



## **PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE FORMULAÇÃO DE PÃO DE FORMA SEM GLÚTEN**

**ERIK SEIJI YAMAMOTO<sup>1</sup>; ELIZABETH H. NABESHIMA<sup>2</sup>; ÉVELYN K. SASSAKI<sup>3</sup>;  
FLÁVIO MARTINS MONTENEGRO<sup>4</sup>**

**Nº 12216**

### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma formulação de pão sem glúten através da utilização da metodologia de planejamento de experimentos e análise de superfície de resposta. Inicialmente, confeccionaram-se dois delineamentos fatoriais fracionados ( $2^{7-3}$ ) para as combinações de farinha de arroz/amido de milho e farinha de soja/fécula de mandioca, realizando testes de volume específico e *baking test* após o processamento dos pães. Devido aos melhores resultados apresentados, realizou-se a avaliação de tendências para a combinação de farinha de arroz/amido de milho. Foram realizadas análises de firmeza e, novamente, *baking test* e volume específico. Notou-se que a utilização de concentrações elevadas de amido de milho e fermento resultou num pão com características organolépticas mais desejáveis. Provavelmente o alto valor de volume específico se justifica pelo potencial de expansão que o amido de milho proporciona devido ao intumescimento e gelatinização a temperaturas elevadas, juntamente com a formação de gás carbônico oriundas da fase de fermentação. Ademais, dentro dos níveis estudados, a aplicação de fermento abaixo de 3% e altas proporções de farinha de arroz em relação ao amido de milho proporcionaram o aumento na firmeza do pão, sendo uma característica indesejável para os consumidores. Entretanto, nota-se que a aplicação de fermento abaixo de 3% e altas proporções de amido de milho em relação à farinha de arroz proporcionaram uma diminuição da firmeza do pão, resultando num produto mais macio.

---

<sup>1</sup> Bolsista CNPq: Graduação em Eng. de Alimentos, UNICAMP, Campinas-SP, yamamotoerik@gmail.com.

<sup>2</sup> Colaboradora: Pesquisador, Cereal Chocotec/ITAL, Campinas-SP.

<sup>3</sup> Bolsista CNPq: Graduação em Eng. de Alimentos, UNICAMP, Campinas-SP,.

<sup>4</sup> Orientador: Pesquisador, CCH/ITAL, Campinas-SP.



## ABSTRACT

The objective of this study was to develop a formulation of gluten-free bread using the methodology of planning of experiments and response surface analysis. Initially, it was done two fractional factorial designs ( $2^{7-3}$ ) for the combinations of rice flour / corn starch and soy flour / cassava starch, performing tests of specific volume and baking test after the baking. Because the best results, it was carried out the trend evaluation for rice flour / corn starch. Analyzes of firmness were conducted, as well baking test and specific volume. It was noted that the use of high concentrations of corn starch and bread yeast resulted in more desirable organoleptic characteristics. Probably the high specific volume value is justified by the expansion potential that the corn starch gives due to the intumescence and the gelation at high temperatures, along with the formation of carbon dioxide derived from the fermentation phase. Furthermore, within the levels studied, the application of yeast below 3% and high proportions of rice flour with respect to corn starch provided the increase in firmness of the bread, which is an undesirable feature to consumers. However, it was noted that the application of yeast below 3% and high proportions of corn starch with respect to rice flour provided a reduction in firmness, resulting in softer bread.

## INTRODUÇÃO

O glúten é a principal fração proteica da farinha de trigo, constituído de uma rede viscoelástica a qual é responsável pela retenção do gás produzido durante a fermentação de pães. É formado por gliadinas e gluteninas, proteínas insolúveis em água, mas que possuem alta capacidade de absorvê-la (GOMES-RUFFI & MONTENEGRO, 2010). Produtos à base de cereais, especialmente pães, são componentes básicos na dieta de muitos países, fato que revela a existência de uma grande demanda de alimentos livres de glúten (MOORE *et al.*, 2006).

A doença celíaca é uma desordem crônica de intensidade variável caracterizada pelo dano à mucosa intestinal e causada pela ingestão das proteínas do glúten (FASANO & CATASSI, 2001), levando à má absorção de nutrientes importantes, como o ferro, ácido fólico, cálcio e vitaminas lipossolúveis (MIÑARRO, 2010). O consumo de glúten induz a uma resposta inflamatória que pode destruir a estrutura das vilosidades do intestino delgado (SHAN *et al.*, 2002). Os sintomas desta doença variam muito e a única forma de controle é uma dieta livre de glúten ao longo da vida.

Combinações de farinhas de arroz, farinha de mandioca, proteínas do ovo e do leite foram capazes de criar uma matriz bicontínua com amido, similar à estrutura do

glúten (AHLBORN *et al.*, 2005). Ademais, o emprego de gomas xantana, hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e carboximetilcelulose (CMC) na formulação de pães sem glúten resultou em um efeito positivo no volume dos pães sem glúten (GALLAGHER *et al.*, 2004; HAQUE & MORRIS, 1994). Uma possível explicação para tal resultado se deve ao fato que hidrocolóides conseguem melhorar o desenvolvimento da matriz bicontínua similar ao glúten, aumentando a viscosidade (DELCOUR *et al.*, 1991) e a consequente retenção de gás (ROSELL *et al.*, 2001). Além das propriedades de retenção de água encontrados no CMC e HPMC devido à sua natureza hidrofílica, tais compostos também possuem em sua estrutura grupos hidrofóbicos que aumentam a atividade interfacial com a estrutura da massa e formam redes de géis com o aquecimento durante o processo de fabricação do pão. Tais redes são responsáveis pelo aumento da viscosidade e pela fortificação dos limites das células de expansão da massa, aumentando assim a retenção de gás durante o forneamento. (BELL, 1990).

Estudos realizados por Moore *et al.* (2006) relataram que o uso da enzima transglutaminase auxiliou na estabilidade da massa de pão sem glúten devido ao fato da interação da enzima com proteínas, formando-se uma rede proteica. A utilização da proteína derivada do ovo foi a que melhor interagiu com transglutaminase, melhorando volume do pão, características da crosta e aparência visual.

Este estudo se faz necessário tendo em vista a importância científica, econômica e, sobretudo social do desenvolvimento de um produto alimentício que satisfaça a população celíaca.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Materiais utilizados**

#### **Ingredientes**

Farinha de soja, fornecida pela Inam (São Paulo-SP); Farinha de arroz, fornecida pela SL Alimentos (Mauá da Serra-PR); Fécula de mandioca, fornecida pela Cargill (São Paulo-SP); Amido de milho AMILOGILL 2100, fornecida pela Cargill (Uberlândia-SP); Goma xantana, fornecida pela Mastersense (Jundiaí-SP); Gordura vegetal hidrogenada PAN VITALE P500 X, fornecida pela Cargill (Itumbiara-GO); Transglutaminase, fornecida pela Ajinomoto (São Paulo-SP); Caseinato de sódio, fornecido pela Kerry (Campinas-SP); Clara de ovo em pó, fornecida pela Netto Alimentos (Itatiba-SP); Leite em pó desnatado, fornecido pela Alibra (Campinas-SP);

HPMC, fornecido pela Dow Chemicals (São Paulo-SP); CMC, fornecido pela Dow Chemicals (São Paulo-SP).

### **Equipamentos**

Balança de precisão OHAUS ( $\pm 0,01$ ); Batedeira *Kitchen-Aid Heavy Duty*; Câmara de Fermentação Super Freezer *EVOLUTION*; Forno Vipinho 0448 – Perfecta Curitiba; Medidor Volumétrico Vondel Mill; Texturômetro SMS TA-XT2i.

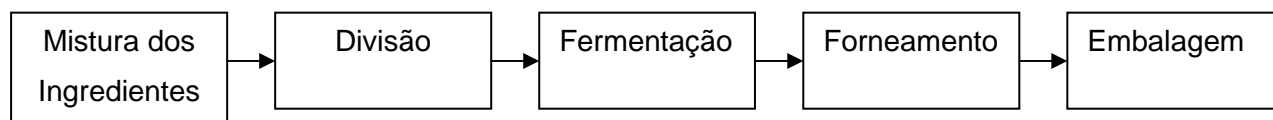
### **Métodos empregados**

#### **Planejamento experimental**

Devido aos vários ingredientes utilizados na composição dos sistemas modelos estudados no CNPQ/PIBIC anterior (2010-11), foi necessário a realização de dois delineamentos fatoriais fracionados, com o principal objetivo de verificar a influência das 7 variáveis (caseinato de sódio, albumina; água, goma xantana, hidróxipropilmetilcelulose – HPMC, carboximetilcelulose – CMC e transglutaminase), nas matrizes farinhas arroz/amido milho e farinha de soja/fécula de mandioca. Após seleção das principais variáveis obtidas dos resultados dos delineamentos fatoriais fracionados, elaborou-se uma avaliação de tendências sobre a combinação de farinhas que obteve melhores resultados de *Baking Test* e Volume Específico dos dois delineamentos fracionados realizados na primeira parte deste estudo.

#### **Processo de Fabricação dos Pães de Forma**

O processo de fabricação empregado na parte experimental foi o método convencional de massa direta adaptado, conforme apresentado na Figura 1, bastante utilizado pelas indústrias brasileiras, e que seguirá as etapas de processo apresentadas na sequência.



**Figura 1.** Fluxograma de processo de fabricação de pão de forma pelo método direto adaptado

A Mistura dos Ingredientes foi realizada em masseira (Kitchenaid, modelo K45SS) com duração total de 3 minutos (1 minuto a 90 rpm, 1 minuto para raspagem e 1 minuto a 180 rpm), homogeneizando-se as matérias-primas. Após a mistura, realizou-se a divisão manualmente, separando em porções de 450g em fôrma própria



para pães. Realizou-se a Fermentação no delineamento composto central rotacional em câmara de fermentação controlada (Super Freezer modelo Evolution) com a duração foi de 20 minutos, em condições de temperatura e umidade relativa variando entre 30-32°C e 80-82%, respectivamente. Para a etapa de Forneamento, o pão foi submetido à temperatura de 190°C por 20 minutos, sendo conduzido em forno elétrico com circulação forçada de ar (Perfecta Curitiba, modelo Vipinho 0448). Depois de resfriados, os pães foram embalados utilizando-se sacos de polietileno e fechados após aspersão de conservador químico à base de ácido sórbico.

### **Volume específico**

O volume específico foi determinado pelo método nº 10-05.01 da AACC (2009) com modificações. Após a pesagem das amostras em balança de precisão, o volume dos pães assados foi medido pelo método de deslocamento de sementes de colza. Nesse método, o volume do produto é calculado subtraindo-se o volume obtido na proveta pelas sementes de cousa contendo os pães, do volume fixo na proveta com as sementes de cousa sem o produto. No método utilizado, a determinação e a leitura do volume deslocado é feita direta no equipamento, que já possui uma proveta graduada embutida. Realizou-se a análise em triplicata. O cálculo do volume específico é realizado utilizando a equação Vesp:  $V/m$ , onde: Vesp é o volume específico ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ); V é o volume do pão ( $\text{cm}^3$ ); m é a massa do pão (g).

### **Análise de Textura Instrumental**

Foi realizada segundo o método n. 74-09.01 da AACC (2009) utilizando texturômetro SMS (modelo TA-XT2i, Godalming/Surrey, UK). Para a análise e obtenção do parâmetro firmeza, utilizou-se o probe SMS P/36R, nas seguintes condições de operação: medida de força em compressão, velocidade de pré-teste: 1,0 mm/s, velocidade de teste: 1,7 mm/s, velocidade de pós-teste: 10,0 mm/s, distância de penetração de 40%. As leituras foram realizadas 1 dia após o processamento, sendo 10 leituras de cada amostra.

### **Baking Test**

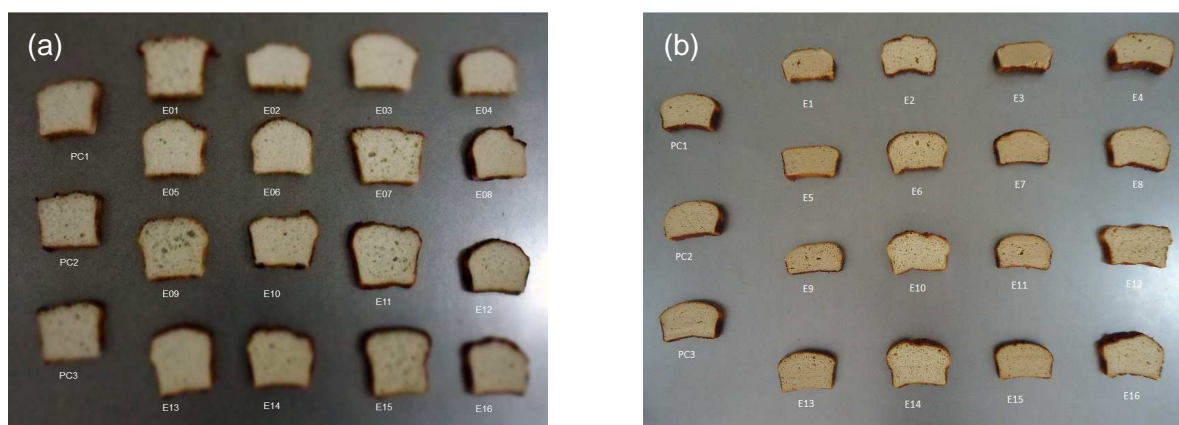
Atribuíram-se notas às características externas de volume específico, cor da crosta, quebra, simetria, em um total de 40 pontos. As características internas da crosta, cor de miolo, célula do miolo e textura do miolo, somam um total de 35 pontos e o aroma e gosto somam outros 25 pontos, fazendo com que a nota máxima seja de

100 pontos para a avaliação das características organolépticas dos pães assados. Realizou-se a análise com 2 avaliadores para o delineamento fatorial fracionado e 3 avaliadores para a avaliação de tendências.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Delineamentos fatoriais fracionados para as matrizes farinha de arroz/amido de milho e farinha de soja/fécula de mandioca

Os resultados obtidos de Volume Específico e *Baking Test* dos delineamentos fracionados para a combinação farinha de arroz/amido de milho apresentaram-se mais significativos que os apresentados pela matriz farinha de soja/fécula de mandioca e por este motivo optou-se em realizar a continuidade do projeto com a matriz farinha de arroz/amido de milho. A Figura 2 mostra os pães obtidos dos dois delineamentos fracionados.



**Figura 2.** Pães obtidos dos dois delineamentos fatoriais fracionados. (a) matriz farinha de arroz/amido de milho; (b) matriz farinha de soja/fécula de mandioca

Comparando-se os resultados obtidos, nota-se que a combinação arroz-milho foi superior em relação à mandioca-soja em diversos ensaios. A interação dos ingredientes utilizados com a farinha de soja e fécula de mandioca não foi eficaz, resultando em pães de pequeno volume, rígidos e compactos. Em contrapartida, a farinha de arroz e o amido de milho adaptaram-se com os outros ingredientes. Dessa maneira, optou-se pela escolha da combinação arroz-milho para se realizar a avaliação de tendências, representado na Tabela 1, Tabela 2 e Figura 3:



**6º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica - CIIC 2012**  
**13 a 15 de agosto de 2012– Jaguariúna, SP**

**Tabela 1.** Variáveis estudadas na avaliação de tendências para a matriz amido milho/farinha de arroz.

<b>Ingredientes</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>	<b>E5</b>	<b>E6</b>	<b>E7</b>	<b>E8</b>	<b>E9</b>	<b>E10</b>	<b>E11</b>	<b>E12</b>	<b>E13</b>	<b>E14</b>	<b>E15</b>
<b>Amido de Milho</b>	[35,00]	[35,00]	[73,50]	[73,50]	[35,00]	[35,00]	[73,50]	[73,50]	[50,00]	[50,00]	[20,00]	[80,00]	[50,00]	[50,00]	[50,00]
<b>Farinha de Arroz</b>	[65,00]	[65,00]	[26,50]	[26,50]	[65,00]	[65,00]	[26,50]	[26,50]	[50,00]	[50,00]	[80,00]	[20,00]	[50,00]	[50,00]	[50,00]
<b>Água</b>	104,05	115,00	104,50	115,00	104,50	115,00	104,50	115,00	100,00	150,00	125,00	125,00	125,00	125,00	125,00
<b>Fermento</b>	3,00	3,00	3,00	4,49	4,49	4,49	4,49	4,49	3,75	3,75	3,75	3,75	2,50	5,00	3,75
<b>Albumina</b>	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
<b>Transglutaminase</b>	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
<b>Açúcar</b>	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50
<b>Sal</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>HPMC</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>CMC</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>Óleo</b>	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00

Todos os ingredientes foram expressos em porcentagem tendo como base a soma do amido de milho/farinha de arroz.



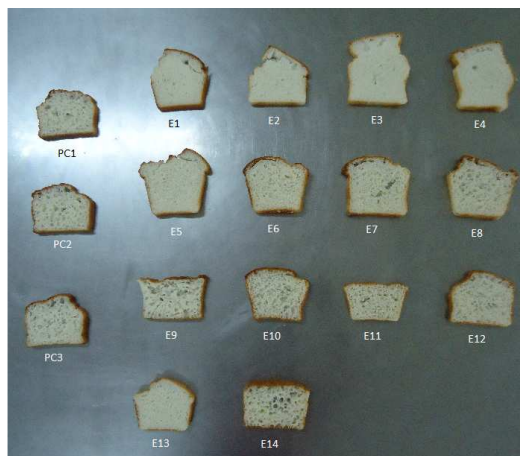
Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos de volume específico, *baking test* e firmeza dos pães gerados a partir da avaliação de tendências. O alto valor de desvio padrão da análise de firmeza justifica-se pela heterogeneidade das amostras devido à presença de orifícios de diâmetro variável no miolo dos pães. Tais orifícios são produtos da fermentação, ou seja, produto do aprisionamento e/ou liberação heterogênea de gás carbônico originada na fase de fermentação.

**Tabela 2.** Avaliação de tendências da combinação farinha de arroz/ amido de milho

Ensaio	V.E ± D. Padrão <sup>1</sup> (cm <sup>3</sup> /g)	Baking.Test	Firmeza ± D.Padrão <sup>2</sup> (gf)
1	3,62 ± 0,04 <sup>c,d,e,f</sup>	54,09 ± 4,26 <sup>a</sup>	567,26 ± 27,26 <sup>b</sup>
2	3,67 ± 0,14 <sup>c,d,e</sup>	51,45 ± 3,15 <sup>a</sup>	661,13 ± 49,51 <sup>a</sup>
3	4,84 ± 0,34 <sup>a</sup>	55,42 ± 3,06 <sup>a</sup>	341,89 ± 33,88 <sup>e,f</sup>
4	4,57 ± 0,31 <sup>a</sup>	46,98 ± 11,68 <sup>a</sup>	282,00 ± 25,87 <sup>g,h</sup>
5	4,30 ± 0,09 <sup>a,b</sup>	53,32 ± 4,26 <sup>a</sup>	258,18 ± 16,92 <sup>g,h</sup>
6	4,52 ± 0,16 <sup>a,b</sup>	52,32 ± 4,09 <sup>a</sup>	293,15 ± 27,67 <sup>f,g</sup>
7	4,48 ± 0,15 <sup>a,b</sup>	44,46 ± 4,42 <sup>a</sup>	304,03 ± 26,70 <sup>f,g</sup>
8	4,48 ± 0,26 <sup>a,b</sup>	47,39 ± 4,03 <sup>a</sup>	237,59 ± 35,29 <sup>h</sup>
9	3,45 ± 0,08 <sup>c,d,e,f</sup>	39,92 ± 3,36 <sup>a</sup>	430,62 ± 42,05 <sup>c,d</sup>
10	4,01 ± 0,09 <sup>b,c</sup>	39,85 ± 4,14 <sup>a</sup>	352,66 ± 34,84 <sup>e</sup>
11	2,80 ± 0,06 <sup>g</sup>	38,99 ± 3,92 <sup>a</sup>	467,76 ± 41,78 <sup>c</sup>
12	3,91 ± 0,12 <sup>b,c,d</sup>	40,32 ± 6,42 <sup>a</sup>	406,34 ± 34,40 <sup>c,d</sup>
13	3,00 ± 0,06 <sup>f,g</sup>	49,79 ± 4,99 <sup>a</sup>	614,11 ± 54,91 <sup>a</sup>
14	3,30 ± 0,12 <sup>c,d,e,f</sup>	42,82 ± 7,41 <sup>a</sup>	406,19 ± 35,60 <sup>c,d</sup>
15	3,27 ± 0,09 <sup>e,f,g</sup>	40,39 ± 8,69 <sup>a</sup>	369,94 ± 30,68 <sup>d,e</sup>

<sup>1</sup>Resultados apresentados em triplicata; <sup>2</sup>média de 10 repetições

Na Figura 3 são apresentados os pães produzidos a partir das formulações apresentadas na Tabela 1.



**Figura 3.** Pães após processamento – avaliação de tendências - farinha de arroz/amido de milho.



Observa-se na Tabela 2 que as amostras dos ensaios 3 a 8 obtiveram os maiores valores de volume específico e não diferiram significativamente ( $p < 0,05$ ). Provavelmente o volume obtido se justifica pelo potencial de expansão que o amido de milho proporciona devido ao intumescimento e gelatinização a temperaturas elevadas, juntamente com a influência de altas concentrações de fermento.

É possível notar que para a análise de baking test as amostras estudadas não diferiram significativamente ao nível de 5% de significância. Notou-se que os melhores valores para análise de firmeza pertencem aos ensaios 4, 5 e 8, não diferindo estatisticamente ao nível de 5% de significância. Novamente, é possível verificar a ação de altas concentrações de amido de milho e fermento resultou num produto com maior maciez, sendo a amostra do ensaio 8 aproximadamente 2,78 vezes mais macio que a amostra do ensaio 2, este último sendo o pão que se apresentou mais rígido.

## CONCLUSÃO

A partir da avaliação de tendências, nota-se que a utilização de concentrações elevadas de amido de milho e fermento resultou num pão com características organolépticas mais desejáveis. Provavelmente o alto valor de volume se justifica pelo potencial de expansão que o amido de milho proporciona devido ao intumescimento e gelatinização a temperaturas elevadas, juntamente com a formação de gás carbônico oriundas da fase de fermentação, além de ingredientes que ajudam a formar uma matriz viscoelástica mais estável. A ação conjunta desses dois elementos também resultou em um produto final de maior maciez, ressaltando que quanto menor forem os valores da análise de firmeza, mais macio é a amostra.

Dentro dos níveis estudados, a aplicação de fermento abaixo de 3% e altas proporções de farinha de arroz em relação ao amido de milho proporcionaram o aumento na firmeza do pão, sendo uma característica indesejável para os consumidores. Entretanto, nota-se que a aplicação de fermento abaixo de 3% e altas proporções de amido de milho em relação à farinha de arroz proporcionaram uma diminuição da firmeza do pão, resultando num produto mais macio.

Os resultados gerados a partir deste trabalho poderão beneficiar o setor de alimentos sem glúten, pois há uma forte demanda por produtos de boa qualidade para este segmento, além do benefício à sociedade.



## AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ – PIBIC, pela bolsa concedida.

Ao CEREAL CHOCOTEC – ITAL, pela oportunidade de estágio.

## REFERÊNCIAS

AHLBORN, G. J.; PIKE, O. A. ; HENDRIX, S. B. ; HESS, W. M. ; HUBER, C. S. Sensory, Mechanical, and Microscopic Evaluation of Staling in Low-Protein and Gluten-Free Breads. **Cereal Chemistry**, n.3, v.82, p.328–335, 2005.

BELL, D. A. (1990). Methylcellulose as a structure enhancer in bread baking. **Cereal Food World**, 35, 1001–1006.

DELCOUR, J. A., VANHAMEL, S., & HOSENEY, R. C. (1991). Physicochemical and functional properties of rye nonstarch polysaccharides. II. Impact of a fraction containing water-soluble pentosans and proteins on gluten–starch loaf volumes. **Cereal Chemistry**, 68, 72–76.

FASANO, A., CATASSI, C. Current approaches to diagnosis and treatment of celiac disease: an evolving spectrum. **Gastroenterology**, p. 636,651. 2001.

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

GOMES-RUFFI, C.R.; MONTENEGRO, F. M. Avaliação da Qualidade Tecnológica da Farinha de Trigo. **Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 2010. 72p.

HAQUE, A., & MORRIS, E. R. (1994). Combined use of ispaghula and HPMC to replace or augment gluten in breadmaking. **Food Research International**, 27, 379–393.

MIÑARRO,B.; NORMAHOMED, I.; GUAMIS, B.; CAPELLAS, M. Influence of unicellular protein on gluten-free bread characteristics. **Eur Food Res Technol**. 231:171–179 .2010

MOORE, M. M.; HEINBOCKEL, M.; DOCKERY, P.;ULMER, H. M.; ARENDT, E. Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase. **Cereal Chemistry**, n. 1, vol. 83, p. 28-36, 2006

ROSELL, C. M., ROJAS, J. A., & BENEDITO de BARBER, C. (2001). Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. **Food Hydrocolloids**,15, 75–81.

SHAN, L., MOLBERG, O., PARROT, I., HAUSCH, F., FILIZ, F., GRAY, G. M., SOLLID, L. M., AND KHOSLA, C. Structural basis for gluten intolerance in celiac sprue. **Science** 297:2275-2279.2002.