

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

MÔNICA CECÍLIA FERREIRA PRAXEDES DA SILVA

INFLUÊNCIA DO ÁCIDO ASCÓRBICO ENCAPSULADO E NÃO  
ENCAPSULADO NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DA FARINHA DE TRIGO  
E NO VOLUME DO PÃO FRANCÊS

RECIFE

2017

MÔNICA CECÍLIA FERREIRA PRAXEDES DA SILVA

INFLUÊNCIA DO ÁCIDO ASCÓRBICO ENCAPSULADO E NÃO  
ENCAPSULADO NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DA FARINHA DE TRIGO  
E NO VOLUME DO PÃO FRANCÊS

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Engenharia Química.

Área de concentração: Processos Químicos Industriais

Orientador:

Prof. Dr. Nelson Medeiros de Lima Filho

Co - orientador:

Prof. Dr. Hilário Jorge Bezerra de Lima Filho

RECIFE  
2017

Catálogo na fonte

Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

S586a Silva, Mônica Cecília Ferreira Praxedes da.

Influência do ácido ascórbico encapsulado e não encapsulado nas propriedades reológicas da farinha de trigo e no volume do pão francês / Mônica Cecília Ferreira Praxedes da Silva - 2017.

108folhas. Il.; Abr.; Siglas. e Simb..

Orientador: Prof. Dr. Nelson Medeiros de Lima Filho.

Coorientador: Prof. Dr. Hilário Jorge Bezerra de Lima Filho.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2017.

Inclui Referências e Anexos.

1. Engenharia Química. 2. Triticum aestivum. 3. Oxidantes. 4. Vitamina C.  
5. Ácido cítrico. 6. Agente encapsulante. 7. Panificação. II. Título.

UFPE

660.2CDD (22. ed.)

BCTG/2018 - 43

**INFLUÊNCIA DO ÁCIDO ASCÓRBICO ENCAPSULADO E NÃO  
ENCAPSULADO NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DA FARINHA DE  
TRIGO E NO VOLUME DO PÃO FRANCÊS**

**Área de concentração: Processos Químicos Industriais**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco, defendida e aprovada em 28 de julho de 2017 pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

---

Prof. Dr. Orientador – UFPE  
Nelson Medeiros de Lima Filho

---

Prof. Dr. Orientador – UNICAP  
Hilário Jorge Bezerra de Lima Filho

---

Prof. Dr. (Membro Externo) – UFPE  
Samara Alvachian Cardoso Andrade

---

Prof. Dr. (Membro Interno) – UFPE  
Glória Maria Vinhas

---

Prof. Dr. (Membro Interno) – UFPE  
Otidene Rossiter Sá da Rocha

---

Prof. Dr. (Membro Externo) – UFRPE  
Neide Kazuyawa Shinohara

---

Prof. Dr. (Membro Externo) – UFC  
José Maria Correia da Costa

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao meu amado DEUS pela força e coragem recebidas, por ele estar sempre ao meu lado, me protegendo, me guiando, me dando sabedoria para enfrentar todos os desafios.

Ao meu marido, meus filhos, minha mãe, por toda a compreensão nos momentos que precisei focar no estudo e abdicar do convívio da família.

À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) Departamento de Engenharia Química pelo Programa de Pós-graduação.

Ao professor Nelson Medeiros pela orientação, pela confiança, pela força e apoio.

Ao professor Hilário Jorge, por ter acreditado em mim, me dando força para continuar.

Ao professor Raphael por toda força e ajuda que me deu.

Ao professor João Pedro por ter me indicado para este programa e me incentivado.

Ao Flávio Garret pela atenção dispensada e por estar sempre pronto para ajudar.

À Bunge Alimentos pela cessão das amostras em estudo, pela permissão da realização das análises, especialmente ao Arthur e equipe do laboratório, Rivaldo, Edla, Juliane, Pablo e à Patrícia Klein pela indicação deste tema.

Ao Irair e à Stern Ingredientes pelo fornecimento das amostras de ácido ascórbico e pelo material cedido.

À professora Olga Marques pelo incentivo e apoio.

À professora Sâmara por todo o apoio, pela fundamental ajuda e grande incentivo.

À professora Glória Vinhas por toda a colaboração e apoio.

Aos professores da banca pela contribuição para revisão deste trabalho.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho e que não foram citados, meus sinceros agradecimentos.

MUITO OBRIGADO.

## RESUMO

O trigo tem grande importância na panificação devido ao alto consumo de seus derivados, é responsável pela qualidade da sua farinha. O pão francês é o produto derivado do trigo, que tem a maior preferência em todas as classes sociais no Brasil, a sua qualidade é avaliada em função de suas características externas, como volume, pestana, cor, crocância e perfil do miolo, estes resultados dependem de algumas propriedades da matriz da massa. As características mais importantes que definem uma boa massa, são a capacidade de reter o dióxido de carbono gerado durante a fermentação e um bom equilíbrio de fluxo viscoso e força elástica, permitindo que o pão se expanda de forma adequada. O glúten é o componente da massa que possibilita que estes requisitos sejam alcançados. Para garantir uma boa performance de panificação, as indústrias moageiras além de usarem mesclas de trigo, utilizam aditivos melhoradores de farinha, que têm a função de condicionar a massa e melhorar as suas características durante as fases do processo e vida de prateleira, são eles oxidantes, redutores emulsificantes e enzimas. Neste trabalho utilizamos farinha de trigo produzida com uma mistura de 85% de trigo argentino e 15% de trigo americano hard e ácido ascórbico com e sem encapsulamento. Estudamos a influência do ácido ascórbico, que atua na massa como oxidante, sua adição à farinha causa um aumento da força da massa, mas, ele é muito instável, devido à exposição a fatores como oxigênio, luz, temperatura, entre outros, inerentes ao processamento e armazenamento dos alimentos. A degradação pode variar, dependendo da natureza do alimento ou do meio de reação, os tipos e as concentrações são influenciados pelos fatores que promovem a degradação. Na panificação o desafio é usar o ácido ascórbico na farinha com o menor custo (menor dosagem) de forma a obter pães com boa performance durante a vida útil da farinha. Para minimizar essa instabilidade, uma alternativa é usar o ácido ascórbico encapsulado. Estudamos a influência da adição de várias concentrações de ácido ascórbico com e sem encapsulamento, sobre o comportamento reológico da farinha de trigo, e sua atuação no volume do pão francês ao longo da vida útil da farinha. Esta avaliação foi realizada segundo dois planejamentos compostos centrais (2<sup>2</sup>). O objetivo do planejamento experimental foi efetuar uma análise dos fatores para avaliar a sua influência na variação do volume específico do pão francês, nos valores da elasticidade, da extensibilidade e da estabilidade da farinha. Em ambos os planejamentos, os modelos obtidos para todas as respostas tiveram bom ajuste com coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) maior que 90%, exceto para a elasticidade que a falta de ajuste foi significativa. A concentração de ácido ascórbico com e sem encapsulamento e o tempo de descanso da farinha influenciaram significativamente a elasticidade e estabilidade da farinha. Os pães produzidos com a farinha adicionada de ácido ascórbico com encapsulamento apresentaram performance aceitável durante todo o período de vida útil da farinha.

**Palavras-chave:** *Triticum aestivum*. Oxidantes. Vitamina C. Ácido cítrico. Agente encapsulante. Panificação.

## ABSTRACT

Wheat is a very important cereal in the Bakery Industry due to the high consumption of its derived products. It is responsible for the quality of the wheat flour. The bread roll is the most popular wheat derived product in Brazil, regardless of social classes. Its quality is evaluated according to its external characteristics, such as volume, scoring, color, crunchiness of the crust, and the soft inner part. The results of the evaluation depend on some properties of the matrix of the dough. The most relevant characteristics that determine the quality of the dough are the capacity to retain the carbon dioxide produced in the process of fermentation and a good balance between viscous flow and elastic forces, allowing the bread to adequately expand. Gluten is the dough component which makes the meeting of these requirements possible. In order to guarantee the good performance of bread making, industries use different types of wheat mix, they use additives to improve the flour with the purpose of conditioning the dough and improving its characteristics in the process of its making and its shelf life. The additives used are oxidants, emulsifying, reducers and enzymes. In this experiment we used wheat flower from a mix whose composition is 85% Argentinean wheat and 15% Hard American wheat, as well as ascorbic acid both with and without encapsulation. We studied the influence of the ascorbic acid, which acts as an oxidant, and its addition to the dough causes an increase in the strength of the dough. However, it is very unstable when exposed to oxygen, light and temperature variations, which are inherent to food processing. Its degradation may vary depending on the nature of the food or on the reaction medium; the types and the concentration are influenced by factors that promote degradation. In bread making the challenge is to use ascorbic acid in the flour with lowest cost (smallest dose) such as to obtain good-performance bread throughout all of the flour's shelf-life. To minimize instability, an alternative is to make use of encapsulated ascorbic acid. We studied the influence of the addition of various concentrations of ascorbic acid- both the regular type and the encapsulated type - on the rheological behavior of wheat flour, and its impact on the volume of French bread throughout the flour's shelf-life. This evaluation was performed according to two main composed plans ( $2^2$ ). The objective of the experimental plan for this research work was to produce an analysis of factors to assess their influence in the variation of the specific volume of the French bread, in the value of elasticity and extensibility of the flour. In both experimental plans, the models obtained for all of the results were well adjusted to coefficients of determination ( $R^2$ ) higher than 90%, except for the case of the elasticity, for which the lack of adjustment was significant. The concentration of ascorbic acid with and without encapsulation as well the time of rest of the flour significantly influenced the elasticity and stability of the flour. The bread produced with the flour that had encapsulated ascorbic acid added to it presented an acceptable performance during all of its shelf-life.

**Keywords:** *Triticum aestivum*. Oxidants. Vitamin C. Ascorbic acid. Encapsulating agent. Bakery.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - CORTE LONGITUDINAL DE UM GRÃO DE TRIGO .....	18
FIGURA 2 - GLÚTEN E CARACTERÍSTICAS DE SEUS COMPONENTES .....	24
FIGURA 3 - MICROESTRUTURA DO GLÚTEN.....	24
FIGURA 4 - FÓRMULAS ESPACIAIS ÁCIDO ASCÓRBICO (A), ÁCIDO L-DEHIDROASCÓRBICO (B).....	30
FIGURA 5: MICROCÁPSULA: O AGENTE ATIVO.....	32
FIGURA 6 - REDE DE GLÚTEN EVIDENCIADA EM DIVERSAS FASES DA MISTURA (A) INÍCIO DO PROCESSO DE MISTURA, HIDRATAÇÃO AINDA PARCIAL; (B) MASSA PARCIALMENTE MISTURADA (C) MASSA NA FASE DE DESENVOLVIMENTO MÁXIMO .....	34
FIGURA 7 - MASSA APRESENTANDO REDE DE GLÚTEN DESENVOLVIDA FORMANDO UM VÉU .....	35
FIGURA 8 - MASSA MISTURADA NO TEMPO ADEQUADO (A); .....	36
FIGURA 9 – PERFIS DE TEMPERATURA DO PÃO FRANCÊS DURANTE O ASSAMENTO .....	40
FIGURA 10 - ALVEOGRAMA (INTERPRETAÇÃO) .....	44
FIGURA 11 - ALVEOGRAMAS DE DIVERSOS TIPOS DE FARINHAS .....	44
FIGURA 12 - INTERPRETAÇÃO DO FARINOGRAMA.....	45
FIGURA 13 - FARINOGRAMAS DE DIVERSOS TIPOS DE FARINHA .....	46
FIGURA 14 - ESQUEMA DE UM PROCESSO.....	48
FIGURA 15 - PLANEJAMENTO COMPOSTO CENTRAL (A) DOIS FATORES; (B) TRÊS FATORES.....	53
FIGURA 16 - MISTURADOR EM Y.....	57
FIGURA 17 - GLUTOMATIC (A); GLÚTEN (B).....	60
FIGURA 18 - <i>FALLING NUMBER</i> .....	61
FIGURA 19 - ALVEÓGRAFO.....	62
FIGURA 20 - FARINÓGRAFO (A) ; FARINOGRAMA (B) .....	63
FIGURA 21 - MEDIDOR DE VOLUME DE PÃO.....	67
FIGURA 22 - FOTOGRAFIA DOS PÃES ELABORADOS COM FARINHA BASE .....	74
FIGURA 23 -SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DO VOLUME ESPECÍFICO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE DESCANSO DA FARINHA E A CONCENTRAÇÃO DE ÁCIDO ASCÓRBICO SEM ENCAPSULAMENTO E ÁCIDO ASCÓRBICO ENCAPSULADO.....	78
FIGURA 24 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DA EXTENSIBILIDADE EM FUNÇÃO DO TEMPO DE DESCANSO DA FARINHA E A CONCENTRAÇÃO DE ÁCIDO ASCÓRBICO SEM ENCAPSULAMENTO E ÁCIDO ASCÓRBICO ENCAPSULADO.....	81
FIGURA 25 - ALVEOGRAMAS DA FARINHA COM ADIÇÃO DE 200 PPM DE ÁCIDO ASCÓRBICO SEM E COM ENCAPSULAMENTO EM FUNÇÃO DO TEMPO.....	83
FIGURA 26 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DA ESTABILIDADE EM FUNÇÃO DO TEMPO DE DESCANSO DA FARINHA E A CONCENTRAÇÃO DE ÁCIDO ASCÓRBICO SEM ENCAPSULAMENTO E ÁCIDO ASCÓRBICO ENCAPSULADO .....	85
FIGURA 27 - FARINOGRAMAS DA FARINHA COM ADIÇÃO DE 200 PPM DE ÁCIDO ASCÓRBICO SEM E COM ENCAPSULAMENTO EM FUNÇÃO DO TEMPO.....	86
FIGURA 28 - FOTOGRAFIA DOS PÃES COM 200 PPM DE ÁCIDO ASCÓRBICO COM E SEM ENCAPSULAMENTO COM 60 DIAS.....	88
FIGURA 29 - FOTOGRAFIA DOS PÃES COM 200 PPM DE ÁCIDO ASCÓRBICO COM E SEM ENCAPSULAMENTO COM 102 DIAS.....	88

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1- INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 38, DE 30/11/10 - M.APA. - CLASSIFICAÇÃO DO TRIGO.....	19
TABELA 2 - INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 38, 30/11/10 - M.APA. -TIPIFICAÇÃO DO TRIGO ...	19
TABELA 3 - COMBINAÇÕES DE ALGUNS ESQUEMAS FATORIAIS COMPLETOS.....	50
TABELA 4 - COMBINAÇÕES DE ESQUEMAS FATORIAIS COM DOIS FATORES.....	51
TABELA 5 – VALORES DIFERENTES PARA $\Sigma$ .....	54
TABELA 6 - NÍVEIS CODIFICADOS E DECODIFICADOS DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL DCCR DO ÁCIDO ASCÓRBICO ENCAPSULADO E NÃO ENCAPSULADO .....	56
TABELA 7 - FORMULAÇÃO E PARÂMETROS PARA PÃO FRANCÊS.....	65
TABELA 8 - MÉDIA DE RESULTADOS DE ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DA FARINHA BASE.....	68
TABELA 9 – MÉDIA DE ANÁLISES REOLÓGICAS – ALVEOGRAFIA DA FARINHA BASE.....	71
TABELA 10 – MÉDIA DE ANÁLISE REOLÓGICA – FARINOGRAFIA DA FARINHA BASE.....	72
TABELA 11 – MÉDIA DE VOLUME E ANÁLISE SENSORIAL DO PÃO FEITO COM A FARINHA BASE.....	73
TABELA 12 - RESULTADOS DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL 2 <sup>2</sup> SEM E COM ENCAPSULAMENTO DO ACIDO ASCÓRBICO. ....	74
TABELA 13 - EFEITO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES SOBRE AS VARIÁVEIS DEPENDENTES (VOLUME ESPECÍFICO; ELASTICIDADE; EXTENSIBILIDADE E ESTABILIDADE).....	77
TABELA 14 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA A VARIÁVEL VOLUME (ÁCIDO ASCÓRBICO SEM E COM ENCAPSULAMENTO) A VARIÁVEL VOLUME.....	79
TABELA 15 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA); ELASTICIDADE (ÁCIDO ASCÓRBICO SEM E COM ENCAPSULAMENTO).....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
TABELA 16 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA); EXTENSIBILIDADE (ÁCIDO ASCÓRBICO SEM E COM ENCAPSULAMENTO) .....	82
TABELA 17 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA); ESTABILIDADE (ÁCIDO ASCÓRBICO SEM E COM ENCAPSULAMENTO).....	85
TABELA 18 - RESULTADOS DA PANIFICAÇÃO EXPERIMENTAL.....	86

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

(-S-H-)	GRUPO SULFIDRILO
(-S-S-)	LIGAÇÕES DISSULFÍDRICAS
AA	ÁCIDO ASCÓRBICO
AACC	AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS
AAENC	ÁCIDO ASCÓRBICO ENCAPSULADO
AASEN	ÁCIDO ASCÓBICO SEM ENCAPSULAMENTO
ABIA	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTAÇÃO
ABIMA	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE MASSAS
ABIP	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PANIFICAÇÃO E CONFEITARIA
ABITRIGO	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO TRIGO
ADA	AZODICARBONAMIDA
ANOVA	ANÁLISE DE VARIÂNCIA
ANVISA	AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA
AOAC	AMERICAN OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS
BPF	BOAS PRÁTICAS DE FABRICAÇÃO
C	CONCENTRAÇÃO DE ÁCIDO ASCÓRBICO
CO <sub>2</sub>	DIÓXIDO DE CARBONO
CONAB	COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO
Da	DALTON
DCCR	DELINEAMENTO COMPOSTO CENTRAL ROTACIONAL
DHAA	ÁCIDO DIHIROASCÓRBICO
L	EXTENSIBILIDADE
FAEP	FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA DO ESTADO DO PARANÁ
FAO	ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO
G	ÍNDICE DE INTUMESCIMENTO
GL	GRAU DE LIBERDADE
HMW-GS	SUBUNIDADES DE GLUTENINAS DE ALTO PESO MOLECULAR
ICC	INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL CHEMISTRY
Ie	ÍNDICE DE ELASTICIDADE
ITM	ÍNDICE DE TOLERÂNCIA Á MISTURA
KDa	KILO DALTON
LMW-GS	SUBUNIDADES DE GLUTENINAS DE BAIXO PESO MOLECULAR
MAPA	MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO
MQ	MÉDIA QUADRÁTICA
MQR	MÉDIA QUADRÁTICA DO ERRO
MS	MINISTÉRIO DA SAÚDE
MSR	METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA
NS	NÃO SIGNIFICATIVO
OMS	ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE
P	ELASTICIDADE / TENACIDADE
PE	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL
pH	PESO HECTOLÍTRICO
RDC	RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA – ANVISA
RPM	ROTAÇÕES POR MINUTO

SVS	SECRETARIA DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA
T	TEMPO DE DESCANSO
TDM	TEMPO DE DESENVOLVIMENTO DA MASSA
UB	UNIDADES BRABENDER
VE	VOLUME ESPECÍFICO
VITAMINA C	ÁCIDO ASCÓRBICO
V	VOLUME DO PÃO

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	PERCENTUAL
°C	GRAUS CELSIUS
μm	MICRON
e	ERRO
g	GRAMA
Kg	KILOGRAMA
M	MOLAR
Min	MINUTO
ml	MILILÍTRO
mm	MILÍMETRO
Nm	NANÔMETRO
ppm	PARTES POR MILHÃO
R <sup>2</sup>	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO
X	VARIÁVEIS INDEPENDENTES
Y	VARIÁVEIS RESPOSTAS
α	NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA
β	COEFICIENTE DE REGRESSÃO
v	GRAU DE LIBERDADE

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO</b> .....	17
<b>2.1</b>	<b>Trigo</b> .....	17
<b>2.2</b>	<b>Pão</b> .....	20
<b>2.3</b>	<b>Composição da massa de pão</b> .....	20
2.3.1	Farinha de trigo .....	20
2.3.2	Água .....	25
2.3.3	Fermento .....	25
2.3.4	Açúcar .....	26
2.3.5	Cloreto de sódio.....	27
2.3.6	Agentes oxidantes .....	27
<b>2.4</b>	<b>Processo de produção de pão francês</b> .....	33
2.4.1	Pesagem e mistura dos ingredientes .....	33
2.4.2	Descanso, divisão e modelagem .....	36
2.4.3	Fermentação .....	37
2.4.5	Corte da superfície .....	39
2.4.6	Assamento .....	39
<b>2.5</b>	<b>Interações na massa e no pão assado</b> .....	41
<b>2.6</b>	<b>Técnicas de análise</b> .....	42
2.6.1	Alveografia .....	43
2.6.2	Farinografia .....	45
<b>2.7</b>	<b>Qualidade da massa do pão</b> .....	47
<b>2.8</b>	<b>Modelagem estatística</b> .....	48
2.8.1	Planejamento experimental e fatorial .....	48
2.8.2	Metodologia de superfície de resposta (MSR) .....	52
2.8.3	Delineamento composto central rotacional (DCCR) .....	53
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	54
<b>3.1</b>	<b>Materiais</b> .....	54
<b>3.2</b>	<b>Métodos</b> .....	54
3.2.1	Coleta das amostras .....	55
3.2.2	Planejamento experimental .....	55
3.2.3	Aditivação das amostras de farinha .....	57
3.2.4	Armazenamento das amostras de farinha .....	58
3.2.5	Análises físico-químicas e reológicas da farinha .....	58
3.2.6	Teste de panificação .....	64
3.2.7	Análise do volume específico do pão .....	66
3.2.8	Análise sensorial do pão .....	67
3.2.9	Análise estatística .....	67

<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	68
<b>4.1</b>	<b>Farinha de trigo base</b> .....	68
4.1.1	Análise físico-química .....	68
4.1.2	Análises reológicas .....	70
4.1.3	Panificação experimental – análise de volume específico do pão e análise sensorial .....	73
<b>4.2</b>	<b>Planejamento experimental DCCR para ácido ascórbico com e sem encapsulamento</b> .....	74
4.2.1	Efeito da concentração do ácido ascórbico com e sem encapsulamento sobre o volume específico do pão .....	75
4.2.2	Efeito da concentração do ácido ascórbico com e sem encapsulamento sobre a elasticidade da farinha .....	79
4.2.3	Efeito da concentração do ácido ascórbico com e sem encapsulamento sobre a extensibilidade da farinha .....	81
4.2.4	Efeito da concentração do ácido ascórbico com e sem encapsulamento sobre a estabilidade da farinha .....	84
<b>4.3</b>	<b>Panificação experimental</b> .....	86
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	89
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	90
	<b>ANEXOS</b> .....	108

## 1 INTRODUÇÃO

O trigo está presente há cerca de 10 mil anos na história da humanidade, segundo Mondal e Datta (2008), foi cultivado pela primeira vez, entre os rios Tigre e Eufrates, na antiga Mesopotâmia (atual Iraque), chegou às terras brasileiras em 1534, trazido por Martim Afonso de Souza, que desembarcou na capitania de São Vicente. É uma das culturas mais importantes a nível mundial, considerado como um cereal de alto valor nutricional básico na alimentação humana, sua farinha é muito utilizada na indústria alimentícia. É o segundo cereal enquanto produção mundial (AGROSAFRA, 2014), porém, é o primeiro no que se refere à superfície cultivada e a intercâmbios comerciais, destacando-se China, Estados Unidos, Canadá, Argentina, Índia, Rússia e União Europeia como regiões produtoras (ALONSO, 2008). Como matéria-prima pode ser considerado responsável pela qualidade da sua farinha, considerando-se a diversidade das variedades de grãos existentes, bem como as condições de clima e solo de cada região, a sua qualidade tem uma relação direta com a qualidade do produto final, no qual ele é utilizado. É o único cereal que possui proteínas com capacidade para formar massa, esta capacidade está relacionada à formação do glúten que tem um papel muito importante na qualidade tecnológica do trigo, pois, a viscoelasticidade de sua massa, permite a formação de bolhas de ar estáveis, que são essenciais para expansão da massa (MACRITCHIE, 2016; GIANIBELLI *et al.*, 2001). O trigo tem grande importância na panificação, devido ao seu alto consumo na forma de farinha, usado em pães, massas, biscoitos e bolos (SCHEUER *et al.*, 2011). Como o trigo, é o cereal mais importante na elaboração do pão, o estudo das suas características e aplicações é de grande importância.

No Brasil, 56% da farinha é vendida para o segmento de panificação (ABITRIGO, 2017), o que demanda farinhas com características de farinha forte, rica em proteínas de boa qualidade, que permitam obter uma massa com boa consistência e boa tolerância à fermentação. O que define a qualidade de uma farinha para panificação é seu teor de proteínas, especialmente, a quantidade e qualidade do glúten e o resultado final do pão principalmente no caso do pão francês.

O pão francês, é o pão de maior preferência em todas as classes sociais do Brasil. É um produto fermentado, que é preparado com farinha de trigo, sal, e água, caracteriza-

se por ter casca crocante de cor castanho-dourada e miolo de cor branco-creme, de textura e granulação fina não uniforme. Geralmente, a qualidade do pão é avaliada em função de suas características externas, como volume, formação de pestana, cor, crocância da crosta e perfil do miolo, porém, estes resultados dependem de algumas propriedades da matriz da massa. As características mais importantes e que definem uma boa massa, são a capacidade de reter o dióxido de carbono gerado durante a fermentação e um bom equilíbrio entre as forças elasticidade/extensibilidade. Estas características permitem que o pão se expanda de forma adequada e mantenham sua forma arredondada nos estágios iniciais do cozimento. O glúten formado é o componente da massa que permite que estes requisitos sejam alcançados (CAUVIN *et al.*, 2009).

Para garantir uma boa performance de panificação a um custo mais moderado, as indústrias moageiras usam mesclas de trigo com características distintas, geralmente um trigo comum mesclado com um trigo melhorador, de forma a obter um trigo que atenda este segmento. Ainda como forma de suprir a deficiência em alguma característica da farinha, as indústrias utilizam aditivos melhoradores de farinha, que têm a função de condicionar a massa e melhorar as suas características durante o amassamento, assamento, qualidade sensorial e vida de prateleira. Estes aditivos podem ser oxidantes, redutores emulsificantes e enzimas (BARRERA *et al.*, 2015), neste trabalho foi usado o agente oxidante ácido ascórbico. Geralmente os agentes oxidantes mais usados na panificação são: ácido ascórbico, azodicarbonamida e bromato de potássio (ROSELL *et al.*, 2003 citados por DAGDELEN e GOCMEN, 2007), eles reagem de forma similar, mas, seus efeitos são diferentes, considerando o estágio em que cada um reage durante o processo de fabricação do pão (RASIAH *et al.*, 2005; TILLEY *et al.*, 2001).

O ácido ascórbico é o agente oxidante mais utilizado no Brasil, quimicamente ele é um antioxidante, mas, na massa atua como oxidante através do mecanismo de oxidação das proteínas, pela entrada de oxigênio na etapa de mistura da massa. Sua adição à farinha causa o aumento da força da massa, aumento do volume do pão e melhoria da estrutura do miolo (JUNQUEIRA *et al.*, 2008).

O grande problema do ácido ascórbico na indústria de alimentos é a sua instabilidade devido a fatores inerentes ao processamento dos alimentos, como temperatura, oxigênio, pH e presença de íons metálicos. (DAMODARAM, PARKIN e

FENNEMA, 2010). Na panificação o desafio é usar o ácido ascórbico na farinha com o menor custo (menor dosagem) de forma a obter pães com boa performance durante toda a vida útil da farinha. Em função da instabilidade do ácido ascórbico, uma alternativa é usar o ácido ascórbico encapsulado, como forma de preservar suas características e seu efeito. A microencapsulação é uma técnica bastante utilizada, para proteger componentes ativos contra fatores, que podem causar a sua degradação, melhorando a estabilidade e contribuindo para liberação controlada.

O presente trabalho de pesquisa teve como objetivo geral, estudar a influência da adição de ácido ascórbico encapsulado e não encapsulado sobre o comportamento reológico de farinhas de trigo e sua atuação no volume do pão francês, procurando uma alternativa viável, que auxilie os fabricantes de farinha de trigo na elaboração das formulações de farinhas para panificação, e de modo detalhado atingir os seguintes objetivos específicos:

- Realizar dois planejamentos experimentais, um para o ácido ascórbico encapsulado e outro para o ácido ascórbico não encapsulado;
- Determinar o efeito principal de cada variável independente sobre as variáveis respostas: volume específico do pão ( $V_e$ ), elasticidade da farinha ( $P$ ), extensibilidade da farinha ( $L$ ) e estabilidade.
- Analisar através dos planejamentos fatoriais qual dosagem de ácido ascórbico, permite obter pão francês dentro da especificação técnica de volume específico, durante a vida útil da farinha de trigo.
- Realizar análise sensorial de pães, feitos com farinha adicionada de ácido ascórbico com e sem encapsulamento, durante toda a vida útil da farinha.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO

### 2.1 Trigo

O trigo é um cereal muito importante para a economia global, por ser um dos três cereais mais cultivados no mundo, os de maior cultivo são o arroz e o milho respectivamente (CONAB, 2017). No Brasil a produção de trigo na safra 2015/2016 foi de 5.534 milhões de toneladas e o consumo na moagem industrial foi de 10.000 milhões de toneladas, para suprir a demanda houve importação de 5.517 milhões de toneladas (ABITRIGO, 2017).

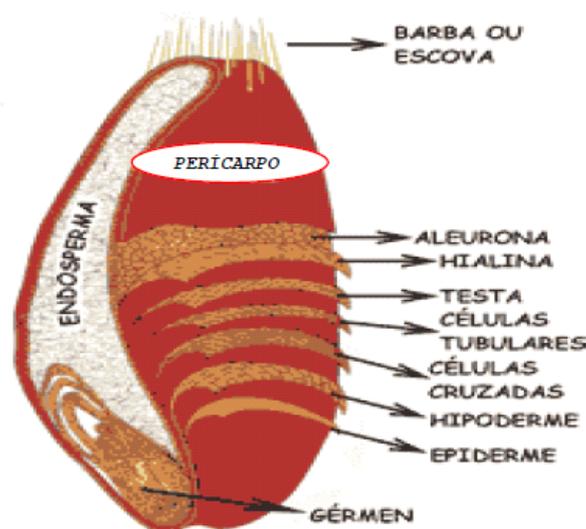
A palavra “trigo” é originada do vocábulo latino *triticum*, que significa quebrado, triturado, o nome está associado à atividade que é realizada para separar o grão de trigo da camada que o reveste. Este termo é usado tanto para a planta como para as sementes comestíveis dela originadas (LÉON, 2007).

O trigo, pertencente à família *Poaceae*, subfamília *Pooideae* e ao gênero *Triticum*, é classificado, de acordo com o número de cromossomos: *Triticum monococcum* com 14 cromossomos, *Triticum durum* com 28 cromossomos e *Triticum aestivum*, que é o trigo comum com 42 cromossomos (POPPER *et al.*, 2006). Estas variedades de trigo apresentam características distintas em relação a aparência física, produtividade, resistência a doenças, adaptabilidade a solos ácidos, condições climatológicas, conteúdo de endosperma, proporção de proteínas e qualidade das proteínas (CONAB, 2017).

Suas propriedades funcionais estão relacionadas entre os diversos fatores ambientais e os diferentes genótipos (GEORGET *et al.*, 2005) também, na qualidade de processamento do trigo, como preparação e moagem dos grãos e na elaboração dos produtos (CARCEA *et al.*, 2006), mais especificamente nas características visco-elásticas do glúten. Estruturalmente, o grão de trigo (Figura 1) possui uma única semente, por isso é um cariópside (HOSENEY, 1991), com 6 a 8 milímetros de comprimento e 3 a 4 milímetros de largura, em que o gérmen e os tricomas se encontram em extremidades opostas (QUAGLIA, 1991). Possui um sulco ao longo de toda a extensão longitudinal da parte do ventre, do lado oposto ao do gérmen (HOSENEY, 1991), que torna difícil a extração da farinha apenas com processo abrasivo, utilizado para eliminar as camadas externas ao endosperma. Por esta razão o

processo de moagem do grão ocorre em sucessivas triturações (CHEFTEL & CHEFTEL, 1999).

O grão de trigo (Figura 1) é constituído, basicamente, por pericarpo (7,8 a 8,6%), endosperma (87 a 89%) e gérmen (2,8 a 3,5%) (Quaglia, 1991).



**Figura 1** - Corte longitudinal de um grão de trigo

Fonte: Hosenev (1998)

O pericarpo ou casca é rico em fibras e sais minerais (ATWELL, 2001), é a camada mais externa e sua função é proteger o grão (POPPER *et al.*, 2006). O gérmen é formado por duas partes principais: o eixo embrionário (raiz e talo rudimentares) e o escutelo, que exerce a função de armazenamento de nutrientes. É rico em proteínas, açúcares, gorduras, vitaminas e minerais e é responsável pelo desenvolvimento da nova planta (HOSENEY, 1991; QUAGLIA, 1991). O endosperma é uma matriz proteica, e nele está contido o amido (HADDAD *et al.*, 2001), ou seja, o endosperma é a farinha de trigo branca propriamente dita (HOSENEY, 1991).

No Brasil existe cultivares de trigo adaptados e com grande força de glúten, os quais são denominados melhoradores (BRASIL, 2010), conforme mostrado nas Tabelas 1 e 2. As avaliações físicas, reológicas e funcionais dos trigos são muito importantes para a indústria de panificação, são fundamentais, pois, permitem definir a proporção que deverá ser utilizada nas mesclas de trigos e de farinhas (RAO e RAO, 1993 citado

por GUTKOSKI *et al.*, 2007), adequando o trigo ou a farinha ao segmento a que se destina.

**Tabela 1-** Instrução Normativa nº 38, de 30/11/10 - M.APA. - Classificação do Trigo

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

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

**Tabela 2 -** Instrução Normativa nº 38, de 30/11/10 - M.APA. - Tipificação do Trigo

Tipos do trigo do Grupo II destinado à moagem e a outras finalidades

Tipos	Peso Hectolítrico (Valor mínimo)	Matérias Estranhas e Impurezas (%máximo)	Defeitos (% máximo)			Total de Defeitos (% máximo)
			Danificados por insetos	Danificados pelo calor, Mofados e Ardidos	Chochos, Triguilhos e Quebrados	
<b>1</b>	78	1,00	0,50	0,50	1,50	2,00
<b>2</b>	75	1,50	1,00	1,00	2,50	3,50
<b>3</b>	72	2,00	2,00	2,00	5,00	7,00
<b>Fora de tipo</b>	Menor que 72	Maior que 2,00	Maior que 2,00	Maior que 2,00	Maior que 5,00	Maior que 7,00

## 2.2 Pão

Pão é o produto obtido pela cocção, em condições tecnologicamente adequadas, de uma massa que pode ser fermentada ou não, preparada com farinha de trigo e ou outras farinhas que contenham naturalmente proteínas formadoras de glúten ou adicionadas das mesmas e água, podendo conter outros ingredientes (Resolução - RDC nº 90, de 18 de outubro de 2000). Os Egípcios foram os primeiros povos a consumir pão, o qual está presente desde os primórdios da vida do homem, em muitos países é considerado o alimento mais básico da dieta (MONDAL e DATTA 2008; BRITES *et al.*, 2011). Ao longo do tempo o pão ganhou novas formas, formulações, processos, estes avanços tecnológicos, em busca de uma melhor qualidade proporcionaram a agregação ou substituição de ingredientes, como, agentes oxidantes, agentes redutores, emulsificantes e enzimas (CANELLA- RAWLS, 2012).

## 2.3 Componentes da massa de pão

Pães, são produtos feitos com farinha de trigo e / ou outras farinhas, adicionados de um líquido, sal, podem ser fermentados ou não e são submetidos a cocção. Podem conter outros ingredientes como gordura, açúcares, emulsificantes, agentes oxidantes, agentes redutores e enzimas, com a finalidade de melhorar as características da massa durante o processamento e do produto final (SOUSA, 2012). Podem apresentar cobertura, formato e textura diversos, conforme anexo (Brasil, 2005). O processo de fabricação do pão, apesar de ser muito antigo é um exemplo de biotecnologia que envolve a aplicação de leveduras e enzimas (KNIGHT; MAZZIERO, 2000). O pão francês é o tipo mais consumido no Brasil, é um pão simples produzido a partir de uma mistura de farinha de trigo, água, fermento e sal (TWEED, 1983). Um pão francês de boa qualidade apresenta textura crocante, miolo compacto com alvéolos de tamanho regular, cor dourada e deve ser consumido preferencialmente após a fabricação para manter todas as suas características.

### 2.3.1 Farinha de trigo

A farinha de trigo é o principal ingrediente da massa de pão, é obtida a partir da espécie de *Triticum aestivum* ou de outras espécies do gênero *Triticum*, através de processo de moagem do grão de trigo beneficiado (OWENS, 2001). A composição da

farinha de trigo varia com o tipo de trigo, com as condições de crescimento do trigo, e com o grau de extração obtido no processamento de conversão do trigo em farinha (AQUINO, 2012). Portanto, a qualidade de farinha depende, da variedade e do tipo de trigo, do processo, dos aditivos agregados, bem como do conteúdo de cinzas, de proteínas e qualidade do glúten (MORENO, 2012).

O amido é o componente mais abundante na farinha de trigo, representa aproximadamente 65% a 70% da sua composição. É formado por 23% a 25% de amilose e 72% a 75% de amilopectina, que quando misturados com água e aquecidos a temperaturas acima de 60°C, formam uma pasta viscosa e transparente devido ao processo de gelatinização e ao resfriar, as moléculas de amilose, agrupam-se através de pontes de hidrogênio formando micro cristais, esse fenômeno é chamado de retrogradação do amido. Durante o processo de moagem alguns grânulos de amido são danificados e este amido danificado absorve quatro vezes mais água que o amido intacto, a maior afinidade com água ocorre devido à maior área superficial (TAO *et al.*, 2016). Além disso a massa com um alto nível de amido danificado torna-se mais viscosa e resistente a deformações (BARRERA e RIBOTA, 2015). O amido apresenta grande importância na formação do miolo do pão, também, é fonte de açúcares que são formados pela quebra da sua cadeia, tornando-se substrato para a levedura durante o processo de fermentação (CAUVIN *et al.*, 2009).

A farinha de trigo contém pentosanas, que são polissacarídeos não amiláceos e representam apenas de 2 a 2,5% da composição da farinha, mas, têm grande influência sobre as propriedades da massa. Podem ser chamadas de hemiceluloses, porque junto com a celulose formam a parede celular das células do vegetal, mas, é mais frequente serem chamadas de pentosanas, devido a 80% dos seus açúcares serem as pentoses – xilose e d-arabinose.

A farinha de trigo apresenta cerca de 2,5% de lipídios, dos quais, 1% são não polares (triglicéridos, diglicéridos, ácidos graxos livres e ésteres de esteróis) e dois grupos de lipídios polares, os glicéridos de galactosilo (0,6%) e fosfolipídios (0,9%). Durante o processo de mistura as duas classes de lipídios, são complexados com o glúten e tornam-se não extraíveis com qualquer dos solventes usuais (DANIELS *et al.*, 1976; DANELLI *et al.*, 2010). GROSSKREUTZ, (1961) através de análise de raio-X observou espaçamentos que indicam a presença de camadas bimoleculares de lipídios

polares do complexo de glúten e os lipídios polares têm sido propostos como agentes adesivos entre os grânulos de amido e proteína do glúten em vários outros modelos (CHUNG, 1986). Lipídios têm uma grande influência no processo de panificação de pães de forma e de pães macios, especialmente durante o cozimento (volume do pão) e auxiliam na manutenção da qualidade do produto acabado conferindo maciez aos pães (SROAN; MACRITCHIE, 2009).

As proteínas correspondem aproximadamente a 12% da composição da farinha de trigo, são divididas em dois grupos, um deles formado pelas albuminas e globulinas, representando 15% das proteínas totais e outro formado pela gliadina e glutenina que correspondem aos 85% restantes e que são responsáveis pela formação do glúten. Entre os componentes da qualidade do trigo, o glúten (formado pelas proteínas de reserva do grão) é o constituinte que proporciona a maior contribuição na determinação do uso industrial. A presença das proteínas do glúten na farinha de trigo é a característica que faz, com que seja apropriada ou não, à elaboração de produtos panificáveis fermentados (BUSHUK, 1998, citado por WANG *et al.*, 2007). O impacto da composição da farinha de trigo em termos de proteínas, bem como, a relação glutenina/gliadina foi estudado por MCCANN, LE GALL, DAY (2016).

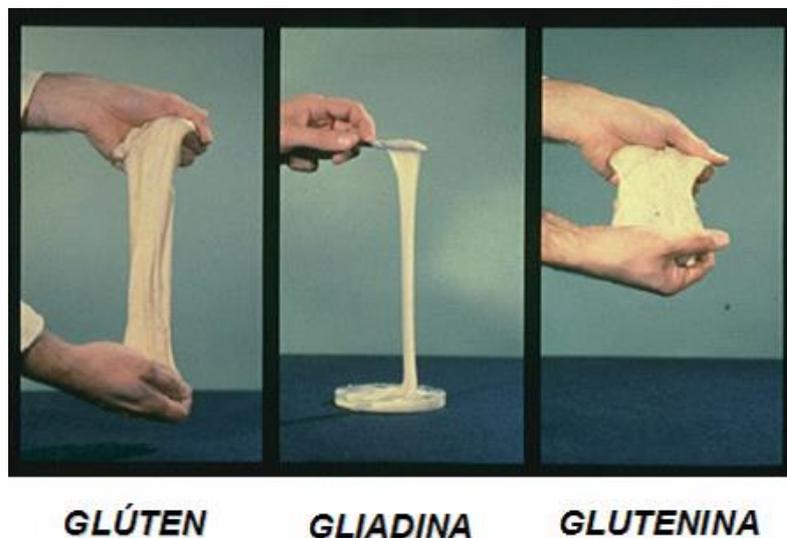
Durante o processo de panificação, as proteínas do glúten são responsáveis, entre os componentes da farinha de trigo, pela formação de uma rede visco-elástica que permite dar forma ao pão, à medida que sustenta o gás produzido pela fermentação. Estas proteínas de reserva estão presentes no endosperma da semente e são as principais responsáveis pela qualidade de panificação (BUSHUK, 1998, citado por WANG *et al.*, 2007). As proteínas podem ser classificadas de acordo com a sua solubilidade (OSBORNE, 1907) e estrutura molecular (KREIS e SHERAY *et al.*, 1985). Quanto à solubilidade segundo o estudo de OSBORNE (1907) (OSBORNE, 1924 citado por GOESAERT *et al.*, 2005), as proteínas dos grãos de cereais podem ser classificadas nos seguintes grupos: albuminas (solúveis em água e tampões diluídos), globulinas (não solúveis em água e solúveis em solução salina diluída), gliadinas (solúveis em solução de álcool etílico 70 a 90%) e gluteninas (solúveis em ácidos ou bases diluídas).

Quanto à estrutura molecular é possível dividir as proteínas do trigo em dois principais grupos: Proteínas monoméricas e poliméricas (MACRITCHIE e LAFIANDRA, 1997). As proteínas monoméricas apresentam cadeias com ligações

simples e apresentam apenas ligações dissulfídicas intramoleculares. Deste grupo fazem parte as albuminas, globulinas e as gliadinas. As albuminas e globulinas apresentam baixo peso molecular, a maioria são enzimas, além de apresentarem baixa quantidade de ácido glutâmico e alta lisina, diferente do glúten (MACRITCHIE e LAFIANDRA, 1997; GIANIBELLI *et al.*, 2001). As gliadinas são prolaminas, apresentam alto teor de prolina, estão correlacionadas às características de viscosidade e extensibilidade do glúten, contribuindo parcialmente com a qualidade da panificação, mas, não apresentam efeito direto na qualidade do trigo em termos de força de massa (GIANIBELLI *et al.*, 2001). As proteínas poliméricas são as que apresentam ligações dissulfídicas intramoleculares e intermoleculares formando, cadeias compostas por subunidades. Podemos considerar três classes de proteínas, as albuminas de alta massa molecular, as triticinas e as gluteninas. As triticinas são consideradas globulinas de massa molecular mais alta e as gluteninas são proteínas poliméricas de alta massa molecular, são compostas por dois grupos distintos de subunidades, os de baixa massa molecular (LMW-GS) que variam de 40000 Da a 50000 Da, representam 60% do total das gluteninas e os de alta massa molecular (HMW-GS), variando de 95000 Da a 140000 Da, que embora sejam em menor quantidade são essenciais no processo de panificação, por ser o principal fator determinante da elasticidade do glúten (TATHAM *et al.*, 1985).

As propriedades visco-elásticas da massa do trigo resultantes da estrutura e interações das proteínas do glúten (SHEWRY e TATHAM, 1999 e XU *et al.*, 2007) são extremamente importantes para medir a qualidade da panificação e determinar qual deverá ser o uso final de uma farinha. Para panificação e massas alimentícias é necessário um glúten mais elástico e mais forte, enquanto que para bolos e biscoitos é indicado um glúten menos elástico e mais fraco (DOBRASZCZYK e MORGENSTERN, 2003). A expressão "força de glúten" é utilizada para designar a capacidade mínima ou máxima de uma farinha, quando submetida ao trabalho mecânico de mistura com água, para formação da massa, e a sua associação à maior ou menor capacidade de absorção de água pelas proteínas formadoras de glúten, têm capacidade de retenção do gás carbônico, resultando desta forma, em pães de volume aceitável, textura interna sedosa e granulometria aberta (TIPPLES, 1982). A gliadina possui uma alta extensibilidade e baixa elasticidade (Figura 2), enquanto a glutenina possui alta elasticidade e baixa extensibilidade (Figura 2), desta forma, fornecem ao glúten, propriedades visco-elásticas (Figura 2) que combinam os extremos de ambas as

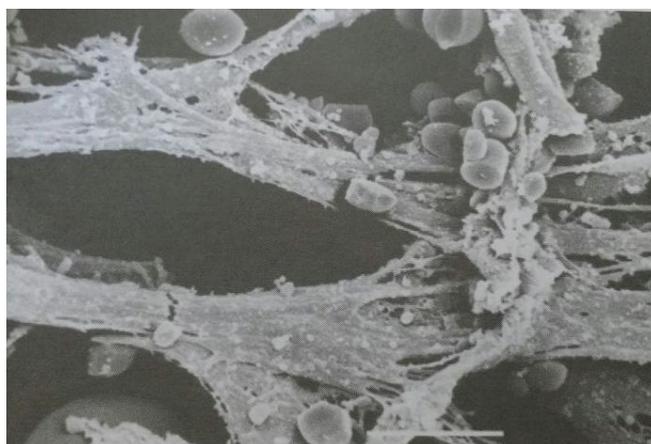
proteínas, ou seja, uma estrutura extensível e elástica (EL-DASH, 1990 e STAUFFER, 1998).



**Figura 2** - Glúten e características de seus componentes

Fonte: FENNEMA, 1996

A microestrutura do glúten de trigo é composta por fibrilas/bandas proteicas, com grânulos de amido aderidos à matriz de proteína conforme Figura 3 (FENEMA, 2010)



**Figura 3** - Microestrutura do glúten de trigo

Fonte: (FENNEMA 2010)

O glúten é desenvolvido quando a farinha é combinada a água e a mistura é submetida ao batimento mecânico. É responsável pela elasticidade, extensibilidade, e retenção de gás na massa formada, é constituído por uma massa visco-elástica tridimensional que proporciona as características físicas e reológicas de plasticidade,

viscosidade e elasticidade importantes para a massa (HAARD, 1992; WIESER, 2007), A qualidade e quantidade do glúten determinam uma forte absorção de água e uma elevada elasticidade da massa do pão, que é muito importante para a retenção do dióxido de carbono durante o processo de fermentação do pão (SALES, 1987; VITTI, 1987; CALDEIRA *et al.*, 2000).

Os grãos de trigo com elevados teores de glúten úmido, tendem a produzir farinhas denominadas fortes, enquanto que, os grãos de trigo com baixos teores de glúten úmido, tendem a obter farinhas denominadas fracas, as quais apresentam baixa elasticidade e baixo teor de proteínas, sendo utilizadas, principalmente, na fabricação de bolachas e biscoitos (FARONI *et al.*, 2007; WIESER, 2007), podem ser utilizadas na panificação, desde que, combinadas com farinhas mais fortes ou adicionadas de melhoradores de farinhas. É a presença das proteínas do glúten na farinha de trigo que a torna apropriada à elaboração de produtos panificáveis fermentados (BUSHUK, 1998, citado por WANG *et al.*, 2007).

### 2.3.2 Água

A água tem uma função muito importante, contribui para a formação do glúten e para a hidratação do amido, das pentosanas e para a consistência da massa. Permite a distribuição uniforme dos ingredientes sólidos, uma vez que os mesmos se solubilizam na água, possibilita a atividade enzimática e ação das leveduras (CAUVIN, 2009; CANELA - RAWES, 2012). A quantidade ideal de água a ser adicionada à massa é determinada através de uma análise de farinografia (STAUFFER, 1998) e está relacionada com a qualidade da farinha de trigo. Farinhas de boa qualidade absorvem mais água, o que interfere diretamente e positivamente no aumento do rendimento da massa e no volume dos pães.

### 2.3.3 Fermento

O fermento utilizado na panificação é a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, o uso de leveduras em alimentos processados é de origem pré-histórica. Este fermento é utilizado há milhares de anos e ainda não se conhece outros meios que possam substituí-lo (PYLER, 1988). Historicamente, foram encontradas muitas espécies de leveduras

*Saccharomyces* mediante diferenças na sua capacidade de fermentar carboidratos, porém, ao longo do tempo evoluiu para uma espécie muito diferente das cepas iniciais e tornou-se especializada na produção rápida de dióxido de carbono e etanol a partir de açúcares. Também produz compostos que contribuem positivamente, para o sabor e o aroma do pão, a partir, de produtos do metabolismo secundário. (PATTISON; HOLY, 2001). Pães produzidos através de processos de longa fermentação obtêm sabor e odor mais acentuado, o que o torna ainda mais característico e mais desejável aumentando a satisfação do consumidor.

Este fermento biológico utilizado na panificação, pode ser apresentado em três tipos: fresco, seco e seco instantâneo (GUARIENTI, 2004). O fermento fresco tem característica de massa prensada, homogênea, pastosa de consistência firme, cor creme clara, cheiro e sabor próprio, umidade máxima de 75% e cinzas de 5%. O fermento biológico seco e seco instantâneo têm características de pó, escamas, grânulos ou cilindros de vários tamanhos, sua cor pode variar de branco a castanho claro, cheiro e sabor próprio e umidade máxima de 12% (BRASIL, 1977). A grande maioria das padarias no Brasil utilizam o fermento prensado, contendo cerca de 25% de água e apresentam-se como uma massa com consistência semelhante a blocos, comprimidos e embalados em plástico ou papel, que precisam ser armazenados sob refrigeração para manter sua qualidade. Para que o fermento possa cumprir seu papel, terá que ser propagado sob condições rigorosas, controladas e definidas, obedecendo todos os critérios estabelecidos, caso contrário, poderão surgir problemas durante o processo fermentativo, comprometendo a qualidade do pão.

#### 2.3.4 Açúcar

A sacarose é o açúcar mais usado na panificação, é obtida da cana-de-açúcar, sua função é melhorar a cor da crosta (reação de Maillard), sabor e aroma do pão, bem como contribuir para a textura e maciez, aumentando a retenção de umidade (PYLER, 1988), é também substrato para a fermentação. A quantidade de açúcar a ser adicionada pode variar de zero a 10%, isso depende do tipo de farinha empregado e do tipo de pão a ser fabricado (CANELLA- RAWS, 2012).

### 2.3.5 Cloreto de Sódio

O cloreto de sódio (sal de cozinha) é usado para conferir sabor à massa, ajuda a controlar a fermentação devido ao efeito osmótico na célula da levedura promovendo menor libertação de gás. Interage no desenvolvimento das estruturas do glúten durante a mistura, contribuindo para melhoria na textura (BELZ *et al.*, 2012).

O sal age primordialmente sobre a formação do glúten uma vez que a gliadina, um de seus componentes tem baixa solubilidade em sal, uma massa feita com água e sal contribui para a formação de uma maior quantidade de glúten de fibras curtas, como produto das forças de atração eletrostáticas que ocorrem na rede formada com o sal, resultando em uma massa rígida e mais compacta (QUAGLIA,1991). Tem propriedade anti-séptica, atua durante a fermentação retardando especialmente as fermentações secundárias dos microrganismos produtores de ácidos, reduz a produção de dióxido de carbono, promovendo uma redução na porosidade do miolo do pão, por isso em alguns casos sua adição é retardada até que a massa esteja parcialmente fermentada.

Em 2011, o Ministério da Saúde e a Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação (ABIA), Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias (ABIMA), Associação Brasileira da Indústria de Trigo (ABITRIGO) e a Associação Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria (ABIP) firmaram Termos de Compromissos, com a finalidade de estabelecer metas nacionais para redução do teor de sódio em alimentos. Para o pão francês ficou acordado que a adição de sal ao produto fosse reduzida progressivamente de 2% para 1,8% até o final de 2014, o que representou uma redução de 10% na quantidade de sódio no produto (ANVISA, 2016).

### 2.3.6 Agentes oxidantes

Para garantir uma boa performance de panificação, as indústrias moageiras e de panificação, como forma de minimizar custo de matéria-prima, adotam a utilização de agentes oxidantes para fortalecer a farinha. O tipo e a quantidade dos melhoradores influenciam as características reológicas das massas (BARRERA *et al.*, 2015; DANNO e HOSENEY 1982).

Agentes oxidantes são considerados melhoradores de farinha e podem ser considerados os produtos de maior importância na tecnologia de panificação. Atuam diretamente sobre a estrutura das proteínas do glúten, oxidando os grupos sulfidrilo (-S-H-) e formando ligações dissulfídicas (-S-S-) entre as cadeias de proteínas, que modificam a reologia da massa aumentando a resistência à extensão reforçando desta forma a rede de glúten. Em função da ação reforçadora dos oxidantes sobre o glúten, a capacidade de retenção de gases é aumentada, o que resulta em pães com maiores volumes. Os agentes oxidantes também aumentam o salto de forno, que é o aumento rápido de volume que ocorre nos primeiros minutos, após a massa entrar no forno (NUNES *et al.*, 2006).

O fortalecimento da rede de glúten, viabilizada pelo uso de agentes oxidantes, contribui para melhorias na qualidade do pão (BARRERA *et al.*, 2015). Os oxidantes mais utilizados na panificação são o ácido ascórbico, a azodicarbonamida e o bromato de potássio que tem seu uso é proibido no Brasil.

O ácido ascórbico é uma substância redutora que atua como oxidante na presença de oxigênio, transformando-se em ácido dehidroascórbico que é um oxidante de ação média, seu teor máximo específico no Brasil é *quantum satis*, o que significa que não é especificado qualquer teor máximo, sendo, no entanto, utilizado de acordo com as boas práticas de fabricação (BPF), em quantidade não superior à necessária para a obtenção do resultado pretendido.

#### 2.3.6.1 Azodicarbonamida (ADA)

A azodicarbonamida (ADA) é um oxidante de ação rápida, atua fortalecendo a massa, isto significa que sua ação se dá durante a mistura, no Brasil seu uso é restrito, seu limite de uso permitido pela Legislação Brasileira é máximo de 40 mg.kg<sup>-1</sup> (BRASIL, 1999; 2004). Segundo Pylar (1988), a ADA é um composto orgânico, proveniente do ácido carbônico, é um agente oxidante de ação rápida e age durante a mistura e formação da massa e apenas na presença de água onde oxida o grupamento sulfidril do glúten, conferindo maior elasticidade a massa. É um composto azo linfático, também conhecido como azo-bis-formida, pertencente à família das amidas, função orgânica caracterizada pela presença de nitrogênio unido diretamente a extremidade

carbonílica da molécula. A principal diferença dos demais oxidantes é o seu poder maturador que possibilita rápida oxidação proteica.

#### 2.3.6.2 Bromato de Potássio

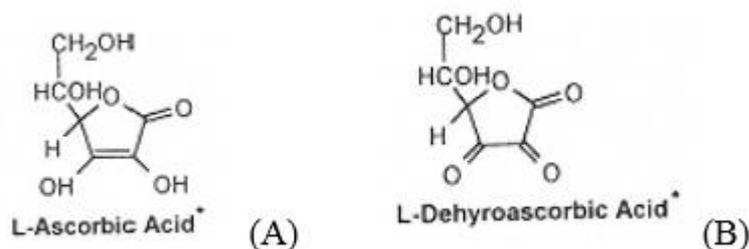
O bromato de potássio é um oxidante halogenado, com velocidade de reação lenta, também reagindo com os grupos tióis, oxidando-os em grupos dissulfeto (PYLER, 1988), sua ação é intensificada com o aquecimento. Segundo Fitchett e Frazier (1987), o maior efeito do bromato sobre os grupos tiol ocorre durante o assamento, no qual a massa é aquecida, a reação de oxidação ocorre com uma temperatura mínima de 40 °C. Alterações na reologia da massa com o uso do bromato, são em pequenas proporções e o seu nível ótimo de uso está na faixa de 20 a 50 ppm. Estudos toxicológicos *in vivo* e *in vitro*, do Comitê Conjunto da FAO/OMS de Peritos em Aditivos Alimentares mostraram que o bromato de potássio poderia ser cancerígeno para humanos, uma vez que estudos evidenciaram sua carcinogenicidade em animais (QUEIROZ, 2014; NARITA *et al*, 2016). Em muitos países não é permitido o uso de bromato de potássio (EMEJE *et al*, 2014), no Brasil a lei nº 10273 de setembro de 2001, proíbe o uso em qualquer quantidade, nas farinhas, no preparo de massas e nos produtos de (BRASIL, 1970; BRASIL, 2001; BRASIL, 2004).

#### 2.3.6.3 Ácido ascórbico (AA)

O ácido ascórbico é uma substância de cor branca, estável em sua forma seca, porém, se oxida com facilidade em solução aquosa, por isso é um bom agente oxidante (ARANHA *et al.*, 2000; FIORUCCI *et al.*, 2003). Está presente em todas as células animais e vegetais, principalmente, na forma livre e também unida às proteínas. É um nutriente essencial, é muito utilizado como aditivo de alimentos. Inibe o escurecimento enzimático de maneira eficaz, tem ação redutora em massas acondicionadas, protege compostos oxidáveis por efeitos redutores da desativação de radicais livres e de oxigênio (FENNEMA; DAMODARAN; PARKIN, 2010).

Além do ácido ascórbico natural, existe também o ácido ascórbico sintético, que é idêntico ao natural, é produzido a partir de uma dextrose (glicose, açúcar de mel, açúcar de milho). Com fórmula química  $C_6H_{12}O_6$  converte-se em L-ácido ascórbico ( $C_6H_8O_6$ ) por reação de oxidação, onde quatro átomos de hidrogênio são removidos para formar duas moléculas de água (COULTATE, 2004).

O ácido ascórbico é uma substância redutora que atua como oxidante na presença de oxigênio. A oxidação de dois elétrons e a dissociação do hidrogênio convertem o L-ácido ascórbico para ácido L-dehidroascórbico (DHAA) (Figura 4), com semelhante atividade de vitamina, pois, é reduzido a AA no organismo quase por completo (FENNEMA; DAMODARAN; PARKIN, 2010).



**Figura 4** - Fórmulas espaciais ácido ascórbico (A),  
ácido L-dehidroascórbico (B)

Fonte: (FENNEMA 2010)

A oxidação do AA pode ocorrer por processos de transferência de elétrons simples ou dupla, sem o intermediário semi-dehidroascorbato (semi-DHAA). Quando acontece a oxidação de um elétron, a primeira etapa envolve a transferência de elétrons para a formação de radicais livres semi-DHAA, com a perda de mais um elétron é obtido o DHAA, que é muito instável devido à sua suscetibilidade à hidrólise da ponte de lactona. Essa hidrólise que forma o ácido 2,3-dicetogulônico de forma irreversível é responsável pela perda de atividade da vitamina C (FENNEMA; DAMODARAN; PARKIN, 2010).

Conforme a Resolução nº 386, de 05 de agosto de 1999, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), o ácido ascórbico, em panificação, é considerado um melhorador de farinha, podendo ser utilizado de acordo com as Boas Práticas de Fabricação (BPF), com limite *quantum satis*, ou seja, em quantidade suficiente para obtenção do efeito desejado (BRASIL, 1999). Com relação à velocidade de reação, segundo PYLER (2008), ele é um agente de velocidade intermediária, por agir nos estágios de mistura e fermentação da massa.

Segundo El-Hady *et al.* (1996) e Fitchett e Frazier (1987) citados por Lopes *et al.* (2007) a quantidade recomendada deste aditivo para a obtenção de um bom desempenho no processamento da massa varia entre 10 e 200 mg.kg<sup>-1</sup> em relação ao peso da farinha. Quando utilizado no pão contribui para a produção de uma rede de glúten mais estável, mais forte e mais elástica, capaz de se expandir sem rupturas durante o crescimento rápido, na fase inicial do assamento (WILLIAMS e PULLEN, 2007). Segundo Sousa (2012), o ácido ascórbico além de melhorador da massa, também melhora as características organolépticas do pão, tornando a porosidade do miolo e a cor mais uniformes.

Segundo Mellado (2003), o ácido ascórbico é mais eficiente que o ADA e tão eficiente quanto o bromato, massas contendo o ácido ascórbico precisam de um maior tempo de mistura do que as que contêm o bromato. O efeito melhorador do ácido ascórbico depende da farinha e do tipo da masseira. Masseiras com fluxo de ar restrito não são adequadas para este aditivo, pesquisas mostram que a ação benéfica deste melhorador está relacionada com a quantidade de ar que é absorvida durante a mistura.

Existem duas teorias para explicar o efeito melhorador do ácido ascórbico. A primeira explica que, o ácido dehidro-ascórbico oxida os grupos tiol das proteínas do glúten, promovendo o estabelecimento de ligações -S-S- entre estes. Como o oxigênio é necessário para este processo, o ácido ascórbico perde a atividade rapidamente após a fase da mistura. Na segunda teoria a ação do ácido ascórbico é proveniente de uma reação em cadeia que leva à rápida remoção da glutatona endógena da farinha. A glutatona na forma reduzida pode ligar-se aos grupos tiol das proteínas do glúten, diminuindo as possibilidades deles, estabelecerem pontes de enxofre entre si, causando assim um enfraquecimento da massa (LEYN, 2006).

O ácido ascórbico é muito instável, por isso, muito propício à degradação favorecida por oxigênio e luz, entre outros fatores. A oxidação é o mecanismo responsável pela maior parte das perdas de ácido ascórbico em alimentos (MORETTI *et al.*, 2003; YAMASHITA *et al.*, 2003; GLIGUEEM; BIRLOUEZ-ARAGON, 2005).

A degradação pode ser reduzida aplicando uma técnica de microencapsulação, que consiste no empacotamento de partículas em uma matriz ou microcápsula comestível, com o objetivo principal de proteger o material encapsulado contra a ação prejudicial de

fatores ambientais, como luz, oxigênio, umidade, entre outros (CLARK, 2002) permitindo desta forma a proteção e veiculação desejada.

#### 2.3.6.4 Ácido ascórbico encapsulado

A microencapsulação é um processo tecnológico que permite o revestimento fino de partículas sólidas, gotas de líquidos e dispersões, com um filme protetor, semelhante a uma membrana que envolve tais partículas (Figura 5). O objetivo é de reduzir as interações da substância de interesse com o ambiente, protegendo o material da luz, da umidade, do oxigênio e de outras condições adversas do meio, promovendo sua estabilização, aumento de vida útil e liberação controlada da cápsula em condições pré-estabelecidas (SHAHIDI; HAN, 1993; DEPYPERE, 2003; ALVIM *et al.*, 2013).



**Figura 5:** Microcápsula: o agente ativo envolvido pelo agente encapsulante  
Fonte: Prozyn (2013)

Na indústria de alimentos a encapsulação tem grande aplicação, existe uma variedade de materiais que podem ser encapsulados, como ácidos, bases, vitaminas, pigmentos, enzimas e micro-organismos (ALVIN *et al.*, 2013).

Na indústria de panificação, a encapsulação é um processo onde um ou mais ingredientes (aditivos, enzimas ou oxidantes), são revestidos por outro composto inerte, formando uma “cápsula”. O material encapsulado é chamado de núcleo, e o material externo que forma a cápsula, é o encapsulante. A liberação do núcleo ocorre no momento adequado, esta propriedade é de extrema importância nos processos de

encapsulação, contribuindo para melhorar a efetividade e redução das doses requeridas de aditivos. A liberação pode ocorrer de diferentes formas, de acordo com o processo no qual será aplicado. Pode ocorrer por ruptura mecânica, pela ação da temperatura, através da ação do pH, pela solubilidade no meio, por biodegradação ou por difusão. Na indústria de alimentos, microcápsulas que contêm compostos responsáveis pelo implemento de aroma e sabor, corantes, acidulantes, enzimas e conservantes, têm sido cada vez mais empregados (PROZYN, 2017).

## **2.4 Processo de produção de pão francês**

A base da panificação é a combinação de farinha de trigo com água e batimento mecânico, de modo a formar uma massa elástica, sendo este o primeiro passo (BUSHUK, 1985; HOSENEY, 1985; QUEIROZ, 2014).

Os processos convencionais utilizados na fabricação de pão podem ser divididos em dois grupos o de massa direta e o de massa esponja. O primeiro processo, consta de uma única fase de mistura, onde todos os ingredientes são adicionados de uma vez só no método de esponja existem duas fases distintas: a esponja onde é feita a mistura de parte da farinha de trigo e água com todo o fermento, e após a fermentação é feito a fase da massa, onde são incorporados os demais ingredientes. Os dois processos compreendem as etapas de pesagem, mistura, divisão, boleamento, descanso, fermentação, corte da superfície, assamento e resfriamento (CAUVIN *et al*, 2009)

### **2.4.1. Pesagem dos ingredientes e mistura dos ingredientes**

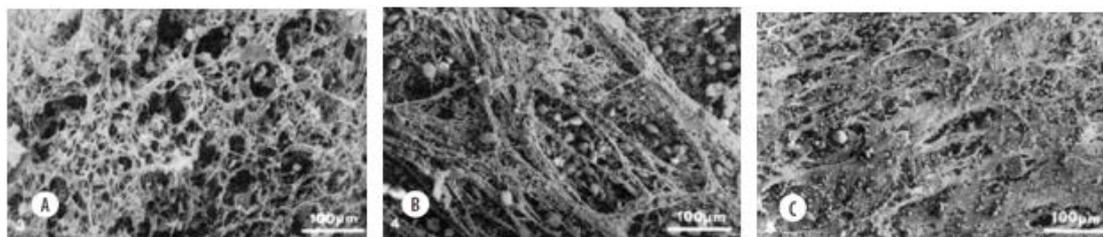
A pesagem exata dos ingredientes é uma etapa muito importante no processo de panificação, quaisquer problemas nesta etapa comprometem o resultado do pão e para assegurar que os ingredientes serão dosados conforme formulação é necessário que sejam pesados em uma balança de precisão (CANELLA – RAWLS, 2012).

A fase de mistura é muito relevante e tem várias funções: homogeneizar os ingredientes, dispersar, solubilizar, hidratar uniformemente os componentes da massa e

formar o glúten. A hidratação, o inchaço das partículas de amido e glúten facilitam as ligações cruzadas entre os polímeros de proteína, contribuindo para a formação da rede visco-elástica (BUSHUK, 1998 citado por FENEMA, 2010). O trabalho mecânico auxilia no desenvolvimento da estrutura do glúten e na incorporação de bolhas de ar contribuindo também para uma massa com as propriedades visco-elásticas adequadas (MARSH, 1998; BALHMANN *et al.*, 2013).

Além da interação das proteínas, outros componentes da farinha, como lipídios, sais, amidos e outros polissacarídeos participam da formação do glúten. Os grânulos de amido ficam envoltos pela fase proteica que é contínua (GIANNOU; KESSOGLOU; TZIA, 2003).

Durante a mistura a formação do glúten acontece em fases distintas, podemos classificar 3 fases. Na primeira fase, as moléculas de proteína são hidratadas e as suas fibrilas aderem umas às outras e formam uma rede desorganizada de fios espessos (Figura 6-A). Em seguida a ação mecânica vai tornando os fios mais finos e orientando-os na direção em que são submetidos à força, permitindo a interação entre eles (Figura 6-B). Na terceira e última fase (Figura 6-C), a massa atinge o pico de consistência, no qual as fibrilas da proteína têm o seu diâmetro reduzido e interagem mais em dois eixos do que em um único eixo.



**Figura 6** - Rede de glúten evidenciada em diversas fases da mistura

(A) Início do processo de mistura, hidratação ainda parcial;

(B) Massa parcialmente misturada;

(C) Massa na fase de desenvolvimento máximo

Fonte: Cauvin 2009

Nesta fase, a massa pode ser alongada em forma de filme contínuo. A capacidade da massa ser alongada em uma película fina, é um parâmetro fundamental e de muita importância neste processo, pois indica que a massa atingiu um ótimo ponto de batimento, conhecido como ponto de véu (CAUVIN, 2009) como mostrado na Figura 7.



**Figura 7** - Massa apresentando rede de glúten desenvolvida formando um véu

Fonte: Bunge Alimentos

Neste ponto, todas as partículas de farinha estão completamente hidratadas e a massa atinge a máxima elasticidade e extensibilidade, ficando quase transparente ao toque dos dedos (HOSENEY, 1991). A mistura deverá ser interrompida após o pico de resistência, caso contrário, a massa perde consistência tornando-se mole, menos resistente à ação mecânica e perde a aptidão de reter  $\text{CO}_2$  durante a fermentação. Assim, mais tempo de mistura pode originar uma massa mais leve e menos consistente, devido à quebra das ligações dissulfeto durante a despolimerização, que ocorre durante esta fase (GÓMEZ *et al.*, 2011).

A Figura 8 (B) mostra uma massa que foi misturada além do tempo ideal, a estrutura ficou fraca, a massa ficou sem resistência, está mais lastrada. A Figura 8 (A) mostra uma massa que foi misturada no tempo ideal, apresenta-se mais firme e mais resistente. Uma boa massa é definida pela sua capacidade em reter o  $\text{CO}_2$  e pela sua

propriedade visco-elástica, assim, o volume da massa pode expandir adequadamente durante a fermentação (STAUFFER, 1998).



**Figura 8** - Massa misturada no tempo adequado (A);  
Massa misturada além do tempo adequado (B)

Fonte: Bunge Alimentos

Segundo Rouillé; Le Bail; Courcoux (2000), o tempo de mistura foi o fator mais significativo sobre o volume do pão. Ao final do processo de mistura, a massa deverá ter temperatura entre 26 a 28°C.

#### 2.4.2. Descanso, divisão e modelagem

O descanso é uma etapa importante para a produção de pães pelo método convencional, pois durante a mistura, a rede proteica da massa sofre uma forte tensão. Durante esta fase as moléculas de proteína, readquirem sua forma flexível permitindo que a massa seja modelada, sem haver rupturas na superfície. O ideal é que a temperatura do ambiente esteja em torno de 26°C e a umidade relativa do ar deverá ser alta, de forma a evitar o ressecamento da superfície da massa, caso contrário a massa deverá ficar protegida (MATUDA, 2008).

Após o descanso, a massa é dividida em pedaços pré-definidos de acordo com o tipo de pão a ser produzido, de forma a dar o peso ideal de cada pão. Estas etapas

contribuem para modificações na estrutura dos alvéolos formados pelo desprendimento de CO<sub>2</sub>, e ajudam no bom desenvolvimento da rede de glúten (GIANNOU, *et al.*, 2003).

Deve ser evitada modelagem excessiva para não haver geração de calor, contribuindo para uma fermentação antecipada e descontrolada (GIANNOU, *et al.*, 2003).

#### 2.4.3. Fermentação

De acordo com a bioquímica, a fermentação são trocas ou decomposições químicas que acontecem em substratos orgânicos, mediante a atividade de micro-organismos vivos. A fermentação da massa é uma etapa básica e de extrema importância no processo de panificação, seu objetivo é promover uma boa textura e aroma do pão, formação de alvéolos e crescimento da massa (GUARIENTI, 2004).

O fermento utilizado é a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, que metaboliza os açúcares sob condições anaeróbicas, produzindo gás carbônico necessário para o crescimento da massa e para a obtenção de compostos aromáticos característicos da fermentação CAUVIN *et al.*, 2009.

De um modo geral, os produtos de panificação, principalmente pães, são fabricados usando leveduras como agentes de fermentação, estas são cepas de *Sacharomyces cerevisiae* que, quando incorporados à massa, transformam os açúcares em etanol e dióxido de carbono (CAUVAIN; YOUNG, 2009), conforme apresentado na equação (1).



O dióxido de carbono produzido, fica retido nas pequenas células formadas na matriz proteica durante o processo de mistura, fazendo as células aumentarem de tamanho e a massa se expandir. A quantidade de células não pode ser aumentada na fermentação, mas a estrutura pode ficar mais espessa. Se a massa passar por um excesso de fermentação, as paredes das células ficam mais finas, sua estrutura mais frágil entrará

em colapso, permitindo que o CO<sub>2</sub> escape e o pão não sustente o volume e murche. (CAUVAIN; YOUNG, 2009).

Outro processo que ocorre durante esta fase, é a metabolização dos açúcares pela ação das bactérias lácticas e acéticas da farinha, resultando num aumento da acidez da massa. Ocorrem também alterações a nível das proteínas, que resultam da presença de enzimas proteolíticas das leveduras. As proteases quebram as cadeias proteicas, originando peptídeos menores e estes vão ser utilizados como alimento para as leveduras, as peptidases convertem os peptídeos em aminoácidos que vão contribuir para o aroma e sabor da massa. A diminuição de cadeias proteicas, vai favorecer a interação entre elas e o desenvolvimento da rede de glúten (GUERREIRO, 2006).

Estas alterações nas características coloidais do glúten, possibilitam a formação de paredes em torno de cada célula de gás formada, conservando suas características de extensibilidade e de elasticidade, podendo reagir às pressões desenvolvidas na massa sem ocorrer ruptura (PYLER; GORTON, 2008). A transição da fermentadora para o forno é uma fase crítica, pois, o pão está se aproximando do seu volume final, e como está cru, ainda é uma estrutura frágil, inteiramente flexível, mantida apenas pela produção contínua de gás dentro das células semi-porosas formadas pelas membranas da proteína hidratada. Sendo assim, é importante proteger o pão jovem contra danos físicos, pois, se a estabilidade da bolha de gás for insatisfatória, até impactos relativamente pequenos, poderão destruir a frágil estrutura. Em certas circunstâncias, a estrutura pode ser delicada, como em casos onde há problemas com a qualidade da farinha, ou se a massa passou por um excessivo processo de mistura, ou a fermentação não ocorreu dentro dos parâmetros desejados. Nessas circunstâncias, o sistema de manuseio do produto é realmente testado.

O tempo de fermentação depende de diversos fatores, como ingredientes e aditivos que são incorporados, quantidade de levedura adicionada, temperatura e umidade relativa do local. A fermentação pode variar de 90 minutos (LE BAIL, *et al.*, 2005), 100 minutos (RIBOTA; LE BAIL, 2007) e 180 minutos (VULICEVIC, *et al.*, 2004), alguns estabelecimentos utilizam tempos de fermentação de até 12 horas, desta forma reduzem a quantidade de fermento, este processo denomina-se longa fermentação. A temperatura de fermentação deve ser entre 35 a 40°C e a umidade

relativa deve ficar em torno de 80% para evitar o ressecamento da massa (CAUVIN *et al.*, 2009).

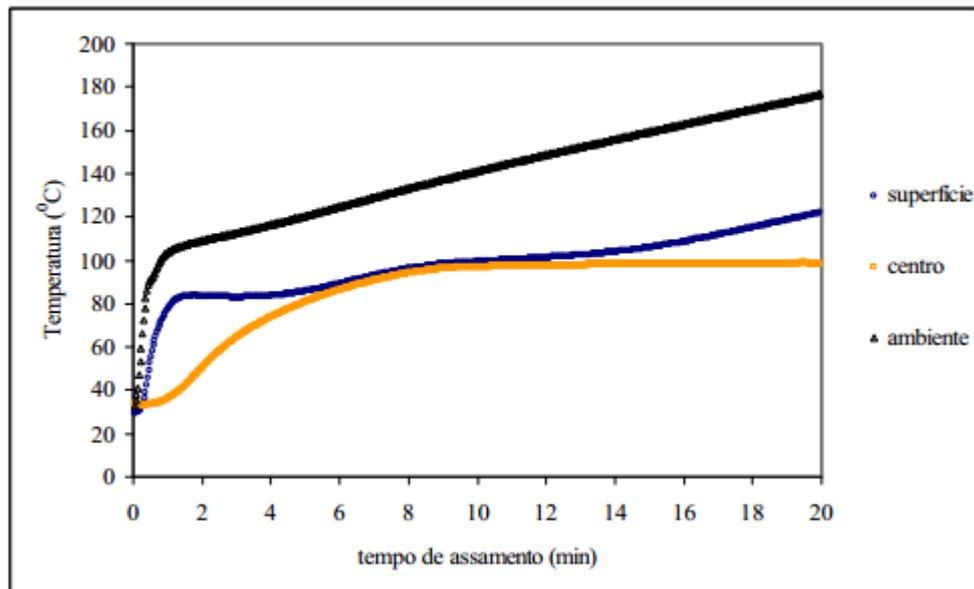
#### 2.4.4. Corte da superfície

Após a fermentação e antes de entrar no forno é realizado um corte longitudinal na superfície do pão para tornar a região mais frágil com a finalidade de permitir que o dióxido de carbono presente na massa durante o cozimento pressione esse corte e saia, evitando rompimentos em áreas indesejadas, esse alívio na pressão da massa propicia a expansão, o que resulta em pães com maiores volumes (SEBESS, 2010). Este corte é usado em geral, no pão francês e propicia uma aparência característica denominada de pestana (CARR, 2003).

#### 2.4.5. Assamento

Nesta etapa, pela ação do calor, a massa sofre uma transformação radical nas suas características, tornando o produto pronto para consumo. As principais mudanças químicas ocorridas são a desnaturação das proteínas, a gelatinização do amido, inativação das enzimas e do fermento, produção de cor, de aroma e formação da casca, que fica mais espessa com o tempo de assamento (GIANNOU; KESSOGLOU; TZIA, 2003; DANELLI *et al.*, 2010).

Os tempos de assamento variam com o tipo de pão e com o tipo de forno, geralmente para pão francês em forno de teto e lastro o tempo é de 15 a 18 minutos a 210 a 220°C, ao passo que em forno turbo o tempo é reduzido, podendo chegar entre 9 e 10 minutos. Os pães tipo baguete com 150g produzidos por LE BAIL, *et al.*, (2005) foram submetidos a 220°C, durante 10 minutos em forno turbo. Queiroz (2001) fez um estudo das propriedades termofísicas do pão francês durante o assamento, em forno turbo com dispositivo de vaporização, monitorando as temperaturas no centro e na superfície do pão. A Figura 9 é o exemplo dos perfis de temperatura obtidos durante o assamento.



**Figura 9** – Perfis de temperatura do pão francês durante o assamento

Fonte: (QUEIROZ, 2001)

Quando o pão entra no forno a uma temperatura de 200 a 220°C, o aumento brusco da temperatura da superfície do pão, faz com que ocorra uma rápida vaporização, aproximadamente, no primeiro minuto do assamento (que está representada na Figura 9). Assim, o vapor se condensa sobre a superfície da massa formando uma película delgada que serve de barreira à saída de gás carbônico, propiciando pães mais desenvolvidos, com maior volume e com massa mais suave. A película de água sobre a massa se evapora lentamente, esta velocidade lenta em que ocorrem os processos químicos na superfície da massa influenciam na textura da casca, permitem a obtenção de uma casca menos dura e mais crocante. A umidade do ambiente tem grande influência na cor, no brilho da casca e na abertura da pestana, em fornos saturados de vapor a cor da casca é amarela dourada e com brilho o que não é obtido quando não há vapor (QUAGLIA, 1991).

Entre 60 e 90 ° C a estrutura visco-elástica da massa torna-se uma esponja sólida, devido ao rompimento das membranas proteicas, causado pelo aumento da pressão interna, este ponto é conhecido como ponto de gelatinização (FENEMA, 2010). A gelatinização ocorre quando o amido é aquecido na presença de umidade suficiente; os

grânulos absorvem água e incham e a organização cristalina é irreversivelmente rompida (COPELAND *et al.*, 2009).

## 2.5 Interações na massa e no pão assado

Para obtenção da tão desejada textura porosa e aerada dos pães assados, é necessário que ocorra na massa a formação de várias ligações cruzadas entre as proteínas e interações proteína-lipídeo-polissacarídeo. Estas ligações são formadas durante a mistura da farinha com a água e o sal, bem como nas etapas posteriores. É possível considerar a massa como uma matriz visco-elástica e hidratada de proteínas do glúten, com grânulos de amido inchados, resíduos de paredes celulares de vários tamanhos, lipídeos polares e neutros, ar e gases da fermentação (FENEMA, 2010).

A mistura com a água resulta na hidratação das partículas de farinha, aumento da solubilidade das proteínas, desagregação e reorientação dos polímeros de glutenina para formação da rede de membranas. Farinhas com altos teores de gluteninas de alto peso molecular, somados a uma boa mistura e batimento adequados, são fatores importantes para a formação de membranas altamente extensíveis capazes de reter um grande número de bolhas pequenas de CO<sub>2</sub> (FENEMA, 2010).

Os agentes oxidantes adicionados à massa contribuem para a melhoria da textura do pão ao promoverem a formação de ligações cruzadas dissulfeto e o cozimento aumenta o número de pontes dissulfeto, dando estabilidade à estrutura do pão. O ácido ascórbico apesar de ser um agente redutor, ao ser acrescentado à massa, aumenta a elasticidade e a formação de bolha, resultando em pães maiores e de melhor textura. As ligações cruzadas podem ser produzidas por meio do ácido dehidroascórbico e pelos produtos de sua degradação térmica, em especial o metilglioxal, glioxal, dacetil e treose, os quais podem reagir com os resíduos de lisina das proteínas (FENEMA, 2010).

Segundo Lefreve (2003) e colaboradores citado por Fennema (2010), as pontes de hidrogênio afetam a estrutura da massa, uma vez que o glúten forma redes devido à agregação de partículas, pelas interações hidrofóbicas e por pontes de hidrogênio, com as pontes dissulfeto, as quais provavelmente não têm envolvimento direto na formação da rede. As pontes de hidrogênio são muito mais fracas que as ligações covalentes, mas,

podem ser formadas em um número muito maior, devido ao alto conteúdo de resíduos de glutamina, presente nas proteínas dos cereais e dos abundantes grupos hidroxil presentes no amido e nas pentosanas. As reações entre o amido e as proteínas, também contribuem significativamente para as propriedades reológicas do sistema (FRIEDMAN *et al*, 1995 citado por FENNEMA, 2010).

Mudanças hidrotérmicas dos grânulos de amido também afetam a estrutura da massa e do pão. O grau de inchaço do amido, depende da disponibilidade de água na massa. Quando o amido não absorve a água necessária, o inchaço é insuficiente e o miolo tende a ficar pesado. As substâncias que vão competir por água com o amido são as prolaminas, gluteninas e pentosanas, (FENNEMA, 2010).

Em temperaturas de 60°C, a viscosidade da massa aumenta devido à desnaturação das proteínas da farinha e às mudanças na estrutura do amido. As regiões cristalinas da amilopectina tornam-se amorfas a essa temperatura, enquanto os complexos amilose-lipídeo são estáveis até 110°C, temperatura que nunca é atingida no miolo. Desse modo, as mudanças na presença de produtos voláteis de fermentação e ar de expansão levam, ao final, à formação de uma estrutura porosa proteína-amido (FENNEMA, 2010).

## **2.6 Técnicas de análise**

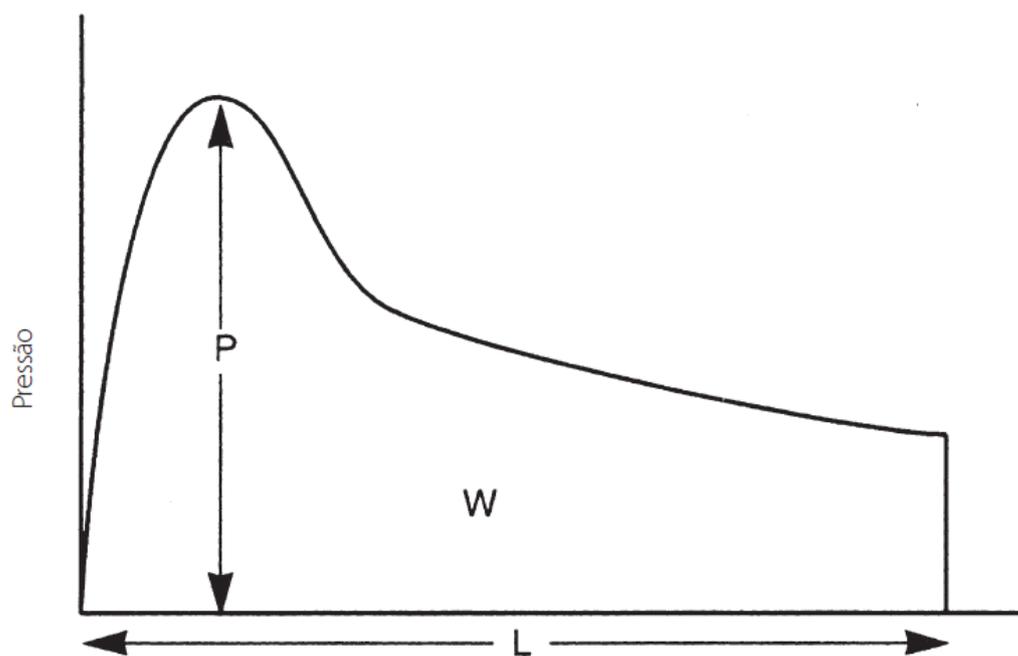
A qualidade da farinha de trigo está fortemente relacionada, com a qualidade dos grãos que a originou e com as condições de processo, a que foi submetida durante a moagem dos grãos. É definida por várias características que podem ter diversos significados, dependendo da finalidade a que se destina. Estas características dependem da qualidade e da quantidade das proteínas do grão. Em função da grande diversidade de farinhas de trigo, são necessárias realizações de vários testes para determinar características químicas, enzimáticas e físicas / reológicas de forma a garantir uma boa performance de panificação. Os métodos mais utilizados são os relacionados com as características reológicas da massa, a partir de uma mistura de água e farinha. Existem vários equipamentos para medir estas propriedades, os mais utilizados são o farinógrafo, o extensógrafo e o alveógrafo (DOBRSZCZYK; MORGENSTERN, 2003). Pizzinato (1997) e Germani *et al* (1997), indicaram o uso do alveógrafo em vez do uso do extensógrafo, devido ao alveógrafo estender as massas biaxialmente enquanto o

extensógrafo só estende uniaxialmente A extensão biaxial, está associada à expansão da célula de gás (alvéolo) durante o crescimento da massa.

Todos estes testes contribuem para avaliar o potencial de panificação de uma farinha de trigo, mostram sua força e seu desempenho sob condições mecanizadas. Seus objetivos são acompanhar e controlar os parâmetros específicos da farinha, e sinalizar o comportamento da massa em uma padaria convencional (OLIVER e ALLEN,1992; BUCSELLA *et al.*, 2016; MARTI *et al.*, 2015). A definição de uso de uma farinha deve ser feita após a avaliação conjunta destes resultados (CALDEIRA *et al.*, 2003).

#### 2.6.1. Alveografia

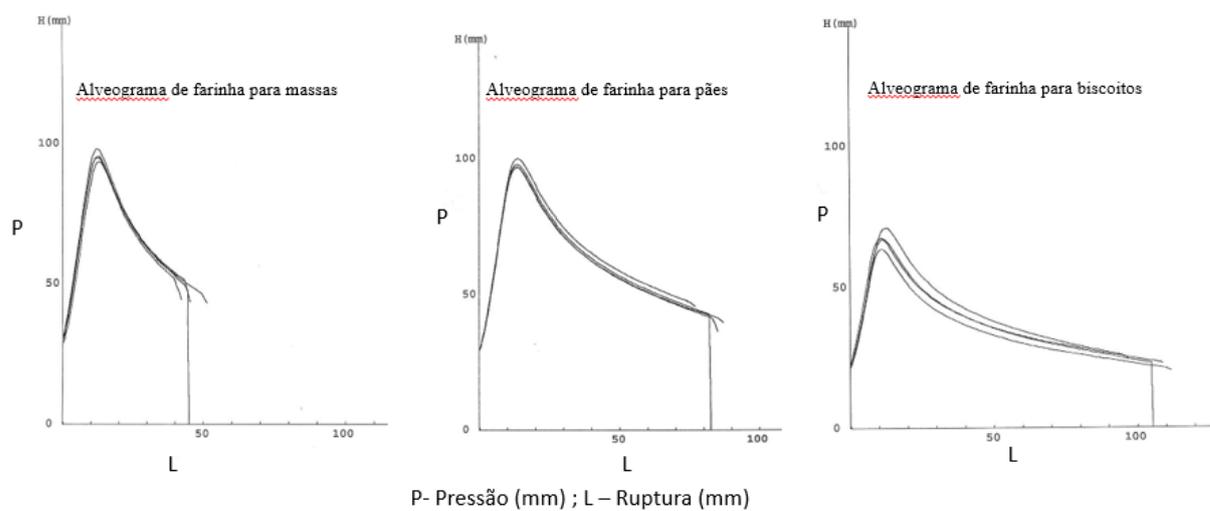
É um teste reológico que avalia a força ou o trabalho mecânico necessário para expandir uma massa (W), assim como, as características visco-elásticas, elasticidade ou tenacidade (P), extensibilidade (L), relação tenacidade/extensibilidade (P/L), índice de entumescimento (G) e índice de elasticidade (Ie). A elasticidade (P) representa a força necessária para a expansão da massa ao formar a bolha, a extensibilidade (L) representa a força exercida para o crescimento da bolha e continua até ao rompimento da bolha. A Figura 10 representa o gráfico formado durante a análise de alveografia (CONCEREAL, 2011; VASQUEZ, 2009)



P- Pressão (mm) ; L – Ruptura (mm)

**Figura 10** - Alveograma (interpretação)

Fonte: Cauvin (2009)



**Figura 11** – Alveogramas de diversos tipos de farinha

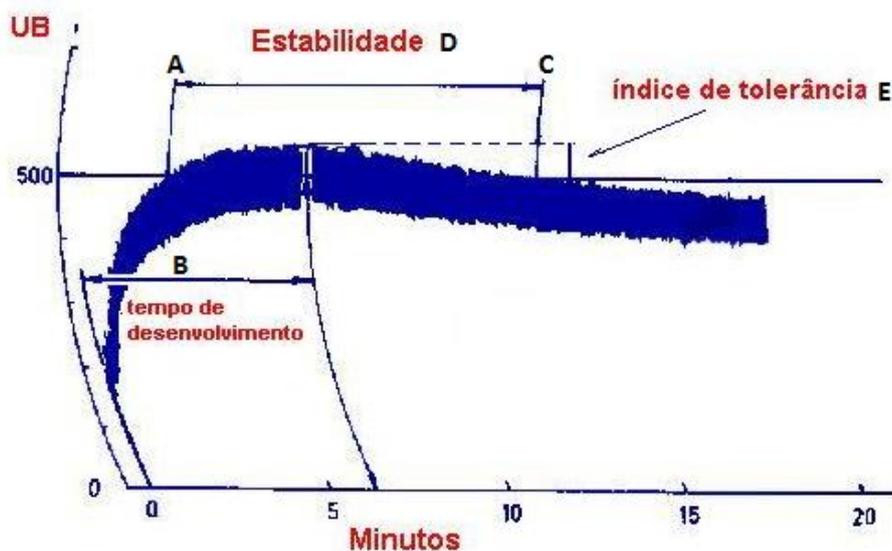
Fonte: Bunge Alimentos 2015

A Figura 11, mostra alveogramas de farinhas de trigo para diferentes aplicações. Para massas, é necessário, uma farinha mais tenaz e menos extensível, para pão é necessário, uma farinha com equilíbrio entre as forças e para biscoitos é necessário, uma farinha mais extensível e menos tenaz.

### 2.6.2. Farinografia

O princípio do farinógrafo, é demonstrar a resistência da massa mediante uma ação mecânica (QUAGLIA, 1991). O farinograma (Figura 12 e 13), é um gráfico que fornece parâmetros de absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa, estabilidade, índice de tolerância à mistura e tempo de quebra (CONCEREAL, 2011); (VASQUEZ, 2009).

A interpretação do gráfico permite caracterizar vários parâmetros, como, propriedades de mistura da massa, tempo de chegada, tempo de saída, tempo de desenvolvimento, estabilidade, e índice de tolerância (Figura 12).



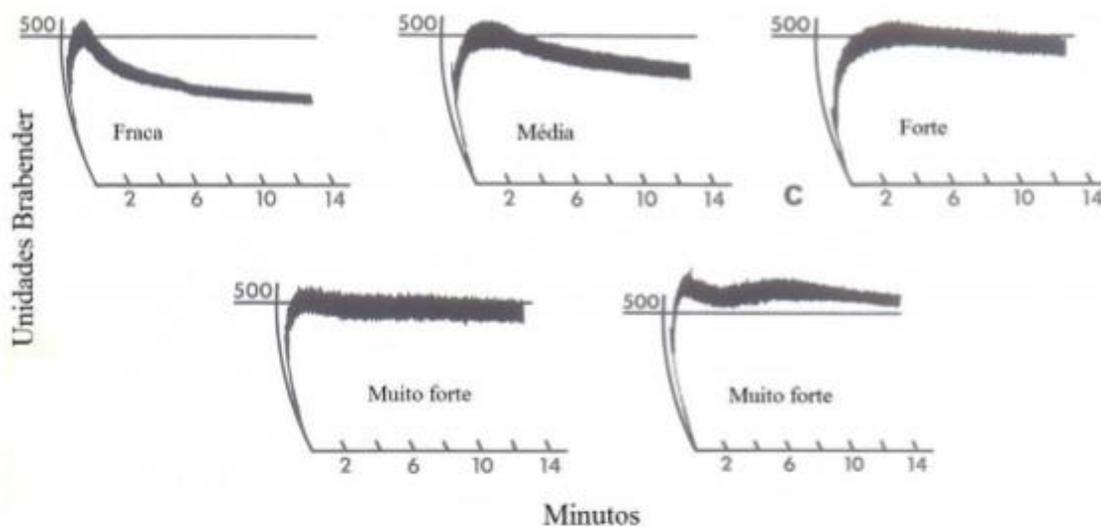
(A)Tempo de chegada; (B)Tempo de desenvolvimento; (C)Tempo de saída;  
(D)Estabilidade; (E)Índice de tolerância da massa.

**Figura 12** – Farinograma (interpretação)

Fonte: Bunge Alimentos 2011

Na Figura 12 observa-se as seguintes fases da análise de farinografia:

- (A) Tempo de chegada – tempo que a massa chegou nas 500 UB, indica a velocidade de absorção da água da farinha;
- (B) Tempo de desenvolvimento – tempo até a massa atingir a máxima consistência, indica o tempo ótimo de mistura.
- (C) Tempo de saída – indica o tempo que a massa deixou de ficar na linha das 500 UB.
- (D) Estabilidade – indica o tempo máximo que a massa se mantém na consistência, é um indicativo de sua força.
- (E) Índice de tolerância da massa – indica o grau de amolecimento durante a mistura.



**Figura 13** - Farinogramas de diversos tipos de farinha

Fonte: adaptado de Preston & Kilborn (1984)

A Figura 13 apresenta farinogramas referentes a diversos tipos de farinha, cada uma destinada a uma aplicação diferente, a farinha fraca poderá ser destinada a biscoitos doces, a farinha média a biscoitos fermentados e pães de forma, a farinha forte e muito forte a massas e pães tipo francês ou rústicos.

## 2.7 Qualidade da massa do pão

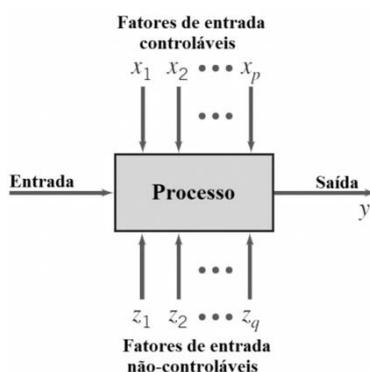
O processo de avaliação da qualidade do pão ainda se baseia em avaliações subjetivas por especialistas, devido à existência de dificuldades associadas com medidas objetivas. As técnicas para avaliar a qualidade do pão geralmente, se encaixam em três grupos de características, externas, internas e de sabor/textura. É necessário ter critérios objetivos e nos casos em que isso não é possível, é necessário padronizar, tanto quanto possível, os métodos a serem usados para estas avaliações subjetivas. As características externas frequentemente avaliadas são: dimensão do produto, volume, aparência, cor e formação da casca. As internas são: distribuição, tamanho e número de alvéolos no miolo, cor e textura (CAUVIN ; YOUNG, 1998). Várias técnicas de pontuação são geralmente empregadas para tentar padronizar avaliação subjectiva segundo Kulp, (1991).

O método mais comum de avaliação do volume total dos pães, é o método de deslocamento de sementes de painço, que está descrito no capítulo de metodologia. Volume específico é a razão entre a massa e o volume total, é um parâmetro de qualidade muito importante, que indica se a massa foi bem trabalhada resultando num glúten bem desenvolvido, e se a fermentação foi adequada. Fermentação excessiva resulta em um volume específico muito grande ou em um pão que murcha após a fermentação, se insuficiente resulta em um pão de volume muito baixo. É uma característica muito forte no tocante à qualidade percebida pelos consumidores. O volume específico depende da qualidade dos ingredientes usados na formulação da massa, especialmente a farinha e os tratamentos usados durante o processamento (EL-DASH, *et al.*,1982). O volume específico, mostra de forma clara a relação entre o teor de sólidos e a fração de ar existente no pão (ESTELLER e LANNES, 2005).

## 2.8 Modelagem estatística

### 2.8.1 Planejamento experimental e fatorial

O Planejamento Experimental (PE) é um teste, ou série de testes, nos quais são realizadas alterações propositalmente nas variáveis de entrada de determinado processo, de modo a permitir a observação de mudanças correspondentes na variável resposta. O processo (Figura 14), explica uma combinação de máquinas, métodos e pessoas, que transformam um material de entrada em um produto de saída. O produto obtido na saída pode ter uma ou mais características de interesse (variáveis respostas). Algumas variáveis do processo ou fatores ( $x_1, x_2, x_3, \dots, x_p$ ) são controláveis, enquanto outros ( $z_1, z_2, z_3, \dots, z_q$ ) não são possíveis de estabelecer controle. Outras vezes, estes fatores não controlados podem ser chamados de ruído. O objetivo de um experimento pode incluir: estabelecer quais fatores são mais influentes sobre a variável resposta; determinar quais valores dos fatores que maximizam ou minimizam o resultado da variável resposta (MONTGOMERY, 2005).



**Figura 14** - Esquema de um processo

Fonte: adaptado de Montgomery (2005)

O PE foi desenvolvido na Inglaterra por volta de 1920 (LOGOTHETIS e WYNN, 1989). Nessa época o PE era utilizado, principalmente, em pesquisas agrícolas. A partir

de 1950 o PE começou a ser amplamente utilizado em estudos tecnológicos, na indústria, na biologia, em medicina, na química etc. Atualmente a ferramenta é considerada uma das mais importantes técnicas para o desenvolvimento de novos produtos e otimização de processos. Inicialmente o PE foi desenvolvido aplicando condições operacionais de fácil de controle, com baixo erro experimental, e interpretação da variável resposta por meio de funções polinomiais (BOX *et al.*, 2005). A principal vantagem para a adoção do PE é a obtenção de grande quantidade de informações a respeito do processo, com geração de número limitado de experimentos. Através da análise das informações obtidas a partir desses experimentos, diversos parâmetros estatísticos podem ser facilmente determinados com precisão. Os principais passos para a utilização de um planejamento para desenvolvimento de um novo produto podem ser resumidos da seguinte forma (MYERS; MONTGOMERY, 2009).  
Identificação e relato do problema:

- Seleção adequada dos níveis e fatores;
- Seleção da variável-resposta;
- Escolha do planejamento experimental;
- Realização do experimento;
- Análise de dados;
- Conclusões e recomendações.

Segundo Alexander (2000), Booker (2003) e Weese (1998), as técnicas de planejamento e otimização de experimentos quando incorporadas nos procedimentos de validação de processos, podem gerar melhor conhecimento e propiciar a exploração de toda a potencialidade. Para validar um processo é necessário estabelecer evidências documentadas que garantam que o mesmo irá dar origem de forma consistente a um produto de acordo com especificações e características de qualidade pré-determinadas. A estrutura do PE atende plenamente a estas condições. Basta registrar a execução de todas as etapas previstas e comparar o nível de qualidade atingido com aqueles que se deseja alcançar. Essa comparação pode utilizar um ou mais dos indicadores de qualidade conhecidos. Em processos que possuem duas ou mais variáveis independentes (fatores), para os quais seja possível determinar um valor mínimo e um valor máximo, assim são possíveis de serem medidas, com limites de especificações determinados, é

passível de ser estudado mediante o uso de um planejamento experimental. É preciso, contudo, escolher as faixas de valores dos fatores. Em geral, se determinam dois níveis de trabalho, um correspondendo ao valor mínimo e outro ao valor máximo. É também, frequente o uso de três níveis, quando a esses dois níveis se acrescenta um valor intermediário (SMITH, 2005; ALEXANDER, 2000).

Experimentos delineados conforme esquemas fatoriais são aqueles que envolvem combinações entre os níveis de dois ou mais fatores, é dito fatorial completo quando todas as combinações possíveis, entre todos os níveis de cada fator estão presentes, o esquema. Em outros casos, temos o esquema fatorial incompleto, que podem ser constituídos de frações bem determinadas de fatoriais completos, que auxiliam na seleção de níveis e/ou dos fatores em estudo. Seja  $K$  o número de fatores em estudo, e cada um com  $N$  níveis. O esquema fatorial completo será caracterizado por  $N^K$ . De acordo com a Tabela 3 o número de ensaios cresce exponencialmente, praticamente inviabilizando a utilização de esquemas completos para 6 ou mais fatores com dois níveis, e para 4 ou mais fatores com 3 níveis (RODRIGUES; LEMMA, 2009).

**Tabela 3** - Combinações de alguns esquemas fatoriais completos

Níveis	Fatores							
	k =2	k=3	k=4	k=5	k=6	k=7	...	k=K
<b>2</b>	$2^2=4$	$2^3=8$	$2^4=16$	$2^5=32$	$2^6=64$	$2^7=128$	...	$2^K$
<b>3</b>	$3^2=9$	$3^3=27$	$3^4=81$	$3^5=243$	$3^6=729$	$3^7=2187$	...	$3^K$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>N</b>	$N^2$	$N^3$	$N^4$	$N^5$	$N^6$	$N^7$	...	$N^K$

Fonte: Rodrigues e Lemma (2009)

Para exemplificar esse tipo de planejamento, considera-se dois fatores ( $x_1$  e  $x_2$ ) com dois níveis (+1 e -1) e uma variável resposta ( $y$ ). A matriz de planejamento para um planejamento fatorial  $2^2$  é apresentada na Tabela 4.

**Tabela 4** - Combinações de esquemas fatoriais com dois fatores

Teste N	Fatores de Controle		Resposta (y)
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	
1	+1	+1	y <sub>1</sub>
2	+1	-1	y <sub>2</sub>
3	-1	+1	y <sub>3</sub>
4	-1	-1	y <sub>4</sub>

Fonte: Rodrigues e Lemma (2009)

Para tornar possível a execução, ao menos aproximada, em relação à inferência estatística, é usual que sejam realizados cálculos no ponto central do espaço experimental. Desta forma é possível calcular os resíduos e, conseqüentemente, o erro padrão e demais estimativas. Observa-se que em um experimento tão pequeno, como este, pode ser mais coerente repetir os pontos fatoriais. No entanto, ensaios no ponto central podem fornecer informações muito úteis sobre o comportamento da resposta entre os níveis inicialmente atribuídos aos fatores, além de evidenciar a qualidade da repetibilidade do processo. A situação ideal é aquela na qual podemos repetir ensaios nos pontos fatoriais e, além deles, realizar outros ensaios no ponto central. Contudo, em algumas situações não será possível em ensaios com altos custos e grande demanda de equipamentos ou tempo (RODRIGUES; LEMMA, 2009; MYERS; MONTGOMERY, 2009). Certamente existem diversos caminhos para se atingir um objetivo, partindo-se de uma condição específica, distante da otimizada. O número de planejamentos experimentais fatoriais necessários depende principalmente do número de variáveis independentes a serem trabalhadas inicialmente (RODRIGUES; LEMMA, 2009; MYERS; MONTGOMERY, 2009). No caso de 2 ou 3 fatores, segundo Rodrigues e Lemma (2009), não deverá ser escolhido um fatorial, nem fatorial fracionado. Recomenda-se um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR).

### 2.8.2 Metodologia de superfície de resposta (MSR)

Segundo Montgomery (2005), a otimização de um processo específico consiste em determinar as regiões, nos fatores importantes, que levam à melhor resposta possível. Para localizar a posição ótima, é necessário variar todos os fatores simultaneamente. Este tipo de experimento é denominado de experimento fatorial. As respostas observadas serão tratadas estatisticamente para localizar a região de interesse. A Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) é um conjunto de técnicas matemáticas e estatísticas empregadas na modelagem e na análise em aplicações em que a resposta de interesse é influenciada por diversas variáveis, tendo como objetivo a otimização da resposta. A abordagem geral do MSR foi desenvolvida no início da década de 1950 (MONTGOMERY, 2005), tendo sido aplicada inicialmente na indústria química com considerável sucesso (MYERS; MONTGOMERY, 2009).

O primeiro passo na MSR (MONTGOMERY, 2005) consiste em determinar uma aproximação conveniente para a verdadeira relação entre a variável dependente ( $y$ ) e os demais fatores independentes. Em geral, inicia-se aplicando um polinômio de primeira ordem. Caso a resposta esteja bem modelada, aproximação linear de primeira ordem pode ser representado, conforme a equação (2).

$$y = \lambda_0 + \lambda_1 x_1 + \lambda_2 x_2 + \dots + \lambda_k x_k + \text{erro} \quad (2)$$

Quando o fenômeno em estudo apresenta resultados por meio de superfícies curvas, deve-se aplicar polinômio de ordem mais elevada, também chamado de modelo de segunda ordem, conforme equação (3).

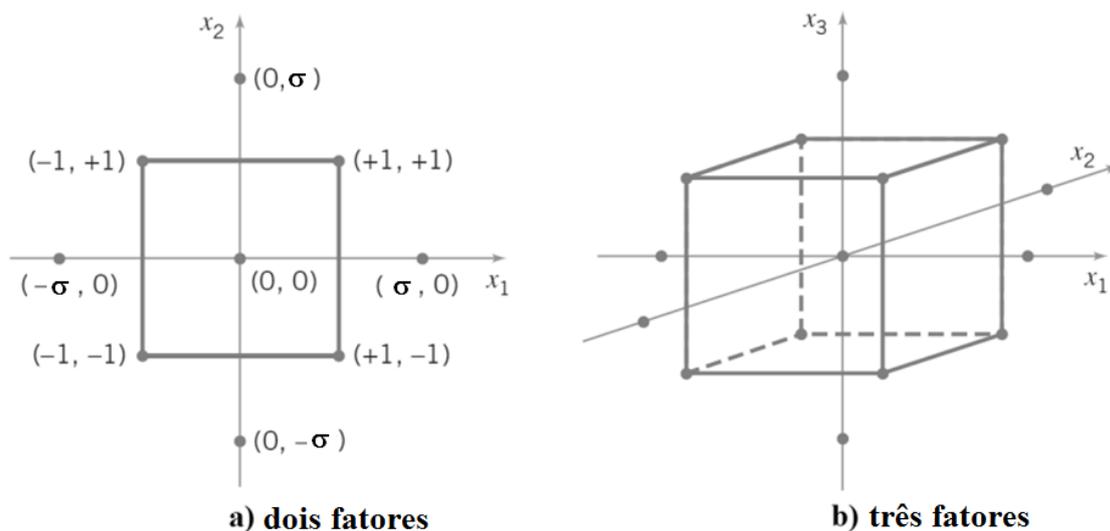
$$y = \lambda_0 + \sum_{i=1}^k \lambda_i x_i + \sum_{i=1}^k \lambda_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \lambda_{ij} x_i x_j + \text{erro} \quad (3)$$

Os parâmetros utilizados nos polinômios são determinados por meio do uso do método dos mínimos quadrados. As estimativas de “ $\lambda$ ” são os valores dos parâmetros que minimizam a soma de quadrados dos erros do modelo. Naturalmente, é pouco provável que um modelo polinomial seja uma aproximação ideal do verdadeiro

relacionamento funcional sobre todo espaço das variáveis independentes, mas, para uma região relativamente pequena, tais modelos apresentam desempenho satisfatório (MYERS; MONTGOMERY, 2009).

### 2.8.3 Delineamento composto central rotacional (DCCR)

Segundo Myers e Montgomery (2009) o DCCR possui características importantes na busca da variável resposta otimizada: número reduzido de ensaios em relação aos fatoriais completos e ajuste de modelos de superfícies de resposta. De modo geral, um delineamento composto central com K fatores exige  $2^K$  rodadas fatoriais, mais  $2K$  (pontos axiais) e pontos centrais (usualmente 3 a 5 pontos), (Figura 15). O planejamento composto central pode ser transformado em rotacional mediante a escolha adequada do espaço espaçamento axial  $\alpha$ . Se o planejamento é rotacional, o desvio padrão da resposta será constante em todos os pontos que estão à mesma distância do centro do planejamento. Para rotabilidade,  $\alpha = F^{1/4}$ , onde F representa o número de pontos fatorial do planejamento, em geral,  $F=2^K$ .



**Figura 15** - Planejamento composto central (A) dois fatores; (B) três fatores.

Fonte: adaptado de Montgomery (2005)

Desta forma, para o caso de dois fatores,  $K=2$ , e  $\alpha = (2^2)^{1/4}=1,414$ . Alguns valores de  $\alpha$  estão descritos na Tabela 5.

**Tabela 5** – Valores diferentes para  $\sigma$

<b>k</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b><math>\sigma</math></b>	1,4142	1,6818	2,000	2,3784	2,8284

Fonte: Rodrigues e Lemma (2009)

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Materiais

Foi utilizado farinha de trigo para panificação, cedida pela Bunge Alimentos. Esta farinha foi produzida em moagem industrial, com taxa de extração de 77,5%, a partir de uma mistura de trigos Argentino e Americano hard na proporção de 85% e 15%, respectivamente.

O ácido ascórbico encapsulado e o ácido ascórbico sem o encapsulamento, são produtos de linha comercial e foram fornecidos pela Stern Ingredientes. O encapsulamento do ácido ascórbico foi feito com ácido cítrico. A granulometria do ácido ascórbico é um fator muito importante, uma vez, que tem influência na sua homogeneização com a farinha, a granulometria dos ácidos utilizados nos experimentos era similar, com variação de 80 a com 100 mesh.

#### 3.2 Métodos

Todos os experimentos foram realizados nas instalações da Bunge Alimentos na Unidade de Ipojuca. Os testes foram realizados em escala experimental, com potencial para estimar acuradamente a qualidade da farinha, todas as análises foram feitas em

triplicata. As amostras foram avaliadas quanto a parâmetros reológicos de farinografia e alveografia como estabilidade, absorção, tempo de desenvolvimento da massa, elasticidade, extensibilidade e força. Foi preparado pão francês e realizado análise sensorial para comprovar o potencial de panificação da farinha em estudo, através dos parâmetros de volume específico, pestana e textura da casca. Dentre todos estes parâmetros foram escolhidos os parâmetros mais relevantes para compor o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR).

### 3.2.1 Coleta das amostras

Foi cedido pela Bunge Alimentos, 250 kg da farinha de trigo, produzida industrialmente, a mesma foi separada em duas porções de 120 Kg cada uma, para os experimentos que receberam ácido ascórbico e o restante foi usado para análise da farinha base.

### 3.2.2 Planejamento experimental

Foi realizado dois planejamentos fatoriais  $2^2$ , com 4 pontos fatoriais (níveis  $\pm 1$ ), 4 pontos axiais ( $\pm 1,414$ ) e 3 pontos centrais (nível 0), totalizando 11 ensaios (Tabela 6), com o objetivo de avaliar o efeito da adição do ácido ascórbico sem e com encapsulamento. As variáveis independentes foram: tempo de descanso (dias) e concentração do ácido ascórbico (ppm). As variáveis dependentes foram: volume específico do pão francês ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ); elasticidade da farinha (mm) representado pelo parâmetro P da alveografia, extensibilidade da farinha (mm) representado pelo parâmetro L da alveografia e estabilidade da farinha (min) encontrado na análise farinográfica. Os níveis das variáveis independentes, foram sugeridos pela equipe da qualidade e desenvolvimento da Bunge Alimentos, em função de valores normalmente praticados para estes tipos de trigo. A escolha da variável dependente, volume específico do pão, foi em razão da relevância deste parâmetro na avaliação da qualidade do pão. As demais variáveis dependentes escolhidas têm relação com a farinha e proporcionam conhecer a reologia ao longo do tempo, para que mediante este

conhecimento seja possível adequar as formulações da farinha para que seja alcançada melhor performance possível. A Tabela 6 mostra os níveis das variáveis independentes e as variáveis dependentes.

**Tabela 6** – Níveis codificados e decodificados das variáveis independentes do planejamento experimental DCCR do ácido ascórbico encapsulado e não encapsulado

Variáveis	Código	Níveis				
		-1,44	-1	0	+1	+1,44
Concentração de ácido (ppm)	C	58,58	100	200	300	341,42
Tempo (dias)	T	17,57	30	60	90	102,43

Os dados obtidos foram ajustados ao seguinte polinômio (Equação 4):

$$Y = \varphi(CeT) = \beta_0 + \beta_1C + \beta_2T + \beta_{11}C + \beta_{22}T + \beta_{12}CT \quad (4)$$

Em que  $\beta_n$  são os coeficientes de regressão,  $y$  é a resposta em questão (Volume específico do pão francês ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ), Elasticidade (mm), Extensibilidade (mm) e Estabilidade (min) da farinha e  $C$  e  $T$  são as variáveis independentes (concentração do ácido ascórbico (ppm) e tempo de descanso da farinha (dias)).

**Reconhecimento e definição do problema:** em função da necessidade de adição de oxidantes à farinha de trigo, é necessário entender o comportamento visco-elástico da farinha aditivada com o ácido ascórbico encapsulado e sem o encapsulamento e sua influência no volume do pão. O objetivo principal deste processo é conhecer a menor concentração de um dos ácidos que seja capaz de manter a performance do pão ao longo do tempo e entender quais as variáveis têm maior efeito, como interação e como afetam o resultado final;

### 3.2.3 Aditivção das amostras de farinhas

Cada ensaio do planejamento (11 ensaios), foi constituído por uma amostra de 10 kg de farinha de trigo, quantidade necessária para realizar as análises em triplicata. O ácido foi pesado em balança analítica, adicionado às amostras de farinha e homogeneizado durante 10 minutos em misturador em Y (Figura 16). Este misturador é ideal para homogeneização de produtos granulados ou em pó, apresenta grande eficiência de mistura, formando um produto resultante com composição uniforme em qualquer amostra recolhida. É constituído de três tubos confluentes em formato Y, que rotacionam no plano vertical (processo de tombamento) e os produtos deslocam-se internamente dividindo-se e reagrupando-se, criando na região um atrito onde se processa a mistura.

As amostras homogeneizadas foram transferidas para sacos de ráfia laminada conforme ocorre na farinha comercial e foram devidamente identificadas.



**Figura 16** - Misturador em Y

Fonte: Imagem cedida pela Bunge

### 3.2.4 Armazenamento das amostras de farinhas

Após o preparo as amostras de farinha aditivada com ácido ascórbico foram armazenadas à temperatura ambiente (25 a 38°C), conforme condições de armazenagem de uma farinha no mercado, para serem analisadas no prazo estipulado no planejamento experimental, o objetivo foi cobrir todo o período de tempo de validade da farinha, adotado conforme o fabricante da mesma.

### 3.2.5 Análises físico-químicas e reológicas da farinha

Neste experimento, todas as análises foram realizadas em triplicata. A farinha de trigo base (farinha sem aditivo ácido ascórbico) foi submetida às análises físico – químicas de umidade, teor de cinzas, glúten úmido, *Falling Number*, e reológicas de farinografia e alveografia como forma de conhecimento das suas características e composição. As amostras de farinha aditivada com ácido ascórbico, foram submetidas a análise reológica (elasticidade, extensibilidade e estabilidade), uma vez que suas características físico-químicas já foram conhecidas na farinha base (farinha controle sem ácido ascórbico). As propriedades reológicas da farinha são o parâmetro mais crítico do conjunto de especificações da farinha, indicam o comportamento da massa durante o processamento, relacionando-se com a qualidade do produto acabado. Os métodos de avaliação da reologia da massa usados atualmente, são testes antigos, alguns têm mais de 50 anos, embora o entendimento científico da reologia da massa tenha melhorado, e os processos de panificação tenham mudado, ainda são normalmente utilizados três métodos de teste básicos, com base no farinógrafo, no extensógrafo e no alveógrafo (CAUVIN 2009).

O objetivo dos testes reológicos é avaliar a qualidade do glúten, das farinhas utilizadas na indústria de moagem de trigo e nas indústrias consumidoras de farinha de trigo, como, indústrias de massas, de pães e de biscoitos, para poder destinar cada farinha para seu uso final específico. No estudo escolhemos o teste de farinografia e alveografia, uma vez que com os mesmos é possível qualificar uma farinha. De um

modo geral a qualidade do glúten é mais importante do que a quantidade desse glúten, então estes testes são decisivos para adequação da farinha ao uso.

#### *3.2.5.1 Umidade*

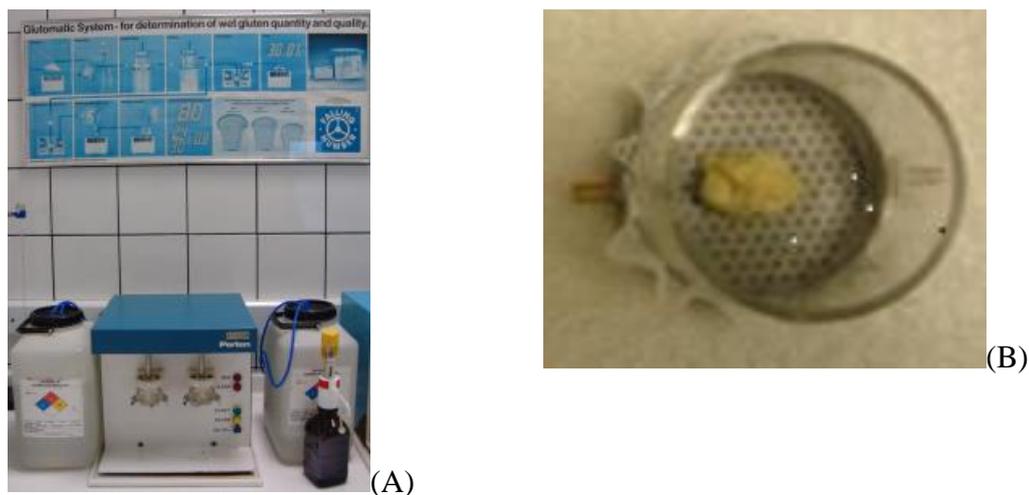
A umidade foi determinada pela perda do peso original de uma amostra de 10g de farinha pelo método do ICC N° 110/1 (1976). Este método mede a umidade livre do produto na temperatura de secagem e baseia-se na perda de substâncias voláteis pelo aquecimento. Utilizou-se um equipamento termo balança Brabender a uma temperatura constante de 130°C.

#### *3.2.5.2 Cinzas*

As cinzas ou resíduo mineral fixo foi determinado pelo método da ICC N°. 104/1 (1990), com base na perda de peso da amostra, após ser submetida à calcinação em mufla a 900°C por 2 horas, com posterior resfriamento em dessecador por 1 hora. O percentual de cinzas na base seca em farinhas tem sido utilizado como parâmetro de classificação de farinhas, como segue: até 0,8% de cinzas farinha tipo1, de 0,81 a 1,4% farinha tipo 2 e de 1,41 a 2,5% de cinzas farinha integral (BRASIL, 2005).

#### *3.2.5.3 Glúten úmido*

O glúten foi determinado pelo método da AACC N° 38-12 (1995) em equipamento Glutomatic conforme mostrado na Figura 17 A e B. Realizou-se a determinação através da lavagem da amostra (10 gramas da farinha) com solução de cloreto de sódio a 2% e separação das proteínas insolúveis formadoras do glúten (gliadinas e gluteninas), utilizando-se aparelho Glutomatic (Peter Instruments North America, Inc, Reno, NV, 89510-7398). O glúten úmido foi obtido em porcentagem, na base de 14% de umidade, calculando-se a relação entre o peso total do glúten úmido/g e 100% de umidade da amostra, segundo AACC (1995).



**Figura 17** - Glutomatic (A); Glúten (B)  
Fonte: Imagem cedida pela Bunge

#### 3.2.5.4 *Falling number*

O *Falling Number* ou Número de Queda, foi determinado pelo método 56-81 B da AACC (1995) utilizando o equipamento de *Falling Number* (Figura 18). Trata-se de um teste de viscosidade em pasta, que mede a capacidade da enzima alfa amilase liquefazer um gel de amido, onde é realizada a tomada de tempo em segundos, para uma haste metálica percorrer o gel a uma distância fixa e a temperatura de 100°C (MELLADO, 2006; VÁZQUEZ, 2009).

Farinhas com alta atividade enzimática, são menos viscosas e apresentam baixos Número de queda, em geral abaixo de 150 segundos. Os valores de *Falling Number* possuem relação inversa com a quantidade alfa-amilase (BALHMANN *et al.*, 2013)



**Figura 18 - Falling Number**

Fonte: Imagem cedida pela Bunge

### 3.2.5.5 Alveografia

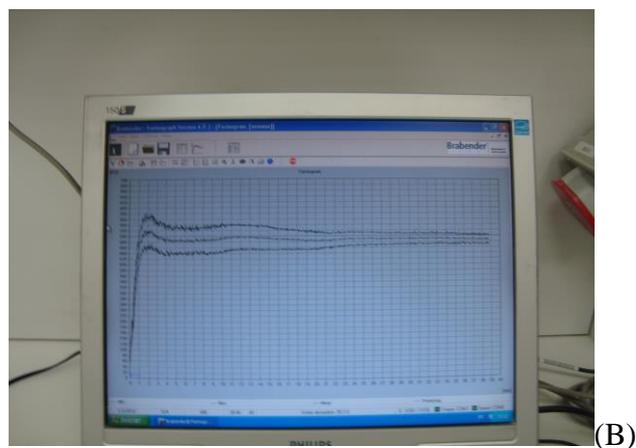
Os testes alveográficos foram realizados conforme o método 54-30 da AACC (1995) usando um alveógrafo (Figura 19). Este teste permite avaliar a força ou o trabalho mecânico necessário para expandir uma massa (W), bem como analisa as características viscoelásticas, a tenacidade (P), a extensibilidade (L), relação tenacidade/extensibilidade (P/L), índice de entumescimento (G) e índice de elasticidade (Ie). A análise do conjunto de parâmetros de alveografia fornece subsídios relevantes sobre a qualidade da farinha, contribuindo para melhor destiná-la à fabricação de produtos finais específicos (MELLADO, 2006; VÁZQUEZ, 2009), é um bom instrumento para a avaliação da qualidade tecnológica das farinhas para panificação (SILVA, 2012).



**Figura 19** - Alveógrafo  
Fonte: Imagem cedida pela Bunge

### 3.2.5.6 Farinografia

Os testes de farinografia foram realizados conforme o método 54-21 da AACC (1995) usando um farinógrafo Figura 20 (A). O princípio do farinógrafo consta em demonstrar a resistência da massa mediante uma ação mecânica (QUAGLIA, 1991). O farinograma (Figura 20 (B)) é um gráfico que fornece parâmetros de absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa, estabilidade, índice de tolerância à mistura e tempo de quebra (MELLADO, 2006; VÁZQUEZ, 2009).



**Figura 20** - Farinógrafo (A) ; Farinograma (B)  
Fonte: Imagens cedidas pela Bunge

Nesta análise a absorção de água deve ser ajustada a um nível ótimo para obtenção de uma consistência da massa de 500 UB (Unidades Brabender), que é capaz de reter adequadamente os gases liberados na fermentação e no cozimento no forno. O tempo de desenvolvimento máximo da massa (TDM) é o tempo em minutos que ela leva para atingir o ponto máximo da curva. É uma indicação do ponto ótimo de energia necessária para o desenvolvimento mecânico da massa. O tempo de chegada é uma medida da velocidade de absorção de água pela farinha e corresponde ao tempo em minutos, necessário para que a linha superior do gráfico atinja a linha das 500 UB, após o início da mistura e da adição de água. Este parâmetro é fortemente dependente da quantidade e da qualidade da proteína e também da granulometria da farinha (BLOKSMA, 1971). O tempo de saída é o tempo limite da mistura, ou seja, após esse

tempo a massa não deve ser mais misturada. É o tempo compreendido desde o início do teste até a saída do gráfico da linha das 500 UB.

A estabilidade à mistura da massa é uma indicação da qualidade da farinha, relacionada com a qualidade da proteína. É a diferença entre o tempo de saída e o tempo de chegada.

O índice de tolerância da massa à mistura (ITM) é a diferença entre o topo da curva no ponto de desenvolvimento máximo da massa e o topo da curva medido 5 minutos após esse tempo de desenvolvimento ser alcançado. Este índice é também um indicativo de força de glúten da farinha.

### 3.2.6 Teste de panificação

A qualidade de panificação das amostras foi determinada segundo o método MAP-04-PD-054 da Bunge Alimentos. Para que se tenha uma fermentação mais controlada, a temperatura da massa precisa ser regulada e isso acontece mediante uso de água com temperaturas inferiores, é determinada considerando o calor de fricção, gerado pelo motor da masseira, específico de cada ingrediente e de hidratação liberado quando uma substância sólida absorve água. Em alguns casos, principalmente em regiões de clima quente para a massa atingir a temperatura ideal é necessário o uso de gelo, desta forma deverá ser considerado o calor de fusão. A temperatura da água a ser adicionada à mistura pode ser determinada pela Equação 5 (ASHRAE, 1994).

$$T_a = 2 \times T_m - T_F - F_f \quad (5)$$

Onde:

$T_a, T_m$  - temperatura da água e temperatura desejável para a massa (°C)

$T_F$  - temperatura da farinha (°C)

$F_f$  - elevação da temperatura devido ao fator de fricção (°C)

Após resfriamento dos pães foi determinado o volume específico pelo método de deslocamento de sementes MAP-04-PD-061, através de um recipiente de volume previamente estabelecido.

Os ingredientes foram pesados conforme apresentado na Tabela 7, bem como os parâmetros utilizados no processo de panificação.

**Tabela 7** – Insumos/quantidades e parâmetros utilizados para pão francês

Item	Valor
Farinha de trigo	2.000g
Sal	36g (1,8%)
Açúcar	20g (1%)
Aditivo Suprema	20g (1%)
Fermento biológico fresco	40g (2%)
Água	53 a 60 % conforme a absorção farinográfica
Tempo de batimento	9 a 11 min
Tempo de forno	17 min

#### Descrição do preparo:

Os ingredientes foram pesados conforme a tabela 7 , colocados na masseira semi-rápida e homogeneizados por 30 segundos, foi adicionado 54,8 % de água de acordo com a absorção farinográfica e foi misturado por 2 minutos na primeira velocidade ( $\pm 28$ rpm), após foi misturado na segunda velocidade ( $\pm 48$ rpm), até a massa desenvolver o glúten e apresentar ponto de véu, foi anotado o tempo de mistura. Após a massa foi retirada a massa da masseira, pesado 2kg e foi deixado em repouso coberto com um plástico, sobre a mesa, por aproximadamente 10 minutos. Foi boleado e colocado na

divisora de modo a obter pedaços de 60-70g e ajustado a modeladora para o tamanho recomendado das peças de massa e modelado os pães. As peças modeladas foram colocadas em bandejas metálicas identificadas e levadas à câmara de fermentação a  $31 \pm 3^\circ\text{C}$  com umidade relativa de 80% por 3 horas.

Após conferido o “ponto” das massas, com um instrumento cortante, foi feito o corte na superfície de cada pão e, em seguida, forneado por 17 minutos a  $210 \pm 20^\circ\text{C}$  com vapor injetado.

Depois de assados, os pães foram retirados do forno e deixados esfriar. Em seguida, foi pesado cada pão e separado 6 unidades, aleatoriamente, para medir o volume (conforme MAP-04-PD-061).

### 3.2.7 Análise de volume específico do pão

O volume específico do pão foi obtido pela razão entre volume e massa, conforme equação (6).

$$Ve = \frac{V}{m} \quad (6)$$

Onde  $Ve$  é o volume específico ( $\text{cm}^3/\text{g}$ );

$V$  é o volume do pão ( $\text{cm}^3$ );

$m$  é a massa do pão (g).

O volume foi determinado com o valor médio de três pães em triplicata, através do método de deslocamento de sementes de painço, utilizando o Medidor de Volume CHOPIN (Figura 21), previamente calibrado. Este equipamento tem duas câmaras de volumes iguais que são ligadas através de um cilindro graduado. Uma câmara é a câmara de amostra e a outra é o reservatório de sementes. O pão é colocado no reservatório da amostra e o espaço restante será ocupado pelas sementes de painço. O volume ocupado pela amostra é medido diretamente no cilindro graduado pela diferença de antes e depois da amostra ser colocada na câmara (HWANG; HAYAKAWA, 1980).

A massa foi a medida direta com o valor médio de 3 pães.



**Figura 21** - Medidor de Volume de Pão.

Fonte: Imagem cedida pela Bunge Alimentos

### 3.2.8 Análise sensorial do pão

Foi realizada análise sensorial por uma equipe de 6 analistas devidamente treinados, que avaliaram as seguintes características: pestana, coloração da casca, textura da casca, coloração do miolo, conforme ficha de avaliação no apêndice 1.

### 3.2.9 Análise Estatística

Foram avaliados os efeitos principais e as interações através do programa computacional Statistica 6.0 (Statsoft, 1997) ao nível de 5% de significância.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Farinha de trigo base

#### 4.1.1 Análise físico-química

**Tabela 8** - Média de resultados de análise físico-química da farinha base

ANÁLISE FÍSICO - QUÍMICA				
Descrição	Umidade %	Cinzas %	Glúten Úmido %	Falling Number segundos
Farinha Base	14,55	0,71	25,2	374
PADRÃO	> 15 *	> 0,80 **	24 a 36 ***	200 a 300 ****

\* e \*\* IN nº8 MAPA - 2005; \*\*\*Carvalho Junior (1999); \*\*\*\*Pizzinato (1977)

A média dos resultados das análises físico-químicas das amostras da farinha base (farinha sem adição de ácido ascórbico) são mostrados na Tabela 8. A análise prévia da farinha é muito importante, pois, possibilita adequar formulações de forma a obter melhor performance dos produtos. Segundo Gutkoski e Jacobsen Neto (2002), define as características de processamento da massa e a qualidade dos produtos finais. Contribui também para adequar a farinha ao uso de forma a garantir melhores resultados.

##### 4.1.1.1 Umidade

O percentual de umidade da farinha está dentro do limite de 15% m/m estabelecido pela Instrução Normativa nº 8 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento MAPA, conforme “Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo” (Brasil, 2005). O teor de umidade deve ser bem controlado, pois, é de

grande relevância para a conservação da farinha durante sua estocagem, umidade alta é um dos principais fatores de aceleração de reações químicas e enzimáticas, provocando efeitos deletérios nas características nutricionais, organolépticas e tecnológicas (SILVA, 2003).

#### 4.1.1.2 Cinzas

A legislação brasileira através da Instrução Normativa nº 8 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento MAPA, conforme “Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo” (Brasil, 2005) faz a classificação das farinhas em Tipo 1, Tipo 2 e Integral de acordo com o teor de cinzas. A farinha em estudo apresentou cinzas de 0,71% em média, remetendo a uma farinha inteira tipo 1, como a maioria das farinhas utilizadas em panificação, segundo Ricardo Lopes *et al.*, (2015) farinha inteira é a farinha formada por todas as frações da moagem que compõem conjuntamente a farinha branca. Os valores de cinzas da farinha, estão relacionados com as cinzas do trigo e o grau de extração, neste caso que foi de 77,5%. Elevados teores de cinzas em farinhas podem indicar alta extração com inclusão de farelo o que é indesejável devido ao fato de propiciar uma cor mais escura, cocção inferior e interferir no desenvolvimento da rede de glúten (FANAN *et al.*, 2006).

#### 4.1.1.3 Glúten Úmido

A farinha em estudo apresentou glúten úmido de 25,2%, geralmente, o teor de glúten está associado com o conteúdo de proteínas insolúveis da farinha de trigo, porém, as características tecnológicas de panificação e das massas estão relacionadas ao conteúdo de proteína e à qualidade do glúten (HOSENEY, 1994; TANADA-PALMU e GROSSO, 2003). Segundo Carvalho Junior (1999), a faixa de glúten úmido recomendada para farinhas destinadas à panificação é de 24 a 36%, assim sendo, a farinha apresentou-se dentro dos valores recomendados.

#### 4.1.1.4 *Falling Number*

Esta farinha apresentou em média 374 segundos, o que confirma característica de uma farinha adequada para a panificação, um trigo melhorador conforme Instrução Normativa nº 38, de 30/11/10 – MAPA, porém, segundo Pizzinatto (1997), o valor que é recomendado para o número de *Falling Number*, está entre 200 e 300 segundos para a farinha de trigo destinada à panificação. Altos valores demonstram que a farinha tem baixa atividade enzimática, mas, isso não é um problema, pois, caso necessário poderá ser adicionado enzima  $\alpha$ -amilase para adequar a atividade enzimática da farinha. Baixos valores, é mais problemático, podem estar relacionados à elevada ação da  $\alpha$ -amilase, proveniente da germinação antecipada do grão de trigo imaturo, à síntese da  $\alpha$ -amilase durante a maturação retardada do grão e à germinação do grão após superação da dormência devido à colheita atrasada (INDRANI; RAO, 2007; XU; BIETZ; CARRIERE, 2007).

Guarienti (1996) constatou que a baixa atividade enzimática não é um problema de difícil solução, pois, a farinha poderá ser corrigida na formulação dos pães com reforçadores ou melhoradores, utilizando a enzima  $\alpha$ -amilase fúngica com a finalidade de correção dessa deficiência. No caso do trigo essa correção pode ser feita através de mesclas de trigo que tenham maior atividade enzimática.

#### 4.1.2 Análises reológicas

As Tabelas 9 e 10 mostram os resultados das análises reológicas das amostras de farinha base (sem adição de ácido ascórbico).

##### 4.1.2.1 *Alveografia*

A Tabela 9 mostra os resultados obtidos na análise de alveografia.

**Tabela 9** – Média de análise reológica – Alveografia da farinha base

ALVEOGRAFIA				
Ensaio	W (10 <sup>-4</sup> J)	P (mm)	L (mm)	P/L
Farinha Base	255	95	76	1,25
PADRÃO	≥ 250			1,0 a 1,8

W:Força; P:elasticidade; L:Extensibilidade; P/L: razão entre a elasticidade e a extensibilidade

O valor médio da força (W) foi 255 (Tabela 9), o valor de W é um indicativo da qualidade do glúten, segundo Instrução Normativa nº 38, de 30/11/10 - M.APA, a amostra em estudo pode ser classificada como trigo pão, com glúten de força média, segundo Willian *et al.*, (1988) citados por Guarienti, (1996) que mostra que valores de W menores que  $50 \times 10^{-4}$  J indicam glúten de qualidade “muito fraco”, entre 51 a  $100 \times 10^{-4}$  J, glúten fraco, valores entre 101 e  $200 \times 10^{-4}$  J, glúten de força média, entre 201 a  $300 \times 10^{-4}$  J, glúten de força média a forte, entre 301 a  $400 \times 10^{-4}$  J, glúten forte e acima de  $401 \times 10^{-4}$  J, glúten muito forte.

O valor encontrado para a elasticidade (P) também conhecida como resistência da massa à deformação foi 95 (Tabela 9), e para a extensibilidade (L) o valor foi 76 (Tabela 9), mostrando um equilíbrio entre as forças elasticidade/extensibilidade com ligeira superioridade para a força elasticidade, ou seja, resistência à extensão, o que é bom para a panificação. Silva, 2012 em seu estudo sobre farinhas de trigo argentino encontrou valor médio de elasticidade (P) de 84 e de extensibilidade (L) de 73. Segundo Maldonado e Rose (2013) citado por Lopes *et al.*, (2015) farinhas com menos fragmentos de fibras oriundos do farelo apresentam maiores valores para L. Os fragmentos de farelo podem interferir na análise contribuindo para o rompimento da bolha antecipadamente.

É importante a existência de proporcionalidade dos valores de P e L, para que associados com o valor de W (força do glúten) expressarem um bom potencial de

panificação. A análise do conjunto de parâmetros de alveografia, fornece subsídios relevantes sobre a qualidade da farinha contribuindo para dar o destino correto para a fabricação de produtos finais específicos (CHEN e D'APPOLONIA, 1985 citados por GUARIENTI, 1996).

#### 4.1.2.2. Farinografia

A Tabela 10 mostra os valores obtidos na farinografia da amostra de farinha de trigo base.

**Tabela 10** – Média de Análise Reológica – Farinografia da farinha base

FARINOGRAFIA			
Ensaio	Estabilidade (min)	Absorção %	TDM (min)
Farinha Base	14,4	54,8	5,1
PADRÃO	>15	>54	

TDM:Tempo de desenvolvimento da massa.

A amostra de farinha apresentou absorção com valor médio de 54,8%, pode ser considerado uma farinha de média absorção. A absorção de água da farinha é de fundamental importância para a qualidade dos produtos da panificação. Segundo Pratt (1971), a absorção de água é influenciada por alguns fatores, dentre os quais o teor de proteína e amido, características intrínsecas de cada cultivar de trigo. Depende também do grau de extração da farinha, da granulometria e do teor de amido danificado no processo de moagem.

A amostra apresentou um valor médio de tempo de desenvolvimento da massa (TDM) de 5,1 minutos (Tabela 10). Este valor pode ser classificado como médio,

indicando que esta farinha base não irá exigir grande energia de mistura para desenvolver a estrutura da rede de glúten, é um ponto positivo para economia de tempo e gasto de energia na indústria de panificação. CAMARGO *et al.*, (1987) encontraram tempo de desenvolvimento de 8,0 min para farinhas provenientes de grãos importados da América do Norte.

A estabilidade à mistura da massa é uma indicação da qualidade da farinha, relacionada com a qualidade da proteína, valor encontrado foi de 14,4 min (Tabela 10), que caracteriza uma farinha de boa qualidade, segundo Instrução Normativa nº 38, de 30/11/10 - M.APA, a amostra em estudo pode ser classificada como trigo melhorador.

#### 4.1.3. Panificação experimental - análise de volume específico do pão e análise sensorial

A Tabela 11 mostra os valores obtidos na panificação experimental das amostras de farinha de trigo base.

**Tabela 11** – Média de Volume específico e parâmetros sensoriais do pão com a farinha base.

TESTE DE PANIFICAÇÃO							
Ensaio	Volume Pão cm <sup>3</sup> /g	Pestana (visual)	Textura da Casca (visual)	Cor da Casca (visual)	Cor do miolo (visual)	Nota Sensorial	Nota Referencial
Farinha Base	7,46	10	8	8	8	9,57	8,83
PADRÃO *	6,0 a 10	Desejável ≥ 7	Desejável ≥ 7	Desejável ≥ 7	Desejável ≥ 8	Desejável ≥ 7,2	Desejável ≥ 7,5
PADRÃO * - conforme critério de avaliação da Bunge Alimentos							

Os pães foram submetidos a análise de volume específico e como complemento foram analisadas características sensoriais, os resultados estão na Tabela 11. Foi obtido um bom resultado para o volume específico, o mesmo está dentro da especificação técnica da Bunge Alimentos, bem como as demais características sensoriais, com

destaque para a Pestana que obteve a nota máxima. Esta boa performance de panificação pode ser observada na Figura 22.



**Figura 22** –Fotografia de pães elaborados com Farinha de trigo sem adição de ácido ascórbico

Fonte: autoria própria

#### 4.2 Planejamento experimental DCCR para o ácido ascórbico sem e com encapsulamento

A Tabela 12 apresenta os resultados da matriz do planejamento experimental  $2^2$ , sem e com encapsulamento do ácido ascórbico.

**Tabela 12** – Resultados do Planejamento Experimental  $2^2$  sem e com encapsulamento do ácido ascórbico

Ensaio	C (ppm)	T (dias)	Ácido Ascórbico sem encapsulamento				Ácido Ascórbico com encapsulamento			
			Volume específico (cm <sup>3</sup> /g)	Elasticidade (mm)	Extensibilidade (mm)	Estabilidade (min)	Volume específico (cm <sup>3</sup> /g)	Elasticidade (mm)	Extensibilidade (mm)	Estabilidade (min)
1	100	30	8,00	114,00	58,43	21,66	7,35	115,67	64,89	20,52
2	100	90	5,22	126,67	45,39	23,17	6,30	141,00	48,97	21,58
3	300	30	6,67	127,67	50,09	26,31	6,40	124,67	48,94	24,94
4	300	90	5,29	140,33	41,05	28,62	5,74	146,67	44,69	25,36
5	58,58	60	6,70	124,33	50,41	19,84	6,50	122,00	58,03	20,22
6	341,42	60	5,81	137,67	41,45	26,98	5,30	141,67	43,72	26,02
7	200	18	7,80	121,33	59,22	25,12	8,00	111,67	57,71	22,56
8	200	102	4,89	137,67	43,76	27,79	7,00	138,33	42,03	23,61
9	200	60	7,03	129,36	48,62	25,55	7,10	125,43	47,00	23,59
10	200	60	7,05	129,38	48,66	25,57	7,30	125,33	47,67	23,53
11	200	60	7,02	129,36	48,63	25,50	7,10	125,67	47,33	23,60

C: Concentração do Ácido Ascórbico; T: tempo de descanso da farinha (dias).

#### 4.2.1 Efeito da concentração do ácido ascórbico sem e com encapsulamento sobre o volume específico.

O volume específico é uma característica importante e mais objetiva na avaliação da qualidade do pão, impacta nas características do miolo, quebra e simetria dos pães (EL-DASH *et al.*, 1978). Um volume muito alto corresponde a um pão de textura fraca, característica que não é aceitável para um pão de boa qualidade (EL-DASH *et al.*, 1982).

Neste estudo para o ácido ascórbico sem encapsulamento (AASEN) os valores de volume específico dos pães variaram entre 4,89 cm<sup>3</sup>/g para adição de 200 ppm com 102 dias de descanso da farinha a 8,00 cm<sup>3</sup>/g para adição de 100 ppm com 30 dias de descanso da farinha. Para o ácido ascórbico com encapsulamento (AAENC) a variação foi de 5,30 cm<sup>3</sup>/g para adição de 341,42 ppm com tempo de descanso da farinha de 60 dias, a 8,00 cm<sup>3</sup>/g para adição de 200 ppm com 18 dias de descanso da farinha (Tabela 12).

Pode-se observar que farinhas com dosagens de 200 ppm para ácido ascórbico encapsulado (AAENC), segundo Tabela 12, alcançaram boa performance ao longo do tempo. A ação do tempo não teve forte efeito deletério no volume específico do pão (Ve), que apresentou Ve de 8,0 cm<sup>3</sup>/g para 18 dias de descanso, 7,2 cm<sup>3</sup>/g para 60 dias e 7,0 cm<sup>3</sup>/g para 102 dias demonstrando uma estabilidade de performance. Lopes *et al.*, 2007 em seu estudo com dosagens de ácido ascórbico até 85 ppm, encontrou que o ácido ascórbico influenciou positivamente no volume específico do pão francês e os maiores volumes encontrados foram para dosagens superiores a 75 ppm.

A especificação de pão francês da empresa que cedeu as amostras de farinha de trigo para este experimento, é de 6,0 a 10 cm<sup>3</sup>/g, sendo assim, podemos afirmar que os ensaios 2,4,6 e 8 com ácido sem encapsulamento e 4 e 6 com ácido encapsulado estão fora da especificação da empresa, ou seja, o experimento sem encapsulamento do ácido ascórbico apresentou maior número de ensaios fora da especificação (Tabela 12).

Este aumento do número de ensaios fora de especificação do não encapsulado, provavelmente foi devido à degradação do ácido ascórbico na farinha durante seu armazenamento. Isto pode ser visto ao compararmos os ensaios 2 e 8 com tempo de 90 e 102 dias de descanso da farinha respectivamente, entre o ácido sem e com encapsulamento. O ensaio 2 obteve 5,22 cm<sup>3</sup>/g e 6,30 cm<sup>3</sup>/g para o sem e com

encapsulamento do AA respectivamente enquanto o ensaio 8 obteve 4,89 cm<sup>3</sup>/g e 7 cm<sup>3</sup>/g para sem com encapsulamento do AA respectivamente (Tabela 12).

Os pães obtidos com a farinha aditivada com 341,42 ppm e 60 dias de descanso para AASEN e AAENC (Tabela 12) apresentaram baixos volumes específicos, fato que pode ter sido ocasionado pela dosagem excessiva de ácido ascórbico o que proporcionou aumento das ligações dissulfeto, tornando a massa mais resistente ao desenvolvimento comprometendo a performance e impactando no custo do produto. Os maiores volumes específicos obtidos para AASEN e AAENC foram com 100 ppm e 200 ppm de concentração de ácido ascórbico com 30 e 18 dias de descanso da farinha respectivamente (Tabela 12).

Para o pão francês produzido na cidade de São paulo, o valor de volume específico encontrado variou de 3,89 a 7,48 cm<sup>3</sup>/g (KOWASLKI; CARR; TADINI, 2002).

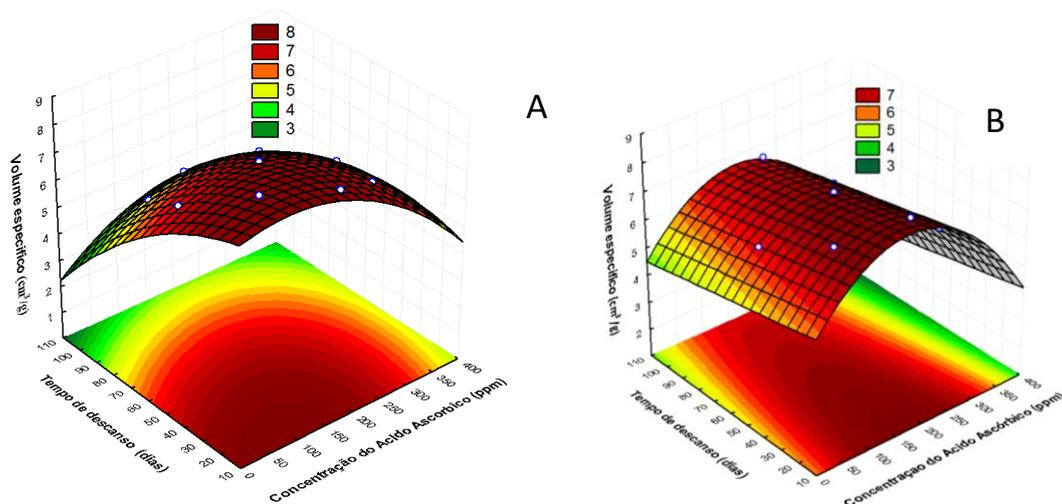
Na Tabela 13 estão os resultados dos efeitos das variáveis independentes (concentração do ácido ascórbico (ppm) e tempo de descanso da farinha (dias) sobre as variáveis dependentes: Volume específico (cm<sup>3</sup>/g) do pão francês; Elasticidade da farinha (mm); Extensibilidade da farinha (mm) e Estabilidade da farinha (min).

**Tabela 13.** Efeito das variáveis independentes sobre as variáveis dependentes (Volume específico (cm<sup>3</sup>/g); Elasticidade (mm); Extensibilidade (mm) e Estabilidade (min))

	Ácido Ascórbico sem encapsulamento				Ácido Ascórbico com encapsulamento			
	Volume específico (cm <sup>3</sup> /g)	Elasticidade (mm)	Extensibilidade (mm)	Estabilidade (min)	Volume específico (cm <sup>3</sup> /g)	Elasticidade (mm)	Extensibilidade (mm)	Estabilidade (min)
<b>B<sub>0</sub></b>	7,033	129,387	48,633	25,540	7,168	125,452	47,323	23,573
<b>B<sub>1</sub></b>	-0,630	11,549	-6,338	5,049	-0,802	10,622	-10,117	4,101
<b>B<sub>2</sub></b>	-2,079	12,173	-11,041	1,908	-0,785	21,377	-10,637	0,744
<b>B<sub>11</sub></b>	-0,777	0,0864	-2,703	-2,131	-1,395	8,159	4,281	-0,452
<b>B<sub>22</sub></b>	-0,701	-1,474	2,915	0,933	NS	1,388	3,358	-0,497
<b>B<sub>12</sub></b>	0,700	NS	2,000	0,400	NS	-1,665	5,835	-0,320
<b>R<sup>2</sup></b>	0,999	0,952	0,999	0,999	0,972	0,955	0,979	0,999

1: Concentração de Acido Ascorbico (ppm) ; 2: Tempo de descanso da farinha (dias);  
R<sup>2</sup>: Coeficiente de Determinação; NS: Não Significativo

Observa-se na Tabela 13 e Figura 23A que o volume específico do pão, teve maior influência do tempo de descanso da farinha no ácido sem encapsulamento, ou seja, o maior tempo provoca redução de volume de panificação, o que pode ser explicado pela degradação do ácido ascórbico. Em contrapartida para o ácido encapsulado, o que teve maior influência foi a concentração, quanto maior a concentração menor foi o incremento do volume do pão o que pode ser visto no ensaio 6 (341,42 ppm e volume específico 5,30 cm<sup>3</sup>/g) (Tabela 12).



**Figura 23.** Superfície de respostas do volume específico ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) em função do Tempo de descanso da massa (dias) e a concentração do Ácido Ascórbico (ppm). A: Ácido Ascórbico sem encapsulamento e B: Ácido Ascórbico com encapsulamento.

Pode-se observar que dosagens acima de 250 ppm de AASEN, resultaram em menores volumes de panificação (Figura 23A), independentemente do tempo de descanso, esta redução do volume se dá devido à grande formação de ligações cruzadas dissulfeto, que deixam a farinha muito elástica, dificultando a expansão da massa do pão. Observa-se que acima de 40 dias (Figura 23A) houve uma queda gradativa de volume, comprometendo a performance da farinha durante todo o seu tempo de vida útil. Para o AAENC (Figura 23B) observa-se que para dosagens até 280 ppm o volume apresentou-se dentro da especificação técnica ao longo do tempo. Para dosagens acima de aproximadamente 320 ppm, o volume dos pães ficou abaixo da especificação técnica independentemente do tempo de descanso da farinha. PEREIRA, *et al.*, (2009) em estudo sobre influência do uso de agentes oxidantes sobre o volume específico do pão francês, constataram que a adição de 40 ppm de ácido ascórbico resultou em pães com volume superior à farinha controle, sem a adição do ácido ascórbico. SOUSA, (2012) encontrou valores de 4,33 e 4,14  $\text{cm}^3/\text{g}$  para adição de 20 e 200 ppm de ácido ascórbico respectivamente.

Como o objetivo é manter a farinha dentro do padrão durante o tempo de vida útil, ao compararmos o AASEN e o AAENC em relação ao volume específico,

pode-se constatar que o AAENC proporcionou um bom volume específico (7,00 cm<sup>3</sup>/g) como mostra o ensaio 8 (200 ppm AA e 102 dias) (Tabela 12) (Figura 22B).

Pode se afirmar que os dados tiveram um bom ajuste à equação proposta, que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram acima de 90% e que a falta de ajuste não foi significativa (Tabelas 13 e 14).

**Tabela 14** - Análise de variância (ANOVA) para volume específico (ácido ascórbico sem e com encapsulamento)

Fontes de variação	Grau de liberdade (GL)	Volume específico (Ácido Ascórbico sem encapsulamento)			Volume específico (Ácido Ascórbico com encapsulamento)		
		Soma Quadrática (SQ)	Média Quadrática (MQ)	F(calc) e p (0,05)	Soma Quadrática (SQ)	Média Quadrática (MQ)	F(calc) e p (0,05)
C(L)	1	0,793	0,93	3374,47 (0,00029)	1,286	1,286	95,259 (0,010)
C(Q)	1	0,855	0,855	3638,30 (0,00027)	2,756	2,756	204,148 (0,005)
T(L)	1	8,560	8,560	19714,17 (0,00003)	1,221	1,221	90,444 (0,011)
T(Q)	1	0,674	0,674	1491,41 (0,00035)	0,058	0,058	4,296 (0,171)
CXT	1	0,490	0,490	2085,1 (0,00048)	0,038	0,038	2,815 (0,233)
Falta de ajuste	3	0,00001	0,000003	0,013 (0,997)	0,144	0,048	3,555 (0,225)
Erro Puro	2	0,00047	0,000235		0,027	0,0135	
<b>Total</b>		<b>11,37248</b>			<b>5,53</b>		

L: linear; Q: Quadrático; C: Concentração do Ácido Ascórbico (ppm); T: Tempo de descanso (dias)

#### 4.2.2 Efeito da concentração do ácido ascórbico sem e com encapsulamento sobre a elasticidade (alveografia - P).

Para a elasticidade verifica-se na Tabela 13 que ambos (sem e com encapsulamento de ácido ascórbico) tiveram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) acima de 90%, mas, a falta de ajuste foi significativa (Tabela 15) ou seja, os dados não tiveram um bom ajuste à equação proposta, por este motivo apenas será discutido o comportamento das variáveis.

**Tabela 15** - Análise de variância (ANOVA) para Elasticidade (ácido ascórbico sem e com encapsulamento).

Fontes de variação	Grau de liberdade (GL)	Elasticidade (Ácido Ascórbico sem encapsulamento)			Elasticidade (Ácido Ascórbico com encapsulamento)		
		Soma Quadrática (SQ)	Média Quadrática (MQ)	F(calc) e p (0,05)	Soma Quadrática (SQ)	Média Quadrática (MQ)	F(calc) e p (0,05)
C(L)	1	266,755	266,755	1778,367 (0,00000)	225,649	225,649	7398,328 (0,000135)
C(Q)	1	0,0106	0,0106	70,667 (0,0123)	94,261	94,261	3090,524 (0,000324)
T(L)	1	293,411	293,411	1956,073 (0,00000)	904,836	904,836	29666,754 (0,000034)
T(Q)	1	2,977	2,977	19846,667 (0,000045)	2,639	2,639	86,524 (0,011372)
CXT	1	0,000	0,000	0,0000 (0,707230)	2,772	2,772	90,885 (0,010835)
Falta de ajuste	3	28,269	9,423	62,820 (0,000014)	57,691	19,230	630,492 (0,001586)
Erro Puro	2	0,0003	0,00015		0,061	0,0305	
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>591,4229</b>			<b>1287,909</b>		

L: linear; Q: Quadrático; C: Concentração do Ácido Ascórbico (ppm); T: Tempo de descanso (dias)

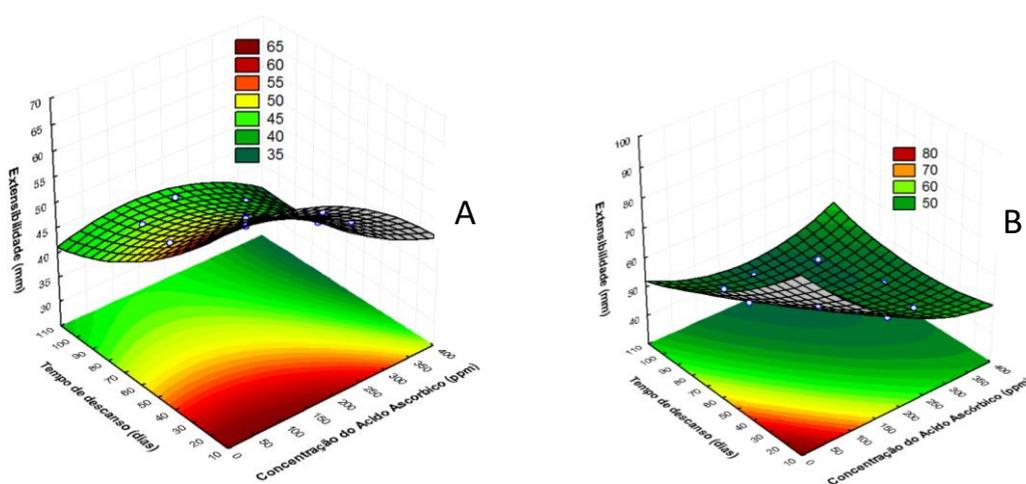
Pode-se observar que o valor da elasticidade aumenta com o incremento das dosagens de ácido ascórbico, e com o avanço do tempo de descanso da farinha (Tabela 13), em ambos os casos (sem e com encapsulamento do ácido ascórbico). Farinhas muito elásticas necessitam de maior tempo de mistura, demandando gasto extra de energia e redução da produtividade do processo e mesmo assim ainda há possibilidade de comprometer o volume do pão. Tempo de batimento muito longo, provoca aumento de temperatura da massa, nestes casos é comum a utilização de gelo ou água gelada e mesmo assim ainda pode não ser suficiente para deixar a massa na temperatura adequada e provocar problemas durante a fermentação.

Para o ácido ascórbico sem e com encapsulamento o aumento do tempo de descanso da farinha, independente da concentração do AA, resultou em aumento da elasticidade, como mostra o Ensaio 1 e 2 (114,00mm / 126,67mm (AASEN) e 115,67mm/ 141mm (AAENC) e o Ensaio 3 e 4 (127,67mm / 140,33mm (AASEN) e 124,67mm/ 146,67mm (AAENC) (Tabela12). Os maiores valores de elasticidade foram obtidos com maior concentração de AA combinado com o maior tempo de descanso (Tabela12), o que é confirmado pela Tabela 13 em que a concentração do AA e o tempo apresentaram efeito significativo sobre a elasticidade.

MATUDA, (2004) encontrou que a adição de ácido ascórbico até ao nível de 200 ppm, causa um aumento na resistência à extensão, ou seja, na elasticidade. Segundo Saraiva, *et al.*, (2010) a adição de 300 ppm de AA promoveu um aumento da elasticidade na ordem de 22%, esse valor também foi encontrado por Pereira, *et al.*, (2009), para farinha com adição de 40 ppm de AA. O aumento da elasticidade acontece, uma vez que, o ácido ascórbico fortalece a rede de glúten criando pontes dissulfídicas.

#### 4.2.3 Efeito da concentração do ácido ascórbico sem e com encapsulamento sobre a extensibilidade (alveografia - L).

Na Tabela 13, verifica-se que independente do ácido ascórbico ser encapsulado ou não, a extensibilidade sofreu influência da concentração do AA e do tempo de descanso da farinha, indicando que quanto maior a concentração do AA e o tempo de descanso da farinha menor será a extensibilidade (Figura 24A e B).



**Figura 24.** Superfície de respostas da Extensibilidade (mm) em função do Tempo de descanso da massa (dias) e a concentração do Ácido Ascórbico (ppm). A: Ácido Ascórbico sem encapsulamento e B: Ácido Ascórbico com encapsulamento.

Na Figura 24A pode-se observar que dosagens acima de 300 ppm, resultaram em menores valores de extensibilidade, e que podem ser mais evidentes após 40 dias do

tempo de descanso da farinha. Com tempo de descanso superior a 50 dias houve redução da extensibilidade independente da concentração de ácido ascórbico. Esta redução da extensibilidade da farinha acontece devido à formação das ligações dissulfeto. Saraiva, *et al.*, (2010) encontraram redução da extensibilidade em 20% do valor para farinha com adição de 300 ppm de AA (Ácido Ascórbico) e Pereira, *et al.*, (2009) encontraram redução de 10% para farinha com adição de 40 ppm de AA.

Na Figura 24B verifica-se que para maiores valores de tempo de descanso da farinha e maiores concentrações de ácido ascórbico encontra-se menor extensibilidade. Dosagens acima de 200 ppm resultaram em menores valores de extensibilidade independente do tempo de descanso, valores de dosagem inferiores mesmo apresentando inicialmente alta extensibilidade, à medida que o tempo avança a extensibilidade ainda diminui.

Evidencia-se que no AAENC a concentração do AA teve maior influência na extensibilidade, provavelmente devido à encapsulação que age como uma forma de proteção (Tabela 13).

Na Tabela 16 constata-se que tanto para o AASEN e AAENC, os resultados tiveram um bom ajuste à equação quadrática, obtendo coeficientes de determinação maior que 90% e uma falta de ajuste não significativa ( $p > 0,05$ ).

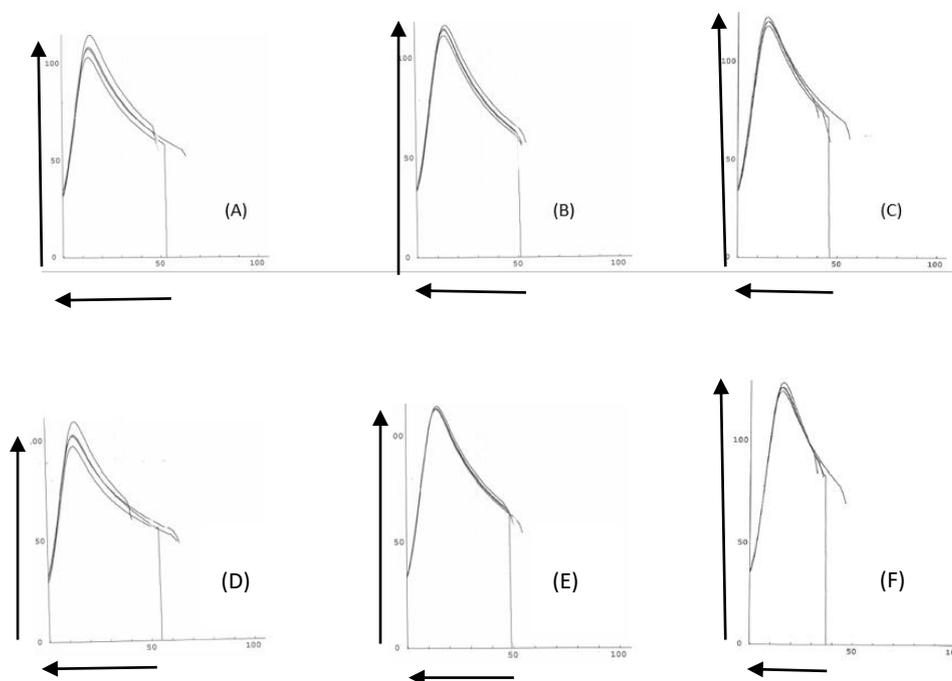
**Tabela 16** - Análise de variância (ANOVA) de Extensibilidade (ácido ascórbico sem e com encapsulamento)

Fontes de variação	Grau de liberdade (GL)	Extensibilidade (Ácido Ascórbico sem encapsulamento)			Extensibilidade (Ácido Ascórbico com encapsulamento)		
		Soma Quadrática (SQ)	Média Quadrática (MQ)	F(calc) e p	Soma Quadrática (SQ)	Média Quadrática (MQ)	F(calc) e p
C(L)	1	80,336	80,336	160,672 (0,000007)	204,701	204,701	1824,429 (0,000548)
C(Q)	1	10,345	10,345	20,690 (0,000052)	25,952	25,952	231,301 (0,004297)
T(L)	1	241,387	241,387	482,774 (0,000002)	224,023	224,023	1996,640 (0,000501)
T(Q)	1	11,644	11,644	23,288 (0,000046)	15,449	15,449	137,692 (0,007187)
CXT	1	4,000	4,000	8,000 (0,000133)	34,047	34,047	303,449 (0,003280)
Falta de ajuste	3	0,000	0,000	0,000 (0,998)	4,916	1,639	14,608 (0,064)
Erro Puro	2	0,0011	0,0005		0,2245	0,1122	
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>347,7131</b>					

L: linear; Q: Quadrático; C: Concentração do Ácido Ascórbico (ppm); T: Tempo de descanso (dias)

A Figura 25 mostra os alveogramas da farinha com adição de 200 ppm de ácido ascórbico com e sem encapsulamento. Para ambos, é observado redução de L (Extensibilidade) e o aumento do P (Elasticidade) ao longo do tempo. O P para 18 dias aumentou 28% e 12% para AASEN E AAENC respectivamente, e com 102 dias 45% e 46% para AASEN E AAENC respectivamente, comparação realizada em relação à farinha controle.

A extensibilidade para 18 dias reduziu 28% e 25% para AASEN E AAENC respectivamente, e com 102 dias 45% e 51% para AASEN E AAENC respectivamente, comparação realizada em relação à farinha controle.



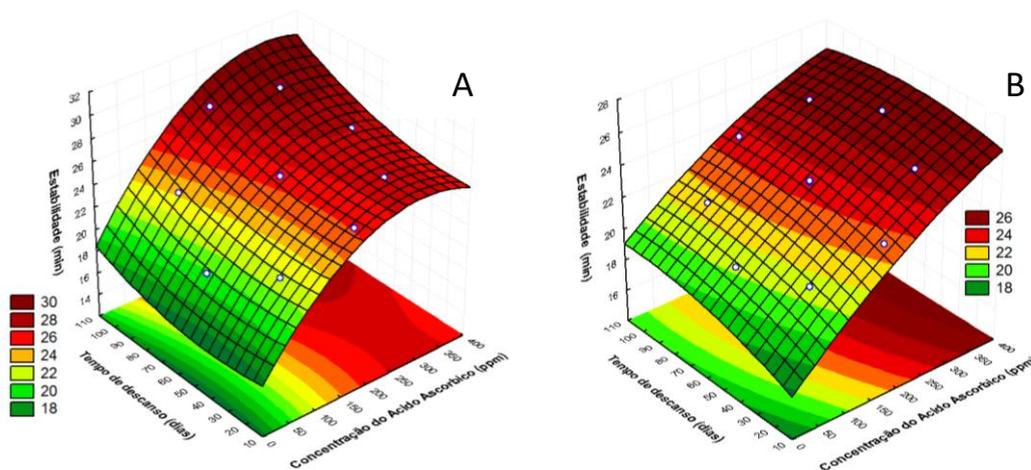
**Figura 25** - Alveogramas da farinha com adição de 200ppm de ácido ascórbico sem encapsulamento: (A): farinha com 18 dias de descanso; (B):farinha com 60 dias de descanso e (C): farinha com 102 dias de descanso. Com encapsulamento: (D): farinha com 18 dias de descanso; (E):farinha com 60 dias de descanso e (F): farinha com 102 dias de descanso.

#### 4.2.4 Efeito da concentração do ácido ascórbico sem e com encapsulamento sobre a estabilidade da farinha

Pode-se observar que o fator tempo praticamente não influenciou, mas, a concentração do AA teve maior influência no aumento da estabilidade tanto para o AASEN e AAENC (Tabela 13 e Figura 26A e B).

Analisando a Figura 26A, com relação ao fator tempo, pode-se observar que houve uma pequena contribuição para o aumento da estabilidade, fato que até à adição de 100 ppm de AASEN o aumento da estabilidade é muito discreto, porém, a partir de 200 ppm a 400 ppm o aumento da estabilidade é mais evidente. Para o ácido ascórbico encapsulado (Figura 26B), com relação ao fator tempo, pode-se verificar que este fator teve uma influência muito pequena independente da concentração de AAENC. Observa-se também que o incremento da concentração resultou em maiores valores de estabilidade, ficando mais evidente para valores acima de 150 ppm de AA. Saraiva, *et al.*, (2010) encontraram pequenas variações na estabilidade da farinha de trigo com adição de ácido ascórbico em diferentes concentrações. Pereira, *et al.*, (2009) em seu experimento concluiu que a adição de 40ppm de ácido ascórbico não alterou as características farinográficas da farinha.

INDRANI E RAO (2006) avaliaram o efeito da adição de agentes oxidantes na massa de farinha de trigo e observaram que a adição de 100 e 200 ppm promoveram aumento da estabilidade.



**Figura 26.** Superfície de respostas da Estabilidade (cm) em função do Tempo de descanso da massa (dias) e a concentração do Ácido Ascórbico (ppm). A: Ácido Ascórbico sem encapsulamento e B: Ácido Ascórbico com encapsulamento.

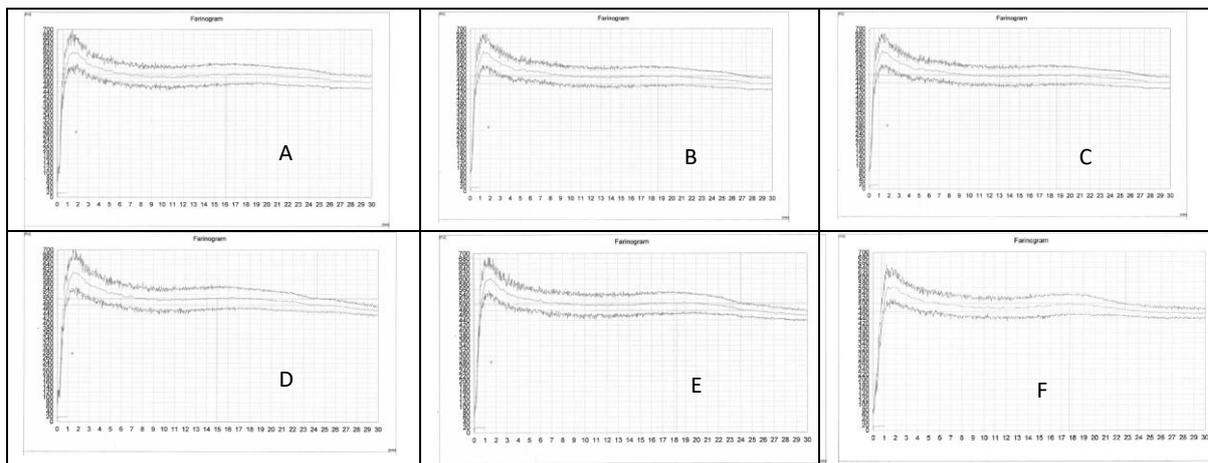
Na Tabela 17 constata-se que tanto para o ácido ascórbico encapsulado ou não os resultados tiveram um bom ajuste à equação quadrática, obtendo coeficientes de determinação maior que 90% e uma falta de ajuste não significativa ( $p > 0,05$ ) para o parâmetro estabilidade.

**Tabela 17 -** Análise de variância (ANOVA) da Estabilidade (ácido ascórbico sem e com encapsulamento)

Fontes de variação	Grau de liberdade (GL)	Estabilidade (Ácido Ascórbico sem encapsulação)			Estabilidade (Ácido Ascórbico com encapsulação)		
		Soma Quadrática (SQ)	Média Quadrática (MQ)	F(calc) e p	Soma Quadrática (SQ)	Média Quadrática (MQ)	F(calc) e p
C(L)	1	50,992	50,992	39224,615 (0,000025)	33,630	33,630	23517,482 (0,000043)
C(Q)	1	6,430	6,430	4946,154 (0,000202)	0,289	0,289	202,097 (0,004916)
T(L)	1	7,212	7,212	5547,692 (0,000180)	1,099	1,099	768,531 (0,001302)
T(Q)	1	1,192	1,192	916,923 (0,001089)	0,338	0,338	236,364 (0,004209)
CXT	1	0,160	0,160	123,077 (0,008027)	0,102	0,102	71,329 (0,013710)
Falta de ajuste	3	0,00001	0,0000	0,0000 (0,999)	0,00006	0,00002	0,014 (0,9969)
Erro Puro	2	0,00260	0,00130		0,00287	0,00143	
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>65,98861</b>			<b>35,46093</b>		

L: linear; Q: Quadrático; C: Concentração do Ácido Ascórbico (ppm); T: Tempo de descanso (dias)

A Figura 27 A, B, C, D e F mostram os gráficos da estabilidade ao longo do tempo para a farinha com 200 ppm de ácido ascórbico sem e com encapsulamento. Observa-se que a farinha permaneceu estável durante os 102 dias para ambos os AA.



**Figura 27-** Farinha com adição de 200 ppm de AASEN: A: com 18 dias de descanso; B: com 60 dias de descanso; C: com 102 dias de descanso. AAENC: D: com 18 dias de descanso; E: com 60 dias de descanso; F: com 102 dias de descanso.

### 4.3 Panificação experimental

**Tabela 18 -** Resultados da Panificação Experimental para 200 ppm de AA para ácido ascórbico sem encapsulamento (AASEN) e ácido ascórbico encapsulado (AAENC).

Dias	AA	Volume específico cm <sup>3</sup> /g	Pestana	Coloração Casca	Textura Casca	Coloração miolo	Nota Sensorial	Nota referencial
<b>18</b>	AASEN	7,8a	10a	10a	10a	8a	9,68a	9,2a
<b>60</b>	AASEN	7,03c	10a	10a	7c	8a	8,9b	8,6b
<b>102</b>	AASEN	4,89d	6c	8b	7c	8a	6,9d	7,3c
<b>18</b>	AAENC	8,0a	10a	10a	10a	8a	9,68a	9,2a
<b>60</b>	AAENC	7,2c	10a	10a	10a	8a	9,68a	9a
<b>102</b>	AAENC	7,0c	7b	10a	10a	8a	8,42c	8,5b
<b>Início</b>	BASE	7,46b	10a	8b	9b	8a	9,1b	8,9a
	Padrão	6 a 10	Desejável ≥7	Desejável ≥7	Desejável ≥7	Desejável ≥8	Desejável ≥7,2	Desejável ≥7,5

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem significativamente pelo Teste de Duncan ( $p > 0,05$ )

A Tabela 18 mostra os resultados da panificação experimental para os pães com adição de 200 ppm de ácido ascórbico sem encapsulamento e com encapsulamento, com tempo de descanso de 18, 60 e 102 dias. Verifica-se que os pães com adição de ácido ascórbico sem encapsulamento perderam volume ao longo do tempo significativamente ( $p < 0,05$ ), ficando fora da especificação para a farinha com 102 dias de descanso. Com relação as demais características, estas se mantiveram em um nível desejado, com exceção da pestana do pão com 102 dias, apresentando diferença significativa com os demais ( $p < 0,05$ ).

Constata-se que os pães com adição de ácido ascórbico com encapsulamento perderam volume ao longo do tempo, ressaltando diferença significativa ( $p < 0,05$ ) de 18 dias para 60 e 102 dias, no entanto, de 60 para 102 dias não teve diferença significativa ( $P > 0,05$ ), salientando que em todo período o volume específico permaneceu dentro da especificação técnica. Com relação as demais características, estas mantiveram-se em um nível desejado ao longo do tempo (Tabela 18).

Com relação à nota sensorial ao comparar as notas no mesmo dia entre AASEN e AAENC, verifica-se diferença significativa ( $p < 0,05$ ) com exceção em 18 dias (Tabela 18).

As Figuras 28 e 29 mostram as fotos dos pães nas concentrações de 200 ppm com 60 e 102 dias de descanso respectivamente. A – ácido ascórbico encapsulado e B – ácido ascórbico sem encapsulamento.



**Figura 28** - (A) Fotografia do pão com adição de 200 ppm de ácido ascórbico encapsulado com 60 dias;  
(B) Fotografia do pão com adição de 200 ppm de ácido ascórbico sem encapsulamento com 60 dias



**Figura 29** - (A) Fotografia do pão com adição de 200 ppm de ácido ascórbico encapsulado com 102 dias;  
(B) Fotografia do pão com adição de 200 ppm de ácido ascórbico sem encapsulamento com 102 dias

## 5. CONCLUSÕES

O modelo obtido para todas as respostas, em ambos os planejamentos tiveram um bom ajuste, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) maior que 90%, exceto para a Elasticidade, que a falta de ajuste foi significativa indicando apenas o comportamento das variáveis independentes, (concentração do ácido ascórbico e tempo de descanso da farinha) sobre a resposta (Elasticidade);

O volume específico do pão teve maior influência do tempo de descanso da farinha e da concentração do ácido ascórbico no ácido sem e com encapsulamento respectivamente;

A concentração de AA e o tempo de descanso da farinha influenciaram significativamente a elasticidade e extensibilidade, tanto para o AASEN e AAENC. A concentração de AA teve maior influência sobre a estabilidade da farinha tanto para o AASEN e AAENC;

Os pães com adição de ácido ascórbico sem e com encapsulamento mantiveram as características sensoriais com níveis desejados, com exceção da pestana do pão com 102 dias para o ácido ascórbico sem encapsulamento.

No experimento de ácido ascórbico sem encapsulamento com 90 dias todas as concentrações de ácido ascórbico apresentaram resultados insatisfatórios para o volume específico do pão comprometendo a *performance* da farinha durante o período total da vida útil da farinha;

No experimento de ácido ascórbico com encapsulamento foi possível obter pães dentro da especificação de volume específico durante toda a vida útil da farinha para as concentrações entre 100 e 300ppm, obtendo melhor resultado para 200ppm.

## REFERÊNCIAS

ABITRIGO 2017. ABITRIGO. **Associação Brasileira da Indústria de Trigo**. Sítio oficial. Disponível em: [www.abitrigo.com.br](http://www.abitrigo.com.br). Acesso em Janeiro de 2017 - <http://www.abitrigo.com.br/farinha-de-trigo.php>)

AGROSAFRA 2014. Disponível em:

[http://www.paranacooperativo.coop.br/PPC/images/Comunicacao/noticias/2014/09/01/agrosafra/Agrosafra\\_01\\_09\\_2014](http://www.paranacooperativo.coop.br/PPC/images/Comunicacao/noticias/2014/09/01/agrosafra/Agrosafra_01_09_2014). Acesso em Junho de 2017.

ALEXANDER, K. Good design practice for medical devices and equipment. **Journal of Medical Engineering and Technology**. Vol. 24, No. 1, p. 5-13. 2000.

ALONSO, I. E. - Alimentos de origen vegetal: Cereales y Derivados. In: RIVERA, V. M. R.; MAGRO, E. S. - **Bases de la Alimentación Humana**. 1ª Ed. La Coruña: Netbiblo, 2008. ISBN: 978-84-9745-215-1. 5 -17.

ALVIM, D.I.; SOUZA, F. S.; KOURY, I. P; JURT, T. T; DANTAS, F. B. H. Use of the spray chilling method to deliver hydrophobic components: physical characterization of microparticles. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 33, supl.1, p. 34-39, 2013.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTRY. **Approved Methods of the AACC**, 1995. 1200p.

APPRICH, S., TIRPANALAN, Ö., HELL, J, REISINGER, M., BÖHMDORFER, S. Wheat bran-based biorefinery 2: valorisation of products. **LWT-Food Science and Technology**, **56**, 222–231, 2013

AQUINO, V. C. - **Estudo da estrutura de massas de pães elaboradas a partir diferentes processos de fermentativos**. Dissertação (Mestrado em Farmácia) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012, p 87

ARANHA, F. Q. et al. O papel da vitamina C sobre as alterações orgânicas no idoso. **Revista Nutrição**, Campinas, v.13, nº 2, Aug. 2000

ASHRAE handbook: refrigeration. Atlanta, American Society of Heating, **Refrigerating and Air – Conditioning Engineers**, 1994

ATWELL, W. A. **Wheat Flour: Practices Guides for the Food Industry**. 1 ed. St Paul, Minnesota, Eagan Press, 137 p. 2001.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the AOAC**. 12.ed. Washington DC, 1975. 110p.

BALHMANN, C. L.; LANZARINI, D. P. Estudo reológico e físico-químico das farinhas de trigo destinadas a panificação produzidas em moinhos da região de Francisco Beltrão. 32 f. **Trabalho de conclusão do Curso de Tecnologia em Alimentos**, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2013.

BÁRCENAS, M.E.; ROSSEL, C.M. Different approaches for improving the quality and extending the shelf life of the part-baked bread: low temp and HPMC addition. **Journal of Food Science**. v.72. 92-99p,2006.

BARRERA GN, LEÓN AE, RIBOTTA PD. Use of enzymes to minimize the rheological dough problems caused by high levels of damaged starch in starch-gluten systems. **J. Sci. Food Agric**. doi: 10.1002/jsfa.7374, 2015

BELZ, M. C. E., RYAN, L. A. M., K. ARENDT, E. K., 2012. The Impact of Salt Reduction in Bread: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition** 52, 514–524.

BLOKSMA, A.H. Rheology and chemistry of dough. In: **POMERANS, Y. Wheat Chemistry and Technology**. Saint Paul, Minnesota, AACC, 1971. p. 523-568.

BOX, E. P.; HUNTER, G.; STUART, J.; HUNTER, G. W. **Statistics for Experiments**. New Jersey: *John Willey and Sons, Inc.*, 2005.

BOOKER, J. D. Industrial practice in designing for quality. **International Journal of Quality Reliability and Management**, v.20, p.388-203, 2003.

BRABENDER OHG., Duisburg, 1990.

BLOKSMA, H.A.; BUSHUK, W. Rheology and Chemistry of Dough in Wheat Chemistry and Tecnology, II 3rd. Ed. Pomerazy, Am. Assoc. **Cereal. Chem**. St. Paul, MN. p.131 – 217, 1988.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução nº 38, de 12 de outubro de 1977**. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/>. Acesso em Junho de 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº354, de 18 de julho de 1996**. Norma técnica referente a farinha de trigo. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, D. F. nº140, 22 julho, 1996

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução nº 90, de 18 de outubro de 2000**. Disponível em:

[http://www.anvisa.gov.br/anvisa legis/resol/2000/90\\_00rdc.htm](http://www.anvisa.gov.br/anvisa legis/resol/2000/90_00rdc.htm). Acesso em Junho de 2017.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução nº 383, de 05 de Agosto de 1999**. Aprova o 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, de 09 de Agosto de 1999. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>. Acesso em: 17 Setembro de 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Informe Técnico n. 72, de 1 de agosto de 2016**. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/anvisa legis/resol/2000/90>. Acesso em Março 2017.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **NOTA TÉCNICA Nº 013/2004-GGALI/GACTA**. Disponível em:

[http://www.anvisa.gov.br/alimentos/bromato\\_potassio.pdf](http://www.anvisa.gov.br/alimentos/bromato_potassio.pdf). Acesso em: Março de 2017

BRASIL. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa nº 8, 03 jun. 2005**. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Farinha de Trigo. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 03 jun. 2005, Seção 1, n. 105, p. 91.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - MAPA, **Instrução Normativa Nº 8 de 03/06/2005**. Acesso em 24 de julho de 2014, disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegisconsulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=12214>.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. **Instrução Normativa nº38, de 30 de novembro de 2010**. Regulamento Técnico do trigo. Brasília, DF.

BRASIL. Poder Legislativo. **Lei nº10.273, de 05 de setembro de 2001**. Dispõe sobre o uso do bromato de potássio na farinha e nos produtos de panificação. Brasília, DF.

BRITES, C. M., TRIGO, M. J., CARRAPIÇO, B., ALVIÑA, M., BESSA, R. J., 2011. Maize and resistant starch enriched breads reduce postprandial glyceemic responses in rats. **Nutrition Research** 31, 302–308.

BUCSELLA, B. et al. Comparison of the effects of different heat treatment processes on rheological properties of cake and bread wheat flours. **Food Chemistry**, v. 190, p. 990–996, 2016.

BUENO, M. M. **Desenvolvimento e Aceitabilidade de Pão de Forma Enriquecido com Polidextrose e Flocos de Quinoa**. [s.l.] Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, 2012

BUNGE ALIMENTOS, metodologia para preparação de pão francês **MAP-04-PD-054**

BUNGE ALIMENTOS, metodologia para medição de volume do pão **MAP-04-PD-061**

BUSHUK, W. Flour proteins: structure and functionality in dough and bread. **Cereal Foods World**, v.30, n.7, p.447-451, 1985

BUSHUK, W. **Wheat breeding for end-product use**. Euphytica 100:137–145, (1998)

CALDEIRA, N. Q. N. et al. Diversidade de trigo, tipificação de farinhas e genotipagem. **Rev. Biotec. Cien. Desenv.**, Brasília, v. 3, n. 16, p. 44-48, 2000.

CALDEIRA, M. T. M.; LIMA, V. L. A.; SEKI, H. A.; RUMJANEK, F. D. Diversidade de trigos, tipificação de farinhas e genotipagem. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, Brasília, v. 16, n. 1, p. 44-48, 2003.

CAMARGO, C. R. O.; CAMARGO, C.E.G., Trigo: **Avaliação tecnológica e novas linhagens**. Bragantina, v. 46, n. 2, p. 81-169, 1987

CANELLA-RAWLS, S. **Pão: arte e ciência**. 5ª ed. São Paulo: Editora Senac, 2012. 323p;

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

CLARK, J. P. Food encapsulation: capturing one substance by another. **Food Technology**, v.56, nº11, p.63-65, 2002.

CARR, L.G.; TADINI, C.C.. Influence of yeast and vegetable shortening on physical and textural parameters of frozen part baked French bread. **LWT – Food Science and Technology**. v.36. 609-614p, 2003.

CARR, L.G. *et al.* Physical, textural and sensory characteristics of 7-day frozen part-baked French bread. **LWT – Food Science and Technology**. v.39. 540-547p, 2006.

CARVALHO, J. D. **Controle de qualidade de trigo e derivados e tratamento e tipificação de farinhas**. Granotec do Brasil (apostila), 1999

CAUVAIN, STANLEY P.; LINDA S. YOUNG. **Technology of breadmaking**; London: Blackie Academic & Professional, 354p, 1998.

CAUVAIN, STANLEY P.; LINDA S. YOUNG. **Tecnologia da panificação**; [tradução Carlos David Szlak]. Barueri, SP: Manole, 2009

CHEFETEL, J. C.; CHEFETEL, H. **Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos**. Zaragoza: Espanha: Acribia, p. 99 – 105, 1999

CHEN, J., and D'APPOLÔNIA, B. L. Alveograph studies on hard red spring wheat flour. **Cereal Foods World** 30:862, 1985.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **A Cultura do trigo**, Conab, 2017. 218 p. Disponível em:

[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_05\\_03\\_16\\_09\\_46\\_a\\_cultura\\_do\\_trigo\\_versao\\_digital\\_nova\\_logo.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_05_03_16_09_46_a_cultura_do_trigo_versao_digital_nova_logo.pdf). Acesso em: 14 junho. 2017.

CONCEREAL. **Consultores cerealistas**. Disponível em <www.concereal.com>, acesso em 25 de junho de 2011.

COPELAND, L. Structural characterization of wheat starch granules differing in amylase content and functional characteristics. **Carbohydrate Polymers**. v.75, p.705-711, 2009.

COULTATE, T.P. Alimentos: **A química de seus componentes**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 368p.

CHUNG, O.K. (1986) Lipid-protein interactions in wheat flour, dough, gluten, and protein fractions. **Cereal Foods World**, **31**, 242–56.

DANELLI, D. et al. Avaliação biológica da funcionalidade de pão de fôrma com adição de quinoa (*Chenopodium quinoa*). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 13, n. EE01, p. 10– 15, 2010.

DANIELS, N.W.R., WENDY-RICHMOND, J., RUSSELL-EGGITT, P.W. AND COPPOCK, J.B.M. (1976) Studies on the lipids of flour. III. Lipid binding in breadmaking. **Journal of Science of Food and Agriculture**, **17**, 20–9.

DAGDELEN, A. F.; GOCMEN, D. Effects of glucose oxidase, hemicellulase and ascorbic acid on dough and bread quality. **Journal of Food Quality**, Oxon, v. 30, n. 6, p. 1009-1022, 2007.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. 4. ed., Porto Alegre: Artmed, 2010. 900 p.

DANNO, G.; HOSENEY, R. C. Effect of sodium chloride and sodium dodecyl sulfate on mixograph properties. **Cereal Chemistry**, v. 59, n. 3, p. 202-204, 1982.

DEPYPERE, F. et al. Food powder microencapsulation: principles, problems and opportunities. **Appl. Biotechnol. Food Sci. Pol.**, v.1, n.2, p.75-94, 2003.

DOBRSZCZYK, B. J.; MORGENSTERN, M. P. Rheology and the breadmaking process. **Journal of Cereal Science**, v.38, n3, p229-245, 2003.

EL-DASH, A.A. An objective experimental baking test using the farinograph and extensigraph. In: **American Association of Cereal Chemists**. Annual Meeting, 61., New Orleans, 1976.

EL-DASH, A. A. Standardized mixing and fermentation procedure for experimental baking test. **Cereal Chemistry**, v. 55, n. 4, p. 436-446, 1978.

EL-DASH, A.A, *et al.* **Fundamentos da tecnologia de panificação** – Série Tecnologia Agroindustrial. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. 350p, 1982.

EL-DASH, A. A. Molecular structure of gluten and viscoelastic properties of dough: a new concept. In: **Brazilian Congress on Proteins**, 1, 1990. Campinas: Editora da UNICAMP, 1990. p.513-530.

EMEJE, M. O., OFOEFULE, S. I., NNAJI, A. C., OFOEFULE, A. U., BROW, S. A. Assessment of bread safety in Nigeria: quantitative determination of potassium bromate and lead. **African Journal of Food Science**, 6, 394- 397, 2014

ESTELLER, M.S.; LANNES, S.C.S.. Parâmetros complementares para fixação de identidade e qualidade de produtos panificados. **Ciênc. Tecnol. Aliment. Campinas** v.25, n.4. 802-806p, 2005.

FANAN, S. et al. Avaliação do vigor de sementes de trigo pelos testes de envelhecimento acelerados e de frio. **Rev. Bras. Sementes**, Brasília, v. 28, n. 2, p. 152-158, 2006.

FARONI, L. R. D. et al. Qualidade da farinha obtida de grãos de trigo fumigados com dióxido de carbono e fosfina. **Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 115-119, 2007.

FENNEMA, O. R.; **Química de los alimentos**. Porto Alegre: Editora Artmed,2010.

FIORUCCI, A. R. A **Importância da Vitamina C na Sociedade Através dos Tempos**. Química Nova na Escola, São Paulo, v.17, maio. 2003.

FITCHETT, C. S.; FRAZIER, P. J. Action of oxidants and other improvers. In: **Chemistry and Physics of Baking**. BLANSHARD, J. M. V.; FRAZIER, P. J.;

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

GERMANI, R.; BENASSI, V.T.; CARVALHO, J.L.; WATANABE, E.; CAMPOS, J. E.; CARVALHO, C.W.P. **Curso de controle de qualidade tecnológica do grão e da farinha de trigo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CTAA, 1997. 60 p. (Apostila)

GIANNOU, V.; KESSOGLOU, V.; TZIA, C. Quality and safety characteristics of bread made from frozen dough. **Trens in food science and technology**. v. 14, n. 1, p. 99-108, 2003.

Gómez, A., Ferrero, C., Calvelo, A., Añón, M. C., Puppo, M. C., 2011. Effect of mixing time on structural and rheological properties of wheat flour dough for breadmaking. **International Journal of Food Properties** 14, 583–598.

GUARIENTI, E. M. **Qualidade industrial de trigo**. 2ªed. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1996. 36p. (*EMBRAPA –CNPT. DOCUMENTOS, 27*).

GUARIENTI, E. M. **Fazendo pães caseiros**. Passo Fundo: EMBRAPA, 2004. 90p.

GUERREIRO, L., 2006. Dossiê Técnico – **Panificação**. REDETEC – Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro.

GUTKOSKI, L. C.; NETO, R. J. Procedimento para Teste Laboratorial de Panificação - Pão tipo Forma. **Rev. Cien. Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 5, p. 873-879, 2002.

GUTKOSKI, L. C.; KLEIN, B.; PAGNUSSATT, A.; PEDO, I. Características tecnológicas de genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivados no cerrado. **Ciência Agrotecnológica**. v.31, n.3, p.786-792, 2007

GIANIBELLI, M. C.; LARROQUE, O.R.; MACRITCHIE, F.; WRIGLEY, C.W. Biochemical genetic and molecular characterization of wheat glutenin and its component subunits. **Cereal Chemistry**. V.78, n6, p. 635-646, 2001.

GLIQUEM, H.; BIRLOOUEZ-ARGON, I.: Effects of sterilization packaging and storage on vitamin C, degradation, protein denaturation and glycation in fortified milks. **Journal of Dairy Science**, 88, 2005, No. 3, pp. 891-899.

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

GROSSKREUTZ, J.C. A lipoprotein model of wheat gluten structure. *Cereal Chemistry*, v. 38, p. 336-349, 1961

HADDAD, Y.; BENET, J. C.; DELENNE, J. Y.; MERMET, A.; ABECASSIS, J. Rheological Behaviour of Wheat Endosperm—Proposal for Classification Based on the Rheological Characteristics of Endosperm Test Samples. **Journal of Cereal Science**. v.34, n.1, p.105-113, 2001

HAARD, N. F. Características de los Tejidos Vegetalis Comestibles: In: FENNEMA, O. R. **Química dos Alimentos**, Zaragoza: Acribia S.A. cap. 15, p. 966 – 967, 1992.

HOSENEY, R.C. (1985) The mixing phenomenon. **Cereal Foods World**, **30**, 453–7

HOSENEY, R. C. **Principios de ciência e tecnologia de los cereales**. Zaragoza: Acribia,1991.

HOSENEY, R. C. **Principles of Cereal Science and Tecnology**, American Association of **Cereal Chemistry**, St Paul, Minnesota, USA, 1994, 825p.

HOSENEY, R. C. **Principles of Cereal Science and Tecnology**, American Association of **Cereal Chemistry**, Second Edition, St Paul, Minnesota, USA, 1994, 825p.

HWANG, M. P.; HAYAKAWA, K. I. Bulk densities of cookies undergoing commercial baking process. **Journal of Food Science**, v. 45, 1980

KNIGHT, I. M. & MAZZIERO, G. Aplicação de Enzimas Amilolíticas em Panificação. **Higiene Alimentar**, v.14, nº 72. P.35-26, 2000.

KOWASLKI, M. B. *et al.* Parâmetros físicos e de textura de pão francês produzido na cidade de São Paulo. In: **XVIII Congresso Brasileiro de Ciências e Tecnologia de Alimentos**. Porto Alegre: SBCTA. 3133-3136p, 2002.

KREIS, M.; SHEWRY, P. R.; FORDE, B. G.; FORDE, J.; MIFLIN, B. J. Structure and evolution of seed storage proteins and their genes with particular references to those of wheat, barley and rye. In: **Oxford University Press**: London. P. 253-317 1985.

KULP, K. (1991) Breads and yeast-leavened bakery foods apud In: Cauvain, S. P., Young, L. S., **Tecnology of breadmaking**. Springer, Second Edition, UK, p.11.

INDRANI D & RAO GV. Effect of additives on rheological characteristics and quality of wheat flour parotta. **Journal of Texture Studies**, 37(3):315-338, 2006.

INDRANI, D.; RAO, G. V. Rheological characteristics of wheat flour dough as influenced by ingredients of *Parotta*. **J. Food Eng.**, California, v. 17, n. 1, p. 110-105, 2007.

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL CHEMISTRY. 1976 Norm ICC N° 110/01. **Determination of the moisture content of cereal products** - Practical Method. Vienna, 1976.

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL CHEMISTRY . 1960 (Revised 1990). Norm ICC N°. 104/1. **Determination of Ash in Cereals and Cereal Products**.

JUNQUEIRA, R. M.; COCATO, M. L.; COLI, C.; CASTRO, I. A. Synergism between lipoxygenase-active soybean flour and ascorbic acid on rheological and sensory properties of wheat bread. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, West Sussex, v. 88, n. 2, p. 194-198, 2008.

LE BAIL, A. *et al.* Impact of selected process parameters on crust flaking of frozen partly baked bread. **Journal of Food Engineering**. v.69. 503-509p, 2005.

LÉON, A. E. De tales harinas, tales panes: **granos, harinas y productos de panificación** em Iberoamérica. Córdoba: Hugo Báez, 2007. 480p.

LEYN, I. D., (2006) **Functional Additives**. In Hui YU Ed. Bakery Products: Science and Technology. Blackwell Publishing, Estados Unidos da América, 233 -242.

LOGOTHETIS, N.; WYNN, H. P. **Quality Through Design: experimental design**. Oxford: Clarendon Press, 1989.

LOPES, A. S.; ORMENESE, R. C. S. C.; MONTENEGRO, F. M.; FERREIRA JUNIOR, P. G. Influência do uso simultâneo do ácido ascórbico e azodicarbonamida na qualidade do pão francês. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**,v.27, n.2 p.307-312, 2007

LOPES, Ricardo Barroso. **Utilização da regressão linear múltipla como ferramenta de otimização em processos industriais de moagem de trigo**. Monografia de especialização (Pós-graduação em gestão industrial produção e manutenção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2012

LOPES, R. B.; DEMIATE, L. M. **Avaliação granulométrica de frações constituintes de farinhas de trigo tipo 1 obtidas da moagem industrial de cultivares disponíveis no mercado brasileiro**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa. ISSN:1981-3686/ v.9 n.1: p. 1786 1796, 2015

MCCANN, T. H., LE GALL, M., DAY, L. Extensional dough rheologye Impact of flour composition and extension speed. **Journal of Cereal Science**, 69, 228 e 237, 2016

MACRITCHIE, F. Physicochemical properties of wheat proteins in relation to functionality. Adv. **Food Nutr.** V.36, n1, p1-87.1992.

MACRITCHIE, F.; LAFIANDRA, D. Structure-functions relationship of wheat proteins. In: **Food Proteins and Their Applications**; DAMORADAN and A. PARAF, eds. Marcel dekker, inc. p 293-324, 1997.

MACRITCHIE, F. Seventy years of research into breadmaking quality. **Journal of Cereal Science**, v. 70, p. 123–131, 2016.

MARSH, D. Mixing and Dough Processing.. In Cauvain, S.P. Young, L.S. **Tecnology of Breadmaking**, London: Blackie Academic & Professional. 81-119p, 1998.

MARTI, A.; ULRICI, A; FOCA, G; QUAGLIA, L; PAGANI, M. A. Characterization of common wheat flours (*Triticum aestivum* L.) through multivariate analysis of conventional rheological parameters and gluten peak test indices. **LWT - Food Science and Technology**, v. 64, n. 1, p. 95–103, 2015.

MATUDA, T.G. **Estudo do Congelamento da Massa de Pão: Determinação Experimental das Propriedades Termofísicas e Desempenho de Panificação**. 155p, 2008.

MATUDA, T.G. **Análise térmica da massa de pão francês durante os processos de congelamento e descongelamento**. São Paulo, 2004. 142p. **Dissertação de mestrado em Engenharia Química**, EPUSP.

MELLADO, M. Z. **El trigo en Chile**. INIA n° 121. 684 p. Instituto de investigaciones agropecuárias. Chillá, Chile, 2006.

MOREIRA, G. E. G. **Obtenção e caracterização de extrato microencapsulado de resíduo agroindustrial de acerola**. Natal – RN, p. 6, 2007.

MORENO, D. A.; CARVAJAL, M.; LÓPEZ-BERENGUER, C.; GARCIA-VIGUERA, C. **Chemical and biological characterisation of nutraceutical compounds of broccoli**. *J. Pharm. Biomed*, v. 41, n. 5, p. 1508-1522, 2006

MORENO, N. P. E. - **Evaluación Del Comportamiento de la fibra soluble como compuesto bioactivo, adicionada en productos horneados de panadería y bizcochería**. **Dissertação (Mestrado em Ciencia y Tecnologia de Alimentos) – Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2012, 145**

MONDAL, A., DATTA, A. K., 2008. Bread baking – A review. **Journal of Food Engineering** 86, 465– 474.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 6.ed, John Wiley & Sons, 2005.

MONTGOMERY, D. C.; BETTENCOURT JR, V. M. **Multiple response surface methods in computer simulation**. v.29, p.113-121, October 1, 1977.

MORETTI, C. L.; ARAÚJI, A.L.; MATOS, L. M. Evaluation of different oxygen, carbon dioxide and nitrogen combinations employed to extend the shelf life of fresh-cut collard greens. **Horticultura Brasileira**, v. 21, nº 4, p.676-680,2003.

MYERS, R. H.; MONTGOMERY, D. C. **Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments**. (Wiley Series in Probability and Statistics), Wiley, New York, 2009.

NARITA, I. M. P.; PEDRO, F.G.G.; OLIVEIRA, A.P. Identificação de bromato em pães tipo francês comercializados nas cidades de Cuiabá e Várzea Grande, Mato Grosso, Brasil. **XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. FAURGS. Gramado, 2016

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

OLIVER, J, R.; ALLEN, H.M. The prediction of bread performance using the farinograph and extensograph. **Journal of Cereal Science**, v.15,n.1, p.79-89, 1992.

OSBORNE, T. B. **The proteins of the wheat Kernel**, Carnegie Intitution of Whashington, Publication, Judd & Detweiler, INC, nº 84. 1907

OWENS, W. G. **Cereals processing technology**. Satake Centre for Grain Process **Engeneering**, University of Manchester Instituteof sciense and Technology, Cambridge: Woodhead Publishing, 2001, 256p.

PATTISON, T. L. ; HOLY, A. V. Effect of selected natural antimicrobials on Baker's yeast activity. Letters in **Applied Microbiology**, v.33, p.211-215, 2001

PAVANELLI, A.P. **Aditivos para panificação**: conceitos e funcionalidade. Artigo Técnico. Associação Brasileira da Indústria de Aditivos e Melhoradores para Alimentos e Bebidas - ABIAM, 2000.

PEREIRA, E.P.R. *et al.* 2009. Influência de agentes oxidantes sobre as propriedades reológicas de massas de farinha de trigo e de grão inteiro e sobre o volume específico de pão francês. **Brazilian Journal of Food Technology**. v.12, n.3, 161-171p, 2009.

PIZZINATO, A. **Qualidade da farinha de trigo: conceitos, fatores determinantes, parâmetros de avaliação e controle**. Campinas: ITAL, 1997.62p.

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

PRATT JUNIOR, D.B. Criteria of flour quality. In: POMERANZ, Y. **Wheat Chemistry and Technology**. Saint Paul, Minnesota, AACC, 1971. p.201-226.

PROZYN., **Agregando valor com ingredientes encapsulados na panificação**. Consulta em 2017.<http://www.prozyn.com.br/pdf/home/Artigo-Prozyn-Ingredientes-encapsulados-na-panificacao.pdf>

PYLER, E. J. **Baking science and technology**. 3rd edition. Kansas City: Sosland Publishing Company. 588p, 1988.

PYLER, E. J.; GORTON, L. A. **Baking science & technology**. 4. Ed. Kansas City: Sosland Publishing, 2008.v.1, 772p.

QUEIROZ, G. M. **Determinação de propriedades termofísicas do pão tipo francês durante o processo de assamento**. Dissertação de Mestrado da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 152p, 2001.

QUEIROZ, D. J. M., MOURA, E.F., CUNHA, M. A., MEDEIROZ, A. C. Q. Avaliação da contaminação por bromato em pães do tipo francês. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, 73(2), 233-237, 2014.

QUAGLIA, G. **Ciencia y tecnologia de la panificación**. 2. ed. Zaragoza: Acribia, 1991. p. 34-39, 51-57 e 61-64.

RAO, G. V.; RAO, P. H. Methods for determining rheological characteristics of doughs: a critical evaluation. **Journal of Science Technology**. V. 30, n.2 p. 77-78, 1993.

RAMOS, A.W.; RIBEIRO, C.O., MIYAKE, D.I. **Seis Sigma, Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**. Ed. Atlas, 2002

RASIAH, I. A.; SUTTON, K. H.; LOW, F. L.; LIN, H. M.; GERRAD, LIN, J. A. Crosslinking of wheat dough proteins by glucose oxidase and the resulting effects on bread and croissants. **Food Chemistry**, Oxon, v. 89, n. 3, p. 325-332, 2005

RIBOTTA, P.D.; LE BAIL, A. Thermo-physical and thermo-mechanical assessment of partially baked bread during chilling and freezing process: Impact of selected enzymes on crumb contraction to prevent crust flaking. **Journal of Food Engineering**. v.78. 913-921p,2007.

RODRIGUES, M. I.; LEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. 2.ed, Campinas: AMIC, 2009.

RONDA, F., RIVERO, P., CABALLERO, P.A., QUILEZ, J. High insoluble fibre content increases in vitro starch digestibility in partially baked breads. **Int. J. Food Sci. Nutr.** 63 (8), 971–977, 2012.

ROUILLÉ, J.; LE BAIL, A., COURCOUX, P. **Influence of formulation and mixing conditions on breadmaking qualities of French frozen dough**. v.43, p.197-203, 2000.

SHAHIDI, F.; HAN, XQ. Encapsulation of food ingredients. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.33, n°6, p.501-547, 1993

SALES, A. M.; VITTI, P. **Estudo preliminar sobre propriedades tecnológicas de panificação da farinha mista de trigo e amaranto**. Col. Ital, Campinas, v. 17, n1, p.49-53, 1987.

SALLAS-MELLADO, M.M. **Estudo da influência da formulação e das condições operacionais dos tipos de congelamento na qualidade da massa e do pão**. Campinas, 2003. 242p. Dissertação (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

SARAIVA, A. L. G.; SILVA, C. E. M.; CLEMENTE, E. Efeito do ácido ascórbico em massa de pão na presença do ácido tânico. *Acta Scientiarum Technology*. v. 32, n. 2, p. 207-211, 2010

SEBESS, P. **Técnicas de Padaria Profissional**. Editora Senac, Rio de Janeiro - R J. 320p,2010.

SCHEUER, P. M.; FRANCISCO, A.; MIRANDA, M. Z.; LIMBERGER, V. M. - Trigo: Características e utilização na panificação. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*. 13, 2 (2011), 211-222

SHEWRY, P. R.; TATHAM, A. S. Disulphide bonds in wheat gluten proteins. *Journal of Cereal Science*. V.25, n.3, p.207-227, 1997.

SHEWRY, P. R.; TATHAM, A. S.; AND HALFORD, N. G. **The Prolamins of the Triticae**. In: Seed Proteins. P. R Shewry and R. Casey, eds. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands. 1999.

SILVA, R. C. **Qualidade tecnológica e estabilidade oxidativa de farinha de trigo e fubá irradiados. 2003**. 89f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SILVA, M. C. F. P. **Estudo do perfil proteico e qualidade de panificação em farinhas de trigo argentino das regiões de Necochea e Up River. 2012**. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2012.

SMITH, W. F. **Experimental design for formulation, ASA-SIAM Series on Statistical and Applied Probability**, SIAM, Philadelphia, ASA, Alexandria, VA, 2005.

SROAN, B. S.; MACRITCHIE, F. Mechanism of gas cell stabilization in breadmaking. II. The secondary liquid lamellae. *Journal of Cereal Science*, v. 49, p. 41-46, 2009.

STAUFFER, C.E. Principles of Dough Formation In **Cauvain, S.P.; Young, L.S. Technology of Breadmaking**. London: Blackie Academic & Professional. 262-295p, 1998.

SOUSA, L. M. C. **Incorporação e otimização de aditivos alimentares e auxiliares tecnológicos em produtos de panificação**. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Alimentar), Universidade Católica Portuguesa, Porto, 2012.

TANADA-PALMU, P.S.; GROSSO, C. R. F. Development and characterization of edibles filmes base on glúten from semi-hard and soft brazilian wheat flours (development of filmes based on glúten from wheat flours). **Revista Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, v.23, n.2, p. 264-269, 2003

TAO, H., WANG, P., WU, F., JIN, Z., XU, X. Particle size distribution of wheat starch granules in relation to baking properties of frozen dough. **Carbohydrate Polymers**, 137, 147–153, 2016

TATHAM, A. S.; MIFLIN, B. J.; SHEWRY, P. R.; The beta –turn conformation in wheat gluten proteins: Relationship to gluten elasticity. **Cereal Chemistry**. V. 62, p. 405-442, 1985.

TILLEY, K. A.; BENJAMIN, R. E.; BOGOROGOZA, K. E.; KOTBER-OKOT, B. M.; PRAKASH, O.; KWEN, H. Tyrosine crosslinks: molecular basis of gluten structure and function. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 49, n. 5, p. 2627-2632, 2001

TIPPLES, K.H.; PRESTON, K.R.; KILBORN, R.H. **Implication of the term “strength” as related to wheat and flour quality**. Bakers Digest, p. 16 – 20, Dec. 1982.

TWEED, A.R. A look at French “French Bread”. **Cereal Foods World**, v.28, n.27, p.397-399, 1983

VÁZQUEZ, D. **Aptitud Industrial de Trigo**. Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología Del INIA. Série Técnica, v. 177, p. 8–32, 2009.

VULICEVIC, I.R. *et al.* Quality and storage life of par-baked frozen breads. *Lebensmittel-Wissenschaft und – Technologie*. v.37. 205-213p, 2004.

WANG, J.; ZHAO, M.; ZHAO, Q. Correlation of glutenin macropolymer with viscoelastic properties during dough mixing. *Journal of Cereal Science*. v.45, p.128-133, 2007

WEESE, D. L. **Conducting process validations with confidence**, *Medical Device and Diagnostic Industry*, Vol. 20, pp. 107-112, 1998.

WIESER, H. Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology*, Garching, v. 24, n. 2, p. 115-119, 2007

WILLIAMS, T., PULLEN, G., 2007. Functional Ingredients. In: Cauvain, S. P., Young, L. S., **Technology of breadmaking**. Springer, Second Edition, UK, 51-89.

XU, J.; BIETZ, J. A.; CARRIERE, C. V. Viscoelastic properties of wheat gliadin and gluten suspension. *Food Chem.*, Reading, v. 101, n. 3, p. 1025-1030, 2007.

YAMASHITA, F. BENASSI, M.T.; TONZAR, A. C.; MORIYA, S.; FERNANDES, J. G. Produtos de acerola: estudo da estabilidade de vitamina C. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.23, nº1, p. 92-94, 2003

