

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS  
ENGENHARIA DE ALIMENTOS

**INVESTIGAÇÃO DO APARECIMENTO DE MANCHAS ESCURAS NA CROSTA  
DE PÃO FRANCÊS ELABORADO ATRAVÉS DE MASSA CRUA CONGELADA**

Andreza da Cunha Bittencourt

**Porto Alegre  
2022**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS  
ENGENHARIA DE ALIMENTOS

**Investigação do aparecimento de manchas escuras na crosta de pão francês  
elaborado através de massa crua congelada**

Andreza da Cunha Bittencourt

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
à Universidade Federal do Rio Grande do Sul como  
requisito para obtenção do título de Engenheira de  
Alimentos.

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Roberta Cruz Silveira Thys**

**Porto Alegre  
2022**

“Nascer, viver, morrer, renascer  
ainda e progredir sempre, tal é  
a Lei.”

Allan Kardec

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter iluminado o meu caminho, me dando forças e saúde para atingir essa conquista, pois sem que permitisse, eu não chegaria até aqui. Agradeço pelo grupo de pessoas maravilhosas que colocaste no meu caminho, que tenho o privilégio de chamar família. Obrigada pela bênção de poder compartilhar a vida com elas.

Aos meus pais, Paulo Roberto e Eliane, pelo amor incondicional e pelo apoio e incentivo que serviram de alicerce para as minhas realizações. Em especial, dedico em memória de meu pai, pelo empenho exercido, para proporcionar a concretização deste sonho. Este trabalho é a prova de que os esforços dele, pela minha educação, não foram em vão e valeram a pena. À minha mãe, por ter dedicado um pouco do seu tempo para cuidar de mim, durante a elaboração desse trabalho. À minha irmã, Samantha, pelo apoio nos momentos difíceis que passamos juntas. Amo muito vocês! Muito obrigada por tudo, do fundo do meu coração! Não tenho nem palavras para expressar o quanto sou grata por tudo o que vocês fizeram por mim. Aos meus entes queridos, que estiveram sempre presentes, mesmo que em oração, enviando pensamentos positivos e bênçãos.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e todos os professores, pela elevada qualidade e excelência do ensino.

Deixo um agradecimento especial à professora Roberta. Eu não poderia imaginar ter uma orientadora melhor para a minha pesquisa. Obrigada por toda a ajuda e direcionamento, sem a qual, a realização desse trabalho não seria possível.

Quero agradecer a todos os membros da direção da indústria concedente do estágio obrigatório, que me acolheram durante o período de estágio. À Bruna, supervisora do estágio e, também, idealizadora desta pesquisa, por todos os conhecimentos e experiências compartilhadas.

Carrego comigo todas as pessoas que, direta ou indiretamente, me auxiliaram neste percurso tão importante da minha vida. Agradeço aos amigos, que estiveram ao meu lado ao longo de toda a graduação, especialmente ao Everson, pelo companheirismo e incentivo. Às minhas colegas Marina, Martina, Maiara e Adriele, pela oportunidade do convívio, pelos bons momentos que passamos juntas, pelo coleguismo e, principalmente, por estarem sempre dispostas a ajudar e apoiar.

## RESUMO

Pão francês é o produto fermentado, preparado, obrigatoriamente, com farinha de trigo, sal (cloreto de sódio) e água, que se caracteriza por apresentar casca crocante de cor uniforme castanho-dourada e miolo de cor branco-creme de textura e granulação fina não-uniforme (BRASIL, 2000). O pão produzido de massa congelada tem sido aprimorado devido aos avanços tecnológicos e às formulações, porém, ainda apresenta problemas como fermentação prolongada, baixo volume, textura e performance variada. O efeito do congelamento pode ser minimizado, através do uso de aditivos e ingredientes adequados, para a elaboração da massa congelada. Durante a elaboração de pão francês congelado não fermentado, é possível que ocorram defeitos de qualidade, relacionados às características externas dos pães. Entre os problemas do pão francês congelado não fermentado, está a coloração manchada da crosta, após o forneamento. Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi investigar os motivos do aparecimento de manchas escuras na crosta do pão francês congelado não fermentado, após a etapa de forneamento. O estudo foi conduzido em 5 testes, mantendo-se a mesma formulação em todos os testes, as quais os pães produzidos foram assados e avaliados quanto à presença de manchas escuras. No primeiro teste, avaliou-se o efeito do ultracongelamento no aparecimento das manchas escuras nos pães após o forneamento. No segundo, comparou-se as duas formas de embalagem dos pães ultracongelados utilizadas na indústria. No terceiro teste, foram produzidos pães com duas maneiras diferentes de pulverizar a farinha de trigo na etapa de cilindragem, com a finalidade de verificar a relação desse ingrediente com o aparecimento das manchas. No quarto teste, verificou-se a necessidade de limpeza dos equipamentos para a completa remoção dos resíduos remanescentes das bateladas anteriores. No quinto teste, realizou-se a cobertura da superfície dos pães congelados com a utilização de um saco plástico, de forma parcial e total, durante a etapa de descongelamento. Os resultados mostraram que o processo de embalagem, da forma como é realizado, pode estar contribuindo para o aparecimento das manchas escuras na crosta dos pães após o forneamento.

**Palavras-chave:** Pão francês. Massa crua congelada. Manchas escuras na crosta.

## ABSTRACT

French bread is the fermented product, prepared with wheat flour, salt (sodium chloride) and water, which is characterized by a crispy crust of uniform golden-brown color and creamy-white crumb of non-uniform texture and fine granulation (BRASIL, 2000). Bread produced from frozen dough has been improved due to technological advances and formulations, however, it still presents problems such as prolonged fermentation, low volume, varied texture and performance. The effect of freezing can be minimized with the use of appropriate additives and ingredients in the preparation of frozen dough. During the preparation of unfermented frozen French bread, it is possible that quality defects may occur, related to the external characteristics of the loaves. Among the problems of frozen unfermented French bread is the stained coloration of the crust after baking. Thus, the objective of the present work was to investigate the reasons for the appearance of dark stains on the crust of frozen unfermented French bread after baking. The study was conducted in 5 tests, keeping the same formulation in all tests, in which the produced breads were baked and evaluated for the presence of dark stains. In the first test, the effect of deep-freezing on the appearance of dark stains in the breads after baking was evaluated. In the second test, the two forms of packaging of deep-frozen breads used in the industry were compared. In the third test, breads were produced with two different ways of pulverizing the wheat flour in the rolling stage, in order to verify the relation of this ingredient with the appearance of the stains. In the fourth test, the need to clean the equipment was verified, for the complete removal of the remaining residues from the previous batches. In the fifth test, the surface of the frozen loaves was covered with a plastic bag, partially and completely, during the thawing stage. The results showed that the packaging process, the way it is performed, may be contributing to the appearance of dark stains on the crust of the loaves after baking.

**Keywords:** French bread. Frozen raw dough. Dark spots on the crust.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Fluxograma do processo de fabricação de pão francês de massa congelada, pelo método direto. ....  | 37 |
| Figura 2. Fluxograma do processo de fabricação do pão francês congelado não fermentado. ....  | 60 |
| Figura 3. Pães sem terem passado pela etapa de ultracongelamento (a) e pães que passaram pela etapa de ultracongelamento (b). ....  | 66 |
| Figura 4. Pães ultracongelados embalados de forma manual (b) e automática (c), com 1 dia de armazenamento sob congelamento. ....  | 67 |
| Figura 5. Pães ultracongelados com 1 e 7 dias de armazenamento sob congelamento, com teor de farinha de trigo habitual (a) e com menor teor de farinha de trigo (b) pulverizada na etapa de cilindragem. ....   | 69 |
| Figura 6. Pães processados com retirada de resíduos de massa dos equipamentos, que foram ultracongelados e embalados de forma manual (a) e nas próprias bandejas plásticas de ultracongelamento (b), armazenados sob congelamento por 3 e 7 dias. ....                          | 71 |
| Figura 7. Pães ultracongelados embalados de forma manual (a), na própria bandeja plástica de ultracongelamento (b) e embalados de forma automática (c), com 1 dia de armazenamento sob congelamento, com o descongelamento realizado sob cobertura total do saco plástico. .... | 72 |

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Critérios de pontuação por atributo para o pão francês, segundo a Norma Brasileira ABNT 16170:2013.19

## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1. Características externas do atributo crosta do pão tipo francês e seus componentes..... | 21 |
| Quadro 2. Descrição e finalidade dos testes realizados.....                                       | 58 |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>13</b> |
| 1.1 OBJETIVOS .....   | 14        |
| 1.1.1 Objetivo Geral.....   | 14        |
| 1.1.2 Objetivos Específicos .....   | 15        |
| 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO.....  | 15        |
| <b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>   | <b>16</b> |
| 2.1 INDÚSTRIA PANIFICADORA .....  | 16        |
| 2.2 PÃES CONGELADOS .....   | 17        |
| 2.3 CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DE PÃO FRANCÊS .....   | 18        |
| 2.4 MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS NA FORMULAÇÃO DE PÃO FRANCÊS<br>CONGELADO NÃO FERMENTADO ..... | 23        |
| 2.4.1 Farinha de Trigo .....  | 24        |
| 2.4.2 Levedura.....   | 26        |
| 2.4.3 Água .....  | 27        |
| 2.4.4 Sal .....   | 29        |
| 2.4.5 Açúcar .....  | 30        |
| 2.4.7 Reforçador.....   | 31        |
| 2.4.8 Outros ingredientes .....   | 34        |
| 2.5 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PÃES CONGELADOS .....   | 36        |
| 2.5.1 Pesagem dos ingredientes .....  | 38        |
| 2.5.2 Mistura ou Amassamento .....  | 38        |
| 2.5.3 Divisão e Modelagem .....   | 39        |
| 2.5.4 Congelamento .....  | 40        |
| 2.5.5 Embalamento.....  | 41        |
| 2.5.6 Estocagem.....  | 42        |
| 2.5.7 Descongelamento.....  | 43        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 2.5.8     | Fermentação.....   | 45        |
| 2.5.9     | Forneamento .....  | 46        |
| 2.5.10    | Resfriamento .....   | 48        |
| 2.6       | EQUIPAMENTOS DE ULTRACONGELAMENTO .....  | 48        |
| 2.6.1     | Influência do congelamento sobre a massa e a viabilidade da levedura<br>50   |           |
| 2.7       | PARÂMETROS DE PROCESSO DAS ETAPAS DE CONGELAMENTO E<br>DESCONGELAMENTO PARA PÃO FRANCÊS CONGELADO NÃO<br>FERMENTADO .....            | 51        |
| 2.8       | POSSÍVEIS CAUSAS DO APARECIMENTO DE MANCHAS ESCURAS NA<br>CASCA DE PÃO FRANCÊS CONGELADO NÃO FERMENTADO, APÓS O<br>FORNEAMENTO ..... | 52        |
| <b>3.</b> | <b>METODOLOGIA.....</b>  | <b>53</b> |
| 3.1       | CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....  | 54        |
| 3.2       | CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO.....  | 54        |
| 3.3       | LEVANTAMENTO DE DADOS QUALITATIVOS .....   | 55        |
| 3.3.1     | Descrição do Processo Produtivo.....   | 55        |
| 3.3.2     | Planejamento dos testes no chão de fábrica .....   | 55        |
| <b>4.</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>  | <b>59</b> |
| 4.1       | Dados relacionados ao produto e processo produtivo da empresa .....  | 59        |
| 4.1.1     | Formulação do Pão Francês congelado não fermentado .....   | 59        |
| 4.1.2     | Descrição do Processo Produtivo do Pão Francês.....  | 60        |
| 4.2       | Resultados dos testes realizados na indústria .....  | 65        |
| 4.2.1     | Teste 1: Efeito do ultracongelamento .....   | 65        |
| 4.2.2     | Teste 2: Efeito das duas formas de embalagem dos pães<br>ultracongelados .....   | 67        |
| 4.2.3     | Teste 3: Efeito da redução do teor de farinha de trigo pulverizada<br>durante a etapa de cilindragem .....                           | 68        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 4.2.4     | Teste 4: Efeito da retirada total de massa dos equipamentos do processo .....                  | 70        |
| 4.2.5     | Teste 5: Efeito da realização do descongelamento com o produto coberto com saco plástico ..... | 72        |
| <b>5.</b> | <b>CONCLUSÃO.....</b>  | <b>74</b> |
| <b>6.</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>  | <b>76</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

O cenário atual, de repentinas e grandes mudanças no mercado, exigiu que as indústrias do setor alimentício tornassem suas operações mais eficientes, desde a gestão dos insumos, até a entrega de um produto final de qualidade, a fim de garantir a satisfação dos clientes e, também, a sua permanência no mercado.

No setor de panificação, a evolução tecnológica é movida, principalmente, devido ao alto consumo. De acordo com um levantamento da Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria (ABIP), em 2021, o mercado de panificação e confeitaria faturou R\$ 105,85 bilhões no país, um crescimento de 15,3% em relação a 2020 (ABIP, 2021).

Dentro do segmento de panificação, o pão francês é considerado o principal produto das padarias, visto ser o mais consumido. No entanto, a sua alta atividade de água (GUTKOSKI et al., 2005) e, o conseqüente curto período de comercialização, acarretam em um alto custo operacional. Esse fato, levou muitos panificadores ao desenvolvimento de novos métodos de produção, que minimizassem o custo operacional e aumentassem a vida útil do produto, fazendo com que a tecnologia de panificação congelada crescesse, rapidamente, no Brasil.

A massa crua congelada consiste na elaboração da massa panificável, seguindo todas as etapas do processo tradicional de panificação, entretanto, com a substituição das etapas de fermentação e cocção pela etapa de congelamento rápido.

As principais vantagens do pão de massa congelada, em relação aos processos tradicionais, deve-se à padronização do produto, à redução de espaço, assim como à agilidade e flexibilidade para a produção. O uso de massa congelada atende às exigências dos consumidores por pães sempre frescos, isto é, recém-assados. Desta forma, padarias podem exercer, apenas, a função de pontos de venda do produto, onde os pães são descongelados, fermentados e assados, possibilitando a realização dessas operações em um espaço físico reduzido (SALAS-MELLADO; CHANG, 2003; KECHINSKI et al., 2010).

Embora sendo um processo que traz inúmeras vantagens, o congelamento de massa crua panificável pode induzir muitos efeitos negativos na qualidade dos pães assados, em comparação com aqueles assados a partir da massa não congelada (RIBOTTA et al., 2001); situações recorrentes na indústria de pães congelados (WATANABE; BENASSI, 2000).

Os principais fatores, responsáveis por defeitos de qualidade do pão preparado, a partir de massa congelada, são danos à rede de glúten e a redução da viabilidade das leveduras. Tais defeitos são gerados pela formação de cristais de gelo, que crescem, continuamente, por fusão ou rearranjo; tendo, como consequências, pães com baixo volume, a presença de pestanas pouco destacadas, a menor crocância e a coloração da crosta mais escura e manchada (RIBOTTA et al., 2003; PROZYN, 2018). Segundo Watanabe e Benassi (2000), durante a elaboração de pão francês, a partir de massa congelada, já se pode evidenciar tais problemas, a partir do tempo de fermentação excessivamente longo e de uma estrutura de miolo aberta e mais firme.

Diante da grande variedade de conceitos de qualidade do pão francês, em todo o território nacional, tornou necessária a elaboração de uma Norma Brasileira (NBR) para produção do mesmo, a qual ocorreu em 2013, quando a ABNT formulou a norma NBR 16170:2013. De acordo com o documento, a crosta levemente manchada é considerada uma falta leve e a presença de manchas na crosta é considerada uma falta grave (ABNT, 2013), o que faz com que a solução deste tipo de problema seja de extrema relevância, para a garantia da qualidade do produto final.

Assim sendo, o presente trabalho prevê investigar os motivos do aparecimento de manchas escuras na crosta do pão francês congelado não fermentado, após a etapa de forneamento.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Investigar os motivos do aparecimento de manchas escuras na crosta do pão francês congelado não fermentado, após a etapa de forneamento.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Com o propósito de atingir o objetivo geral, definem-se os objetivos específicos.

- Apresentar a revisão bibliográfica sobre as possíveis causas do problema em estudo.
- Identificar, através da observação do processo produtivo, possíveis causas do problema.
- Definir e planejar, a partir da revisão de literatura realizada e da observação do processo produtivo, os testes práticos a serem realizados para elucidação do defeito observado.
- Realizar os testes práticos planejados *in situ*.
- Coletar, tabular e avaliar os resultados dos testes práticos realizados, com o objetivo de propor o solucionamento do problema em estudo.

### 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é dividido em 5 capítulos. O capítulo 1 consiste em uma introdução, abordando o problema das manchas escuras a ser investigado e os objetivos para este trabalho. O capítulo 2 aborda o referencial teórico, sobre a importância da indústria panificadora e dos pães congelados, para movimentar a economia; além de uma revisão bibliográfica sobre o pão francês congelado, em relação às características de qualidade, matérias-primas, processo de fabricação, equipamentos de ultracongelamento, parâmetros do processo e as possíveis causas do aparecimento de manchas escuras na casca de pão francês congelado não fermentado, após o forneamento. O capítulo 3 apresenta a metodologia adotada no trabalho, contendo a classificação da pesquisa, abordando a indústria objeto de estudo, o levantamento de dados qualitativos para o planejamento dos testes, bem como os testes realizados. No capítulo 4 apresentam-se a formulação e a descrição do processo produtivo do pão francês congelado não fermentado, bem como os resultados dos testes realizados e a

discussão dos mesmos. O capítulo 5 apresenta a conclusão do presente trabalho.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste capítulo, apresentam-se as revisões bibliográficas, que servirão de embasamento teórico, para a realização dos testes do presente trabalho.

### **2.1 INDÚSTRIA PANIFICADORA**

De acordo com os dados recentemente divulgados pela Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria (ABIP), o mercado nacional de panificação e confeitaria teve faturamento de R\$ 105,85 bilhões no país em 2021, um crescimento de 15,3% em relação a 2020.

Segundo a mesma fonte, até 2020, aproximadamente 2,5 milhões de trabalhadores faziam parte do atual setor nacional de panificação, sendo 920 mil com empregos diretos e 1,6 milhão de profissionais indiretos (REDE FOOD SERVICE, 2022).

Uma pesquisa realizada pela Associação Brasileira da Indústria do Trigo-ABITRIGO revelou que o Brasil, no período de 2015 a 2019, ocupou o 2º lugar como um dos maiores consumidores de trigo no mundo e que 55% de todo o trigo consumido no país é absorvido pela fabricação de produtos panificados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO TRIGO, 2019; SEBRAE, 2009). Por fazer parte da cesta básica da população, mesmo em circunstâncias econômicas desfavoráveis, a produção de pães no Brasil tende a continuar operando e crescendo (GUEDES, 2019).

O crescimento do mercado de panificação no Brasil tem grande potencial, visto que o consumo *per capita* desses produtos ainda está abaixo de alguns países, como Argentina e Chile. Esse crescimento, no entanto, está cada vez mais atrelado à inovação tecnológica e à especialização profissional (SANCHIS, 2013), fatores primordiais para garantia do sucesso das empresas no mercado.

Segundo Zaga (2019), para que a empresa consiga praticar preços mais competitivos e se sobressair no mercado, ela deve aprimorar seus processos,

tornando-se mais produtiva, ou seja, fabricando mais com menos recursos e obtendo produtos com maior qualidade. Nesse sentido, o congelamento de massas panificáveis vem sendo usado como ferramenta valiosa, para que o segmento se torne mais competitivo, através da redução dos custos operacionais.

## 2.2 PÃES CONGELADOS

Na Áustria, no ano de 1926, ocorreram as primeiras tentativas de produção de pão, a partir de massa congelada, utilizando baixas temperaturas para o retardamento da etapa de fermentação da massa, a fim de reduzir o trabalho noturno nas padarias (GUTKOSKI et al., 2005). Na década de 1970, algumas padarias, de pequeno porte, consideravam conveniente e econômico o congelamento de porções-reserva de massa, para serem descongeladas, fermentadas e assadas nos horários de maior demanda (DE BONA, 2002).

O congelamento de pães foi introduzido nas padarias como forma de otimizar o processo produtivo, pois exclui a necessidade de produção diária de massa, sendo necessário apenas programar o forneamento final do pão. O pão produzido a partir de massa congelada tem sido aprimorado pelos avanços tecnológicos e diferentes formulações (KOHMANN, 2012).

Quando se fala em tecnologia de panificação congelada, deve-se fazer uma distinção entre quatro tecnologias principais, cada uma com vantagens e inconvenientes, as quais demandam uma abordagem tecnológica específica. A primeira, das quatro principais tecnologias aplicadas em panificação congelada, é a mais básica, a produção de massa crua congelada (FOODS INGREDIENTS BRASIL, 2008), a tecnologia de congelamento mais utilizada pelo setor de panificação no Brasil (SEBRAE, 2017).

Na produção de pães de massa crua congelada, primeiramente, os ingredientes são misturados à farinha e água, para o desenvolvimento da massa que, posteriormente, sofre as etapas de divisão, modelagem e congelamento (ZAMBELLI et al., 2010). É necessário um mínimo de 2 a 3 horas para preparar o pão a partir da massa congelada; o produto tem que ser descongelado, fermentado e depois assado (CAUVAIN, 2012). O pão de massa congelada

apresenta um menor custo com logística, já que o volume da massa é menor, sendo considerado, desta forma, a melhor das opções para ganhar escala.

Se a massa é misturada, dividida, modelada e fermentada, antes do congelamento, denomina-se massa pré-fermentada congelada. A maior vantagem desta tecnologia, em comparação à massa crua congelada, é a necessidade de mão de obra menos especializada, na fase de finalização, que pode ser conduzida diretamente do congelador para o forno, sem necessitar da etapa de descongelamento (FOODS INGREDIENTS BRASIL, 2008).

Na tecnologia de pão pré-assado congelado, a massa é misturada, dividida, modelada, fermentada e assada, uma primeira vez, antes do congelamento. Após a estocagem, esse pão pré-assado passa por um segundo forneamento, para ser finalizado, as quais o miolo é reaquecido, a casca adquire a coloração final e o sabor característico do pão é desenvolvido. Um dos principais defeitos de qualidade de pães produzidos com essa tecnologia é chamado de *flaking*, que é o desprendimento da casca do miolo (FOODS INGREDIENTS BRASIL, 2008). O pão pré-assado congelado deve ser descongelado e ter o forneamento no ponto de venda, sendo indicado para lojas de conveniência, pontos quentes de supermercados e padarias com pequena área disponível (MATUDA, 2008).

Por fim, na tecnologia do pão assado congelado, é necessário descongelar o produto à temperatura ambiente ou fazer um pequeno aquecimento, para finalizá-lo. Devido ao mesmo fenômeno de *flaking*, essa tecnologia só pode ser usada quando não for desejada casca crocante, como em pães macios (pães de forma, hambúrguer e pães doces) (FOODS INGREDIENTS BRASIL, 2008).

### 2.3 CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DE PÃO FRANCÊS

A cor da crosta do pão, juntamente à sua textura e sabor, são as principais características, influenciando a preferência do consumidor. Portanto, a cor da crosta aparece como um fator crítico no forneamento do pão (JINHEE YI, 2008). Segundo o site Fresh Bakery (2021), a qualidade do pão francês pode ser determinada por algumas características essenciais; entre elas, está a crosta do pão. A crosta deve apresentar características uniformes, sem esfarelar, sem

aspecto liso e com formato quadriculado, o que é desejado para um pão de excelência.

A norma NBR 16170:2013 define parâmetros de avaliação do pão tipo francês, com base nos atributos de qualidade, segundo características externas, internas e sensoriais. De acordo com essa norma, é considerada como falta qualquer defeito perceptível pelo consumidor, sendo “falta leve” aquela que não gera aversão, recusa de compra ou recompra, podendo gerar ou não comentários do consumidor; e “falta grave” aquela que pode gerar aversão, recusa de compra ou recompra, ou a reclamação do consumidor. A avaliação dos atributos deve ser realizada uma hora após os pães saírem do forno (ABNT, 2013). A avaliação é realizada através de uma coleta programada de amostras que são analisadas individualmente conforme os quesitos citados e, por fim, a média de pontuação é calculada para a classificação do produto (ABNT, 2013; JOHANN, 2018).

Os critérios para pontuação, por quesitos, estão classificados conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Critérios de pontuação por atributo para o pão francês, segundo a Norma Brasileira ABNT 16170:2013.

| Atributos e seus componentes |  | Pontuação   |            |             |
|------------------------------|--|---|------------|-------------|
|                              |  | Sem falta <sup>a</sup>  | Falta leve | Falta grave |
| Características externas     | Tamanho  | Se volume específico for $\leq 6,0$ mL/g, então a pontuação é igual ao valor do volume específico em mL/g x 3,33<br>Se o volume específico $> 6,0$ mL/g, então a pontuação é igual a 20 |            |             |
|                              | Crosta (composta por cor, pestana, crocância e aspecto)  | 10  | 8 ou 6     | 4 ou 0      |
|                              | Aparência (composta por integridade e simetria)          | 20  | 15 ou 10   | 5 ou 0      |
| Características internas     | Crosta (composta por aspecto)                            | 10  | 8 ou 6     | 4 ou 0      |
|                              | Miolo (composto por cor, textura, e estrutura da célula) | 15  | 11 ou 7    | 3 ou 0      |

|                            |  |    |        |        |
|----------------------------|--|----|--------|--------|
| Características sensoriais | Aroma  | 5  | 4 ou 3 | 2 ou 0 |
|                            | Sabor  | 10 | 8 ou 6 | 4 ou 0 |
|                            | Textura do centro (composta por mastigação da fatia central com 1 cm de largura e resiliência de metade do pão cortado transversalmente) | 10 | 8 ou 6 | 4 ou 0 |

<sup>a</sup> Pontuação que indica o valor máximo para cada atributo

Fonte: Norma Brasileira ABNT 16170:2013.

Quando ocorrer dentro do plano de amostragem pelo menos uma falta grave, deve-se pontuar o atributo conforme uma das notas indicadas na coluna “falta grave”. Na ausência de faltas graves e, com pelo menos uma falta leve no plano amostral, o item deve ser pontuado conforme uma das notas presentes na coluna “falta leve”. Na ausência de qualquer tipo de falta, o produto recebe a nota máxima indicada na coluna “sem faltas”. Para pontuação final, deve-se somar as notas individuais atribuídas para cada avaliação (ABNT 2013; JOHANN, 2018).

Dessa forma, é possível classificar os produtos em excelente, muito bom, bom, regular ou ruim, sendo que um pão de qualidade precisa obter no mínimo 69% de pontuação ou 90 pontos (ABNT, 2013).

A NBR 16170:2013 apresenta vários atributos que devem ser considerados para um pão tipo francês de qualidade, entre eles a cor da crosta, pestana, crocância, cor, textura do miolo, entre outros. A qualidade máxima do pão francês definida pela norma é de um produto de forma arredondada, de tamanho definido com 14 cm de comprimento e 7cm de largura, que possui bom desenvolvimento e assamento uniforme. A cor externa deve ser amarelo-dourada, ligeiramente espelhada, sendo a crosta lisa, bem aderida ao miolo e de espessura entre 0,3 mm e 0,5 mm. O corte aberto no topo (pestana) deve ser fino, preso ao pão e com abertura entre 20 mm e 50 mm. O miolo é de cor branca levemente creme, sem estrias ou manchas e com textura suave. A textura é caracterizada por uma mordida curta, que não embola na boca e por uma resiliência parcial, ou seja, capacidade do pão voltar a sua forma original depois de pressionado. O aroma é

característico do produto e sabor levemente doce e ácido (ABNT, 2013; JOHANN, 2018).

O Quadro 1 mostra as características externas do atributo crosta do pão tipo francês e seus componentes.

Quadro 1. Características externas do atributo crosta do pão tipo francês e seus componentes.

|  |     | <b>Componentes</b>   | <b>Sem falta</b>   | <b>Falta leve</b>  | <b>Falta grave</b>  |
|--|-----|--|--|--|---|
| Características externas da crosta do pão tipo francês | Cor |  | Dourada homogênea e brilhante, com a área de corte da pestana variando de bege a marrom claro                          | Ligeiramente escura ou clara; opaca; variação de cor entre as peças ou levemente manchada  | Queimada ou pálida; não uniforme; manchada ou vitrificada   |
|  |     |  |  |  <p>Produto ligeiramente escuro (esquerda) ou claro (direita)</p>       |  <p>Produto queimado (esquerda) ou pálido (direita)</p> |
|  |     |  <p>Produto sem falta</p> |  <p>Produto opaco</p>              |  <p>Produto manchado (esquerda) ou com cor não uniforme (direita)</p> |   |
|  |     |  |  <p>Produto levemente manchado</p> |  <p>Produto vitrificado</p>   |   |

|  |         |  |   |  |  |
|--|---------|--|---|--|--|
| Características externas da crosta do pão tipo francês |         |  |     |  |  |
|  |         |  | Produtos com variação de cor entre as peças   |  |  |
|  | Aspecto | Sem a presença de bolhas, pintas ou manchas  | Presença de poucas bolhas pequenas ou com poucas pintas                               |  | Presença de bolhas grandes; extensa presença de bolhas pequenas; enrugado; com muitas pintas; com sujidades ou com farinha aderida |
|  |         | <br>Produto sem falta |   | Produto com pequena presença de bolhas (esquerda) ou poucas pintas (direita) |   |
|  |         |  |  | Produto com extensa presença de bolhas pequenas                              |  |

Fonte: Norma Brasileira ABNT 16170:2013.

A qualidade dos produtos de panificação congelados é influenciada pela formulação da massa, assim como os parâmetros de processamento, tais como

tempo de mistura da massa, taxa de congelamento, duração da armazenagem e taxa de descongelamento (GIANNOU et al., 2003).

Quando comparados aos pães produzidos pelo método convencional, os pães elaborados, a partir de massa congelada, apresentam menores volumes, maior firmeza do miolo e maiores taxas de envelhecimento; miolo com paredes celulares espessas (têm poros grandes com distribuição não uniforme), crosta espessa com superfície áspera e possibilidade de presença de manchas e baixa altura de corte superficial (GUTKOSKI et al., 2005; ROSELL; GÓMEZ, 2007).

Conforme descrito por Cauvain (2012), vários parâmetros de processamento podem explicar a perda de desempenho no forneamento de pães feitos de massa congelada; estes incluem as condições de mistura, o grau de fermentação antes do congelamento, bem como as condições de armazenamento.

Entre as teorias que explicam a redução da qualidade da massa congelada estão a diminuição do poder de gaseificação, pela perda da viabilidade da levedura, durante a fase de congelamento; e a perda da resistência da massa, devido à mudanças nas propriedades reológicas da rede de glúten (INOUE; BUSHUK, 1991; URIYAPONGSON, 2002).

## 2.4 MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS NA FORMULAÇÃO DE PÃO FRANCÊS CONGELADO NÃO FERMENTADO

O pão é composto, basicamente, por farinha de trigo, água, levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) e sal (cloreto de sódio) (ZAMBELLI, 2014).

Para obter pão de alta qualidade, a partir de massas congeladas, a força da massa original deve ser um pouco mais forte do que a requerida para a produção padrão de pão (INOUE; BUSHUK, 1991). A utilização de farinhas fortes, com boa quantidade e qualidade de glúten, é fundamental e imprescindível para a obtenção de pães congelados de qualidade (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2008). Na prática, isto pode ser conseguido adicionando-se glúten de trigo vital (INOUE; BUSHUK, 1991). A qualidade do glúten está relacionada ao volume dos pães, um parâmetro de qualidade, pois, durante a fermentação, a massa expande com a produção de CO<sub>2</sub>, que deve ser retido pela sua estrutura (MATUDA, 2004).

Várias maneiras de minimizar o efeito do congelamento na massa são relatadas na literatura, como o uso de cepas de levedura mais resistentes ao congelamento, a modificação do processo de panificação ou a introdução de aditivos e ingredientes adequados para massas congeladas (GIANNOU et al., 2003). A utilização correta de enzimas e agentes oxidantes, que agem em baixas temperaturas, juntamente à hidrocoloides, para retenção de água, auxilia a rede de glúten a suportar as condições severas de congelamento (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2008).

A formulação da massa congelada é, geralmente, diferente da massa não congelada, no entanto, as características esperadas no produto final são essencialmente as mesmas. Os efeitos dos ingredientes sobre o processamento da massa de pão serão abordados a seguir.

#### 2.4.1 Farinha de Trigo

A farinha de trigo é o ingrediente mais importante na fabricação de pães, porque modula as características específicas dos produtos panificados. É a farinha mais comumente utilizada, a qual consiste em proteínas, amido e outros carboidratos, cinzas, fibras, lipídios, água e pequenas quantidades de vitaminas, minerais e enzimas (JINHEE YI, 2008). Além das proteínas, outros componentes da farinha – lipídios, sais, polissacarídeos não amido e amido – participam, também, da formação da matriz de glúten (GIANNOU et al., 2003). Entre as substâncias proteicas nitrogenadas da farinha de trigo, predominam a gliadina e a glutenina que, fortemente hidratadas, dão uma massa elástica, chamada glúten, principal responsável pela propriedade mecânica da massa. (DE BONA, 2002).

A farinha de trigo é obtida pela redução do tamanho do grão de trigo, considerando sua principal constituição, a proteína (glúten) e o amido (DE BONA, 2002). O amido é o mais abundante componente na farinha de trigo, presente, exclusivamente, no endosperma do grão. Ocorre mais naturalmente na forma de grânulos, contendo dois principais tipos de polissacarídeos, denominados amilose e amilopectina (RESENDE, 2011). A hidrólise parcial do amido produz

oligossacarídeos (maltose) e a hidrólise total só produz glicose (glucosano) (DE BONA, 2002).

O amido, presente na farinha de trigo, se transforma em açúcares fermentescíveis, pela ação enzimática, as quais serão metabolizados pelo fermento (CAUVAIN; YOUNG, 2009; STEFANELLO, 2014).

A farinha de trigo contém enzimas como as diastases, que são compostas pela  $\alpha$  e  $\beta$ -amilase, as quais exercem um papel de grande importância na catalisação das reações de fermentação (DE BONA, 2002). Entretanto, o conteúdo de amido danificado não deve ser elevado nas farinhas destinadas à produção de massa congelada, as quais devem apresentar baixa concentração de enzimas (como  $\alpha$  e  $\beta$ -amilase), não sendo recomendável a adição de enzimas termoestáveis de malte (WATANABE; BENASSI, 2000).

Para a formulação de massa congelada, é necessário usar farinha com proteínas de boa qualidade e teor proteico superior ao usado na produção convencional de pão (INOUE; BUSHUK, 1991; NEYRENEUF; VAN DER PLAAT, 1991; WATANABE; BENASSI, 2000; DE BONA, 2002). Segundo Jinhee Yi (2008), a qualidade da massa depende, não apenas do nível, mas, também, da qualidade da proteína da farinha. Segundo Neyreneuf e Van Der Plaat (1991) e De Bona (2002), o conteúdo de proteínas em farinhas de trigo, para produção de massas congeladas para pão francês, deve enquadrar-se entre 11% e 13%; não devendo ultrapassar os 13%, para não restringir seu volume. A farinha nacional comercializada possui um teor de proteína em torno de 7% a 10% (VIANNA et al., 2020).

De acordo com Inoue e Bushuk (1991,1992) e Watanabe e Benassi (2000), a qualidade da massa congelada está mais relacionada com a força da farinha, do que com a perda de atividade das leveduras, durante o armazenamento sob congelamento. De acordo com Cauvain e Young (2009), a força da farinha, também, se relaciona com a capacidade de absorção de água, pois quanto mais proteína, mais água a farinha pode absorver. A capacidade de retenção de água da farinha depende de seu tipo, origem e outras propriedades (GIANNOU et al., 2003).

A atividade diastática das farinhas a serem congeladas é importante, as quais Neyreneuf e Van Der Plaat (1991) observaram que um *falling number* na região de 300 é desejável.

#### 2.4.2 Levedura

A levedura de panificação (fermento biológico) é um fungo unicelular e a cepa utilizada para fazer pão é *Saccharomyces cerevisiae* (EDWARDS, 2007). Sob condições anaeróbias, as células de levedura metabolizam açúcares fermentescíveis (glicose, frutose, sacarose e maltose), produzindo álcool e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), como mostrado na equação abaixo (GIANNOU et al., 2003; EDWARDS, 2007).



Além de produzir CO<sub>2</sub>, que é o gás responsável pelo crescimento do pão, o fermento exerce, também, influência sobre as propriedades reológicas da massa, tornando-a mais elástica e porosa (NUNES et al., 2006). A produção de álcool é importante, porque sua evaporação proporciona uma parte significativa da expansão no forno, conhecida como salto de forno (EDWARDS, 2007).

As leveduras estão disponíveis em diversas formas: levedura comprimida, creme (efetivamente um líquido), seca em pellets e em pós, considerada instantaneamente ativa. A forma tradicional de levedura seca é conhecida como levedura seca ativa (EDWARDS, 2007).

Existem três diferentes tipos de fermento disponíveis para massas congeladas: o fresco prensado, o seco instantâneo e o seco ativado (MATUDA, 2004). Quanto ao tipo de levedura, tanto a levedura seca instantânea como a prensada funcionam bem em massa congelada (WATANABE; BENASSI, 2000). O conteúdo de levedura deve ser mais alto que na panificação convencional, a fim de superar a possível perda de atividade, durante o congelamento, armazenamento e qualquer inadequação nas condições de fermentação (GIANNOU et al., 2003).

A levedura prensada contém, aproximadamente, 70% de umidade e, por isso, é altamente perecível, a menos que seja refrigerada (GIANNOU et al., 2003).

Neyreneuf e Van Der Plaat (1991), recomendam, para a massa congelada de pão francês, 6% de levedura prensada, sobre o peso da farinha, proporcionando estabilidade adequada e sem efeitos negativos sobre o sabor do pão produzido (WATANABE; BENASSI, 2000).

O fermento seco ativo é obtido a partir da secagem do fermento biológico fresco por ar quente, possui umidade em torno de 7% à 9% e deve ser reidratado em água morna por 10 a 15 minutos, as quais a temperatura da água deve estar entre 37 °C e 43 °C (CASTRO; MARCELINO, 2012).

A levedura seca instantânea resulta de secagem em leito fluidizado das células de levedura prensada, deixando-as com um teor de água intracelular da ordem de 4% a 6%, após a secagem (THOMAZ, 2008). Leveduras instantâneas podem ser incorporadas com farinha e outros ingredientes, sem hidratação prévia (GIANNOU et al., 2003).

Conforme a Resolução da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos-CNNPA nº 38, o conteúdo de umidade para o fermento fresco deve ser no máximo 75 g / 100 g e, para o fermento seco, o conteúdo máximo de umidade recomendado é de 12 g / 100 g. A CNNPA nº 38 não informa sobre o conteúdo de umidade para o fermento seco instantâneo (BRASIL, 1977).

As características da levedura desempenham, também, um papel importante na determinação da viabilidade da levedura e qualidade do produto. A criorresistência da levedura sofre influência do tempo de fermentação antes do congelamento, das velocidades de congelamento e descongelamento da massa, tempo de armazenamento e flutuações de temperatura da massa congelada (GIANNOU et al., 2003; FUNCK; DE FRANCISCO, 2006). Como sempre há danos pelo congelamento, deve-se dosar o fermento, em massa crua congelada, cerca de 50% a 60% a mais do que o usual (ZAMBELLI et al., 2010).

### 2.4.3 Água

Juntamente à farinha de trigo, a levedura e o sal, a água representa um ingrediente primário (DE BONA, 2002). A água tem importância fundamental na formação da massa, tendo como principais funções dissolver os ingredientes,

promover a hidratação dos amidos — possibilitando, assim, a formação do glúten e controlar a temperatura da massa (DE BONA, 2002).

A quantidade de água, a ser adicionada, depende do tipo de pão fabricado e da qualidade da farinha utilizada, já que farinhas mais fortes (com maior teor de proteína — aproximadamente 12%) conseguem absorver maior quantidade de água, sem que haja perda de estrutura. Tomando-se como referência a farinha nacional e, considerando-se que a quantidade de líquido absorvida pela massa é proporcional à quantidade de proteína (glúten) na farinha, a fórmulação do pão francês poderá absorver de 55% a 65% de água (VIANNA et al., 2020).

A água é absorvida por proteínas, grânulos de amido íntegros e danificados e pentosanas presentes na farinha. A parte de água não absorvida pelos componentes da farinha, permanece como água livre e, nas massas congeladas, deve ser reduzida, a fim de minimizar a formação de cristais de gelo (MATUDA, 2004). A água adicionada para formar a massa ideal é calculada como a absorção de água da farinha obtida no farinógrafo (RASHIDI et al., 2016). A redução do teor de água limita a água livre na massa durante o congelamento, a qual pode restringir a formação de cristal de gelo e diminuir seus efeitos negativos sobre a qualidade de massa congelada (GIANNOU et al., 2003).

Para a produção de massa congelada, a quantidade de água na formulação deve ser menor, suficiente para se elaborar uma massa firme (DE BONA, 2002).

A redução de até 2% de água resulta em massas mais elásticas, com menor formação de cristais de gelo, diminuindo seus efeitos negativos na qualidade da massa congelada (HSU et al., 1979; WATANABE; BENASSI, 2000; DE BONA, 2002). Segundo Inoue e Bushuk<sup>1</sup> (1996, apud Laaksonen, 2001), em massas congeladas, a absorção de água deve ser decrescida de 3% a 5%, em comparação ao pão assado fresco. Entretanto, para Brack e Hanneforth<sup>2</sup> (1995,

---

1 INOUE, Y., BUSHUK, W. Effects of freezing, frozen storage and thawing on dough and baked goods. In: Freezing effects on food quality. Jeremiah LE, ed. Marcel Dekker, New York. p. 367-400, 1996.

2 BRACK, G., HANNEFORTH, U. Freezing of confectionery dough units in Germany. In KULP, K.; LORENZ, K.; BRÜMMER, J. Frozen and Refrigerated Doughs and Batters, Minnesota: AACC 1995. p. 177-192.

apud Matuda, 2004), um decréscimo de 1% a 2% é suficiente. Salas-Mellado e Chang (2003) estudaram o efeito da formulação na qualidade da massa de pão congelado, as quais utilizaram uma redução de água de 2%.

Para obter a estrutura desejável, a farinha deve ser misturada com a quantidade de água necessária. Quando a quantidade de água utilizada é relativamente pequena, a gelatinização do amido não pode ser alcançada com sucesso. Como resultado, o miolo seca com mais facilidade e envelhece mais rápido. Pelo contrário, quando excesso de água é utilizado, uma certa quantidade permanece livre, tornando o miolo úmido e pegajoso (GIANNOU et al., 2003).

A recomendação da temperatura da água, para produção de massas congeladas, é de 0 °C (DE BONA, 2002).

#### 2.4.4 Sal

O sal confere sabor e aroma mais intensos ao pão, afetando, também, as características de duração e conservação do pão, devido às propriedades higroscópicas (DE BONA, 2002).

Uma pequena quantidade de sal na massa favorece a ação de amilases, ajudando a manter um fornecimento de maltose como substrato para a levedura. O sal inibe a ação de proteases de farinha, que, caso contrário, despolimerizariam proteínas do complexo do glúten (GIANNOU et al., 2003).

Entretanto, dentre as funções relacionadas a este ingrediente na panificação, a principal é sua atuação na formação do glúten. A gliadina, uma das proteínas do glúten, tem menor solubilidade na água com sal, as quais obtém-se a formação de uma maior quantidade de glúten. O sal aumenta a força da farinha (reforça a formação do glúten), melhora a hidratação da massa e atua na fermentação, retardando as fermentações secundárias geradas por microrganismos produtores de alguns ácidos (lático, butírico e acético) (DE BONA, 2002).

O controle da ação da levedura é feito pelo sal. O excesso de sal adicionado à formulação resultará em pães com crosta escura e sem abertura de pestana. Sem a adição de sal, a levedura atuaria rapidamente, esgotando os açúcares presentes e produzindo um produto de superfície pálida e sem volume, por ter colapsado, devido ao excesso de produção de CO<sub>2</sub> (MATTOS, 2010). Segundo

GIANNOU et al. (2003), uma massa de levedura, sem sal, é pegajosa e difícil de manipular.

De acordo com De Bona (2002), o valor ótimo determinado na dosagem do sal fica em torno de 2%. Entretanto, em produtos de massa congelada, o sal retarda a produção de dióxido de carbono pela levedura, atrasando sua fermentação (GIANNOU et al., 2003). No estudo do efeito da formulação na qualidade da massa de pão congelado, Salas-Mellado e Chang (2003) utilizaram 2% de sal na formulação básica da massa de pão congelado. Esta informação está de acordo com o site da Revista Aditivos e Ingredientes (2015), a qual recomenda uma quantidade de sal de 2% para a produção de massa congelada.

#### 2.4.5 Açúcar

Dentre os açúcares mais utilizados na panificação, a sacarose fica em destaque. É um diglicerídeo constituído por uma molécula de glicose e uma molécula de frutose (STEFANELLO, 2014). Os açúcares têm funções bem definidas em panificação, sendo a principal fonte de nutrientes do fermento. Eles respondem por uma melhora na produção de dióxido de carbono, o que influencia positivamente no crescimento das massas (DE BONA, 2002). Em alguns casos, açúcar extra pode ser adicionado, para aumentar a quantidade de gás, para melhorar a cor da crosta e para adoçar o pão (GIANNOU et al., 2003).

Os açúcares atuam, também, como antiplastificantes, retardando a pasta de amido nativo ou funcionando como ingredientes anti-envelhecimento, que inibem a recristalização do amido (GIANNOU et al., 2003). Além disso, o açúcar ajuda na coloração da crosta do pão, através da reação de Maillard e de caramelização, durante o forneamento (RESENDE, 2011).

Salas-Mellado e Chang (2003) utilizaram uma quantidade de açúcar de 2%, na formulação básica da massa de pão congelado.

#### 2.4.6 Gordura

As gorduras mais empregadas na panificação são as gorduras vegetais hidrogenadas, pois são de fácil manuseio, conservação e conferem as melhores

características tecnológicas. Em massas para pão, são usadas em uma concentração média de 3% sobre a farinha. Porém, quantidades excessivas de gorduras são prejudiciais, pois dificultam a hidratação e o desenvolvimento do glúten (MATTOS, 2010).

As gorduras ideais em panificação são as gorduras saturadas com comprimento de cadeia variando entre 16 e 18, com ponto de fusão entre 55 °C — 60 °C. A adição de gorduras auxilia no manuseio do produto, deixando a massa menos pegajosa, o que facilita a utilização de equipamentos, como por exemplo, as misturadoras. Durante o cozimento, forma uma película protetora da umidade, sendo o único ingrediente que, ao final do processo de produção, está presente integralmente. A dispersão das partículas de gordura na massa permite que o pão fique macio, além de contribuir para a liberação de um perfil aromático característico (ZAMBELLI, 2014).

A nível tecnológico, as gorduras têm função no aumento de volume, durante o salto de forno do pão e, também, na manutenção da qualidade, durante o armazenamento. A gordura torna a massa mais macia, ao melhorar a textura do miolo (STAUFFER, 2007).

#### 2.4.7 Reforçador

De acordo com De Bona (2002), a farinha produzida no Brasil não alcança os teores de proteínas formadoras de glúten necessário para a produção de pães. Além disso, não há garantia de que a qualidade da farinha seja a mesma, de um lote para o outro, dentro de um mesmo moinho, normalmente, são diferentes.

Nesse sentido, para garantir a qualidade e a padronização do produto final, em nível industrial, reforçadores ou melhoradores são utilizados. Estes ingredientes são formados por um conjunto de aditivos usados para corrigir as imperfeições da farinha e otimizar o processo de fabricação de pães. Esse produto, usado na quantidade certa, fortalece a rede de glúten, para suportar o processo de fermentação, colaborando, assim, para a maciez, o volume, a cor e uniformidade do produto final (PADARIA FÁCIL, 2020).

Kaltbach et al. (2013) utilizaram, em seu estudo, uma mistura pré-pronta, constituída de farinha de trigo tipo 1 com ferro e ácido fólico, açúcar, sal,

emulsificantes (esteroil-2-lactil, lactato de sódio, monoglicerídeos de ácido graxo comestíveis destilados), melhorador de farinha e alfa-amilase ( $\alpha$ -amilase). O melhorador utilizado era constituído de ácido ascórbico, farinha de trigo e propionato de cálcio, as quais a recomendação de uso era de 250 g do reforçador para cada 50 kg de farinha de trigo.

A formulação destes produtos é, normalmente, composta de enzimas, emulsificantes, agentes oxidantes e, em alguns casos, conservantes (DE BONA, 2002), cujas funções serão descritas abaixo.

#### 2.4.7.1 *Enzimas*

As enzimas mais importantes no trigo são as diastases ( $\alpha$ -amilase e  $\beta$ -amilase), presentes no embrião do grão. O objetivo do uso de enzimas em panificação é, unicamente, controlar as propriedades reológicas da massa. As enzimas apresentam muitas funções na produção do pão, atuando nas moléculas de amido ou de proteínas e, também, como branqueadores de farinhas com alto teor de pigmentos escuros (DE BONA, 2002).

As amilases são enzimas de origem bacteriana ou fúngica e suas funções se destacam, particularmente, durante a etapa de fermentação do pão. A farinha contém cerca de 1% de açúcares fermentescíveis, que corresponde à quantidade adequada de substrato para o fermento, durante a primeira hora de fermentação. Entretanto, quando o tempo de fermentação é maior, torna-se necessário quantidades de açúcares adicionais, para fornecer mais nutrientes ao fermento. As enzimas são adicionadas com o propósito de prover à massa uma quantidade suplementar de açúcares, quando os originais da farinha são esgotados. A alfa-amilase atua nos grãos de amido danificados, presentes na farinha, produzindo dextrinas. A beta-amilase ( $\beta$ -amilase), então, ataca as dextrinas, para produzir maltose, que é metabolizada pelo fermento. Desta adição, observa-se uma maior produção de gás nas massas e pães com maiores volumes, melhorando as características do miolo e cor da crosta (DE BONA, 2002).

#### 2.4.7.2 *Nutrientes para as leveduras*

O uso de carbonato de cálcio e sulfato de sódio tem o objetivo específico de tornarem-se “complemento nutricional”, necessário às leveduras (DE BONA, 2002).

#### 2.4.7.3 *Agentes oxidantes*

O agente oxidante, mais comumente utilizado, é o ácido ascórbico. A rigor, quimicamente, o ácido ascórbico é um antioxidante, mas, na massa, atua como oxidante. Segundo a legislação brasileira, o ácido ascórbico, em panificação, não é considerado aditivo, mas um melhorador da tecnologia de panificação (Resolução CNNPA 4/70) (MATTOS, 2010).

Na prática, uma farinha adequada para a produção de massa congelada pode ser obtida pela adição de agentes oxidantes (WATANABE; BENASSI, 2000), que reagem com o glúten para melhorar a capacidade de retenção de gás na massa e, conseqüentemente, aumentar sua habilidade para produzir pão com maior volume e melhor textura (INOUE; BUSHUK, 1991; DE BONA, 2002).

Durante a mistura da massa, o ácido ascórbico é convertido em ácido dehidroascórbico na presença de oxigênio (formado a partir de bolhas de gás incorporadas durante a mistura da massa) e da enzima ascórbica oxidase (presente naturalmente na farinha de trigo). A ação do ácido ascórbico envolve a oxidação dos grupos –S–H (sulfidrilas) do glúten e a formação de ligações –S–S– na rede de glúten (ligações dissulfídicas), melhorando a habilidade da massa em reter o gás; aumentando, dessa forma o “*oven-spring*” (salto de forno) do pão e produzindo um pão com a estrutura das células do miolo mais finas (CAUVAIN; YOUNG, 2001; RESENDE, 2011).

Tipicamente, os níveis de adição de ácido ascórbico são de 0,01% a 0,02% em relação ao peso da farinha, sendo quantidades mais significativas presentes em massas congeladas (RESENDE, 2011). Em seu estudo, Salas-Mellado e Chang (2003) utilizaram 120 ppm de ácido ascórbico, com base no peso da farinha.

Além do ácido ascórbico, a legislação brasileira prevê, ainda, a utilização da azodicarbonamida (ADA) (MATTOS, 2010). A azodicarbonamida é um oxidante de ação rápida, ou seja, atua fortalecendo a massa durante a mistura, sendo

bom para processos rápidos de mistura. De acordo com a RDC nº 383 de 5 de agosto de 1999, referente ao "Regulamento técnico que aprova o uso de aditivos alimentares, estabelecendo suas funções e seus limites máximos para a categoria de alimentos – produtos de panificação e biscoitos", indica que o aditivo pode ser usado em panificação como melhorador de farinha, até uma quantidade máxima de 0,004 gramas a cada 100 gramas (BRASIL, 1999).

#### 2.4.8 Outros ingredientes

Existem, também, outros ingredientes, classificados como complementares, que podem ser adicionados à mistura para a fabricação de pães.

##### 2.4.8.1 *Glúten vital de trigo*

A farinha de trigo apresenta variações em proteínas formadoras de glúten, que diferenciam as características de qualidade em pães. Quando se utiliza farinha de trigo com baixa quantidade ou qualidade de glúten, em razão da instabilidade do padrão de trigo brasileiro, muitas vezes, é utilizado o reforçador de glúten, para melhorar essas características de qualidade em pães (KALTBACH et al., 2013).

A Associação Internacional de Glúten de Trigo classifica o glúten como vital e não-vital. É classificado como não-vital quando sofreu desnaturação irreversível, a qual apresenta capacidade apenas de absorver água em quantidade relativa ao tamanho e distribuição de suas partículas. O glúten vital, quando em contato com água, se reidrata rapidamente, interagindo com o glúten endógeno de farinhas com baixo teor proteico (DE BONA, 2002), readquirindo sua funcionalidade intrínseca (KALTBACH et al., 2013).

Trata-se de um concentrado proteico, com cerca de 80% de proteína, na forma de pó de coloração branco-acinzentada, quando extraído de massas de trigo, sendo considerado um aditivo da indústria de panificação (KALTBACH et al., 2013).

Durante a fase de batimento da massa, o glúten melhora a retenção de gás e a tolerância às sucessivas fases do processo (DE BONA, 2002). Seu uso é

recomendado para a produção de alguns pães especiais, com adição de fibras, gérmen, uva passa e outros ingredientes inertes; além de panetones, em que a etapa de fermentação é longa e o volume é de grande importância (KALTBACH et al., 2013). Dessa forma, o glúten vital é utilizado para aumentar a força da farinha, promovendo melhores resultados na panificação (DE BONA, 2002).

Em pães congelados, o glúten vital supera o efeito desestabilizador do congelamento, aumentando a força de farinha, relativamente fraca, com adição de 2% sobre o peso da farinha (WANG; PONTES JÚNIOR, 1995). Nessa concentração, o volume do pão e a estrutura do miolo são melhorados, assim como o período de fermentação é drasticamente reduzido (GUTKOSKY et al., 2005; WATANABE; BENASSI, 2000).

#### 2.4.8.2 *Agentes emulsificantes*

Os emulsificantes são alguns dos aditivos mais importantes na produção de pães. De forma geral, agregam benefícios que englobam características de robustez no processo produtivo, melhor textura no produto final e tempo de vida de prateleira mais longo (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2018).

Os emulsificantes podem ser usados, também, no desempenho da massa congelada, exercendo o mesmo efeito que no processo convencional. As propriedades reológicas da massa de trigo são, marcadamente, influenciadas pela presença de emulsificantes; e a extensão do efeito é dependente das propriedades do emulsificante (ROSELL; GÓMEZ, 2007).

Seu primeiro mecanismo de ação, na produção deste tipo de produto, ocorre na interação com as proteínas formadoras do glúten, presentes na farinha de trigo, chamados emulsificantes fortalecedores da massa. Essa interação possibilita a formação de uma melhor estrutura, gerando benefícios importantes para o tipo de processamento utilizado, como a maior tolerância à mistura e à fermentação, melhor textura e maior volume ao produto final (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2018).

Geralmente, as alternativas aplicadas, com essa finalidade, são polisorbato 80, CSL (estearoil-2-lactil lactato de cálcio), SSL (estearoil-2-lactil lactato de sódio) e DATEM (ésteres de mono e diglicerídeos de ácidos graxos com ácido

tartárico). O estearoil-2-lactil lactato de cálcio e o estearoil-2-lactil lactato de sódio, apresentam, em especial, alta afinidade com polissacarídeos, contribuindo, também, para a maciez do produto (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2018).

Segundo De Bona (2002), o estearoil-2-lactil lactato de sódio minimiza a redução do volume e dá maciez aos pães submetidos ao armazenamento prolongado. O DATEM melhora o volume e a textura do pão, embora não tenha qualquer efeito protetor contra danos causados pelo congelamento (ROSELL; GÓMEZ, 2007).

Para aumentar o volume dos pães, produzidos a partir de massa congelada, recomenda-se o uso de fosfolipídios, que minimizam os danos às leveduras, provocadas pelo congelamento da massa. Fosfolipídios que apresentam a capacidade de formar lipossomas, quando submetidos à hidratação e agitação, encapsulam as leveduras, protegendo-as e resultando em pães com melhores volumes (DE BONA, 2002).

## 2.5 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PÃES CONGELADOS

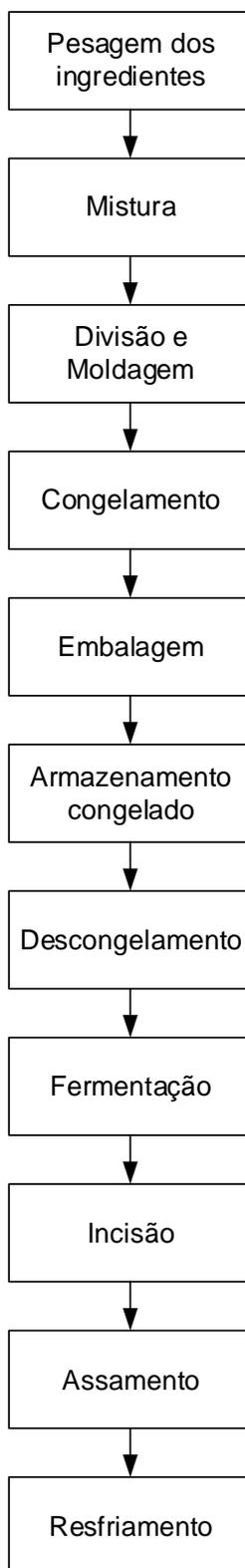
No processo convencional, a massa de pão pode ser obtida por diferentes métodos de mistura (GIANNOU et al., 2003; MATUDA, 2008).

No método direto, os ingredientes são misturados em uma única etapa e a ordem de incorporação de cada ingrediente depende do equipamento e do produto (GIANNOU et al., 2003; MATUDA, 2008).

No método esponja, a mistura dos ingredientes dá-se em duas etapas, sendo que, na primeira etapa, é feita uma mistura do fermento, de certa quantidade de farinha e de água; após o descanso por algumas horas, o restante dos ingredientes é incorporado a esta mistura (GIANNOU et al., 2003; MATUDA, 2008).

O processamento do pão francês de massa congelada, pelo método direto, é similar ao processo convencional, até a etapa que antecede o congelamento (GIANNOU et al., 2003; MATUDA, 2008). A Figura 1 mostra o fluxograma do processo de fabricação de pão francês de massa congelada, pelo método direto. A seguir, será abordada a descrição de cada uma das etapas do fluxograma.

Figura 1. Fluxograma do processo de fabricação de pão francês de massa congelada, pelo método direto.



Fonte: Adaptado de MATUDA (2004).

### 2.5.1 Pesagem dos ingredientes

A pesagem dos ingredientes consiste na preparação prévia dos ingredientes de uma formulação, com a vantagem de padronizar as receitas e otimizar a mão de obra. Além disso, proporciona um controle mais eficaz das matérias-primas, reduzindo desperdícios e, conseqüentemente, os custos dos produtos. O procedimento deve ser realizado em local apropriado, bem iluminado, por uma pessoa treinada para exercer tal função (ABNT, 2013).

### 2.5.2 Mistura ou Amassamento

Os principais objetivos da mistura são misturar os ingredientes em uma mistura quase homogênea, desenvolver a matriz de glúten na massa de trigo e incorporar ar. As condições de mistura são importantes, as quais o tempo de duração e a temperatura da massa são fatores importantes na estabilidade da massa congelada (GIANNOU et al., 2003).

No primeiro passo da mistura, as proteínas são hidratadas e, durante a mistura subsequente, interagem umas com as outras (GIANNOU et al., 2003). Segundo Matuda (2008), no caso do processo direto, são utilizadas duas velocidades de mistura: a primeira, para homogeneização dos ingredientes e absorção da água e, a segunda, para o trabalho mecânico da massa. Amassadeiras de alta velocidade, com lâminas que cisalham a massa, produzem grandes quantidades de pequenas bolhas, que resultam em um pão de estrutura fina; enquanto as amassadeiras de baixa velocidade, tais como misturadores tipo espiral, ocluem mais ar, mas resultam em uma distribuição desigual do tamanho dos poros (GIANNOU et al., 2003).

O tempo de amassamento, se não for controlado, gera diferenças na qualidade de cada massa (DE BONA, 2002). A capacidade da massa ser alongada numa película fina é um importante parâmetro no processo, pois indica o batimento ótimo, conhecido como ponto de véu. Se a mistura continuar, após o pico de resistência, a massa torna-se mole, menos resistente à ação mecânica e perde a aptidão de reter CO<sub>2</sub>, durante a fermentação. Uma boa massa é definida pela sua capacidade em reter o CO<sub>2</sub> e pela sua propriedade viscoelástica. Assim,

o volume da massa pode expandir adequadamente durante a fermentação (ZAMBELLI, 2014). As propriedades viscoelásticas da massa são refletidas nas características gerais do pão e podem ser determinadas pelo nível de absorção de água da farinha durante a mistura (DE BONA, 2002).

Em produtos de panificação frescos, a temperatura da massa, após a mistura, é, geralmente, 24 °C - 26 °C (GIANNOU et al., 2003). No caso de massas de pão destinadas para congelamento, é importante manter a temperatura da massa em nível inferior, para limitar o início de fermentação antes do congelamento; alcançar 20 °C a 22 °C no final da mistura parece ser uma boa opção, segundo Cauvain (2012). É necessário o uso de água gelada ou de masseira com camisa de resfriamento (MATUDA, 2004); ou, ainda, deve ser utilizado gelo, para ajustar a temperatura final da massa, o que envolverá calor de fusão (MATUDA, 2008). A massa para congelamento apresenta maior rigidez, devido à menor temperatura no final da mistura (SALAS-MELLADO, 2003; ZAMBELLI, 2014).

A levedura deve ser incorporada ao final da etapa de mistura, para minimizar a produção de gás, antes do congelamento; e para melhorar sua estabilidade, durante o armazenamento sob congelamento (WATANABE; BENASSI, 2000).

O descanso, após a mistura, deve ser evitado completamente em produção de massa congelada (GIANNOU et al., 2003).

### 2.5.3 Divisão e Modelagem

Para gerar o formato e o tamanho do produto, deve-se, primeiro, dividir a massa originada da misturadora em porções individuais e, depois, moldá-las, para formar a base do produto final que se deseja obter. A massa é, em geral, dividida, sendo cortada em porções de um determinado tamanho. Logo, para massas congeladas, é ideal que estas etapas ocorram no menor tempo possível, para não haver processo fermentativo (CAUVAIN; YOUNG, 2009; ZAMBELLI, 2014).

A divisão e a modelagem modificam a estrutura dos alvéolos de CO<sub>2</sub> e contribuem para o bom desenvolvimento da rede de glúten (GIANNOU et al., 2003; ZAMBELLI, 2014). A modelagem excessiva pode causar geração de calor e promover a fermentação antes do congelamento (GIANNOU et al., 2003). Dessa forma, deve-se conduzindo as etapas de divisão e modelagem em baixas

temperaturas, preferencialmente, entre 18 °C e 21 °C (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2008).

#### 2.5.4 Congelamento

O congelamento é a operação unitária, na qual a temperatura de um alimento é reduzida abaixo do seu ponto de congelamento e uma proporção da água sofre uma mudança de estado para formar cristais de gelo. A imobilização da água em gelo e, a concentração resultante de solutos dissolvidos na parte de água não congelada são responsáveis pela diminuição da atividade da água ( $a_w$ ) dos alimentos. Desse modo, a preservação é alcançada pela combinação de baixas temperaturas e redução da atividade de água (FELLOWS, 2000). Segundo o mesmo autor, a atividade de água do pão é de 0,96.

Durante o processo de congelamento, o calor é transferido para a superfície do alimento, o qual é removido por meio do ar frio (ZAMBELLI, 2014). O tipo de congelamento é importante para as massas congeladas, sendo que a velocidade de congelamento afeta mais as propriedades da massa do que o tempo de estocagem (FUNCK; DE FRANCISCO, 2006).

Ao contrário do que é recomendado para a maioria dos produtos alimentícios, nas pesquisas realizadas, há diferentes recomendações quanto a temperatura e taxa de congelamento; entretanto, segundo Cauvain (2012), há um consenso na literatura, de que deve ser recomendada uma taxa de congelamento lenta para limitar o impacto negativo do congelamento da massa congelada.

A baixa velocidade previne a morte das leveduras, sendo assim, o congelamento lento é mais adequado do que o rápido, para o congelamento de massa de pão não fermentada. Para essa categoria de produto, o congelamento rápido não permite que a água saia da célula da levedura, resultando na formação de cristais de gelo intracelulares, que causam lesões na parede celular e a morte da levedura (FUNCK; DE FRANCISCO, 2006). De acordo com Romeu e colaboradores (2006), durante o congelamento lento, a água intracelular das células de levedura migra para fora, formando gelo no seu exterior, que não é nocivo, pois a membrana da célula apresenta uma barreira efetiva a ele.

O uso de baixas taxas de congelamento é recomendado para garantir mínimas alterações na estrutura (KERR, 2006; RESENDE, 2011). Segundo

Giannou et al. (2003) e Resende (2011), taxas inferiores a  $2\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  devem ser empregadas, para obtenção de maior sobrevivência de leveduras e uma qualidade global do produto final. Entretanto, de acordo com Watanabe e Benassi (2000), o congelamento lento, entre  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $3\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ , não afeta a performance da massa depois do descongelamento, garantindo alta taxa de sobrevivência das leveduras.

Segundo HSU e colaboradores (1979), para massas congeladas, a recomendação é uma temperatura de congelamento de  $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tal condição está próxima à utilizada por Neyreneuf e Van Der Plaat (1991) na produção de pão francês, os quais utilizaram condições de congelamento a  $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$ . De acordo com De Bona (2002), massas produzidas com levedura, congeladas à  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , mantém as melhores características do pão, durante 20 dias.

O congelamento de massas cruas sem fermentação visa atingir uma temperatura de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  no interior do produto (CAUVAIN; YOUNG, 2009; ZAMBELLI, 2014).

#### 2.5.5 Embalamento

Na linha de embalamento automático de pães congelados, o equipamento consiste de cabeçotes múltiplos, que recebem os pães congelados e, por meio de análise combinatória, liberam as unidades, de acordo com o peso estabelecido para a máquina embaladora.

A embalagem, quando projetada para massas congeladas, deve desempenhar uma série de funções, tais como conter, proteger, identificar e comercializar os alimentos; as quais devem formar uma barreira eficaz à contaminação e ter impacto e resistência à compressão suficientes, para resistir às tensões que, provavelmente, irá enfrentar (GIANNOU et al., 2003).

Os filmes a serem utilizados para a massa congelada devem possuir as seguintes características: boa proteção à umidade, boas características de barreira de oxigênio, resistência física mediante à fragilidade e quebra à baixa temperatura, rigidez para trabalhar em máquinas automáticas e boa selabilidade térmica (GIANNOU et al., 2003). Segundo Zambelli e colaboradores (2010), após

o congelamento do pão, o mesmo deve ser acondicionado em embalagens plásticas, impermeáveis ao vapor d'água.

De acordo com a pesquisa realizada, concluiu-se que há a escassez de publicações a respeito do equipamento mais adequado para o embalamento de pão francês congelado não fermentado. Dessa forma, tornou-se difícil esclarecer essa questão e conseguir chegar ao consenso, sobre a maneira ideal de realizar essa etapa do processo, sem comprometer a qualidade externa do produto final.

#### 2.5.6 Estocagem

Durante a estocagem sob congelamento, a qualidade geral do pão elaborado a partir de massas congeladas, diminui, gradualmente, (INOUE; BUSHUK, 1991; FUNCK; DE FRANCISCO, 2006) em razão de dois fatores. O decréscimo no poder de aeração da massa (HSU et al., 1979), devido ao declínio da viabilidade das leveduras e à perda gradual da força da massa, ou enfraquecimento da estrutura das proteínas do glúten (INOUE; BUSHUK, 1991; FUNCK; DE FRANCISCO, 2006). Ambos fatores são mais pronunciados com o aumento do tempo de estocagem sob congelamento. Ocorre sinergismo entre a velocidade de congelamento na atividade da levedura e na reologia da massa e, portanto, no volume final do pão (FUNCK; DE FRANCISCO, 2006). Após o congelamento, outros fatores podem influenciar as propriedades da massa, como a liberação de componentes com a morte das leveduras (enzimas, agentes químicos como glutationsa) (INOUE; BUSHUK, 1991; FUNCK; DE FRANCISCO, 2006).

De grande importância, na reologia da massa e atividade de levedura, são as flutuações de temperatura, durante armazenamento. O controle correto da temperatura de armazenamento, a rápida movimentação de produtos entre lojas e a correta rotação do estoque podem minimizar estas flutuações (FELLOWS, 2000; GIANNOU et al., 2003).

O congelamento também afeta a reologia da massa, a qual é atribuído a uma modificação da relação entre água livre e água ligada. Durante o armazenamento, a quantidade de água congelável (água livre) aumenta, com o aumento da duração do armazenamento. Este fenômeno resulta em uma desidratação da matriz e, portanto, em uma mudança da reologia da massa, que perde sua extensibilidade (a massa torna-se mais elástica) (CAUVAIN, 2012).

Quanto a temperatura de armazenamento da massa congelada, pode-se considerar que há um consenso entre vários autores, sobre a temperatura mais indicada.

Segundo HSU e colaboradores (1979), os danos às leveduras aumentam com o aumento do período de armazenamento, os quais recomendam o armazenamento em temperatura de - 18 °C. De acordo com De Bona (2002), massas produzidas com levedura e estocadas à - 18 °C, mantém as melhores características do pão durante 20 dias. Segundo Zambelli e colaboradores (2010), para uma conservação prolongada de pão congelado, a temperatura mais indicada é de - 18 °C. Tal condição de temperatura de armazenamento está próxima à utilizada por Neyreneuf e Van Der Plaat (1991) na produção de pão francês, os quais utilizaram condições de armazenamento a - 20 °C.

Segundo o site Prática (2020a), as câmaras congeladas à - 20 °C ou - 22 °C são mais indicadas quando há um grande volume de pães congelados a ser guardado, isto é, quando a produção é feita em maior escala, como é o caso de padarias de médio e grande porte. A temperatura ainda mais baixa garante a compensação da abertura e fechamento de portas, que pode ser constante.

Em seu estudo, Jinhee Yi (2008) relatou que, com o aumento do tempo de armazenamento congelado, a cor do pão ficava mais escura e a uniformidade da cor diminuía. O fato pode resultar do aumento da amilose lixiviada e da dextrina degradada, que contribui para a reação de Maillard. Além disso, a redistribuição e disponibilidade de água, também, poderiam ser parcialmente responsáveis pelo escurecimento da cor e pela não uniformidade (JINHEE YI, 2008).

### 2.5.7 Descongelamento

A partir da etapa de descongelamento dos pães armazenados sob congelamento, o processo é realizado no ponto de venda.

A massa congelada deve ser descongelada antes de ser fermentada (GIANNOU et al., 2003; JINHEE YI, 2008). O degelo é necessário para o melhor desempenho da massa, pois envolve a reidratação do sistema, principalmente, da matriz de glúten e células de levedura (GIANNOU et al., 2003; JINHEE YI, 2008; MATUDA, 2004), melhorando o desempenho da massa nas etapas posteriores do processamento (CAUVAIN; YOUNG, 2009; ZAMBELLI, 2014).

Durante o descongelamento de uma massa, a temperatura se eleva até aproximadamente  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , que corresponde à sua temperatura de descongelamento. Neste período, é retirado o calor sensível. A massa permanece nesta temperatura, até que o calor latente seja retirado. A partir daí, a temperatura sobe rapidamente (DE BONA, 2002). O produto é considerado descongelado quando o seu centro geométrico ultrapassa  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (CAUVAIN; YOUNG, 2009; ZAMBELLI, 2014).

A velocidade de descongelamento depende de vários fatores, tais como tamanho das peças de massa e formulação (HSU et al., 1979). Esses mesmos autores recomendam descongelamentos à temperatura de  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Bruinsma e Giesenschlag<sup>3</sup> (1984, apud De Bona, 2002) sugerem  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , com umidade relativa variando entre 80% e 100%. Holmes e Hosenev (1987), estudaram as taxas de congelamento e descongelamento de massas congeladas, os quais realizaram o descongelamento das mesmas a  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa entre 90% a 95%, durante 1 hora. Segundo De Bona (2002), para pão francês congelado, o descongelamento deve ocorrer em câmara a  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de 85%.

Gutkoski e colaboradores (2005) estudaram o efeito de ingredientes na qualidade da massa de pão de forma congelada não fermentada, durante o armazenamento. O descongelamento das massas foi realizado aos 30 dias e aos 60 dias de armazenamento, as quais permaneceram por 120 minutos em temperatura ambiente de  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

O processo de descongelamento pode ser concluído em uma certa temperatura ou por aumento de temperatura gradual, o que é mais favorável por dois motivos (GIANNOU et al., 2003; JINHEE YI, 2008). Em primeiro lugar, durante o descongelamento, a condensação ocorre na superfície da massa, pois a massa é mais fria do que o ar ambiente. Isto resulta em manchas e bolhas na crosta, especialmente, quando há uma grande diferença na temperatura entre a superfície da massa e o ar ambiente. O aumento gradual da temperatura minimiza este efeito (GIANNOU et al., 2003; JINHEE YI, 2008). Em segundo lugar, o descongelamento, excessivamente rápido, eleva a temperatura apenas

---

<sup>3</sup> BRUINSMA, B.L., GIESENSCHLAG, J. Frozen dough performance. Compressed yeast-instant dry yeast. Bakers` Digest, Kansas, v. 58, n. 6, p. 6-7, 11, 1984.

para as regiões externas da massa, o que torna-se pronto para a fermentação; enquanto o centro da massa, ainda, permanece congelado. As unidades retardadoras de fermentação (câmaras com controle de temperatura) são usadas para etapas de descongelamento e fermentação de massa congelada. Elas permitem a elevação gradual da temperatura das peças de massa congelada e minimizam o diferencial de temperatura dentro delas (GIANNOU et al., 2003; JINHEE YI, 2008).

#### 2.5.8 Fermentação

Os pedaços de massa descongelada devem ser deixados fermentar por um certo período de tempo, até obterem o volume desejável. A fermentação é atribuída, principalmente, à ação da levedura, que contribui para muitas mudanças que são, coletivamente, chamadas de maturação ou amadurecimento da massa (GIANNOU et al., 2003).

A massa, adequadamente fermentada, apresenta ótimas propriedades reológicas (ótimo equilíbrio de extensibilidade e elasticidade), e produz pães com características de volume e miolo desejáveis (CAUVAIN; YOUNG, 2001; RESENDE, 2011).

Durante a fermentação da massa, várias reações ocorrem. O amido é convertido, progressivamente, em dextrinas e açúcares pela ação enzimática e o fermento se alimenta destes açúcares fermentáveis, produzindo CO<sub>2</sub> e álcoois. O CO<sub>2</sub> difunde dentro das bolhas de ar presentes na massa causando o seu crescimento e a expansão. Progressivamente o tamanho das bolhas aumenta (CAUVAIN; YOUNG, 2001; RESENDE, 2011).

De acordo com Giannou e colaboradores (2003), o tempo de fermentação deve ser maior do que as massas convencionais, devido à perda do poder de retenção gasosa e a morte das leveduras.

Segundo Cauvain e Yong (2001), o fermento se mostra mais ativo de 35 °C a 40 °C, o que minimiza o tempo requerido para a fermentação. Uriyapongson (2002) indica 85% de umidade relativa e 40 °C, para produção de gás desejável pelas leveduras.

### 2.5.9 Forneamento

Assar é a última parte do processo de panificação. O resultado é uma série de mudanças físicas, químicas e bioquímicas, que incluem: expansão de volume, evaporação de água, formação de uma estrutura porosa, desnaturação de proteínas, gelatinização de amido, formação de crosta e reação de escurecimento, ligações cruzadas de proteínas, derretimento de cristais de gordura e sua incorporação na superfície das células de ar, ruptura de células de gás e, às vezes, fragmentação das paredes das células (GIANNOU et al., 2003).

Durante a fermentação, uma série de álcoois são formados, incluindo etanol, n-propanol, isoamil e álcool amílico, álcool isobutílico e álcool  $\beta$ -fenol. No entanto, muitos desses álcoois são perdidos para o ar do forno, durante o forneamento. Um grande número de ácidos orgânicos, também, são formados e vários compostos carbonílicos têm sido identificados no pão, que acredita-se serem importantes componentes do sabor (GIANNOU et al., 2003).

A cor da crosta no pão é formada, principalmente, por reações do tipo Maillard, envolvendo açúcares redutores e compostos amino (aminoácidos livres e grupos amino terminais em proteínas solúveis). Para a formação de cor, é necessário que, ambos os fatores, estejam presentes em quantidades apropriadas. Uma pequena quantidade do principal açúcar redutor, maltose, pode estar presente na farinha, mas, na fermentação e nos estágios iniciais de cozimento, a hidrólise alfa e beta catalisada do amido na farinha aumenta a quantidade presente. As amilases são lentas para atacar o amido intacto, então, a primeira fonte de amido para hidrólise é o amido danificado. Assim, o equilíbrio da atividade enzimática e os danos no amido da farinha, tornam-se importantes, para a correta formação da crosta. A atividade enzimática é sensível à temperatura, de modo que, variações na temperatura da massa, podem contribuir para variações na cor da crosta. Atrasos no processamento podem causar cores de crosta mais escuras do que o normal, devido ao maior tempo disponível para a ação da enzima. Mesmo as massas retardadas podem apresentar problemas de cores escuras da crosta, devido à atividade enzimática na massa (JOHN MITCHELL, 2022).

Outros açúcares que podem contribuir para a formação de cor são glicose e frutose, sacarose ou lactose, caso sólidos de leite estejam presentes. A

caramelização, também, pode ocorrer, mesmo na ausência de reações do tipo Maillard; mas, apenas em temperaturas muito mais altas, geralmente, acima de 155 °C. Portanto, as variações de cor podem ser de várias fontes (JOHN MITCHELL, 2022).

De forma geral, no caso de produtos de massa congelada, o processo de forneamento não difere muito do processo de convencional (GIANNOU et al., 2003). No processo de forneamento, a temperatura pode variar de acordo com o tipo de forno, sendo que, normalmente, a temperatura aplicada varia de 220 °C a 250 °C. O ideal é atingir uma temperatura interna da massa de 92 °C a 96 °C, até o final do processo, para garantir que a estrutura o produto esteja completamente assada (CAUVAIN; YOUNG, 2001).

#### 2.5.9.1 *Vaporização no forneamento*

No início do forneamento, para pães do tipo francês, é realizada uma breve vaporização, onde o vapor se condensa sobre a superfície dos pães, devido a uma diferença de temperatura entre o forno (220 °C a 250 °C) e a massa (25 °C a 30 °C), formando uma película sutil. Este fenômeno cria uma barreira à saída de gás carbônico da massa do pão, permitindo maior desenvolvimento e conferindo maior volume. A película de água sobre a massa, formada pela condensação do vapor, se evapora lentamente. Assim, os processos químicos na superfície são lentos, permitindo a obtenção de uma casca menos dura e mais crocante. O cozimento da casca torna-se regular e a abertura da pestana é retardada (MATUDA, 2008).

Na interface entre a crosta e a região superior do miolo, o vapor de água pode aumentar ainda mais a temperatura, resultando em aumento da Reação de Maillard, ou mesmo caramelização. A reação de Maillard é afetada tanto pelo pH quanto pela temperatura; enquanto a caramelização depende, principalmente, da temperatura. A caramelização pode ocorrer a partir da sacarose da formulação da massa e em alta temperatura localizada. Assim, mais atividade de escurecimento devido à alta temperatura localizada ocorre na área onde mais gás ou vapor foi acumulado entre o miolo e crosta. (URIYAPONGSON, 2002).

### 2.5.10 Resfriamento

O resfriamento é uma etapa importante para evitar a condensação de umidade, oriunda do vapor gerado pelo produto quente, na embalagem e a consequente formação de bolor (mofo) no produto embalado.

Os pães, ao saírem do forno estão excessivamente quentes e devem ser resfriados, aproximadamente, à temperatura ambiente. O resfriamento começa antes do término do forneamento. Logo que o pão atinge a saída do forno, a temperatura do ar cairá abaixo da temperatura da casca, entretanto, a zona de evaporação ainda está em ação e, de modo temporário, o centro do pão não é alterado pelo ambiente externo (CAUVAIN; YOUNG, 2009).

## 2.6 EQUIPAMENTOS DE ULTRACONGELAMENTO

O congelamento rápido de pães pode ser feito em ultracongeladores mecânicos, que congelam os pães em, aproximadamente, 30 minutos, através de convecção forçada de ar de até - 40 °C; ou em equipamentos que se utilizam de gases criogênicos (dióxido de carbono ou nitrogênio) e são capazes de alcançarem temperaturas abaixo de - 75 °C, obtendo até temperaturas abaixo de - 90 °C, congelando pães em poucos minutos (ZAMBELLI et al., 2010).

A tecnologia de congelamento pode ser classificada como mecânica (*blast chiller*, congelador de placas, congelador espiral, impingente, imersão, *belt freezers* ou congeladores de leite fluidizado) e criogênica (ou congelamento instantâneo) (GIANNOU et al., 2003).

A tecnologia de ultracongelamento industrial pode ser feita tanto por túneis estáticos, quanto por espirais, os quais têm várias aplicações em comum, como, por exemplo, o congelamento de produtos como pães, massas e salgados (PRÁTICA, 2022). Existem vários pontos de similaridade entre a tecnologia de ultracongelamento por túnel estático e a de espiral. Um deles é o fato de que os dois sistemas têm a temperatura de resfriamento em torno de - 35 °C a - 40 °C, quando utilizado o sistema de congelamento por convecção. Além disso, os dois equipamentos utilizam a técnica de remoção rápida do calor dos produtos, para que haja o resfriamento no núcleo a 0 °C ou o seu ultracongelamento a - 18 °C.

Para realizar a manipulação de produtos abaixo de - 18 °C, a área deve estar climatizada (PRÁTICA, 2022).

A tecnologia de ultracongelamento por túnel estático tem menor automação. Por outro lado, é um sistema com o manuseio maior, permitindo que os operadores coloquem os alimentos nas bandejas, abasteçam o carro para levar ao túnel e retirem-o no fim do processo. Sendo assim, será preciso uma quantidade considerável desse acessório, de assadeiras e, também, de colaboradores, aumentando os custos com mão de obra. Além disso, pelo fato de ser um sistema horizontal e poder ser colocado paralelamente um ao outro, a instalação desse aparato demanda uma área maior, quando considerado o espaço para movimentação e espera dos carros de transporte (PRÁTICA, 2022). O equipamento possui duas portas, uma de entrada e outra de saída. Enquanto uma serve para o abastecimento, a outra funciona como um canal de desabastecimento, podendo trabalhar de maneira simultânea ou não (PRÁTICA, 2020b). Dessa forma, possibilita a perda de temperatura, a qual pode ser considerável, caso o operador fique muito tempo com a porta do equipamento aberta (PRÁTICA, 2022). Normalmente, o tempo médio para que os produtos fiquem congelados é de 1 hora por ciclo – o período consegue reduzir a temperatura em até - 18 °C (PRÁTICA, 2020b).

O ultracongelador por espiral é um equipamento que conta com uma esteira – que liga a entrada até a saída do equipamento – na qual o alimento será colocado e, logo após, percorrerá o interior da câmara, que tem um formato helicoidal. Esse sistema conta com uma grande automação, a qual reduz os custos de mão de obra, pelo fato de dispensar a necessidade de manipulação manual, além de eliminar os custos com assadeiras e com os demais itens relacionados ao transporte. Por possuir a expansão vertical e paralela, ocupa uma área muito menor, quando comparado aos outros equipamentos com a mesma função. Diminui a possibilidade de perda de temperatura, pois não há abertura e o fechamento de portas (PRÁTICA, 2022).

O ultracongelamento por túnel estático possui um sistema produtivo mais acessível, demandando um menor investimento, enquanto que o ultracongelador por espiral demanda um investimento inicial mais alto, mas possui um maior retorno em relação às economias geradas (PRÁTICA, 2022).

### 2.6.1 Influência do congelamento sobre a massa e a viabilidade da levedura

O congelamento mais rápido gera cristais de gelo menores e mantém a estrutura celular. Congelamento criogênico é a tecnologia de congelamento mais rápida disponível, devido à temperatura de nitrogênio líquido ultrabaixa (- 196 °C) (SUN, 2001). Esse processo provoca resfriamento muito rápido e, provavelmente, prejudica a sobrevivência das leveduras, aumentando o tempo de fermentação e reduzindo o volume dos pães, após o descongelamento (FUNCK; DE FRANCISCO, 2006).

De acordo com Zambelli e colaboradores (2010), a formação de cristais grandes e pontiagudos (congelamento lento) deve ser evitada por trazer danos a estruturas celulares. Segundo esses mesmos autores, é preferível, então, que seja realizado o ultracongelamento e com uma maior ventilação, que faz com que a água presente nos pães se cristalize em micropartículas. Um congelamento rápido demais pode danificar a estrutura do glúten, não sendo, assim, tão adequado, por exemplo, o congelamento de massa por criogenia (ZAMBELLI et al., 2010).

Segundo Romeu e colaboradores (2006), o congelamento provoca o enfraquecimento da estrutura da massa pelos danos causados na rede de glúten, reduzindo a sua capacidade de retenção de gás. O motivo pelo qual tal enfraquecimento é gerado é controverso.

Segundo Ribotta e colaboradores (2004) citado por Vieira (2011), o enfraquecimento é causado por compostos redutores, provenientes das células de levedura, que rompem ligações dissulfídicas. Segundo Ban e colaboradores (2016), esses compostos redutores liberados de células mortas de levedura, como a glutathione, podem danificar as ligações da rede de glúten, durante o descongelamento, resultando na perda da capacidade de retenção de gases da massa.

Contrariamente, Autio e Sinda (1992) afirmam que a presença de células de leveduras mortas na massa não afeta as propriedades reológicas, e que assim, mudanças estruturais na massa congelada e descongelada, não são associadas com a liberação de substâncias redutoras de células de leveduras.

Uma outra visão sobre o assunto é dada por Berglund e colaboradores (1991) citado por Romeu e colaboradores (2006), que afirmam que os danos na rede de glúten são devidos à ação mecânica dos cristais de gelo, durante o congelamento.

As células de levedura na matriz de massa congelada sofrem estresses fatais, como lesão por resfriamento, formação de cristais de gelo intracelular e alta pressão osmótica (RANDEZ-GIL et al., 1999; BAN et al, 2016). Além disso, o aumento do volume dos cristais de gelo ou a nucleação de pequenos cristais de gelo, na membrana plasmática da levedura, podem perfurar a membrana, resultando na extração de seu conteúdo citoplasmático e morte (SEKI et al., 2009; BAN et al, 2016).

## 2.7 PARÂMETROS DE PROCESSO DAS ETAPAS DE CONGELAMENTO E DESCONGELAMENTO PARA PÃO FRANCÊS CONGELADO NÃO FERMENTADO

Depois da levedura, a velocidade de congelamento constitui-se no parâmetro mais estudado em massas congeladas. (INOUE; BUSHUK, 1996; RESENDE, 2011).

De acordo com Cauvain (2012), um ponto fixo de - 25 °C no freezer, combinado com um controle da temperatura final do núcleo de cerca de - 12 °C, seguido por embalagem e equilíbrio no armazenamento congelado (até - 18 °C ou menos), pode ser considerado uma boa prática, produzindo um melhor desempenho no forneamento de pães feitos de massa congelada.

Durante o período de descongelamento, é importante que o produto passe pela zona de envelhecimento (faixa de temperatura de compreende entre - 5 °C e 10 °C), no menor tempo possível, para minimizar os danos. A utilização de ar quente (40 °C) auxilia o descongelamento e favorece a qualidade final do produto (CAUVAIN; YOUNG, 2009; ZAMBELLI, 2014).

De forma geral, Rosell e Gomez (2007) relatam que para evitar o problema, o descongelamento das massas deve ser realizado a uma umidade relativa de 75%. Cauvain e Young (2007) afirmam que as diferenças de temperatura podem ser minimizadas pelo descongelamento gradual, através de um aumento de

temperatura de forma contínua e sob condições controladas de umidade. Isso visto que as massas, normalmente, estão mais frias que o ar circundante, por isso, a água condensa na sua superfície e quanto maior a diferença de temperatura entre a massa e o ar das câmaras frigoríficas, mais úmida ficará a superfície da massa.

No estudo realizado por Gutkoski e colaboradores (2005), após o descongelamento das massas, as mesmas foram levadas para a câmara de fermentação, regulada na temperatura de  $32 \pm 1$  °C e umidade relativa do ar de 80%, por 135 minutos. Entretanto, no estudo realizado por Jinhee Yi (2008), a massa descongelada foi fermentada em uma câmara de fermentação à 36 °C e 85% de umidade relativa, durante 180 minutos.

## 2.8 POSSÍVEIS CAUSAS DO APARECIMENTO DE MANCHAS ESCURAS NA CASCA DE PÃO FRANCÊS CONGELADO NÃO FERMENTADO, APÓS O FORNEAMENTO

Atualmente, um dos desafios da massa congelada é a redução do volume, devido à insuficiência do salto de forno e a formação de manchas e bolhas marrons na crosta do pão, após longos períodos de armazenamento da massa congelada. Entretanto, não são encontrados relatórios na literatura que abordem a deterioração da qualidade da crosta do pão.

Em seu estudo, Jinhee Yi (2008) observou que, com o aumento do tempo de armazenamento congelado, a cor do pão era mais escura e a uniformidade da cor diminuiu; as quais podem resultar do aumento da amilose lixiviada e da dextrina degradada, contribuindo para o escurecimento, através da reação de Maillard. A redistribuição e disponibilidade de água, também, poderia ser parcialmente responsável pelo escurecimento da cor e pela não-uniformidade. Além disso, o mesmo autor relatou que taxas de congelamento mais altas e temperaturas de armazenamento mais altas (- 10 à - 20) °C, também, contribuem para o escurecimento da cor e para a não uniformidade.

Segundo o site Fresh Bakery (2021), o tempo de fermentação influencia diretamente na coloração da crosta, sendo que fermentações longas (padeiro noturno) promovem crostas mais escuras, as quais podem ser causadas pelo

excesso de açúcar (produzido pelas enzimas amilolíticas), e alto índice de amido danificado. As manchas na crosta podem ocorrer pelo excesso de ingredientes, resíduo de massas durante batimento, condensação de água na superfície da massa e choque mecânico das peças congeladas durante acondicionamento/transporte. Esses aspectos serão abordados a seguir.

Segundo Hernandez e colaboradores (2021), a cor externa desuniforme consiste na presença de bolhas na crosta, dando aparência de manchas, que são causadas por excesso de vapor no forno e fermentação em ambiente úmido. A condensação da umidade do ar produz áreas mais extensíveis sobre a superfície de massa congelada, tendendo a formar bolhas na expansão da massa, durante o forneamento. Como forma de evitar tal problema, é recomendada a proteção das massas congeladas, através do uso de um plástico, durante o descongelamento (INOUE; BUSHUK, 1996; RESENDE; 2011).

Segundo Kumar (2012), as faixas escuras podem ser causadas pela alta concentração de maltose da farinha. Em geral, açúcares de granulações finas são melhores para misturar em masseiras e batedores, porque se dissolvem mais rapidamente. Açúcar de granulometria grossa possui uma dissolução mais difícil, mesmo após uma longa mistura. As partículas não dissolvidas aparecem, após o forneamento, como manchas escuras na crosta (ZHOU; HUI, 2014).

As câmaras frigoríficas têm uma baixa umidade, porque a umidade é removida do ar pelas bobinas de refrigeração. A umidade deixa a superfície do alimento para a atmosfera de armazenamento e produz áreas de danos visíveis, conhecidas como queimadura pelo frio (FELLOWS, 2000; GIANNOU et al., 2003). A queimadura pelo frio é uma indesejada secagem por congelamento, a qual está relacionada a um efeito térmico, envolvendo a sublimação do gelo da superfície do alimento e sua condensação e congelamento na superfície interna da embalagem. O teor de umidade é muito maior do que a do freezer e, portanto, existe uma força motriz para a perda de umidade para o ar do freezer (GIANNOU et al., 2003).

Finalmente, os danos mecânicos, decorrentes do mau manuseio, podem incluir raspagem ou raspagem e compressão (GIANNOU et al., 2003).

### **3. METODOLOGIA**

### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O presente trabalho compreende uma pesquisa exploratória, realizada através de um levantamento bibliográfico, aliado ao levantamento de dados qualitativos, para embasamento acerca do objeto de estudo e da posterior confirmação ou negação das hipóteses levantadas. De acordo com Gil (2010), as pesquisas exploratórias têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm, como objetivo principal, o aprimoramento de ideias e seu planejamento é bastante flexível, de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao ato estudado. Na maioria dos casos, essas pesquisas envolvem: levantamento bibliográfico; coleta de dados qualitativos essenciais para direcionar a investigação; e análise de exemplos que “estimulem a compreensão”.

A coleta de dados qualitativos ocorreu através da observação do processo produtivo do pão francês congelado não fermentado, assim como dos resultados qualitativos, obtidos a partir dos testes planejados. Os testes foram planejados a partir da revisão bibliográfica realizada.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de investigar o aparecimento de manchas escuras após o forneamento de pão francês elaborado através de massa crua congelada não fermentada. O mesmo foi realizado durante o Estágio Supervisionado, realizado em uma indústria de produtos congelados para padaria, localizada no Estado do Rio Grande do Sul, no período de 18 de Fevereiro de 2022 à 03 de Maio de 2022. Por questões de anonimato, a indústria em questão não terá o seu nome divulgado.

A indústria iniciou suas atividades atendendo às demandas locais no município de origem e, à medida que foi crescendo, favoreceu a sua expansão e a implantação de filiais em outros Estados do Brasil. Possui produção em grande escala para atender a demanda de vendas em todo o território nacional. Sua

atuação fundamenta-se no fornecimento de produtos congelados de diversos tipos, como pães, bolos, cucas, salgados e doces.

O sistema produtivo interno, das linhas de produção de pães congelados, compreende as etapas de pesagem dos ingredientes e preparo de pré mix, preparo de massas, congelamento em túneis de ultracongelamento, setor de embalagem dos produtos ultracongelados, estocagem dos produtos finais em câmaras frias e expedição.

### 3.3 LEVANTAMENTO DE DADOS QUALITATIVOS

Os dados qualitativos, para embasamento à confirmação ou refutação das hipóteses levantadas, para as causas do aparecimento de manchas escuras na crosta dos pães consistiram em: a) descrição do processo de fabricação do produto realizado na empresa, e, b) nos resultados obtidos para os testes planejados.

#### 3.3.1 Descrição do Processo Produtivo

A descrição do processo de fabricação do produto realizou-se através do acompanhamento da rotina dos colaboradores do setor de pão francês congelado não fermentado. A observação *in loco* permitiu a avaliação do produto e do processo produtivo, através da descrição das etapas do processo de fabricação, com posterior comparação ao descrito pela literatura correlata.

#### 3.3.2 Planejamento dos testes no chão de fábrica

O processo de análise de um problema consiste no desdobramento do mesmo e no estudo detalhado dos fatores que influenciam sua ocorrência (HERNANDES et al., 2021).

Baseando-se na literatura e na análise do processo de fabricação, pôde-se desenvolver testes, sem mudanças na atual formulação do produto, conforme acordado com a diretoria da indústria. Embora a literatura correlata indique que o problema avaliado pode ter causas relacionadas à matéria-prima e à formulação

do produto, neste trabalho serão levantadas apenas as hipóteses que verifiquem como o processamento pode influenciar no aparecimento das manchas escuras.

Foram realizados 5 testes relacionados, onde a massa foi elaborada conforme descrito no item 4.1.2.

Os testes foram realizados na indústria de produtos congelados, entre os dias 12 e 26 de Abril de 2022. Após a realização dos testes, os pães foram avaliados com relação à presença ou não de manchas, após forneamento. Para isso, os pães congelados foram submetidos às etapas de descongelamento, fermentação e forneamento, conforme descrito no item 4.1.2, com exceção para o teste que considerava o descongelamento coberto do produto, onde um saco plástico foi utilizado nesta etapa, com o objetivo de tentar amenizar a condensação da umidade na superfície dos pães.

A fim de evitar a ocorrência de qualquer tipo de choque mecânico, na superfície dos pães ultracongelados, optou-se por mantê-los na própria bandeja plástica, utilizada para o ultracongelamento. Nos testes realizados, utilizou-se desse recurso, para simular um embalamento dos pães sem a ocorrência de choques mecânicos. Para isso, na saída dos carrinhos dos túneis de ultracongelamento, as bandejas plásticas – contendo os pães a serem testados – foram separadas e, cuidadosamente, acondicionadas dentro de sacos de polietileno de baixa densidade (PEBD). Imediatamente após esse procedimento, essas bandejas plásticas foram armazenadas sob congelamento, a uma temperatura de - 18 °C.

No primeiro teste, realizou-se a comparação entre os pães sem serem ultracongelados e os pães ultracongelados, para avaliar o efeito do ultracongelamento no aparecimento das manchas escuras, após o forneamento. Para isso, retirou-se uma bandeja de pães, diretamente da etapa de modelagem, sem que os mesmos passassem pela etapa de ultracongelamento. Retirou-se uma bandeja de pães para serem ultracongelados, cuja duração do ultracongelamento foi de 1 hora e, logo após, ocorreu o descongelamento, seguida da fermentação. Os pães a serem testados foram assados e avaliados, quanto à presença ou não de manchas escuras.

No segundo teste, foram comparadas as duas formas de embalamento dos pães ultracongelados, utilizadas na indústria – forma manual e forma automática.

A duração do ultracongelamento foi de 1 hora e, após 1 dia de armazenamento sob congelamento, os pães foram avaliados, quanto à presença ou não de manchas escuras na crosta, após o forneamento.

O terceiro teste consistiu em avaliar a hipótese de que a pulverização da farinha, em pontos concentrados da massa, fosse a causa do problema. Para isso, durante a etapa de cilindragem, as massas foram passadas no cilindro, pulverizando a farinha de trigo de duas maneiras diferentes. Uma das maneiras de pulverização consistiu em realizá-la da maneira habitual, jogando-se um punhado, que tende a ficar concentrado somente em um ponto da massa. A outra maneira consistiu em pulverizar uma quantidade menor de farinha de trigo, realizando-se uma distribuição por toda a extensão da massa. A duração do ultracongelamento foi de 1 hora. A fim de avaliar o efeito da pulverização da farinha e a sua relação com o aparecimento de manchas escuras, realizou-se somente o embalamento dos pães ultracongelados nas próprias bandejas plásticas de ultracongelamento. Após o embalamento, foi realizado o armazenamento sob congelamento por 1 e 7 dias.

No quarto teste, foram realizadas limpezas nos equipamentos, para a completa remoção dos resíduos provenientes das bateladas anteriores. A finalidade desse teste foi avaliar a relação dos resíduos de massa ao aparecimento de manchas escuras. Foram realizadas duas maneiras diferentes de embalamento, com o propósito de analisar a relação de resíduos de massa ao aparecimento de manchas escuras. A duração do ultracongelamento foi de 1 hora e 30 minutos. Após o embalamento, foi realizado o armazenamento sob congelamento por 3 e 7 dias.

Para o quinto teste, realizou-se um prévio acompanhamento da etapa de descongelamento dos pães congelados. Ao longo dessa etapa, constatou-se que a superfície dos pães descongelando ficou bastante úmida, sendo que, ao final do descongelamento, não era mais possível detectar a presença da condensação da umidade. Após essas observações, realizou-se o quinto teste, que consistiu na cobertura, de forma parcial e total, das superfícies dos pães congelados, através da utilização de um saco plástico. A finalidade desse teste foi proteger, além da parte superior, as laterais dos pães, na tentativa de amenizar a condensação da umidade na superfície dos pães. A duração do

ultracongelamento foi de 1 hora e 30 minutos. Realizou-se as três maneiras diferentes de embalamentos e, após 1 dia de armazenamento, os pães foram assados e avaliados, quanto à presença ou não de manchas escuras.

A fim de facilitar o entendimento, o Quadro 2 mostra a sequência dos testes realizados, com a descrição e finalidade dos mesmos.

Quadro 2. Descrição e finalidade dos testes realizados.

| Teste | Descrição   | Finalidade  | Tipo de Embalamento  |
|-------|---|---|--|
| 1     | Comparação entre pães sem serem ultracongelados e pães ultracongelados  | Avaliar o efeito do ultracongelamento no aparecimento das manchas escuras na crosta dos pães assados  | Sem embalamento<br><br>Teste realizado logo após a etapa de modelagem dos pães       |
| 2     | Comparação entre as duas formas de embalamento dos pães ultracongelados existentes na indústria                               | Avaliar o efeito das duas formas de embalamento dos pães ultracongelados, quanto ao aparecimento das manchas escuras na crosta dos pães assados               | Embalamento de forma manual e embalamento de forma automática                        |
| 3     | Pulverização de teores diferentes de farinha de trigo, realizadas de duas maneiras diferentes, durante a etapa de cilindragem | Verificar a relação do acúmulo desse ingrediente na massa com o aparecimento das manchas escuras na crosta dos pães assados                                   | Embalamento nas próprias bandejas plásticas de ultracongelamento                     |
| 4     | Limpeza dos equipamentos, para a completa remoção dos resíduos de massa crua, provenientes das bateladas anteriores           | Verificar a possibilidade dos resíduos de massa se aderirem ao produto em processo, ocasionando o aparecimento das manchas escuras na crosta dos pães assados | Embalamento de forma manual e embalamento nas próprias bandejas de ultracongelamento |

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| 5 | Utilização de um saco plástico para a cobertura (parcial e total) dos pães congelados, durante a etapa de descongelamento | Amenizar a condensação da umidade, nas superfícies superiores e laterais dos pães, promovendo a ausência das manchas escuras na crosta dos pães, após o forneamento | Embalamento de forma manual, embalagem na própria bandeja plástica de ultracongelamento e embalagem de forma automática |
|---|---|---|---|

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo será apresentada a descrição do processo produtivo observado *in loco*, assim como, a análise e discussão dos resultados dos testes realizados, para a investigação das possíveis causas do aparecimento de manchas escuras na casca de pão francês congelado não fermentado, após o forneamento.

##### 4.1 Dados relacionados ao produto e processo produtivo da empresa

O primeiro passo realizado no presente estudo foi entender a realidade da indústria estudada, conversar com a engenheira de alimentos para traçar o caminho da pesquisa e direcionar o estudo. Na reunião com o diretor, pôde-se conseguir o aval para a realização dos testes. O diretor relatou as tentativas anteriores de solucionar do problema. Dessa forma, tinha-se a necessidade de melhorar o aspecto visual dos pães congelados forneados, visto que esse é um problema recorrente na indústria. Portanto, tornou-se necessária uma análise do processo no chão de fábrica, desde a entrada das matérias-primas, no começo do processo, até a saída dos produtos finalizados na expedição.

##### 4.1.1 Formulação do Pão Francês congelado não fermentado

Para a fabricação dos pães, são utilizadas as seguintes matérias-primas: farinha de trigo tipo 1 de panificação, sal, pré-mistura para pão francês, aditivos e fermento biológico fresco do tipo prensado. A indústria não autorizou divulgar a composição dos produtos e a quantidade de cada ingrediente usado no processo, por considerar uma informação sigilosa, as quais devem ser preservadas internamente.

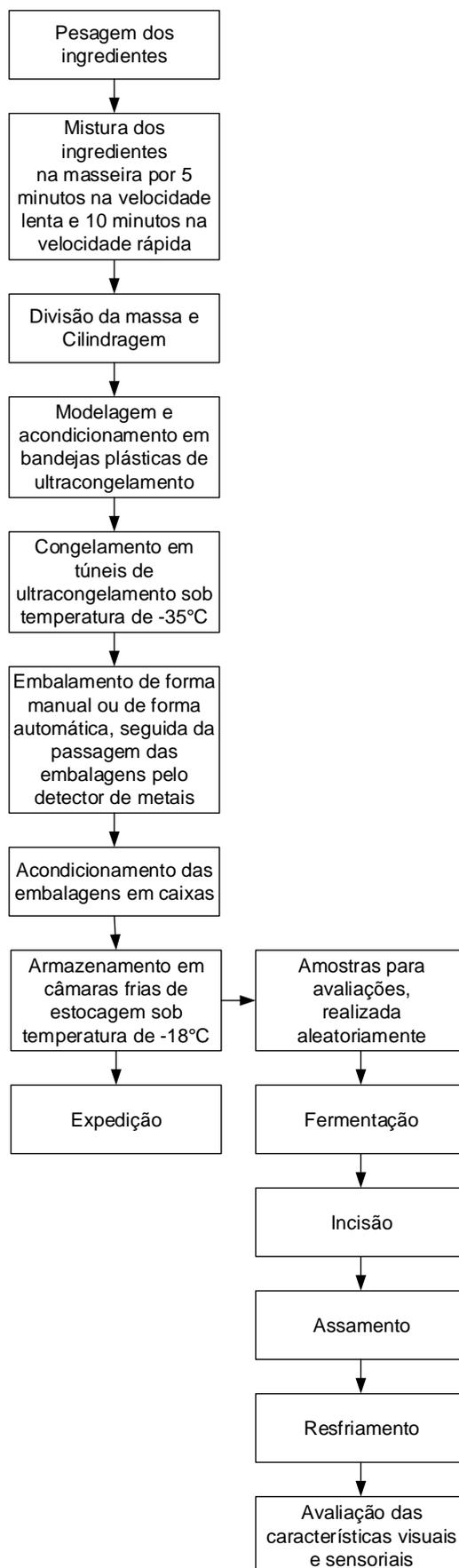
#### 4.1.2 Descrição do Processo Produtivo do Pão Francês

A primeira etapa verificada é a recepção das matérias-primas secas e refrigeradas, as quais são aprovadas somente se estiverem de acordo com as especificações de qualidade. Após a aprovação, ocorre o armazenamento seco ou refrigerado.

A linha de produção dos pães congelados inicia-se na etapa de pesagem, na qual todos os ingredientes secos e aditivos, necessários nas formulações são pesados, formando um *kit* de pré-mistura, denominado *pré mix*. Os *kits* são identificados com uma etiqueta, informando o produto, o lote e a data de fabricação, os quais são levados para a área de estoque da produção, próximo do local onde será utilizado. Os *kits* são liberados para a produção, de acordo com a ordem de produção dos produtos. Por tratar-se de um produto perecível, o fermento fresco, a ser utilizado no processamento, é liberado da câmara fria de armazenamento refrigerado, conforme a demanda estabelecida na formulação e, de acordo com a ordem de produção dos produtos.

O processo de fabricação do pão francês congelado não fermentado, realizado na sequência, é apresentado pela Figura 2.

Figura 2. Fluxograma do processo de fabricação do pão francês congelado não fermentado.



Fonte: A Autora (2022).

Para o preparo da massa, é utilizada uma formulação contendo farinha de trigo tipo 1 para panificação; pré-mistura para pão francês; fermento biológico fresco do tipo prensado, que deve estar a uma temperatura entre 2 °C à 7 °C; pré mix (composto por sal e aditivos); escamas de gelo; água gelada, que deve estar a uma temperatura de, no máximo, 5 °C.

A próxima etapa do processo corresponde à adição dos ingredientes secos na masseira espiral (A-160, Progresso®, Curitiba/PR, Brasil). Para a perfeita homogeneização, é necessário submeter esses ingredientes a um batimento inicial em velocidade lenta. Em seguida, ocorre a adição da água e das escamas de gelo, para que ocorra a mistura e o preparo da massa, com uma duração de, aproximadamente, 5 minutos. Quando a velocidade do equipamento alcançar a velocidade rápida, é adicionado o fermento biológico fresco do tipo prensado e o processo continua, até a massa atingir o ponto de véu, cuja duração é de, aproximadamente, 10 minutos. Ao término do batimento, faz-se a leitura da temperatura da massa, que deve estar compreendida entre 15 °C e 18 °C. A massa é retirada da masseira, é colocada na bancada e, em seguida, realizam-se cortes verticais da massa, em pedaços com iguais tamanhos, para serem submetidos à etapa de cilindragem.

Os pedaços de massa são passados no cilindro elétrico (CLA-600, Progresso®, Curitiba/PR, Brasil), com o auxílio da pulverização da farinha de trigo, para diminuir a espessura da massa, obtendo, como resultado, uma massa compacta e uniforme. A massa cilindrada é dividida em tiras iguais, que são colocadas sobre a divisora/modeladora automática (GA-500, Progresso®, Curitiba/PR, Brasil) regulada para frações de 84 gramas de massa crua, o que resultará em pães assados com cerca de 66 gramas. A etapa de modelagem consiste em modelar o pão no formato final que será entregue ao cliente. Os pães passam da modeladora diretamente para a esteira e, em seguida, são acondicionados em bandejas plásticas para o ultracongelamento, de modo que a emenda do pão fique voltada para baixo. Cada bandeja conterá 36 unidades de pães, que corresponde à quantidade de pães contidas em uma embalagem de 3 kg. As bandejas são colocadas em carrinhos para túnel de ultracongelamento e, após o seu carregamento, o mesmo é conduzido até os túneis de ultracongelamento mecânico (Klimaquip, modelo 4C, Pouso Alegre/MG, Brasil),

com convecção de ar forçado por meio de ventilação, regulados para atingir uma temperatura de - 35 °C. Tendo em vista que a indústria dispõe de 26 túneis de ultracongelamento, os carrinhos permanecem dentro dos mesmos durante um período de tempo, que pode variar entre 1 hora e 1 hora e 30 minutos, dependendo da capacidade (Kg por ciclo) e da potência instalada (kW / h) dos equipamentos. O controle do ultracongelamento dos pães ocorre através da inspeção visual e pela firmeza da massa, sendo que, somente após o completo congelamento dos pães, os carrinhos seguem para o setor de embalagem, em um ambiente climatizado de, aproximadamente, 3 °C. A fim de garantir a padronização dos produtos, evitando o risco de amolecimento dos pães ultracongelados, bem como da condensação de água na superfície dos mesmos, os pães ultracongelados são embalados, imediatamente, após a retirada dos carrinhos dos túneis de ultracongelamento.

Os pães ultracongelados são embalados em embalagens de polietileno de baixa densidade (PEBD), sendo que o embalagem pode ser realizado em embaladora automática ou ser realizado de forma manual. No embalagem manual, um funcionário despeja os pães ultracongelados de uma bandeja plástica, em uma máquina, que remete a um funil; na parte inferior do funil, outro funcionário segura a embalagem e entrega a um terceiro, que faz a selagem em seladora com acionamento a pedal (Araújo Equipamentos®, Caxias do Sul/RS, Brasil). Em ambas as formas de embalagem, cada embalagem formada é passada pelo detector de metal e, em seguida, as embalagens são acondicionadas em caixas plásticas ou em caixas de papelão. As caixas de papelão são colocadas sobre *pallets*, as quais é passado um filme *stretch* (PVC atóxico e inodoro), para embalar e proteger a carga paletizada. Imediatamente após esse procedimento, ocorre o armazenamento em câmaras frias de congelamento, sob uma temperatura de - 18 °C (MacroFrio®, Braço do Norte/SC, Brasil). Os produtos permanecem estocados sob congelamento até o momento da expedição.

Diariamente, são realizadas análises do pão francês fabricado. Dessa forma, as próximas etapas do processo consistem no processo de recuperação (descongelamento e fermentação) dos pães.

Para o descongelamento dos pães congelados, os mesmos são dispostos em assadeiras perfuradas e são armazenadas nas prateleiras dos armários de crescimento aberto, as quais permanecem à temperatura ambiente por, aproximadamente, 2 horas e 15 minutos. Após o descongelamento, as assadeiras são dispostas em armários de crescimento fechados, as quais permanecem à temperatura ambiente por, aproximadamente, 2 horas e 30 minutos. Havendo a necessidade, é borrifada uma pequena quantidade de água, nos dias secos, em que a temperatura ambiente está alta, para evitar o ressecamento da superfície dos pães. Os pães permanecem nos armários de crescimento fechados, até que os pães atinjam a altura desejada. De acordo com a temperatura ambiente, nos dias com temperaturas mais baixas, os pães concluem o processo de crescimento em uma câmara de fermentação (Venâncio®, modelo AC20T, Venâncio Aires/RS, Brasil), programada no controlador para atingir uma temperatura de 36 °C e umidade relativa de 90%, para a aceleração do crescimento da massa. Esse processo pode durar entre 1 e 2 horas, dependendo da temperatura ambiente, já que o pão não cresce bem em um ambiente frio. As assadeiras são retiradas para o corte da pestana, através de pequenos cortes longitudinais, que devem ser feito com estilete de forma rápida e suave. Após as massas atingirem o volume desejado, é realizado o forneamento em forno turbo elétrico (Progás®, modelo PRP-8000E ST, Caxias do Sul/RS, Brasil), regulado na temperatura de 180 °C, com um acionamento de vapor, após o primeiro minuto de forneamento. Para fazer o vapor, são utilizados aproximadamente 60 mL de água, cujo acionamento da entrada de vapor corresponde a um tempo de 6 segundos. A etapa de forneamento dura aproximadamente 14 minutos e, após o forneamento dos pães, as assadeiras são retiradas do forno e são dispostas nos carrinhos abertos, para o arrefecimento, para que ocorra a diminuição da temperatura no interior dos pães. Até uma hora depois da saída do forno, é realizada a avaliação das características visuais e sensoriais do produto final, as quais são registradas na planilha de análise de qualidade do pão francês.

Com isto, tem-se o contexto atual do processo de fabricação do pão francês congelado, com seus processos e sequência de trabalho.

## 4.2 Resultados dos testes realizados na indústria

A partir do conhecimento da indústria objeto de estudo e da análise de todo o processo produtivo envolvido – desde a recepção das matérias-primas, até a expedição dos produtos finalizados – foi possível coletar dados e construir o fluxograma de fabricação do pão francês congelado não fermentado.

As possíveis hipóteses levantadas, através da revisão da literatura para a causa relacionada ao objeto de estudo, nortearam o planejamento dos testes realizados; cujos resultados complementaram os dados qualitativos levantados no presente estudo e consistiram, resumidamente, em:

- a) A etapa de congelamento gera o chamado “dano pelo frio”, podendo acarretar nas manchas escuras na crosta.
- b) O embalamento, da forma como é realizado na indústria, pode acarretar em danos físicos na superfície dos pães congelados.
- c) O uso de farinha pulverizada, na etapa de cilindragem, pode se acumular e promover a formação das manchas escuras na crosta.
- d) A presença de resíduos de massa crua nos equipamentos, oriunda de bateladas anteriores, pode se aderir ao produto em processo, sendo responsável pelo surgimento das manchas escuras na crosta.
- e) A condensação de água na superfície dos pães, durante a etapa de descongelamento, pode favorecer o aparecimento das manchas escuras na crosta.

### 4.2.1 Teste 1: Efeito do ultracongelamento

Diariamente são realizados testes dos pães produzidos, nos quais as embalagens são retiradas aleatoriamente dos estoques das câmaras frias. O problema do aparecimento de manchas é recorrente dentro da indústria, ocorrendo em maior ou menor quantidade.

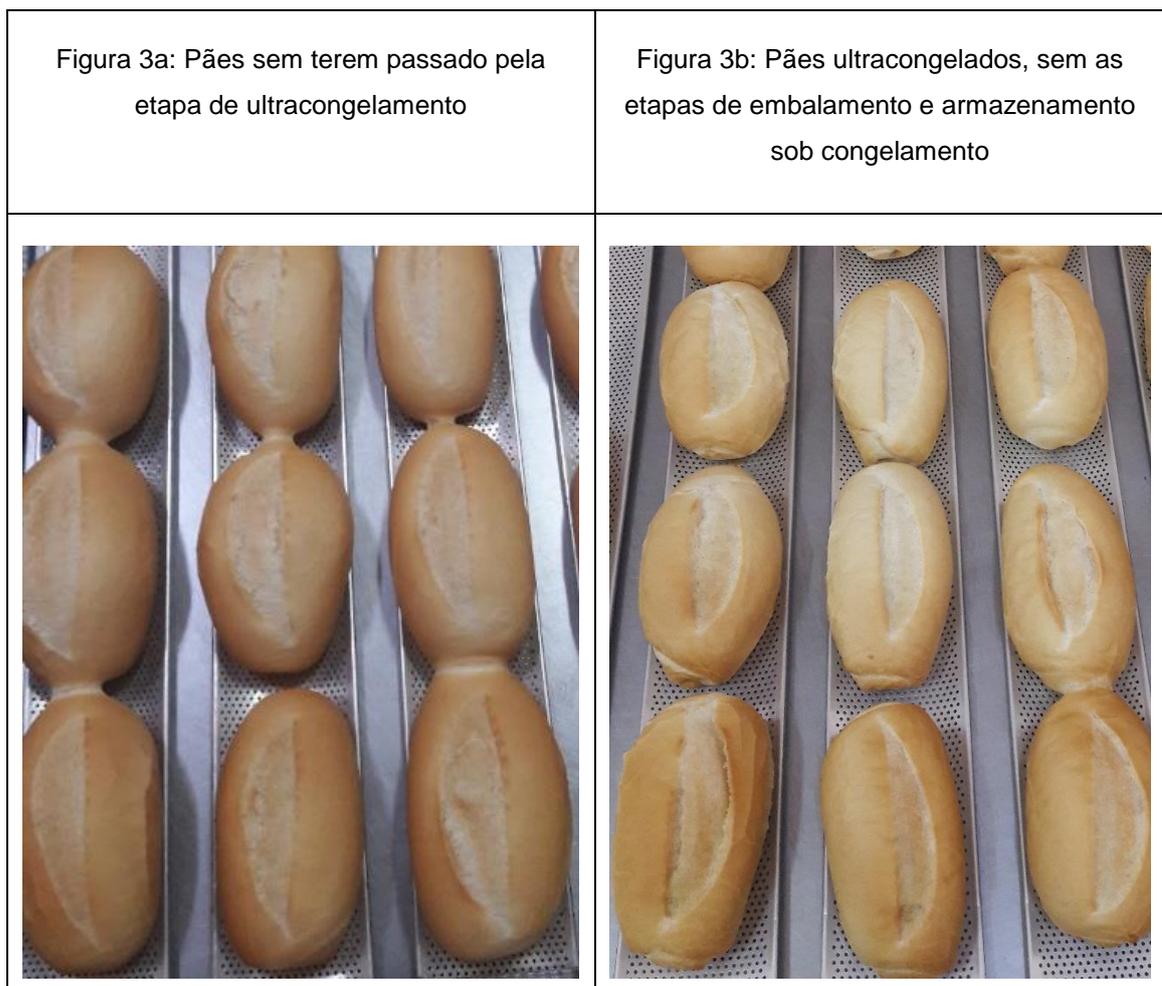
Sendo assim, inicialmente, julgou-se necessário realizar uma comparação entre os pães sem serem ultracongelados e os pães ultracongelados.

Para isso, os pães foram retirados diretamente da etapa de modelagem, para a realização do primeiro teste, ou seja, não passaram pelas etapas de ultracongelamento e embalamento. No caso dos pães ultracongelados, os

mesmos foram descongelados logo após terem passado pela etapa de ultracongelamento, ou seja, não foi efetuado o embalagem e armazenamento sob congelamento.

A Figura 3 mostra os pães assados, sem terem passado pela etapa de ultracongelamento e os pães que passaram pela etapa de ultracongelamento.

Figura 3. Pães sem terem passado pela etapa de ultracongelamento (a) e pães que passaram pela etapa de ultracongelamento (b).



Através do forneamento dos pães não ultracongelados, o resultado obtido mostrou a ausência de manchas escuras.

No teste em que os pães ultracongelados não passaram pelas etapas de embalagem e armazenamento sob congelamento, pôde-se constatar que, praticamente, não apareceram manchas escuras, após o forneamento dos mesmos.

Esses resultados evidenciaram que, aparentemente, a etapa de ultracongelamento, por si só, não poderia ser considerada a única responsável pelo aparecimento das manchas escuras nas crostas dos pães. Dessa forma, foi possível constatar que, a partir da etapa de ultracongelamento, é que ocorre a geração do problema em questão. A partir dessas observações, deu-se uma maior importância para os procedimentos realizados após a etapa de ultracongelamento.

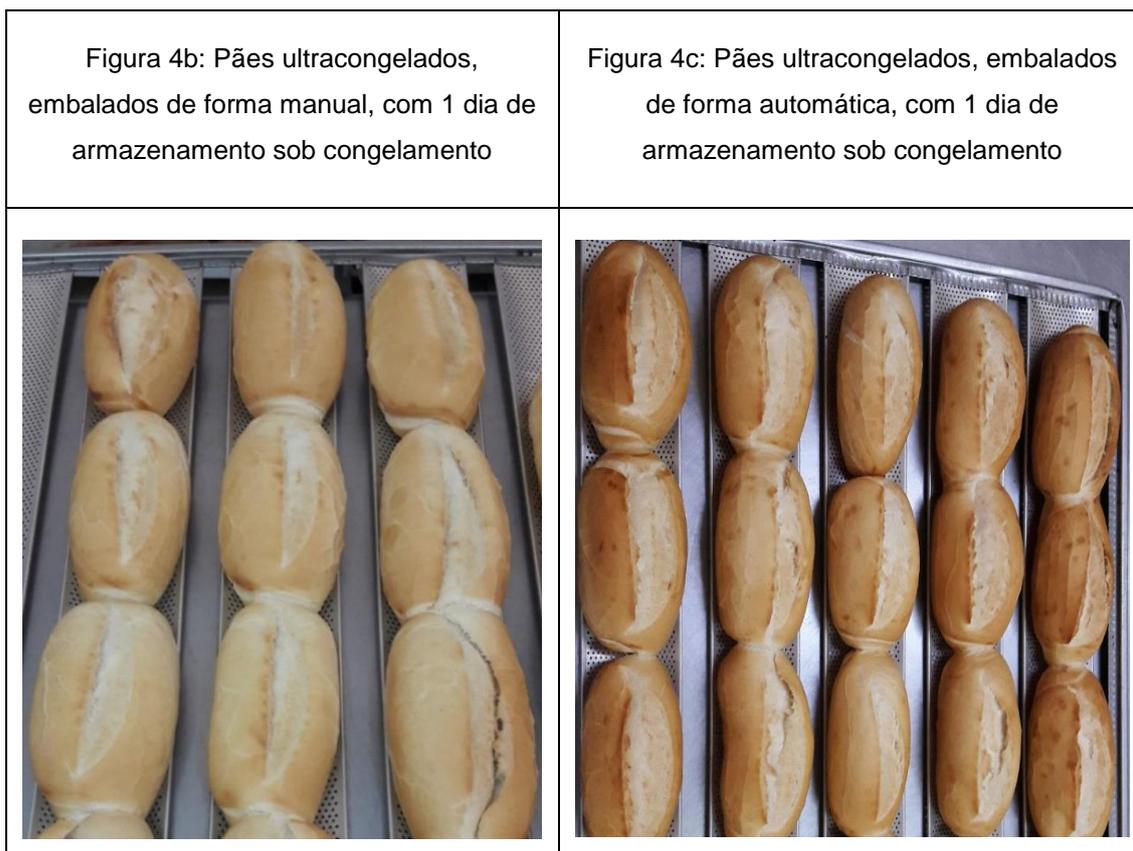
#### 4.2.2 Teste 2: Efeito das duas formas de embalagem dos pães ultracongelados

Com a finalidade de analisar os procedimentos, que ocorrem após a etapa de ultracongelamento, buscou-se conhecer o efeito do embalagem, no aparecimento das manchas escuras. Para isso, realizou-se o teste dos pães ultracongelados, as quais foram embalados com as duas formas realizadas na indústria – manual e automática – armazenados sob congelamento.

A Figura 4 mostra os pães assados, as quais foram embalados, após a etapa de ultracongelamento, de forma manual e de forma automática, com 1 dia de armazenamento sob congelamento. A Figura 4 (a) refere-se aos pães ultracongelados, sem terem passado pelas etapas de embalagem e armazenamento sob congelamento.

Figura 4. Pães ultracongelados embalados de forma manual (b) e automática (c), com 1 dia de armazenamento sob congelamento.





Nos testes em que os pães ultracongelados foram embalados de forma manual, constatou-se que ocorreu o aparecimento de manchas escuras nas crostas dos pães assados, em uma menor quantidade.

Nos testes em que os pães ultracongelados foram embalados de forma automática, apesar dos mesmos terem ficado com uma coloração mais dourada, é possível constatar-se que ocorreu o aparecimento de manchas escuras nas crostas dos pães assados, porém, em uma quantidade maior, em relação ao embalamento de forma manual.

#### 4.2.3 Teste 3: Efeito da redução do teor de farinha de trigo pulverizada durante a etapa de cilindragem

No planejamento dos testes, foi levantada a hipótese da pulverização estar relacionada o aparecimento de manchas. A realização do teste justifica-se pelo fato deste procedimento não estar descrito na literatura, isso é, pelo fato de não compreender uma etapa do processo, de acordo com a literatura.

A Figura 5 mostra os pães assados, dos testes realizados com os pães ultracongelados, com 1 e 7 dias de armazenamento sob congelamento. Foi

pulverizada uma quantidade menor de farinha de trigo, realizando-se uma distribuição por toda a extensão da massa e, também, foi efetuada a pulverização da farinha de trigo da maneira habitual. Prevendo a não ocorrência de danos mecânicos, nesse teste, optou-se por realizar o embalagem nas próprias bandejas plásticas de ultracongelamento.

Figura 5. Pães ultracongelados com 1 e 7 dias de armazenamento sob congelamento, com teor de farinha de trigo habitual (a) e com menor teor de farinha de trigo (b) pulverizada na etapa de cilindragem.

| 1 dia de armazenamento sob congelamento   | 7 dias de armazenamento sob congelamento   |
|---|--|
| <p>Figura 5a: Pães pulverizados com teor de farinha de trigo habitual</p> <p>Embalamento nas próprias bandejas plásticas de ultracongelamento</p> |  |
|    |  |
| <p>Figura 5b: Pães pulverizados com menor teor de farinha de trigo</p> <p>Embalamento nas próprias bandejas plásticas de ultracongelamento</p>    |  |



Com os resultados obtidos, constatou-se que, durante a etapa de cilindragem, as quantidades utilizadas de farinha de trigo, bem como a maneira de ser pulverizada sobre a massa, não trouxeram resultados relevantes, quanto ao surgimento de manchas escuras, após o forneamento. Pode-se considerar que esses resultados foram comprovados, porque testou-se o forneamento dos pães ultracongelados, sem terem passado pela etapa de embalagem – de forma manual ou automática.

Tendo em vista que os pães ultracongelados foram embalados nas próprias bandejas plásticas de ultracongelamento, a fim de evitar choques mecânicos, foi possível constatar que, praticamente, não ocorreram manchas escuras. Esses resultados evidenciaram que os procedimentos realizados, durante a etapa de embalagem, poderiam estar contribuindo para o aparecimento das manchas escuras na crosta dos pães, após o forneamento.

#### 4.2.4 Teste 4: Efeito da retirada total de massa dos equipamentos do processo

As limpezas realizadas nos equipamentos, para a completa remoção dos resíduos de massa, provenientes das bateladas anteriores, não trouxeram resultados relevantes para o aparecimento das manchas escuras, após o forneamento dos pães. Pode-se considerar que esses resultados foram comprovados, porque testou-se o embalagem dos pães ultracongelados, nas

próprias bandejas plásticas de ultracongelamento e, também, o embalagem de forma manual.

A Figura 6 mostra os pães assados, as quais foram embalados, após a etapa de ultracongelamento, de forma manual e, também, nas próprias bandejas plásticas de ultracongelamento, armazenados sob congelamento por 3 e 7 dias.

Figura 6. Pães processados com retirada de resíduos de massa dos equipamentos, que foram ultracongelados e embalados de forma manual (a) e nas próprias bandejas plásticas de ultracongelamento (b), armazenados sob congelamento por 3 e 7 dias.

| 3 dias de armazenamento sob congelamento   | 7 dias de armazenamento sob congelamento   |
|--|--|
| <p>Figura 6a: Pães processados com retirada de resíduos de massa dos equipamentos<br/>Embalamento de forma manual</p>                                      |  |
|   |  |
| <p>Figura 6b: Pães processados com retirada de resíduos de massa dos equipamentos<br/>Embalamento nas próprias bandejas plásticas de ultracongelamento</p> |  |
|   |  |

De acordo com os resultados obtidos, nos testes em que os pães ultracongelados foram embalados nas próprias bandejas plásticas de ultracongelamento, constatou-se que, praticamente, não apareceram manchas escuras nos pães assados. Já nos testes em que os pães ultracongelados foram embalados de forma manual, constatou-se que ocorreu o aparecimento de manchas escuras nos pães assados. Esses resultados mostraram que os procedimentos realizados, durante a etapa de embalagem, de fato, podem contribuir para o aparecimento das manchas escuras na superfície dos pães, após o forneamento.

#### 4.2.5 Teste 5: Efeito da realização do descongelamento com o produto coberto com saco plástico

Nos testes em que os pães congelados foram cobertos, de forma parcial ou total, através da utilização de um saco plástico, durante a etapa de descongelamento, o objetivo foi tentar amenizar a condensação da umidade na superfície dos pães. Tendo em vista que, através das duas maneiras de cobrir os pães congelados, obteve-se resultados semelhantes, optou-se por utilizar somente os resultados da cobertura total dos pães; sendo assim, os resultados da cobertura parcial dos pães não serão mostrados no presente trabalho.

A Figura 7 mostra os pães assados, os quais foram embalados, após a etapa de ultracongelamento, de três formas diferentes – forma manual; na própria bandeja plástica de ultracongelamento; forma automática – com 1 dia de armazenamento sob congelamento, com o descongelamento realizado sob cobertura total do saco plástico.

Figura 7. Pães ultracongelados embalados de forma manual (a), na própria bandeja plástica de ultracongelamento (b) e embalados de forma automática (c), com 1 dia de armazenamento sob congelamento, com o descongelamento realizado sob cobertura total do saco plástico.

Embalamento de forma manual



Embalamento na própria bandeja plástica de ultracongelamento



Embalamento de forma automática



Nos pães ultracongelados, embalados na própria bandeja plástica de ultracongelamento, constatou-se a ausência de manchas escuras nos pães, após

o forneamento. Entretanto, nos pães ultracongelados, embalados de forma manual e automática, observou-se que ocorreu o aparecimento das manchas escuras nos pães assados. Sendo assim, pôde-se considerar, que a cobertura total dos pães com a utilização do saco plástico, não conseguiu impedir o aparecimento das manchas escuras nas crostas dos pães, após o forneamento.

## **5. CONCLUSÃO**

Através do conhecimento das causas, adquiridas em estudo bibliográfico, foi possível a realização de testes, adequados à realidade da indústria do estudo em questão. A análise do processo produtivo do pão francês congelado não fermentado, bem como os resultados obtidos e demonstrados no presente trabalho, permitiram identificar quais procedimentos podem colaborar para o aparecimento das manchas escuras nos pães, após o forneamento.

Segundo Hernandez e colaboradores (2021), identificar um problema não significa resolvê-lo, pois o mesmo pode estar atrelado a muitas variáveis. Levando-se isso em consideração e, tendo em vista que informações referentes à formulação do pão francês, bem como as proporções utilizadas dos ingredientes não foram reveladas no presente trabalho, não pôde ser realizada a avaliação do impacto das proporções das matérias-primas na qualidade do produto, como uma análise complementar ao problema estudado.

Outro ponto importante, a ser mencionado, é que uma linha de embalagem é automatizada, enquanto a outra é totalmente manual. Ambas as máquinas embaladoras possuem um compartimento, as quais remetem a um funil, que recebe os pães ultracongelados a serem embalados. Através da observação do processo, constatou-se que a maneira como as bandejas plásticas são batidas contra as bordas do compartimento, para a retirada dos pães ultracongelados, pode contribuir para o surgimento do problema em questão. Deve-se considerar que, durante esse procedimento, ocorre a colisão entre os próprios pães, bem como a colisão entre os pães e as paredes dos equipamentos de embalagem.

Além disso, durante os procedimentos envolvidos no embalagem dos pães ultracongelados, é necessário considerar-se a possibilidade de que ocorra a redução da viabilidade das células de leveduras, na superfície dos mesmos,

dependendo da intensidade dos impactos. Nas pesquisas realizadas, não foi possível encontrar estudos que associassem os danos celulares, sofridos pelas leveduras presentes na superfície, à danificação da rede de glúten, com a consequente formação de manchas escuras na crosta de pães congelados não fermentados, após o forneamento.

Tendo em vista os argumentos mencionados, o problema do aparecimento das manchas escuras, pode ser ocasionado pelos supostos choques mecânicos, provenientes do modo como os pães ultracongelados são retirados das bandejas plásticas de ultracongelamento.

Por fim, apesar de encontrar-se uma bibliografia a respeito da produção de pão, a partir de massa congelada, os trabalhos publicados tratam de massas destinadas à produção dos mais variados tipos de pães e, raramente, são específicos para pão francês congelado não fermentado. Devido à escassez de estudos a respeito do assunto e, tendo como base a literatura consultada, tornou-se difícil o esclarecimento de algumas questões, como: qual é o tipo de equipamento de embalagem mais adequado para pão francês congelado não fermentado?; as lesões celulares e / ou a morte das leveduras podem contribuir para o aparecimento das manchas escuras nas crostas dos pães assados?. Sendo assim, fica evidente a necessidade de estudos a respeito do assunto e que sejam condizentes com realidade do pão francês congelado não fermentado produzido nas indústrias.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Panificação - Pão tipo francês - Diretrizes para avaliação da qualidade e classificação NBR16170:2013. Rio de Janeiro, 2013.

ADITIVOS E INGREDIENTES. Pães congelados: tendências e soluções, n. 119, p. 68-69, 2015. Disponível em: <[https://aditivosingredientes.com/upload\\_arquivos/201601/2016010178677001453486535.pdf](https://aditivosingredientes.com/upload_arquivos/201601/2016010178677001453486535.pdf)>. Acesso em: 07 Mai. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO TRIGO - ABITRIGO. Consumo mundial de trigo 2015 a 2020. 2019. Disponível em: <<https://www.abitrigo.com.br/wp-content/uploads/2019/09/Consumo-mundial-de-trigo-2015-a-2020.pdf>>. Acesso em: 03 Mai. 2022.

Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria (ABIP) com apuração do Instituto Tecnológico da Alimentação, Panificação e Confeitaria (ITPC) e Associação Brasileira da Indústria do Trigo (Abitrigo). Disponível em: <https://www.abip.org.br/site/publicacoes-tecnicas/>. Acesso em: 03 Mai. 2022.

AUTIO, K.; SINDA, E. Frozen doughs: rheological changes on yeast viability. *Cereal Chem.*, v.69, n.4, p.409-413, 1992.

BAN, C., YOON, S., HAN, J., KIM S. O., Han J. S., LIM, S., CHOI, Y. J. Effects of freezing rate and terminal freezing temperature on frozen croissant dough quality. *LWT- Food Science and Technology*, v. 73, p. 219-225, 2016.

BERGLUND, P.T., SHELTON, D.R., FREEMAN, T.P. Frozen bread dough ultra-structure as affected by duration of frozen storage and freeze-thaw cycles. *Cereal Chemistry*, St. Paul, v. 68, n. 1, p. 105-107, 1991.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 38, de 27 de dezembro de 1977. Aprova o regulamento técnico utilização de coadjuvantes na fabricação de produtos panificados. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, Dezembro de 1977.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 383, de 5 de agosto de 1999. Regulamento técnico que aprova o uso de aditivos alimentares, estabelecendo suas funções e seus limites máximos para a categoria de alimentos 7 – produtos de panificação e biscoitos. Diário Oficial da União, Brasília, Agosto de 1999.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n. 90, de 18 de outubro de 2000. Aprova o regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de pão. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, Outubro de 2000.

CASTRO, M. H. M. M. S.; MARCELINO, M. S. Fermentos químicos, biológicos e naturais. Instituto de Tecnologia do Paraná – TECPAR, 2012. 24 p.

CAUVAIN, S. P.; YOUNG, L. S. Baking problems solved, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2001. 280 p.

CAUVAIN, S. P.; YOUNG, L. S. Tecnologia da Panificação. Barueri, SP: Editora Manole, 2009. 418 p.

CAUVAIN, S. P. (2012). Breadmaking: an overview Breadmaking (Second edition). Woodhead Publishing.

DE BONA, S. Estudos de viabilidade da produção de pão francês a partir de massa congelada. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

EDWARDS, W. P. The Science of Bakery Products. 1ª Edição, Reino Unido: Cambridge. The Royal Science of Chemistry. p. 259. 2007.

FELLOWS, P. (2000). Food processing technology – principles and practice (pp. 348–352, 418–440). Woodhead Publishing.

FOODS INGREDIENTS BRASIL. Tecnologia para pães congelados. Revista Food Ingredients Brasil, n. 5, 2008. Disponível em: <[https://revista-fi.com.br/upload\\_arquivos/201606/2016060573162001465585636.pdf](https://revista-fi.com.br/upload_arquivos/201606/2016060573162001465585636.pdf)>. Acesso em: 23 Abr. 2022.

FOODS INGREDIENTS BRASIL. Vantagens na aplicação de emulsificantes em Bakery. Revista Food Ingredients Brasil, n. 45, 2018. Disponível em: <[https://revista-fi.com/upload\\_arquivos/201811/2018110723873001542803899.pdf](https://revista-fi.com/upload_arquivos/201811/2018110723873001542803899.pdf)>. Acesso em: 23 Abr. 2022.

FRESH BAKERY. Pão Francês Congelado. Disponível em: <<https://freshbakery.life/2021/11/17/pao-frances-congelado/>>. Acesso em: 11 Abr. 2022.

FUNCK, L., DE FRANCISCO, A. (2006). Efeitos do congelamento e dos ciclos de gelo-degelo em massas de pão. Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos. 24. 10.5380/cep.v24i1.5278.

GIANNOU, V.; KESSOGLOU, V.; TZIA, C. Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough. Trends in Food Science and Technology, v. 14, n. 1, p. 99-108, 2003.

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GUEDES, G. R. Análise da aplicação da ferramenta FMEA em uma fábrica de pães congelados em Belo Horizonte-MG. 2019. 64 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

GUTKOSKI, L.C., BREHM, C. M., SANTOS, E., MEZZOMO, N. Efeito de ingredientes na qualidade da massa de pão de forma congelada não fermentada durante o armazenamento. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.25, p.460-467, 2005.

HERNANDES, G. M., RAMOS, A. L., DE LIMA, T. R., BERNINI, D. S. P. Padronização do pão francês com base na NBR 16170:2013 e aplicação de ferramentas da qualidade. Disponível em: <<https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2021/05/revista-esfera-tecnologia-v05-n01-artigo04.pdf>>. Acesso em: 16 Abr. 2022.

HSU, K.H., HOSENEY, R.C., SEIB, P.A. Frozen dough. II. Effects of freezing and storing conditions on the stability of yeasted doughs. *Cereal Chemistry*, St. Paul, v. 56, n. 5, p. 424-426, 1979.

INOUE, Y., BUSHUK, W. Studies on frozen doughs. I. Effects of frozen storage and freeze-thaw cycles on baking and rheological properties. *Cereal Chemistry*, St. Paul, v. 68, n. 6, p. 627-631, 1991.

INOUE, Y., BUSHUK, W. Studies on frozen doughs. II. Flour quality requirements for bread production from frozen dough. *Cereal Chemistry*, St. Paul, v. 69, n. 4, p. 423-428, 1992.

JINHEE YI (2008). Improving frozen bread dough quality through processing and Ingredients. Georgia, pp 40.

JOHANN, V. C. O padrão de qualidade do pão francês na visão dos consumidores do Rio Grande do Sul. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Engenharia de Alimentos. Porto Alegre: 2018.

LAAKSONEN, T. J. Effects of ingredients in phase and state transitions of frozen wheat doughs. Academic Dissertation. Helsinki, 2001.

KALTBACH, A. C. K. ; CALMON, A. C. P.; RIBEIRO, N. W.; GULARTE, M. A. Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Pelotas, XXII, 2013, Pelotas-RS. Efeito de reforçadores de glúten de farinha de trigo em pão francês. Curso Tecnologia em Alimentos da Universidade Federal de Pelotas. Disponível em: <[https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2013/CA\\_01303.pdf](https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2013/CA_01303.pdf)>. Acesso em: 17 Abr. 2022.

KECHINSKI, C. P.; CASTRO, M. G.; FLECK, R. J.; NOREÑA, C. Z. Viabilidade de células de levedura em massas congeladas de pão francês. *Ciência Rural*, v. 40, n. 5, p. 1193-1198, 2010.

KOHMANN, Laura Moura Defeitos em pão elaborado a partir de massa crua congelada Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI-RS Departamento Regional. 2012.

KUMAR, S. Bakery Theory Notes: Bakery and Confectionery Theory Notes. October 2012. Disponível em: <<http://ihmgwalior.blogspot.com/2012/10/bakery-theory-notes.html>>. Acesso em: 08 Abr. 2022.

MATUDA, T. D. Análise térmica da massa de pão francês durante os processos de congelamento e descongelamento: otimização de uso de aditivos: São Paulo, 2004.

MATUDA, T. Estudo do congelamento da massa de pão: determinação experimental das propriedades termofísicas e desempenho de panificação. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2008. 153p.

MATTOS, C. Desenvolvimento de pão fonte de fibras a partir do bagaço de malte. 2010. 41 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MITCHELL, J. We have been experiencing some variation in crust colour on our bread products What causes bread crust colour and why should it vary. Jan. 2022. Disponível em: <<https://www.johnnyskitchen.us/baking-tips/we-have-been-experiencing-some-variation-in-crust-colour-on-our-bread-products-what-causes-bread-crust-colour-and-why-should-it-vary.html#:~:text=The%20crust%20colour%20in%20bread,be%20present%20in%20appropriate%20amounts>>. Acesso em: 08 Abr. 2022.

NEYRENEUF, O., VAN DER PLAAT, J.B. Preparation of frozen French bread dough with improved stability. Cereal Chemistry, St. Paul, v. 68, n. 1, p. 60-66, 1991.

NUNES, A. G. et. al. Processos enzimáticos e biológicos na panificação. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006. 18p.

PADARIA FÁCIL. Reforçadores e Melhoradores de Farinha. Novembro 2020. Disponível em: <<https://padariafacil.com.br/reforcadores-e-melhoradores-de-farinha/>>. Acesso em: 17 Abr. 2022.

PRÁTICA. Congelamento de pães: tire todas as suas dúvidas sobre o processo. Janeiro 2020a. Disponível em: <<https://blog.praticabr.com/congelamento-de>>

paes-tire-todas-as-suas-duvidas-sobre-o-processo/#:~:text=isso%20n%c3%a3o%20aconte%c3%a7a.-,Armazenamento,de%20m%c3%a9dio%20e%20grande%20porte>. Acesso em: 08 Mai. 2022.

PRÁTICA. Túnel de congelamento: o que é, para que serve e como escolher. Junho 2020b. Disponível em: <<https://blog.praticabr.com/tunel-de-congelamento/>>. Acesso em: 11 Mai. 2022.

PRÁTICA. Túneis x espiral: confira um comparativo entre as tecnologias de ultracongelamento industrial. Abril 2022. Disponível em: <<https://blog.praticabr.com/confira-um-comparativo-entre-as-tecnologias-de-ultracongelamento-industrial/>>. Acesso em: 11 Mai. 2022.

PROZYN. Soluções Prozyn para pães congelados. Disponível em: <<https://www.biosolutionsblog.com/solucoes-prozyn-para-paes-congelados/>>. Acesso em: 23 Abr. 2022.

RANDEZ-GIL, F., SANZ, P., PRIETO, J.A. Engineering baker's yeast: room for improvement. Trends in biotechnology, v.17 (6), p. 237-244, 1999.

RASHIDI, A., HADINEZHAD, M., RAJABZADEH, N., YARMAND, M-S., NEMATI, S. (2016). Frozen baguette bread dough I. Rheological behavior during storage. Journal of Cereal Science, 72, 24-29.

REDE FOOD SERVICE. Dia do Pão Francês: conheça a história da receita 'queridinha' dos brasileiros que de francesa não tem nada! Disponível em: <<https://redefoodservice.com.br/2022/03/dia-do-pao-frances-conheca-a-historia-da-receita-queridinha-dos-brasileiros-que-de-francesa-nao-tem-nada/#:~:text=Em%202021%2C%20o%20mercado%20nacional,atual%20setor%20nacional%20de%20panifica%C3%A7%C3%A3o%2C>>. Acesso em: 16 Abr. 2022.

RESENDE, F. S. Efeito do congelamento sobre a microestrutura da massa do pão. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

RIBOTTA, P. D.; LEÓN, A. E.; AÑÓN, M. C. Effect of freezing and frozen storage of doughs on bread quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49 (2), p. 913-918, 2001.

RIBOTTA, P. D.; LEÓN, A. E.; AÑÓN, M. C. Effects of yeast freezing in frozen dough. *Cereal chemistry*, 80 (4), p. 454-458, 2003.

RIBOTTA, P. D.; PÉREZ, G. T.; LEÓN, A. E.; AÑÓN, M. C. Effect of emulsifier and guar gum on micro-structural, rheological and baking performance of frozen bread dough. *Food Hydrocolloids*, v.18, p.305-313, 2004.

ROMEU, C. C.; TADINI, C. C.; MATUDA, T. T. Influência do congelamento na estrutura da massa do pão francês. *PIC-ESUSP N° 3*, 2006.

ROSELL, C. M.; GÓMEZ, M. Frozen Dough and Partially Baked Bread: An Update. *Food Reviews International*, v. 23, n.3, p. 16, 2007.

SALAS-MELLADO, M. M. Estudo da influência da formulação e das condições operacionais dos tipos de congelamento na qualidade da massa e do pão. 2003. 242f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

SALAS-MELLADO, M. M.; CHANG, Y. K. Effect of formulation on the quality of frozen bread dough. *Braz. arch. biol. technol.*, Curitiba, v. 46, n. 3, p. 461-468, June 2003.

SANCHIS, F. A. B. Análise do gerenciamento de processos: estudo de caso em uma padaria na cidade de Natal/RN. XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção; Engenharia de Produção, A Gestão dos Processos de Produção e as Parcerias Globais para o Desenvolvimento Sustentável dos Sistemas Produtivos Salvador, BA, Brasil, 08 a 11 de outubro de 2013.

SEBRAE - SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. Estudo de tendências perspectivas para a panificação e confeitaria. Projeto de fortalecimento e oportunidade para micro e pequenas empresas do setor de panificação, biscoito e confeitaria - Convênio SEBRAE/ABIP. 2009. Disponível em:

<[https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS\\_CHRONUS/bds/bds.nsf/4AC5C034FC7F782E832576330053107A/\\$File/NT0004207E.pdf](https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/4AC5C034FC7F782E832576330053107A/$File/NT0004207E.pdf)>. Acesso em: 03 Mai. 2022.

SEBRAE- Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Painel de Mercado da Panificação e Confeitaria. 2017. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Estudo%20Painel%20de%20Mercado.pdf>>. Acesso em: 03 Mai. 2022

SEKI, S., KLEINHANS, F. W., MAZUR, P. Intracellular ice formation in yeast cells vs. cooling rate: predictions from modeling vs. experimental observations by differential scanning calorimetry. *Cryobiology*, v. 58 (2), p. 157-165, 2009.

STAUFFER, C. E. Principles of Dough Formation. *In: Technology of Breadmaking*. Boston, MA: Springer, 2007.

STEFANELLO, R. F. Produção, liofilização e aplicação de fermento natural em pão tipo Sourdough. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, RS, 2014. 160 p.

SUN, Da-Wen (2001). Avanços na refrigeração de alimentos. Publicação da Leatherhead Food Research Association. p.318. (Refrigeração criogênica).

THOMAZ, D. Melhoramento das condições de hidratação da levedura seca instantânea de panificação por tratamentos com soluções de aditivos. 2008. 80 p. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Estadual Paulista, Araraquara/SP. 2008.

URIYAPONGSON, J. The effects of additives on dough rheological properties of pre-proofed frozen dough and baking quality of bread sticks. 2002. 117 f. Tese (Doutorado em Filosofia), Oklahoma State University, Stillwater, 2002.

VIANNA, F. S. V., REDOSCHI, G. LAGE, M. F., YKEMOTO, M. Y, COELHO, S. T. Manual prático de panificação do Senac, São Paulo: Editora Senac, 2020. P. 352.

- VIEIRA, C. R. Ice structuring protein in Brazilian wheat and rye varieties: occurrence, characterization and application in frozen dough. 2011. 90 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos; Tecnologia de Alimentos; Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.
- WANG, Z.J.; PONTES JÚNIOR, J.G. Improving frozen dough qualities with the addition of vital wheat gluten. *Cereal Foods World*, v.39, p. 500-503, 1994.
- WATANABE, E., BENASSI, V. T. O uso de massa congelada na produção de pão. *B.CEPPA*, Curitiba, v. 18, n. 1, jan./jun.2000.
- YIN, Robert K. Estudo de caso – planejamento e métodos. (2Ed.). Porto Alegre: Bookman. 2001.
- ZAGA. Saiba como fazer otimização do processo produtivo da sua panificação. ABIP, 2019. Disponível em: < <https://www.abip.org.br/site/saiba-como-fazer-otimizacao-do-processo-produtivo-da-sua-panificadora/>>. Acesso em: 03. Mai. 2022.
- ZAMBELLI, Rafael Audino. (2014). Desenvolvimento de massas congeladas de pães tipo forma contendo ingredientes funcionais. 203 f. Dissertação (Mestrado) – Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- ZAMBELLI, R. A.; MOREIRA, S. P.; PONTES, D.F. Tecnologia de Pães congelados: uma revisão. 2010. Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará.
- ZHOU, W., HUI, H. (2014). *Bakery Products Science and Technology*. John Wiley e Sons.