

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

MARCELO GAVA JUNIOR

**APLICAÇÃO DE SORGO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) E EFEITO NAS  
PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE PÃES ISENTOS DE GLÚTEN**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2017

MARCELO GAVA JUNIOR

**APLICAÇÃO DE SORGO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) E EFEITO NAS  
PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE PÃES ISENTOS DE GLÚTEN**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado a disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso superior de Engenharia de Alimentos do Departamento Acadêmico de Alimentos – DAALM - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Medianeira, como requisito para obtenção do título de Bacharel.

Orientadora: Profa. Dra. Nádia Cristiane Steinmacher

Co-orientadora: Profa. Dra. Elciane Regina Zanatta

MEDIANEIRA

2017



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

---

**Marcelo Gava Junior**

**APLICAÇÃO DE SORGO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) E EFEITO NAS PROPRIEDADES  
TECNOLÓGICAS DE PÃES ISENTOS DE GLÚTEN**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado como requisito parcial para obtenção de grau de Engenheiro de Alimentos, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Medianeira, avaliado pela banca formada pelos professores:

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nádia Cristiane Steinmacher  
Orientadora

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elciane Regina Zanatta  
Co-orientadora

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carolina Castilho Garcia  
Membro da Banca

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Glaucia Cristina Moreira  
Membro da Banca

---

Marcelo Gava Junior  
Aluno

**“A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso”**

Medianeira, 23 de novembro de 2017

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por me proporcionar força de vontade, inteligência, paciência e saúde para poder concluir minha graduação e cada etapa deste trabalho. Obrigado Senhor pelos momentos de gozo e realizações que me proporcionou e também pelas dificuldades impostas que só um fizeram crescer.

Meu muito obrigado a todos os meus familiares que estiveram presentes e ativos no decorrer dos meus anos de graduação e principalmente ao meu pai Marcelo Gava, minha mãe Mônica Bogaz Gava e meu irmão Heitor Bogaz Gava que não mediram esforços e palavras de conforto para me apoiar nestes anos.

Deixo meu imenso e sincero agradecimento a minha orientadora e professora Dra. Nádia Cristiane Steinmacher pela insistência, companheirismo e apoio durante a realização da graduação e deste trabalho. A minha co-orientadora e professora Dra. Elciane Regina Zanatta que também me proporcionou suporte nesta caminhada. A empresa NHD Foods que doou a matéria – prima.

Agradeço a todos os meus professores e colegas de curso que participaram direta ou indiretamente da minha graduação, sempre oferecendo o melhor para contribuir com minha formação profissional e pessoal. As minhas fiéis parceiras de curso Rafaela Prata e Manoella Moura, que desde o início sempre estiveram ao meu lado e compartilharam muitas dificuldades e grandes realizações, meu muitíssimo e caloroso obrigado. A Tatiane Oliveira que não mediu esforços em me ajudar no decorrer deste trabalho para que eu pudesse concluir com êxito minha graduação.

Aos membros da banca, meu muito obrigado pelas sugestões e críticas ofertadas, que foram fundamentais para este trabalho.

**“Sofra a dor da disciplina ou sofra a dor do arrependimento”. (Desconhecido)**

## RESUMO

GAVA JUNIOR, Marcelo. Aplicação de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e efeito nas propriedades tecnológicas de pães isentos de glúten. 2017. Trabalho De Conclusão De Curso. Curso De Engenharia De Alimentos. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná – Câmpus Medianeira.

O mercado de produtos voltados ao público celíaco ainda é muito restrito, gerando ao consumidor intolerante ao glúten dificuldades em manter uma dieta. Assim, o presente trabalho teve por objetivo desenvolver pães isentos de glúten com farinha de sorgo. Para o grão, foram realizadas análises físicas como cor, peso hectolitro, tamanho do grão e determinação de impurezas. Realizou-se a moagem do grão e a determinação da granulometria e as análises físico-químicas da farinha. No desenvolvimento dos pães, foi elaborado um planejamento de misturas onde as variáveis eram os espessantes (*psyllium*, goma xantana e HPMC), totalizando 8 formulações. O crescimento da massa (fermentação) foi acompanhado em ambiente controlado (40 °C e 80 % umidade) com uma modelagem matemática partindo de dois modelos Velhant e Gompertz. Os pães foram caracterizados com relação a firmeza, volume específico, cor, atividade de água, análise microbiológica e análise sensorial das 3 formulações escolhidas (100 % *psyllium*, 100 % goma xantana e controle). O tamanho médio dos grãos de sorgo foi de 2,46 mm, as impurezas encontradas foram de 2,37 g para 100 g de amostra, o peso hectolitro gerado foi de 925 kg.100 L<sup>-1</sup> e a coloração foi avermelhada. A farinha obtida possui granulometria grossa de 1,18 mm. A composição proximal da farinha em base seca foi de 12,44 g proteína, 2,82 g cinzas, 0,44 lipídios, 17,40 g de fibras totais, das quais, 17,40 g fibra insolúvel e 1,30 g fibra solúvel e 56,91 g de carboidratos. Os melhores resultados de volume específico e firmeza foi para a formulação que continha 100 % de goma xantana na massa. O modelo matemático que apresentou melhor ajuste ( $R^2 > 0,9$ ) aos dados experimentais de crescimento de pães ausentes de glúten foi o modelo de Velhant. A análise sensorial foi realizada com as formulações de 100 % *psyllium*, 100 % goma xantana e o controle (sem adição de aditivos). Todas as formulações no teste de escala hedônica apresentaram valores acima de 6 para todos os quesitos. No teste de intenção de compra as formulações com aditivos foram as preferidas e o mesmo se repetiu para o índice de aceitabilidade, no qual, a formulação controle foi a única que não apresentou valor acima de 70 %, demonstrando que as formulações com acréscimo de espessante foram as que atingiram a preferência dos julgadores, uma vez que os aditivos adicionados possuem a finalidade de contribuir para a melhoria das características tecnológicas dos pães ausentes de glúten.

**Palavras-chave:** Espessantes. Celíacos. Panificação. Modelagem matemática. Fermentação.

## ABSTRACT

GAVA JUNIOR, Marcelo. Application of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) and effect on the technological properties of gluten - free breads. 2017. Trabalho De Conclusão De Curso. Curso De Engenharia De Alimentos. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná – Câmpus Medianeira.

The market for products aimed at the celiac public is still very restricted, generating the intolerant consumer along with the difficulties in maintaining a diet. Thus, the present work aimed to develop gluten-free breads with sorghum flour. For the grain, physical analyzes such as color, hectoliter weight, grain size and determination of impurities were performed. A grain yield was determined and a granulometry was determined as well as physicochemical analyzes of the flour. In the development of the loaves, a mixture planning was elaborated where as variables are the thickeners (psyllium, xanthan gum and HPMC), totaling 8 formulations. The growth of the mass (fermentation) was monitored in a controlled environment (40 ° C and 80% humidity) with a mathematical modeling of two Velhant and Gompertz models. The loaves were characterized with respect to firmness, specific volume, color, water activity, microbiological analysis and sensorial analysis of the 3 formulations choices (100% psyllium, 100 % xanthan gum and control). The average size of the sorghum grains was 2.46 mm, as the impurities found were 2.37 g for 100 g of sample, the hectoliter weight generated was 925 kg. 100 L<sup>-1</sup> and the staining was reddish. The obtained flour has a thick granulometry of 1.18 mm. A proximate composition of the dry basis flour for 12.44 g protein, 2.82 g ashes, 0.44 lipids, 17.40 g of total fibers, of which 17.40 g insoluble fiber and 1.30 g fiber solubility and 56.91 g of carbohydrates. The best specific and firm volume results for a formulation that continues 100% xanthan gum in the mass. The mathematical model that presented the best fit ( $R^2 > 0.9$ ) to the experimental data of gluten-free moorland growth in the Velhant model. A sensory analysis was performed with the formulations of 100% psyllium, 100% xanthan gum and the control (without addition of additives). All as formulations without hedonic scale test presented values above 6 for all the questions. There is no intention-to-buy test as formulations with additives as if it were a single-form test that presented no value above 70 %, demonstrating that as formulations with added thickener were like attracting a preference from the judges once that the added additives have the purpose of contributing to the best technological technologies of gluten-free breads.

Keywords: Thickener. Celiacs. Bakery. Mathematical modeling. Fermentation.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – PLANTAÇÃO DE SORGO.....	17
FIGURA 2 – ESTRUTURA DO GRÃO DE SORGO.....	18
FIGURA 3 – ESTRUTURA QUÍMICA DO HPMC.....	23
FIGURA 4 – ESTRUTURA DA GOMA XANTANA.....	25
FIGURA 5 – <i>PSYLLIUM</i> .....	25
FIGURA 6 – PROVETA COM A QUANTIDADE INICIAL DE MASSA.....	39
FIGURA 7 - A: AMOSTRA DE GRÃOS DE SORGO SUJO. B: AMOSTRA DE GRÃOS DE SORGO LIMPO.....	43
FIGURA 8 - MATERIAIS ESTRANHOS ENCONTRADOS NAS AMOSTRAS DE GRÃOS DE SORGO.....	43
FIGURA 9 - ESPAÇO DE COR CIE LAB.....	44
FIGURA 10 - MONTANTE DE FARINHA RETIDO EM CADA MALHA.....	45
FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DO TAMANHO DA PARTÍCULA DA FARINHA DE SORGO EM DIFERENTES TAMANHOS DE MALHAS E AS RESPECTIVAS PORCENTAGENS RETIDAS.....	45
FIGURA 12 – PÃES DE SORGO.....	49
FIGURA 13 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS PARÂMETROS L*, a* E b* DOS PÃES.....	51
FIGURA 14 - PAINEL QUE DEMONSTRA A TONALIDADE DE CADA FORMULAÇÃO.....	51
FIGURA 15 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA FIRMEZA DOS PÃES DAS OITO FORMULAÇÕES.....	53
FIGURA 16 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO VOLUME ESPECÍFICO DOS PÃES DAS OITO FORMULAÇÕES.....	55
FIGURA 17 – GRÁFICO DOS RESULTADOS DA ESCALA HEDÔNICA PARA AS FORMULAÇÕES DE PÃES DE SORGO.....	57
FIGURA 18 – GRÁFICO DO ÍNDICE DE ACEITABILIDADE DAS FORMULAÇÕES DE PÃES DE SORGO.....	58
FIGURA 19 - ACOMPANHAMENTO DO VOLUME DA MASSA PARA A	



FORMULAÇÃO 1 ( <i>PSYLLIUM</i> ), EM RELAÇÃO AO TEMPO.....	60
FIGURA 20 - ACOMPANHAMENTO DO VOLUME DA MASSA PARA A FORMULAÇÃO 2 (GOMA XANTANA), EM RELAÇÃO AO TEMPO.....	60
FIGURA 21 - ACOMPANHAMENTO DO VOLUME DA MASSA PARA A FORMULAÇÃO 8 (CONTROLE), EM RELAÇÃO AO TEMPO.....	61
FIGURA 22 - DADOS EXPERIMENTAIS DO VOLUME DA FERMENTAÇÃO PELO TEMPO DA F1 ( <i>PSYLLIUM</i> ), AJUSTADOS PELO MODELO DE CRESCIMENTO POR VELHUST.....	62
FIGURA 23 - DADOS EXPERIMENTAIS DO VOLUME DA FERMENTAÇÃO PELO TEMPO DA F1 ( <i>PSYLLIUM</i> ), AJUSTADOS PELO MODELO DE CRESCIMENTO POR GOMPERTZ.....	63
FIGURA 24 - DADOS EXPERIMENTAIS DO VOLUME DA FERMENTAÇÃO PELO TEMPO DA F2 (GOMA XANTANA), AJUSTADOS PELO MODELO DE CRESCIMENTO POR VELHUST.....	63
FIGURA 25 - DADOS EXPERIMENTAIS DO VOLUME DA FERMENTAÇÃO PELO TEMPO DA F2 (GOMA XANTANA), AJUSTADOS PELO MODELO DE CRESCIMENTO POR GOMPERTZ.....	64
FIGURA 26 - DADOS EXPERIMENTAIS DO VOLUME DA FERMENTAÇÃO PELO TEMPO DA F8 (CONTROLE), AJUSTADOS PELO MODELO DE CRESCIMENTO POR VELHUST.....	64
FIGURA 27 - DADOS EXPERIMENTAIS DO VOLUME DA FERMENTAÇÃO PELO TEMPO DA F8 (CONTROLE), AJUSTADOS PELO MODELO DE CRESCIMENTO POR GOMPERTZ.....	65

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	PLANEJAMENTO DE MISTURA COM A VARIAÇÃO DAS QUANTIDADES E DOS TIPOS DE ESPESSANTES UTILIZADOS NO PREPARO DAS FORMULAÇÕES DOS PÃES.....	35
TABELA 2 -	ANÁLISES FÍSICAS REALIZADAS NOS GRÃOS DE SORGO.....	42
TABELA 3 -	PARÂMETROS INSTRUMENTAIS DE COR ( $a^*$ , $b^*$ , $L^*$ ) PARA OS GRÃOS DE SORGO.....	44
TABELA 4 -	COMPOSIÇÃO PROXIMAL DA FARINHA DE <i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench.....	47
TABELA 5 -	DADOS REOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DAS FORMULAÇÕES DOS PÃES.....	49
TABELA 6 -	RESULTADOS DA ANÁLISE SENSORIAL COM APLICAÇÃO DA ESCALA HEDÔNICA NA AVALIAÇÃO DAS FORMULAÇÕES DE PÃES AUSENTES DE GLÚTEN.....	56
TABELA 7 -	ÍNDICE DE ACEITABILIDADE DAS TRÊS FORMULAÇÕES ESCOLHIDAS DOS PÃES AUSENTES DE GLÚTEN.....	58
TABELA 8 -	TEMPO DE FERMENTAÇÃO E OS RESPECTIVOS VOLUMES OBSERVADOS NA PROVETA DA FORMULAÇÃO 1 ( <i>PSYLLIUM</i> ).....	59
TABELA 9 -	TEMPO DE FERMENTAÇÃO E OS RESPECTIVOS VOLUMES OBSERVADOS NA PROVETA DA FORMULAÇÃO 2 (GOMA XANTANA).....	60
TABELA 10 -	TEMPO DE FERMENTAÇÃO E OS RESPECTIVOS VOLUMES OBSERVADOS NA PROVETA DA FORMULAÇÃO 8 (CONTROLE).....	61
TABELA 11 -	COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ( $R^2$ ), RAIZ DO ERRO QUADRÁTICO MÉDIO PERCENTUAL ( $REQM$ ) E COEFICIENTES DO MODELO DE VELHUNST E GOMPERTZ APLICADOS PARA O AJUSTE DOS DADOS EXPERIMENTAIS DA FERMENTAÇÃO DE PÃES AUSENTES DE GLÚTEN.....	62

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVO.....</b>	<b>15</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
<b>3 JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>16</b>
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
4.1 SORGO.....	17
4.2 POTENCIALIDADE DO SORGO NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS.....	19
4.3 O CONSUMO E A HISTÓRIA DO PÃO.....	20
4.4 GLÚTEN E SUA FUNÇÃO NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS.....	21
4.5 ADITIVOS.....	22
4.5.1 Ação do hidrocolóide hidroxipropilmetilcelulose (HPMC).....	22
4.5.2 Ação da goma xantana.....	23
4.5.3 <i>Psyllium</i> .....	24
4.6 CELÍACOS.....	25
4.7 MODELAGEM MATEMÁTICA.....	26
4.7.1 Contribuição da modelagem matemática na fermentação de pães.....	27
4.7.1.1 Modelo de Verhulst.....	28
4.7.1.2 Modelo de Gompertz.....	31
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
5.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA – PRIMA.....	33
5.2 ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO GRÃO.....	33
5.2.1 Determinação de impurezas e materiais estranhos.....	33
5.2.2 Determinação da cor.....	33
5.2.3 Determinação do tamanho dos grãos.....	34
5.2.4 Peso hectolitro ( $\text{kg hL}^{-1}$ ).....	34
5.3 OBTENÇÃO DA FARINHA (MOAGEM).....	34
5.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA FARINHA.....	34
5.4.1 Composição proximal da farinha.....	34
5.5 DESENVOLVIMENTO DOS PÃES SEM GLÚTEN.....	35
5.5.1 Planejamento experimental das formulações.....	35
5.5.2 Teste de formulação.....	36
5.6 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DOS PÃES.....	36
5.6.1 Firmeza.....	36
5.6.2 Volume específico.....	37
5.6.3 Cor.....	37
5.6.4 Atividade de água ( <i>aw</i> ).....	37
5.7 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DOS PÃES.....	38
5.8 ANÁLISE SENSORIAL.....	38
5.9 MODELAGEM MATEMÁTICA DA FERMENTAÇÃO.....	39
5.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS.....	41
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>42</b>
6.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS GRÃOS.....	42
6.2 FARINHA DE SORGO.....	44
6.2.1 Moagem.....	45

6.2.2 Composição proximal da farinha.....	46
6.3 PROPRIEDADES REOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DOS PÃES.....	48
6.3.1 Cor.....	50
6.3.2 Firmeza.....	52
6.3.3 Volume específico.....	53
6.3.4 Atividade de água ( <i>aw</i> ).....	55
6.5 ANÁLISE SENSORIAL.....	56
6.6 MODELAGEM MATEMÁTICA DA FERMENTAÇÃO.....	59
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>67</b>
<b>8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>68</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>82</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é um dos cereais mais produzido no Brasil e o no mundo (SANCHEZ, 2003; BRASIL, 2010). A planta do sorgo tem uma excelente adaptação a diversos tipos de ambientes, como elevadas temperaturas e escassez de recursos hídricos, alguns dos quais são prejudiciais para a grande maioria dos cereais (SANTOS; CASELA; WAQUIL, 2005; DYKES; ROONEY, 2006). Outra viabilidade do grão é que ele possui menor custo de produção comparado ao milho, além de ter a capacidade de melhor aproveitamento da água e de nutrientes do solo, tendo um valor baixo de comercialização no mercado comparado aos outros cereais (FIALHO et al., 2002; TSUNECHIRO e MIURA, 2011).

Em países como a África e a Ásia o sorgo representa cerca de 70% da fonte de energia para grande parte da população e, além disso, é um cereal que possui como principais constituintes os carboidratos, proteínas e sais minerais (DICKO et al., 2006; MOHAMMED; AHMED; BABIKER, 2011). O consumo do grão por humanos, no Brasil, não expressa significância sendo que a grande maioria da produção é destinada para alimentação animal (MÉNDEZ-ALBORES et al., 2009; TAYLOR; SCHOBBER; BEAN, 2006).

Usualmente o cereal é consumido em forma de grão ou através da farinha, algumas receitas que possuem como base o sorgo incluem, produtos fermentados ou não fermentados, produtos de padaria e produção de bebidas (MÉNDEZ-ALBORES et al., 2009; TAYLOR; SCHOBBER; BEAN, 2006). A população do ocidente possui hábitos alimentares ricos em glúten e por consequência podem desenvolver intolerância a esse tipo de proteína. Dessa forma, a introdução do sorgo na alimentação do ocidente é de grande interesse (SCHOBBER et al., 2005; TAYLOR; SCHOBBER; BEAN, 2006), uma vez que o sorgo é livre de glúten, podendo assim, substituir o trigo em produtos de panificação e, em especial, na elaboração de alimentos voltados aos celíacos (CARDOSO et al., 2015).

Compostos fenólicos são geralmente considerados indispensáveis em alimentos para consumo humano, pelo fato de apresentarem grande atividade antioxidante. Estudos mostram o potencial do consumo do sorgo na alimentação, pelo fato de apresentar agentes bioativos, como os compostos fenólicos (AWIKA; ROONEY, 2004; OLIVEIRA et al., 2017). Em comparação com outros cereais como cevada, aveia, painço e arroz, o sorgo possui o maior nível de componentes fenólicos (RAGAE; ABDEL-AAL; NOAMAN, 2006; SVENSSON et al., 2010).

O mercado dos alimentos busca desenvolver uma série de produtos para atender

diferentes tipos de públicos. A inserção do sorgo na alimentação humana é prática recente. Em vista disso, estudos e pesquisas para a produção de alimentos que tenham como base ou a substituição pela farinha de sorgo estão sendo desenvolvidos (FAO, 2014). Um exemplo de alimento que está sendo adaptado para diversos públicos é o pão. Que possui um alto valor energético e quando adicionado de grãos integrais é fonte de proteína, fibras e minerais. Além de ser um alimento de baixo custo e consumido mundialmente por diferentes classes sociais (SAFETY, 2006).

Na dieta humana o pão é um alimento frequente, produzido com variedade de ingredientes, resultando em diferentes tipos, cujo ingrediente principal é farinha de trigo, água e sal. Algumas formulações buscam substituir a farinha de trigo por de outro cereal, que possa resultar as mesmas características tecnológicas e sensoriais e que seja livre de glúten (COLLAR et al., 2014). Assim, a farinha do sorgo é um ingrediente que pode ser usado por si ou em misturas com outras tradicionais farinhas na produção de alimentos livre de glúten, reduzindo custos, aumentando valor nutricional, resultando assim, em alimento de alta tecnologia (MAGALHAES et al., 2007; SANCHEZ, 2003).

## 2 OBJETIVO

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como principal objetivo desenvolver pães isentos de glúten com farinha de sorgo.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar, através de análises físicas os grãos de sorgo.
- Obter farinha proveniente dos grãos de sorgo para desenvolver pães isentos de glúten.
- Caracterizar, através de análises físico-químicas a farinha de sorgo.
- Desenvolver pães sem glúten partindo de um planejamento de misturas.
- Determinar as propriedades reológicas e físico-químicas dos pães isento de glúten.
- Modelar matematicamente o crescimento da massa dos pães, relacionando tempo e volume.
- Realizar as análises microbiológicas dos pães.
- Avaliar a aceitação sensorial dos pães isentos de glúten elaborados com farinha de sorgo.

### **3 JUSTIFICATIVA**

O mercado de produtos voltado ao público celíaco ainda é muito restrito, gerando ao consumidor intolerante ao glúten dificuldades em manter uma dieta. Assim, o desenvolvimento de tecnologias em alimentos que sejam livres de glúten vem sendo aprimorado para melhorar as características nutricionais e sensoriais dos mesmos.

É de grande interesse e importância caracterizar e avaliar as propriedades do cereal sorgo e aplicá-lo em produtos alimentícios, uma vez que o grão é isento de glúten e apresenta um alto teor de compostos fenólicos e fibras dentre os cereais de consumo usual, tais como arroz e a cevada. Por isso, o desenvolvimento deste trabalho visa contribuir no avanço para a adaptação do sorgo como um novo ingrediente alimentar e aplicá-lo na produção de alimentos viabilizando a produção e comercialização, a partir da agregação de valor à matéria prima, beneficiando assim o consumidor.



## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 SORGO

Sorgo, ilustrado na Figura 1 abaixo, é um cereal pertencente à família Poaceae, originário da África (ANGLANI, 1998). Nos continentes Asiático e Africano o cultivo deste cereal é de extrema importância, pois é utilizado na alimentação humana (AFIFY et al., 2011). Já em países como Brasil, Austrália e Estados Unidos o sorgo é cultivado principalmente para alimentação animal (TALEON et al., 2012). Ultimamente o sorgo vem ganhando destaque dentre os cereais cultivados, sendo indicado como alternativa para substituir o milho e a soja na produção de grãos, para forragem e formação de palha, além de apresentar grande indicativo na substituição do trigo para elaboração de produtos alimentícios (ALMEIDA FILHO et al., 2014).



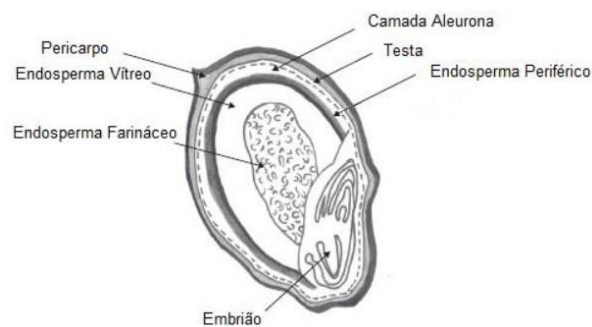
**Figura 1 – Plantação de sorgo.**

**Fonte: Domínio público (2017).**

O Brasil possui clima privilegiado para o plantio de cereais, pois em várias regiões do país existe a possibilidade de realizar duas safras por ano. Na safrinha, também conhecida como segunda safra ocorre o aproveitamento das chuvas do final do verão e início do outono. Dessa forma, é necessário para exploração agrícola nessa época, um sistema de produção bem planejado e espécies que se adaptam a essas condições ambientais, pois este período é marcado por chuvas instáveis e muitas vezes insuficientes. O sorgo possui características xerófitas,

plantas que se adaptam em ambientes secos e quentes, o que torna seu plantio propício na safrinha, viabilizando maior rentabilidade por área (OLEMBO; M'MBOYI; KIPLAGAT, 2010).

O grão de sorgo é constituído pelo pericarpo, endosperma e gérmen. Além das três principais camadas, dependendo da variedade do cereal, observa-se mais uma estrutura denominada testa pigmentada, localizada entre o pericarpo e o endosperma, a qual apresenta taninos pigmentados (EARP; MCDONOUGH; ROONEY, 2004), a Figura 2 ilustra a estrutura do cereal. Os compostos fenólicos e os carotenoides estão localizados no revestimento externo do grão, chamado de pericarpo. O tecido de armazenamento, endosperma, é constituído de amido, proteínas e sais minerais e no gérmen encontram-se lipídeos, vitaminas lipossolúveis e do complexo B e mais minerais (EARP; MCDONOUGH; ROONEY, 2004; SLAVIN, 2004).



**Figura 2 – Estrutura do grão de sorgo.**

**Fonte: ARENT e ZANNINI (2013).**

Dentre as cultivares do sorgo, o Brasil atua basicamente na produção e comercialização de três variedades. O sorgo granífero é uma dessas variedades que se assemelha muito com as características do milho, apresentando alta capacidade de produção de grãos, altura entre 1,0 m a 1,6 m e grãos de tamanho grande. Esse tipo de grão normalmente é utilizado para alimentação animal e na elaboração de farinhas para produção industrial. Outra variedade é o sorgo forrageiro, amplamente utilizado como silagem, pastejo direto, feno e se destacando na produção de biomassa e valor nutritivo. A planta chega a medir de 2,0 m a 3,0 m e possui colmos suculentos e doces. Sorgo sacarino é uma outra cultivar muito semelhante ao forrageiro, que apresenta plantas altas e é amplamente utilizado na produção de álcool, sendo seu plantio realizado em todo o território nacional (CASELA, 1986).

O sorgo é reconhecido pela sua dureza em comparação com outros grãos alimentícios. Essa dureza está relacionada à quantidade de proteína presente no grão, que em média de 11,4 %; sendo a mais expressiva a prolamina com 4,5 % e tendo o aminoácido lisina com 2,35 %.

Um dos principais constituintes do grão é o amido que está presente na faixa de 56-75 % da matéria seca total. O teor de fibra alimentar está entre 1,0 – 3,4 %, os açúcares redutores estão entre 0,05 – 0,053 % e cinzas, 1,3 - 3,3 %. Com relação aos ácidos graxos saturados, os principais presentes no grão são o ácido linoleico (18:2) e o ácido oleico (18:1) (RATNAVATHI; PATIL, 2013).

Os nutrientes presentes no sorgo são diretamente influenciados pela genética (BOUDRIES et al., 2009), assim pesquisas vem sendo realizadas para melhoramento genético, selecionando os genótipos que tenham as melhores características nutricionais, objetivando o incentivo da inserção do sorgo na alimentação humana (MARTINO et al., 2012).

#### 4.2 POTENCIALIDADE DO SORGO NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS

O sorgo está sendo cada vez mais estudado, pesquisado e utilizado na elaboração de produtos alimentícios por apresentar teores expressivos de antioxidantes e ser um cereal livre de glúten. Produtos de panificação ganham destaque na utilização do sorgo, pois o cereal vem sendo utilizado como fonte alternativa de farinha em substituição ao trigo, produzindo alimentos isentos de glúten, *snacks*, mingaus, cervejas, pães, massas entre outros (OLAOYE; ONILUDE; IDOWU, 2006; VARGAS-SOLÓRZANO et al., 2014; VIEIRA et al., 2015).

Alimentos produzidos com sorgo, apresentam elevado valor nutricional, pois o grão é fonte de compostos bioativos, os quais podem trazer benefícios à saúde humana. Pesquisas mostram que alguns compostos isolados do sorgo, como os compostos fenólicos, ajudam na redução dos riscos de desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis como, diabetes, câncer doenças cardiovasculares, hipertensão arterial e obesidade (AWIKA; ROONEY, 2004; CARDOSO et al., 2013; YANG; BROWNING; AWIKA, 2009). Além de auxiliar em atividades anti-inflamatórias, aumento de bactérias promotoras da saúde do intestino e na diminuição do colesterol. Alimentar-se de derivados do grão também resultou em aumento das bactérias produtoras de ácidos graxos de cadeias curtas em indivíduos (MORAES et al., 2012; WOO et al., 2012).

Diversos são os tipos de alimentos elaborados com sorgo. Na África e na Índia é amplamente consumido como mingau ou após passar por um processo de fermentação, na forma de pão. Com a urbanização dessas regiões houve a facilidade do acesso a outros tipos de cereais, resultando em redução do consumo do sorgo. Entretanto, recentemente o grão foi

caracterizado como um alimento saudável, observando-se, assim, um ligeiro aumento no seu consumo e na realização de pesquisas (RATNAVATHI; PATIL, 2013; MARTINO et al., 2012).

#### 4.3 O CONSUMO E A HISTÓRIA DO PÃO

O pão é o alimento mais antigo do mundo segundo registros encontrados. Inicialmente era um alimento rústico e caseiro, tendo aspectos duros e achatados. Com o passar dos anos algumas descobertas foram feitas que melhoraram as características sensoriais e tecnológicas do pão. O fermento é uma tecnologia que promoveu ao alimento maciez e sabor e com a Revolução Industrial, no século XVIII, o pão pôde ser produzido em escala industrial. Pelo fato do consumo de pão ser comum no mundo todo, ele pode ser considerado um alimento internacionalizado. Assim, cada cultura possui traços que o identifica, e cada região do mundo costuma ter seu pão de origem com tamanhos variados, ingredientes diversos, gostos peculiares, equivalendo à cultura local (CUNHA, 2012).

O pão passou de um produto elaborado em casa para as prateleiras das padarias, supermercados e conveniências. Há algum tempo atrás ele era produzido nas residências e em algumas padarias e entregues à domicílio. Com essa evolução, no passar dos anos as formulações também começaram a ser alteradas e aprimoradas adicionando-se novos ingredientes, o que proporcionou agregação de valor nutricional ao alimento. Nos anos 30 alguns cientistas descobriram os benefícios dos grãos integrais, os quais acabaram inseridos nas formulações e perduram até hoje (CEZARINO; CAMPOMAR, 2006; CUNHA, 2012).

A decorrência de doenças cardíacas, diabetes e aumento no índice de obesidade nos brasileiros, fez com que a população procurasse alimentos que não só fazem seu papel de gerador de energia ao organismo, mas também trazem benefícios à saúde. Por este motivo, a busca por pães integrais e com diversas variedades de grãos está sendo cada vez mais comum. O grupo dos celíacos ainda encontra dificuldade em encontrar alimentos que sejam isentos de glúten, porém, formulações de pães que sejam livres de glúten estão sendo desenvolvidas (SDEPANIAN; BATISTA; FAGUNDES-NETO, 2001).

Segundo Acelbra (2013), dentre os alimentos que desejam ser encontrados pelos celíacos, o pão representa 47 % da preferência, biscoitos e bolachas apresentam 21 %, igualando-se as massas (21 %) e, por fim, a pizza, com 11 %. Na produção de pães comuns, o

glúten exerce uma primordial função de retenção dos gases da fermentação que faz com que o produto cresça. Dessa forma, existem dificuldades em elaboração de pão sem glúten, pois requer aplicação de uma nova tecnologia/produto que possua características semelhantes ao glúten (FIGUEIRA et al., 2011).

#### 4.4 GLÚTEN E SUA FUNÇÃO NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS

O glúten é constituído por frações proteicas de gliadina e glutenina, é uma substância elástica, aderente, insolúvel em água e encarregado pela estrutura das massas alimentícias. A formação do glúten é originada pela hidratação dessas proteínas que se ligam e com outros compostos macromoleculares por variados tipos de ligações químicas. O trigo é amplamente utilizado na elaboração de produtos de panificação, pois é constituído de quantidade adequada dessas proteínas, as quais geram características desejáveis aos produtos (ARAÚJO et al., 2010; WIESER, 2007).

A composição da farinha de trigo pelas proteínas gliadina e glutenina é o que a faz ser a base na produção industrial e doméstica de produtos de panificação e massas alimentícias. A funcionalidade da união dessas proteínas é o que vai garantir ao alimento características fundamentais para sua aceitação pelo consumidor, influenciando diretamente na sensorial e na tecnologia do produto. O trigo é amplamente adicionado na elaboração e no preparo de alimentos para conferir textura desejada e palatabilidade agradável (ARAÚJO et al., 2010).

A substituição da farinha de trigo por uma farinha sem glúten na produção de pães vem sendo utilizada para atender o público de celíacos e os indivíduos que desejam restringir o glúten da dieta. Essa substituição gera um produto funcional com maior valor nutricional e tecnológico comparado ao pão produzido à base de trigo (COLLAR et al., 2014). Alimentos funcionais além de saciar a fome, podem fornecer nutrientes necessários para prevenir doenças e aumentar o bem-estar dos consumidores (VIEIRA et al., 2015; WANSINK; WESTGREN; CHENEY, 2005).

Além de todos os benefícios gerados pela farinha sem glúten à saúde dos celíacos, alguns produtos de panificação ainda sofrem dificuldades para serem produzidos. Assim, é necessária a combinação de ingredientes ou modificação nas técnicas tradicionais de preparo com a finalidade de elaborar produtos com característica sensorial e tecnológica aceitável, agradando o consumidor (ARAÚJO et al., 2015; CAPRILES; ARÊAS, 2012).

## 4.5 ADITIVOS

As gomas e os hidrocolóides são aditivos essenciais na elaboração de pães ausentes de glúten. Eles têm a capacidade de melhorar a textura e aparência do produto final, devido às suas propriedades de formação. Sua adição assegura uma maior consistência da massa, melhor capacidade de retenção de gás e proporciona ao produto uma vida útil mais longa. Dentre os aditivos mais eficazes está presente o hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e a goma xantana (CAPRILES; ARÊAS, 2012). *Psyllium* é um polissacarídeo amplamente utilizado na indústria de alimentos, farmacêutica, ambiental e química. Sua aplicação vem sendo como estabilizante, espessante e emulsificante. A sua decomposição não agride o meio ambiente, pois é biodegradável, e está sendo estudado para substituir os aditivos sintéticos aplicados em diversos produtos (AKBAR et al., 2012).

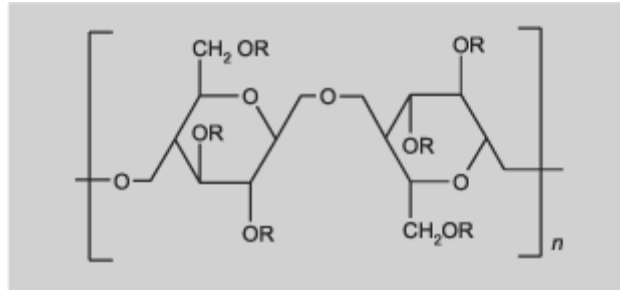
### 4.5.1 Ação do hidrocolóide hidroxipropilmetilcelulose (HPMC)

O HPMC é um hidrocolóide de éter de celulose, solúvel em água, que possui em sua estrutura química grupos alquil, os quais, se ligam parcialmente à estrutura, substituindo os hidrogênios e grupos hidroxilas e modificando as características originais da celulose como é mostrado na Figura 3. Esse tipo de modificação confere elevada capacidade de hidratação em solução, relacionando essa ação com as mudanças de temperatura (SDEPANIAN; BATISTA; FAGUNDES-NETO, 2001).

A utilização dos hidrocolóides, como o HPMC, na fabricação de pães isentos de glúten confere ao produto aumento no volume, pois sua estrutura possibilita alta capacidade de retenção de gás, além de melhorar as características do miolo provocando o retardamento da retrogradação da amilopectina, conferindo aspectos positivos na sensorial (BÁRCENAS; ROSELL, 2005; GUJRAL; ROSELL, 2004).

Além dos hidrocolóides, as gomas (guar, xantana) e os emulsificantes (gliceril monoestearato–GMS, polioxietilenoestearato–POES, mono e diglicerídeos estearoil-lactatos) também são usadas para fabricação de alimentos isentos de glúten. De modo geral, esses aditivos substituem a função do glúten, promovendo uma rede proteica que tem o propósito de gerar volume, viscosidade e estrutura à massa, além de atuar na estabilidade da emulsão,

evitando que o pão fique quebradiço (FIGUEIRA et al., 2011; GALLAGHER; GORMLEY; ARENDT, 2004).



**Figura 3 – Estrutura química do HPMC.**

**Fonte: Domínio público (2017).**

#### 4.5.2 Ação da goma xantana

O polímero goma xantana (Figura 4) está sendo amplamente utilizado na elaboração de alimentos, tanto no Brasil, como no mundo. Esse polissacarídeo de grande importância industrial é sintetizado por uma bactéria fitopatogênica do gênero *Xanthomonas*. No ano de 1969 sua utilização foi aprovada pela Food and Drug Administration (FDA), desde então é aplicada em diversos ramos da indústria com a finalidade de formação de soluções viscosas a baixas concentrações e estabilidade em extremas faixas de temperatura e pH (FERREIRA et al., 2015).

Por possuir propriedades como espessante de solução aquosa, agente dispersante, estabilizadora de emulsões e suspensões, estabilizadora de temperatura do meio, propriedades reológicas e pseudoplásticas e compatibilidade com ingredientes alimentícios, sua utilização é vasta na produção de alimentos. A característica de ser um estabilizante é a mais visada na indústria de alimentos, sendo empregada em cremes, sucos artificiais, molhos em geral, em carnes, xaropes, coberturas para sorvetes e sobremesas (CHAVAN; BAIG, 2016).

A goma xantana apresenta compatibilidade com a maioria dos colóides utilizados nos alimentos, incluindo o amido, sendo assim, ideal para a elaboração de pães e produtos de panificação. Confere aos produtos aumento da vida de prateleira, diminuindo a taxa de desidratação ou retendo a umidade, promovendo melhoria da textura e das características sensoriais do alimento (APLEVICZ; MOREIRA, 2015).

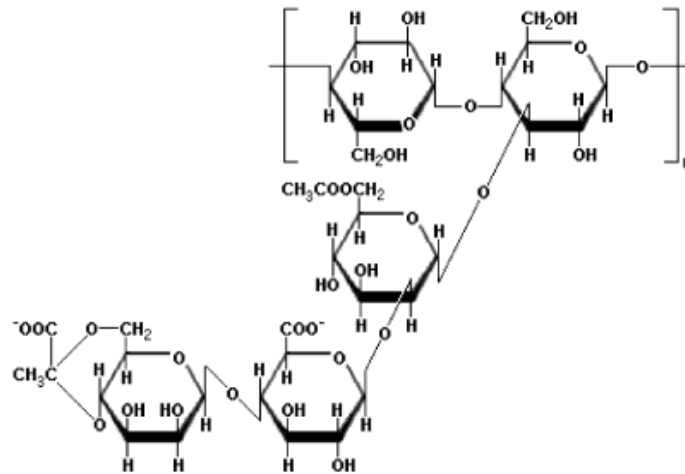


Figura 4 – Estrutura da goma xantana.

Fonte: Domínio público (2017).

#### 4.5.3 *Psyllium*

*Psyllium* (Figura 5) é uma planta cultivada mundialmente do gênero *Plantago* e possui em torno de 200 espécies (YIN et al., 2016; SINGH; SHARMA; CHAUHAN, 2007). É um polissacarídeo oriundo de fonte natural sendo biodegradável e de fácil digestão e é um dos polissacarídeos mais promissores não só no âmbito alimentício, como ambiental e da biomedicina (THAKUR; THAKUR, 2014; TRIPATHI; MISHRA, 2013).

A casca do *psyllium* proveniente da planta tem sido utilizada como medicamento há muitos anos, com função de limpeza intestinal, como alimento funcional e aplicada em produtos suplementares dietéticos (YIN et al., 2016). Atualmente existem muitos estudos que estão aplicando o *psyllium*, como nos tratamentos de síndromes intestinais, obesidade, câncer de colon, constipações, diabetes, colesterol desregulado, úlceras e aterosclerose (MISHRA et al., 2014).

Com relação a estrutura química do *psyllium* ele é altamente ramificado com presença de arabinose e xilose e vestígios de outros açúcares e sua estrutura é composta por uma cadeia principal com ramificações de D-xilopiranosoli ligado por β (1 → 4) e 70 % de sua fibra é solúvel (THAKUR; THAKUR, 2014). É solúvel em água e tem sua utilização como espessante, auxiliando em suspensões, estabilizantes, aglutinadores, emulsificantes, amplamente utilizado em indústrias alimentícias, aplicado a cosméticos e fármacos e tendo uma propriedade muito



importante que é uma alternativa “verde” em substituição de materiais sintéticos industriais (AKBAR et al., 2012).

Na elaboração de massas alimentícias foi comprovado que o *psyllium* durante o amassamento forma um filme ao interagir com água e amidos, assemelhando-se ao glúten, gerando um parecer promissor nas características tecnológicas e nutricionais do produto final (MARIOTTI et al., 2009).



**Figura 5 – *Psyllium*.**

**Fonte: Domínio público (2017).**

#### 4.6 CELÍACOS

Doença celíaca é um tipo de doença autoimune desencadeada pela ingestão de glúten por indivíduos geneticamente susceptíveis, sendo também necessária a presença de fatores ambientais e imunológicos para que a doença se expresse. A manifestação da doença no organismo humano é causada pelo contato da gliadina com as células do intestino delgado, acarretando uma resposta imune, produzindo anticorpos (MIÑARRO et al., 2012; MIRANDA et al., 2014; SCAZZINA et al., 2015; THOMPSON et al., 2005).

O distúrbio alimentar mais comum e é considerado um problema de saúde pública, devido à sua persistência e probabilidade de aparecimento de complicações graves no organismo, acarretando osteoporose e doenças malignas no trato gastrointestinal. No Brasil,

essa doença é mais comum do que se imagina, porém diagnosticar o indivíduo celíaco é difícil, pois a doença pode ficar sem se manifestar por um longo período e, ainda, pode potencialmente afetar outros órgãos e não apenas o trato gastrointestinal, como de costume (ARAÚJO et al., 2010; PRATESI; GANDOLFI, 2005).

Alguns estudos mostram que no Brasil a região sudeste é a que mais apresenta portadores da doença e, no país cerca de 300 mil brasileiros são atingidos, sendo as mulheres a maioria. Com relação à susceptibilidade das raças, os brancos apresentam maior predominância da doença, e pelo fato de o Brasil ser um país miscigenado, a ocorrência da doença em mulatos já é expressiva (ARAÚJO et al., 2010; PRATESI; GANDOLFI, 2005).

Ainda não existe nenhum tipo de medicamento que possibilite ao paciente intolerante ingerir alimentos que possuem glúten. Então, o único tratamento que existe é a eliminação do glúten da dieta. Mesmo a ingestão de pequenas quantidades pode provocar os sintomas da doença. Sendo assim, por falta de alternativas eficazes, é necessário seguir uma alimentação restrita ao glúten (MIRANDA et al., 2014).

Segundo a Associação dos Celíacos do Brasil (2013), alimentos voltados aos indivíduos celíacos são limitados no Brasil. Dentre os cereais que são isentos de glúten e são utilizados na produção de alimentos, o sorgo é caracterizado como um alimento base para mais de trinta países e meio bilhão de pessoas (FAO, 2014). Em contrapartida, mesmo que seu consumo pelo mundo esteja crescendo, o sorgo não atingiu seu potencial produtivo. Por ser um alimento isento de glúten, sua inserção na nutrição humana é de grande importância (TAYLOR; SCHOBER; BEAN, 2006).

#### 4.7 MODELAGEM MATEMÁTICA

A abordagem e utilização da modelagem matemática torna-se essencial no controle e na análise de um processo. Sua aplicação nas atividades do cotidiano é vasta, basta ter um problema, criatividade na resolução e material matemático que, conseqüentemente, surgirá um modelo que proporcionará relacionar os dados coletados e sua ação sobre a realidade (STAIL; OLIVEIRA; SCHULTZ, 2013). Segundo Biembengut e Hein (2004), a modelagem matemática é a interação entre dois opostos, matemática e realidade. Isto é, fazer uma tradução através da modelagem do mundo real para o matemático, e isso será possível se ocorrer uma série de procedimentos.

O primeiro procedimento é o reconhecimento do problema (situação) e a familiarização, pesquisa sobre o assunto a ser modelado. A matemática fornecerá a resolução do problema em termos de modelo, tradução do problema para a linguagem matemática, obtendo-se assim, um conjunto de equações, expressões e gráficos. O terceiro procedimento, é a validação do modelo gerado (BIEMBENGUT; HEIN, 2004).

A modelagem matemática nada mais é do que uma simplificação do mundo real ou a conveniência em trabalhar com este mundo. Porém, as características primordiais do mundo real devem estar expressas no modelo, gerando assim, uma situação igual ou parecida àquela do sistema modelado. O modelo matemático é constituído por equações matemáticas que representam quantitativamente as hipóteses utilizadas na construção do modelo, as quais se apoiam no sistema real (SODRÉ, 2007).

A resolução das equações tem como partida valores previstos ou conhecidos pelo modelo real e podem ser testadas fazendo comparações com os dados do sistema real. As equações matemáticas não proporcionam uma explicação científica dos modelos, elas simplesmente interpretam hipóteses de um ponto de vista quantitativo, proporcionando dedução de consequências e mostrando onde estão os detalhes que deverão ser recusados ou aceitos (SODRÉ, 2007).

#### 4.7.1 Contribuição da modelagem matemática na fermentação de pães

Na produção de pães uma etapa fundamental é o processo da fermentação. Nesta fase ocorre o “crescimento” da massa, sendo que, as leveduras (fermento) adicionadas consomem os açúcares presentes na massa, transformando-os em álcool e gás carbônico. O processo da fermentação quando realizado em condições ideais, umidade, tempo e temperatura, e quantidades de ingredientes corretos, proporciona ao produto uma excelente qualidade. Além da fermentação alcoólica, outros tipos de fermentações são realizadas pelos microrganismos que geram compostos responsáveis pelo odor e sabor característicos do pão (STAIL; OLIVEIRA; SCHULTZ, 2013; RIBEIRO, 2006).

Para que o fenômeno da fermentação ocorra é necessário adicionar à massa levedura e uma certa quantidade de substrato, a fonte do substrato é proveniente do açúcar adicionado e da farinha (açúcares fermentáveis). Dessa forma, em condições ideais as leveduras começam a se multiplicar, consumindo os açúcares e, por consequência produzindo álcool, que é evaporado

e gás carbônico, o principal responsável pelo aumento de volume da massa. Salientando que a umidade e temperatura ideais ajudam no crescimento das leveduras (STAIL; OLIVEIRA; SCHULTZ, 2013).

Partindo da importância do fenômeno da fermentação, a modelagem matemática permite estudar e identificar através dos recursos matemáticos qual o comportamento do crescimento da massa de pães. Para essa determinação são abordados dois modelos matemáticos, Gompertz e Verhulst que avaliam crescimento populacional.

#### 4.7.1.1 Modelo de Verhulst

O modelo de Verhulst foi desenvolvido partindo de modificações do modelo de Malthus. Ele descreve a evolução temporal do número de indivíduos de uma determinada espécie biológica. Para isso, adotou-se que o alimento disponível e o espaço físico ocupado sejam finitos, fazendo com que a população cresça limitadamente. Outras suposições adotadas foram que a taxa de variação da população em relação ao tempo deveria ser proporcional à população presente e que a taxa de variação da população em relação ao tempo deveria ser proporcional à fração da população ainda não utilizada até o presente momento da análise (GROSS; ABRÃO; JESZENSKY, JEAN, 2006; STAIL; OLIVEIRA; SCHULTZ, 2013).

Partindo da equação (1):

$$V'(t) = rV(t) \frac{V_f - V(t)}{V_f} \quad (1)$$

Em que:

$V'(t)$  = taxa de variação do volume da população;

$r$  = coeficiente de crescimento da população;

$V(t)$  = variação do volume da população em um determinado tempo;

$V_f$  = volume máximo de crescimento populacional.

Quando  $V(t)$  tende a 0, tem-se a equação (2):

$$\frac{V_f - V(t)}{V_f} \rightarrow 1 \quad (2)$$

Em que:

$V(t)$  = variação do volume da população em um determinado tempo;

$V_f$  = volume máximo de crescimento populacional.

Quando  $V(t)$  tende a  $V_f$ , tem-se a equação (3):

$$\frac{V_f - V(t)}{V_f} \rightarrow 0 \quad (3)$$

Em que:

$V(t)$  = variação do volume da população em um determinado tempo;

$V_f$  = volume máximo de crescimento populacional.

A população tende a decrescer, logo, tem-se a equação (4)

$$\frac{dV}{dt} \rightarrow 0 \quad (4)$$

Em que:

$dV$  = variação do volume da população;

$dt$  = variação de tempo.

Tendo como fator de correção  $\frac{V_f - V(t)}{V_f}$  então,

$$\frac{dV}{dt} = rV(t) \frac{V_f - V(t)}{V_f}$$

$$\frac{dV}{dt} = r \left( 1 - \frac{V_f - V(t)}{V_f} \right) V(t)$$

$$r dt = \frac{dk}{\left(1 - \frac{V_f - V(t)}{V_f}\right) V(t)}$$

$$r dt = \left[ \frac{1}{V} + \frac{1}{V_f} \left( \frac{1}{1 - \frac{V}{V_f}} \right) \right] dV$$

$$\int r dt = \int \frac{dV}{V} + \frac{1}{V_f} \int \frac{1}{1 - \frac{V}{V_f}} \quad (5)$$

Em que:

$r$  = coeficiente de crescimento da população;

$dt$  = variação do tempo de crescimento da população;

$dV$  = variação do volume da população;

$V$  = volume da população;

$V_f$  = volume final que essa população atinge.

Sendo  $\ln(V) - \ln(1 - V/V_f) = rt + A$  e tomando  $t = 0$ ,  $V(0) = V_0$ , obtém-se, a equação

(6):

$$A = \ln\left(\frac{V_0}{1 - \frac{V_0}{V_f}}\right)$$

$$\frac{V_0}{1 - \frac{V_0}{V_f}} = \frac{V_0 e^{rt}}{1 - \frac{V_0}{V_f}} \quad (6)$$

Em que:

$V_0$  = volume inicial da população;

$V_f$  = o volume máximo da população;

$r$  = coeficiente de crescimento da população;

$t$  = tempo final de crescimento populacional.

Sabendo que:  $V = V_T$ , tem-se a equação (7)

$$V_T = \frac{V_f}{1 + \frac{(V_f - V_0)}{V_0} e^{-rt}} \quad (7)$$

Em que:

$V_0$  = população inicial (volume inicial da massa);

$V_f$  = constante que determina a capacidade suporte da população (capacidade máxima que a massa pode assumir);

$r$  = coeficiente de crescimento da referida população (volume final da massa);

$t$  = tempo final de crescimento populacional.

O modelo de Verhulst já foi utilizado e comprovado por várias espécies de população, desde escala laboratorial e em modelos de populações estáveis. O crescimento populacional do fermento e das moscas aguáticas encaixam-se perfeitamente neste modelo. Já em populações que possuem um intervalo de tempo muito grande para o crescimento e uma instabilidade na comunidade, os resultados obtidos por este modelo não são muito confiáveis. Como exemplo, tem-se a comunidade humana (STAIL; OLIVEIRA; SCHULTZ, 2013).

#### 4.7.1.2 Modelo de Gompertz

Os modelos matemáticos de ordem primária descrevem a cinética microbiana focando principalmente na fase de desenvolvimento dos microrganismos. O desenvolvimento da população microbiana é representado graficamente relacionado com o tempo, resultando em uma curva de quatro fases: adaptação, crescimento, estacionária e declínio (morte microbiana). O modelo de Gompertz é um dos mais importantes quando o assunto é cinética microbiana, ele gera a resposta em uma condição específica em função do tempo. Esta resposta pode ser medida direta ou indiretamente através da população de microrganismos ou dos seus metabólitos (ALVARENGA, 2008; JAGANNATH; TSUCHIDO, 2003).

No ano de 1825, o modelo de Gompertz foi desenvolvido para estudar as leis de natalidade e mortalidade humana, baseando-se na taxa de crescimento relativo descrito de

forma exponencial. A curva é assimétrica em relação a seu ponto de inflexão, gerando um ritmo de desenvolvimento mais lento depois de alcançado este ponto, ou seja, a taxa de crescimento cai exponencialmente com o tempo (SARMENTO et al., 2015; FERNANDES et al., 2013). Na adaptação do modelo de Gompertz pode relacionar o crescimento da massa de pães com o volume da massa e o crescimento populacional dos microrganismos presentes no fermento e da produção dos metabólitos, álcool e gás, sendo o gás um dos principais fatores do crescimento da massa.

A equação (8), adaptada do modelo de Gompertz, traz:

$$V_T = V_F(e^{-Ce^{(-At)}}) \quad (8)$$

Em que:

$V_T$  = Volume total da massa acumulado em um tempo;

$V_F$  = Volume máximo da massa;

$A$  = fator constante do volume;

$C$  = taxa constante de crescimento da massa;

$t$  = tempo.



## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA – PRIMA

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), foi disponibilizado pela empresa NHD Foods situada na cidade de Uberlândia – MG. A amostra passou por limpeza e seleção manual, para retirada de materiais estranhos e grãos defeituosos. Em seguida, foi fracionada para realização das análises e produção da farinha.

### 5.2 ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO GRÃO

Todas as análises relacionadas aos grãos de sorgo foram realizadas em triplicatas.

#### 5.2.1 Determinação de impurezas e materiais estranhos

Pesou-se 150 g de amostra e manualmente foram retirados os materiais estranhos e as impurezas, em seguida, pesou-se novamente a amostra limpa. A diferença entre a massa da amostra inicial de 150 g e a massa da amostra limpa, resultou na quantidade de matérias estranhas e impurezas (BRASIL, 2009).

#### 5.2.2 Determinação da cor

Para determinar a coloração do grão foi pesado, em triplicata, 100 g de grãos e utilizando o colorímetro (Konica Minolta Sensing, INC, Chroma Meter CR-400, Japan) foram avaliados os parâmetros L\* (luminosidade ou brilho), variando de preto (0) a branco (100); a\* do verde (- 60) ao vermelho (+ 60) e b\* do azul (- 60) ao amarelo (- 60).

### 5.2.3 Determinação do tamanho dos grãos

Para determinação do tamanho dos grãos foi utilizado o método gravimétrico por paquímetro digital (684132 – LEETOOLS, Mauá-SP, Brasil) com precisão de 0,01 mm. Realizou em triplicata e em cada triplicata continham 50 grãos de sorgo (BRASIL, 2009).

### 5.2.4 Peso hectolitro ( $\text{kg hL}^{-1}$ )

Determinação de quantos quilogramas de grãos de trigo ocupam o volume de 100 L. Resultados expressos em  $\text{kgL}^{-1}$  (BRASIL, 2009)

## 5.3 OBTENÇÃO DA FARINHA (MOAGEM)

Os grãos foram moídos, 250 g por vez, em um moinho de facas (SL-031, SOLAB, Ramos - RJ, Brasil) e em seguida passou-se pelo agitador eletromagnético de peneiras (BERTEL, Laranjeiras Caieiras - SP, Brasil) para análise granulométrica, constituído por quatro tamizes com as seguintes aberturas 1,18 mm, 0,5 mm, 0,25 mm e 0,15 mm. Dessa forma, determinou-se o tamanho das partículas da farinha.

## 5.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA FARINHA

Todas as análises realizadas na farinha de sorgo foram em triplicata.

### 5.4.1 Composição proximal da farinha

A determinação do teor de proteína foi realizada segundo o método de Kjeldahl com fator de 5,75. Determinaram-se as cinzas em mufla a 550 °C até a obtenção de um resíduo branco. O teor de lipídios foi determinado pelo método de Soxhlet (extração com éter de petróleo a quente). Determinaram-se as frações insolúveis e solúveis das fibras e no cálculo do teor de fibra alimentar total foi realizada a soma das quantidades de fibras solúveis e insolúveis. A quantidade de carboidratos foi determinada pela diferença, usando a seguinte equação:  $100 - (\text{umidade} + \text{proteína} + \text{lipídios} + \text{cinzas} + \text{fibras})$  e a umidade foi determinada através do teste gravimétrico em estufa a 105 °C até peso constante. Todas as análises descritas seguiram os padrões da AOAC (2005). A análise de atividade de água foi realizada com auxílio do equipamento medidor de atividade de água (AquaLab – 4TE, Munique, Alemanha).

## 5.5 DESENVOLVIMENTO DOS PÃES SEM GLÚTEN

### 5.5.1 Planejamento experimental das formulações

Utilizou-se a metodologia de Planejamento de Misturas, na qual as variáveis estudadas são as quantidades de espessantes. Também foi elaborada uma formulação controle (sem adição de espessantes). Todas as formulações foram produzidas em triplicata. As quantidades expressas em porcentagem são com base na massa da farinha. Na Tabela 1, está apresentada a distribuição dos espessantes nas formulações.

Tabela 1 - Planejamento de mistura com a variação das quantidades e dos tipos de espessantes utilizados no preparo das formulações dos pães.

Formulação	Quantidades	Goma xantana (g)	<i>Psyllium</i> (g)	HPMC (g)
F1	100 %	0	3,75	0
F2	100 %	3,75	0	0
F3	100 %	0	0	3,75
F4	50 % - 50 %	1,875	1,875	0
F5	50 % - 50 %	1,875	0	1,875
F6	50 % - 50 %	0	1,875	1,875
F7	33 %	1,25	1,25	1,25
F8	Controle	0	0	0

Fonte: Autoria própria (2017)

### 5.5.2 Teste de formulação

O teste de formulação foi realizado seguindo a seguinte formulação: farinha de sorgo (150 g), sal (5 g), açúcar (30 g), fermento (5 g), água (175 mL), ovo (100 g), azeite (25 g) e adição de hidrometilpropilcelulose (HMPC), goma xantana e/ou *psyllium*, de acordo com o planejamento experimental de mistura descrito na Tabela 1.

Primeiramente realizou-se a gelatinização da farinha por aproximadamente 10 minutos adicionando-se água aos poucos até completar 150 mL e atingir a temperatura entre 60 e 65 °C. Por 5 minutos foi feita uma pré-fermentação, misturando açúcar, fermento e 10 mL de água. Em seguida os ingredientes secos (sal e espessante) foram misturados junto da farinha gelatinizada com a ajuda de uma batedeira por 5 minutos, em sequência adicionou ovo e azeite e misturou por 10 minutos (5 min em baixa potência e 5 minutos em alta potência). Por fim, o preparado fermentado e água (10 mL) foram adicionados, batendo-se por mais 3 minutos em potência baixa. Após o término da mistura, a massa foi enformada em formas de 80 mm de comprimento e 40 mm de largura. A fermentação foi realizada em ambiente controlado (80 % UR, 40 °C), por tempo determinado (32 minutos). Os pães foram assados a 150 °C por 40 minutos e resfriados à temperatura ambiente, embalados em sacos de polietileno e armazenados à temperatura ambiente em local seco e arejado por 1 hora, para em seguida, realizarem-se as análises necessárias.

## 5.6 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DO PÃO

### 5.6.1 Firmeza

A firmeza dos pães foi determinada de acordo com o método modificado da AACC 74-09 (AACC, 1995), utilizando o texturômetro (TA-XT2i, Stable Micro System, Inglaterra). Após uma hora do resfriamento dos pães, eles foram fatiados (25 mm de espessura) e as fatias externas de ambas laterais foram descartadas. As amostras foram comprimidas por duas vezes até 40% da altura com um *probe* cilíndrico de 36 mm de diâmetro, velocidade de pré-teste, teste

e pós-teste de 1,0; 1,7 e 1,0 mm/s, respectivamente. Para cada fatia, quatro repetições foram realizadas e consideram-se os parâmetros de dureza.

### 5.6.2 Volume específico

O volume específico seguiu a metodologia adaptada por Brito e Cereda (2015) e foi determinado pela razão entre o volume (mL) e sua massa (g) de cada formulação em triplicata, e os resultados foram expressos em mL.g<sup>-1</sup>. A massa foi obtida em balança analítica (Bel Engineering MG 164 A, Shanghai, China) e o volume pelo deslocamento de semente de painço aferido em proveta de 1000 mL seguindo a equação (9):

$$VE = \frac{V}{m} \quad (9)$$

Em que:

$VE$  = volume específico (mL.g<sup>-1</sup>);

$V$  = volume de painço na proveta (mL);

$m$  = massa do pão (g).

### 5.6.3 Cor

Seguindo a metodologia proposta pelo item 5.2.2; sendo escolhidos 3 pontos aleatórios de 3 fatias interna de cada pão para determinar a coloração.

### 5.6.4 Atividade de água ( $a_w$ )

Seguindo a metodologia proposta pelo item 5.4.1; adotando 3 repetições para cada 3 fatias de cada formulação e assim gerando a média dos resultados.

## 5.7 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DOS PÃES

Foram realizadas as análises microbiológicas de *B. cereus*, coliformes 45 °C e *Salmonella sp* para as formulações utilizadas na análise sensorial conforme a RDC nº 12 de janeiro de 2001 (BRASIL, 2001).

## 5.8 ANÁLISE SENSORIAL

O teste de aceitação dos pães foi realizado utilizando teste sensorial afetivo de escala hedônica estruturada de 9 pontos (9 = gostei muitíssimo; 1 = desgostei muitíssimo) e uma pesquisa de mercado englobando idade, nome (não obrigatório) e sexo (ANEXO 1). Participaram do teste 112 provadores não treinados, de ambos os sexos, com idade entre 18 e 62 anos. Realizou-se o teste em cabines individuais do laboratório de Análise Sensorial da UTFPR Campus Medianeira. Cada participante avaliou três formulações (F1 – *psyllium*, F2 – goma xantana e F8 - controle) dos pães, individualmente. Para isso as amostras, codificadas com 3 dígitos aleatórios, foram servidas separadamente à temperatura ambiente, em pratos descartáveis, com aproximadamente 20 g de amostra. Água mineral à temperatura ambiente foi disponibilizada para os avaliadores, para que efetuassem a limpeza do palato antes de provar as amostras. As amostras foram avaliadas em relação às seguintes características: aceitação global, aparência, textura, odor, cor e sabor, utilizando a escala hedônica para indicar o quanto gostou ou desgostou de cada característica avaliada separadamente.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos completos ao acaso e os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias dos parâmetros: cor, aparência, odor, sabor, textura, aceitação global (na escala de 1 a 9) e intenção de compra (na escala de 1 a 5) foram comparadas pelo teste de Tukey. O nível de significância utilizado foi de 5%. Além dos testes anteriores, calculou-se o Índice de Aceitabilidade (IA), que é o valor expresso em porcentagem da aceitação do produto pelos consumidores, seguindo a equação (10).

$$IA = \frac{B \times 100}{C} \quad (10)$$

Em que:

$B$  = nota média obtida no atributo;

$C$  = nota máxima do atributo.

O projeto foi encaminhado ao Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos da UTFPR, para avaliação e emissão de parecer.

### 5.9 MODELAGEM MATEMÁTICA DA FERMENTAÇÃO

Após a mistura de todos os ingredientes uma certa quantidade (aproximadamente 20 mL) da massa de cada formulação foi separada e acondicionada em uma proveta de 50 mL para a realização do experimento (Figura 6). A proveta com a massa foi armazenada em estufa à temperatura de 40 °C e umidade 80 % e teve seu crescimento controlado até o tempo de 32 minutos.



**Figura 6 – Proveta com a quantidade inicial de massa.**

**Fonte: Autoria própria (2017).**

A modelagem utilizou dois modelos adaptados que relacionam crescimento populacional (volume  $\times$  tempo), partindo das condições de volume inicial de 20 mL e volume máximo de 50 mL.

O modelo de Verhulst, é dado pela equação (11):

$$V_T = \frac{V_F}{1 + \frac{(V_F - V_0)}{V_0} e^{-rt}} \quad (11)$$

Em que:

$V_T$  = Volume total da massa acumulado em um tempo;

$V_0$  = Volume inicial de massa;

$V_F$  = Volume máximo que a massa pode assumir;

$r$  = coeficiente de crescimento da massa, resultado dos dados experimentais;

$t$  = tempo.

O modelo de Gompertz é dado pela equação (12)

$$V_T = V_F(e^{-e^{(V_0 - At)}}) \quad (12)$$

Em que:

$V_T$  = Volume total da massa acumulado em um tempo;

$V_F$  = Volume máximo da massa;

$V_0$  = volume inicial da massa;

$A$  = taxa constante de crescimento da massa;

$t$  = tempo.

Os modelos foram ajustados aos dados experimentais utilizando o software OriginPro, versão 8.5.1, o qual utiliza o método de estimativa dos mínimos quadrados, cujo objetivo é minimizar a soma dos quadrados dos desvios dos valores observados para a variável dependente, daqueles preditos pelo modelo matemático. Para avaliar a eficiência do ajuste matemático aos dados experimentais foram utilizados; coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a raiz do erro quadrático médio percentual ( $REQM$ ) dado pela equação (13):

$$REQM = 100 \left\{ \frac{\sum_{n=1}^N (x^{calc} - x^{exp})^2}{N} \right\}^{1/2} \quad (13)$$



Em que:

$x^{calc}$  = valores de volume, utilizando os modelos;

$x^{exp}$  = valores experimentais de volume;

$N$  = número de observações.

## 5.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Para todos os experimentos, os resultados obtidos representaram médias de triplicatas, com exceção da firmeza que partiu de 4 repetições por fatia, e foram analisadas quanto à variância (ANOVA), Teste de Tukey, ao nível de 5 %, com auxílio do *software* Statistica 10.0 – Statsoft. Para a modelagem da fermentação utilizou o software OriginPro, versão 8.5.1, o qual utiliza o método de estimativa dos mínimos quadrados.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS GRÃOS

A Tabela 2 traz as análises físicas realizadas nos grãos de sorgo antes do processo da moagem.

Tabela 2 - Análises físicas realizadas nos grãos de sorgo.

<b>Análises físicas</b>	
Impurezas (g.100 g <sup>-1</sup> )	2,37 ± 0,08
Tamanho do grão (mm)	2,46 ± 0,00
Peso hectolitro (kg.100 L <sup>-1</sup> )	925 ± 0,00

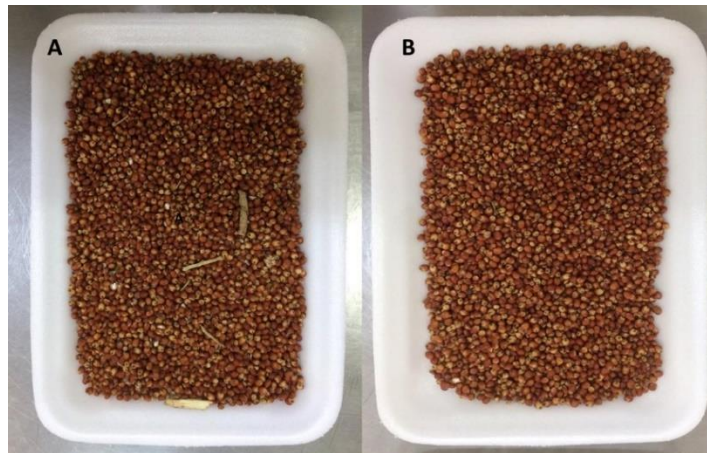
Valores expressos em média seguidos de erro padrão.

Fonte: Autoria própria (2017)

A Tabela 2 traz as análises físicas realizadas no grão de sorgo antes do processo da moagem. As análises físicas realizadas em grãos são destinadas a indicar natureza, qualidade e tipo do cereal. Essas análises são feitas tanto no recebimento da carga quanto nas etapas de pré-processamento e armazenamento e, ainda, se necessário, na expedição e comercialização do grão. A determinação de impurezas está relacionada à presença de dejetos de roedores e insetos, pedaços de gravetos, penas, pedras, outros tipos de cereais e estas características estão ligadas diretamente à sanidade do material. O grau de impureza, ou seja, a quantidade e o tipo da impureza presente, determina o modo de armazenamento do cereal (OLIVEIRA; ODININO, 2015).

Com relação às impurezas encontradas na amostra de sorgo do atual trabalho, estas caracterizam-se como pedaços de gravetos, carapaças de insetos, grãos danificados e presença de algum outro tipo de cereal. A análise de impurezas (matérias estranhas) realizadas na amostragem de grãos de sorgo estão dentro dos padrões estabelecidos segundo a RDC nº 14, de 28 de março de 2014, que dispõe sobre matérias estranhas macroscópicas e microscópicas em alimentos e bebidas, traz que o limite permitido, ou seja, não indica risco ao consumidor é de 75 g em 50g de amostra. A Figura 7 apresenta o antes e o depois da limpeza e a Figura 8 mostra os materiais estranhos encontradas.

O peso hectolitro é uma medida tradicional de comercialização realizada em vários países e indiretamente demonstra atributos de qualidade do grão. As características associadas são a forma do grão, tamanho, peso e as características extrínsecas ao material (presença de palha, terra e outras matérias estranhas) (MIRANDA; MORI; LORINI, 2005). O peso hectolitro encontrado na amostra de grãos de sorgo foi de  $925 \text{ kg}100 \text{ L}^{-1}$ , valor superior ao de Silva e Corrêa (2000) que encontraram valor de  $753 \text{ kg}100 \text{ L}^{-1}$ . Os mesmos autores abordaram tamanhos de diferentes grãos como trigo com 3,2 mm de espessura, a aveia com 2,9 mm, e cevada com 3,5 mm. Ao comparar com o sorgo, de 2,46 mm apresenta valor intermediário aos cereais citados anteriormente.



**Figura 7 - A: Amostra de grãos de sorgo sujo. B: Amostra de grãos de sorgo limpo.**  
**Fonte: Autorial Própria (2017).**



**Figura 8 - Materiais estranhos encontrados nas amostras de grãos de sorgo.**  
**Fonte: Autorial própria (2017).**

Na Tabela 3 são representados os valores médios encontrados na análise de cor para os grãos de sorgo.

Tabela 3 - Parâmetros instrumentais de cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) para os grãos de sorgo.

Cor dos grãos	
$L^*$	$40,33 \pm 0,33$
$a^*$	$18,95 \pm 0,56$
$b^*$	$29,59 \pm 0,04$

Valores expressos em média seguidos de erro padrão.

Fonte: Aatoria propria (2017).

O parâmetro  $L^*$ , que representa a luminosidade, ficou mais próximo do preto. Com relação aos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$ , ambos apresentaram valores positivos, ou seja, na faixa do amarelo e vermelho. Para melhor interpretação da cor do grão a Figura 9 mostra o diagrama de cor, que representa nos eixos os parâmetros. Ao relacionar as coordenadas dos parâmetros  $a^*$  e  $b^*$ , ponto A, é observado que a cor do grão está entre o amarelo e o vermelho, caracterizando uma coloração avermelhada, condizente com a variedade de sorgo utilizada nos experimentos.

González (2005) analisou as propriedades físico-químicas de grãos de sorgo do tipo branco, o parâmetro  $a^*$  variou na faixa de 3 – 6,  $b^*$ , na faixa de 17 – 21 e a luminosidade variou entre 56 – 62. Ao comparar com o presente trabalho, todos os valores diferem. Pois o sorgo analisado no trabalho atual é de cor avermelhada.

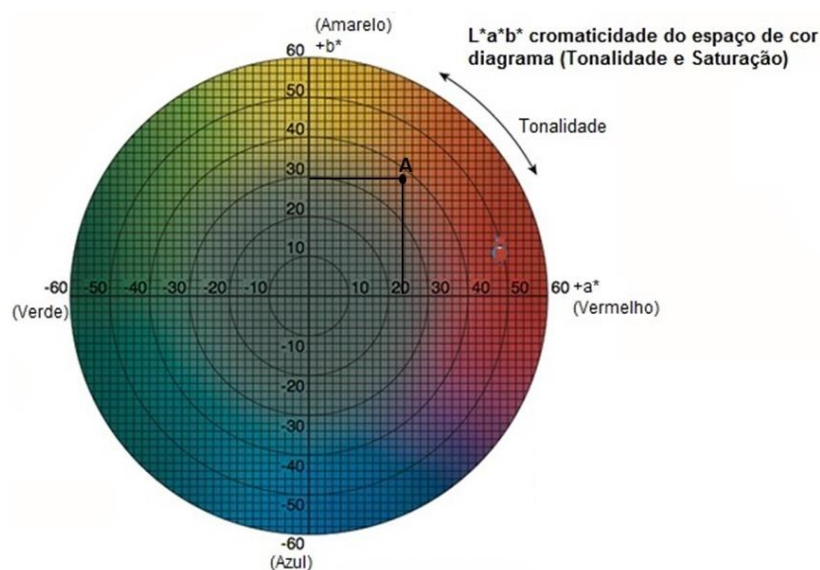


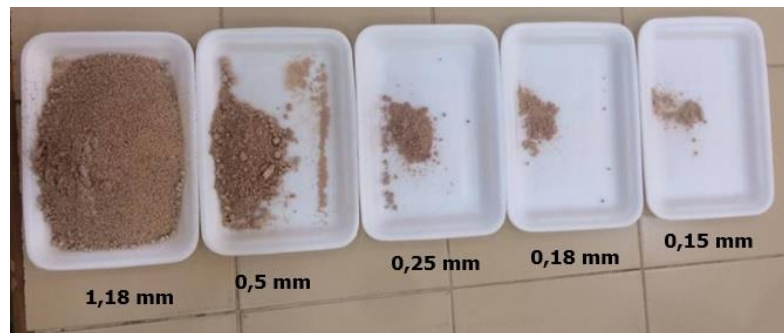
Figura 9 - Espaço de cor CIE Lab.

Fonte: Konica Minolta (2015)

## 6.2 FARINHA DE SORGO

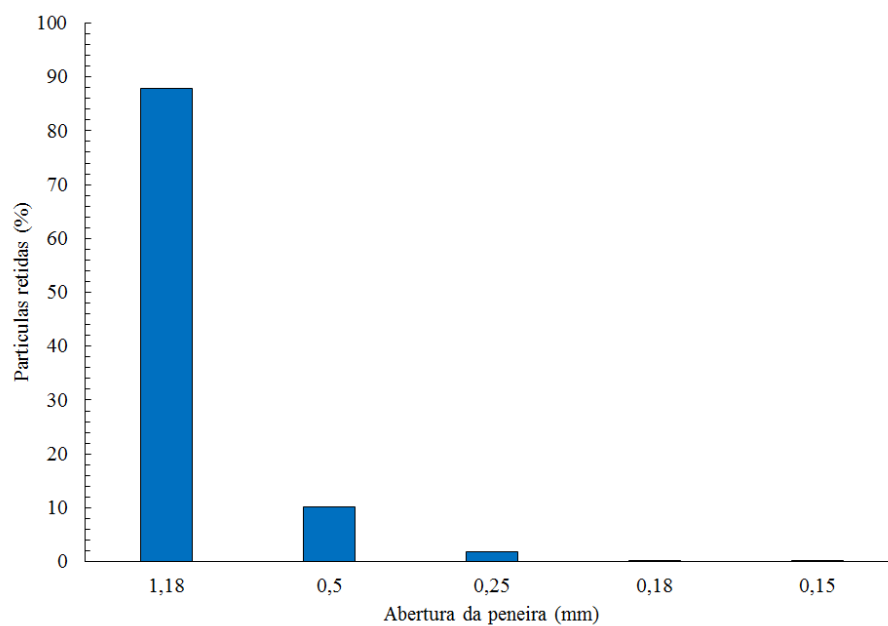
### 6.2.1 Moagem

A Figura 5 apresenta o montante retido em cada peneira e a Figura 11 traz a distribuição do tamanho da partícula da farinha e a retenção em porcentagem em cada tamanho de malha. Ao observar a Figura 11, ficou claro que maioria da farinha, cerca de 87,8 % ficou retida na peneira de abertura 1,18 mm, sendo esta a granulometria obtida neste estudo.



**Figura 10 - Montante de farinha retido em cada malha.**

**Fonte: Autoria própria (2017).**



**Figura 11 - Distribuição gráfica do tamanho da partícula da farinha de sorgo em diferentes tamanhos de malhas e as respectivas porcentagens retidas.**

**Fonte: Autorial própria (2017).**

Um estudo realizado com 8 genótipos de sorgo transformados em farinha, incluindo o *Sorghum bicolor* (L). Moench, constatou que todas as farinhas tiveram retenção, entre 50 – 60 %, na peneira de malha 0,42 mm. A farinha de milho e de trigo integral utilizadas para consumo humano no preparo de pães, massas e bolos apresentam granulometria na faixa de 0,42 mm (MARTINO et al., 2012). No atual estudo, a granulometria obtida para a farinha de sorgo está acima do valor de uso comercial, porém, fato relacionado ao equipamento ou técnica de moagem que conferiu essa granulometria. Segundo Martino et al. (2012) a técnica de gelatinização auxilia o amolecimento do grão e o torna palatável.

Moraes et al. (2015) avaliou o tamanho das partículas da farinha de farelo de sorgo, farinha de sorgo integral e farinha de sorgo debulhado em diferentes aberturas de peneiras (1,4; 0,85; 0,50; 0,25; 0,18; 0,15) e observaram que todos os três tipos de farinha obtiveram retenção acima de 50 % na peneira de abertura 0,25 mm e entre 40 e 30 % na peneira de 0,50 mm. As peneiras que obtiveram retenção abaixo de 10 % foram as de abertura 1,4; 0,85; 0,18 e 0,15 mm. No presente estudo, foi observado o contrário, as aberturas 0,50 e 0,25 mm juntas não representam 15 % do montante total. Sendo assim, constatou-se que a farinha obtida possui maior granulometria, sendo considerada grossa. Uma justificativa é o trabalho realizado por Onyango et al. (2011), que constatou que o sorgo possui o endosperma rígido e no processo de moagem origina uma farinha grosseira de caráter arenoso.

### 6.2.2 Composição proximal da farinha

Na Tabela 4 constam os resultados médios referentes às análises físico-química da farinha de sorgo.

Tabela 4 - Composição proximal da farinha de *Sorghum bicolor* (L). Moench.

<b>Componente</b>	<b>Quantidade (g100g<sup>-1</sup>) (b.s.)</b>
Proteína	12,44 ± 0,23
Cinzas	2,82 ± 0,01
Lipídios	0,44 ± 0,14
Fibras Totais	17,40 ± 0,01
Fibra Solúvel	1,30 ± 0,01
Fibra Insolúvel	16,10 ± 0,01
Carboidratos	56,91 ± 0,02

Valores expressos em média seguidos de erros-padrões.

Fonte: Autoria propria (2017).

O teor de proteína encontrado na farinha de sorgo foi de 12,44 g100 g<sup>-1</sup>, um teor próximo ao encontrado por Moraes et al. (2015) que analisou a quantidade de proteína do *Sorghum bicolor* (L). Moench proveniente da Embrapa Milho e Sorgo de Sete Lagoas e encontrou um valor médio de 11,59 g. Em estudos realizados com farinhas de diferentes variedades de sorgo foram encontrados valores médios de 10,2 g; 12,25 g e 11,67 g de proteína em 100 g de farinha (ADHIKARI; ACHARYA, 2015; MOHAMMED; AHMED; BABIKER, 2011; MORAES et al., 2015), resultados próximos ao do presente trabalho.

Ao comparar o valor médio do teor de proteína da farinha de sorgo com a farinha de trigo, observa-se que o sorgo apresenta menor teor de proteína que o trigo. Brier et al. (2015) traz em seu estudo uma quantidade de 16,9 g100 g<sup>-1</sup> no trigo. Outro trabalho realizado por Alvarez, Mongeon e Boye (2013), mostra valores de proteína na farinha de trigo e de aveia, de 12,15 g100 g<sup>-1</sup> e 12,33 g100 g<sup>-1</sup> respectivamente.

A utilização de farinhas sem glúten na aplicação em panificação, encontrando teores proteicos das farinhas de arroz, quinoa e fécula de batata de 7 g; 12 g e 0 g em, 100 g de farinha, respectivamente (NOBRE, 2015). Mostrando que a farinha de sorgo dentre outras variedades de farinhas apresenta teor proteico considerável.

As cinzas representam a quantidade de minerais presentes em um alimento. Na farinha de sorgo sua quantidade foi de 2,82 g100 g<sup>-1</sup> para os lipídeos, obteve-se 0,44 g100 g<sup>-1</sup>, que englobam todos os óleos presentes no vegetal. Adhikari e Acharya (2015) em seu estudo físico-químico da farinha de sorgo integral obteve valores bem distintos de cinzas (0,56 g100 g<sup>-1</sup>) e lipídeos (3,33 g100 g<sup>-1</sup>), fato relacionado a variedade do grão.

O consumo de fibras diariamente traz ao organismo humano uma série de benefícios como redução do colesterol total, controle glicêmico, ajuda no funcionamento de intestino, sensação de saciedade, entre outros. Dessa forma, para um cereal, a quantidade de fibra é de

grande importância na composição, pois, qualifica o vegetal (BERNAUD; RODRIGUES, 2013). Na análise de fibras totais a farinha de sorgo apresentou valor de 17,40 g100 g<sup>-1</sup>, sendo 16,10 g100 g<sup>-1</sup> de fibra insolúvel e 1,30 g100 g<sup>-1</sup> de fibra solúvel.

Moraes et al. (2015) ao analisar as fibras da farinha de sorgo em 100 g da amostra de farinha, obteve os valores para fibras totais, fibras solúveis e fibra insolúveis de 26,34 g; 0,97 g e 25,37 g respectivamente. Em comparação ao milho (1,51 g100 g<sup>-1</sup>) e ao arroz (0,78 g100 g<sup>-1</sup>) (ALTINDAG et al., 2014) a quantidade de fibras totais da farinha de sorgo obtida no presente estudo foi elevada.

Os carboidratos são a principal fonte de energia do ser humano, além de participar da formação das estruturas do corpo. A farinha de sorgo apresentou 56,91 g100 g<sup>-1</sup> semelhante aos valores encontrados por Alessi, Raupp e Gardingo (2003) na caracterização de 3 tipos de farinhas de milho (32,68 g - 68,43 g100 g<sup>-1</sup>).

Martino et al. (2012) caracterizaram 8 genótipos de sorgo e obtiveram valores de carboidratos entre 61,81 g - 64,70 g100 g<sup>-1</sup>. Outro estudo realizado por Mohammed, Ahmed e Babiker (2011) encontrou o valor de 74,68 g100 g<sup>-1</sup> de carboidrato na farinha do *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

Para efeito de comparação com outras farinhas ausentes de glúten e que são amplamente empregadas no preparo de alimentos para o público celíaco e para aquelas pessoas que excluam o glúten de suas dietas, as farinhas de arroz, quinoa e a fécula de batata apresentam valores de carboidratos de 78 g; 70 g e 85 g em 100 g de amostra, respectivamente (NOBRE, 2015), valores esses relativamente maiores que o da farinha de sorgo. Porém, a ingestão e a quantidade de carboidrato são decorrentes do estilo de vida e do tipo de dieta que o indivíduo está seguindo. Dessa forma, alimentos que tem como base a farinha de sorgo, muitas vezes, são voltados para as pessoas que necessitam de uma ingestão menor de carboidratos na dieta.

O valor médio (0,54) da atividade de água foi abaixo de 0,6; indicando que a farinha não apresenta atividade microbiana significativa. A umidade da farinha foi de 9,99 g100 g<sup>-1</sup> teor próximo ao encontrado no trabalho realizado por Adhikari e Acharya (2015) que foi de 12,2 g100 g<sup>-1</sup>. Outros trabalhos trazem valores na faixa de 4,95 g até 12,95 g100 g<sup>-1</sup> (ARAUJO et al., 2015; MORAES et al., 2012).

### 6.3 PROPRIEDADES REOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DOS PÃES



A Figura 12 demonstra como ficaram os pães após serem assados. A Tabela 5 apresenta os dados obtidos das análises reológicas e físico-químicas das formulações dos pães em até 24 horas após o preparo.



Figura 12 – Pães de sorgo.

Fonte: Autoria própria (2017).

Tabela 5 - Dados reológicos e físico-químicos das formulações dos pães.

Formulação	Cor			Firmeza (N)	Volume (mLg <sup>-1</sup> )	aw
	L*	a*	b*			
F1	40,16 ± 0.44 <sup>b,c</sup>	7,32 ± 0.17 <sup>c</sup>	18,70 ± 0.43 <sup>a,c</sup>	928,67±21.08 <sup>e</sup>	1,92±0.00 <sup>a,b</sup>	0,975±0.01 <sup>b,c</sup>
F2	47,81 ± 1.20 <sup>e</sup>	5,83 ± 0.32 <sup>a,b</sup>	19,67 ± 0.67 <sup>a,c</sup>	217,00±12.12 <sup>a</sup>	2,05±0.03 <sup>b</sup>	0,976±0.02 <sup>a,f</sup>
F3	35,71 ± 1.01 <sup>a</sup>	6,21 ± 0.08 <sup>b</sup>	14,86 ± 3.78 <sup>a,c</sup>	226,33±33.858 <sup>a</sup>	1,98±0.02 <sup>a,b</sup>	0,994±0.01 <sup>e,f</sup>
F4	42,85 ± 1.61 <sup>b,d</sup>	5,77 ± 0.56 <sup>a,c</sup>	18,1 ± 0.19 <sup>b</sup>	1071,00±166.46 <sup>e</sup>	1,86±0.13 <sup>a</sup>	0,980±0.01 <sup>d,e</sup>
F5	39,20 ± 0.99 <sup>a,b</sup>	6,94 ± 0.28 <sup>b,c</sup>	18,67 ± 0.42 <sup>a,c</sup>	424,67±35.53 <sup>b,c</sup>	1,88±0.03 <sup>a</sup>	0,996±0.01 <sup>a,f</sup>
F6	46,48 ± 1.15 <sup>d,e</sup>	6,24 ± 0.30 <sup>a,c</sup>	20,13 ± 0.29 <sup>c</sup>	361,33±33 <sup>a,b</sup>	1,99±0.02 <sup>a,b</sup>	0,975±0.01 <sup>b</sup>
F7	42,26 ± 2.12 <sup>b,c</sup>	6,37 ± 0.70 <sup>a,c</sup>	18,45 ± 0.36 <sup>a,b</sup>	642,33±53.14 <sup>d</sup>	1,96±0.02 <sup>a,b</sup>	0,985±0.01 <sup>c,d</sup>
F8	42,93 ± 1.26 <sup>c,d</sup>	5,35 ± 0.09 <sup>a</sup>	17.08 ± 0.15 <sup>a</sup>	599,00±5 <sup>c,d</sup>	1,92±0.04 <sup>a,b</sup>	0,980±0.01 <sup>d,f</sup>
<b>Valor de p</b>	P<0.001*	P<0.001**	P<0.001**	P<0.001**	P=0.006*	P<0.001**

Os valores relatados são a média ± desvio padrão; <sup>a-f</sup> dentro da mesma coluna valores com letras diferentes diferem estatisticamente (p<0,05). (1). \* p> 0,05, por meio do teste de Levene. Os valores de p são os da análise ANOVA unidirecional. Os meios foram comparados pelo teste de Tukey, uma vez que variações iguais poderiam ser assumidas; \*\*P <0,05, por meio do teste de Levene. Os valores de p são aqueles da análise ANOVA Welch unidirecional. As médias foram comparadas pelo teste de Dunnett T3.

Fonte: Autoria própria (2017).

### 6.3.1 Cor

Observou-se que a formulação F3 (100 % HPMC) apresentou a maior luminosidade e F2 (100 % goma xantana), a menor luminosidade. De modo geral, o parâmetro L\*

(luminosidade) para todas as amostras dos pães aproximaram-se do preto (0). Marston, Khouryieh e Aramoundi (2016) encontraram luminosidade para os pães de sorgo na faixa de 84 a 89, mais próxima do branco. Porém, o sorgo utilizado foi do tipo branco, resultando assim, em luminosidade próxima de 100 (branco). No atual trabalho, foi utilizado sorgo de coloração vermelha e, conseqüentemente, a luminosidade foi próxima de 0 (preto).

O parâmetro  $a^*$ , que indica a faixa do vermelho (+) ao verde (-), apresentou valores positivos, ou seja, próximos da cor vermelha. F8 (controle) foi a formulação que apresentou menor valor de  $a^*$ , enquanto que F1 (100 % *psyllium*) mostrou-se com o maior valor para este parâmetro. Para F6 (50 % *psyllium* e 50 % HPMC), o parâmetro  $b^*$  mostrou-se com maior valor comparado a F8 (controle) que apresentou o menor valor. O parâmetro  $b^*$  representa a faixa do amarelo (+) ao azul (-) e, como todas as formulações apresentaram valores positivos, suas colorações estão próximas ao amarelo.

A Figura 13 apresenta a distribuição das cores para as formulações adicionadas de espessantes. Para o parâmetro luminosidade ( $L^*$ ) as formulações contendo HPMC, *psyllium* e a mistura de ambos possuem menor luminosidade, caracterizados pela coloração verde. As formulações que apresentam goma xantana na composição possuem maior luminosidade, caracterizados pelas faixas da cor vermelha. E a mistura entre goma xantana, HPMC e *psyllium* resultou na luminosidade média dentre as formulações, identificado pela cor laranja.

As formulações que continham *psyllium* e a mistura de HPC e *psyllium* na massa são aquelas que de acordo com o Figura 13 para o parâmetro  $a^*$  se diferem das outras formulações por apresentar majoritariamente uma área de cor vermelha. A formulação contendo 100 % HPMC (F3) para o parâmetro  $b^*$  é a que se difere das demais pela predominância da cor verde em sua área, ilustrado na Figura 13.

Todas as formulações, independente do espessante utilizado possuem coloração muito parecida (Figura 14) quando observadas a olho nu. Por outro lado, instrumentalmente foi detectada diferenças estatísticas entre as formulações.

Czuchajowska, Paszczynska e Pomeranz (1992) adicionaram *psyllium* na massa de pão sem glúten e na massa de pão de farinha branca e verificaram que o *psyllium*, por ser uma fibra e possuir uma coloração característica, interferiu na coloração do pão. Esse fato pode ser observado no trabalho atual ao analisar a olho nu a Figura 14 em que as formulações que apresentaram adição de *psyllium* diferiram das demais formulações.

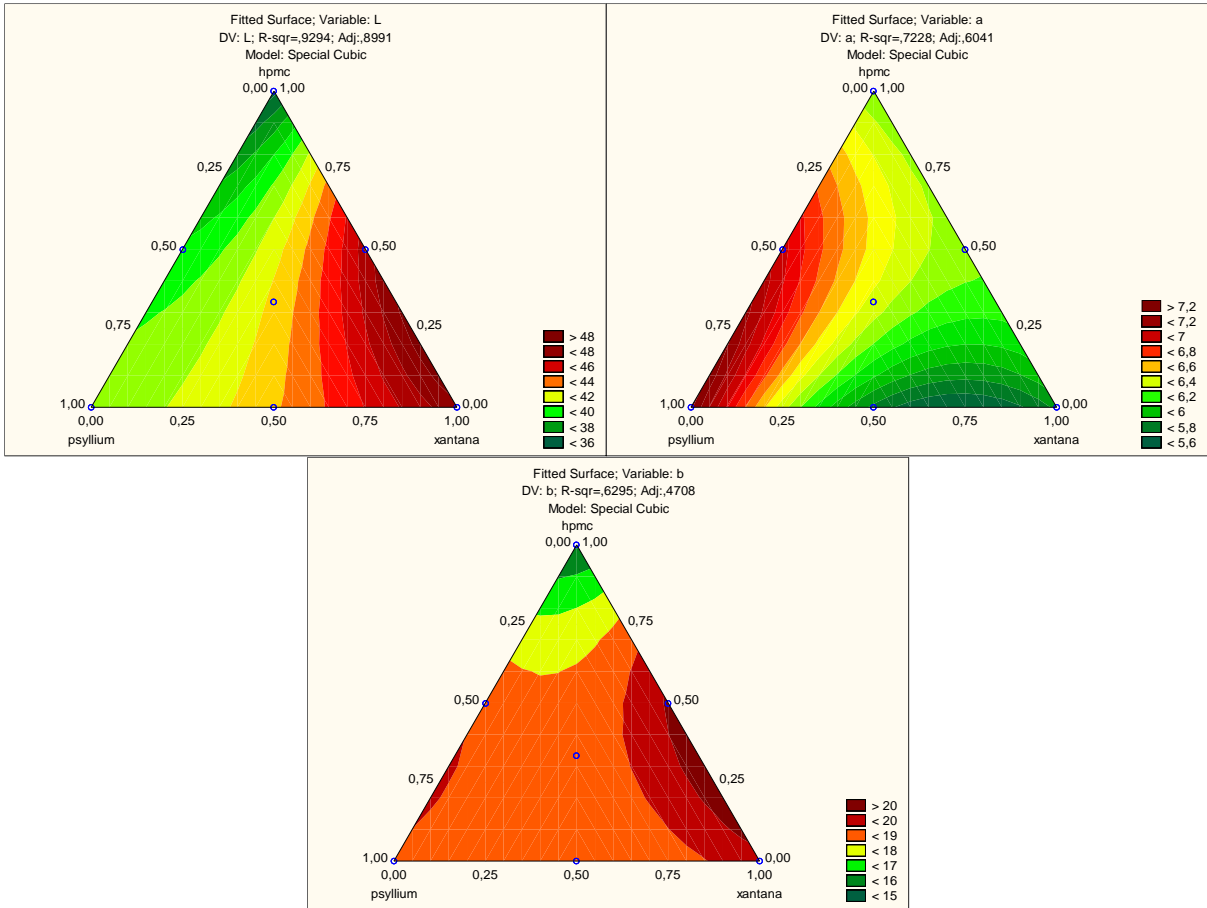


Figura 13 - Representação gráfica dos parâmetros L\*, a\* e b\* dos pães.

Fonte: Autoria própria (2017).

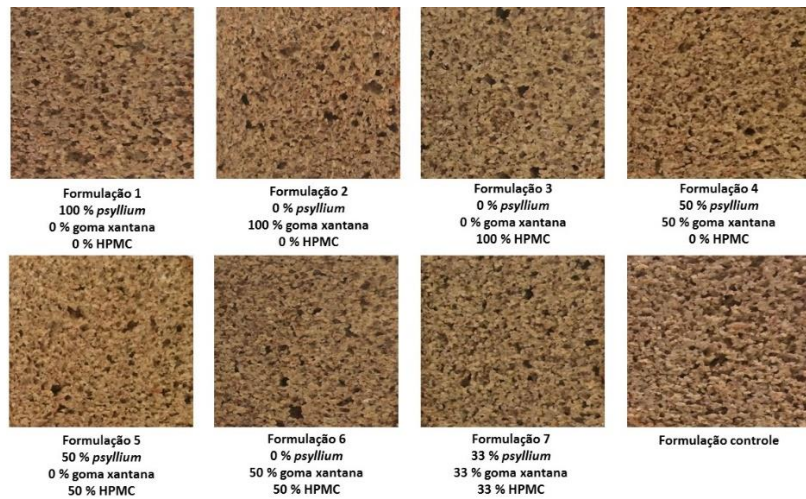


Figura 14 - Painel que demonstra a tonalidade de cada formulação.

Fonte: Autoria própria (2017).

### 6.3.2 Firmeza

A força necessária para provocar deformação no produto após a primeira compressão é chamada de firmeza (CARR et al., 2006). Firmeza em pães é uma importante característica de qualidade, pois o consumidor deseja obter um produto macio e flexível, ou seja, de baixa dureza. Ao observar os dados de firmeza das oito formulações na Tabela 5, pôde-se constatar diferenças significativas entre as formulações ( $p < 0,05$ ), ou seja, a adição e as concentrações dos espessantes adicionados à massa, provocaram variações de firmeza. F4, adicionada de *psyllium* e goma xantana, foi a que apresentou a maior firmeza dentre os pães, 1071 N. Por outro lado, a F2, adicionada apenas de goma xantana, apresentou a menor firmeza (217 N), mostrando que a interação entre os espessantes é outro fator que influencia na maciez dos pães.

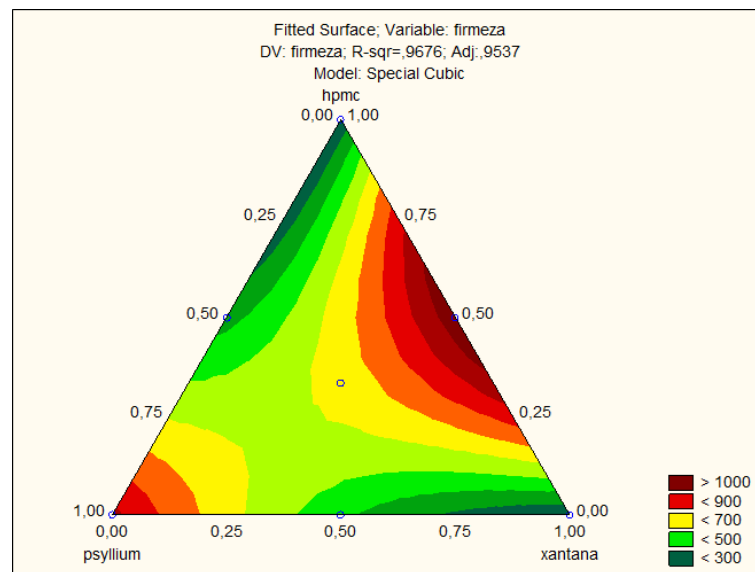
A adição de espessantes como ingrediente para o preparo da massa de pães sem glúten é realizada como substitutos do glúten, para promover sua função, proporcionando volume e maciez à massa. Em trabalhos que abordaram a ação de estabilizantes e espessantes como, goma xantana e HPMC em pães de sorgo, resultados diferentes para cada espessante foram obtidos. A goma xantana provocou queda da temperatura de gelatinização e firmeza dos pães, apresentando aspectos negativos, HPMC promoveu o aumento da viscosidade da massa e melhora positiva na maciez das fatias (PINELI et al., 2015; SCHOBER et al., 2005).

O HPMC quando adicionado a massa de pães sem glúten na quantidade de 1,5 g HPMC/100 g farinha, reduziu a firmeza dos pães em comparação a outros tipos de goma como, xantana, guar e carragena. (SABANIS, TZIA, 2015). Segundo Hager e Arendt (2013), que compararam diferentes farinhas sem glúten com e sem adição de espessantes, dependendo do aditivo, da combinação e das quantidades dos mesmos, sua atuação pode variar. O HPMC puro em pães com farinha de teff, milho e arroz diminuiu a firmeza, resultando pães mais macios. A goma xantana no pão de teff provocou aumento na dureza, enquanto que em pães de arroz não provocou nenhuma alteração.

Assim como as gomas, alguns autores investigaram a ação da adição de farinha de *psyllium* como ingrediente na elaboração de pães ausentes de glúten. Este ingrediente ao ser aplicado em associação de outras farinhas como a de milho e amaranto, provocou ações positivas nas reologias das massas. Constatou-se que, durante o amassamento, o *psyllium* produziu um filme, assemelhando-se as redes do glúten, que provocou ao produto final desempenho tecnológico satisfatório (MARIOTTI et al., 2009).

A Figura 15 traz a representação gráfica para a firmeza das oito formulações de pão de sorgo. As áreas que apresentam tons de vermelho estão presentes nas formulações com 50

% de HPMC e 50 % de goma xantana (F5), sendo esta a formulação mais firme. F1 (100 % *psyllium*) também apresentou coloração em vermelho, porém menor firmeza que a F5 (50 % HPMC e 50 % goma xantana). As áreas em amarelo apresentam formulações de firmeza mediana, nem tão duras e nem tão macias. O pão que possuiu em sua composição os três tipos de espessantes (F7) foi o que possuiu firmeza abaixo de 700 N, valor intermediário. As formulações com 100 % goma xantana (F2) e 100 % HPMC (F3) foram as que apresentaram melhor maciez.



**Figura 15 - Representação gráfica da firmeza dos pães das oito formulações.**

**Fonte: Autoria própria (2017).**

### 6.3.3 Volume específico

O volume específico é afetado por diversos fatores como composição da massa, modo de processamento e reologia da massa, fatores esses que interferem nos recursos de retenção de gás (GALLAGHER, 2009).

Quanto ao volume específico dos pães é observado na Tabela 5 que os valores obtidos para as formulações foram próximos, porém, foram verificadas diferenças significativas dentre as formulações ( $p < 0,05$ ). Isto quer dizer que a adição dos espessantes à massa interferiu no volume específico dos pães. O volume específico é que o resultado após a expansão do pão. A formulação de maior volume específico  $2,04 \text{ mLg}^{-1}$  foi a adicionada somente de goma xantana

(F2), sendo o pão que ocupou maior volume por grama. F4 (50 % *psyllium* e 50 % goma xantana), apresentou o menor valor obtido dentre as formulações (1,858 mLg<sup>-1</sup>), sendo assim, o pão que ocupou menor volume por grama. A Figura 16, apresenta graficamente a distribuição do volume específico das formulações de pães. F2 (100 % goma xantana), apresentou o maior volume específico, F4 (50 % goma xantana e 50 % *psyllium*) e F5 (50 % goma xantana e 50 % HPMC) apresentaram os menores valores.

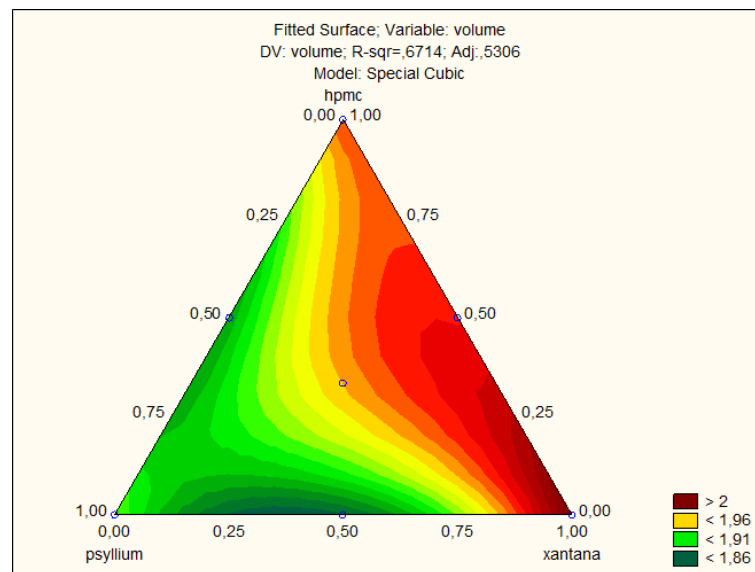
Existe influência dos espessantes no volume dos pães. Elaborando pães com farinha de arroz, teff e trigo, adicionados de HPMC obtiveram resultados diversos para cada tipo de farinha. Nos pães de farinha de arroz o efeito foi negativo para o volume, ao contrário para a farinha de teff, que o efeito no volume foi positivo. Por outro lado, no caso do trigo, não provocou nenhuma alteração significativa (HAGER; ARENDT, 2013).

É sabido que pães ausentes de glúten possuem dificuldades no crescimento, pois suas estruturas apresentam uma baixa capacidade de expansão (RIGO; ANDRÉIA, 2015). Em contrapartida, ao comparar o resultado da formulação controle (F8); cujo volume específico foi 1,924 mLg<sup>-1</sup> com o estudo feito por Moreira (2007) utilizando farinha de arroz, cujos pães apresentaram volume específico de 1,79 mLg<sup>-1</sup>, verifica-se que o volume específico dos pães produzidos com farinha de sorgo apresentaram-se em vantagem aos produzidos com farinha de arroz.

Produziram pães com farinha de arroz adicionados de *psyllium* em diferentes concentrações e HPMC na concentração de 2,2 %. A formulação que apresentou maior semelhança aos pães do presente trabalho foi a que utilizou a quantidade de *psyllium* de 2,5 % em relação a 100 g de farinha, obtendo um volume específico de 2,4 mLg<sup>-1</sup>. Comparando com a F6, do atual trabalho, que também empregou a mistura de HPMC e *psyllium* e teve o volume específico de 1,88 mLg<sup>-1</sup>, na literatura traz um volume um pouco maior (CAPPA; LUCISANO; MARIOTTI, 2013). Porém, o presente trabalho aborda outro tipo de farinha e uma concentração de 1,87 % de *psyllium* e 1,87 % HPMC.

Marston, Khouryieh e Aramoundi (2016) realizaram gelatinização da farinha de sorgo antes de misturá-la com os demais ingredientes e HPMC como espessante, semelhante ao realizado no presente trabalho. Os autores variaram o tempo de gelatinização em 15; 30 e 45 min e também variaram a temperatura de gelatinização em 90 e 125 °C. Ao analisar o volume específico dos pães obtiveram valores na faixa de 2,62 a 3,08 mLg<sup>-1</sup>, pouco acima do encontrado neste trabalho, quando comparado ao mesmo espessante utilizado, HPMC, que obteve volume específico de 1,98 mLg<sup>-1</sup>. Deve-se considerar que, as condições de gelatinização neste trabalho foram de aproximadamente 10 min na faixa de temperatura ente 60 – 65 °C.

Um outro fator capaz de interferir no volume específico é a granulometria da farinha utilizada no preparo da massa. Trappey et al. (2014) avaliaram diferentes granulometrias da farinha de sorgo na elaboração de pães adicionado de espessante e constataram que o maior volume específico, cerca de  $2,5 \text{ mLg}^{-1}$ , foi obtido na granulometria de 0,15 mm (60 % de extração da farinha). No presente trabalho o maior volume foi de  $2,047 \text{ mLg}^{-1}$ , próximo ao obtido no estudo citado, sendo que a farinha utilizada no processamento dos pães foi de granulometria de 1,18 mm.



**Figura 16 - Representação gráfica do volume específico dos pães das oito formulações.**  
**Fonte: Autoria própria (2017).**

#### 6.3.4 Atividade de água ( $a_w$ )

A atividade de água ( $a_w$ ) das formulações apresentou valores acima de 0,9; sendo característicos de pães. O pão que apresentou a maior atividade de água foi F3 (100 % de HPMC) e o que resultou na menor atividade de água foi a F2 (Tabela 5).

Em experimentos realizados com pão branco adicionados de HPMC foi observado aumento de umidade no interior do pão, decorrente da adição do hidrocolóide, resultando em aumento da atividade de água (BARCENAS, ROSELL, 2005). Mariotti et al., (2009) avaliou misturas de aditivos (HPMC, goma xantana e carragena) em pães sem glúten, e observou que a atividade de água aumentou com a utilização dos aditivos, concluindo que as interações do

amido com os mesmos formam uma rede que aprisiona as moléculas de água durante o processamento.

## 6.5 ANÁLISE SENSORIAL

A análise sensorial dos pães ausentes de glúten foi realizada após aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UTFPR, com parecer de nº 2.214.424 (ANEXO II) e após os resultados das análises microbiológicas, que, constatou que os pães estavam dentro dos padrões exigidos pela RDC nº 12 de janeiro de 2001.

Para parâmetros de comparação entre os pães, foram escolhidas as seguintes formulações: F1 (100 % psyllium), a que obteve resultados não muito satisfatórios no volume específico e na firmeza; F2 (100 % goma xantana), a que obteve o melhor resultado na firmeza e no volume específico e F8 (controle), sem adição.

Na Tabela 6 estão localizados os resultados obtidos em análise sensorial das 3 formulações.

Tabela 6 - Resultados da análise sensorial com aplicação da escala hedônica na avaliação das formulações de pães de sorgo ausentes de glúten.

Parâmetros	Formulações			Valor de p
	F1	F2	F8	
<b>Cor</b>	6.69±1.60 <sup>a</sup>	6.81±1.53 <sup>a</sup>	6.48±1.57 <sup>a</sup>	0.281 *
<b>Aparência</b>	6.63±1.52 <sup>a</sup>	6.85±1.50 <sup>a</sup>	6.63±1.54 <sup>a</sup>	0.547 *
<b>Odor</b>	7.05±1.57 <sup>a,b</sup>	7.39±1.31 <sup>b</sup>	6.90±1.58 <sup>a</sup>	0.032 **
<b>Sabor</b>	7.20±1.41 <sup>a</sup>	7.12±1.36 <sup>a</sup>	6.86±1.55 <sup>a</sup>	0.186 *
<b>Textura</b>	6.73±1.62 <sup>a,b</sup>	7.12±1.54 <sup>b</sup>	6.33±1.77 <sup>a</sup>	0.020*
<b>Aceitação Global</b>	7.12±1.53 <sup>a,b</sup>	7.21±1.25 <sup>b</sup>	6.78±1.33 <sup>a</sup>	0.045 *
<b>Intenção de Compra</b>	3.79±1.01 <sup>b</sup>	3.76±0.77 <sup>b</sup>	3.42±1.13 <sup>a</sup>	0.009 **

F1 = adicionado de *psyllium*; F2 = adicionado de goma xantana; F8 = controle. Os valores relatados são a média ± desvio padrão; as médias com letras diferentes indicadas em cada uma das colunas diferem significativamente entre si ( $p < 0,05$ ). \*  $p > 0,05$ , por meio do teste de Levene. Os valores de p são os da análise ANOVA unidirecional. Os meios foram comparados pelo teste de Tukey, uma vez que variações iguais poderiam ser assumidas; \*\* $P < 0,05$ , por meio do teste de Levene. Os valores de p são aqueles da análise ANOVA Welch unidirecional. Fonte: Autoria própria (2017).

Ao analisar a Tabela 6 é possível observar que todos os parâmetros abordados na escala hedônica apresentaram médias acima de 6, sendo um resultado satisfatório. Amostra F8

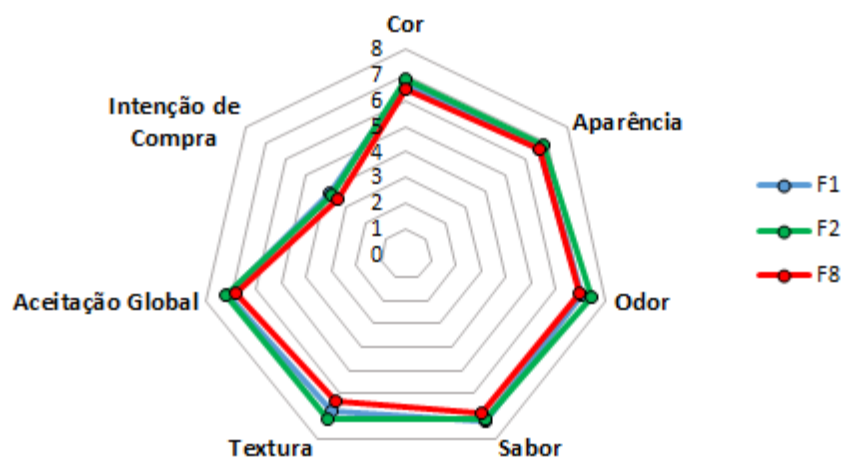


(controle) foi a que apresentou menor pontuação comparada as demais. Isso demonstrou que os provadores tiveram preferência pelas amostras que continham aditivos na formulação. O teste de intenção de compra, mostrou que as amostras F1 e F2 tiveram suas médias muito próximas e com pontuação mais alta, mostrando a preferência dos julgadores.

Abdel et al. (2016) ao avaliarem sensorialmente pães sem glúten com farinha de sorgo adicionados de goma xantana, obtiveram resultados semelhantes aos do presente trabalho, diferindo na aceitação global, cujos resultados ficaram na faixa 3 – 5. Outro trabalho realizado por Marston, Khouryieh e Aramoundi (2016) realizou a análise sensorial de pães de sorgo adicionados de misturas de aditivos comparando com o controle, sem adição de aditivos, e também observou preferência dos julgadores pelas formulações com espessantes.

A adição de fibras de aveia e *psyllium* para melhoramento da massa de pães de trigo, foi avaliada com formulação não adicionada de fibra e foi realizada a análise sensorial. De modo geral, a formulação adicionada com *psyllium* foi a melhor avaliada pelos julgadores (KAMALJIT; AMARJEET; PAL, 2011). Para melhor visualização e interpretação, os resultados são apresentados na Figura 17 em formato gráfico.

Ogunsakin et al. (2015) avaliaram sensorialmente pães de sorgo com diferentes leveduras e sem adição de espessantes, sendo uma delas a mesma utilizada no presente trabalho, *Saccharomyces cerevisiae*. Ao comparar com o controle (F8), a aceitação global em ambos trabalhos obtiveram resultados próximos, 6,78 e 6,58.



**Figura 17 – Gráfico dos resultados da escala hedônica para as formulações de pães de sorgo. Fonte: Autoria própria (2017).**

A Tabela 7 e a Figura 18 mostram os índices de aceitabilidade dos atributos para cada formulação dos pães ausentes de glúten. Ao observar a tabela, de modo geral segundo os julgadores os pães apresentaram boa aceitação, com exceção da F8 (controle), que obteve valor menor que 70 % para o atributo intenção de compra. Essa formulação apresentou baixa aceitação, uma vez que 70 % é o valor mínimo para o índice de aceitabilidade para que um produto seja aceito (DUTCOSKY, 2007).

Tabela 7 – Índice de Aceitabilidade das três formulações escolhidas dos pães de sorgo ausentes de glúten.

Formulações	Cor	Aparência	Odor	Sabor	Textura	Aceitação Global	Intenção de Compra
<b>F1</b>	73,82 %	73,93 %	78,22 %	80,42 %	74,92 %	79,42 %	75,84 %
<b>F2</b>	75,42 %	76,43 %	81,82 %	78,79 %	79,12 %	80,47 %	75,76 %
<b>F8</b>	72,28 %	74,15 %	77,56 %	75,69 %	70,74 %	75,46 %	68,20 %

F1 = adicionado de *psyllium*; F2 = adicionado de goma xantana; F8 = controle.

Fonte: Autoria própria (2017).

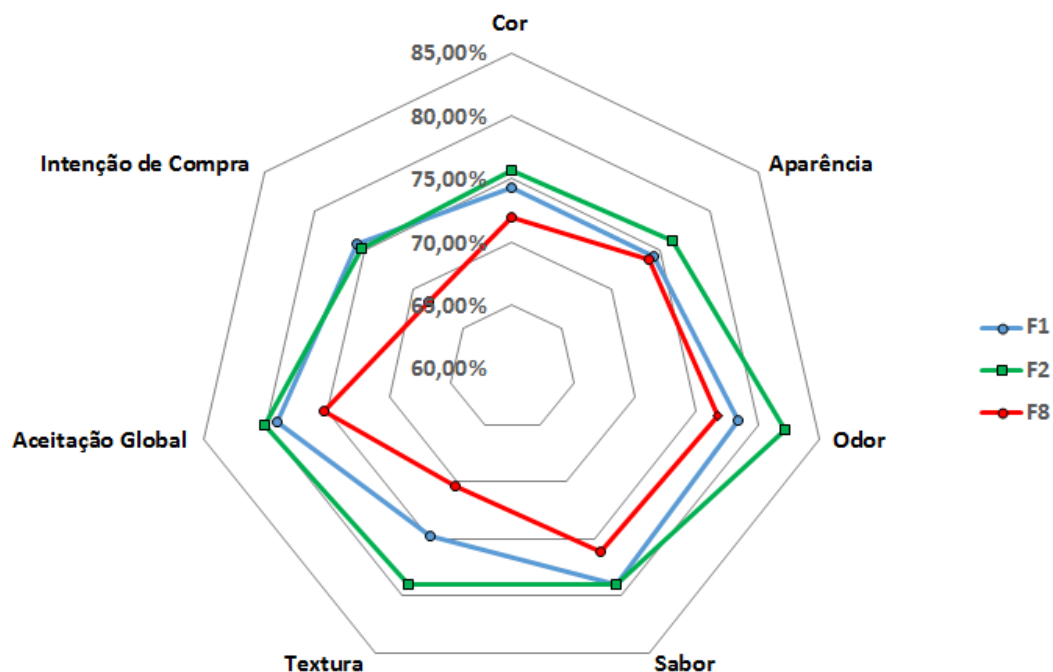


Figura 18 – Gráfico do índice de aceitabilidade das formulações de pães de sorgo.

Fonte: Autoria própria (2017).

## 6.6 MODELAGEM MATEMÁTICA DA FERMENTAÇÃO

Para a realização da modelagem foram selecionadas as formulações utilizadas na análise sensorial; F1 (100 % *psyllium*), F2 (100 % goma xantana) e F8 (controle – sem aditivos). As Tabelas 8, 9 e 10 trazem o acompanhamento do processo de fermentação dos pães. As Figuras 19, 20 e 21 mostram como procedeu o acompanhamento da fermentação das formulações selecionadas.

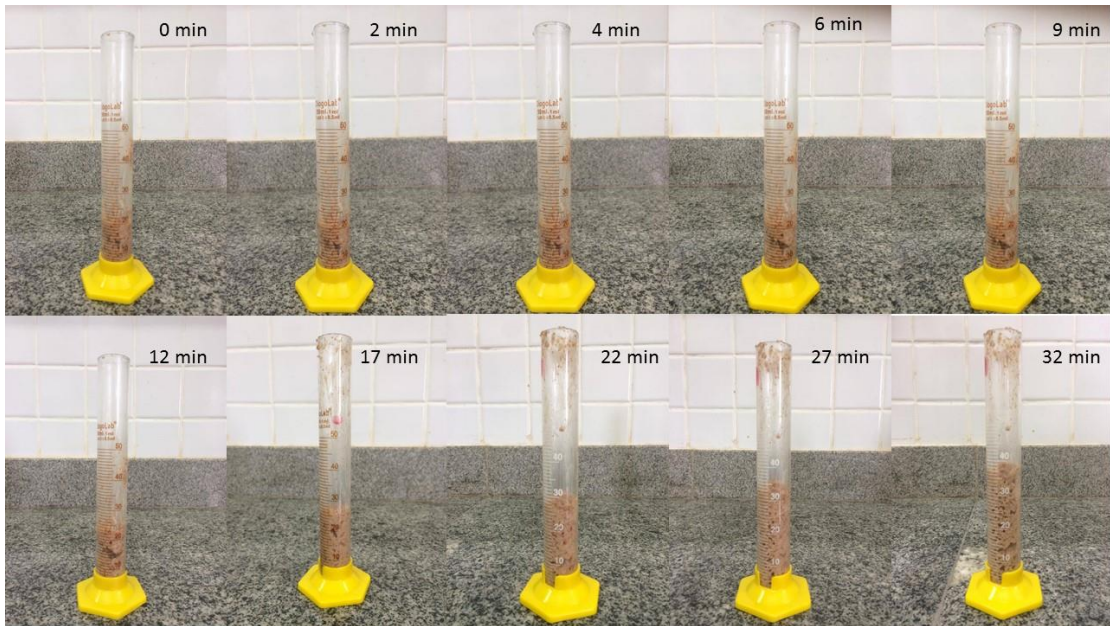
Ao comparar as formulações que apresentam espessante na massa (F1 e F2) a fermentação da F1 mostrou-se acelerada comparado à F2, pois logo nos dois minutos iniciais, seu volume já havia aumentado de 1 mL e este comportamento progressivo foi constante. Porém, nos 5 cinco minutos finais o crescimento desacelerou. Por outro lado, a fermentação F2 obteve um crescimento significativo nos últimos 5 minutos, resultando em um volume maior que a F1. Segundo Stail et al. (2013) essas variações no crescimento estão ligadas a diversos fatores como, a composição da massa, temperatura e umidade do meio e substrato disponível para o desenvolvimento dos microrganismos.

No caso da F8, a qual não recebeu adição de espessante, o processo de crescimento da massa foi desacelerado, comparado a F1 e F2. F8 apresentou crescimento significativo após 12 minutos de incubação e até o tempo final (32 minutos), obtendo volume maior que F1. Uma característica interessante quando se observa as figuras é a presença de bolhas de ar no interior da massa, esta característica está diretamente ligada à produção de gás pelos microrganismos. Também é nítida a percepção quanto ao tamanho das bolhas de ar, sendo F8 a que apresenta bolhas menores comparadas as outras duas formulações. Este fenômeno é causado pela composição da massa, ou seja, a presença de espessantes interferiu no tamanho e na quantidade das bolhas de ar presentes na massa.

Tabela 8 - Tempo de fermentação e os respectivos volumes observados na proveta da formulação 1 (*psyllium*).

<b>Formulação 1</b>										
<b>Tempo (min)</b>	0	2	4	6	9	12	17	22	27	32
<b>Volume (mL)</b>	20,0	21,0	21,0	22,0	22,0	23,0	25,0	28,0	37,0	41,0

Fonte: Autoria própria (2017).

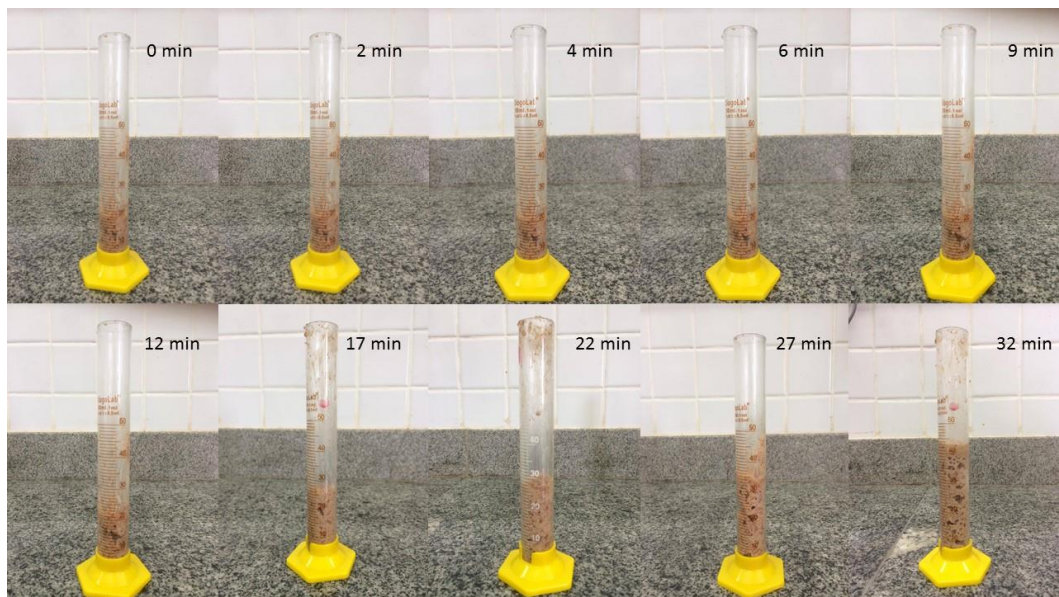


**Figura 19 - Acompanhamento do volume da massa para a formulação 1 (*psyllium*), em relação ao tempo.**  
**Fonte: Autoria própria (2017).**

Tabela 9 - Tempo de fermentação e os respectivos volumes observados na proveta da formulação 2 (goma xantana).

<b>Formulação 2</b>										
<b>Tempo (min)</b>	0	2	4	6	9	12	17	22	27	32
<b>Volume (mL)</b>	20,0	20,0	21,0	21,0	22,0	22,0	25,0	28,0	35,0	44,0

Fonte: Autoria propria (2017).



**Figura 20 - Acompanhamento do volume da massa para a formulação 2 (goma xantana), em relação ao tempo.**

**Fonte: Autoria propria (2017).**

Tabela 10 - Tempo de fermentação e os respectivos volumes observados na proveta da formulação 8 (controle).

Formulação 8										
<b>Tempo (min)</b>	0	2	4	6	9	12	17	22	27	32
<b>Volume (mL)</b>	20,0	20,0	20,0	21,0	22,0	23,0	26,0	31,0	38,0	43,5

Fonte: Autoria própria (2017).

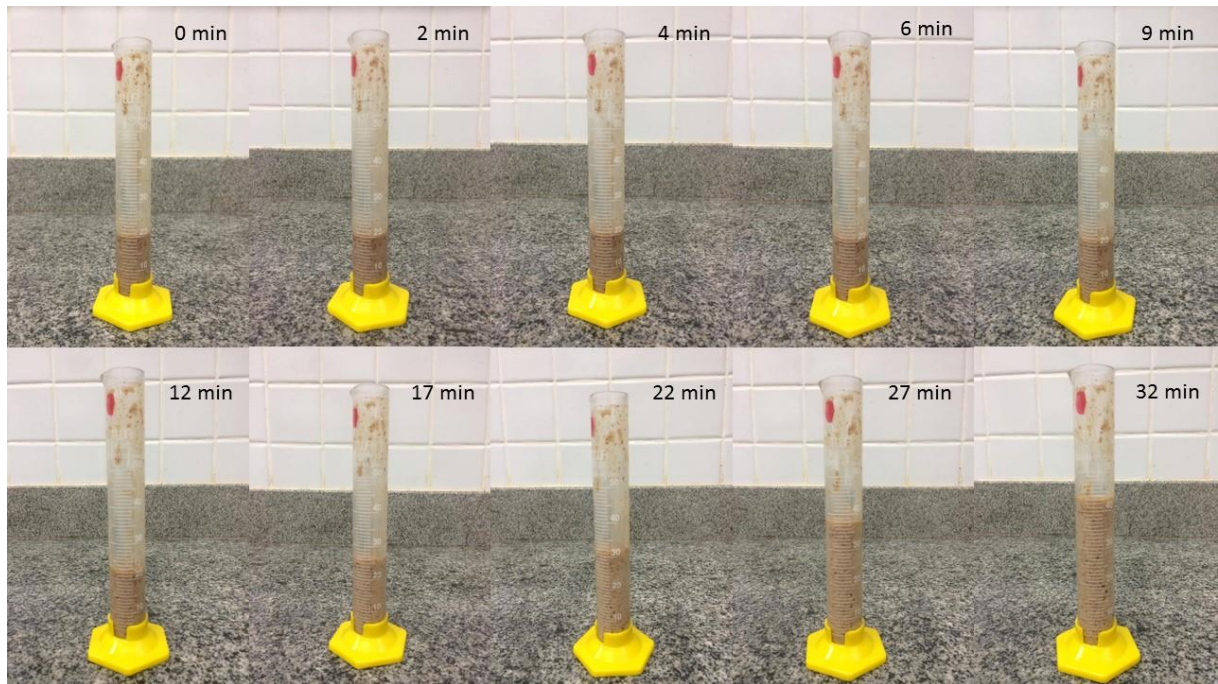


Figura 21 - Acompanhamento do volume da massa para a formulação 8 (controle), em relação ao tempo.

Fonte: Autoria própria (2017).

A Tabela 11, traz os resultados obtidos na modelagem matemática das fermentações de F1 (100 % *psyllium*), F2 (goma xantana) e F8 (controle). Verificou-se que os dados experimentais da fermentação de F1 ajustaram-se aos modelos propostos, pois os  $R^2$  foram maiores que 0,9 e  $REQM$  menores que 5 %. Segundo Mingoti (2005) a Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio ( $REQM$ ), que avalia a adequabilidade do modelo, mostra um índice de discrepância entre a matriz de covariância amostral e a matriz de covariância obtida através do modelo fatorial, apresentando uma amplitude compreendida entre 0 e 1, sendo que quando mais próximo de zero melhor o ajuste do modelo.

As Figuras 22 e 23, trazem dados experimentais do comportamento da fermentação da F1 (100 % *psyllium*) para ambos os modelos. Os dados experimentais que expressão o comportamento da fermentação em ambos os modelos da F2 (100 % goma xantana) estão localizados nas Figuras 24 e 25 e os dados experimentais da F8 (controle) estão localizados nas Figuras 26 e 27. Considerando que o cálculo do tempo e da taxa de crescimento são aspectos

importantes nos processos de fermentação, é possível verificar que os dois modelos são adequados para descrever os dados experimentais da fermentação de pães sem glúten nas formulações 1 e 8. Porém, para a formulação 2 o modelo Gompertz não representou os dados experimentais.

Tabela 11 - Coeficiente de determinação ( $R^2$ ), raiz do erro quadrático médio percentual ( $REQM$ ) e coeficientes do modelo de Velhunst e Gompertz aplicados para o ajuste dos dados experimentais da fermentação de pães ausentes de glúten.

Formulação	Modelo	$R^2$	$REQM$ (%)	*r	**A
1	Velhunst	0,914	4,578	0,0239	-
	Gompertz	0,908	4,873	-	0,0027
2	Velhunst	0,902	6,165	0,0239	-
	Gompertz	0,896	6,575	-	0,0027
8	Velhunst	0,962	2,628	0,0239	-
	Gompertz	0,958	2,940	-	0,0027

\*r=coeficiente de crescimento da referida população modelo de Velhunst;

\*\*A=taxa constante de crescimento da massa modelo de Gompertz.

Fonte: Aatoria propria (2017).

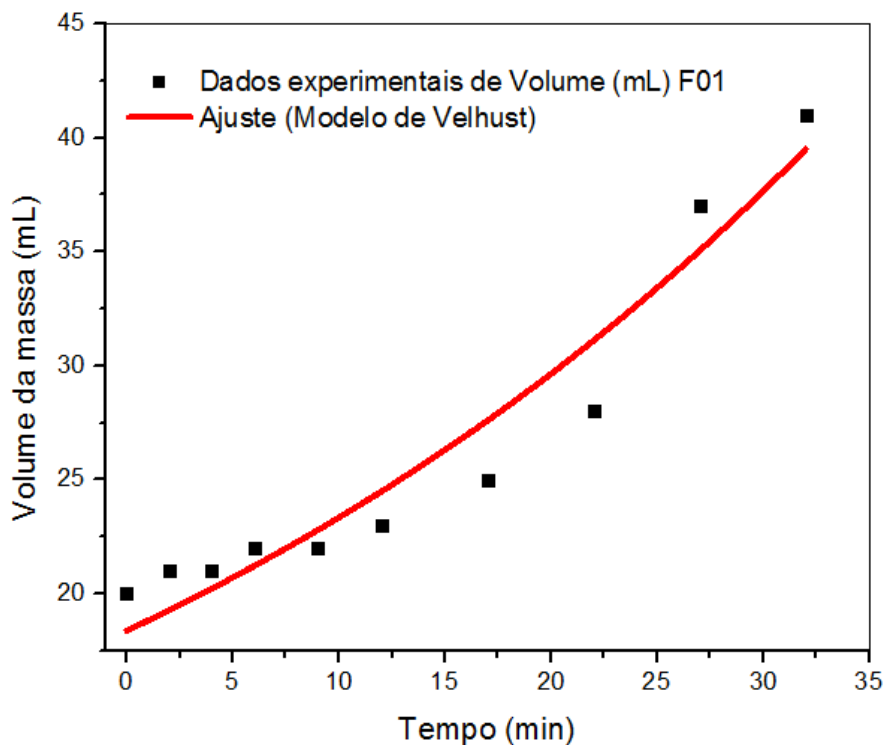


Figura 22 - Dados experimentais do volume da fermentação pelo tempo da F1 (*psyllium*), ajustados pelo modelo de crescimento por Velhust.

Fonte: Aatoria própria (2017).

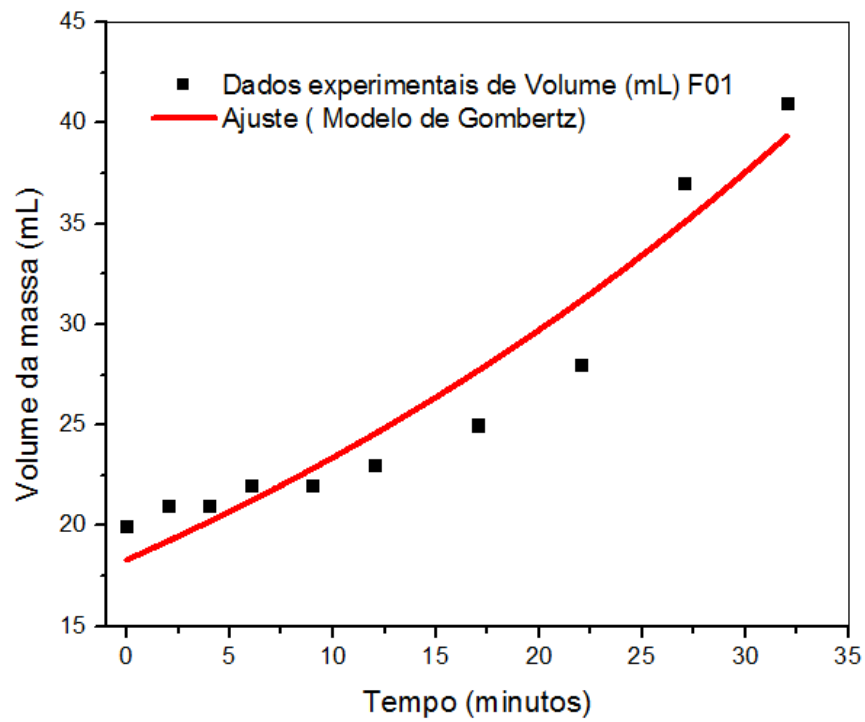


Figura 23 - Dados experimentais do volume da fermentação pelo tempo da F1 (psyllium), ajustados pelo modelo de crescimento por Gompertz.

Fonte: Autoria própria (2017).

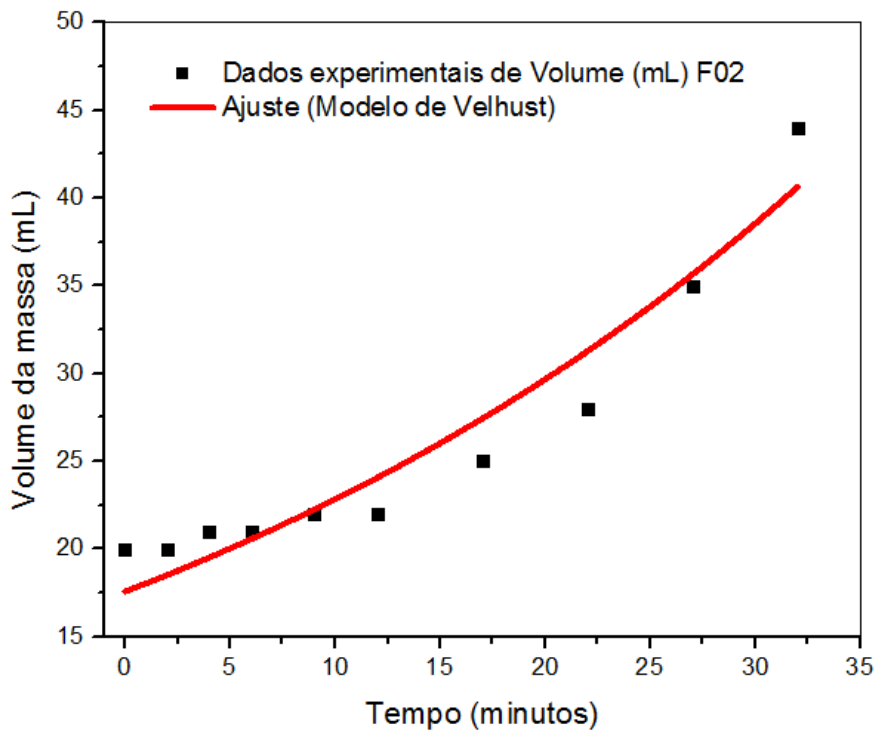


Figura 24 - Dados experimentais do volume da fermentação pelo tempo da F2 (goma xantana), ajustados pelo modelo de crescimento por Velhust.

Fonte: Autoria própria (2017).

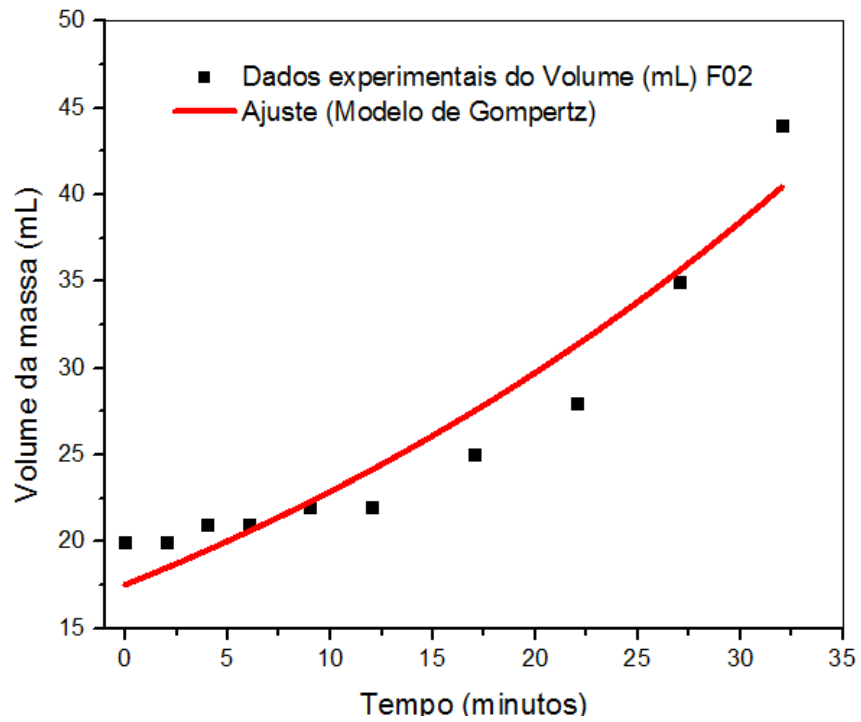


Figura 25 - Dados experimentais do volume da fermentação pelo tempo da F2 (goma xantana), ajustados pelo modelo de crescimento por Gompertz.

Fonte: Autoria própria (2017).

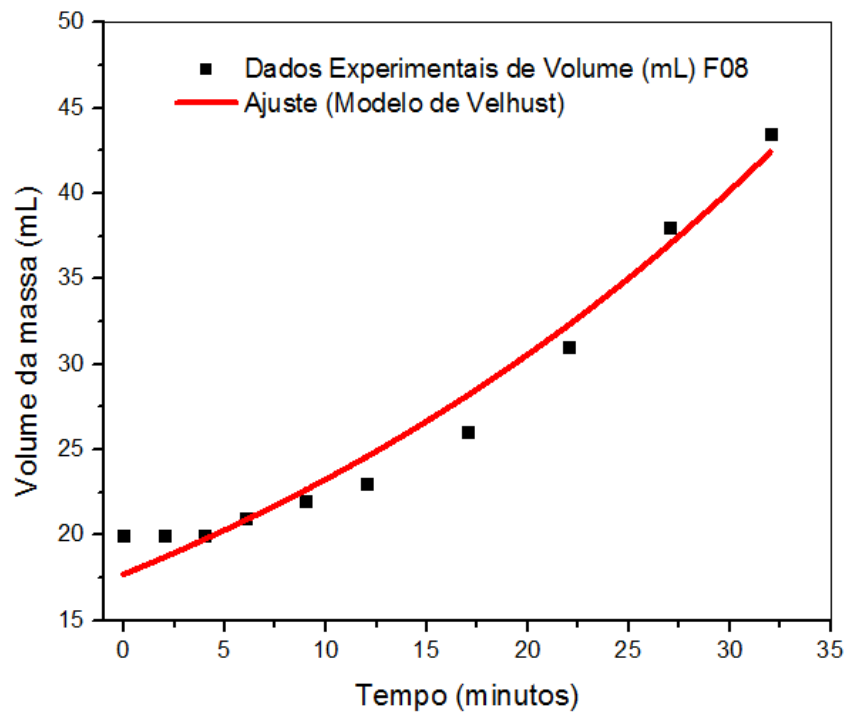
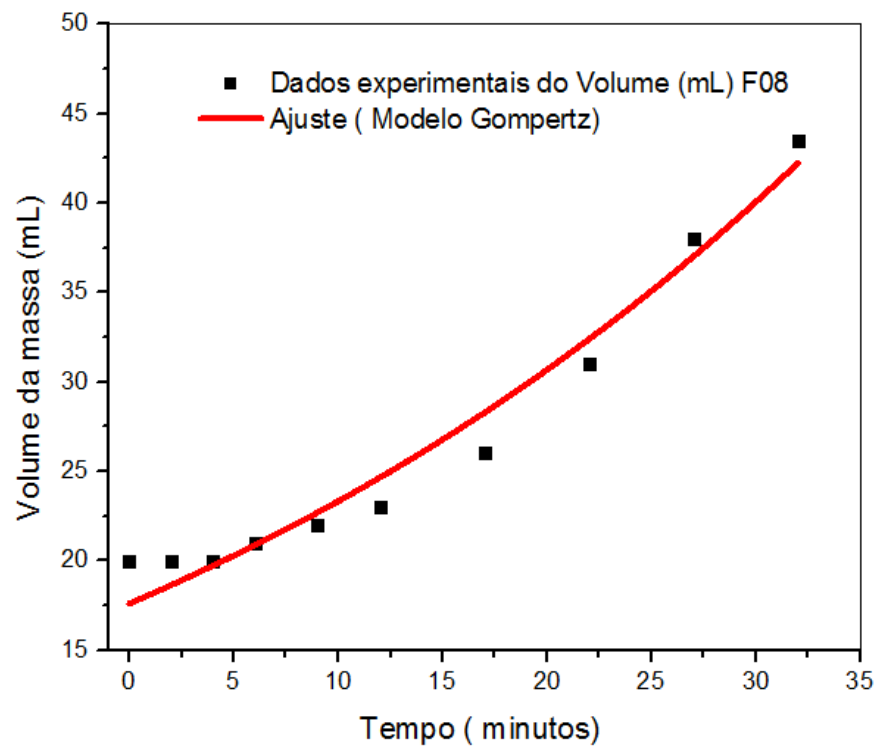


Figura 26 - Dados experimentais do volume da fermentação pelo tempo da F8 (controle), ajustados pelo modelo de crescimento por Velhurst.

Fonte: Autoria própria (2017).





**Figura 27 - Dados experimentais do volume da fermentação pelo tempo da F8 (controle), ajustados pelo modelo de crescimento por Gompertz.**

**Fonte: Autoria própria (2017).**

## 7 CONCLUSÃO

Foi obtida uma farinha com granulometria fora dos padrões comerciais, dessa forma, foi necessário a aplicação da gelatinização para provocar o amolecimento do endocarpo e assim, gerar característica tecnológica desejável aos pães. A farinha de sorgo apresentou alto teor de carboidrato, sendo uma excelente fonte energética na alimentação. Seu teor de fibras totais foi superior ao do milho e do arroz e seu valor proteico foi semelhante ao trigo e aveia, na faixa de 12,44 g.

Os pães produzidos apresentaram coloração marrom avermelhada e aqueles adicionados de *psyllium* tiveram maior luminosidade comparado com o controle. A formulação que apresentou maior maciez e maior volume específico foi a adicionada de 100 % goma xantana e os que apresentaram os piores resultados para essas características foram aqueles adicionados de 100 % de *psyllium* e da mistura 50 % *psyllium* e 50 % goma xantana.

As 3 formulações analisadas no teste de escala hedônica, apresentaram resultados acima de 6 para todos os quesitos. Na intenção de compra as formulações com *psyllium* e goma xantana foram as melhores aceitas e o mesmo resultado se apresentou no índice de aceitabilidade, no qual, apenas o controle obteve nota abaixo de 70 %, evidenciando que a adição de espessantes à massa dos pães foi de preferência dos julgadores, uma vez que estes aditivos melhoraram as características tecnológicas do produto.

Para a modelagem da fermentação dos pães ausentes de glúten o melhor modelo que apresentou  $R^2$  superior a 0,9 e  $REQM$  menor que 5 % para todas as formulações testadas foi o modelo de Velhunst.

## **8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Uma vez conhecidas as características dos grãos de sorgo, sugere-se pesquisar uma maneira de diminuir a granulometria da farinha, uma vez que, quanto menor a granulometria, melhor serão as características tecnológicas e sensoriais do pão.

Outra sugestão é realizar as análises físico-químicas nos pães para determinar sua composição centesimal.

Ao conhecer as características da farinha e sua granulometria ideal, é sugerido que se aplique esta farinha a outros produtos.

## REFERÊNCIAS

AACC. American Association of Cereal Chemists. Approved Methods of American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods Committee**, St. Paul, ed. 9, v. 1 e 2, 1995.

ACELBRA, Associação dos Celíacos do Brasil. 2013. **Dados estatísticos: quais produtos sem glúten você gostaria de encontrar com facilidade**. Disponível em: <<http://www.ancelbra.org.br/2004/estatisticas.php>>. Acesso em: 05 out. 2016.

ADHIKARI, Nischal, E.; ACHARYA, Dev R. Effect of incorporation of malted sorghum flour on quality of biscuit. **Sunsari Technical College Journal**, Dharan, v. 2, n. 1, p. 33–37, jun. 2015.

AFIFY, Abd El-Moneim M. R., EL-BELTAGI, Hossam S., EL-SALAM, Samiha M. A., OMRAN, Azza A. Bioavailability of iron, zinc, phytate and phytase activity during soaking and germination of white sorghum varieties. **PLoS ONE**, v. 6, n. 10, p. 1–7, 2011.

AKBAR, Jamshed, IQBAL, Mohammad S., MASSEY, Shazma, MASIH, Rashid. Kinetics and mechanism of thermal degradation of pentose - and hexose - based carbohydrate polymers. **Carbohydr. Polym**, Pakistan, v. 90, p. 1386–1393, 2012.

ALESSI, Mauro O.; RAUPP, S.; GARDINGO, J. R. Caracterização do processamento da farinha de milho biju para o aproveitamento dos subprodutos. **Publ. UEPG Ci. Exatas Terra, Ci. Agr. Eng.** Ponta Grossa, v. 9, n. 2, p. 31–39, ago. 2003.

ALMEIDA FILHO, Janeo E. DE; TARDINI, Flávio D.; DAHER, Rogério F.; SILVA, Karla J. DA; XAVIER NETO, João B.; BASTOS, Edson; LOPES, Vinícius DA S.; BARBÉ, Tatiane DA C.; MENEZES, Cícero B. Agronomic evaluation of grain sorghum hybrids, cultivated on second season in different regions of Brazil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. Sete Lagoas, v. 13, n. 1, p. 82–95, ago. 2014.

ALVARENGA, Verônica O. **Modelagem preditiva do crescimento / morte de Saccharomyces cerevisiae em co-cultura com Lactobacillus fermentum em mosto de caldo de cana-de-açúcar**. 2008. 228 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

ALVAREZ, Pedro A.; MONGEON, Vanessa J.; BOYE, Joyce I. Characterization of a gluten reference material : Wheat-contaminated oats. **Journal of Cereal Science**, Canada, v. 57, n. 3, p. 418–423, jan. 2013.

ALTINDAG, Gulçin; CERTEL, Muharrem; EREM, Fundagul; KONAK, Ulgen I. Quality

characteristics of gluten-free cookies made of buckwheat, corn, and rice flour with/without transglutaminase. **Food Science And Technology International**, Turkey, p. 9, jan. 2014.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). Official Methods of Analysis. 16. ed. Arlington: AOAC, 1995. AOAC - Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. Washington, 20th ed.; 2005.

ANGLANI, C. Sorghum for human food - A review. **Plant foods for human nutrition**, Netherlands, v. 52, n. 1, p. 85–95, dec. 1998.

ARAÚJO, Halina M. C.; ARAÚJO, Wilma, M. C.; BOTELHO, Raquel B. A.; ZANDONADI, Renata P. Doença celíaca, hábitos e práticas alimentares e qualidade de vida. **Revista de Nutricao**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 467–474, maio/jun. 2010.

ARAUJO, Verônica. F. P.; JUNNYOR, Wellington, DA S. G.; DA SILVA, Marco A. P.; PLACIDO, Geovana R.; CALIARI, Marcio C.; LIMA, Maria S.; VIEIRA, Nubia F. Inclusion of sweet sorghum flour in bread formulations. **African Journal of Biotechnology**, Goiás, v. 14, n. 19, p. 1655–1661, abr. 2015.

AWIKA, Joseph M.; ROONEY, Lloyd. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, Texas, v. 65, n. 9, p. 1199–1221, maio 2004.

BÁRCENAS, María. E.; ROSELL, Cristina. M. Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread. **Food Hydrocolloids**, Valencia, v. 19, n. 6, p. 1037–1043, jan. 2005.

BERNAUD, Fernanda. S. R.; RODRIGUES, Ticiania. C. Fibra alimentar – Ingestão adequada e efeitos sobre a saúde do metabolismo. **Arq. Bras. Endocrinol Metab.**, Porto Alegre, v. 6, p. 397 – 405, abr. 2013.

BIEMBENGUT, Salette.; HEIN, Nelson. Modelación matemática y los desafíos para enseñar matemática. **Educación Matemática**, Distrito Federal, v. 16, p. 105–125, ago. 2004.

BOUDRIES, Nadia; BELHANECH, Naima; Nadjemi, B.; DEROANNE, C.; MATHLOUTHI, Mohamed; ROGER, Barbara; SINDIC, Marianne. Physicochemical and functional properties of starches from sorghum cultivated in the Sahara of Algeria. **Carbohydrate Polymers**, Algeria, v. 78, n. 3, p. 475–480, may 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para Análise de Sementes. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395p.

BRASIL. Resolução nº 12 de 02/01/2001. RDC nº 12: Padrões Microbiológicos para Alimentos. ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

BRASIL. Resolução nº 14 de 28/03/2014. Dispõe sobre matérias estranhas macroscópicas e microscópicas em alimentos e bebidas, seus limites de tolerância e dá outras providências. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

BRIER, N. DE; GOMAND, S. V.; CELUS, I.; COURTIN, C. M.; BRIJS, K. DELCOUR, J. A. Extractability and Chromatographic Characterization of Wheat (*Triticum aestivum L.*) Bran Protein. **Journal of Food Science**, USA, v. 80, n. 5, feb. 2015.

BRITO, Vitor. H. DOS S.; CEREDA, Marney. P. Método para determinação de volume específico como padrão de qualidade do polvilho azedo e sucedâneos. **Food Technology**, Campinas, v. 18, p. 14–22, jan./mar. 2015.

CAPPA, Carola.; LUCISANO, Mara.; MARIOTTI, Manuela. Influence of Psyllium , sugar beet fibre and water on gluten-free dough properties and bread quality. **Carbohydrate Polymers**, Milan, v. 98, n. 2, p. 1657–1666, ago. 2013.

CAPRILES, Vanessa. D.; ARÊAS, José. A. D. Avaliação da qualidade tecnológica de snacks obtidos por extrusão de grão integral de amaranto ou de farinha de amaranto desengordurada e suas misturas com fubá e milho. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 21–29, jan./mar. 2012.

CARDOSO, Leandro. DE M.; MONTINI, Tatiana A.; PINHEIRO, Soraia, S.; PINHEIRO-SANT'ANA, Helena M.; MARTINO, Hércia S. D.; MOREIRA, Ana V. B. Effects of processing with dry heat and wet heat on the antioxidant profile of sorghum. **Food Chemistry**, Voçosa, v. 152, p. 210–217, nov. 2013.

CARDOSO, Leandro. DE M.; Pinheiro, Soraia S.; CARVALHO, Carlos W. P. DE; QUEIROZ, Valéria A. V.; MENEZES, Cícero, B. DE; MOREIRA, Ana, V. B.; BARROS, Frederico A. R. DE; AWIKA, Jeseoph M.; MARTINO, Hércia S. D.; PINHEIRO-SANT'ANA, Helena M. Phenolic compounds profile in sorghum processed by extrusion cooking and dry heat in a conventional oven. **Journal of Cereal Science**, Texas, v. 65, p. 220–226, set. 2015.

CARR, L. G.; RODAS, M. A. B.; DELLA TORRE, J. C. M.; TADINI, C. C. Physical, textural and sensory characteristics of 7-day frozen part-baked French bread. **Lebensmittel – Wissenschaft und – Technologie**, New York, v. 39, n. 5, p. 540-547, jan. 2006.

CASELA, Carlos R.; BARGONOVÍ, Renato A.; SCHAFFERT, Robert E.; SANTOS, Fredolino, G. Cultivares de sorgo. **Inf. Agropec**, Belo Horizonte, n.12, v. 144, p. 40–42, dez. 1986.

CEZARINO, Luciana O.; CAMPOMAR, Marco C. Vantagem competitiva para micro, pequenas e médias empresas: clusters e APLs. **E&G Economia e Gestão**, Belo Horizonte, v. 6, n. 12, p. 143–158, jun. 2006.

CHAVAN, Sujata.; BAIG, M. Relationship of Biomass and Xanthan Gum Production by *Xanthomonas campestris*: Optimization of Parameters. **British Biotechnology Journal**, India, v. 11, n. 1, p. 1–8, nov. 2016.

COLLAR, Concha; JIMÉNEZ, Tereza; CONTE, Paola; FADDA Constantino. Impact of ancient cereals, pseudocereals and legumes on starch hydrolysis and antiradical activity of technologically viable blended breads. **Carbohydrate Polymers**, Paterna, v. 113, p. 149–158, jul. 2014.

CUNHA, Ana. O. DA. **CADEIA PRODUTIVA DO PÃO: fontes informacionais utilizadas no planejamento de novos produtos**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Biblioteconomia) – Faculdade de Biblioteconomia e Comunicação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

CZUCHAJOWSKA, Z.; PASZCZYNSKA, B.; POMERANZ, Y. Functional Properties of Psyllium in Wheat-Based Products. **Cereal Chemistry**, v. 69, n. 5, p. 516 – 520, mar. 1992.

DICKO, Mamoudou H.; GRUPPEN, Harry; TRAORÉ, Alfred S.; VORANGE, Alphons G. J.; BERKEL, Willem J. H. VAN. Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. **African Journal of Biotechnology**, Wageningen, v. 5, n. 5, p. 384–395, mar. 2006.

DUTCOSKY, Silvia D. Métodos subjetivos ou afetivos. Análise sensorial de alimentos. 2 ed. Champagnat: Curitiba, 2007. p. 141 - 152.

DYKES, Linda.; ROONEY, Lloyd. W. Sorghum and millet phenols and antioxidants. **Journal of Cereal Science**, Texas, v. 44, n. 3, p. 236–251, jun. 2006.

EARP, C. F.; MCDONOUGH, C. M.; ROONEY, L. W. Microscopy of pericarp development in the caryopsis of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Journal of Cereal Science**, Texas, v. 39, n. 1, p. 21–27, jun. 2004.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Meat and meat products. **Food Outlook Biannual Report On Global Food Markets**, Rome, p. 1-143, oct. 2014.

FERNANDES, Geferson A.; FERNANDES, Fabíola F. D.; MOUSQUER, Jonasson; SILVA, Mérik R.; FREIRIA, Lucien B.; FEIJÓ, Larissa C.; FERREIRA, Verônica B.; SILVA, Amorésio S. da. Modelos não lineares na descrição do crescimento ponderal de bovinos de corte. **PUBVET, Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, Londrina, v. 7, n. 246, p. 24, dez. 2013.

FERREIRA, Sila. M. R.; MELLO, Ana P. de; ANJOS, Mônica de C. R. DOS; KRUGER, Cláudia H.; AZOUBEL, Patrícia M.; ALVES, Marcia A. de O. Utilization of sorghum, rice, corn flours with potato starch for the preparation of gluten-free pasta. **Food Chemistry**, v. 191, p. 147–151, abril 2015.

FIALHO, Elias. T.; LIMA, José A. F. de; OLIVEIRA, Fladimir de; SILVA, Hunaldo O. Substituição do Milho pelo Sorgo sem Tanino em Rações de Leitões: Digestibilidade dos Nutrientes e Desempenho Animal. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 105–111, jan. 2002.

FIGUEIRA, Felipe da. S.; CRIZEL, Tainara de M.; SILVA, Camila R.; SALAS-MELLADO, Myriam de las M. Pão sem glúten enriquecido com a microalga *Spirulina platensis*. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 14, n. 4, p. 308–316, out./dez. 2011.

GALLAGHER, E.; GORMLEY, T. R.; ARENDT, E. K. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. **Trends in Food Science and Technology**, Cork, v. 15, n. 3-4, p. 143–152, set. 2004.

GALLAGHER, E. Gluten-Free Food Science and Technology. **Wiley-Blackwell**, UK, p. 664-675, set. 2009.

GONZÁLEZ, Alejandro J. P. **Specialty sorghums in direct-expansion extrusion**. 2005. 115 f, Dissertação (Mestrado) – Food Science and Technology, Texas A&E University, Texas, 2005.

GUJRAL, Harper. S.; ROSELL, Cristina. M. Functionality of rice flour modified with a microbial transglutaminase. **Journal of Cereal Science**, London, v. 39, n. 2, p. 225–230, oct. 2004.



GROSS, Tadeu. J.; ABRÃO, T.; JESZENSKY, Paul J. E. Algoritmo de controle de potência distribuído fundamentado no modelo populacional de verhulst. **Revista da Sociedade Brasileira de Telecomunicações**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 59-74, abr. 2006.

HAGER, Anna-Sophie; ARENDT, Elke. K. Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat. **Food Hydrocolloids**, Cork, v. 32, n. 1, p. 195–203, jan. 2013.

JAGANNATH, A.; TSUCHIDO, Tetsuaki., Predictive Microbiology: A review. **Biocontrol Science**, Osaka, v. 8 p.1-7, jul. 2003.

KAMALJIT, K.; AMARJEET, K.; PAL, S. T. Analysis of Ingredients, Functionality, Formulation Optimization and Shelf Life Evaluation of High Fibre Bread. **American Journal of Food Technology**, Punjab, v. 6, p. 303 – 313, 2011.

KONICA MINOLTA. Entendendo o Espaço de Cor L\*a\*b\*. Disponível em:<<http://sensing.konicaminolta.com.br/2013/11/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/>>. Acessado em: 02 de nov. 2016

MAGALHAES, Jurandir V.; LIU, Jiping; GUIMARÃES, Claudia T.; LANA, Ubiraci G. P.; ALVES, Vera M. C.; WANG, Yi-Hong; SCHAFFERT, Robert E.; HOEKENGA, Owen A.; PIÑEROS, Miguel A.; SHAFF, Jon E.; KLEIN, Patricia E.; CARNEIRO, Newton P.; COELHO, Cintia M.; TRICK, Harold N.; KOCHIAN, Leon V. A gene in the multidrug and toxic compound extrusion (MATE) family confers aluminum tolerance in sorghum. **Nature genetics**, v. 39, n. 9, p. 1156–1161, sep. 2007.

MARIOTTI, Manuela., LUCISANO, Mara., PAGANI, M. A.; NG, Perry. K. W. The role of corn starch, amaranth flour, pea isolate, and Psyllium flour on the rheological properties and the ultrastructure of gluten-free doughs. **Food Research International**, 42, 963–975, apr. 2009.

MARSTON, Kathryn.; KHOURYIEH, Hanna.; ARAMOUNI, Fadi. Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake. **LWT - Food Science and Technology**, v. 65, n. 2016, p. 637–644, jan. 2016.

MARTINO, Hércia. S. D.; TOMAZ, Priscila A.; MORAES, Érica A.; CONCEIÇÃO, Lisiane L. da; OLIVEIRA, Daniela da S.; QUEIROZ, Valéria A. V.; RODRIGUES, José A. S.; PIROZI Mônica R.; PINHEIRO-SANT'ANA, Helena M.; RIBEIRO, Sônia M. R. Chemical characterization and size distribution of sorghum genotypes for human consumption. **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 71, n. 2, p. 337–344, jun. 2012.

MARTINO, Hércia. S. D.; CARDOSO, Leandro de M.; MORAES, Érica A.; PINHEIRO-SANT'ANA, Helena M.; QUEIROZ, Valéria A. V. Por que utilizar o sorgo na alimentação. In: Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global. **Associação Brasileira de Milho e Sorgo**. 2012. p. 95-114.

MÉNDEZ-ALBORES, Abraham; MARTINEZ-BUSTOS, Fernando; VÉLES-MEDINA, José J.; MORENO-RAMOS, Carolina; DEL RIO-GARCIA, Juan C.; MORENO-MARTÍNEZ, Ernesto. Efecto de la adición de ácido cítrico sobre la degradación de las aflatoxinas y las propiedades funcionales de productos extrudidos de sorgo. Caracas, **Interciencia**, v. 34, n. 4, p. 252–258, abr. 2009.

MIÑARRO, B.; ALBANALI, E.; AGUIAR, N.; GUAMIS, B.; CAPELLAS, M. Effect of legume flours on baking characteristics of gluten-free bread. **Journal of Cereal Science**, v. 56, n. 2, p. 476–481, apr. 2012.

MINGOTI, Sueli A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005

MIRANDA, Martha Z.; MORI, Claudia de; LORINI, Irineu. **Qualidade Comercial do Trigo Brasileiro: Safra, 2005**. Embrapa, Passo Fundo, RS, 2008.

MIRANDA, J.; LASA, A.; BUSTAMANTE, M. A.; CHURRUCA, I.; SIMON, E. Nutritional Differences Between a Gluten-free Diet and a Diet Containing Equivalent Products with Gluten. **Plant Foods for Human Nutrition**, New York, v. 69, n. 2, p. 182–187, mar. 2014.

MISHRA, Sumit; SINHA, Sweta; DEY, Kartick P.; SEN, Gautam. Synthesis, characterization and applications of polymethylmethacrylate grafted psyllium as flocculant. **Carbohydr. Polym.** 99, 462–468, jan. 2014

MOHAMMED, Noha A.; AHMED, Isam A. M.; BABIKER, Elfadil E. Nutritional evaluation of sorghum flour (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) during processing of injera. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 75, n. 3, p. 72–76, 2011.

MORAES, Érica A.; NATAL, Dorina I. G.; QUEIROZ, Valéria A. V.; SCHAFFERT, Robert E.; CECON, Paulo R.; PAULA, Sérgio O. de; BENJAMIN, Laércio dos A.; RIBEIRO, Sônia M. R.; MARTINO, Hércia S. D. Sorghum genotype may reduce low-grade inflammatory response and oxidative stress and maintains jejunal morphology of rats fed a hyperlipidic diet. **Food Research International**, v. 49, n. 1, p. 553–559, 2012.

MORAES, Érica A.; MARTINELLI, Rafaela da S.; LENQUISTE, Sabrina A.; STEEL, Caroline J.; MENEZES, Cícero B. de; QUEIROZ, Valéria A. V.; MARÓSTICA JÚNIOR, Mário R.

Sorghum flour fractions: Correlations among polysaccharides, phenolic compounds, antioxidant activity and glycemic index. **Food Chemistry**, v. 180, p. 116–123, 2015.

MOREIRA, Mariane R. **Elaboração de pré-mistura para pão sem glúten para celíacos**. 2007. 105 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

NOBRE, Ana R. M. O. **Utilização de farinha de quinoa no desenvolvimento de pães sem glúten**. 2015. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Pós-Graduação em Engenharia e Ciências de Alimentos, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2015.

OGUNSAKIN, O. A.; BANWO, K.; OGUNREMI, O. R.; SANNI, A. I. Microbiological and physicochemical properties of sourdough bread from sorghum flour. **International Food Research Journal**, Estado de Oyo, v. 22, n. 6, p. 2610–2618, mai. 2015.

OLAOYE, O.; ONILUDE, A.; IDOWU, O. Quality characteristics of bread produced from composite flours of wheat, plantain and soybeans. **African Journal of Biotechnology**, Nigéria, v. 5, n. 11, p. 1102–1106, jun. 2006.

OLEMBO, N.; M'MBOYI, F.; KIPLAGAT, S. **Sorghum breeding in sub-saharan africa: the success stories**. Nairobi, Kenya, African Biotechnology Stakeholders Forum, 2010.

OLIVEIRA, Kênia G. de; QUEIROZ, Valéria A. V.; CARLOS, Lanamar de A.; CARDOSO, Leandro de M.; PINHEIRO-SANT'ANA, Helena M.; ANUNCIACÃO, PAmella C.; MENEZES, Cícero B. de; SILVA, Ernani C. da; BARROS, Frederico. Effect of the storage time and temperature on phenolic compounds of sorghum grain and flour. **Food Chemistry**, v. 216, p. 390–398, jan. 2017.

OLIVEIRA, Lafaiete F. de; ODININO, Luis. G. Q. Instruções para Amostragem de Grãos. **Boletim Téc. Armaz.**, v. 1, n. 1, p. 1 – 32, mar. 2015.

ONYANGO, Calvin; MUTUNGI, Christopher; UNBEHEND, Gunter; LINDHAUER, Meinolf G. Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize , potato , cassava or rice starch. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 3, p. 681–686, jan. 2011.

PINELI, Livia de L. de O.; ZANDONADI, Renata P.; BOTELHO, Raquel B. A.; OLIVEIRA, Viviane R. de; FIGUEIREDO, Lúcio F. de A. The use of sorghum to produce gluten-free breads (GFB): a systematic review, **Journal of Advanced Nutrition and Human Metabolism**, v. 2, n. 944, p. 1–9, jan. 2015.

PRATESI, Riccardo; GANDOLFI, Lenora. Doença celíaca : a afecção com múltiplas faces  
Celiac disease : a disease with many faces. **Jornal de Pediatria**, Rio de Janeiro, v. 81, n. 5, p. 357–358, 2005.

RAGAEI, Sanaa; ABDEL-AAL, El-Sayed M.; NOAMAN, Maher. Antioxidant activity and nutrient composition of selected cereals for food use. **Food Chemistry**, v. 98, n. 1, p. 32–38, apr. 2006.

RATNAVATHI, C. V.; PATIL, J. V. Sorghum Utilization as Food. **Journal of Nutrition & Food Sciences**, Andha Pratesh, v. 4, n. 1, p. 1–8, oct. 2013.

RIBEIRO, Carlos. M. A. **Panificação**. 01. ed. São Paulo: Hotec, 2006

RIGO, Marcia A.; CARVALHO, Karina de. **Efeito da adição de farinha de brácteas de bananeira e goma hidroxipropilmetilcelulose (hpmc) nas características físicas, instrumentais e de composição proximal de pão sem glúten**. 2015. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior em Tecnologia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Medianeira, 2015.

SABANIS, D. L.; TZIA, C. Effect of hydrocolloids on selected properties of gluten-free dough and bread. **Food Science and Technology International**. v.17, n.4, p. 279- 291, jun. 2015.

SAFETY, F. **Segurança e Qualidade Alimentar**. p. 2005–2007, 2006.

SANCHEZ, David A. White Food-Type Sorghum In Direct-Expansion Extrusion Applications. 2003. 147 f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Food Science and Technology, Texas A & M University, 2003.

SANTOS, Fredolino G.; CASELA, Carlos. R.; WAQUIL, José. M. Melhoria de Sorgo. XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 2., 2012, Águas de Lindóia, **Artigo**, Viçosa, Editora UFV, v. 1, p. 429-466, 2005.

SARMENTO, Cleonice M. P.; COLLA, Eliane; CANAN, Cristiane; DALCANTON, Francieli; ARAGÃO, Gláucia M. F. de. Food additives reduce lactic acid bacterial growth in culture medium and in meat products , increasing product shelf life. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 6, p. 3681–3698, nov./dez. 2015.

SCAZZINA, Francesca; DALL’ASTA, Margherita; PELLEGRINI, Nicoletta; BRIGHENTI, Furio. Glycaemic index of some commercial gluten-free foods. **European Journal of Nutrition**, v. 54, n. 6, p. 1021–1026, jan. 2015.

SCHOBER, Tilman J.; MESSERCHMIDT, Manoella; BEAN, Scott R.; PARK, Seo-Ho; ARENDT, Elke K. Gluten-free bread from sorghum: Quality differences among hybrids. **Cereal Chemistry**, v. 82, n. 4, p. 394–404, 2005.

SDEPANIAN, Vera L.; MORAIS, Mauro B. de; FAGUNDES-NETO, Ulysses. DOENÇA CELÍACA: avaliação da obediência à dieta isenta de glúten e do conhecimento da doença pelos pacientes cadastrados na Associação dos Celíacos do Brasil. **Arq. Gastroenterol**, v. 38, n. 4, p. 232–239, out./dez. 2001.

SILVA, Juarez de S.; CORRÊA, Paulo C. Estrutura, Composição e Propriedades dos Grãos. In: **Secagem e Armazenamento de Grãos no Brasil**. Voçosa: UFV, 2000. p. 21-37, v. 2p. 21 – 37.

SINGH, Baljit; SHARMA, Nisha.; CHAUHAN, Nirmala. Synthesis, characterization and swelling studies of pH responsive psyllium and methacrylamide based hydrogels for the use in colon specific drug delivery. **Carbohydr. Polym.** 69, 631–643, feb. 2007.

SLAVIN, Joanne. Whole grains and human health. **Nutrition research reviews**, v. 17, n. 1, p. 99–110, 2004.

SODRÉ, Ulysses. Modelos matemáticos. In: **Matemática**, Londrina: UEL, 2007. p. 1-27

STAIL, Bruna; OLIVEIRA, Darlã N.; SCHULTZ, Julhane. A. T. FERMENTAÇÃO DO PÃO: ESTUDO A PARTIR DE UM EXPERIMENTO MATEMÁTICO. **VI Congresso Internacional de Ensino da Matemática**, ULBRA, Canoas, 2013.

SVENSSON, Louise; SEKWATI-MONANG, Bonno S.; LUTZ, Daise L.; SCHIEBER, Andreas; GÄNZLE, Michael G. Phenolic acids and flavonoids in nonfermented and fermented red sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 16, p. 9214–9220, 2010.

TALEON, V. et al. Effect of genotype and environment on flavonoid concentration and profile of black sorghum grains. **Journal of Cereal Science**, v. 56, n. 2, p. 470–475, 2012.

TAYLOR, John R. N.; SCHOBER, Tilman. J.; BEAN, Scott. R. Novel food and non-food uses for sorghum and millets. **Journal of Cereal Science**, v. 44, n. 3, p. 252–271, jun. 2006.

THAKUR, Vijay. K.; THAKUR, Manju. K. Recent Trends in Hydrogels based on Psyllium Polysaccharide: A Review. **Journal of Cleaner Production**, jun. 2014.

THOMPSON, T.; DENNIS, M.; HIGGINS, L. A.; LEES, A. R.; SHARRETT, M. K. Gluten-free diet survey: Are Americans with coeliac disease consuming recommended amounts of fibre, iron, calcium and grain foods? **Journal of Human Nutrition and Dietetics**, v. 18, n. 3, p. 163–169, 2005.

TRAPPEY, Emily F.; KHOURYIEH, Hanna; ARAMOUNI, Fadi; HERALD, T. Effect of sorghum flour composition and particle size on quality properties of gluten-free bread. **Food Science and Technology International**, p. 16, mai. 2014.

TRIPATHI, R.; MISHRA, B. Preparation and evaluation of composite microspheres of polyacrylamide-grafted polysaccharides. **J. Appl. Polym. Sci.** v. 130, n. 2, p. 2912–2922, 2013.

TSUNECHIRO, Alfredo; MIURA, Maximiliano. Relações De Preço Sorgo / Milho de São Paulo, Goiás e Rio Grande do Sul, 2001-2009. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 41, n.1, p. 45-50, jan. 2011.

VARGAS-SOLÓRZANO, Jhony W.; CARVALHO, Carlos W. P.; TAKEITI, Cristina Y.; ASCHERI, José L. R.; QUEIROZ, Valéria A. V. Physicochemical properties of expanded extrudates from colored sorghum genotypes. **Food Research International**, v. 55, p. 37–44, jan. 2014.

VIEIRA, Tamires dos S.; FREITAS, Flávia V.; SILVA, Laiz A. A.; BARBOSA, Wagner M. Efeito da substituição da farinha de trigo no desenvolvimento de biscoitos sem glúten. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 18, n. 4, p. 285–292, dez. 2015.

WANSINK, Brian.; WESTGREN, Randall. E.; CHENEY, Matthew. M. Hierarchy of nutritional knowledge that relates to the consumption of a functional food. **Nutrition**, v. 21, n. 2, p. 264–268, 2005.

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

WOO, Hyun J.; OH, In T.; LEE, Jung Y.; JUN, Do Y.; SEU, Myung C.; WOO, Koan S.; NAM, Min H.; KIM, Young H. Apigeninidin induces apoptosis through activation of Bak and Bax and subsequent mediation of mitochondrial damage in human promyelocytic leukemia HL-60 cells. **Process Biochemistry**, v. 47, n. 12, p. 1861–1871, 2012.

YANG, Liyi; BROWNING, Jimmy D.; AWIKA, Joseph M. Sorghum 3-deoxyanthocyanins possess strong phase II enzyme inducer activity and cancer cell growth inhibition properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 5, p. 1797–1804, fev. 009.

YIN, Jun-Yin.; CHEN, Hai-Hong; LIN, Hui-Xia; XIE, Ming-Yong; NIE, Shao-Ping. Structural Feature of the Seeds of Seeds of *Plantago asiatica* L. *J. Molecules*. v. 21, n. 1181, p.1–11, 2016.

## ANEXO A – Ficha para análise sensorial

### ANÁLISE SENSORIAL DE PÃES SEM GLÚTEN COM ADIÇÃO DE FARINHA DE SORGO

Nome: \_\_\_\_\_(OPCIONAL).

Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Sexo: F( ) M( ) Idade: \_\_\_\_\_

#### TESTE DE ESCALA HEDÔNICA

Você está recebendo 3 amostras de pão sem glúten adicionada de farinha de sorgo. Avalie as amostras utilizando a escala de valores abaixo:

- (9) Gostei extremamente
- (8) Gostei muito
- (7) Gostei moderadamente
- (6) Gostei ligeiramente
- (5) Indiferente
- (4) Desgostei ligeiramente
- (3) Desgostei moderadamente
- (2) Desgostei muito
- (1) Desgostei extremamente

Descreva o quanto você gostou e/ou desgostou, com relação aos atributos:

Amostra	Cor	Aparência	Odor	Sabor	Textura	Aceitação Global

Comentários: \_\_\_\_\_

#### TESTE DE INTENÇÃO DE COMPRA

Com relação à intenção de compra. Avalie cada amostra escolhendo as opções enumeradas de 1 – 5 abaixo.

( ) \_ \_ \_ \_ ( ) \_ \_ \_ \_ ( ) \_ \_ \_ \_

- 5 – Certamente compraria
- 4 – Possivelmente compraria
- 3 – Talvez compraria/Talvez não compraria
- 2 – Possivelmente não compraria
- 1 – Certamente não compraria

Comentários: \_\_\_\_\_



## ANEXO B: Parecer do CEP

### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** APLICAÇÃO DE SORGO (*Sorghum bicolor* (L.) MOENCH) E EFEITO NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE PÃES ISENTOS DE GLÚTE.

**Pesquisadora:** Nádia Cristiane Steinmacher

**Área Temática:**

**Versão:** 2 C

**AAE:** 69512317.7.0000.5547

**Instituição Proponente:** UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANA

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

#### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 2.214.424

#### Apresentação do rojeto:

Informam os pesquisadores que:

O mercado de produtos voltado ao público celíaco ainda é muito restrito, gerando ao consumidor intolerante ao glúten dificuldades em manter uma dieta. Assim, o desenvolvimento da tecnologia em alimentos que sejam livres de glúten vem sendo aprimorado para melhorar as características nutricionais e sensoriais desses alimentos. É de grande interesse e importância caracterizar e avaliar as propriedades do cereal sorgo e aplicá-lo em produtos alimentícios, uma vez que o grão é isento de glúten. Por isso, o desenvolvimento deste trabalho visa contribuir no avanço para a adaptação do sorgo como um novo ingrediente alimentar e aplicá-lo na produção de alimentos viabilizando a produção e comercialização, a partir da agregação de valor à matéria prima, beneficiando o consumidor. Assim, o presente trabalho teve por objetivo desenvolver pães isentos de glúten com farinha de sorgo. Para caracterização da farinha realizou análises físico-químicas (umidade, cinzas, proteína, lipídeos, fibras e atividade de água) e a granulometria e análises físicas para o grão (impurezas e materiais estranhos, cor, tamanho da partícula e peso hectolitro). Na elaboração dos pães foram realizados pré-testes até atingir a formulação ideal partindo de um planejamento de misturas, posteriormente analisar as características reológicas (volume específico e perfil de textura), atividade de água e cor, análises microbiológicas e análise sensorial.

O sorgo está sendo cada vez mais estudado, pesquisado e utilizado na elaboração de produtos alimentícios por apresentar teores expressivos de antioxidantes e ser um cereal livre de glúten. Produtos de panificação ganham destaque na utilização do sorgo, pois o cereal vem sendo utilizado como fonte alternativa de farinha em substituição ao trigo. Produzindo assim, alimentos isentos de glúten, snacks, mingaus, cervejas, pães, massas e outros. Alimentos produzidos com base no sorgo, além de apresentarem um elevado valor nutricional, o grão ainda é fonte de compostos bioativos, os quais podem trazer benefícios a saúde humana. Pesquisas mostram que alguns compostos isolados do sorgo, como os compostos fenólicos, ajudam na redução dos riscos de desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis como diabetes, câncer doenças cardiovasculares, hipertensão artérias e obesidade. Além de auxiliar em atividades anti-inflamatórias, aumento de bactérias promotoras da saúde do intestino, na diminuição do colesterol, alimentar-se de derivados do grão também resultou em um aumento das bactérias produtoras de ácidos graxos de cadeias curtas. Diversos são os tipos de alimentos elaborados com sorgo. Na África e na Índia é amplamente consumido como mingau ou após passar por um processo de fermentação, na forma de pão. Com a urbanização dessas regiões houve a facilidade do acesso a outros tipos de cereais, resultando em redução do consumo do sorgo entretanto, recentemente o grão foi

caracterizado como um alimento saudável, observando assim, um ligeiro aumento no seu consumo e na produção de pesquisas.

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é o quarto cereal mais produzido no Brasil e o quinto em escala de produção mundial. A planta do sorgo tem uma excelente adaptação a diversos tipos de ambientes, como elevadas temperaturas e escassez de recursos hídricos, alguns dos quais são prejudiciais para a grande maioria dos cereais. Outra viabilidade do grão é que ele possui um menor custo de produção comparado ao milho, além de ter a capacidade de melhor aproveitamento da água e de nutrientes do solo, tendo um valor baixo de comercialização no mercado comparado aos outros cereais. Usualmente o cereal é consumido em forma de grão ou através da farinha, algumas receitas que possuem como base o sorgo incluem, produtos fermentados ou não fermentados, produtos de padaria e produção de bebidas. A população do ocidente possui hábitos alimentares ricos em glúten e por consequência podendo desenvolver intolerância a esse tipo de proteína. Dessa forma, a introdução do cereal sorgo na alimentação do ocidente é de grande interesse uma vez que o sorgo é livre de glúten, podendo assim, substituir o trigo em produtos de panificação e, em especial, na elaboração de alimentos voltados aos celíacos. O mercado dos alimentos busca desenvolver uma série de produtos para atender diferentes tipos de públicos. A inserção do sorgo na alimentação humana é prática recente. Em vista disso, estudos e pesquisas para a produção de alimentos que tenham como base ou a substituição pela farinha de sorgo estão sendo desenvolvidos.

Um exemplo de alimento que está sendo adaptado para diversos públicos é o pão. Que possui um alto valor energético e quando adicionado de grãos integrais é fonte de proteína, fibras e minerais. Além de ser o alimento de baixo custo, consumido mundialmente por diferentes classes sociais. Na dieta humana o pão é um alimento frequente, produzido com variedade de ingredientes, resultando em diferentes tipos, cujo ingrediente principal é farinha de trigo, água e sal. Algumas formulações buscam substituir a farinha de trigo por de outro cereal, que possa resultar as mesmas características tecnológicas e sensoriais e que seja livre de glúten. Assim, a farinha do sorgo é um ingrediente que pode ser usado por si ou em misturas com outras tradicionais farinhas na produção de alimentos livre de glúten, reduzindo custos, aumentando valor nutricional, resultando assim, em alimento de alta tecnologia.

Hipótese:

Obter aceitação positiva dos pães ausentes de glúten com farinha.

Desfecho Primário:

Desenvolver pães ausentes de glúten com adição de farinha de sorgo.

Desfecho Secundário:

Com esse estudo de aplicação de farinha de sorgo em pães espera-se obter massas com maior valor nutricional e padrão tecnológico, a fim de atender a dieta livre de glúten porém com alto teor de nutrientes aos portadores da intolerância ao glúten, tendo em vista que esta dieta é caracterizada pela falta de nutrientes. A variação das concentrações de HPMC, goma xantana e psyllium nos pães, resultara em diferentes resultados tecnológicos.

Metodologia Proposta:

A matéria prima será o sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), o qual será disponibilizado pela empresa NHD Foods situada na cidade de Uberlândia – MG. Primeiramente a amostra passará por uma limpeza e seleção para retirada de materiais estranhos e grãos defeituosos. Em seguida será fracionada essa amostra para realização das análises, produção da farinha e elaboração do pão. Determinação de impurezas e materiais estranhos: para essa análise será pesado 1,5 g de amostra e manualmente serão retirados os materiais estranhos e as impurezas, em seguida será pesado novamente a amostra limpa. A diferença entre o peso da amostra inicial de 1,5 g e o peso da amostra limpa, resultará na quantidade de materiais estranhos e impurezas. Determinação da cor do grão: para medição da coloração será utilizado um colorímetro Minolta (CHROMA METER CR-400) determinando os valores de L\*, a\* e b\*. Tamanho da partícula do grão: para determinação do tamanho do grão será utilizado o método gravimétrico por paquímetro digital (LEETOOLS) com precisão de 0,01 mm. Peso hectolitro: esta análise será feita segundo as Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Consiste na massa de 100 L do grão, expressa em quilograma.

**DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DA PARTICULA DA FARINHA (MOAGEM):** o grão será moído em um Moinho de Facas SL-031 (SOLAB) e passará pelo Agitador de peneiras para análise granulométrica eletromagnético (BERTEL) contido por quatro tamizes com as seguintes aberturas 1,18 mm, 0,5 mm, 0,25 mm e 0,15 mm. Dessa forma, será determinado o tamanho da partícula da farinha.

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA FARINHA** Umidade: determinada através do teste gravimétrico em estufa a 105 °C até peso contante, segundo a metodologia proposta pela AOAC (2005). Cinzas: determinado em mufla a 550 °C até a obtenção de um resíduo branco de acordo com o método proposto pela AOAC (2005). Proteína: determinação será realizada segundo o método de Kjeldahl, com fator de 5,75 segundo descrito pela AOAC (2005). Lipídeos: o teor de lipídios será determinado pelo método de Soxhlet (extração a quente) de acordo com método descrito pela AOAC (2005). Teor de fibras alimentares: a determinação das frações insolúveis e solúveis das fibras será realizada pelo método descrito pela AOAC (2005). No cálculo do teor de fibra alimentar total será feita a soma das quantidades de fibras solúveis e insolúveis. Atividade de água: será realizada com auxílio do equipamento medidor de atividade de água (AquaLab).

**FORMULAÇÃO DO PÃO:** Para a definição das formulações partiu de um planejamento de mistura, na qual, as variáveis serão o HPMC, psyllium, goma xantana partindo de 2,5 % em relação a 150 g da farinha de sorgo, realizando então em 3 misturas de 100 %, 3 de 50%, uma de 33% e o controle, totalizando 8 formulações. No preparo será realizado uma pré-fermentação realizou-se uma pré-fermentação por 10 min, na qual, foi misturado 15 mL de água, fermento e açúcar. Enquanto a fermentação acontece, realizará uma gelatinização em fogo baixo misturando 150 g da farinha e adicionando 150 mL de água aos poucos, 50 mL por vez. Em cada momento de adição de água mexerá a mistura, esse procedimento foi feito até atingir a temperatura de 65 °C com duração de 15 minutos. Posteriormente misturará os ingredientes secos e por 3 minutos com a ajuda de uma batedeira em velocidade baixa, em seguida adicionará a farinha gelatinizada, os ingredientes líquidos e baterá por mais 10 minutos e por fim adicionar o preparado fermentado batendo por mais 3 minutos. Após a massa pronta, forrará um recipiente com papel alumínio e untará com banha despejando a massa na forma preparada. O tempo de fermentação será de 33 minutos levando em seguida ao forno por mais 30 minutos a 200 °C. Ao terminar de assar, retirar o pão da forma e deixar esfriar por 1 h em temperatura ambiente, logo em seguida realizar as análises de volume específico, firmeza, atividade de água e cor.

**DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO PÃO:** Perfil de Textura: a textura dos pães será avaliada de acordo com o método modificado da AACC 74-09 (AACC, 1995), utilizando um texturômetro TA-XT2i (Stable Micro System, Inglaterra). Após uma hora do processamento de assamento os pães serão fatiados (25 mm de espessura), as fatias externas de ambas as laterais serão descartadas. As amostras serão comprimidas por duas vezes até 40% da altura com um probe cilíndrico de 36 mm de diâmetro, velocidade de pré-teste, teste e pós-teste de 1,0, 1,7 e 1,0 mm/s, respectivamente. Para cada pão, quatro repetições serão realizadas. Serão considerados parâmetros de dureza e elasticidade. Volume específico do pão : O volume específico será determinado pela razão entre o volume e seu peso (mL/g), após 1 hora de resfriamento dos pães em temperatura ambiente. Serão realizadas análises microbiológicas conforme a RDC nº12, de 2 de janeiro de 200.

#### Análise sensorial.

O teste de aceitação dos pães será realizado utilizando teste sensorial afetivo de escala hedônica, estruturada de 9 pontos (9=gostei muitíssimo; 1=desgostei muitíssimo). Participarão do teste 112 provadores não treinados, de ambos os sexos, com idade entre 17 e 62 anos, de faixa etária média de 19 anos. O teste será realizado em cabines individuais do laboratório de Nutrição da UTFPR Campus Medianeira. Cada participante avaliará as três formulações dos pães, individualmente. Para isso as amostras, codificadas com 3 dígitos, serão servidas separadamente a temperatura ambiente, em pratos descartáveis, com aproximadamente 50 g de amostra. Água mineral à temperatura ambiente será disponibilizada para os consumidores, para efetuar a limpeza do palato antes de provar as amostras. A análise sensorial será realizada para a aceitação das melhores formulações do pão em escala hedônica de 9 pontos, participando 112 julgadores não treinados. O experimento será conduzido em delineamento de blocos completos ao acaso. Os dados serão submetidos à análise de variância (ANOVA), com duas fontes de variação (pães e consumidores). As médias de aceitação serão comparadas pelo teste de Tukey, e a hipótese das médias de aceitação global, aparência, consistência, aroma e sabor, que diferirem de 5 na escala do ideal, será avaliada pelo teste t. O nível de significância utilizado será de 5%.

#### Metodologia de Análise de Dados:

Para todos os experimentos, os resultados obtidos representarão médias de triplicata, as quais serão analisadas quanto à variância (ANOVA). Diferenças significativas entre as médias dos tratamentos serão observadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) utilizando o programa Statistica 7.0.C

#### Critério de Inclusão:

Qualquer indivíduo que tenha vínculo com o Câmpus Medianeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pertencente ao corpo docente, docente e técnico administrativo com idade entre 18 e 62 anos.

**Critério de Exclusão:** Indivíduos que tenham alergia ou sejam intolerantes a algum dos ingredientes (ovo, farinha de sorgo, azeite, sal, açúcar, fermento biológico) ou indivíduos que estejam com algum tipo de problema de saúde (doenças cardíacas, diabetes, etc.) ou ainda alguma doença que possa atrapalhar a percepção sensorial (gripe, resfriado, tosse, rinites alérgicas, etc.).

**Objetivo da Pesquisa:**

Objetivo Primário:

Desenvolvimento de pães ausentes de glúten adicionados de farinha de sorgo.

Objetivo Secundário: Caracterizar, através de análises físicas o grão de sorgo. Caracterizar, através de análises físico-químicas a farinha de sorgo. Obter farinha proveniente do grão de sorgo para desenvolver pães isentos de glúten. Desenvolver pães sem glúten partindo de um planejamento de misturas. Determinar as propriedades reológicas do pão isento de glúten. Análises microbiológicas do pão. Avaliar a aceitação sensorial dos pães isentos de glúten elaborados com farinha de sorgo.

**Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

Riscos:

A análise sensorial das três melhores formulações do pães somente será conduzida após o laudo das análises microbiológicas, que comprovem a sua inocuidade, fornecendo a você a segurança alimentar quanto à ingestão das amostras. No entanto, caso você sinta qualquer desconforto, será acionado o SAMU ou constrangimento em algum teste a ser realizado, poderá desistir da pesquisa a qualquer momento.

Benefícios: O sorgo é um cereal fonte de carboidrato, fibras e vitaminas e ainda livre de glúten. Desta maneira, o produto desenvolvido atende a todos os públicos e é saudável, pois a sua segurança alimentar será assegurada através das análises microbiológicas, e você ao degustar as três formulações, contribuirá através de sua opinião sobre o quanto gostou ou desgostou, motivando os professores e aluno envolvidos neste estudo a concluírem quanto à possibilidade ou não da inserção destes produtos no mercado consumidor. Salientamos que a sua participação neste estudo é de suma importância para a sua conclusão, pois contribuirá para o meio científico, mediante o fornecimento de sua opinião a respeito destes produtos, em relação ao quanto gostou ou desgostou dos mesmos.

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

A pesquisa é relevante pela inclusão do sorgo como matéria prima e o aumento na disponibilidade de alimentos para portadores de doença celíaca, uma vez que o pão é isento de glúten. É de grande interesse e importância caracterizar e avaliar as propriedades do cereal sorgo e aplicá-lo em produtos alimentícios, uma vez que o grão é isento de glúten.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

Atendem à Resolução CNS nº 466 de 2012.

**Recomendações:** 1) Rever o título da pesquisa: difere no TCLE dos demais documentos.

Esta recomendação não foi atendida. Permanece a recomendação. Encaminhar como notificação os documentos corretos.

2) Folha de rosto: deve ter a ciência e assinatura do responsável da instituição e não do proponent da pesquisa. Atendida

3) Definir adequadamente que são os participantes da pesquisa. Há incoerência nos documentos. Atendida Critério de Inclusão:

Qualquer indivíduo que tenha vínculo com o Câmpus Medianeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pertencente ao corpo docente, docente e técnico administrativo com idade entre 18 e 62 anos. Critério de Exclusão:

Indivíduos que tenham alergia ou sejam intolerantes a algum dos ingredientes (ovo, farinha de sorgo, azeite, sal, açúcar, fermento biológico) ou indivíduos que estejam com algum tipo de problema de saúde (doenças cardíacas, diabetes, etc.) ou ainda alguma doença que possa atrapalhar a percepção sensorial (gripe, resfriado, tosse, rinites alérgicas, etc.).

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Não há pendência, porém ver no item recomendações a notificação.

**Considerações Finais a critério do CEP:**

Lembramos aos senhores pesquisadores que, no cumprimento da Resolução CNS nº 466 de 2012 e da Norma Operacional nº 001 de 2013 do CNS, o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) deverá receber relatórios anuais sobre o andamento do estudo, bem como a qualquer tempo e a critério do pesquisador nos casos de relevância, além do envio dos relatos de eventos adversos, para conhecimento deste Comitê. Salientamos ainda, a necessidade de relatório completo ao final do estudo. Eventuais modificações ou emendas ao protocolo devem ser

apresentadas ao CEP-UTFPR de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificado e as suas justificativas.

**Situação do parecer:**

Aprovado

**Necessita aprovação do CONEP:**

Não

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_910717.pdf	06/07/2017 12:06:59		Aceito
Outros	Ficha_sensorial.docx	06/07/2017 12:06:18	Nádia Cristiane Steinmacher	Aceito
Declaração de Pesquisadores	DECLARA_PES.pdf	06/07/2017 12:05:41	Nádia Cristiane Steinmacher	Aceito
Cronograma	cronograma.docx	06/07/2017 12:02:16	Nádia Cristiane Steinmacher	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETO_2.pdf	06/07/2017 12:01:55	Nádia Cristiane Steinmacher	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_alimentos.docx	06/07/2017 12:00:32	Nádia Cristiane Steinmacher	Aceito
Folha de Rosto	Doc1.pdf	06/07/2017 11:48:23	Nádia Cristiane Steinmacher	Aceito

CURITIBA, 11 de agosto de 2017

**Assinado por:  
Frieda Saicla Barros  
(Coordenador)**

**Endereço:** SETE DE SETEMBRO 3165  
**Bairro:** CENTRO  
**CEP:** 80.230-901  
**Telefone:** (41) 3310-4494

**Município:** CURITIBA  
**UF:** PR  
**E-mail:** coep@utfpr.edu.br