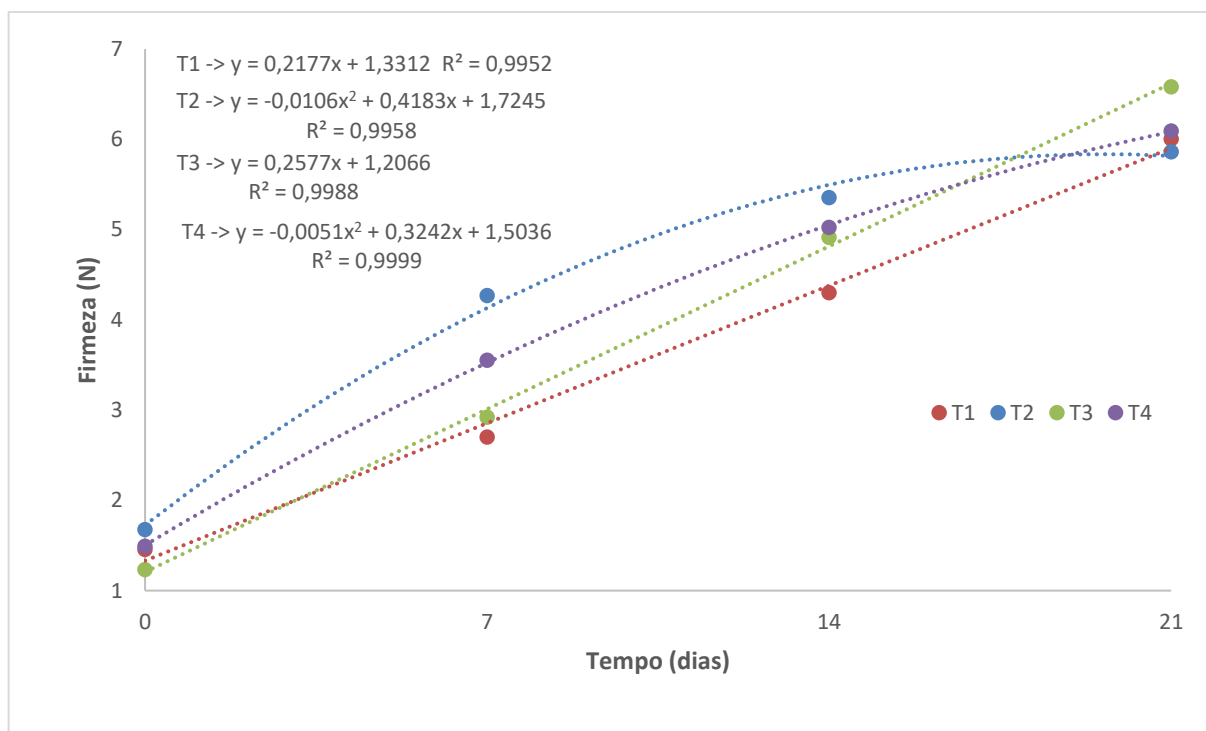
Os resultados obtidos da análise de textura do parâmetro firmeza para os quatro tratamentos, estão apresentados na Tabela 07 e Gráfico 01.

Tabela 07 – Valores médios de firmeza (N) de pães de forma fabricados com alfa amilases fúngicas com diferentes atividades enzimáticas durante 21 dias

	0 dias	7 dias	14 dias	21 dias
<b>T1</b>	1.458 a	2,703 c	4,301 c	6,005 ab
<b>T2</b>	1,678 a	4,271 a	5,355 a	5,862 b
<b>T3</b>	1,233 a	2,922 bc	4,914 ab	6,582 a
<b>T4</b>	1,494 a	3,553 b	5,024 a	6,091 ab
<b>DMS</b>	0,697	0,697	0,697	0,697
<b>CV</b>	10,53	10,53	10,53	10,53

Fonte: Autora. Médias seguidas de mesma letra, na mesma linha/coluna, não diferem entre si, pelo Teste de Tukey, a 5% de significância.

Gráfico 01 – Relação do parâmetro firmeza (N) com o tempo (dias)



Fonte: Autora.

Observa-se que no tempo 0 dias o menor valor de firmeza foi apresentado pelo T3 – amilase fúngica 100U e o maior pelo T2 – amilase fúngica 40U, no entanto não houve diferença significativa entre nenhum dos tratamentos. Com 7 dias o T2 continuou

apresentando a maior firmeza e o T1 – sem amilase fúngica a menor firmeza, com diferenças significativas. Com 14 dias o cenário se equivaleu ao de 7 dias, continuando T1 apresentando a menor firmeza. Já com 21 dias o cenário se inverteu, onde T2 que tinha apresentado a maior firmeza nos três períodos de tempo anteriores passou a apresentar a menor firmeza, e T3 – amilase fúngica 100U a maior firmeza.

Analisando o Gráfico 01 nota-se que ocorreu um aumento de firmeza ao longo dos 21 dias de armazenamento dos pães em todos os tratamentos e que T1 e T3 apresentaram modelo matemático linear, enquanto T2 e T3 modelo polinomial de segundo grau. Considerando que T1 – sem amilase fúngica apresentou um comportamento de menor firmeza no geral – contradizendo a literatura - conforme demonstrado graficamente e pela equação, tem-se que para cada dia de armazenamento houve um acréscimo de 0,2177N na firmeza dos pães sem amilase fúngica.

Segundo Chen (2010) a adição de ambos os tipos de amilases (amilase maltogênica e amilase produtora de maltotetraose) foi capaz de reduzir a firmeza do miolo e a retrogradação da amilopectina, devido à sua capacidade de hidrolisar parcialmente as moléculas de amido e gerar dextrina de baixo peso molecular, o que foi confirmado pela análise da composição de maltooligossacarídeos dos pães. Os resultados indicaram que os efeitos da amilase produtora de maltotetraose foram mais pronunciados do que os da amilase maltogênica em termos de retardar o envelhecimento do pão.

Os estudos de Hopek et. al (2006), que avaliaram o efeito da  $\alpha$ -amilase de fungos e bactérias na extensão do frescor do pão foi comparado ao da farinha escaldada, mostraram a relação entre a dosagem da enzima ou farinha escaldada e o volume do pão, bem como a taxa de envelhecimento do pão. A fonte da enzima foi considerada importante, pois a  $\alpha$ -amilase bacteriana reduziu a qualidade do pão, enquanto a  $\alpha$ -amilase fúngica estendeu a vida útil, não apresentando efeitos prejudiciais. A substituição de 2-6% de farinha por farinha escaldada melhorou o volume do pão e retardou a firmeza do miolo. A influência no pão foi semelhante à  $\alpha$ -amilase fúngica. Os resultados comprovam que a substituição da  $\alpha$ -amilase fúngica por farinha escaldada é possível.

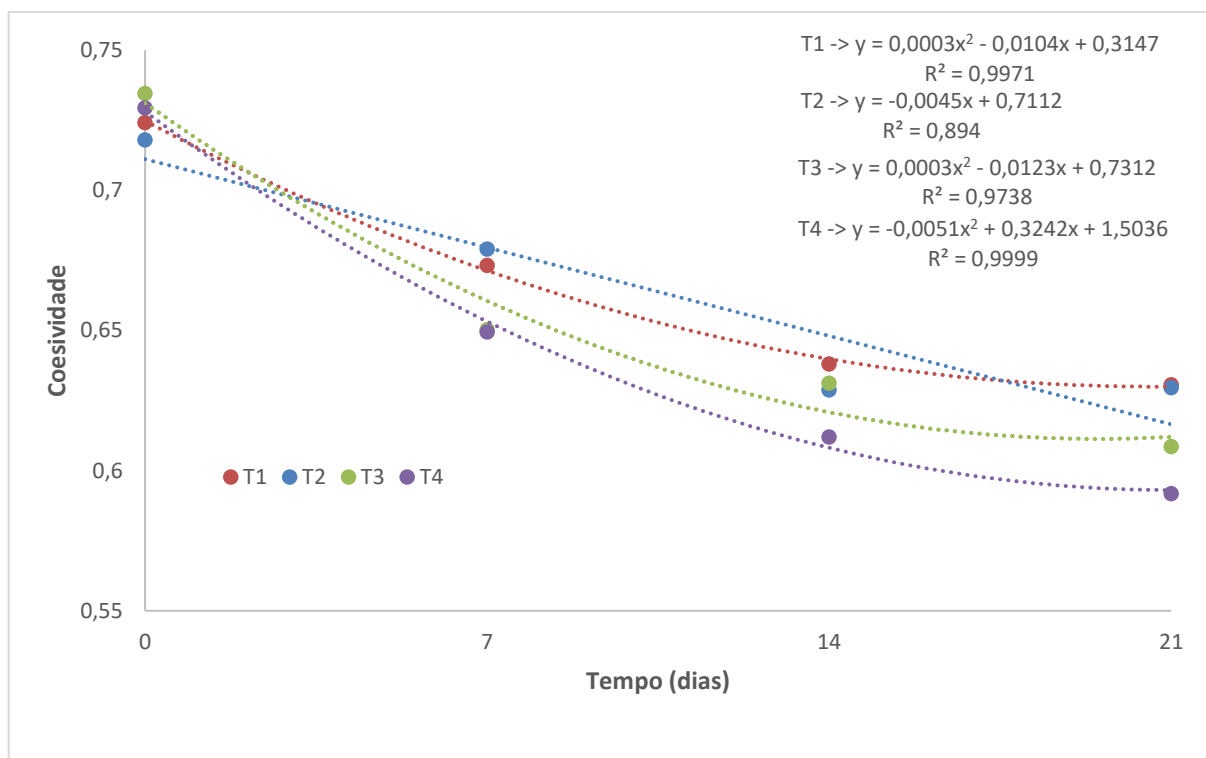
Os resultados obtidos da análise de textura do parâmetro coesividade para os quatro tratamentos, estão apresentados na Tabela 08 e no Gráfico 02.

Tabela 08 – Valores médios de coesividade de pães de forma fabricados com alfa amilases fúngicas com diferentes atividades enzimáticas durante 21 dias

	0 dias	7 dias	14 dias	21 dias
<b>T1</b>	0,724 a	0,673 a	0,638 a	0,631 a
<b>T2</b>	0,718 a	0,679 a	0,629 a	0,629 a
<b>T3</b>	0,735 a	0,650 a	0,631 a	0,609 a
<b>T4</b>	0,729 a	0,650 a	0,612 a	0,592 a
<b>DMS</b>	0,039	0,039	0,039	0,039
<b>CV</b>	3,54	3,54	3,54	3,54

Fonte: Autora. Médias seguidas de mesma letra, na mesma linha/coluna, não diferem entre si, pelo Teste de Tukey, a 5% de significância.

Gráfico 02 - Relação do parâmetro coesividade com o tempo (dias)



Fonte: Autora.

Analisando a Tabela 08 e considerando que a coesividade é a extensão que o pão pode atingir ao ser deformado antes da ruptura – onde quanto menor seu valor maior deve ser o avanço da retrogradação e conseqüentemente envelhecimento do pão, verifica-se que no tempo 0 dias a maior coesividade foi de T3 e a menor de T2. Com 7 dias, o cenário inverte, T2 passa a ter a maior coesividade e T3 a menor. Nos 14 dias, altera-se novamente, T1 apresenta a maior coesividade e T4 a menor. Já com 21 dias de armazenamento, T1 – sem amilase fúngica - mantém a maior coesividade, ou seja, a maior extensão antes da ruptura, e

T4 a menor - contradizendo mais uma vez o uso da enzima amilase fúngica como agente antienvhecimento. Apesar de, nos quatro períodos de tempo e tratamentos analisados a diferença dos valores médios de coesividade não foi significativa.

Já o Gráfico 02 mostra que apenas T2 apresentou modelo matemático linear, os demais tratamentos apresentaram modelo polinomial de segundo grau e, que a coesividade diminuiu ao longo dos 21 dias de armazenamento dos pães de forma, para todos os tratamentos.

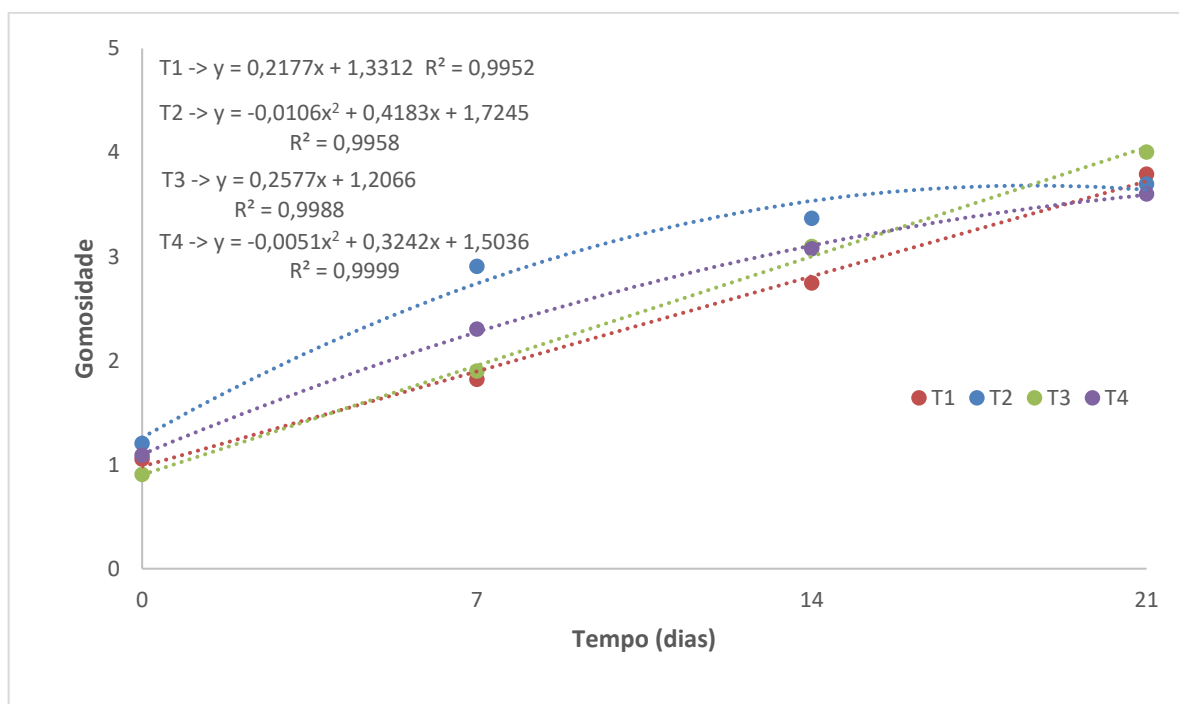
A Tabela 09 apresenta os resultados obtidos da análise de textura do parâmetro gomosidade para os quatro tratamentos.

Tabela 09 – Valores médios de gomosidade de pães de forma fabricados com alfa amilases fúngicas com diferentes atividades enzimáticas durante 21 dias

	0 dias	7 dias	14 dias	21 dias
<b>T1</b>	1,055 a	1,819 b	2,745 b	3,792 a
<b>T2</b>	1,204 a	2,905 a	3,369 a	3,696 a
<b>T3</b>	0,905 a	1,899 b	3,097 ab	4,004 a
<b>T4</b>	1,090 a	2,305 b	3,076 ab	3,603 a
<b>DMS</b>	0,493	0,493	0,493	0,493
<b>CV</b>	11,66	11,66	11,66	11,66

Fonte: Autora. Médias seguidas de mesma letra, na mesma linha/coluna, não diferem entre si, pelo Teste de Tukey, a 5% de significância.

Gráfico 03 – Relação do parâmetro gomosidade com o tempo (dias)



Fonte: Autora.

Os resultados demonstram que a gomosidade dos pães aumentou ao longo dos 21 dias de armazenamento. Com 0 dias a menor gomosidade foi de T3 e a maior de T2, mas a diferença não foi significativa entre os tratamentos. Avançando 7 e 14 dias, T2 amilase fúngica 40U continuou apresentando maior gomosidade. Já com 21 dias a menor gomosidade foi de T4 – amilase fúngica 140U e a maior de T3 – amilase fúngica 100U, mas a diferença também não foi significativa entre os demais tratamentos.

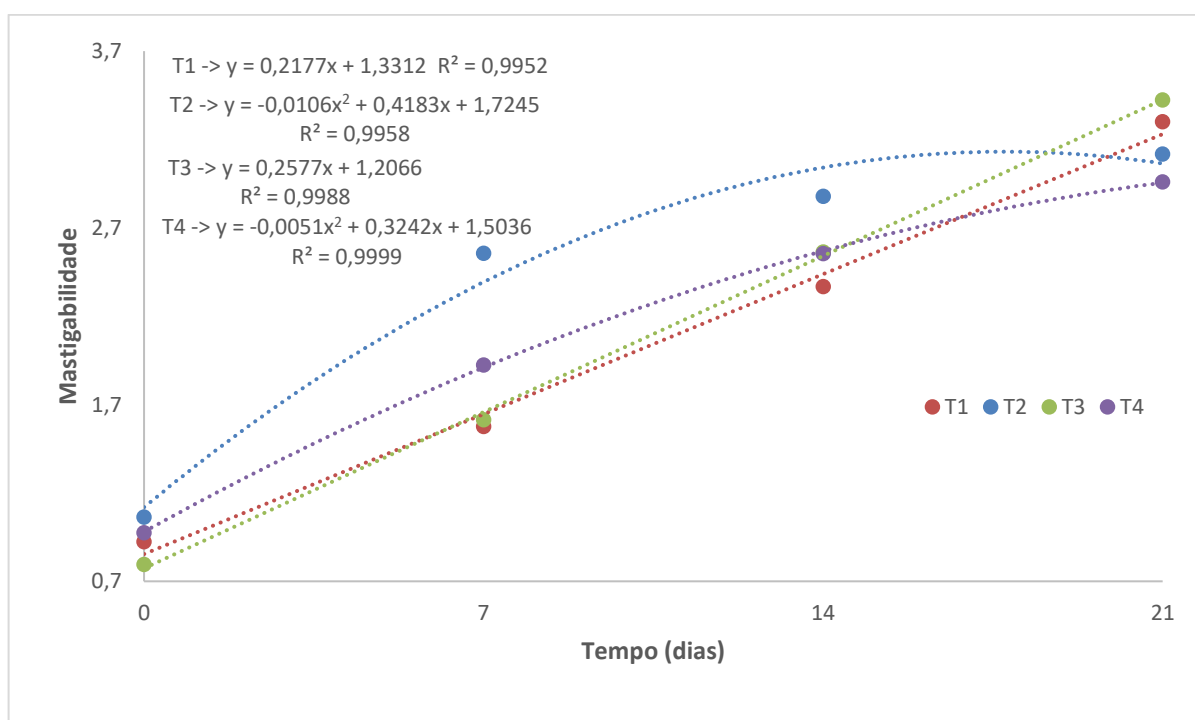
Os resultados obtidos da análise de textura do parâmetro mastigabilidade para os quatro tratamentos, estão apresentados na Tabela 10 e Gráfico 04.

Tabela 10 – Valores médios de mastigabilidade de pães de forma fabricados com alfa amilases fúngicas com diferentes atividades enzimáticas durante 21 dias

	0 dias	7 dias	14 dias	21 dias
<b>T1</b>	0,924 a	1,576 b	2,368 b	3,300 a
<b>T2</b>	1,065 a	2,556 a	2,878 a	3,118 a
<b>T3</b>	0,795 a	1,614 b	2,564 ab	3,424 a
<b>T4</b>	0,975 a	1,924 b	2,555 ab	2,960 a
<b>DMS</b>	0,480	0,480	0,480	0,480
<b>CV</b>	13,29	13,29	13,29	13,29

Fonte: Autora. Médias seguidas de mesma letra, na mesma linha/coluna, não diferem entre si, pelo Teste de Tukey, a 5% de significância.

Gráfico 04 - Relação do parâmetro mastigabilidade com o tempo (dias)



Fonte: Autora.

Verifica-se que a mastigabilidade dos pães aumentou no decorrer dos 21 dias de armazenamento. Onde no primeiro momento (0 dias) não houve diferença significativa de mastigabilidade. Mas, com 7 e 14 dias T2 – amilase fúngica 40U apresentou a maior mastigabilidade, se diferenciando significativamente dos demais tratamentos. Já com 21 dias a maior mastigabilidade foi verificada em T3 – amilase fúngica 100U e a menor em T4 – amilase fúngica 140U, no entanto não apresentou diferença significativa dos demais tratamentos.

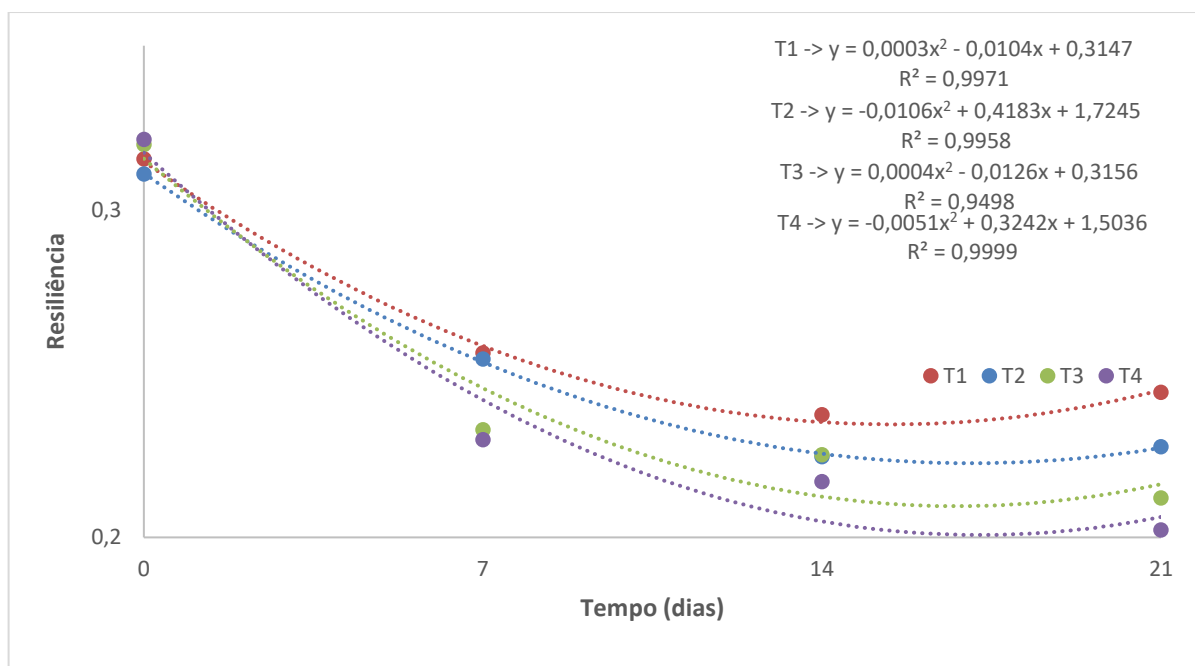
Os resultados obtidos da análise de textura do parâmetro resiliência para os quatro tratamentos, estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores médios de resiliência de pães de forma fabricados com alfa amilases fúngicas com diferentes atividades enzimáticas durante 21 dias

	0 dias	7 dias	14 dias	21 dias
<b>T1</b>	0,315 a	0,256 a	0,237 a	0,244 a
<b>T2</b>	0,311 a	0,254 ab	0,224 a	0,228 ab
<b>T3</b>	0,320 a	0,233 ab	0,225 a	0,212 b
<b>T4</b>	0,321 a	0,230 b	0,217 a	0,202 b
<b>DMS</b>	0,026	0,026	0,026	0,026
<b>CV</b>	6,21	6,21	6,21	6,21

Fonte: Autora. Médias seguidas de mesma letra, na mesma linha/coluna, não diferem entre si, pelo Teste de Tukey, a 5% de significância.

Gráfico 05 - Relação do parâmetro resiliência com o tempo (dias)



Fonte: Autora.

Observa-se que a resiliência, capacidade de voltar ao estado original após uma deformação, dos pães diminuiu bruscamente nos primeiros 7 dias de armazenamento e depois decresceu de maneira mais suave e equilibrada, diminuindo no decorrer dos 21 dias. No primeiro período, com 0 dias, não houve diferença significativa entre a resiliência dos tratamentos. Com 7 dias a maior resiliência foi de T1 – sem amilase fúngica e a menor de T4-amilase fúngica 140U. Nos 14 dias não houve diferença significativa entre a resiliência dos tratamentos, mas a maior resiliência foi de T1 – sem amilase fúngica. Com 21 dias T1 continuou apresentando a maior resiliência.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da realização deste estudo, conclui-se que, para até 21 dias de armazenamento de pães de forma, não se recomenda utilizar alfa amilase fúngica considerando o parâmetro firmeza. O uso desta enzima, em qualquer atividade enzimática ensejou em maior firmeza dos pães. Para o parâmetro coesividade, não houve influência significativa do uso de alfa amilases fúngicas, podendo-se usar ou não. No entanto, de acordo com os modelos matemáticos obtidos recomenda-se não utilizar a enzima alfa amilase fúngica. Em se tratando da gomosidade, mastigabilidade e resiliência, também é recomendado não utilizar a alfa amilase fúngica.

O uso da alfa amilase fúngica, independente do poder enzimático, afetou negativamente os cinco parâmetros de textura analisados, tais quais: firmeza, coesividade, gomosidade, mastigabilidade e resiliência. Portanto, não se recomenda seu uso em pães de forma armazenados por até 21 dias.

## REFERÊNCIAS

ABIP. Indicadores da Panificação e Confeitaria Brasileira 2020. Disponível em: <https://www.abip.org.br/site/wp-content/uploads/2021/01/Indicadores2020-abip.pdf>. Acesso em 19/08/22.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Análise sensorial de alimentos e bebidas – NBR 12806. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 8 p.

ARAÚJO, R. G. O.; MACEDO, S. M.; KORN, M. G. A.; PIMENTEL, M. F.; BRUNS, R. E.; FERREIRA, S. L. C. Mineral Composition of Wheat Flour Consumed in Brazilian Cities. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 19, n. 5, pp. 935-942, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO TRIGO. Trigo. São Paulo: ABITRIGO, 2020. Disponível em: <https://www.abitrigo.com.br/categoria-estatisticas/trigo/>. Acesso em: 11 jun. 2022.

ATWELL, W. A. Wheat Flour. Eagen Press Handbook Series. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, 2001.

BELITZ H., GROSCH W., SCHIEBERLE P. (2004). *Food Chemistry* (3rd revised edition). Springer. Berlin. Germany. Pág. 316-339.

BIJTTEBIER, A., GOESAERT, H., DELCOUR, J.A., 2007. Temperature impacts the multiple attack action of amylases. *Biomacromolecules* 8, 765–772.

BJÖRCK, I. et al. Food properties affecting the digestion and absorption of carbohydrates. *American Journal of Clinical Nutrition*, v. 59(suppl), p.699S-705S, 1994.

BOURNE, M. C. *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. 2ed. Elsevier Science & Technology Books, 2002. 423p.

BOURNE, M. C. Texture profile analysis. *Food Technology*, v. 32, n. 7, p. 62-66, 72, 1978.

BOWLES, L.K., 1996. Amylolytic enzymes. In: Hebeda, R.E., Zobel, H.F. (Eds.), *Baked Goods Freshness: Technology, Evaluation, and Inhibition of Staling*. Marcel Dekker, Inc., New York, NY, USA, pp. 105–129.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 38 de 30 de novembro de 2010. Estabelecer o Regulamento Técnico do Trigo, definindo o seu padrão oficial de classificação, com os requisitos de identidade e qualidade, a amostragem, o modo de apresentação e a marcação ou rotulagem, nos aspectos referentes à classificação do produto, na forma dos Anexos à presente Instrução Normativa. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 de novembro de 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 8 de 2 de Junho de 2005. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo, conforme o anexo desta Instrução Normativa. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 de junho de 2005.

CARCEA, M.; SALVARORELLI, S.; TURFANI, V.; MELLARA, F. Influence of growing conditions on the technological performance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Food Sciences and Technology*. v.41, n.2, p.102-107, 2006.

CARMIGNOLA, E. *Tecnologia das Enzimas em Panificação*. São Paulo: Editora Insumos, 2017.

CAUVIN, J. *Naissance des divinités – Naissance de l’agriculture*. Paris: Éditions du CNRS, col. “Empreintes”, 1994. 304p.

CHEN, Y., EDER, S., SCHUBERT, S., GORGERAT, S., BOSCHET, E., BALTENSBERGER, L., BOSCHET, E., STÄDELI, C., KUSTER, S., FISCHER, P., WINDHAB, E. J. Influence of Amylase Addition on Bread Quality and Bread Staling. *ACS Food Sci. Technol.* 2021, 1, 6, 1143–1150.

CHRISTOPHERSEN, C., OTZEN, D. E., NORMAN, B. E., CHRISTENSEN, S., and SCHAEFER, T. 1998. Enzymatic characterisation of Novamyl, a thermostable  $\alpha$ -amylase. *Starch* 50:39-45. *Colloid & Interface Science*, v. 12, p. 242- 250, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO. A cultura do trigo. Organizadores: Aroldo Antônio de Oliveira Neto e Candice Mello Romero Santos.- Brasília: Conab, 2017.

COSTA, M.G., SOUZA, E.L., STAMFORD, T.L.M., ANDRADE, S.A.C. Qualidade tecnológica de grãos e farinhas de trigo nacionais e importados. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 28(1): 220-225, jan.-mar. 2008

COUTINHO, P.M., HENRISSAT, B., 1999. Carbohydrate-Active Enzymes.

DAUTER, Z., DAUTER, M., BRZOZOWSKI, A.M., CHRISTENSEN, S., BORCHERT, T.V., BEIER, L., WILSON, K.S., DAVIES, G.J., 1999. X-ray structure of Novamyl, the five-domain “Maltogenic”  $\alpha$ -amylase from *Bacillus stearothermophilus*: maltose and acarbose complexes at 1.7Å resolution. *Biochemistry* 38, 8385–8392.

ELIASSON, A.C. Carbohydrates in food. New York: Marcel Dekker, 1996. 664p.

ELIASSON, A.C. Starch in food – Structure, function and applications. New York: Boca Raton, CRC, 2004. 605p.

ELIASSON, A.C. Starch in food – Structure, function and applications. New York: Boca Raton, CRC, 2004. 605p.

ENZIMAS EM PANIFICAÇÃO. Revista Aditivos Ingredientes, maio/junho de 2009, n° 62, pag 42-53. Disponível em: [https://aditivosingredientes.com/upload\\_arquivos/201602/2016020790970001454331208.pdf](https://aditivosingredientes.com/upload_arquivos/201602/2016020790970001454331208.pdf). Acesso em maio/2022.

ESTELLER, M. S; Fabricação de pães com reduzido teor calórico e modificações reológicas ocorridas durante o armazenamento. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica Área de Tecnologia em Alimentos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

FADDA, C.; SANGUINETTI, A. M.; DEL CARO, A.; COLLAR, C.; PIGA, A. Bread staling: Updating the view. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2014, 13, 473–492.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. Química de Alimentos de Fennema. 4. ed. São Paulo: Artmed, 2010.

FLANDRIN, J. L.; MONTANARI, M. (Dir.). História da alimentação. São Paulo: Estação Liberdade, 1998.

FOEGEDING, E. A. Rheology and sensory texture of biopolymer gels. *Current Opinion in GEORGET, D. M. R.; UNDERWOOD-TOSCANO, C.; POWERS, S. J.; SHEWRY, P. R.; GOESAERT, H.; BRIJS, K.; VERAVERBEKE, W. S.; COURTIN, C. M.; GEBRUERS, K.; DELCOUR, J. A. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. Trends in Food Science & Technology. v.16, n.1, p.12-30, 2005.*

GOESAERT, H. et al. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology, v.16, p.12-30, 2005.*

GOESAERT, H., SLADE, L., LEVINE, H., DELCOUR, J.A. Amylases and bread firming – an integrated view. *Journal of Cereal Science 50, 2009, p. 345–352.*

GOESTAERT, H.; BIJTTEBIER, A.; DELCOUR, J. A. Hydrolysis of amylopectin by amylolytic enzymes: level of inner chain attack as an important analytical differentiation criterion. *Carbohydrate Research, v. 345, p. 397-401, 2010.*

GOESTAERT, H.; LEMAN, P.; BIJTTEBIER, A.; DELCOUR, J. A. Antifirming Effects of Starch Degrading Enzymes in Bread Crumb. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, v.57, p.2346-2355, 2009b.*

GUTKOSKI, L. C.; DURIGON, A.; MAZZUTTI, S.; SILVA, A. C. T.; ELIAS, M. C. Efeito do período de maturação de grãos nas propriedades físicas e reológicas de trigo. *Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, v. 28, n. 4, p. 888-894, out.-dez. 2008.*

GWIRTZ, J. A.; WILLYARD, M. R.; MCFALL, K. L. W. Wheat: more than just a plant. In: MÜHLENCHÉMIE. Future of flour: a compendium of flour improvement. 2014. Disponível em: <<http://muehlenchemie.de/english/know-how/future-of-flour.html>>. Acesso em: 10 de março de 2017.

HEMERY, Y., ROUAU, X., LULLIEN-PELLERIN, V., BARRON, C., ABECASSIS, J. Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality. *Journal of Cereal Science*, v. 46, p. 327-347, 2007.

HOPEK, M.; ZIOBRO, R.; ACHREMOWICZ, B. Comparison of the effects of microbial  $\alpha$ -amylases and scalded flour on bread quality. *Acta Scientiarum Technology*, Cracow, v.5, n. 1, p. 97-106, 2006.

JAEKEL, L. Z. Influência da adição de diferentes fontes de fibras (farinha de trigo de grão inteiro e amido resistente) e de transglutaminase nas características tecnológicas, estruturais e sensoriais de massas alimentícias. 2013. 193 f. Tese de Doutorado em Tecnologia de Alimentos-Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

KRAGH, K.M., 2002. Amylases in baking. In: Courtin, C.M., Veraverbeke, W.S., Delcour, J.A. (Eds.), *Recent Advances in Enzymes in Grain Processing*. Laboratory of Food Chemistry, KULeuven, Leuven, Belgium, pp. 221–226.

LAJOLO, F.M.; MENEZES, E.W. *Carboidratos em alimentos regionales Iberoamericanos*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006. 648p.

LALLEMAND, Inc. 1996. *A Guide to Baking Enzymes*. Lallemand Baking Update.

LASSOUED, N.; DELARUE, J.; LAUNAY, B.; MICHON, C. Baked product texture: correlations between instrumental and sensory characterization using Flash Profile. *Journal of Cereal Science*, London, v. 48, n. 1, p. 133-143, 2008.

LEMAN, P., GOESAERT, H., VANDEPUTTE, G.E., LAGRAIN, B., DELCOUR, J.A., 2005. Maltogenic amylase has a non-typical impact on the molecular and rheological properties of starch. *Carbohydrate Polymers* 62, 205–213.

LEON, A. E.; ROSELL, C. M. De tales harinas, tales panes: granos, harinas e productos de panificación en Iberoamerica . Córdoba: Hugo Baez, 2007. 480 p. Disponível em: [https://www/iseki food.net/webfm\\_send/1729](https://www/iseki food.net/webfm_send/1729)>. Acesso em: 10 de março de 2017.

LI, R.; CARPENTER, J. A.; CHENEY, R. Sensory and instrumental properties of smoked sausage made with Mechanically Separated Poultry (MSP) meat and wheat protein. *Journal of Food Science*, v. 63, n. 5, 1998.

MACGREGOR, E.A., JANECĚK, S., SVENSSON, B., 2001. Relationship of sequence and structure to specificity in the  $\alpha$ -amylase family of enzymes. *Biochimica et Biophysica Acta* 1546, 1–20.

MARTINS, J. N.; OLIVEIRA, E. N. A.; SANTOS, D. C. Estudo da absorção de água em misturas de farinhas de trigo de diferentes marcas comerciais. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 7, n. 4, p. 201-206, out-dez, 2012.

MATVEEVA, I.; BELLIDO, G.; GAZZOLA, G. *Enzymes in Baking Technology – A Handbook of Novozymes’ Solutions*. Araucária, 2012. Customer communication.

MIGUEL, A. S. M., MARTINS-MEYER, T. S., FIGUEIREDO, E. V. C., LOBO, B. W. P. & DELLAMORA-ORTIZ, G. M. 2013. Enzymes in Bakery: Current and Future Trends. In: *Food Industry (Innocenzo Muzzalupo)*, InTech, pp. 287-321.

MORITA, N.; MAEDA, T.; MIYAZAKI, M.; YAMAMORI, M.; MJURA, H.; OHTSUKA, I. Dough and baking properties of highamylose and waxy wheat flours. *Cereal Chemistry*. v.79, p.491-495, 2002.

MORRISON, W.R. Starch lipids and how they relate to starch granule structure and functionality. *Cereal Food World*, v.40, p.437-446, 1995.

MOUSIA, Z.; EDHERLY, S.; PANDIELLA, S. S.; WEBB, C. Effect of wheat pearling on flour quality. *Food Research International*. v.37, p.449-459, 2004.

OUTTRUP, H., NORMAN, B.E., 1984. Properties and application of a thermostable maltogenic amylase produced by a strain of *Bacillus* modified by recombinant- DNA techniques. *Starch/Stärke* 36, 405–411.

PARKER, R.; RING, S.G. Aspects of the physical chemistry of starch. *Journal of Cereal Science*, v.34, p.1-17, 2001.

POMERANZ, Y. Chemical composition of kernel structures. In: Pomeranz, Y, editor. *Wheat: chemistry and technology*. 3rd ed, Berlin: Springer. pp 99, 1988.

PONS, M.; FISZMAN, S. M. Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems. *Journal of Texture Studies*, v. 27, p. 597-624, 1996.

POPPER, L., Schäfer, W. & Freund, W. 2006. *Future of Flour: A Compendium of Flour Improvement*. Agrimedia, Germany, pp. 419.

POPPER, L; SCHÄFER, W.; FREUND, W. *Future of Flour – A Compendium of Flour Improvement*. Kansas City: Agrimedia, 2006. 325p.

QUEJI, M.F.D.; SCHEMIN, M.H.C.; TRINDADE, J.L.F. Propriedades reológicas da massa de farinha de trigo adicionada de alfa-amilase. *Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias*, v.12, n.2, p.21-29, 2006.

ROSELL, C. M., HAROS, M., ESCRIVÁ, C. & BARBER, C. B. 2001. Experimental Approach to Optimize the Use of  $\alpha$ -Amylases in Breadmaking. *J. Agric. Food Chem.*, 49(6):2973-2977.

SEBRAE. Estudo de mercado – Indústria: Panificação. 2017. Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas Bahia. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/BA/Anexos/Ind%C3%BAstria%20da%20panifica%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em 19/08/22.

SHEWRY, P. R.; GILBERT, S.; TATHAM, A. S.; BELTON, P. S. The high molecular weight subunits of wheat glutenin and their role in determining the functional properties of wheat gluten and dough. *Biopolymer Science: Food and Non Food Applications*. p.13-18, 1998.

SHOEMAKER, C. F.; NANTZ, J.; BONNANS, S.; NOBLE, A. C. Rheological characterization of dairy products. *Food Technol.*, v. 46, n. 1, p. 98- 104. 1992.

SINGH, N. et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, v.81, n.219-231, 2003.

SMS, STABLE MICRO SYSTEMS. Extensibility of dough and measure of gluten quality (TA-XT2 application study REF: DOU/KIE), 1995.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, Elsevier, v. 13, p. 215-225, 2002.

TAKO, M., TAMAKI, Y., TERUYA, T., TAKEDA, Y. The Principles of Starch Gelatinization and Retrogradation. *Food and Nutrition Sciences*, 2014, 5, 280-291.

TESTER, R.F. et al. Starch – composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, v.39, p.151-165, 2004.

THARANATHAN, R. N. Food-derived carbohydrates – Structural complexity and functional diversity. *Crit Rev Biotechnol*, v.22, p.65-84, 2002.

VAN DER BORGHT, A.; GOESAERT, H.; VERAVERBEKE, W. S.; DELCOUR, J. A. Fractionation of wheat and wheat flour into starch and gluten: overview of the main processes and the factors involved. *Journal of Cereal Science*. v.41, p.221-237, 2005.

VANDEPUTTE, G.E. et al. Rice starches. I. Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinisation behavior of granular starch. *Journal of Cereal Science*, v.38, p.43-52, 2003a.

VANDEPUTTE, G.E. et al. Rice starches. II. Structural aspects provide insight into swelling and pasting properties. *Journal of Cereal Science*, v.38, p.53-59, 2003b.

VANDEPUTTE, G.E. et al. Rice starches. III. Structural aspects provide insight in amylopectin retrogradation properties and gel texture. *Journal of Cereal Science*, v.38, p.61-68, 2003c.

VANDEPUTTE, G.E.; DELCOUR, J.A. From sucrose to starch granule to starch physical behavior: a focus on rice starch. *Carbohydrate Polymers*, v.58, p.245-266, 2004.

VERRUMA-BERNARDI, M. R.; DAMÁSIO, M. H. Uso do perfil livre em queijo mozzarella de leite de búfala elaborado pelos métodos tradicional e da acidificação direta. Em: *Avanços em Análise Sensorial*, São Paulo: Livraria Varela, p. 261- 286, 1999.

WANG, B.; WANG, L.-J., LI, D.; ÖZKAN, N.; LI, S.-J.; MAO, Z.-H. Rheological properties of waxy maize starch and xanthan gum mixtures in the presence of sucrose. *Carbohydrate Polymers*. Barking, v. 77, p. 472–481, 2009.

WHO/FAO. *Carbohydrates in human nutrition*. Rome: FAO, 1998, (FAO food and nutrition paper no. 66).

WU, H.C.H.; SARKO, A. The double-helical molecular structure of crystalline A-amylose. *Carbohydrate Research*, v.61, p.27-40, 1978.