



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL



Trabalho de Conclusão de Curso

Vanessa Higuchi

Prof. Orientador Ismael Maciel de Mancilha

Aspectos relevantes sobre a produção de pães por fermentação natural e sua aplicação na produção de alimentos sem glúten.

Lorena

2022



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL



VANESSA HIGUCHI

Aspectos relevantes sobre a produção de pães por fermentação natural e sua aplicação na produção de alimentos sem glúten.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Engenharia de Lorena - Universidade de São Paulo como requisito parcial para conclusão da graduação do curso de Engenharia Bioquímica.

Orientador: Prof. Pós-Dr. Ismael Maciel de Mancilha

Lorena

2022

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES
TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA
FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

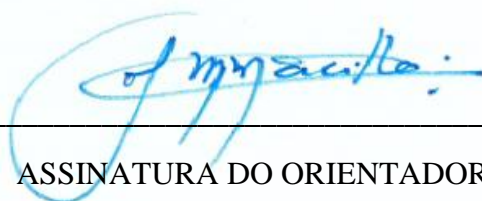
Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Automatizado
da Escola de Engenharia de Lorena,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Higuchi, Vanessa Aspectos relevantes sobre a
produção de pães por fermentação natural e sua
aplicação na produção de alimentos sem glúten. /
Vanessa Higuchi; orientador Ismael Maciel de
Mancilha. - Lorena, 2022.
62 p.

Monografia apresentada como requisito parcial
para a conclusão de Graduação do Curso de
Engenharia Bioquímica - Escola de Engenharia de
Lorena da
Universidade de São Paulo. 2022

1. Sensibilidade ao glúten. 2. Celíacos. 3.
Fermentação natural. 4. Glúten. 5. Pão. I. Título. II.
de Mancilha, Ismael Maciel, orient.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A VERSÃO FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DO ALUNO VANESSA HIGUCHI, ORIENTADO PELO PROF. PÓS-DR. ISMAEL MACIEL DE MANCILHA

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ismael Maciel de Mancilha', is positioned above a horizontal line. The signature is fluid and cursive, with a large initial 'I'.

ASSINATURA DO ORIENTADOR

“O sucesso não está apenas na conquista, mas em todo o percurso. A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido e não na vitória propriamente dita.”

-Mahatma Gandhi

RESUMO

HIGUCHI, V. **Aspectos relevantes sobre a produção de pães por fermentação natural e sua aplicação na produção de alimentos sem glúten.** Orientador: Ismael Maciel de Mancilha. 2022. 62p. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Bioquímica, Universidade de São Paulo, Lorena, 2022.

Nos tempos modernos, a busca por alimentos e estilos de vida mais saudáveis vem se tornando relevante para a população. É mister destacar que a produção de pães obtidos por fermentação natural tem se destacado como atividade de lazer e até mesmo como fonte de renda extra no cenário pandêmico em que se vive no país; Assim, nesse processo, é comum a utilização de farinhas de trigo, que podem ser enriquecidas com ferro e ácido fólico, além de proteínas formadoras de glúten, responsáveis pela importante característica viscoelástica da massa do pão. Entretanto, para indivíduos celíacos, os quais apresentam hipersensibilidade ao glúten, a ingestão de alimentos que contenham essa proteína desencadeia uma resposta imune no organismo, tendo como consequência alterações nas vilosidades do intestino, além de reações inflamatórias no intestino delgado. Outrossim, cabe salientar que, apesar da fermentação natural conferir benefícios sensoriais e nutricionais ao pão e degradar grande parte das proteínas nele presentes, dentre elas o próprio glúten, o pão resultante desse processo ainda não é recomendado para o consumo por indivíduos celíacos. Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo apresentar, à partir da preparação de uma revisão de literatura, o estado da arte no tocante à produção de pães artesanais por fermentação natural bem como a aplicação de farinhas sem glúten, abordando aspectos relevantes envolvidos na produção de pães pelo processo de fermentação natural e a aplicação dessa tecnologia na produção de alimentos sem glúten, com vistas a contribuir para a qualidade de vida de indivíduos que apresentam sensibilidade ao glúten em diferentes níveis.

Palavras chaves: Sensibilidade ao glúten. Celíacos. Fermentação natural. Glúten. Pão.

ABSTRACT

HIGUCHI, V. Relevant aspects about the production of bread by natural fermentation and this application in the production of gluten-free foods. Teacher advisor: Ismael Maciel de Mancilha. 2022. 62p. Final course work (Graduation) – Biochemical Engineering Course, Universidade de São Paulo, Lorena, 2022.

In modern times, the search for healthier foods and lifestyles has become relevant for the population. It is important to emphasize that the production of bread obtained by natural fermentation has been popularized as a leisure activity and even as a source of extra income in the pandemic scenario. Thus, in this process, it is common to use wheat flour, which can be enriched with iron and folic acid, as well as gluten-forming proteins, responsible for the important viscoelastic characteristic of bread dough. However, for celiac individuals, who have hypersensitivity to gluten, the ingestion of foods that contain this protein triggers the body immune response, resulting in changes in the intestinal microvilli, in addition to inflammatory reactions in the small intestine. Furthermore, it should be noted that despite natural fermentation conferring sensory and nutritional benefits to bread and degrading most of the proteins present in it, including gluten, the bread resulting from this process is still not recommended for consumption by celiac individuals. Given the above, from the preparation of a literature review, the present work aims to present the production of artisanal bread by natural fermentation as well as the application of gluten-free flours addressing relevant aspects involved in the production of bread by the natural fermentation process and the application of this technology in the production of gluten-free foods, in order to contribute to the well-being of individuals who are sensitive to gluten at different levels.

Key-words: Gluten sensitivity. Celiac. Natural fermentation. Gluten. Bread.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Corte longitudinal de um grão de trigo	22
Figura 2: estrutura da amilose e amilopectina.....	26
Figura 3: Fluxograma da classificação das proteínas do trigo.....	28
Figura 4 : Estrutura do glúten: gliadina e glutenina	29
Figura 5 Desordens relacionadas ao glúten	32
Figura 6 Glicólise – Estagio de investimento de energia.....	37
Figura 7 Glicólise – Estagio de recuperação de energia	38
Figura 8: Destinos catabólicos do piruvato.....	39
Figura 9 Conversão do piruvato à etanol	40
Figura 10: Esquema simplificado das vias metabólicas homo e heterofermentativas	42
Figura 11: Resultados da busca por: “fazer pão fermentação natural” no Google em 2019 e 2020	51
Figura 12: Resultados da busca por “fermentação natural” no Google em 01/01/2016 a 01/07/2021	52
Figura 13: Resultados da busca por “alimentos saudáveis” no Google entre 01/07/2011 a 01/07/2021	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Características dos diferentes tipos de farinha de trigo.....	22
Tabela 2: Tipos do trigo do Grupo I destinado à alimentação humana Limites máximos de tolerância expresso em %/peso	23
Tabela 3: Tipos de trigo do Grupo II destinado à moagem e a outras finalidades ...	24
Tabela 4: Classes do trigo do Grupo II destinado à moagem e a outras finalidades.	24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C – antes de Cristo

ADP – Adenosina difosfato

ATP – Adenosina trifosfato

CDC – Centro de Controle e Prevenção de Doenças

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

DC – Doença Celíaca

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPS - Exopolissacarídeos

FENACELBRA – Federação Nacional de Celíacos do Brasil

HLA - Antígenos Leucocitários Humanos

HMW-GS - High Molecular Weight Glutenin Subunit

IgA – Imunoglobulina A

IgE – Imunoglobulina E

IN – Instrução Normativa

LMW-GS - Low Molecular Weight Glutenin Subunit

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MHC – complexo principal de histocompatibilidade

NADH - Nicotinamida adenina dinucleotídeo

RDC – Resolução da Diretoria Colegiada

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS.....	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	12
3. METODOLOGIA	13
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
4.1 PÃO – HISTÓRICO E CARACTERÍSTICAS.....	14
4.2 PÃO – INGREDIENTES PARA SUA CONFEÇÃO	17
4.2.1 Água	17
4.2.2 Sal.....	18
4.2.3 Fermento Biológico	19
4.2.4 Farinhas de trigo	21
Farinha de Trigo	21
4.2.4.1 – Composição - Carboidratos	26
Amido.....	26
4.2.4.2 – Composição - Proteínas	27
Glúten	30
4.3 DESORDENS PROVOCADAS PELO CONSUMO DO GLÚTEN.....	31
4.4 FERMENTAÇÃO	35
4.4.1 Glicólise.....	36
4.4.2 Fermentação Alcoólica	39
4.4.3 Fermentação Láctica.....	41
4.5 FERMENTAÇÃO NATURAL	42
4.5.1 Benefícios da fermentação natural na panificação	44
4.6 OPÇÕES DE FARINHAS SEM GLÚTEN	46
4.7 PRODUÇÃO DE PÃES SEM GLÚTEN	48
5. DISCUSSÃO.....	51
6. CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS	57

1. INTRODUÇÃO

O pão é um alimento que acompanha às civilizações desde a antiguidade. No início o pão era apenas um alimento resultante de uma mistura, cozida, de água e farinha e na sequência dos acontecimentos descobriu-se o papel da fermentação, a partir da qual, associada a pesquisas, observou-se avanços significativos no desenvolvimento da tecnologia de fabricação de um alimento tão versátil.

O pão é produzido principalmente com farinha de trigo, que pode ser enriquecida com ferro e ácido fólico, assim como farinha de trigo integral, ou até mesmo com farinhas menos tradicionais como a fécula de batata, farinha de tapioca e farinhas de sementes de cereais como arroz e centeio, e de pseudo-cereais como amaranto e quinoa.

Com a descoberta da levedura *Saccharomyces cerevisiae* e a elucidação do seu metabolismo foi possível a criação do fermento biológico, constituído de um concentrado de células de leveduras que, por meio da fermentação, promove o crescimento da massa de forma mais rápida. A partir da revolução industrial a fermentação natural foi substituída dando origem ao processo de panificação com a utilização de fermentos biológicos concentrados, tendo em vista a necessidade de uma produção mais rápida para atender a maior demanda. Por outro lado, tem-se observado nos últimos anos, em busca por uma alimentação mais saudável, parte da população se interessou por alimentos mais naturais e com melhor qualidade, tornando relevante a fabricação de pães pelo processo de fermentação natural.

Os pães fermentados naturalmente, além do aroma e sabor característicos, apresentam menor velocidade de absorção do açúcar pelo organismo, maior disponibilidade de vitaminas e minerais, maior digestibilidade e ainda se conservam por maior tempo sem a necessidade de adição de estabilizantes químicos.

Por apresentar diversos benefícios para a melhora da qualidade nutricional e sensorial dos pães, a fermentação natural tem sido avaliada como ferramenta, associada a utilização de farinhas especiais, para o desenvolvimento de novas formulações de alimentos sem glúten com vistas a atender a comunidade celíaca e aqueles indivíduos que apresentam sensibilidade ao glúten, bem como por aqueles

que buscam por alimentos sem glúten. Destaca-se ainda que a oferta de boas opções destes alimentos à um preço justo, ainda é reduzida.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Contribuir para a melhoria da qualidade de vida de indivíduos, que apresentam sensibilidade ao glúten em diferentes níveis, por meio da elucidação do processo de fermentação natural na obtenção de pães artesanais utilizando farinhas de trigo especiais e farinhas alternativas.

2.2 Objetivos específicos:

- Abordar aspectos relevantes sobre pães e técnicas de produção
- Descrever o glúten e seus efeitos no organismo humano.
- Descrever o processo de fermentação natural na produção de pães artesanais.
- Discorrer sobre os benefícios da fermentação natural;
- Descrever farinhas de trigo especiais e farinhas alternativas.

3. METODOLOGIA

Segundo Gil (2008) a pesquisa bibliográfica é elaborada com base em material já publicado com o objetivo de apresentar posições em relação a determinado assunto. Neste contexto, para atingir os objetivos do presente trabalho foi elaborada uma revisão de literatura, abordando os principais tópicos mencionados, por meio de ferramentas de buscas como o Google nas plataformas Science Direct, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Pubmed, além de consultas em periódicos, dissertações, teses e livros utilizando como palavras chaves: “pães”, “fermentação natural”, “glúten”, “farinhas sem glúten”, “sensibilidade ao glúten”, “doença celíaca”, entre outras.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Pão – *Histórico e Características*

O pão é um produto alimentício consumido em todo o mundo de diferentes formas, além de ser um dos alimentos mais antigos que se tem conhecimento, sendo que o aspecto cultural tem grande influência no seu consumo (JACOB, 2003). Segundo Ulziijargal et al. (2013), o pão é um alimento base, consumido pelo mundo todo e produzido, basicamente, com farinha de trigo, água, sal e levedura.

A existência e consumo do pão estão intrinsecamente ligados à história e evolução da humanidade (VIANNA et al., 2020) e Canella-Rawls (2021) considera que: “trata-se de uma herança ancestral repassada no decorrer de gerações e cultura”. Segundo Baker (1970), o cultivo de cereais, como o trigo e cevada teve início no Oriente Médio há 9.000 a.C e que antes as civilizações se alimentavam de culturas nativas. De acordo com Canella-Rawls (2021), Guimarães (2014) e Vianna et al. (2020) a panificação é uma das artes culinárias mais antigas da civilização e teve início em torno de 8.000 a.C na antiga Mesopotâmia e no Vale do Rio Hindu, porém o pão consistia apenas de uma massa cozida feita de trigo e água, sem fermentação.

Canella-Rawls (2021) relata que as primeiras massas fermentadas e assadas data de cerca de 3.000 anos a.C pelos egípcios, sendo que a fermentação ocorria de forma despreziosa a partir de microrganismos que estavam presentes no ar. O autor reporta a existência de relatos assumindo que um pedaço de massa foi esquecido e, nesse período, foram naturalmente inoculadas com leveduras e bactérias presentes no meio ambiente. Acrescenta que esta fermentação espontânea resultou em uma massa com aspecto diferente, aroma agradável e volume maior.

Com o passar dos anos as civilizações foram aprimorando as técnicas de fabricação de pães, Vianna (2020) relata que há registros de que em 1.500 a.C os egípcios utilizavam na mistura parte da massa do dia anterior para o preparo do pão. As técnicas de produção de pães continuaram a ser aperfeiçoadas destacando-se a substituição dos moinhos de pedra por moinhos de rolo rotativo, o desenvolvimento de fornos fechados e processamento do trigo, que contribuíram para a melhoria da qualidade do produto final. Nessa época a civilização egípcia já dominava a fermentação envolvida na produção de bebida alcoólica e massas fermentadas que

eram utilizadas como alimentos para os escravos e como moeda de troca (JACOB, 2003; VIANNA et al., 2020).

Canella-Rawls (2021) e Vianna et al. (2020) reportam que, em Roma, por volta do ano 30 a.C, eram utilizados moinhos com tração animal, o que possibilitava a maior rendimento na produção de farinhas para confecção de pães. Apesar do aumento da capacidade produtiva, com a queda do império romano observou-se também uma redução na produção e disponibilidade de cereais e com isso a produção de pães quase foi extinta.

Vianna et al. (2020) destacam que na Idade média os pães fermentados voltaram a ser consumidos, mas a produção de pães de trigo era exclusivamente voltada à alimentação das pessoas nobres, e para o restante da população eram utilizadas farinhas derivadas de centeio, aveia e cevada por resultarem em um produto de qualidade inferior, com menor volume e coloração escura. Ademais, eram assados em fornos comunitários, onde um único forno atendia vários padeiros. Canella-Rawls (2021) reforça que na idade média: “o pão tornou-se um símbolo de status” e relata a existência de associações de padeiros de pão branco e de pão escuro.

Com a Revolução industrial, na segunda metade do século XVIII, houve o êxodo rural e a capacidade de cultivo de grãos não era suficiente para atender a demanda por alimentos nos centros urbanos (CANELLA-RAWLS, 2021). O pão, por ser considerado um alimento essencial, além de facilmente manufaturado, era muito consumido, mas com a queda no cultivo de cereais a produção de farinhas também se tornou escassa. Assim, dependendo da classe e posição do indivíduo na sociedade os pães eram produzidos a partir de diferentes matérias primas (CANELLA-RAWLS, 2021; VIANNA et al., 2020).

Segundo Vianna et al. (2020), com o desenvolvimento da agricultura e das técnicas de processamento de trigo para a obtenção de farinha, apesar de ainda ser de forma manual, tornou o pão mais acessível à população. Por outro lado, no século XIX, os autores relatam os primeiros registros da utilização de máquinas na produção de pães, além da seleção das variedades de trigo para a produção de farinhas de melhor qualidade, bem como o surgimento de fornos a gás e o emprego de técnicas de refrigeração, que permitiram um desenvolvimento contínuo na melhoria da qualidade e processamento deste produto.

Vianna et al. (2020) salientam que, ainda no século XIX, o cientista Louis Pasteur descobriu o papel dos agentes fermentadores, em especial *Saccharomyces cerevisiae*. Reportam ainda que, antes das descobertas de Pasteur, eram utilizadas leveduras recuperadas do processo de fabricação de cervejas para a produção de pães. Relatam que a partir dos estudos conduzidos pelo cientista foi desenvolvido o fermento biológico comercial, que consiste de um concentrado de células de um microrganismo fermentador que é capaz de acelerar o processo, facilitando assim a produção em larga escala e a disseminação do fermento comercial para outros países, substituindo, paulatinamente, a fermentação natural.

Com o crescente aumento da população, houve também a necessidade do aumento na produção de alimentos, o que acarretou no desenvolvimento expressivo do segmento de equipamentos, além de avanços tecnológicos e desenvolvimento de técnicas que englobavam desde a produção da matéria prima, até o desenvolvimento do produto final, culminando com o surgimento de inúmeros tipos de pães (CANELLA-RAWLS, 2021; VIANNA et al., 2020). Aos poucos, a fermentação natural foi sendo deixada de lado para atender a intensa demanda de mercado (CANELLA-RAWLS, 2021), Camargo (2018, p.14) descreve como esse avanço impactou a produção dos pães por fermentação natural:

A fermentação natural, lenta e caprichosa, num certo momento tornou-se inconveniente para os horários apertados do cotidiano moderno. Até que o método antigo virou mais exceção do que regra, exageremos, de uma imagem pública associada apenas a padeiros franceses tradicionalistas.

Entretanto Camargo (2018) reconhece que nos últimos anos a valorização dos produtos artesanais e o crescente estímulo à cultura do consumo de produtos orgânicos vem promovendo um retorno à utilização do fermento natural na panificação. Neste contexto, Vianna et al. (2020) afirmam que: “um número crescente de consumidores vem exigindo o pão à moda antiga – com maior tempo de fermentação”.

4.2 Pão – Ingredientes para sua confecção

Camargo (2018) define o pão, de forma objetiva, como sendo uma mistura de água, sal, fermento e farinha. De acordo com a legislação vigente, Resolução RDC 263/2005 da ANVISA, define este alimento como:

Pães são os produtos obtidos da farinha de trigo e/ou outras farinhas, adicionadas de líquido, resultantes do processo de fermentação, ou não, e cocção, podendo conter outros ingredientes, desde que não descaracterizem os produtos. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos.

4.2.1 Água

A água é um ingrediente essencial para a fabricação dos pães, pois a fermentação não ocorre sem a umidade necessária, a qual cria um ambiente apropriado para o desenvolvimento de atividade enzimática e inicia o processo de fermentação, além de ser também essencial para o desenvolvimento do glúten (CANELLA-RAWLS, 2021). Vianna et al (2020) salientam que, além de permitir ação do fermento e desenvolvimento do glúten, a água é também o solvente que permite a gelatinização do amido durante o processo de forneamento da massa, além de possibilitar a dissolução de ingredientes sólidos, controlar a temperatura e é determinante na consistência da massa.

Vianna et al. (2020) classificam a água em quatro diferentes grupos segundo a quantidade de sais nela dissolvidos:

- Água dura – água mineral obtida das nascentes, possui grande quantidade de sais minerais, teores maiores que 150 mg CaCO_3/L (MACÊDO¹, 2002 apud FERREIRA et al, 2014)
- Água mole - água tratada recebida nos encanamentos das cidades, possui baixa quantidade de sais, teores menores que 50 mg CaCO_3/L (MACÊDO¹, 2002 apud FERREIRA et al, 2014)
- Água clorada – água tratada que possui grande quantidade de cloro. Elemento que interfere no processo de fermentação e no sabor do pão.

¹ MACÊDO, J. A. B. Introdução à química ambiental. CRQ-MG. Juiz de Fora, 2002

- Água destilada – água obtida pós processo de destilação, não apresenta outras substancia e microrganismo. Por não possuir sais minerais não são utilizadas na panificação.

Na panificação a água utilizada deve ser potável, possuir quantidades adequadas de sais e deve-se ter cautela com o teor de cloro presente na água tratada, pois além de interferir na atividade dos microrganismos o cloro interfere negativamente na qualidade sensorial do pão por conferir sabor residual (CAMARGO, 2018; VIANNA et al., 2020). Outra característica importante a ser observada na água é o pH, pois o seu nível de acidez pode interferir na atividade dos microrganismos (CANELLA-RAWLS, 2021).

A quantidade de água acrescentada no processo de produção vai variar de acordo com o tipo de pão que será produzido e a qualidade da farinha utilizada, tendo em vista que farinhas mais fortes, com maior teor de proteínas, são capazes de absorver maior quantidade de água (CAMARGO, 2018).

4.2.2 Sal

O sal (NaCl) é um dos ingredientes essenciais para a panificação, pois, além de influenciar diretamente na qualidade sensorial do produto, principalmente na característica palatável, por realçar o sabor. O sal interfere também nas propriedades reológicas da massa, uma vez que influencia na força do glúten, característica definida pelo trabalho mecânico necessário na expansão da massa até a sua ruptura, bem como na coloração do miolo, no tempo de fermentação e conservação do pão. (VIANNA et al., 2020). Camargo (2018) destaca o emprego de diferentes tipos de sal, popularmente conhecido como “sal de cozinha”, como o sal marinho, e o sal kosher, que são ricos em minerais e ressalta a importância do grau de moagem adequado para aplicação na panificação.

Quaglia²(1991, apud AQUINO, 2012) relata a existência de forças eletrostáticas entre o sal e a rede de glúten, formando maior quantidade de glúten de fibras curtas, resultando em uma massa mais rígida. Ressalta que, por conta da higroscopicidade do sal, contribui para aumentar o tempo de conservação do produto final quando

² QUAGLIA, G. **Ciencia y tecnologia de la panificacion**. Zaragoza: Acribia, 1991. 485p

armazenados em ambientes secos, pois auxilia na retenção de umidade do pão, preservando a textura por mais tempo. O autor ainda destaca que o sal também apresenta propriedade antisséptica, por conta do efeito osmótico. Durante a fermentação o sal retarda a atividade dos microrganismos, interferindo, em especial, nos microrganismos produtores de ácidos, responsáveis pelas fermentações secundárias, diminuindo a formação de dióxido de carbono, afetando diretamente na porosidade e volume do produto final.

Canella-Rawls (2021) ressalta que o sal, influencia na coloração do miolo e da casca do pão. O autor reporta que, por retardar a ação dos microrganismos, o sal favorece para que os açúcares provenientes da hidrólise enzimática do amido não sejam rapidamente consumidos durante a fermentação e o açúcar remanescente será importante na etapa de forneamento da massa, pois ele participa das reações de caramelização resultantes do aquecimento do açúcar á cima do ponto de derretimento, e da reação de Maillard, por meio da qual o grupo carbonila do açúcar redutor reage com o grupo aminico das proteínas gerando compostos que interferem nas características físicas do pão, conferindo a coloração marrom, brilho e dureza da casca e, em especial contribui também para acentuar o aroma característico do pão.

Apesar de conferir diversos benefícios, é preciso controlar a quantidade de sal, pois além de interferir no crescimento de microrganismos indesejados, pode causar também a inibição das leveduras responsáveis pela fermentação desejada, sendo que o excesso de sal pode resultar em um pão pesado e duro pelo endurecimento excessivo do glúten (VIANNA et al., 2020).

4.2.3 Fermento Biológico

Segundo Canella-Rawls (2021) e Vianna et al. (2020), o fermento biológico é o agente responsável pelo crescimento da massa e pode ser originado a partir de um processo natural resultante de uma inoculação espontânea de bactérias e fungos presentes no próprio ambiente, dando origem aos pães artesanais de fermentação natural. Outra opção, consiste na aquisição de um preparado de leveduras selecionadas constituído de *Saccharomyces cerevisiae* na forma liofilizada, popularmente conhecido como fermento biológico comercial. Além destes, destaca-se o emprego de fermentos químicos, uma mistura de hidrogenocarbonato de sódio

(NaHCO_3) com um sal ácido, como o fosfato monocalcico ($\text{CaH}_4\text{P}_2\text{O}_8$), que permitem a formação de gás carbônico (CO_2), responsável pelo crescimento da massa.

Segundo a ANVISA (BRASIL, 2000), o fermento biológico industrial (fermento biológico comercial) é constituído por cepas selecionadas da levedura *Saccharomyces cerevisiae* obtida por meio de processos industriais, sendo que o fermento natural é obtido a partir da cultura de leveduras e bactérias ácido-láticas naturalmente presentes na farinha e no ambiente.

Camargo (2018) e Canella-Rawls (2021) reforçam que os fermentos biológicos, comercial ou natural, são constituídos por microrganismos vivos e são responsáveis pela fermentação da massa, onde os açúcares são transformados em metabólitos e gás carbônico (CO_2), responsável por romper a resistência da rede de glúten, provocando o crescimento da massa, acarretando em uma redução da densidade e interferindo na textura e crescimento do pão.

Levando-se em consideração as descobertas de Louis Pasteur, associadas a revolução industrial e o crescimento da demanda de mercado, a utilização do fermento biológico na forma liofilizada, para a produção de pães, permite um processo de produção mais rápido e padronizado, quando comparado à utilização do processo de fermentação natural (SENAI-SP, 2015). Este pode ser encontrado em três formas diferentes: fresco, seco e instantâneo, sendo que o mais utilizado é o fresco, também chamado de “fermento para pão” (CANELLA-RAWLS, 2021).

Com a utilização desse preparado de leveduras selecionadas há a diminuição no tempo de fermentação da massa e a padronização do produto final uma vez que a concentração de *Saccharomyces cerevisiae* no início do processo é muito elevada, favorecendo o crescimento celular e desenvolvimento da fermentação alcoólica, gerando dióxido de carbono (CO_2) (CAMARGO, 2018). O pão resultante dessa fermentação cresce em um espaço de tempo muito curto, o que compromete algumas características do produto quando comparado ao fermento natural, que apresenta menor qualidade nutricional, aroma e sabor “residual” característicos da farinha de trigo (CANELLA-RAWLS, 2021).

4.2.4 Farinhas de trigo

Canella-Rawls (2021) e Camargo (2018), destacam que a farinha é o principal ingrediente na confecção de pães e massas, sendo responsável pela estrutura da massa do pão. Estes autores destacam que a mais utilizada é a farinha de trigo, que é rica em fibras, amido, água, sais minerais, gordura e proteína, além de conter enzimas diástase, que auxiliam na hidrólise do amido gerando dextrina e posteriormente em açúcar fermentescível.

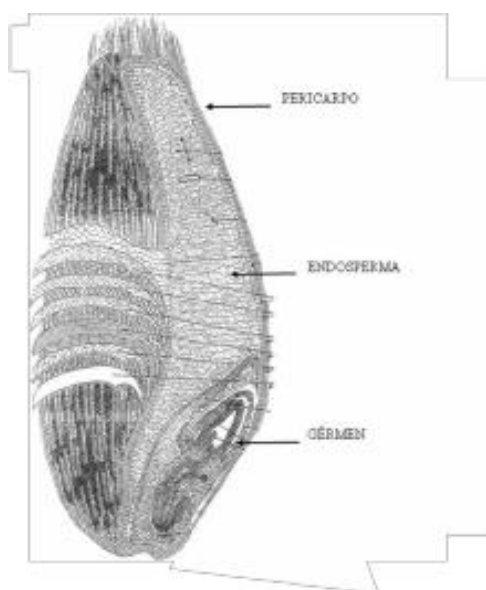
- **Farinha de Trigo**

Richter (2019) afirma que existem cerca de 30 tipos de variedades de trigo. O trigo pertence à família Poaceae e as respectivas espécies são segregadas conforme o número de cromossomos; assim, *Triticum monococcum* com 14 cromossomos, *Triticum durum* com 28 cromossomos e *Triticum aestivum* com 42 cromossomos (POPPER³ et al., 2006 apud SCHEUER et al., 2011), sendo a espécie *Triticum aestivum* popularmente conhecida como o trigo comum.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) e Quaglia¹ (1991, apud AQUINO 2012) o grão de trigo é constituído, principalmente por pericarpo, que dará origem ao farelo de trigo (corresponde à 7,8 a 8,6%), endosperma (87 a 89%) e gérmen (2,8 a 3,5%). Os autores descrevem as características de cada uma destas frações, mostrando que o pericarpo é a camada mais externa, correspondendo a camada protetora do grão, rica em fibras e sais minerais. O endosperma consiste em uma matriz rica em proteína e amido, e o gérmen é a porção embrionária que dá origem à nova planta, rica em lipídeos e vitaminas, conforme ilustrado na Figura 1.

³ Popper, L; Schäfer, W. & Freund, W. **Future of Flour** - A Compendium of Flour Improvement. Kansas City: Agrimedia, 2006.325p.

Figura 1: Corte longitudinal de um grão de trigo



Fonte: Adaptado de Wheat Flour Institute, apud Scheuer (2011)

De acordo com Scheuer et al. (2011, p.214):

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%).

Desta forma, a quantidade e qualidade destes constituintes conferem diferentes características aos diversos cultivares, que, por conseguinte influenciam a qualidade das respectivas farinhas.

A farinha de trigo é classificada em 3 diferentes tipos de acordo com a Instrução Normativa nº 8 de 2005 do MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), cujas características são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1- Características dos diferentes tipos de farinha de trigo

Tipos	Teor de cinzas (limite superior) percentual de matéria mineral presente no produto	Granulometria abertura de malha de 250 µm	Teor de proteína (limite inferior)	Umidade (limite superior)
TIPO 1	0,8%	passagem de 95%	7,5%	15%
TIPO2	1,4%	passagem de 95%	8%	15%
INTEGRAL	2,5%	--	8%	15%

Fonte: autor

Para a produção da farinha branca, dos tipos 1 e 2, é utilizada apenas o endosperma do grão, enquanto que para a produção da farinha integral utiliza-se os três componentes (pericarpo, endosperma e gérmen) (CONAB, 2017).

Assim como a farinha, o grão de trigo também é classificado a partir de requisitos de identidade e qualidade, como a sua aplicação, a força do glúten, estabilidade, peso do hectolitro, atividade da enzima alfa-amilase e pelos limites de tolerância de defeitos, cujos padrões encontram-se estabelecidos na Instrução Normativa nº 38 de 30 de novembro de 2010 do MAPA. Neste contexto, tendo em vista o uso proposto, o trigo é classificado em dois grupos. O grupo I é composto pelo trigo destinado diretamente à alimentação humana e o grupo II destinado à moagem e outras finalidades, como é o caso da farinha destinada para a produção de pães

Dentro dos grupos I e II, o trigo é classificado em tipos 1, 2, 3 ou fora de tipo. Para a classificação do grupo I, são considerados os limites de tolerância de impurezas e defeitos (presença de matérias estranhas e impureza, danificados por insetos, danificados pelo calor, mofados e ardidos, chochos, triguielhos e quebrados), conforme mostrado na Tabela 2 (BRASIL, MAPA IN n °38/2010).

*Tabela 2: Tipos do trigo do Grupo I destinado à alimentação humana
Limites máximos de tolerância expresso em %/peso*

Tipos	Matérias Estranhas e Impurezas	Danificadas por Insetos	Danificados pelo Calor, Mofados e Ardidos	Chocos, Triguilhos e Quebrados
1	0,30	0,30	0,10	0,75
2	0,50	0,70	0,20	1,50
3	0,70	1,00	0,50	2,50
Fora de tipo	1,50	2,00	1,00	5,00

Fonte: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/normativos-cgqv/pocs/trigoinstrucaonormativa38_2010-com-alteracoes-in23_2016.pdf

Na classificação do trigo do grupo II é considerado os limites de tolerância de impurezas e defeitos (presença de matérias estranhas e impureza, danificados por insetos, danificados pelo calor, mofados e ardidos, chochos, triguielhos e quebrados) e o peso do hectolitro, conforme mostrado na Tabela 3 (BRASIL, MAPA IN n °38/2010).

Tabela 3: Tipos de trigo do Grupo II destinado à moagem e a outras finalidades

Tipos	Peso do Hectolitro (Valor mínimo)	Metérias Estranhas e Impurezas (%máximo)	Danificados por insetos (%máximo)	Danificados pelo Calor, Mofados e Ardidos (%máximo)	Chocos, Triguilhos e Quebrados (%máximo)	Total de Defeitos (%máximo)
1	78	1,00	0,5	0,50	1,50	2,00
2	75	1,50	1,00	1,00	2,50	3,50
3	72	2,00	2,00	2,00	5,00	7,00
Fora de tipo	Menor que 72	Maior que 2,00	Maior que 2,00	10,00	Maior que 5,00	Maior que 7,00

Fonte: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/normativos-cgqv/pocs/trigoinstrucao normativa38_2010-com-alteracoes-in23_2016.pdf

Os grãos de trigo do grupo II são também classificados em 5 classes, levando-se em conta os parâmetros força do glúten, estabilidade e número de queda, definido pela atividade da enzima alfa-amilase. Assim, os grãos de trigo são caracterizados como Melhorador, Pão, Doméstico, Básico e outros usos, conforme mostrado na Tabela 4 (BRASIL, 2010).

Tabela 4: Classes do trigo do Grupo II destinado à moagem e a outras finalidades

Classes	Força do Glúten (Valor mínimo, expresso em $10^{-4}J$)	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: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/normativos-cgqv/pocs/trigoinstrucao normativa38_2010-com-alteracoes-in23_2016.pdf

A composição química do grão de trigo interfere nas suas características funcionais e tecnológicas, além das propriedades estruturais, bem como a característica microbiológica, as quais definem a qualidade da farinha produzida

(Mousia et al.⁴, 2004 apud Scheuer et al., 2011). De acordo com Scheuer et al. (2011), em relação ao teor de macronutrientes, a farinha de trigo é composta principalmente de carboidrato e proteínas.

Além da farinha de trigo branca e integral, existem outros tipos de farinhas denominadas como especiais, cujas características encontram-se apresentadas abaixo (CANELLA-RALWS, 2021):

- Farinha especial para pães: Possui maior teor de proteínas (10,5% e 12%) sendo mais apta à formação de glúten, proporcionando maior flexibilidade e necessitando de mais sova.
- Farinha durum: Originada da espécie de trigo *durum*, que é mais duro e resistente, possui alto conteúdo de proteínas formadoras de glúten e a farinha possui textura extrafina e sedosa. (normalmente utilizada no preparo de pastas)
- Farinha de semolina: também chamada de “*semolino di grano duro*”, é originada do trigo *durum* moído mais grosso, possui menor porcentual proteico e absorve menos água.
- Farinha de trigo com adição de fermento: Farinha de trigo com o teor de proteína entre 9,5% e 11,5%, adicionada de ácido fosfórico, bicarbonato de sódio e sal.
- Farinha de glúten: Farinha com adição de glúten puro proveniente da lavagem da farinha integral.
- Farinha de trigo especial para bolo: Farinha de trigo com teor proteico entre 8,5% e 10%, normalmente branqueada e apresenta textura macia e fina.
- Germe de trigo: Farinha produzida a partir do germe do grão e apresenta alto valor nutritivo.
- Casca de trigo: Também denominada de “*all bran*”, é produzida apenas com a casca do trigo obtida na primeira etapa do processamento da semente de trigo, possui carboidrato, cálcio e fibras.

⁴ 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.

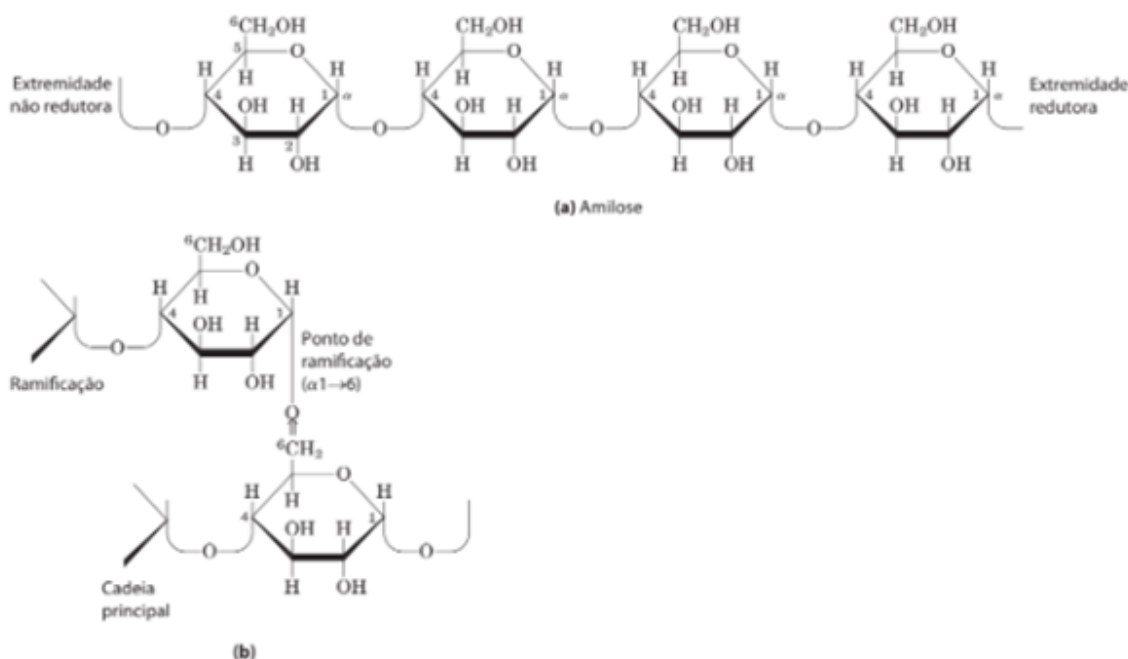
4.2.4.1 – Composição - Carboidratos

Os carboidratos do trigo correspondem à 75% da composição do cereal e são classificados em dois grupos: os insolúveis, como a celulose e hemicelulose, e os solúveis, que correspondem a maior fração, representada pelo amido (MANDARINO, 1994) .

- **Amido**

O amido é o componente mais abundante na farinha de trigo e está contido no endosperma do grão (VIANNA et al., 2020), constituído de um polímero de glicose, formado por amilose (polímero linear de unidades de glicose unidas por ligações α -1,4) (Figura 2.a) e amilopectina (polímero ramificado de unidades de glicose unidas por ligações α -1,4 e α -1,6) (Figura 2.b).

Figura 2: estrutura da amilose e amilopectina



Fonte: LEHNINGER; NELSON; COX, 2014 (adaptado pelo autor)

O amido é abundantemente presente em diversos grãos e tubérculos, tem a função de armazenamento de energia para o desenvolvimento das plantas e desempenha papel fundamental na panificação (MANDARINO, 1994), pois é o

componente responsável pela formação do miolo do pão, além de ser utilizado como substrato para a fermentação (AQUINO, 2012; CAMARGO, 2018).

O amido é encontrado na forma de grânulos, cujo formato depende de sua origem e sua principal característica, segundo Mandarino (1994), é a insolubilidade em água, pois absorve no máximo 30%, em temperatura ambiente, tendo em vista a existência de um campo elétrico negativo pelo excesso de grupos hidroxilas

Quando uma suspensão do amido e água é levada ao aquecimento ocorre a gelatinização, caracterizada pela dilatação dos grânulos de amido até ruptura. A elevação da temperatura da suspensão leva à quebra de pontes de hidrogênio entre a amilose e amilopectina e, as moléculas de água são absorvidas, entumecendo o grânulo até a organização cristalina ser rompida (MANDARINO, 1994; SCHEUER et al., 2011).

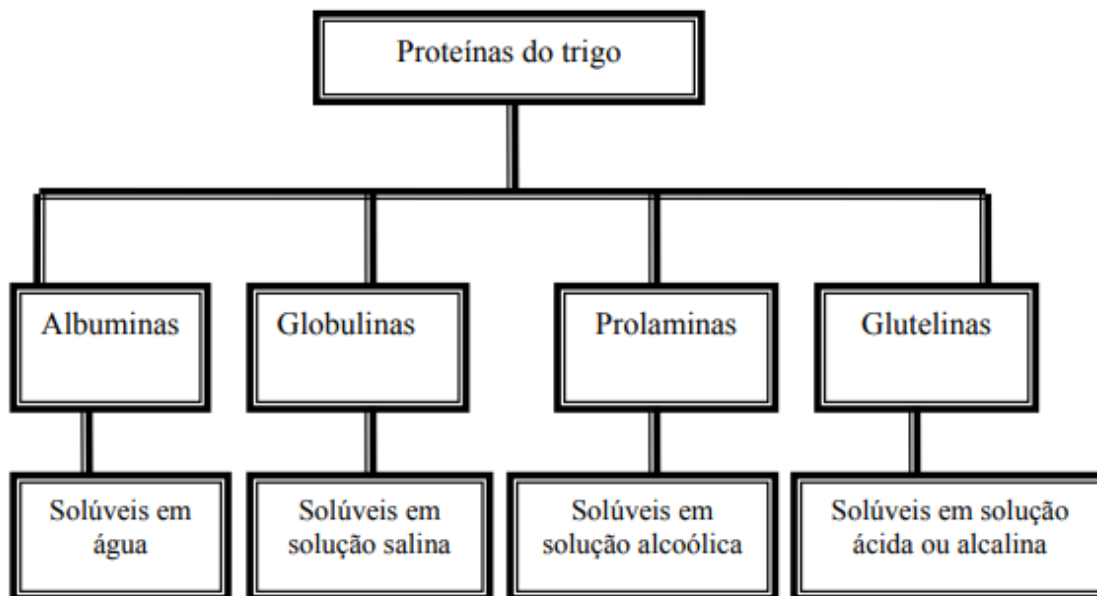
Mandarino (1994) relata que o fenômeno da gelatinização é irreversível; quando há o rompimento das ligações entre as frações amilose e amilopectina, as moléculas de água se ligam aos polímeros e, com o resfriamento e diminuição da energia cinética, as moléculas de amilose se interligam, formando micro cristais, enrijecendo e aumentando a opacidade do meio, fenômeno chamado de retrogradação do amido. O autor afirma que essas condições propiciam a saída de moléculas de amilose dos grânulos e enfatiza que quanto maior a proporção de amilose em relação à amilopectina nos grânulos, mais intensa a retrogradação.

4.2.4.2 – Composição - Proteínas

As proteínas são o segundo componente presente na farinha de trigo em maior quantidade, abaixo do amido (SCHEUER et al., 2011) e são responsáveis por conferir a característica principal da massa do pão, a viscoelasticidade, resultante da mistura da farinha de trigo com a água (CANELLA-RAWLS, 2021).

Segundo Osborne (1909), conhecido como o pai da química de proteínas vegetais, as proteínas dos vegetais, em geral, são classificadas com base na sua extração em determinado tipo de solvente, sendo que as proteínas solúveis em água são denominadas albumina, as globulinas são solúveis em solução salina diluída, as prolaminas (gliadinas) são solúveis em álcool 70% e as insolúveis nos respectivos solventes são denominadas gluteninas, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Fluxograma da classificação das proteínas do trigo

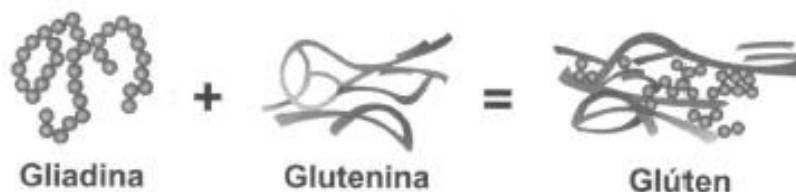


Fonte: SGARBIERI⁵, 1996 apud RAGUZZONI, 2007

As proteínas pertencentes as classes gliadina e gluteninas, são proteínas de reserva formadoras de glúten (Figura 4), no trigo, representam cerca de 80% do total de proteínas do grão (TORRES et al., 2009), sendo que a característica de insolubilidade em água confere a estas frações grande importância na tecnologia de panificação (SCHEUER et al., 2011). Essas proteínas de reserva são sintetizadas durante o desenvolvimento do endosperma e acumulados na forma de corpos proteicos durante a maturação da semente. Durante o processo de germinação, são utilizadas como fonte de carbono, nitrogênio e enxofre até a fase inicial de crescimento antes do estabelecimento da fotossíntese (TOSI, 2012).

⁵ SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos proteicos**. São Paulo: Livraria Varela, 1996. 517p.

Figura 4 : Estrutura do glúten: gliadina e glutenina



Fonte: ARAÚJO et al.⁶, 2008 apud AQUINO, 2012

Wieser (2007) e Aquino (2012) descrevem as gliadinas como cadeias polipeptídicas majoritariamente monoméricas, com massa molar entre 30.000 e 80.000 Da. São classificadas de acordo com a massa molecular e sequência de aminoácidos, na qual, a composição em aminoácidos dessa proteína depende da variedade do trigo e das condições de cultivo. Possuem longa cadeia linear que formam estruturas globulares por meio de ligações intramoleculares, como as forças de Van der Waals, apresentando baixa massa molecular e baixa elasticidade.

As gluteninas, segundo Wieser (2007) e Aquino (2012), são proteínas poliméricas de cadeias longas e ramificadas, a massa molar pode variar de 100.000 a 10 milhões Da, ligadas por pontes dissulfeto e são constituídas de subunidades classificadas em dois grupos: subunidades de baixa massa molecular (LMW-GS, do inglês Low Molecular Weight Glutenin Subunit) e as subunidades de alta massa molecular (HMW-GS, High Molecular Weight Glutenin Subunit). Os autores enfatizam o papel importante das gluteninas no tocante a força da massa e no volume do pão, por conta da sua baixa extensibilidade e alta elasticidade.

Aquino (2012) atribui a estabilidade das gliadinas e gluteninas principalmente às pontes de hidrogênio formadas pela glutamina, que apresenta forte tendência a estabelecer essa interação entre grupos amidas, bem como às pontes dissulfetos intra e intermoleculares e às interações hidrofóbicas. Assim como a glutaminas e a asparagina (aminoácido que também possui grupo amida) a presença de prolina favorece a formação das ligações de hidrogênio, responsáveis pela insolubilidade das proteínas do glúten (MANDARINO, 1994).

⁶ ARAÚJO, W.M.C. et al. **Alquimia dos alimentos**. Alimentos e bebidas, v.2, Brasília: Senac, 2008. 560p.

Mandarino, (1994) relata que a gliadinas possuem maiores teores de ácido glutâmico, prolina e cisteína e menores teores de alanina, glicina, lisina, ácido aspártico e treonina quando comparadas com as gluteninas. Em ambas, o ácido glutâmico e ácido aspártico estão presentes na forma amídica, como glutamina e asparagina, respectivamente, o que favorece a formação de pontes de hidrogênio que estabilizam a conformação alfa das proteínas, tornando possível a formação dessa estrutura espiralada que confere rigidez às proteínas formadores do glúten.

As gliadinas e gluteninas, na farinha, são compostos proteicos estáveis, porém, quando há a mistura com a água, juntamente com o trabalho mecânico (sova) e início da atividade de enzimas proteolíticas, essas estruturas, com grupos reativos mais expostos, se rearranjam e as cadeias de gluteninas e gliadinas formam ligações intermoleculares, desenvolvendo a rede de glúten (AQUINO, 2012).

- **Glúten**

Canella-Rawl (2021) descreveu a formação e importância do glúten na panificação como:

Ao misturar-se com um líquido e ser amassada, a farinha de trigo forma uma substância elástica, denominada glúten. O glúten tem a habilidade de esticar-se e aprisionar as bolhas de gás que farão o pão crescer. Tais gases vêm de uma ação fermentadora provocada por fungos!

De acordo com Chiang, Chen e Chang (2006), ao se misturar a farinha com a água, junto com um intenso trabalho mecânico, um complexo proteico, chamado glúten, vai sendo desenvolvido e este confere elasticidade e extensibilidade específicas que são características relevantes na confecção de diferentes produtos de panificação.

Dimuzio (2009) reporta que Raymond Calvel, em 1974, desenvolveu uma técnica de processamento que consiste em promover a autólise no início do preparo da massa. Assim, por meio da mistura da farinha, água e enzimas proteases e amilases, presentes na própria farinha, observa-se a formação do glúten sem a necessidade de um intenso trabalho mecânico de mistura. Este procedimento permite uma redução no tempo de sova conferindo diferentes características em relação à elasticidade e flexibilidade.

Além das gluteninas e gliadinas, presentes em grandes proporções, destaca-se também a cisteína, que é extremamente importante no crescimento da massa, pois permite a formação de ligações dissulfeto intramoleculares com a fração gliadina que estabilizam a estrutura secundária da proteína, ou intermoleculares com a fração glutenina, resultando na formação de grandes polímeros que são responsáveis pela elasticidade da massa (WIESER, 2007).

A gliadina e glutenina se complementam no desenvolvimento das massas, em relação às suas propriedades viscoelásticas (CHIAN, CHE, CHANG, 2005). Canella-Rawls (2021) salienta que as gliadinas possuem boa extensibilidade e baixa elasticidade, e por outro lado, a glutenina possui maior elasticidade e menor extensibilidade.

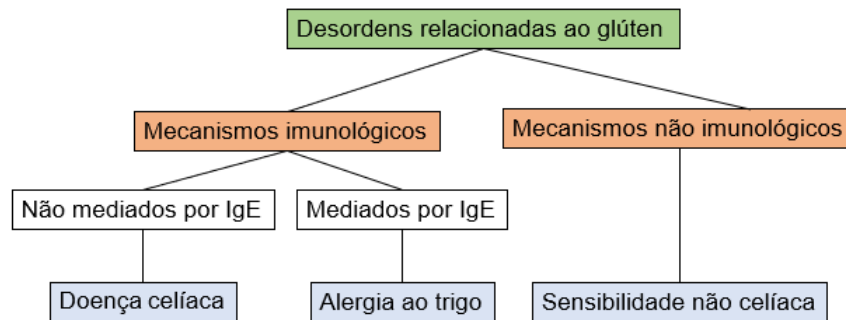
Além das pontes dissulfeto e pontes de hidrogênio, as interações hidrofóbicas também contribuem para a estabilização do complexo proteico, que envolvem ligações entre aminoácidos com sítios hidrofóbicos, como a prolina, sendo responsável pela rigidez da estrutura conformacional, tornando a rede de glúten mais resistente (RAGUZZONI, 2007; TORRES et al., 2009; WIESER, 2007). De acordo com Mandarino (1994), o número de ligações e a resistência das interações entre as cadeias das proteínas do glúten estão diretamente ligadas à estrutura e as propriedades reológicas da massa.

4.3 Desordens provocadas pelo consumo do glúten

Segundo estudo desenvolvido pelo Centro para Controle e Prevenção de Doenças (CDC), a incidência de alergias alimentares no mundo cresceu cerca de 50% entre 1997 e 2013 (SPERRY; BARTH, 2016). A Federação Nacional das Associações de Celíacos do Brasil (FENACELBRA) divulgou que em torno de 5% da população mundial apresenta alguma desordem relacionada ao glúten ou trigo, destacando, a doença celíaca, alergia ao trigo e sensibilidade ao glúten não-celíaca que, segundo Balakireva e Zamyatnin (2016), são englobadas no termo “intolerância ao glúten”.

Desde 2012, a comunidade científica reconhece a existência de diversas desordens relacionadas ao consumo de glúten e propuseram uma nova nomenclatura e classificação (SAPONE et al., 2012), conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5: Desordens relacionadas ao glúten



Fonte: elaborado pelo autor

Doença celíaca: reação autoimune mediada por células T, desencadeada por peptídeos derivados do glúten.

Alergia ao Trigo: reação imunológica adversa mediada por anticorpos da imunoglobulina E (IgE), em resposta às proteínas contidas no trigo.

Sensibilidade ao Glúten Não Celíaca: reação não alérgica e não autoimune (SAPONE et al., 2012)

As intolerâncias alimentares tem sido um problema frequente e cada vez mais diagnosticadas, dentre estas, destaca-se a intolerância ao glúten (ROSAS, 2006). De acordo com Nobre, Silva e Cabral (2007) a enteropatia ao glúten, também conhecida como doença celíaca (DC), afeta cerca de 1% a 2% da população do mundo. A princípio era considerada uma doença pediátrica, no entanto atualmente sabe-se que não há idade certa para que esta desordem se manifeste, sendo que, segundo os autores, cerca de 20% dos novos casos ocorrem em indivíduos com mais de 60 anos e é mais comum entre as mulheres (KOEHLER; WIESER; KONITZER, 2014).

Além da doença celíaca existem outros distúrbios relacionados ao glúten e trigo, como a alergia ao trigo e a sensibilidade ao glúten não celíaca, dificultando o diagnóstico, visto que, de acordo com Queiroz, Simioni e Ugrinovich (2020), os sintomas das respectivas anormalidades podem ser brandos e semelhantes entre si. Neste contexto, Koehler, Wieser e Konitzer (2014) destacam também a síndrome do intestino irritado, como uma patologia que pode ser confundida com a doença celíaca.

Green (2005), em estudo realizado nos Estados Unidos, mostrou que mais de 36% dos pacientes diagnosticados com doença celíaca tinham recebido um diagnóstico errado, sendo que estes pacientes apresentavam síndrome do intestino irritável. Por outro lado, Breyer e Maguilnik (2008) relataram que para cada 1 diagnóstico de paciente com doença celíaca, existem 7 outros portadores da doença sem diagnóstico.

A Doença Celíaca é uma doença autoimune do intestino delgado caracterizada pela incapacidade ou dificuldade em metabolizar o glúten (QUEIROZ; SIMIONI; UGRINOVICH, 2020). Em geral ocorre em pessoas que apresentam certa predisposição genética, uma vez que está relacionada aos genes do sistema de antígenos leucocitários humano (HLA - Human Leucocyte Antigen), parte importante do sistema imunológico (LEMES et al., 2018)

Fernandes et al. (2003) enfatizam que o HLA é o conjunto principal de histocompatibilidade (MHC - Major Histocompatibility Complex) nos seres humanos. Consiste de genes responsáveis pela codificação de proteínas que identificam a presença de um corpo estranho ao organismo, desencadeando a ação dos mecanismos de defesa.

No caso da doença celíaca, os genes que codificam as proteínas DQ2 e/ou DQ8 são os principais fatores genéticos responsáveis pela apresentação de antígenos aos linfócitos T, células do sistema imunológico, mas não são os únicos determinantes para a manifestação da doença (KUPFER; JABRI, 2012). Trynka, Wijmenga e Van Heel (2010) relatam que essa predisposição genética, a presença de antígenos leucócitos humanos (HLA)-DQ8 e (HLA)-DQ2, está presente em 30% da população saudável.

Essa enteropatia ao glúten além de ser desencadeada pela ingestão do glúten, o momento de expressão depende da predisposição genética do indivíduo e/ou fatores imunológicos ou ambientais, como antígenos leucocitários, fase de amamentação, momento de introdução do glúten na alimentação da criança (SDEPANIAN; MORAIS; FAGUNDES NETO, 1999; SCHERF, 2019). Koehler, Wieser e Konitzer (2014) ressaltam que a perda de tolerância ao glúten pode ser causada por infecções, como o rotavírus, alterações na microbiota intestinal, aumento da permeabilidade do intestino delgado e a chamada “hipótese da higiene”, hipótese que

sugere que a diminuição de estímulos infecciosos providenciados ao sistema imunológico humano, assim como a exposição à diversos produtos, tem como consequência o aparecimento de alergias (PEIXOTO, 2011).

Nos indivíduos celíacos a ingestão do glúten estimula a produção de anticorpos, principalmente as células T e imunoglobulinas do tipo IgA, resultando em inflamação do intestino delgado, atrofiando as vilosidades intestinais (PEDROSA et al., 2022). As alergias alimentares são mediadas pelo anticorpo Imunoglobulina E (IgE) que se ligam ao composto alergênico e estimula a produção de substâncias, como a histamina, leucotrienos e prostaglandinas, que causam os sintomas da alergia (ROSAS, 2006) Os indivíduos que apresentam alergia ao trigo, desenvolvem uma reação adversa que não causa danos no intestino delgado (SAPONE et al., 2011).

A inflamação no intestino, observada no indivíduo celíaco, resulta na inflamação das vilosidades do intestino, causando perda da área de absorção de nutrientes e eletrólitos e diminuição da produção de enzimas digestivas (SEMRAD et al., 2016). Estas alterações podem resultar em outras doenças pela falta de nutrientes, como a anemia, disfunção na tireoide e diminuição da densidade óssea (SCHERF, 2019). A doença celíaca pode se manifestar de diferentes formas clínicas podendo, de acordo com, Nobre, Silva e Cabral (2007), pode ser classificada da seguinte forma:

- **Clássica ou típica:** indivíduo sente desconforto abdominal, flatulência, pode apresentar aftas bucais, vômito, alteração no trânsito intestinal.
- **Não clássica ou atípica:**
 - Frustes: sintomas da forma clássica mais brandos.
 - Extra intestinal: manifestação de outros sintomas decorrentes da doença como, anemia ferropênica, osteopenia, dermatite herpetiforme, pode estar associada à cirrose, colangite esclerosante primária, entre outras...
- **Silenciosa:** indivíduos assintomáticos, mas o corpo apresenta atrofia vilositária.
- **Latente:** indivíduos assintomáticos com anticorpos circulantes e presença de linfocitose intraepitelial nas biópsias, que ainda não apresentam atrofia vilositária, mas podem desenvolver DC clinicamente com a exposição prolongada ao glúten.

No Brasil, de acordo com a legislação vigente (BRASIL, 1992; 2003) todos os produtos alimentícios são obrigados a informar nos rótulos sobre a presença de glúten. A Lei nº 8.543: “Determina a impressão de advertência em rótulos e embalagens de alimentos industrializados que contenham glúten, a fim de evitar a doença celíaca ou síndrome celíaca”, essa informação deve estar em destaque e de fácil leitura. A Lei nº 10.674: “Estabelece que os produtos alimentícios comercializados informem sobre a presença de glúten, como medida preventiva e de controle da doença celíaca”.

Pedrosa et al. (2022) apontam a existência de estudos em andamento que abordam o uso de suplementação de enzimas, bloqueadores de HLA-DQ2 e HLA-DQ8, probióticos, moduladores de barreira intestinal e endopeptidases como terapias adjuvantes, enfatizando que ainda são necessárias mais evidências. Segundo os autores, apesar do aparente sucesso do uso de probióticos, moduladores de barreira intestinal e endopeptidases na prevenção dos sintomas da doença celíaca, esses resultados só foram observados para o consumo de pequenas quantidades da proteína. Portanto, os autores alegam que o tratamento mais indicado para o indivíduo celíaco é a dieta sem glúten, com a exclusão completa e vitalícia de todos os alimentos que contenham glúten.

Tendo em vista as dificuldades de se colocar em prática esse procedimento, a ingestão do glúten pode ocorrer de forma involuntária, como por exemplo, falhas na descrição dos ingredientes que compõem os alimentos. Outra dificuldade reside na contaminação cruzada, a exemplo da utilização do óleo de fritura que foi utilizado para o preparo de alimentos com glúten e até mesmo a utilização de talheres e utensílios que entraram em contato com os alimentos com glúten, que não tiveram uma boa higienização (SERPA et al., 2020).

4.4 Fermentação

Segundo Canella-Ralws (2021): “fermentar é fazer crescer a massa pelo uso de material químico e/ou biológico que produza gás carbônico.”; porém, sob o ponto de vista técnico, a fermentação é um processo bioquímico de transformação, no qual há a degradação anaeróbia da glicose ($C_6H_{12}O_6$), ou de outros nutrientes orgânicos, para a obtenção de energia conservada como ATP (adenosina trifosfato; $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$) e NADH (nicotinamida adenina dinucleotídeo; $C_{21}H_{27}N_7O_{14}P_2$)

(LEHNINGER; NELSON; COX, 2014). Para se manterem ou se reproduzirem os microrganismos precisam de energia, a qual pode ser obtida por meio do catabolismo da glicose por meio dos processos de respiração ou fermentação, respectivamente. (AQUINO, 2012).

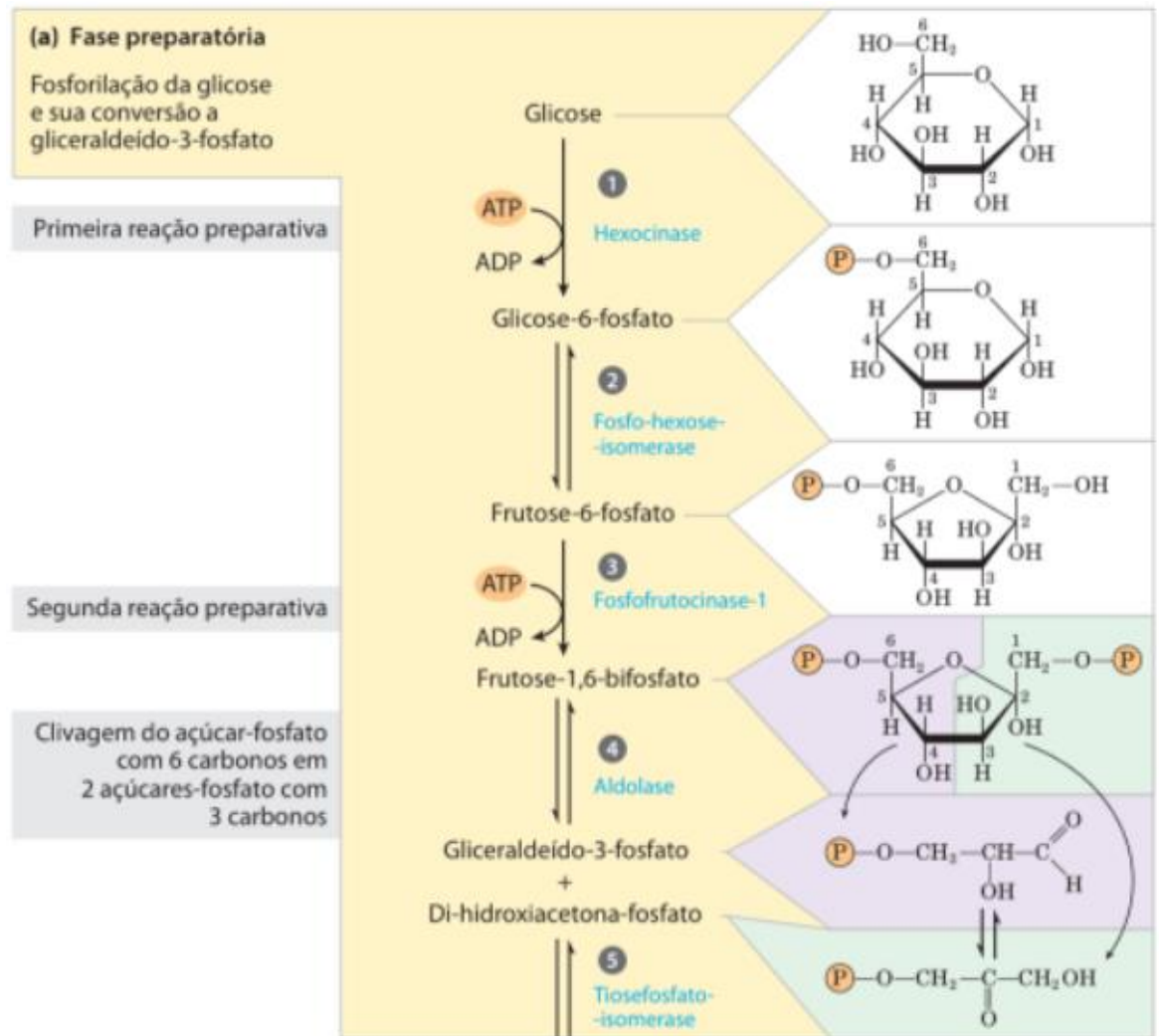
4.4.1 Glicólise

De acordo com Lehninger, Nelson e Cox (2014) a glicose é um monossacarídeo constituído de 6 átomos de carbono, e a principal fonte de energia para os animais, plantas e diversos microrganismos. Os autores ressaltam que a glicose, em animais e vegetais vasculares, possui quatro principais destinos: síntese de polissacarídeos complexos excretados ao meio extracelular; ser armazenada no meio intracelular como sacarose ou polissacarídeos; ser oxidada pela via das pentoses-fosfato em ribose-5-fosfato ($C_5H_{11}O_8P$); ser oxidada, por meio da glicólise, em piruvato ($C_3H_4O_3$).

A glicólise é a principal via metabólica para maioria das células, consiste na quebra da molécula de glicose em reações sequenciais que, catalisadas por enzimas, geram duas moléculas de piruvato e energia armazenada na forma de ATP (LEHNINGER; NELSON; COX, 2014). Voet, Voet e Pratt (2000) reportam que esta via representa uma porção significativa no fornecimento de energia utilizada para o preparo da glicose, e outros compostos, para posterior degradação oxidativa. Os autores enfatizam que a glicólise é composta por dez reações que podem ser divididas em dois estágios.

O primeiro estágio é a etapa de investimento de energia, também chamada de fase preparatória, que engloba as cinco primeiras reações (LEHNINGER; NELSON; COX, 2014). Neste primeiro estágio, representado na Figura 6, há o consumo de energia fornecida por duas moléculas de ATP que são utilizadas na fosforilação da glicose e posteriormente a hexose é clivada em duas moléculas de três carbonos que, por ação de uma enzima isomerase, formam duas moléculas de um produto comum, o gliceraldeído-3-fosfato ($C_3H_7O_6P$) (LEHNINGER; NELSON; COX, 2014).

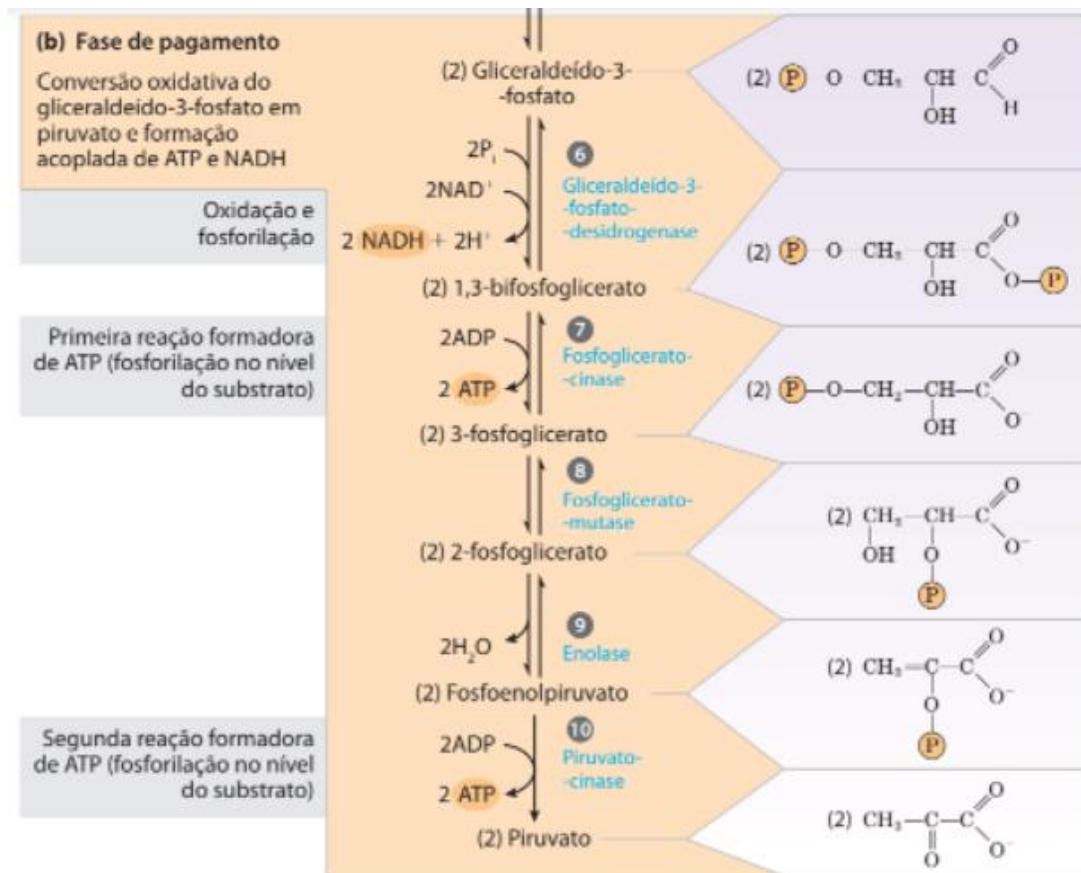
Figura 6 Glicólise – Estágio de investimento de energia



Fonte: LEHNINGER; NELSON; COX, 2014

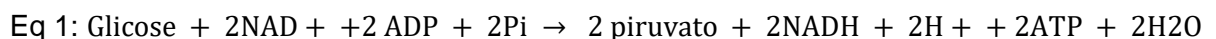
O segundo estágio, composto pelas últimas 5 reações, é a etapa de recuperação de energia, chamada por Lehninger, Nelson e Cox (2014) como “Fase de pagamento” (Figura 7). Neste estágio cada uma das moléculas de gliceraldeído-3-fosfato sofre conversão oxidativa e fosforilação, por fosfato inorgânico. Quando há a conversão em piruvato, um composto mais reduzido, há liberação de energia e grande parte dessa energia é conservada pela fosforilação de quatro moléculas de ADP (adenosina difosfato; $C_{10}H_{15}N_5O_{10}P_2$) em ATP e em duas moléculas de NADH (LEHNINGER; NELSON; COX, 2014).

Figura 7 Glicólise – Estágio de recuperação de energia



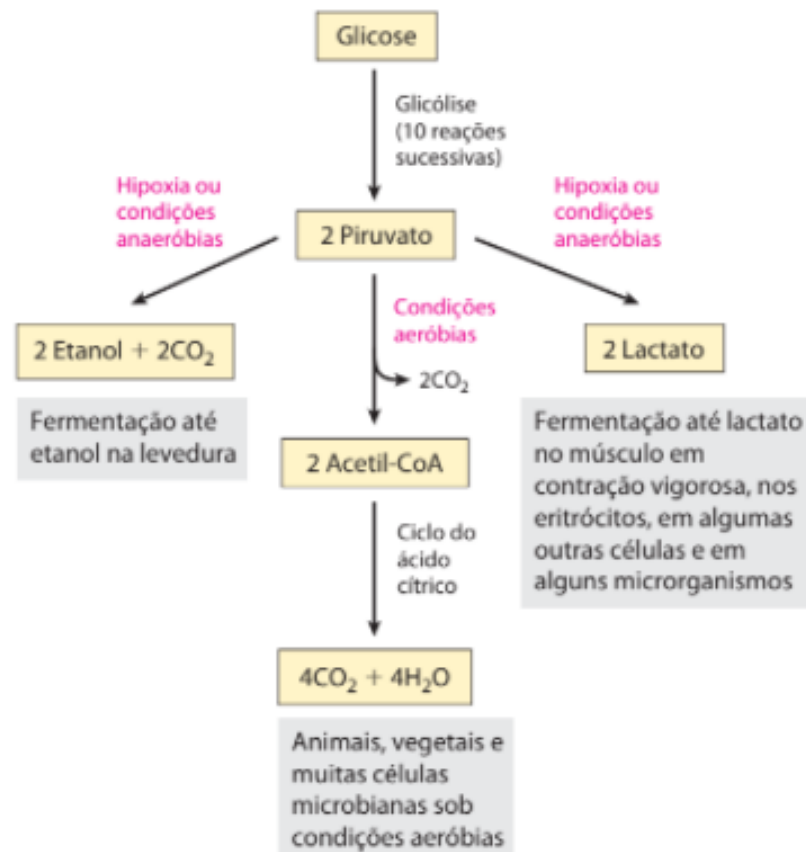
Fonte: LEHNINGER; NELSON; COX, 2014

A equação geral da glicólise por Lehninger, Nelson e Cox (2014, p.546):



Lehninger, Nelson e Cox (2014) explicam que, quando em condições aeróbias, o piruvato é oxidado a gás carbônico e água e o NADH é reoxidado a NAD^+ , que será utilizado na oxidação de outras moléculas de gliceraldeído-3-fosfato. Já em condições de hipóxia ou condições anaeróbias, os autores elucidam que não é possível a reoxidação do NADH pela molécula de oxigênio (O_2), assim sendo, o NAD^+ precisa ser regenerado de outra maneira, reduzindo o piruvato à etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) e gás carbônico, ou à lactato ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$), como ilustrado na Figura 8.

Figura 8: Destinos catabólicos do piruvato



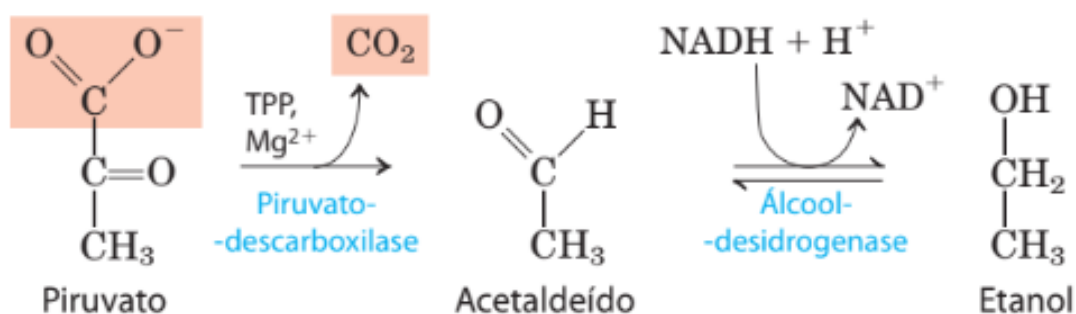
Fonte: LEHNINGER; NELSON; COX, 2014

Na fabricação de pães a fermentação tem início após a adição do fermento na mistura de farinha e água e continua durante o procedimento de sova e se manifesta mais acentuadamente na etapa de descanso da massa, que consiste em deixá-la em repouso em temperatura e umidade controladas, em torno de 26°C e 75%, respectivamente (CANELLA-RAWLS, 2021).

4.4.2 Fermentação Alcoólica

Voet, Voet e Pratt (2000) explicam que as leveduras e outros microrganismos convertem o piruvato em etanol através de duas reações; primeiramente ocorre a descarboxilação do piruvato formando acetaldeído (C₂H₄O) e CO₂, reação catalisada pela piruvato-decarboxilase, e posteriormente o acetaldeído formado é reduzido a etanol pelo NADH, catalisada pela álcool-desidrogenase, regenerando o NAD⁺, como ilustrado na Figura 9.

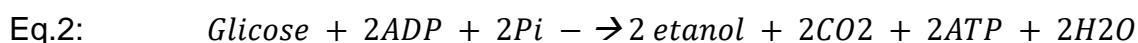
Figura 9 Conversão do piruvato à etanol



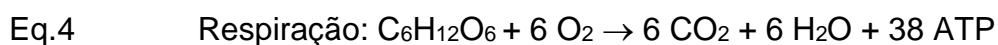
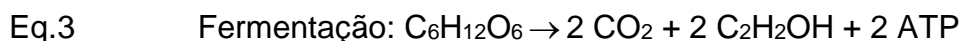
Fonte: LEHNINGER; NELSON; COX, 2014

No caso das leveduras, o *Saccharomyces cerevisiae* é o principal agente responsável pela fermentação dos pães; pertencente ao reino Fungi, é uma levedura unicelular anaeróbio facultativo, altamente tolerante ao etanol e seu desenvolvimento é favorecido em meios com o pH ácido e temperatura em torno de 30°C; a reprodução geralmente ocorre de forma assexuada, por gemulação, também chamada de brotamento (AQUINO, 2012; SENAI-SP, 2015).

A equação geral da fermentação etanólica por Lehninger, Nelson e Cox (2014, p.565):



O *Saccharomyces cerevisiae* apresenta metabolismo respiratório e/ou fermentativo em aerobiose e fermentativo em anaerobiose. Quando na ausência do oxigênio, utiliza da fermentação (equação 3) para obter energia, convertendo o açúcar em etanol e dióxido de carbono, e na presença de oxigênio, pode realizar a respiração (equação 4) formando dióxido de carbono e água (GAVA; SILVA; FRIAS⁷, 2008; SHETTY⁸, 2009 apud RYPKA, 2020).



⁷ GAVA, A.J.; SILVA, C.A.B.; FRIAS, J.R.G. **Tecnologia de alimentos**: princípios e aplicações. São Paulo: Nobel, 2009. p.511.

⁸ SHETTY, K. et al. **Food biotechnology**. CRC Press, 2006.

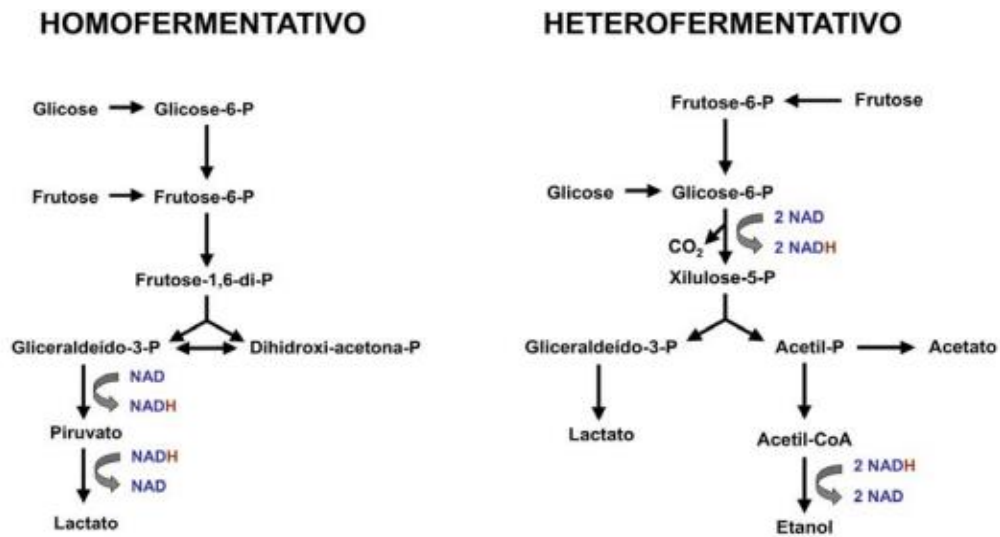
4.4.3 Fermentação Láctica

As bactérias ácido-láticas produzem ácidos que, além de conferirem o aroma e sabor característicos dos pães naturalmente fermentados, possuem grande influência também na qualidade nutricional, por interferirem em aspectos como a melhora na biodisponibilidade de nutrientes e quebra da rede de proteína (CANELLA-RAWLS, 2021).

As bactérias lácticas podem ter forma de cocos ou bacilos; são Gram positivas; anaeróbias ou anaeróbias facultativas; acidófilas e a temperatura ótima de crescimento varia de 30°C a 40°C (LOPES, 2008). As mais encontradas no fermento natural são do gênero *Lactobacillus*, essas bactérias são classificadas em homofermentativa, gerando majoritariamente ácido láctico ($C_3H_6O_3$), a partir do piruvato, e as heterofermentativas que produzem ácido láctico, etanol, ácido acético (CH_3COOH) e dióxido de carbono (REDDY et al., 2008).

Assim como na fermentação alcoólica, a fermentação láctica regenera moléculas de NAD^+ a partir do NADH pela redução do piruvato. No caso da fermentação láctica, por bactérias homofermentativas, o piruvato formado a partir da glicólise é reduzido à lactato ($C_3H_5O^-$) (LEHNINGER; NELSON; COX, 2014). Já, as bactérias heterofermentativas, produzem ácido láctico, dióxido de carbono e etanol em quantidades equimolares, a partir da via fosfocetolase (GEREKOVÁ; PETRULÁKOVÁ; ŠTURDÍK, 2011; KANDLER, 1983), assim como mostrado no esquema simplificado na Figura 10.

Figura 10: Esquema simplificado das vias metabólicas homo e heterofermentativas



Fonte: Costa, Vanessa (2006)

4.5 Fermentação natural

O fermento natural, também conhecido como massa mãe, massa azeda, sourdough ou levain, foi descrita por Wood (1998) como resultante da ação de diferentes espécies de microrganismos quando se procede a adição de água em cereais moídos que, depois de um certo tempo, resulta na formação de uma massa caracterizada pelo sabor ácido e aroma característico, promovendo aumento de volume devido a formação de gás.

A microbiota que constitui o fermento natural vai depender dos ingredientes utilizados e das condições ambientais, sendo que além da farinha e água, podem ser utilizados outros ingredientes como frutas, iogurte, tubérculos e raízes amiláceas (CAUVAIN; YOUNG, 2009). Canella-Rawls (2021) define o fermento natural como: “cultura fermentada baseada em bactérias e fermentadores que são encontrados na atmosfera.”, e de acordo com Vuyst et al. (2009): “sourdough é um ecossistema microbiano constituído de bactérias do ácido láctico e leveduras que estão presentes em uma matriz composta de uma mistura de farinha e água.”.

Conforme Suas (2018): “Um fermento natural sempre tende a incorporar as características do local onde foi criado – e, principalmente, do local onde é mantido.” Já que existem diversos microrganismos presentes em cada um dos ingredientes,

assim como, no meio ambiente em que o fermento é preparado, e estes podem ser naturalmente inoculados na massa. Segundo Arendt, Liam e Bello (2007), foram identificadas mais de 50 espécies de bactérias lácticas do gênero *Lactobacillus* e mais de 25 espécies de leveduras em massas fermentadas e ressaltam que as diferentes combinações dessas espécies resultam em pães com texturas, volume, e sabores diferentes.

Gobbetti (1998) relata que as leveduras e lactobacilos do sourdough convivem harmonicamente na massa pela baixa competitividade pela principal fonte de carbono. Segundo o autor, a maioria das leveduras utiliza hexoses e maltose por transporte de alta afinidade, enquanto as bactérias lácticas utilizam dissacarídeos e dependem da concentração deste no meio. O autor reporta ainda que a estabilidade do sourdough depende de uma relação cooperativa entre as leveduras e bactérias que, ademais, são responsáveis pelas propriedades organolépticas e nutricionais do pão produzido por fermentação natural.

Vuyst e Neysens (2005) identificaram mais de 70 diferentes espécies de microrganismos que podem estar presentes nos fermentos naturais, cujo metabolismo desenvolvido por essa variedade de microrganismos traz uma riqueza de aromas e sabores específicos à produção do pão. Assim, a partir da fermentação láctica observa-se reações de proteólise, síntese de compostos fenólicos e voláteis, que desempenham ação antifúngica (PLESSAS et al., 2011). A denominação de “massa azeda” é resultante da presença de compostos que conferem aroma e sabor peculiares como ácido láctico e ácido acético produzidos pelas bactérias (CANELLA-RAWLS, 2021).

Gül et al. (2005), estudando a microbiota presente em massas obtidas a partir de fermentação natural, constataram a presença significativa de leveduras, porem relataram a predominância de espécies de bactérias do ácido láctico, gerando um sistema simbiótico entre estas espécies. Os autores ainda reforçam em seus estudos a influência que a composição específica de cada sourdough tem na qualidade dos pães.

Durante a fermentação ocorrem muitas reações químicas e bioquímicas na massa que dependem da sua composição, assim como a microbiota do levain que, de acordo com Canella-Rawls (2021), é influenciada pela farinha, pelo teor de sal,

grau de hidratação da massa, temperatura e tolerância das leveduras ao ácido produzido pelas bactérias.

Para Gül et al. (2005) sourdough é um ecossistema no qual ocorrem interações fundamentais entre bactérias e leveduras e Fujimoto et al. (2019) salientam que a relação entre as bactérias e leveduras dependem de diversos fatores, como a qualidade da farinha, pH, temperatura entre outros. Canella-Rawls (2021), reporta que o tempo da fermentação também influencia a composição da microbiota, tendo em vista que *Saccharomyces cerevisiae* apresenta o metabolismo e taxa de crescimento maior em relação as bactérias que participam da fermentação natural.

4.5.1 Benefícios da fermentação natural na panificação

A presença das bactérias produtoras de ácido lático na fermentação natural promove mudanças significativas nas características sensoriais e nutricionais do pão por meio da ação de enzimas amilolítica, lipolítica e proteolítica, que atuam na hidrólise de açúcares, gorduras e proteínas produzindo ácidos orgânicos e outros metabólitos, como os exopolissacarídeos (EPS), polissacarídeos extracelulares (GOBBETTI, 1998; GOBBETTI et al., 2019).

A produção de ácido pelas bactérias promove a redução do pH do meio, otimizando a atividade de algumas enzimas, por exemplo as fitases, que atuam nas ligações do fitato. O ácido fítico por possuir muita carga negativa, atrai e se liga à componentes com carga positiva como o cálcio, zinco e magnésio, formando o fitato, impedindo que o organismo os aproveite. Com a atuação da enzima fitase, essas ligações são quebradas e há o aumento da biodisponibilidade de sais minerais e nutrientes (GOBBETTI et al., 2005).

A redução do pH otimiza também a atividade das amilases, responsáveis pela hidrólise do amido da farinha em açúcares fermentescíveis e das proteases, responsáveis pela hidrólise de cadeias proteicas (GOBBETTI et al., 2005), o que corrobora com Vianna et al. (2020) que afirmam que os pães obtidos por fermentação natural apresentam melhor digestibilidade, principalmente para as pessoas que possuem alguma sensibilidade ao glúten.

O meio ácido influencia também nas reações de oxirredução e desfavorece a contaminação por microrganismos indesejáveis, o que aumenta a vida de prateleira

do pão (FLANDER et al.⁹, 2011, EL-DASH et al.¹⁰, 1983 apud AQUINO, 2012). A velocidade de envelhecimento mais lenta do pão de fermentação natural também se deve à produção de enzimas sintetizadas pelas bactérias lácticas que interferem na retrogradação do amido e, assim como a rede de glúten, auxiliam no retardo do ressecamento do miolo (NIONELLI; RIZZELLO, 2016).

A diminuição do pH ainda auxilia na hidratação e intumescimento do glúten, causando mudança na estrutura da massa que se torna mais macia e facilmente extensível (AQUINO, 2012). As bactérias produzem um EPS que interfere na textura do pão e na qualidade nutricional, além de produzirem a enzima glutatona redutase que tem influência na retenção de umidade e maciez da massa após o cozimento (FUJIMOTO et al., 2019)

Durante a etapa de fermentação a concentração de ácidos produzidos pelas bactérias causa a diminuição do pH que pode inibir a atividade das leveduras, fazendo com que a fermentação natural seja ainda mais lenta (SUAS, 2012). Nesse tempo prolongado da etapa de fermentação as reações continuam acontecendo, há a quebra dos açúcares, produção de ácido, degradação do glúten e outras proteínas, causando o aumento de aminoácidos livres que posteriormente, durante a cocção farão parte de conversões químicas importantes para a aparência e aroma do pão.

Além dos ácidos e álcoois, os microrganismos presentes no fermento natural produzem metabolitos secundários importantes para características do pão, como os exopolissacarídeos produzidos pelas bactérias lácticas, que aumentam o teor de fibras dietéticas do alimento além de retardar a biodisponibilidade do amido e reduzir o índice glicêmico do alimento (GOBBETTI et al., 2019).

No processo de fabricação de pão por fermentação natural, são desenvolvidos complexos sabores, cores e aromas característicos. Os compostos voláteis como álcoois, aldeídos, ácidos, cetonas, éteres, ésteres, furanos, hidrocarbonetos, lactonas, pirazinas, pirrolinas e compostos de enxofre podem ser gerados durante o amassamento, como metabólitos na fermentação, assim como podem ser derivados

⁹ FLANDER, L. et al. Effects of wheat sourdough process on the quality of mixed oat-wheat bread. **Food Science and Technology**, v.44, p.656-664, 2011.

¹⁰ EL-DASH, A.; CAMARGO, C.O.; DIAZ, N.M. **Fundamentos da tecnologia de panificação**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1983. 350p. (Série tecnologia agroindustrial, n.6).

de oxidação de lipídeos, formados durante o período no forno, onde ocorrem as reações de Maillard e caramelização (PICO; BERNAL; GÓMEZ, 2015).

4.6 Opções de farinhas sem glúten

Existem diversas opções de farinhas sem glúten, advindas de legumes, grãos, cereais, pseudocereais, frutas, raízes e sementes, Camargo (2018), Campo et al. (2016) e Canella-Rawls (2021) apresentam as características de algumas opções de farinhas sem glúten usualmente utilizadas:

- **Farinha de amaranto:** derivada da semente do amaranto, pseudocereal, rica em proteínas e possui alto teor de amido, o que a torna um ingrediente muito utilizado como espessante, pois quando aquecida torna o produto gelatinoso e viscoso
- **Farinha de araruta:** processada a partir da raiz da planta, que é desidratada e moída. Possui alto poder espessante e é rapidamente digerível.
- **Farinha de arroz:** possui cerca de 6 a 7% de proteína (não formadoras de glúten), possui baixo índice glicêmico e alta capacidade de absorção de umidade.
- **Farinha de aveia:** normalmente processada do grão todo (casca, germe e endosperma) possui fibra solúvel que retem água (é preciso tomar cuidado com a contaminação cruzada, muito comum com a aveia, já que muitas vezes é transportada e processada no mesmo local onde se processam alimentos com glúten)
- **Fécula de batata:** processada a partir da batata cozida e seca, possui cerca de 8% de proteína e vitaminas do complexo B (tiamina, riboflavina e niacina), normalmente utilizada em combinação com outras farinhas, oferece maciez à massa.
- **Farinha de grão de bico:** considerada uma das mais nutritivas, possui elevados níveis de proteínas, vitaminas e minerais como cálcio, ferro, fósforo e potássio.
- **Farinha de linhaça:** utilizada inteira ou em forma de farinha, a linhaça é utilizada junto com outras farinhas para aumentar a quantidade de fibras do

produto, além de ser rica em fibras e gorduras boas, a linhaça é um fitoestrógeno natural e possui propriedades antioxidantes.

- **Farinha de milho:** processada a partir do milho seco, possui alta concentração de amido, entre 7 e 8% de proteínas e rica em vitamina A.
- **Farinha de soja:** muito rica em proteína (cerca de 50%), vitaminas e minerais. Por ser pobre em amido, não possui função estruturadora, sendo utilizada apenas como suplemento.
- **Farinha de teff:** feita a partir do grão de teff, cereal africano, possui qualidade nutricional superior, rica em carboidratos, vitaminas, minerais (especialmente ferro, cálcio, cobre e zinco) e possui todos os aminoácidos essenciais.
- **Polvilho e farinha de tapioca:** obtido da raiz da mandioca, ingrediente capaz de mudar a reologia das massas, pois possui propriedades de gelificação, espessamento e retrogradação. Auxilia no espessamento da massa, maior estabilidade das bolhas de gás e retenção da umidade do pão.
- **Farinhas de castanhas,** obtida da trituração de qualquer castanha, em sua maioria, densas e ricas em gorduras e proteínas
- **Farinha de chia** qualidade nutricional, presença de antioxidantes, minerais e vitaminas
- **Farinha de coco, produzida** com a polpa seca do fruto, possui pouco carboidrato
- **Farinha de feijão,** feita a partir do grão de feijão, rica em proteínas
- **Farinha de maca** peruana fibras, vitaminas, zinco, cálcio e ferro
- **Farinha de milhete,** feita com o grão do milhete, rica em nutrientes
- **Farinha de quinoa,** feito do grão, é densa e possui alto teor de proteínas, fibras e minerais
- **Farinha de sorgo,** semelhante ao milho, proteínas e fibras e menos gordura

As formulações sem glúten requerem diferentes tratamentos, principalmente relacionados ao tempo e temperaturas de fermentação e cocção (CANELLA-RAWLS, 2021), muitas vezes é necessária também a adição de outros ingredientes, como a Goma xantana, para dar mais coesão e viscosidade à massa.

4.7 Produção de pães sem glúten

O glúten tem um papel muito importante na panificação principalmente na formação do volume e textura da massa por conta da sua propriedade viscoelástica. A retirada total do glúten das formulações de pães geralmente resulta em perda de características sensoriais, como a textura esfarelada, o miolo mais denso e casca pálida (ARENDT et al., 2008).

Com a exclusão da farinha de trigo e outras farinhas que também possuem as proteínas formadoras do glúten, como o centeio e cevada, é necessário buscar opções alternativas por meio da utilização de farinhas sem glúten, como caracterizadas anteriormente. Muitas vezes são utilizadas misturas de diferentes farinhas ou também empregados ingredientes que mimetizam as características viscoelásticas do glúten na tentativa de melhorar a qualidade desses produtos (GALLAGHER; GORMLEY; ARENDT, 2003).

A pouca variedade, baixa qualidade e custo maior dos produtos sem glúten são uma realidade na indústria de alimentos. Além de estragarem mais rápido, Diowksz et al¹¹ (2006 apud NIONELLO; RIZZELLO, 2016) ressaltam que os produtos sem glúten muitas vezes apresentam grandes quantidades de amido, poucas fibras e muitas calorias. O maior desafio dos produtores é conferir as características elásticas à massa devido à ausência da rede de proteína.

Em busca do aprimoramento da produção de alimentos sem glúten a indústria da panificação tem combinado diferentes ingredientes e tecnologias de produção (MORONI, DAL BELLO E ARENDT, 2009). Várias abordagens alternativas, como tratamentos de alta pressão, extrusão e adição de enzimas tem sido adotadas, de tal modo que a utilização de farinhas de leguminosas associada à fermentação natural tem se destacado como forma de melhorar as características nutricionais e sensoriais do produto final (NIONELLI; RIZZELLO, 2016; SILVA, 2020).

Gallagher, Gormley e Arednt (2003) avaliaram a adição de ingredientes derivados do leite na fabricação de pães, como o soro do leite, leite em pó integral e desnatado e proteínas do leite, sem utilizar a fermentação natural. Os autores

¹¹ Diowksz, A.; et al. D.β-glucan Content in Gluten Free Sourdough Breads Supplemented with Soya Sprouts. In Proceedings of the 3th International Symposium on Sourdough, Bari, Italy, 25–28 October 2006.

observaram que a adição de derivados lácteos, em geral, interfere positivamente no escurecimento da casca, pois a proteína do leite promove a absorção de água, bem como na disponibilidade de aminoácidos para reagir com os açúcares redutores, otimizando as reações de Maillard. A adição dos lácteos com maior concentração de proteína resultaram em pães com volume menor, mas com melhor aparência do miolo e da casca, sendo que a adição dos lácteos com menor teor de proteína conferiram maior maciez à casca e miolo. Gallagher, Gormley e Arednt (2003) concluem que as formulações suplementadas com soro do leite, leite em pó integral e proteínas do leite isoladas resultaram em pães com maior volume e casca e miolo mais macios, além da melhora nutricional pela maior quantidade e variedade de proteínas. Em contrapartida, segundo Murray¹² (1999, apud ARENDT et al., 2008), cerca 50% das pessoas portadoras da doença celíaca também possuem intolerância à lactose.

Picozzi et al. (2016) demonstraram que a fermentação natural tem um efeito positivo na qualidade do cozimento, volume, textura e sabor do pão. Os autores relataram que cepas de lactobacilos selecionadas a partir de massas sem glúten foram semelhantes aquelas encontradas em sourdoughs de trigo, revelando que a biotecnologia tradicional empregada no preparo de sourdough com farinha trigo pode ser utilizada na confecção de alimentos sem glúten para obter melhores características sensoriais.

Mesmo com a mistura de diferentes farinhas sem glúten e adição de cereais ou pseudocereais frescos e congelados, a fermentação natural se mostrou eficaz para a qualidade sensorial do produto final. Campo et al. (2016) utilizaram amaranto (fresco e congelado) e Rózylo et al. (2015) usaram o trigo sarraceno na formulação de pães sem glúten, em ambos os estudos, a análise sensorial revelou melhor avaliação no quesito aroma de pão e nos demais quesitos, melhores notas quando da utilização de frutas e cereais.

Aguilar et al. (2016) avaliaram a farinha de castanha com a fermentação natural utilizando o backslopping (técnica na qual se utiliza parte do fermento anterior como inóculo) para a produção de pão de amido de milho sem glúten. Os autores relatam

¹² Murray, J. A. **The widening spectrum of celiac disease**. Am. J. Clin. Nutr. 69, p.354-363, 1999.

aumento no volume e maior tempo de conservação, porém houve diminuição da dureza da casca.

Uma cepa de *Lactobacillus amylovorus* foi utilizada no estudo conduzido por Axel et al. (2015) para a produção de um pão sem glúten feito com farinha de quinoa. Além de estender a vida de prateleira do produto, foi relatado a melhora da qualidade do pão, em relação ao volume específico e dureza do miolo.

Wolter et al. (2014) produziram pães sem glúten a base de trigo sarraceno, quinoa e farinha de teff por fermentação natural, com adição de exopolissacarídeos produzidos por *Weissella cibaria* MG1. Os autores relatam o aumento da porosidade do miolo, diminuição da dureza e redução da velocidade de envelhecimento, mas não houve melhora no aroma dos pães.

Campo et al. (2016) estudaram diferentes porcentagens da farinha de teff (5%, 10% e 20%, em peso) em formulações de pão sem glúten utilizando sourdough. Os autores descrevem que as formulações adicionadas com 10% de farinha de teff nos pães feitos com a farinha de arroz e trigo sarraceno possuíram melhores avaliações no quesito aroma, em especial, o com farinha de arroz foi também o melhor avaliado quanto o sabor, já os pães com adição de 20% foram mais bem avaliados quanto à aparência.

Arendt et al. (2008) citam estudos nos quais a utilização da soja na mistura da massa de pães sem glúten resultou em melhora na qualidade sensorial, porém, apesar de ser um ingrediente com alto teor de proteína e apresentar diversos benefícios à saúde, como a redução do risco de osteoporose, doença cardiovascular e câncer de mama a soja é considerada um ingrediente altamente alergênico (SANCHEZ et al.¹³, 2002, MOORE et al.¹⁴, 2004 apud ARENDT et al., 2008)

Moroni, Dal Bello e Arendt (2009) apontam que devido a crescente procura por alimentos naturais e produtos sem glúten de alta qualidade, torna-se necessário estudos com diferentes abordagens para a fabricação de pães sem glúten. Enfatizam o uso da fermentação natural em escala industrial para a fabricação destes alimentos,

¹³ SANCHEZ, H.D; OSELLA, C.A; la TORRE, M.A.G. Use of response surface methodology to optimize gluten-free breads fortified with soy flour and dry milk. **International Food Science Technology**. V.10, p.5-9, 2004.

¹⁴ MOORE, M.M. et al. Textural comparison of gluten-free and wheat based doughs, batters and breads. **Cereal Chemistry**, V.81, p.567-575, 2004.

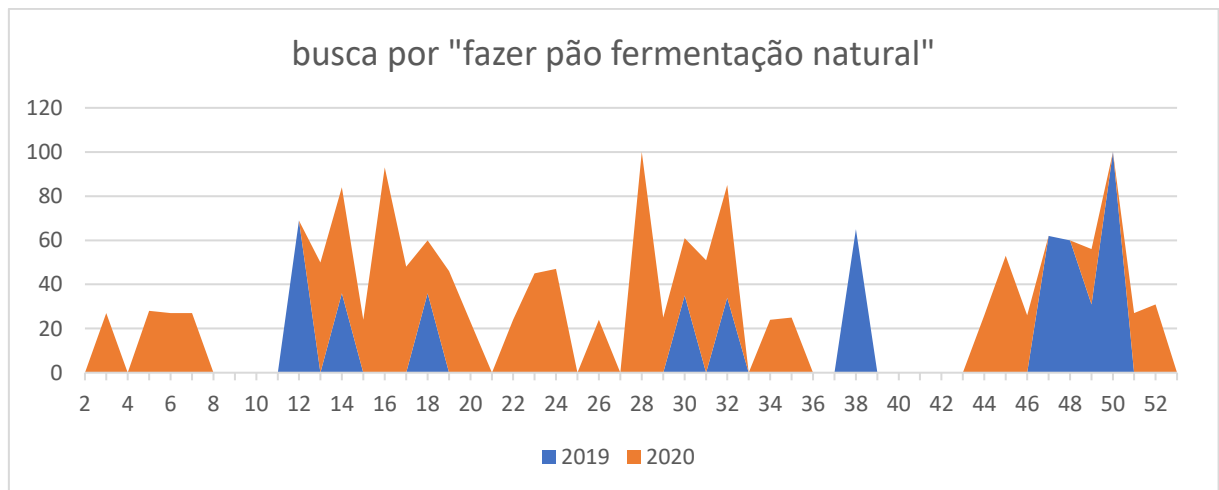
pois essa tecnologia confere segurança e melhorias nas características sensoriais e nutricionais dos pães.

5. DISCUSSÃO

O pão sempre foi um alimento muito importante para a alimentação da população em todo o mundo. O estudo sobre esse alimento, assim como o desenvolvimento de novas tecnologias para sua produção, tem passado por avanços relevantes ao longo do desenvolvimento da sociedade.

Nos últimos anos, por conta da pandemia, as pessoas começaram a passar mais tempo dentro de casa e aproveitando esse tempo para aprender coisas novas, ou até mesmo buscando novas fontes de renda. A Figura 11 apresenta a comparação pela busca do termo “fazer pão fermentação natural” no site de busca Google nos anos de 2019 e 2020, no qual o eixo X representa a semana do ano, e no eixo Y o interesse de pesquisa.

Figura 11: Resultados da busca por: “fazer pão fermentação natural” no Google em 2019 e 2020

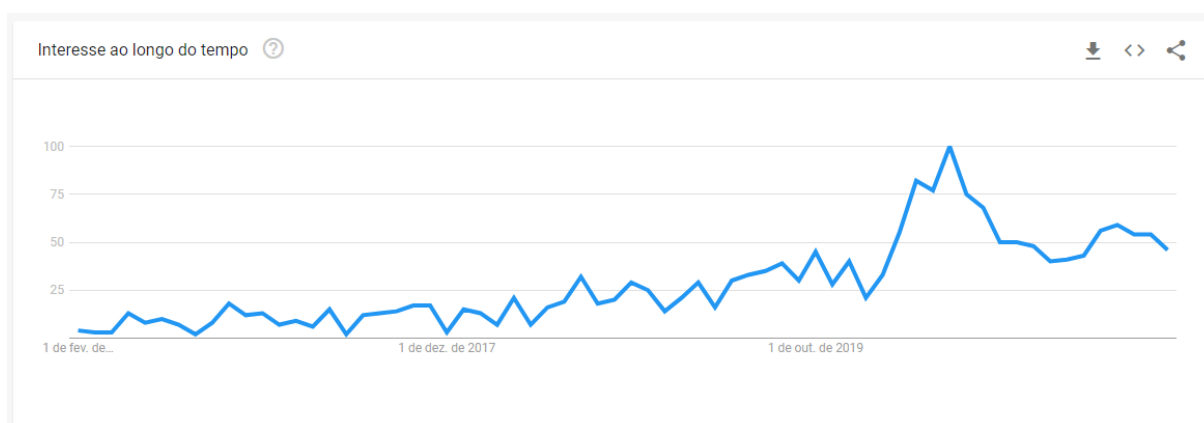


Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Dentre os novos *hobbies* e ocupações, a culinária se mostrou muito presente, a busca por “fazer pão fermentação natural” aumentou cerca de 207%, quando comparados os anos de 2019 e 2020.

A Figura 12 apresenta os dados de busca no Google pelo termo “fermentação natural” no período entre 2016 até o final do primeiro semestre do ano de 2021, na qual o eixo X representa os meses dos anos e no eixo Y o interesse de pesquisa.

Figura 12: Resultados da busca por “fermentação natural” no Google em 01/01/2016 a 01/07/2021



Fonte: <https://trends.google.com/trends/explore?date=2016-01-07%202021-07-01&geo=BR&q=fermenta%C3%A7%C3%A3o%20natural>

Quando analisados os dados da Figura 12, é possível identificar um comportamento crescente, além de um pico correspondente aos meses de abril, maio e junho de 2020, que coincidem com o início da pandemia da covid-19.

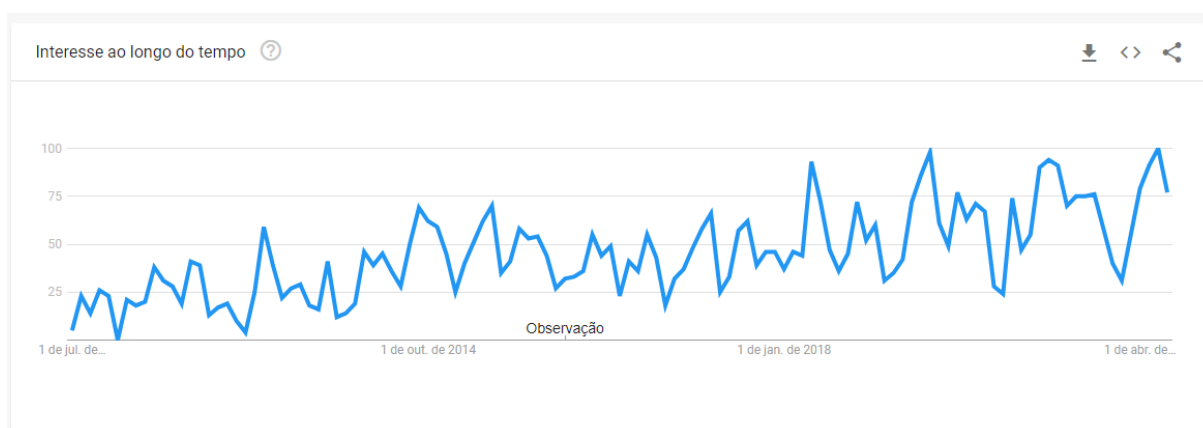
Com a análise da Figura 12, pode-se afirmar que, assim como observado por Camargo (2018): “Nos últimos anos, a valorização dos produtos artesanais e o crescente estímulo à cultura do consumo de produtos orgânicos vem trazendo um retorno à utilização de fermento natural na panificação.” Esse interesse continua em crescimento e foi potencializado com a pandemia da covid-19, quando as pessoas, durante a quarentena, buscaram novas atividades para fazer em casa e até mesmo como complemento ou fonte de renda.

A fermentação natural, que surgiu de forma espontânea há cerca de 5020 anos atrás, além da facilidade de obtenção das matérias primas utilizadas, farinha e água, quando comparado aos pães de padarias convencionais ou os pães industrialmente produzidos, disponíveis nas prateleiras de mercado, os pães fermentados de forma lenta e natural apresentam diversos benefícios. Além das qualidades sensoriais muito características dessas massas, como o cheiro e sabor ácido, eles possuem diversos

qualidades nutricionais superiores, como o aumento da biodisponibilidade de vitaminas e minerais, diminuição do índice glicêmico do alimento e maior tempo de conservação sem o uso de aditivos químicos e melhor digestibilidade.

Algo que foi perceptível também é a progressão pela busca por alimentação mais saudável, por pessoas que apresentam ou não alergia ao glúten ou trigo. Na Figura 13 (o eixo X representa os meses dos anos e o eixo Y o interesse de pesquisa) está retratada a busca no Google pelo termo “alimentos saudáveis” ao longo dos últimos 10 anos, período entre 01/07/2011 a 01/07/2021.

Figura 13: Resultados da busca por “alimentos saudáveis” no Google entre 01/07/2011 a 01/07/2021



Fonte: <https://trends.google.com/trends/explore?date=2011-07-01%202021-07-01&geo=BR&q=alimentos%20saud%C3%A1veis>

Atualmente é possível encontrar diversos materiais e cursos ensinado a fazer pão com o fermento natural mas, majoritariamente, trabalhando com a tradicional farinha de trigo enriquecida com ácido fólico e ferro. Apesar da fermentação natural conferir diversos benefícios e ser capaz de degradar boa parte da rede proteica, o glúten, para as pessoas acometidas pela doença celíaca ou que apresentam sensibilidade ao glúten, somente o processo da fermentação natural com a utilização da farinha de trigo comum, não é suficiente para garantir segurança a esses indivíduos.

Segundo Sperry e Barth (2016) reportado pelo Centro de controle e prevenção de doenças, o número de casos de alergias alimentares cresceu aproximadamente 50% em 16 anos. No Brasil não há estatísticas oficiais sobre o número de celíaco, porém Heloísa Bade (2022), presidente da Federação Nacional de Celíacos do Brasil, reporta

que cerca de 2 milhões de pessoas no Brasil são acometidas pela doença celíaca, sem considerar aqueles indivíduos que apresentam alergia ao trigo, em diferentes níveis, e sensibilidade não celíaca ao glúten. Tem-se observado um crescente número de casos identificados de indivíduos celíacos, ou indivíduos com alergias alimentares, o que tem provocado a busca por alimentos alternativos isentos de glúten. Neste contexto, vale salientar que para os indivíduos acometidos pela doença celíaca o único tratamento conhecido, até hoje, é a eliminação total do glúten da dieta, sendo que os produtos sem glúten encontrados no mercado ainda são minoria.

Além do custo mais elevado dos produtos isentos de glúten industrializados, há pouca variedade e, em sua maioria, deixam a desejar nas qualidades sensoriais e nutricionais. Com o aumento do número de consumidores, esse mercado vem crescendo e as pesquisas e desenvolvimentos de novos produtos também. Muitas vezes são utilizados os mesmos ingredientes, incluindo compostos que mimetizam certas substâncias para conferir a melhoria de alguma característica, ou são utilizados outros ingredientes que também possuem alto potencial alergênico.

Já foram estudadas diversas técnicas e misturas de ingredientes para aprimorar as qualidades das massas sem glúten, na produção de pães por exemplo, como o uso de hidrocoloides, enzimas, emulsificantes ou mesmo a utilização de ingredientes como soja e produtos lácteos na mistura da massa. No caso dos dois últimos citados, por possuírem alto potencial alergênico, não são tão interessantes, dependendo do objetivo. Grande parte dos pacientes com sensibilidade ao glúten, são também intolerantes à lactose presente na maioria dos produtos lácteos, assim, a adição de ingredientes como a soja e derivados do leite, ainda exclui outra parcela dos consumidores.

Ao longo deste trabalho viu-se que estudos observaram que a aplicação da fermentação natural na produção de pães sem glúten, assim como na produção de pães de trigo, é capaz de melhorar aspectos sensoriais e nutricionais desses alimentos. Muitos fatores interferem na qualidade do produto final além do tipo de fermento utilizado, como a qualidade da farinha, mistura dos ingredientes, tempo e temperatura da fermentação, quantidade e temperatura da água, entre outros, porém, é crível que, com a utilização de farinhas isentas de glúten junto com a tecnologia da fermentação natural para o desenvolvimento de melhores características sensoriais e nutricionais, tem-se uma boa ferramenta para melhorar a disponibilidade de produtos

de qualidade para o público celíaco ou alérgicos ao glúten e trigo, empregando menos ingredientes, assim podendo diminuir o custo do produto final e não correr o risco da utilização de outros ingredientes que possam ser prejudiciais à saúde dos consumidores.

6. CONCLUSÕES

A revisão de literatura, objeto do presente trabalho, permitiu abordar aspectos relevantes sobre o processo de confecção de pães, com ênfase para a utilização do processo de fermentação natural. Neste contexto, caracterizou-se o trigo como principal ingrediente das formulações do segmento da panificação, dando ênfase ao glúten e seus efeitos no organismo humano. Assim, abordou-se sobre as diferentes anormalidades causadas pela ingestão do glúten, que consiste de diferentes níveis de sensibilidade culminando com a doença celíaca, a qual acarreta deformações nas vilosidades do intestino tendo como consequência uma série de comprometimentos a saúde do indivíduo. Como alternativas para amenizar os efeitos resultantes desta anormalidade focou-se no processo de fermentação natural na confecção de pães artesanais, bem como na utilização de farinhas não convencionais, sem glúten, as quais foram devidamente caracterizadas.

REFERÊNCIAS

AGUILAR, N. et al. Chestnut flour sourdough for gluten-free bread making. **European Food Research and Technology**, v. 242, n. 10, p. 1795–1802, 1 out. 2016.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 263 de 22 de setembro de 2005. **Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos.** Disponível em: <
https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/saude/vigilancia_em_saude/Legislação%20Geral_alterado%2015_12_17.pdf> Acesso em: 25 de junho de 2021.

AQUINO, VANESSA CUKIER. **Estudo da estrutura de massas de pães elaboradas a partir de diferentes processos fermentativos.** 2012. 87f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade de São Paulo- USP, São Paulo, 2012.

ARENDT, E.K; RYAN, L RENDT, E.K; RYAN, L.A.M, BELLO, F.D. Impact of sourdough on the texture of bread, **Food Microbiology**, v.24, n.2, p.168-174, 2007.

ARENDT, E. K. et al. Gluten-free breads. **Gluten-Free Cereal Products and Beverages**, 1 jan. 2008.

ARNAUT, ANDREY NASCIMENTO. **Desenvolvimento e avaliação de pão de fermentação natural enriquecido com farinha de bagaço de malte.** 2019. 57f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Gastronomia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019

AXEL, C. et al. Application of *Lactobacillus amylovorus* DSM19280 in gluten-free sourdough bread to improve the microbial shelf life. **Food Microbiology**, v. 47, p. 36–44, 1 maio 2015.

BAKER, H. G. **Plants and Civilization.** 2. ed. Londres: Macmillan International Higher Education, 1970.

BALAKIREVA, A. V.; ZAMYATNIN, A. A. Properties of Gluten Intolerance: Gluten Structure, Evolution, Pathogenicity and Detoxification Capabilities. **Nutrients**, v. 8, n. 10, 1 out. 2016.

BRASIL, Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. **A cultura do trigo.** Organizadores: NETO, Aroldo Antônio de Oliveira; ROMERO, Candice Mello Santos. Brasília: Conab, 2017.

BRASIL. Lei nº10.674, de 16 de maio de 2003. Obriga que os produtos alimentícios comercializados informem sobre a presença de glúten, como medida preventiva e de controle da doença celíaca. Brasília, Diário Oficial da União, 16 de maio de 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa MAPA nº8 de 02 de junho de 2005. Regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo. Disponível em: <
<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=803790937>> Acesso em: 25 de junho de 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa MAPA nº38 de 30 de novembro de 2010. **Regulamento técnico do trigo**. Disponível em: < https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/normativos-cgqv/pocs/trigoinstrucaonormativa38_2010-com-alteracoes-in23_2016.pdf/view> Acesso em: 25 de junho de 2021.

Brasil, SENAI-SP. Panificação. 1ª edição. São Paulo. SENAI-SP Editora, 2015.

CAMARGO, L.A. Pão Nosso: Receitas caseiras com fermento natural. 1ª edição. São Paulo. Editora Senac São Paulo, 2018.

Campo, E. et al. A. Impact of sourdough on sensory properties and consumers preference of gluten-free breads enriched with teff flour. **J. Cereal Sci**, 2016.

CANELLA-RAWLS, S. **Pão, arte e ciência**. 6a edição. São Paulo. Editora Senac São Paulo, 2021.

CANTANHEDE, V. Alergia ao glúten, intolerância ao gluten ou doença celíaca? **Food Safety Brazil**, 2019. Disponível em:< <https://alergia-ao-gluten-intolerancia-ao-gluten-ou-doenca-celiaca/?cn-reloaded=1>> Acesso em: 19 de julho de 2021.

CAUVAIN; YOUNG. **Technology of Breadmaking**. 2ª edição; Boston, Springer Science & Business Media, 2009.

CHIANG, S. H.; CHEN, C. S.; CHANG, C. Y. Effect of wheat flour protein compositions on the quality of deep-fried gluten balls. **Food Chemistry**, v. 97, n. 4, p. 666–673, 1 ago. 2006.

DE VUYST, L.; NEYSENS, P. The sourdough microflora: Biodiversity and metabolic interactions. **Trends in Food Science and Technology**, v. 16, n. 1–3, p. 43–56, jan. 2005.

DIMUZIO, D. T. **Bread Baking: An Artisan's Perspective**. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=3X21DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 13 de janeiro de 2022.

EMBRAPA, O trigo. Passo Fundo, RS. documento online n.74, 2006. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do74_2.htm> Acesso em: 10 de junho de 2021.

FEDERAÇÃO NACIONAL DAS ASSOCIAÇÕES DE CELIACOS DO BRASIL. Milhões têm doença celíaca, mas o diagnóstico é difícil (2015). Disponível em: <<http://www.fenacelbra.com.br/fenacelbra/blog/2015/11/28/milhoes-tem-doenca-celiaca-mas-o-diagnostico-e-dificil/>> Acesso em: 15 de junho de 2021.

FERNANDES, A. P. M. et al. Como entender a associação entre o sistema HLA e as doenças auto-imunes endócrinas. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v. 47, n. 5, p. 601–611, out. 2003.

FERREIRA, P. M. DE L. et al. Qualidade físico-química da água para irrigação do Rio Piancó Piranhas Açua na cidade de Pombal-PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 3, p. 78–83, set. 2014.

FUJIMOTO, A. et al. Identification of lactic acid bacteria and yeasts, and characterization of food components of sourdoughs used in Japanese bakeries. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 127, n. 5, p. 575–581, 1 maio 2019.

GALLAGHER, E.; GORMLEY, T. R.; ARENDT, E. K. Crust and crumb characteristics of gluten free breads. *Journal of Food Engineering*, v. 56, n. 2–3, p. 153–161, 1 fev. 2003.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Editora Atlas SA, 2008.

GOBBETTI, M. The sourdough microflora: Interactions of lactic acid bacteria and yeasts. **Trends in Food Science & Technology**, v. 9, n. 7, p. 267–274, 1 jul. 1998.

GOBBETTI, M. et al. Biochemistry and physiology of sourdough lactic acid bacteria. **Trends in Food Science & Technology**, v. 16, n. 1–3, p. 57–69, 1 jan. 2005.

GREEN, P. The many faces of celiac disease: clinical presentation of celiac disease in the adult population. *GASTROENTEROLOGY*; v.128, n.4, p.74 –78, 2005. Disponível em: < <https://www.gastrojournal.org/action/showPdf?pii=S0016-5085%2805%2900185-X>> Acesso em: 15 de outubro de 2021.

GUIMARÃES, A. D. et al. **Tecnologia em gastronomia: levain, panificação e processo de fermentação natural.**, 2014. Disponível em: <http://famesp.com.br/novosite/wpcontent/uploads/2014/tcc/famesp_annalia_d_guimaraes_ferreira.pdf> Acesso em: 10 de setembro de 2021.

JACOB, H.E. **Seis mil anos de pão: a civilização humana através de seu principal alimento**. Nova Alexandria, 2003.

KANDLER, O. Carbohydrate metabolism in lactic acid bacteria. **Antonie Van Leeuwenhoek**, v. 49, p. 209–224, set. 1983.

KATINA, K. et al. Potential of sourdough for healthier cereal products. **Trends in Food science & technology**, n.16, p. 104-112, 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092422440400202X> Acesso em: 15 de agosto de 2021.

KOEHLER, P.; WIESER, H.; KONITZER, K. Celiac Disease—A Complex Disorder. **Celiac Disease and Gluten**, p. 1–96, 1 jan. 2014.

KUPFER, S. S.; JABRI, B. Pathophysiology of Celiac Disease. **Gastrointestinal Endoscopy Clinics of North America**, v. 22, n. 4, p. 639–660, 1 out. 2012.

LEHNINGER, T. M.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica**. 6a. ed. [s.l.] Artmed, 2014.

LEMES, E. DE O. et al. Pesquisa sobre a Intolerância, Diagnóstico e Alternativas para os Pacientes com Intolerância ao Glúten. **Ensaios e Ciência v.22 n.2**, p. 40–46, 2018.

LOPES, ANGELA ROMERO. **Produção de ácido láctico por lactobacilos em diferentes meios de cultivo**. 2008. 75p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas

– Microbiologia Aplicada) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Rio Claro, 2008.

MANDARINO, J. M. G. **Componentes do trigo: características físico-químicas, funcionais e tecnológicas**. Londrina, EMBRAPA-CNPSo, 1994. 36p. (EMBRAPA-CNPSo. Documentos, n 75).

MATOS SCHEUER, P. et al. TRIGO: CARACTERÍSTICAS E UTILIZAÇÃO NA PANIFICAÇÃO. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, n. 2, p. 211–222, 2011.

MORONI, A. V.; DAL BELLO, F.; ARENDT, E. K. Sourdough in gluten-free bread-making: An ancient technology to solve a novel issue? **Food Microbiology**, v. 26, n. 7, p. 676–684, 1 out. 2009.

NIONELLI, L; RIZZELLO, C. Sourdough-Based Biotechnologies for the Production os Gluten-Free Foods. **Foods**, v.5, n.3, p.1-14, 2016. Disponível em: < Sourdough-Based Biotechnologies for the Production of Gluten-Free Foods (nih.gov)> Acesso em: 18 de setembro de 2021.

NOBRE, S. R.; SILVA, T.; CABRAL, J. E. P. DOENÇA CELÍACA REVISITADA. **J. Port Gastreenterol**, v. 14, p. 184–193, 2007.

OSBORNE, T. B. **The vegetable proteins**. Londres, Longmans 1909.

PEDROSA, D. E. M. M. et al. Doença Celíaca x Sensibilidade ao Glúten Não-Celíaca: Sintomas, Diagnóstico e Tratamento. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 16175–16194, 5 mar. 2022.

PEIXOTO, RITA PIRES DE LIMA SAMPAIO. **A hipótese da higiene: sustentação científica**. 2011. 28f. Artigo de revisão (Mestrado Integrado em Medicina) – Universidade do Porto, Porto, 2011.

PICO, J.; BERNAL, J.; GÓMEZ, M. Wheat bread aroma compounds in crumb and crust: A review. **Food Research International**, v. 75, p. 200–215, 1 set. 2015.

PICOZZI, C. et al. Development of a Type I gluten-free sourdough. **Letters in Applied Microbiology**, v. 62, n. 2, p. 119–125, 1 fev. 2016.

PIRES, P.S.; QUADROS, G.S.L; GADELHA, G.P. Desenvolvimento e caracterização de pão sem glúten à base de farinhas de vegetais. **Revista E-Xacta**, Belo Horizonte, v. 11, n. 1. p.85-95, 2018. Disponível em: <<https://revistas.unibh.br/dcet/article/view/2218>> Acesso em: 12 de junho de 2021.

QUEIROZ, M. R.; SIMIONI, P. U. UGRINOVICH, L. A. Doença celíaca: Bases imunológicas e genéticas da intolerância a glúten. **Revista Ciência & Inovação**, Americana, v.5, n.1, p. 4-8, 2020.

RAGUZZONI, J. C. **Efeito da adição de L-Cisteína nas proteínas do glúten: análises reológica, térmica e microscópica**. 2007. 125f. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina -UFSC, Florianópolis, 2007.

REDDY, G. et al. Amylolytic bacterial lactic acid fermentation — A review. **Biotechnology Advances**. v.26, n.1, p.22-34, 2008.

RICHTER, V. R. **Panificação**. Indaial. UNIASSELVI, 2019.

Rosas, M. R. Alergia e intolerancia alimentaria: Clasificación, sintomatología, prevención y tratamiento. **Ámbito farmacéutico**, v.25, n.7, p.52-59, 2006.

SANTOS, C. R. A. A alimentação e seu lugar na história: os tempos da memória gustativa. **Revista da Universidade Federal do Paraná**, Paraná, n. 42, p. 11-31, 2005. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/historia/article/view/4643>> Acesso em: 12 de junho de 2021.

SAPONE, A., et al. Divergence of gut permeability and mucosal immune gene expression in two gluten-associated conditions: celiac disease and gluten sensitivity. **BMC Medicine** v.9, 2011.

SAPONE, A. et al. Spectrum of gluten-related disorders: consensus on new nomenclature and classification. **BMC Medicine** v.10, n.1, p.1-12, 2012. Disponível em: <<http://www.biomedcentral.com/1741-7015/10/13>>.

SCHERF, K. A. Immunoreactive cereal proteins in wheat allergy, non-celiac gluten/wheat sensitivity (NCGS) and celiac disease. **Current Opinion in Food Science**, v. 25, p. 35–41, 1 fev. 2019.

SCHERF, K. A. et al. What Is Gluten: Why Is It Special?. **Frontiers in Nutrition** Harpenden-Reino Unido, nº1, p. 101, 2019. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2019.00101/full>> Acesso em: 18 de setembro de 2021.

SDEPANIAN V. L, MORAIS M. B., FAGUNDES NETO, U. Doença celíaca: a evolução dos conhecimentos desde a sua descrição original até os dias atuais. **Arq Gastroenterol**, v.36, n.4, p.44-57, 1999.

SDEPANIAN, V. L.; MORAIS, M. B.; FAGUNDES-NETO, U. Doença celíaca: características clínicas e métodos utilizados no diagnóstico de pacientes cadastrados na Associação dos Celíacos do Brasil. **Jornal de Pediatria**, v. 77, n. 2, p. 131–138, abr. 2001.

SERPA, A.B et al., A doença celíaca: uma revisão bibliográfica. **Revista Higei@ - Revista Científica de Saúde**, v.2, n.4, 2020. Disponível em: <<https://periodicos.unimesvirtual.com.br/index.php/higeia/article/view/1177>> Acesso em: 02 de novembro de 2021.

SILVA, J.D.R. **Desenvolvimento de massa ácida com farinha de feijão para a produção de pão sem glúten**. 2020. 127f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Minas Gerais, 2020.

SPERRY, C.; BARTH, P. **DOENÇA CELÍACA**, Centro de Controle e Prevenção de Doenças, 2016.

STEFANELLO, RAQUEL FACCO. **Produção, liofilização e aplicação de fermento natural em pão tipo sourdough**, 2014. 162f. Dissertação (Mestrado em Ciência e

Tecnologia dos Alimentos) – Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Rio Grande do Sul, 2014.

TORRES, G. A. M. et al. **EMBRAPA: Proteínas de reserva do trigo**. Passo fundo. Embrapa, 2019. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do117_1.htm>. Acesso em: 26 de agosto de 2021.

TOSI, P. Trafficking and deposition of prolamins in wheat. **Journal of Cereal Science**, v. 56, n. 1, p. 81–90, 2012.

TRYNKA, G.; WIJMENGA, C.; VAN HEEL, D. A. A genetic perspective on coeliac disease. **Trends in Molecular Medicine**, v. 16, n. 11, p. 537–550, 1 nov. 2010.

ULZIJARGAL, E. et al. Quality of bread supplemented with mushroom mycelia. **Food Chemistry**, v. 138, n. 1, p. 70–76, 2013.

VIANNA, F. S. V. et al. **Manual prático de panificação**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2020.

VOET, D.; VOET, J.; PRATT, C. **Fundamentos de Bioquímica - A Vida em Nível Molecular**. 4. ed. Porto Alegre. Artmed, 2000.

WISER, H. Chemistry of gluten proteins, **Food Microbiology**, v.24. p.115-119, 2007.
WOLTER, A. et al. Influence of dextran-producing *Weissella cibaria* on baking properties and sensory profile of gluten-free and wheat breads. **International Journal of Food Microbiology**, v. 172, p. 83–91, 17 fev. 2014.