

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

JOÃO HENRIQUE ZANETTE

**INFLUÊNCIA DE ALFA-AMILASE, LIPASE, GLUCOSE-OXIDASE E
HEMICELULASE NA PRODUÇÃO DE PÃO FRANCÊS ELABORADO COM
FARINHA MISTA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2019

JOÃO HENRIQUE ZANETTE

**INFLUÊNCIA DE ALFA-AMILASE, LIPASE, GLUCOSE-OXIDASE E
HEMICELULASE NA PRODUÇÃO DE PÃO FRANCÊS ELABORADO COM
FARINHA MISTA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentada à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Engenharia de Alimentos do Departamento Acadêmico de Alimentos – DAALM - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel.

Orientador: Prof^(a). Dr^(a). Nádia Cristiane Steinmacher

MEDIANEIRA

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Medianeira
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação Engenharia de Alimentos

João Henrique Zanette

**INFLUÊNCIA DE ALFA-AMILASE, LIPASE, GLUCOSE-OXIDASE E
HEMICELULASE NA PRODUÇÃO DE PÃO FRANCÊS ELABORADO COM
FARINHA MISTA**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado às 10:30 horas do dia 05 de julho de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira de Alimentos, do Curso de Bacharelado em Engenharia de Alimentos, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^(a). Dr^(a). Nádia Cristiane Steinmacher (Orientador)

Prof^(a). Dr^(a). Daiane Cristina Lenhard (Membro da Banca)

Prof^(a). Dr^(a). Carolina Castilho Garcia (Membro da Banca)

João Henrique Zanette

Medianeira, 10 de julho de 2019.

*O termo de aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que me guiou, me deu força, determinação e coragem para que conseguisse concluir esta etapa da minha formação.

À minha família que foi meu alicerce, acreditou na minha capacidade e me deu forças para trilhar esta jornada.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus de Medianeira, pela oportunidade concedida.

À Profa. Dra. Nádia Cristiane Steinmacher, do Departamento de Alimentos, pela orientação, confiança e paciência para a realização deste projeto.

A todos os professores e técnicos dos cursos de Tecnologia em Alimentos e Engenharia de Alimentos, agradeço pelos ensinamentos ofertados no decorrer do curso de graduação que contribuíram para a realização deste TCC.

Aos colegas de curso e amigos que me apoiaram e guiaram quando imaginei que não fosse conseguir.

Aos meus colegas de trabalho pela compreensão e pelo auxílio com minhas atividades durante os dias em que me ausentei.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigado!

RESUMO

ZANETTE, J.H. **Influência de alfa-amilase, lipase, glucose-oxidase e hemicelulase na produção de pão francês elaborado com farinha mista.** Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia de Alimentos - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2019.

A mudança nos hábitos sociais e demandas do consumidor, que agora são atraídos por produtos que trazem benefícios para a saúde, e o interesse dos produtores em aumentar a produção e atingir as expectativas dos clientes desse mercado que fatura mais de 80 bilhões de reais ao longo do ano no Brasil, fazem com que a indústria da panificação volte sua atenção ao pão francês integral, que aparece como uma forma de atingir essa finalidade. É considerado como uma excelente fonte de ingredientes nutricionais e funcionais para a saúde humana. No entanto, a farinha de trigo integral utilizada na sua fabricação causa alterações estruturais e sensoriais negativas nos alimentos. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um pão francês com farinha mista composta por farinha de trigo refinada e farinha de trigo 100% integral e avaliar a influência de diferentes concentrações de enzimas em suas características reológicas. Inicialmente foram realizadas análises do aspecto visual dos pães, pelas quais foi possível identificar um efeito negativo nas propriedades sensoriais dos pães conforme ocorria a adição de farinha integral. Foi elaborado e definido como controle do estudo um pão com 30% de farinha de trigo integral. A partir desta formulação, outras com suas concentrações de alfa-amilase, fosfolipase, glucose-oxidase e hemicelulase aumentadas e/ou reduzidas foram elaboradas. O aumento da concentração de hemicelulase trouxe melhoras significativas no volume específico e a diminuição de sua concentração ocasionou significativa redução na qualidade da textura dos mesmos. Em contrapartida, o aumento da concentração de glucose-oxidase resultou na perda da qualidade da textura dos pães.

Palavras-chave: Enzimas; Farinha de trigo; Panificação.

ABSTRACT

ZANETTE, J.H. **Influence of alpha-amylase, lipase, glucose oxidase and hemicellulase on the production of French bread made with mixed flour.** Food Engineering – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2019.

The change in social habits and consumer demands, which are now attracted by products that bring health benefits, and the interest of producers to increase production and reach the expectations of customers of this market that makes more than 80 billion reais of the year in Brazil, make the bakery industry turn its attention to the integral French bread, which appears as a way to achieve this purpose. It is considered as an excellent source of nutritional and functional ingredients for human health. However, whole-wheat flour used in its manufacture causes negative structural and sensory changes in food. The objective of this work was to develop a French bread with mixed flour composed of refined wheat flour and 100% whole wheat flour and to evaluate the influence of different concentrations of enzymes on their rheological characteristics. Initially, analyzes were performed on the visual appearance of the loaves, through which it was possible to identify a negative effect on the sensorial properties of the loaves as the addition of whole meal occurred. It was elaborated and defined as control of the study a bread with 30% of whole wheat flour. From this formulation, others with their increased and / or reduced concentrations of alpha-amylase, phospholipase, glucose oxidase and hemicellulase were made. The increase in the concentration of hemicellulase brought significant improvements in the specific volume and the decrease of its concentration caused a significant reduction in the texture quality of the same. In contrast, increased glucose oxidase concentration resulted in loss of bread texture quality.

Keywords: Enzymes; Flour; Bread industry.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Formulação do pão francês utilizado no estudo.	23
TABELA 2 - Formulações com diferentes proporções entre farinhas.....	24
TABELA 3 - Classificação dos pães de acordo com seu Volume Específico. .	31
TABELA 4 - Volume Específico do pão francês com diferentes concentrações de enzimas.	24
TABELA 5 - Cor do pão francês com diferentes concentrações de enzimas. ..	33
TABELA 6 - Textura do pão francês com diferentes concentrações de enzimas.	33

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Anatomia do grão de trigo.	15
FIGURA 2 - Fluxograma do processo de obtenção do pão francês.	26
FIGURA 3 - Pães congelados elaborados com proporções de 0%, 10%, 30%, 50% e 100% de farinha integral.	28
FIGURA 4 - Pães congelados elaborados com proporções de 70% e 90% de farinha integral.....	28
FIGURA 5 - Pães, após o processo de fermentação, elaborados com proporções de 0%, 10%, 30%, 50% e 100% de farinha integral.	29
FIGURA 6 - Pães, após o processo de fermentação, elaborados com proporções de 70% e 90% de farinha integral.....	29
FIGURA 7 – Da esquerda para a direita, os pães de menor para os pães de maior proporção de farinha de trigo integral.....	30
FIGURA 8 - Da esquerda para a direita, os pães fatiados de menor para os pães de maior proporção de farinha de trigo integral.	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 Trigo	14
3.2 Farinha de trigo integral	15
3.3 Pão francês	16
3.4 Aditivos para produtos de panificação	17
3.4.1 Emulsificantes	17
3.4.2 Oxidantes	18
3.6 Enzimas	20
3.6.1 Glucose-oxidase (GO)	20
3.6.2 Alfa-amilase	20
3.6.3 Hemicelulase	21
3.6.4 Fosfolipase	21
4 MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 Material	23
4.2 Metodologia	23
4.2.1 Matéria-prima, aditivos e formulação da massa	23
4.2.2 Elaboração dos pães	24
4.2.3 Análise dos pães	26
4.2.4 Análise dos resultados	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1 Elaboração e avaliação dos pães	28
5.2 Volume Específico	31

5.3 Análise da Cor.....	32
5.4 Textura.....	33
6 CONCLUSÃO.....	35
7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	36
8 REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

O pão baseia-se na mistura de farinha e outros ingredientes com água para fazer massa, fermento com levedura que produz dióxido de carbono e cozimento para estabilizar a espuma de proteína sólida formada, resultando em uma rede elástica porosa (CABALLERO; FINGLAS; TOLDRA, 2015).

Um levantamento realizado pelo Instituto Tecnológico de Panificação e Confeitaria (ITPC) em parceria com a Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria (ABIP), registrou-se um faturamento de 87,24 bilhões em 2016 sobre a venda de produtos fabricados por padarias no país.

Devido a mudança nos hábitos sociais, demandas do consumidor e o interesse dos produtores de panificação em poupar trabalho e custos, a produção de cereais e produtos assados vem sofrendo uma transformação contínua (ROSELL; GÓMEZ, 2007).

As expectativas dos consumidores em relação ao pão incluem o termo saudável, sendo assim, inovação nas formulações devem se preocupar em atender ao binômio saudável-palatável (ROSELL; SANTOS, 2010).

O interesse de consumidores em produtos com elevado teor de fibras e seus benefícios vem aumentando cada vez mais. O pão é um alimento consumido por grande número de pessoas em todo o mundo, independente da classe social, o que o torna um produto conveniente para a introdução de fibras alimentares na dieta. Em panificação, as proteínas que constituem o glúten exercem o papel mais importante do processo, sendo responsáveis pela formação de matriz protéica, na qual todo o gás carbônico é retido, resultando no volume final dos pães (BEMILLER; WHISTLER, 2009).

O grão de trigo consiste em três principais partes, gérmen, camadas externas (farelo) e endosperma, as quais são anatômica e quimicamente diferentes uma das outras e durante o processo de moagem as partes são rigorosamente separadas. Farelo e gérmen consistem em elementos de importância nutricional incluindo fibras alimentares, lipídeos, antioxidantes, minerais, vitaminas, e compostos fenólicos, os quais são benéficos para a saúde.

Por estes motivos, o consumo de alimentos integrais tem sido incentivado. Apesar das fibras e alimentos integrais serem benéficos à saúde, as fibras têm impacto negativo nas propriedades viscoelásticas das massas, promovendo uma redução de volumes específico dos pães, resultando em pães mais densos e ásperos (KHAN; SHEWRY, 2009)

Além disso, a obtenção de farinhas a partir do grão inteiro, sem a separação das partes pericarpo e gérmen, resulta em enfraquecimento da rede de glúten. O glúten torna-se menos extensível na presença de hemiceluloses, devido a possível interação destas com as proteínas formadoras do glúten (gluteninas e gliadinas) e, também, a diminuição do teor de glúten (ZGHAL; SCANLON; SAPIRSTEIN, 1999).

Uma possibilidade para corrigir as consequências negativas nas propriedades dos pães é a adição de enzimas na massa, solubilizando as hemiceluloses, resultando na obtenção de pães com texturas macias (COURTIN; DELCOUR, 2002). Nos últimos anos, a indústria de panificação concentrou sua atenção na substituição de vários compostos químicos por diferentes enzimas que, ao serem adicionadas, tendem a melhorar o manuseio da massa, a qualidade do pão fresco e sua vida útil (HAROS; ROSELL; BENEDITO, 2002). Para esses objetivos, tem-se usado enzimas que degradam polissacarídeos. Entre elas, amilases (principalmente a alfa-amilase) e pentosanases são algumas das mais representativas (CABALLERO; ROSELL; GÓMEZ, 2007).

Embora o uso dessas enzimas como auxiliares de processamento durante a panificação está bem estabelecida, muitos dos mecanismos responsáveis pelas interações entre enzimas, outros ingredientes e várias operações de processamento ainda não foram completamente elucidados (KOKSEL; SCANLON, 2017). Sendo assim, este trabalho se justifica pelo propósito de buscar maneiras para contornar a deficiência nutricional de pães promovendo uma melhoria do desempenho tecnológico de pães genuinamente integrais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver pão francês com farinha mista composta por farinha de trigo refinada e farinha de trigo 100% integral e avaliar a influência que as enzimas alfa-amilase, fosfolipase, glucose-oxidase e hemicelulase em diferentes concentrações tem em suas características reológicas.

2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver formulações de pão francês com diferentes proporções entre farinha de trigo integral e farinha de trigo refinada;
- Avaliar visualmente os pães elaborados e definir como padrão para o estudo a formulação que apresentasse a maior quantidade de farinha de trigo integral, mantendo as propriedades reológicas semelhantes a um pão francês tradicional;
- Alterar as concentrações de alfa-amilase, fosfolipase, glucose-oxidase e hemicelulase da formulação padrão e avaliar sua influência na textura, cor e volume específico dos pães elaborados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Trigo

O trigo foi cultivado pela primeira vez há cerca de 10 mil anos, como parte da “Revolução Neolítica”, que viu a transição da caça e coleta de alimentos para a agricultura assentada (SHEWRY, 2017).

Chamado de “Rei dos cereais”, o trigo é cultivado em uma área maior que qualquer outra cultura, sendo também o grão mais comercializado do mundo. Na contemporaneidade, aproximadamente metade das calorias consumidas mundialmente derivam diretamente de cereais; destes, em torno de um quarto vem do trigo (GONZÁLEZ-ESTEBAN, 2017).

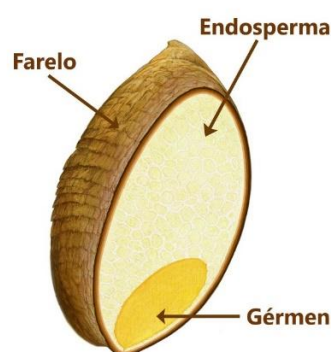
Por causa de sua ampla adaptação aos ambientes locais que gera altos rendimentos em sua produção intensiva, sua capacidade de fabricar produtos alimentícios únicos e o aumento do consumo destes com a industrialização e ocidentalização, o trigo teve um crescimento na demanda, tornando-se um sucesso global (SHEWRY; HEY, 2015) (SANTIS et al., 2017).

Em 2016, o trigo foi o segundo cereal mais produzido do mundo com aproximadamente 750 milhões de toneladas, ficando atrás apenas do milho. Aproximadamente metade de sua produção vem da Ásia, devido ao fato de que nesta região, encontram-se os dois maiores produtores de trigo do mundo: China e Índia. (FAO, 2016).

O grão de trigo é o único, dentre todos do reino vegetal, capaz de formar a massa totalmente elástica necessária para assar pão levedado (SHEWRY; KHAN, 2009). As propriedades únicas da fração de proteína do glúten permitem que o processamento do trigo produza, além do pão, outros produtos de panificação e uma variedade de ingredientes funcionais. Apesar de ser considerado principalmente como fonte de energia (carboidratos), o trigo também contém quantidades significativas de outros nutrientes importantes, como: proteínas, fibras, lipídios, vitaminas, minerais e fitoquímicos, que podem contribuir para uma dieta saudável (SHEWRY; HEY, 2015).

Os grãos de trigo possuem geralmente uma forma oval, embora os diferentes tipos de trigo tenham grãos que variam de formas quase esféricas a formas longas, estreitas e achatadas. O grão (Figura 1) tem geralmente entre 5 e 9 mm de comprimento, pesa entre 35 e 50 mg e tem um vinco para baixo de um lado onde foi originalmente ligado à flor de trigo. Em sua composição, contém 2-3% de gérmen, 13-17% de farelo e 80-85% de endosperma da medula (BELDEROK et al., 2000).

Figura 1 - Anatomia do grão de trigo.



Fonte: Whole Grains Council (2018).

O farelo e o gérmen consistem em importantes elementos nutricionais, incluindo fibra dietética, gordura, nutrientes antioxidantes, minerais, vitaminas, ligninas e compostos fenólicos (KHALID; OHM; SIMSEK, 2017).

3.2 Farinha de trigo integral

Na farinha de trigo integral (FTI) todos os componentes anatômicos do grão, como endosperma, farelo e gérmen, estão presentes nas mesmas proporções que existem na forma intacta. Assim, a FTI contém substancialmente mais fibras, vitaminas, minerais e fitoquímicos que a farinha de trigo refinada (FTR). Por conseguinte, é considerado como uma excelente fonte de ingredientes nutricionais e funcionais para a saúde humana, com muitos benefícios associados, incluindo a redução do risco de doenças, como diabetes, doenças cardiovasculares, obesidade e câncer (LIU, 2007). No entanto,

independentemente dos benefícios para a saúde, a utilização da FTI pode causar alterações estruturais e sensoriais nos alimentos, levando a uma menor aceitação do consumidor. Como resultado, há dificuldades na produção de alimentos com FTI que mantenham a funcionalidade desejada e a qualidade equivalente aos produtos de grãos refinados. Além das características qualitativas do produto final, o uso da FTI também fornece muitas mudanças nas propriedades da massa e nos parâmetros de processamento (BRESSIANI et al., 2017).

A qualidade da farinha utilizada na fabricação de pães é determinada pela qualidade e quantidade de suas proteínas. Durante a mistura da massa, a farinha de trigo é hidratada e as proteínas de glúten são transformadas em uma rede de proteínas viscoelástica contínua. (CABALLERO; ROSELL; GÓMEZ, 2007).

A fibra é um dos principais responsáveis, entre os componentes bioquímicos do farelo, por causar uma influência negativa na qualidade do pão integral. O farelo de trigo é composto de frações de fibra solúvel e insolúvel. Estes componentes rompem a rede de matriz de glúten, diminuindo assim a sua funcionalidade para manter a estrutura do pão durante a fermentação e o cozimento (KHALID; OHM; SIMSEK, 2017). Isso ocorre porque as fibras competem por água com os principais polímeros da massa, glúten e amido, afetando diretamente a qualidade das propriedades viscoelásticas do produto final (ROSELL; COLLAR; SANTOS, 2010).

Os efeitos associados à produção de pão integral e suas causas foram revisados (HEINIO et al., 2016) e incluem baixo volume, aumento da dureza do miolo, textura grossa, cor mais escura e sabor e aroma distintos.

3.3 Pão francês

O pão francês é tipicamente caracterizado por uma crosta de casca de ovo com 3-4 mm de espessura, uma estrutura celular aberta e aleatória, um sabor encorpado e um alto volume específico (mL/g). Um aspecto importante da produção tradicional de pão francês é o ajuste da farinha: água em quantidades

corretas para deixar a massa macia. O manuseio mecânico de massa no processamento industrial, no entanto, requer uma massa mais dura para evitar a adesão da massa à maquinaria (BAARDSETH et al., 1999).

Segundo Matuda (2004), o pão é composto de farinha de trigo, sal, fermento e água, entretanto, pode ter outros componentes adicionados em pequenas quantidades com a intenção de melhorar a qualidade da massa durante o processamento e o produto final, tais como: gordura vegetal, emulsificantes, agentes oxidantes e enzimas.

Para obter a estrutura porosa característica do miolo de um pão francês típico, a massa deve ser totalmente expandida com numerosas bolhas grandes cheias com gás no final do processo de mistura e fermentação. Em geral, o tempo de mistura necessário para obter um ótimo desenvolvimento da massa depende da qualidade da farinha e do equipamento de mistura, intensidade da mistura, receita da massa, etc (BAARDSETH et al., 1999).

3.4 Aditivos para produtos de panificação

3.4.1 Emulsificantes

Na panificação, os emulsificantes tem a função de minimizar o envelhecimento, aperfeiçoar a força da massa e seu manuseio, além de ocasionar um aumento na tolerância do tempo da fermentação e do tempo de descanso. Suas propriedades lipolíticas e hidrolíticas, reduzem a tensão interfacial entre fases que normalmente não se misturam (MATUDA, 2004).

De acordo com Stampfli & Nersten (1995), os emulsificantes se dividem entre fortificadores de massa e amolecedores de miolo, sendo que alguns podem apresentar ambas características. Os mais usados pela indústria da panificação são os ésteres de ácido diacetil tartárico de monoglicerídeos (DATEM), esteroil-2-lactil lactato de sódio (SSL), esteroil-2-lactil lactato de cálcio (CSL) e o polisorbato.

O emulsificante DATEM tem um papel crítico na produção de pão moderno, particularmente em formulações de alto volume, granulação e integrais, em que uma pequena adição (tipicamente 0,35% em relação ao peso da farinha) fornece tolerância contra o colapso da massa e permite atingir volume de pão satisfatório (SCHOFIELD, 1996).

O DATEM pode ser encontrado em forma de um líquido oleoso ou pó e seus ésteres são incorporados nas massas de pão, ligando-se rápida e totalmente aos filamentos de glúten hidratados. A rede de glúten resultante deste processo não é apenas mais forte, mas é mais extensível e tem um caráter mais resiliente. Isto produz uma massa que tem uma rede de bolhas de gás com paredes de células de gás pequenas, fortes e extensíveis. Esta propriedade pode ser explorada na produção de pães brancos e em pães integrais multi-grãos e sem sementes (CAUVAIN; YOUNG, 1998).

O estaroil-2-lactil lactato de cálcio (CSL) é um emulsificante sólido e branco, com um ponto de fusão comparativamente elevado, miscível com gordura e, portanto, é um componente ideal de concentrados à base de gordura. Pode ser adicionado a massas na forma de pó, seja sozinho ou como parte de um condicionador de massa composto.

Este emulsificante, além de ter seu efeito de amolecimento de miolo, é responsável pelo aumento da retenção de gás na massa e por ocasionar uma extensão no prazo de validade do produto (CAUVAIN; YOUNG, 1998).

3.4.2 Oxidantes

Os oxidantes são adicionados para aumentar a resistência da massa principalmente através da formação de ligações dissulfureto que oxida grupos sulfidrilo livres nas proteínas do glúten. Os oxidantes também podem aumentar a elasticidade da massa, a abertura da pestana e melhorar a tolerância ao manuseio do pão final (STAUFFER, 1990).

Os compostos redutores do farelo de trigo podem neutralizar os efeitos dos oxidantes na massa de trigo integral. Portanto, os agentes oxidantes são menos eficazes em sistemas de trigo integral em comparação com aqueles em farinha de trigo refinada e normalmente devem ser usados em níveis mais altos. Exemplos de oxidantes incluem ácido ascórbico, bromato de potássio, iodato de potássio, peróxido de cálcio e azodicarbonamida (TEBBEN; SHEN; LI, 2018).

A partir dos anos 90, o ácido ascórbico tornou-se o principal aditivo para modificar o desempenho da farinha no Reino Unido e em outros lugares. Seu efeito sobre o glúten é reduzir a extensibilidade e aumentar a elasticidade, dando melhor forma e textura mais fina aos pães acabados. É adicionado em baixos níveis por moinhos de farinha para proporcionar um melhor desempenho na fabricação de pão, pois uma adição de melhoramento separada não será feita na padaria. Se um acréscimo de melhoria separado está sendo feito, então a contribuição adicional da farinha é muito baixa para ter um efeito maior na qualidade do pão. Durante a mistura, o oxigênio atmosférico converte o ácido ascórbico em ácido desidroascórbico, que é o agente oxidante (CAUVAIN; YOUNG, 1998).

Em alguns países, a azodicarbonamida (ADA) também é utilizada como um aditivo alimentar para uso como agente de branqueamento em farinha de cereais e como condicionador de massa. É comumente usada como um aditivo de farinha até um máximo de 45 mg.kg^{-1} de farinha (YE et al., 2011).

O estudo de Lopes et al. (2007) demonstrou que a aplicação acima de 30 mg.kg^{-1} , proporcionou o maior aumento do volume específico do pão francês.

A ADA é estável em farinha seca, mas reage com farinha úmida como agente oxidante. O principal produto de reação é a biureia que não é estável durante o aquecimento (YE et al., 2011).

3.6 Enzimas

O primeiro processo industrial completamente enzimático foi desenvolvido nos anos 60, porém, a utilização de enzimas é datada bem antes de sua capacidade de catalisar reações ser conhecida (MIGUEL et al., 2013). Seu uso em aplicações comerciais na panificação aumentou nos últimos anos, uma vez que os consumidores exigem produtos com ingredientes que sejam mais naturais (TEBBEN; SHEN; LI, 2018).

Enzimas como alfa-amilase e β -amilase, proteases, lipases, fosfatases e oxidases são usadas na panificação para melhorar o manuseio da massa e a qualidade dos produtos assados, acelerando a degradação do amido, evitando o colapso da estrutura e oferecendo um produto similar, com benefícios em seu controle e processamento (BONET et al., 2006);(BARBOSA-RÍOS et al., 2017).

O estudo de Grausgruber et al. (2008) mostrou que a aplicação de enzimas individuais e/ou combinadas com outras enzimas e emulsificantes são capazes de melhorar significativamente a firmeza do miolo e o volume do pão.

3.6.1 Glucose-oxidase (GO)

As enzimas oxidativas tem um forte impacto nas propriedades da massa e a glucose-oxidase é a alternativa enzimática preferida para os agentes oxidantes químicos que visam a melhoria do pão. A GO é uma enzima com efeito oxidante devido ao peróxido de hidrogênio liberado de sua reação catalítica. Ela gera um reforço ou fortalecimento da massa de trigo e uma melhora na qualidade do pão, embora os efeitos inversos sejam obtidos quando níveis excessivos de enzimas forem adicionados (BONET et al., 2006).

3.6.2 Alfa-amilase

As amilases agem sobre o amido, resultando em maior proporção de fragmentos de baixo peso molecular, caracterizados por menores taxas de

retrogradação, melhorando a qualidade da panificação. O propósito original de suplementar a farinha com alfa-amilases foi gerar compostos fermentáveis, principalmente maltose, na massa. No entanto, outras mudanças, como o aumento do volume de pão, uma melhora no miolo do pão, cor e sabor também foram atingidos. As alfa-amilases comerciais são obtidas através de cereais, fungos e bactérias, e diferem-se principalmente em sua temperatura ótima em que a alfa-amilase fúngica atua na faixa de 50-60 °C e as bacterianas em 70-80 °C (SAHLSTROM; BRATHEN, 1996).

3.6.3 Hemicelulase

As hemicelulases podem ser sistemas enzimáticos bastante complexos, geralmente derivados de fontes fúngicas ou de organismos geneticamente modificados. Possuem ação hidrolítica que libera alguns açúcares livres, tais como pentoses e hexoses, que são então utilizados pelos microrganismos durante a fermentação. Essa ação retarda a taxa de difusão de dióxido de carbono e, conseqüentemente, aumenta a retenção de gás, fazendo com que o potencial de ruptura da rede de proteínas seja reduzido (HAROS; ROSELL; BENEDITO, 2002).

Seu uso resulta em uma massa com propriedades de manuseio aprimoradas, e que é mais extensível, sem perda de força ou aumento da viscosidade, podendo até resultar em um aumento modesto na absorção de água. (CAUVAIN; YOUNG, 1998).

3.6.4 Fosfolipase

As fosfolipases são um complexo e importante grupo de enzimas que hidrolisam fosfolipídios liberando uma variedade de produtos, como por exemplo os liso-fosfolipídios, ácidos graxos livres, di-acilgliceróis e fosfato de colina, dependendo do local de hidrólise. Os lipídios e os produtos hidrolisados liberados são importantes para a estabilidade da atividade de bolhas de gás na massa, proporcionando uma emulsificação ainda melhor na massa. O valor das lipases

na panificação reside na sua capacidade de aumentar o volume do pão e melhorar a suavidade. No entanto, nem todas as fosfolipases são igualmente eficazes no que se diz respeito a aumentar o volume do pão e algumas até o diminuem (MARIA; SVENDSEN; VIND, 2007).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

O material utilizado neste estudo incluiu farinha de trigo integral obtida por diagrama de moagem especial disposto por uma indústria do ramo de cereais no Paraná. A farinha de trigo branca, as enzimas (Biolase, alfa-amilase fúngica; Biolase HC, hemicelulase; Biolase GX glucose-oxidase; Biolase FF, lipase), os emulsificantes (Datem e CSL) e oxidantes (Ácido Ascórbico e Azodicarbonamida) foram concedidas por uma empresa especializada em aditivos alimentares. Os demais ingredientes como sal e fermento para panificação foram adquiridos em comércio local.

Para a realização do trabalho foram utilizadas as instalações da empresa fornecedora das enzimas, assim como os Laboratórios de Panificação e de Análise de Textura da UTFPR – Câmpus Medianeira.

4.2 Metodologia

4.2.1 Matéria-prima, aditivos e formulação da massa

A formulação empregada na produção da massa do pão francês é apresentada na Tabela 1. A quantidade de farinha utilizada foi de 1,3 kg, sendo assim definida pelo limite da divisora utilizada durante a preparação da massa que era capaz de preparar em média 30 pães de aproximadamente 60 g cada.

Tabela 1 - Formulação do pão francês utilizado no estudo.

(continua)	
Ingredientes	Quantidade (%) *
Farinha de trigo	100
Água	52
Fermento biológico seco instantâneo	2
Sal refinado	2
Datem	0,125

Tabela 2 - Formulação do pão francês utilizado no experimento estudo.

(conclusão)	
Ingredientes	Quantidade (%) *
CSL	0,125
Ácido Ascórbico	0,028
Azodicarbonamida	0,0035
Alfa-amilase fúngica	0,01
Fosfolipase	0,001
Glucose-oxidase	0,002
Hemicelulase	0,0025

*Em relação ao total (1,3 kg) de farinha de trigo

Fonte: Aatoria própria (2019).

4.2.2 Elaboração dos pães

Utilizando a formulação inicial, foram preparados pães com diferentes proporções entre a farinha de trigo integral e a farinha branca, conforme Tabela 2.

Tabela 3 - Formulações com diferentes proporções entre farinhas.

Formulação	Quantidade Farinha Integral (%)	Quantidade Farinha Branca (%)
0-100	0	100
10-90	10	90
30-70	30	70
50-50	50	50
70-30	70	30
90-10	90	10
100-0	100	0

Fonte: Aatoria própria (2019).

Após avaliação visual das formulações, foi selecionada como Padrão para o teste com enzimas a que possuía maior proporção de farinha integral e que ainda mantivesse as características essenciais de um pão francês como: formação de crosta, abertura de pestana e presença de aeração no miolo.

Foram então fabricados mais 6 ensaios que variavam suas concentrações de enzimas em relação ao Padrão que havia sido definido, sendo eles:

- Ensaio 1: Redução de 20% na concentração de alfa-amilase;
- Ensaio 2: Redução de 30% na concentração de fosfolipase;
- Ensaio 3: Redução de 25% na concentração de glucose-oxidase;
- Ensaio 4: Acréscimo de 25% na concentração de glucose-oxidase;
- Ensaio 5: Redução de 20% na concentração de hemicelulase;
- Ensaio 6: Acréscimo de 20% na concentração de hemicelulase.

Os ensaios foram elaborados durante visita a empresa fornecedora das enzimas, congelados e levados para a Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Medianeira, onde ficaram em um *freezer* a aproximadamente -18 °C por 14 dias até serem assados e avaliados.

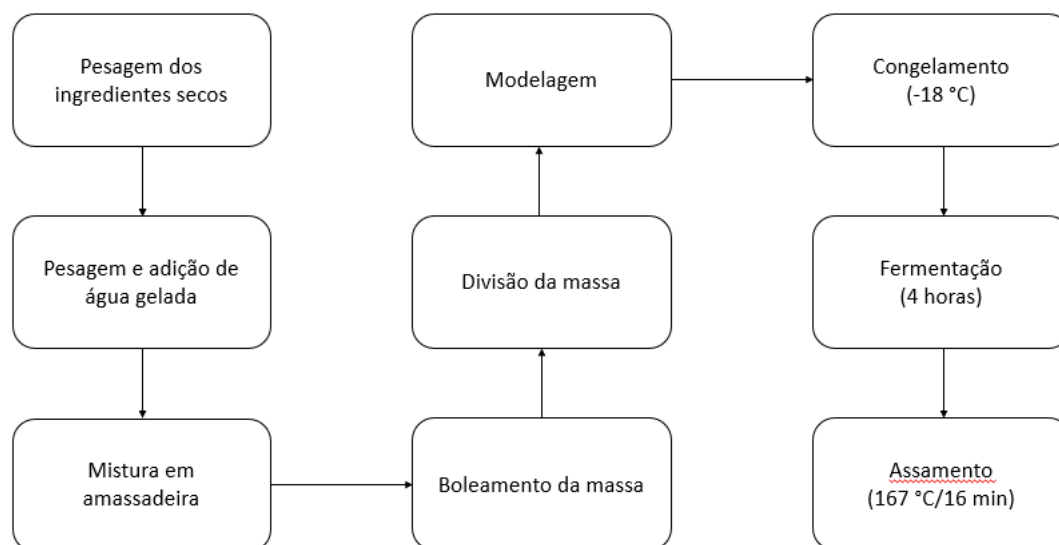
Para a preparação da massa, todos os ingredientes foram misturados em uma amassadeira espiral em velocidade lenta por 3 minutos e então em alta velocidade por 10 minutos, não ultrapassando a temperatura de 27 °C. A massa foi retirada, boleada e destinada a divisora que a separou em 30 porções de aproximadamente 60 gramas.

Os pães foram então modelados e congelados a -18 °C em um ultracongelador.

O tempo de fermentação dos pães foi de 4 horas à temperatura ambiente (25 ± 2 °C) e o assamento ocorreu na temperatura de 167 °C durante 16 minutos, em forno pré-aquecido.

A figura 2 demonstra o processo de fabricação do pão francês.

Figura 2 - Fluxograma do processo de obtenção do pão francês.



Fonte: Autoria própria (2019).

4.2.3 Análise dos pães

O perfil de textura dos pães (TPA) foi avaliado de acordo com o método modificado da AACC 74-09 (AACC, 1995), utilizando um texturômetro TA-XT2i (Stable Micro System, Inglaterra). Após o preparo, os pães foram fatiados (com diâmetro de 60 mm) e as fatias externas de ambas as laterais descartadas. As amostras foram comprimidas por duas vezes até 40% da altura com um *probe* cilíndrico de 35 mm de diâmetro, velocidade de pré-teste, teste e pós-teste de 2,0, 5,0 e 5,0 mm/s, respectivamente. Para cada pão, três repetições foram realizadas. Os parâmetros obtidos da TPA foram firmeza, gomosidade, elasticidade, coesividade, resiliência e mastigabilidade.

O volume específico foi analisado em triplicata após 1 hora de resfriamento dos pães em temperatura ambiente, sendo determinado pela técnica de deslocamento de sementes e calculado pela razão entre o volume e seu peso (mL/g).

A cor do miolo dos pães foi obtida com o auxílio de colorímetro Minolta (Chroma meter CR-300, sistema L*, a*, b* Color Space, por refletância). Os parâmetros de cor avaliados foram luminosidade (L*, 100 para branco e 0 para

preto); e coordenadas de cromaticidade do sistema CIE/LAB (a^* , (-) para verde e (+) para vermelho; b^* , (-) para azul e (+) para amarelo; com iluminante D65 e 45° de ângulo). Para cada formulação, três repetições foram realizadas.

4.2.4 Análise dos resultados

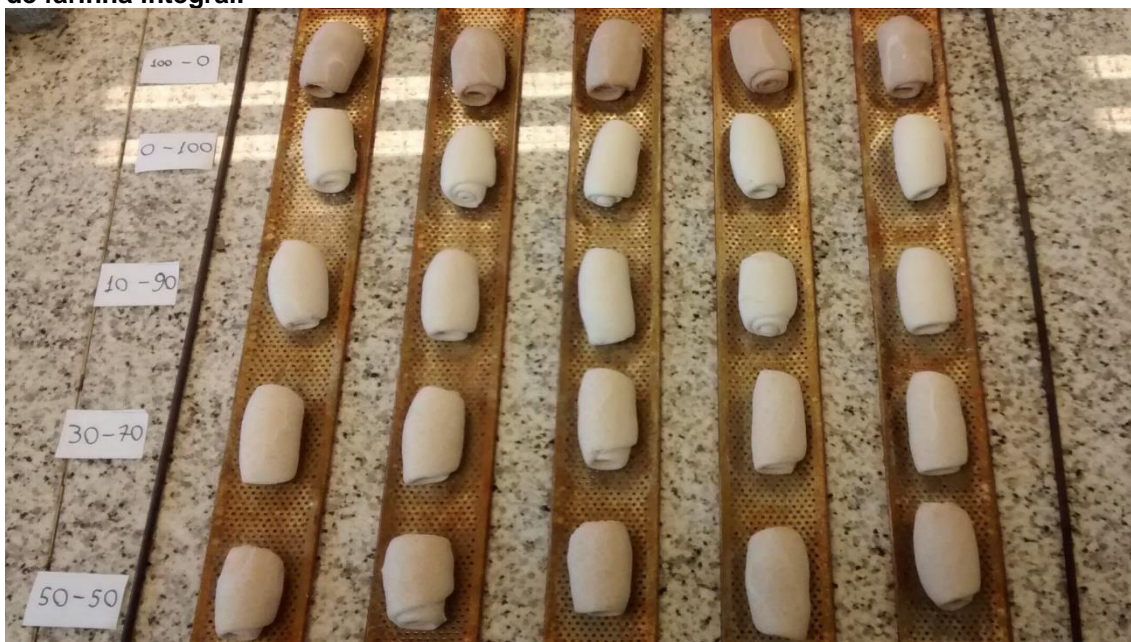
Os dados das análises reológicas foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey a 5 % de significância mediante o uso do *software* STATISTICA 7.0 (STATSOFT, 2004).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Elaboração e avaliação dos pães

As figuras 3 e 4 mostram os pães com diferentes proporções de farinha de trigo integral - farinha branca após saírem do ultracongelador.

Figura 3 - Pães congelados elaborados com proporções de 0%, 10%, 30%, 50% e 100% de farinha integral.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 4 - Pães congelados elaborados com proporções de 70% e 90% de farinha integral.



Fonte: Autoria própria (2019).

Antes mesmo do período de fermentação e do assamento era possível notar visíveis diferenças em relação a cor dos pães, sendo que, os que continham maior porcentagem de farinha de trigo integral, apresentavam coloração mais escura.

Nas figuras 5 e 6 são apresentados os mesmos pães após o tempo de fermentação e a abertura da pestana com lâmina.

Figura 5 - Pães, após o processo de fermentação, elaborados com proporções de 0%, 10%, 30%, 50% e 100% de farinha integral.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 6 - Pães, após o processo de fermentação, elaborados com proporções de 70% e 90% de farinha integral.



Fonte: Autoria própria (2019).

Após a fermentação ficou evidente que, além da coloração, os volumes dos pães apresentaram diferenças, sendo menor nos pães com maior quantidade de farinha de trigo integral.

Nas figuras 7 e 8 é possível visualizar os pães prontos e em escala.

Figura 7 – Da esquerda para a direita, os pães de menor para os pães de maior proporção de farinha de trigo integral.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 8 - Da esquerda para a direita, os pães fatiados de menor para os pães de maior proporção de farinha de trigo integral.



Fonte: Autoria própria (2019).

Analisando os pães constatou-se que, em formulações em que a proporção de farinha integral era superior a 50%, foram inexistentes as características imprescindíveis para a formação de um pão francês segundo a ABNT (2015), que são: aeração do miolo, abertura de pestana e crosta crocante de boa espessura.

Já o pão que se igualava em concentrações de farinha integral e branca (50 – 50), além de não apresentar aeração significativa no miolo, não

apresentava diâmetro suficiente (35 mm) para ser avaliado pelo texturômetro presente no laboratório da UTFPR. Pressupôs-se ainda que, para qualquer pão que possuísse concentração de farinha de trigo integral acima de 30%, a visualização das diferenças apontadas pelas análises de Cor, Volume Específico e Textura nos testes ANOVA com variação de enzimas seria improvável.

Sendo assim, foi definida como Padrão a formulação com 30% de farinha integral (30 – 70).

5.2 Volume Específico

Ferreira, Oliveira e Pretto (2001) classificam o volume específico dos pães conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação dos pães de acordo com seu Volume Específico.

Volume Específico	Classificação
Acima de 8 cm ³ /g	Muito Grande
Entre 6 e 8 cm ³ /g	Muito Bom
Entre 5 e 6 cm ³ /g	Bom
Entre 4 e 5 cm ³ /g	Regular
Abaixo de 4 cm ³ /g	Muito Pequeno

Fonte: Ferreira; Oliveira; Pretto (2001).

As médias dos Volumes Específicos analisados estão dispostos na Tabela 4 e demonstram que todos os ensaios são classificados como “Muito Pequeno”, com exceção do Ensaio 6, classificado como “Regular”.

Tabela 4 – Volume Específico do pão francês com diferentes concentrações de enzimas.

(continua)

Ensaio	Volume Específico (cm³/g)
Padrão	3,693 ± 0,16 ^b
1	3,480 ± 0,18 ^b
2	3,480 ± 0,21 ^b

Tabela 4 – Volume Específico do pão francês com diferentes concentrações de enzimas.

Ensaio	Volume Específico (cm ³ /g)	(conclusão)
3	3,720 ± 0,24	^b
4	3,413 ± 0,23	^b
5	3,513 ± 0,06	^b
6	4,447 ± 0,14	^a

Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: Autoria própria (2019).

O que pode explicar o baixo volume dos pães foi o período de 14 dias de congelamento que, segundo Novotni e Cukelj (2018), é um parâmetro crítico que resulta na redução do volume específico, perda de umidade, aumento da firmeza do miolo, perda do aroma e aumento da deterioração em geral. O estudo de Matuda (2004) também apontou uma redução no volume específico dos pães que ficaram por mais de 12 dias congelados.

O ensaio 6, que continha maiores concentrações de hemicelulase, apresentou melhora e diferença significativa em relação aos outros. Cauvain & Young (1998) citam que a ação da hemicelulase ocorre nas pentosanas durante a mistura e fermentação da massa, resultando em uma massa mais macia que gera pães com maior volume e melhor textura e que, apesar de ser útil para todas as farinhas, a hemicelulase tem um benefício especial em farinhas integrais pois estas apresentam uma maior porcentagem de pentosanas.

5.3 Cor

Os pães produzidos foram submetidos a análise de cor para identificar se variações nas concentrações das enzimas causaram interferência na cor final do produto. Os resultados estão dispostos na Tabela 5.

Sendo $a^* < 0$ a direção que indica coloração verde e $b > 0$ a direção que indica a coloração amarela, não houve diferença significativa entre as cores dos pães nos diferentes ensaios.

Tabela 5 – Cor do pão francês com diferentes concentrações de enzimas.

Ensaio	L	a*	b*
Padrão	70,921 ± 0,50 ^a	-3,006 ± 0,50 ^a	19,303 ± 0,50 ^a
1	68,305 ± 0,50 ^b	-2,914 ± 0,50 ^a	20,396 ± 0,50 ^a
2	66,207 ± 0,50 ^d	-2,346 ± 0,50 ^a	19,662 ± 0,50 ^a
3	66,219 ± 0,50 ^d	-2,333 ± 0,50 ^a	19,712 ± 0,50 ^a
4	66,641 ± 0,50 ^{c d}	-2,371 ± 0,50 ^a	19,751 ± 0,50 ^a
5	65,347 ± 0,50 ^d	-2,351 ± 0,50 ^a	19,544 ± 0,50 ^a
6	67,667 ± 0,50 ^{b c}	-2,493 ± 0,50 ^a	19,728 ± 0,50 ^a

Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: Autoria própria (2019)

Para L (claridade), todos os ensaios apresentaram um decréscimo em relação ao Padrão. Cauvain & Young (1998) citam as proteases como responsáveis direta pelo branqueamento do miolo, porém estas não foram utilizadas neste estudo. Segundo Pontes (2006) revela, a razão da diferença entre a claridade dos ensaios está associada à distribuição e tamanho dos alvéolos no miolo que sofrem alterações conforme a atuação das enzimas na elaboração do pão.

5.4 Textura

A Tabela 6 apresenta os dados levantados pelas análises de textura.

Tabela 6 – Textura do pão francês com diferentes concentrações de enzimas.

Ensaio	Firmeza	Elasticidade	Coesividade	Resiliência	Gomosidade	Mastigabilidade
Padrão	836,367 ± 76,56 ^b	0,968 ± 0,039 ^a	0,513 ± 0,044 ^a	0,177 ± 0,024 ^a	435,266 ± 67,75 ^b	413,752 ± 47,01 ^a
1	1428,332 ± 91,73 ^a	1,549 ± 0,400 ^a	0,474 ± 0,023 ^a	0,147 ± 0,012 ^{a b}	678,928 ± 60,73 ^a	1031,071 ± 230,72 ^a
2	1167,993 ± 66,07 ^{a b}	1,017 ± 0,061 ^a	0,438 ± 0,042 ^a	0,129 ± 0,015 ^{a b}	514,676 ± 80,22 ^{a b}	519,514 ± 53,30 ^a
3	1445,511 ± 132,52 ^a	1,591 ± 0,0394 ^a	0,434 ± 0,018 ^a	0,135 ± 0,004 ^{a b}	627,547 ± 52,07 ^{a b}	971,554 ± 182,39 ^a
4	1342,264 ± 107,15 ^a	1,749 ± 0,0501 ^a	0,425 ± 0,018 ^a	0,098 ± 0,013 ^b	569,885 ± 47,57 ^{a b}	1024,683 ± 348,84 ^a
5	1439,057 ± 169,54 ^a	1,396 ± 0,551 ^a	0,451 ± 0,025 ^a	0,133 ± 0,013 ^{a b}	643,933 ± 44,35 ^{a b}	871,994 ± 275,31 ^a
6	880,372 ± 77,60 ^b	0,947 ± 0,034 ^a	0,501 ± 0,056 ^a	0,164 ± 0,024 ^a	435,932 ± 17,44 ^b	411,890 ± 4,89 ^a

Letras iguais na mesma coluna não diferem entre si ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: Autoria própria (2019)

Os valores da Tabela 6 mostram que, com exceção do ensaio 6 (aumento na concentração de hemicelulase), houve em geral um declínio na qualidade da textura dos pães que tiveram a concentração padrão de enzimas alterada.

A variação na concentração padrão das enzimas aumentou a firmeza dos pães na grande maioria dos ensaios, fazendo com que as médias do ensaio Padrão e do ensaio 6 não se diferenciasssem apenas em relação ao ensaio 2.

Em relação à resiliência, que determina a capacidade do pão a voltar para sua forma original após uma deformação, o ensaio 4 (acrécimo na concentração de GO) apresentou o pior resultado, sendo o único a apresentar diferenças em relação ao ensaio Padrão e ao ensaio 6. Yang *et al.* (2014) demonstrou em seu estudo que a adição excessiva de glucose-oxidase em farinha de trigo integral é responsável por gerar uma massa mais rígida e menos extensível, explicando este resultado.

Para a gomosidade, o Ensaio 1 (redução na concentração de alfa-amilase fúngica) foi o que apresentou diferença estatística significativa em relação ao Padrão e ao ensaio 6. A gomosidade é a relação entre a firmeza e a coesividade do pão francês e, segundo abordado por Tebben, Shen & Li (2018), a alfa-amilase fúngica reduz a firmeza de pães que contenham farinha de trigo integral. Conseqüentemente, sua menor concentração além de prejudicar a firmeza, prejudicou também a sua gomosidade.

6 CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou o efeito negativo que a adição de farinha de trigo 100% integral na formulação de pão francês traz às suas características sensoriais, como problemas na textura (falta de aeração do miolo e da presença de crosta) e cor (escurecimento).

Também demonstrou a influência das enzimas e suas concentrações na produção do pão francês elaborado com farinha de trigo mista, comprovando a eficácia da hemicelulase que, com o aumento de sua concentração, trouxe uma melhora significativa em relação ao volume específico dos pães, além de obter os melhores resultados quanto à textura em relação ao ensaio Padrão. Sua redução de concentração gerou resultados negativos tanto para a cor quanto para a textura.

A redução na concentração de alfa-amilase fúngica e o aumento na concentração de glucose-oxidase geraram resultados negativos em relação a alguns aspectos da textura como gomosidade e resiliência.

7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Como uma opção para futuros trabalhos, sugere-se a elaboração de pães contendo proteases como uma das variáveis independente a fim de avaliar sua influência na elaboração de pão francês contendo porcentagens de farinha de trigo integral.

8 REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**. 9. ed. Saint Paul: AACC, 1995. v. 2.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE PANIFICAÇÃO (ABIP). Brasília. 2016. **Desempenho de empresas de panificação e confeitaria brasileira em 2016**. Disponível em: <<http://www.abip.org.br/>>. Acesso em: 14. Mai. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Rio de Janeiro. 2015. **PÃO FRANCÊS – DIRETRIZES PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE E CLASSIFICAÇÃO**. Disponível em: < <http://www.abnt.org.br/> >. Acesso em: 21. Abr. 2018.

BAARDSETH, P.; KVAAL, K.; LEA, P.; ELLEKJAER, M.; FAERJESTAD E. The Effects of Bread Making Process and Wheat Quality on French Baguettes. **Journal of Cereal Science**, v. 2, p. 73-87, 1999.

BARBOSA-RÍOS, J.A.; CASTILLÓN-JARDÓN, J.; GUADARRAMA-LEZAMA, A.Y.; ALVAREZ-RAMIREZ, J.; MERAZ, M.; CARRILLO-NAVAS, H. Effect of new generation enzymes addition on the physical, viscoelastic and textural properties of traditional Mexican sweet bread. **Journal of Cereal Science**, v. 79, p. 160-167, 2017.

BELDEROK, B.; MESDAG, H.; DONNER, D. **Bread-making quality of bread: A century of breeding in Europe**. 1. Ed. Holanda: Springer Netherlands, 2000.

BEMILLER, J.N.; WHISTLER, R.L. **Starch: Chemistry and Technology**. 3. Ed. Burlington: Academic Press, 2009.

BONET, A.; ROSELL, C.M.; CABALLERO, P.A.; GÓMEZ, M.; PÉREZ-MUNUERA, I.; LLUCH, M.A. Glucose oxidase effect on dough rheology and bread quality: A study from macroscopic to molecular level. **Food Chemistry**, v. 99, p. 408-415, 2006.

BRESSIANI, J.; ORO, T.; SANTETTI, G.; ALMEIDA, J.; BERTOLIN, T.; GÓMEZ, M.; GUTKOSKI, L. Properties of whole grain wheat flour and performance in bakery products as a function of particle size. **Journal of Cereal Science**, v. 75, p. 269-277, 2017.

CABALLERO, B.; FINGLAS, P.; TOLDRA, F. **Encyclopedia of Food and Health**. 1. Ed. Kidlington: Academic Press, 2015.

CABALLERO, P.A.; ROSELL, C.M.; GÓMEZ, M. Improvement of dough rheology bread quality and bread shelf-life by enzymes combination. **Journal of Food Engineering**, v. 81, p. 42-53, 2007.

CAUVAIN, S.; YOUNG, L. **Technology of Breadmaking**. Reino Unido: Campden and Chorleywood Food Research Association, 1998.

COURTIN, C. M.; DELCOUR, J. A. Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour bread-making. **Journal of Cereal Science**, v.35, p.225-243, 2002.

FERREIRA, S.; OLIVEIRA, P.; PRETTO, D. Parâmetros de qualidade do pão francês. **CEPPA Bulletin**, v.19, p.301-318, 2001.

GONZÁLES-ESTEBAN, Á.L. Why wheat? International patterns of wheat demand, 1939–2010. **Investigaciones de Historia Económica – Economic History Research**, v. 13, p. 135-150, 2017.

GRAUSGRUBER H.; MISENBERGER, S.; SCHOENLECHNER, R.; VOLLMANN, J. Influence of dough improvers on whole-grain bread quality of einkorn wheat. **Acta Alimentaria**, v. 37, p. 379-390, 2008.

HAROS, M.; ROSELL, C.M.; BENEDITO, C. Effect of different carbohydrases on fresh bread texture and bread staling. **European Food Research and Technology**, v. 215, p. 425-430, 2002.

HEINIO, R.L.; NOORT, M.J.W.; KATINA, K.; ALAM, S.A.; SOZER, N., KOCK, H.L.; HERSLETH, M.; POUTANEN, K. Sensory characteristics of wholegrain and bran-rich cereal foods. **Food Science & Technology**, v. 47, p. 25-38, 2015.

KHALID, K.H.; OHM, J.; SIMSEK, S. Whole wheat bread: Effect of bran fractions on dough and end-product quality. **Journal of Cereal Science**, v. 78, p. 48-56, 2017.

KOKSEL, F.; SCANLON, M.G. Investigation of the influence of bakery enzymes on non-yeasted dough properties during mixing. **Journal of Cereal Science**, v. 79, p. 86-92, 2017.

LOPES, A.; ORMENESE, R.; MONTENEGRO F.; JÚNIOR P. Influência do uso simultâneo de ácido ascórbico e azodicarbonamida na qualidade do pão francês. **Food Science and Technology**, v. 37, n. 2, p. 307-312, 2007.

LIU, R.H. Whole grain phytochemicals and health. **Journal of Cereal Science**, v. 46, n. 3, p. 207-219, 2007.

MARIA, L.; SVENDSEN, A.; VIND, J. Phospholipases and their industrial applications. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 74, n. 2, p. 290-300, 2007.

MATUDA, T. **Análise térmica da massa de pão francês durante os processos de congelamento e descongelamento: Otimização do uso de aditivos**. 2004. 162 f. Tese (Mestrado em Engenharia Química) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MIGUEL, Â.; MARTINS-MEYER, T.; FIGUEIREDO, É.; LOBO, B.; DELLAMORA-ORTIZ, G. Enzymes in Bakery: Current and Future Trends. **Food Industry**, v.1, p. 287-321, 2013.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Roma. 2016. **Production quantities of Wheat by country**. Disponível em: < www.fao.org/home/en/>. Acesso em: 8. mai. 2018.

PONTES, A. **Desenvolvimento de pão de forma sem adição de açúcares, gorduras e emulsificantes, com o uso de enzimas e amido de mandioca modificado**. 2006. 83 f. Tese (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade em Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

NOVOTNI, D.; NIKOLINA, C. Freezing of Bread. **Encyclopedia of Food Security and Sustainability**, v. 1, p. 498-502, 2019.

ROSELL, C.M.; COLLAR, C.; SANTOS, E. Physical characterization of fiber-enriched bread doughs by dual mixing and temperature constraint using the Mixolab ®. **European Food Research and Technology**, v. 231, n. 4, p. 535-544, 2010.

ROSELL, C.M.; GÓMEZ, M. Frozen Dough and Partially Baked Bread: An Update. **Food Reviews International**, v. 23, n.3, p. 303-319, 2007.

ROSELL, C.M.; SANTOS, E. Impact of fibers on physical characteristics of fresh and staled bake off bread. **Journal of Food Engineering**, v. 98, n. 2, p. 273-281, 2010.

SAHLSTROM, S.; BRAHTEN, E. Effects of enzyme preparations for baking, mixing time and resting time on bread quality and bread staling. **Food Chemistry**, v. 58, n. 1, p. 75-80, 1996.

SANTIS, M.; KOSIK, O.; PASSMORE, D.; FLAGELLA, Z.; SHEWRY, P.R.; LOVEGROVE, A. Comparison of the dietary fibre composition of old and modern durum wheat (*Triticum turgidum* spp. *durum*) genotypes. **Food Chemistry**, v. 244, p. 304-310, 2017.

SCHOFIELD, D. **Wheat Structure, Biochemistry and Functionality**. Reino Unido: Department of Food Science and Technology, 1996.

SHEWRY, P.R. Do ancient types of wheat have health benefits compared with modern bread wheat? **Journal of Cereal Science**, v. 79, p. 469-476, 2017.

SHEWRY, P.R.; HEY, J. The contribution of wheat to human diet and health. **Food and Energy Security**, v. 4, n. 3, p. 178-202, 2015.

SHEWRY, P.R.; KHAN, K. **Wheat: Chemistry and Technology**. 4. Ed. St. Paul: AACCC, 2009.

STAMPFLI, L.; NERSTEN, B. Emulsifiers in bread making. **Food Chemistry**, v. 52, n. 4, 353-360, 1994.

STATSOFT, Inc. (2004). STATISTICA (data analysis software system), version 7.

STAUFFER, C. **Functional Additives for Bakery Foods**. Nova Iorque: Van Nostrand Reinhold, 1990.

TEBBEN, L.; SHEN, Y.; LI, Y. Improvers and functional ingredients in whole wheat bread: A review of their effects on dough properties and bread quality. **Food Science & Technology**, v. 81, p. 10-24, 2018.

WHOLE GRAINS COUNCIL. **WHAT'S A WHOLE GRAIN? A REFINED GRAIN?**. Disponível em: <<https://wholegrainscouncil.org/>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

YANG, T.; BAI, Y.; WU, F.; YANG, N.; ZHANG, Y.; BASHARI, M.; JIN, Z.; XU, X. Combined effects of glucose oxidase, papain and xylanase on browning inhibition and characteristics of fresh whole wheat dough. **Journal of Cereal Science**, v. 60, n. 1, p. 249-254, 2014.

YE, J.; WANG, X.; SANG, Y.; LIU, Q. Assessment of the Determination of Azodicarbonamide and Its Decomposition Product Semicarbazide: Investigation of Variation in Flour and Flour Products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 17, p. 9313-9318, 2011.

ZGHAL, M. C., SCANLON, M. G., SAPIRSTEIN, H. D. Prediction of bread crumb density by digital image analysis. **Cereal Chemistry**, v.76, p.734–742, 1999.