

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

SUZANE MARTINS FERREIRA

**MODIFICAÇÃO ENZIMÁTICA DA FARINHA DE GRÃOS  
QUEBRADOS DE ARROZ PARA PRODUÇÃO DE  
ALIMENTO SEM GLÚTEN**

GOIÂNIA  
2012

SUZANE MARTINS FERREIRA

**MODIFICAÇÃO ENZIMÁTICA DA FARINHA DE GRÃOS  
QUEBRADOS DE ARROZ PARA PRODUÇÃO DE  
ALIMENTO SEM GLÚTEN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás, como exigência para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

**Orientador:** Prof. Dr. Márcio Caliari

**Co-Orientadores:** Prof. Dr. Manoel Soares Soares Júnior e Prof<sup>a</sup> Dra. Adelaide Del Pino Beleia

GOIÂNIA  
2012



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

SUZANE MARTINS FERREIRA

**MODIFICAÇÃO ENZIMÁTICA DA FARINHA DE  
GRÃOS QUEBRADOS DE ARROZ PARA  
PRODUÇÃO DE ALIMENTO SEM GLÚTEN.**

Dissertação DEFENDIDA e APROVADA em 09 de março de 2012, pela  
Banca Examinadora constituída pelos membros:

---

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Harumi Nabeshima  
Membro – ITAL

---

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Rosângela Vera  
Membro – EA/UFG

---

Prof. Dr. Márcio Caliari  
Orientador – EA/UFG

## **EPIGRAFE**

*“Acredita no melhor... tem um objetivo para o melhor, nunca fiques satisfeito com menos que o teu melhor, dá o teu melhor, e no longo prazo as coisas correrão pelo melhor”*

*Henry Ford*

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais Elson e Suzanita, minha irmã Patrícia e minhas avós Maria Amélia e Amélia, por serem minhas fontes de inspiração, pelo apoio e amor incondicional em todos os momentos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, Pai amigo, pela força e intuição que me proporcionou neste período de aprendizagem e a certeza de que tudo daria certo. Por ter me concedido a oportunidade de aprender não somente conhecimentos na parte acadêmica, mas principalmente, lições para toda vida.

À minha família, meus amores, que participaram e estão SEMPRE presentes em todos os momentos da minha vida. Aos meus pais queridos Elson e Suzanita, pela confiança que depositam em mim, pelas palavras de carinho, abraços de conforto, por serem meus alicerces, não permitindo que eu desanime com as dificuldades da jornada. À minha irmãzinha querida Patrícia, pelo incentivo e companheirismo, sempre ao meu lado contribuindo para o meu progresso. E a toda minha família, tios, avós, primos que sempre rezaram por mim e participaram das minhas conquistas. Amo todos vocês!

Aos professores do Programa de Pós- Graduação de Ciência e Tecnologia de Alimentos pelos ensinamentos, conselhos e ajuda incondicional.

À Dr.(a) Kátia Flávia Fernandes pela receptividade em seu laboratório, pelos ensinamentos e auxílio nas análises enzimáticas, mostrando sempre disposta a ajudar.

A todos do laboratório de Química de Proteínas LQP/ICB, pela receptividade, em especial Karla Batista pela ajuda nas análises.

Aos professores da UEL Dr.(a) Adelaide Beléia , Dr. Fábio Yamashita e Dr.(a) Marta Toledo pela recepção maravilhosa em Londrina, sempre dispostos a contribuir com o trabalho e também preocupados com o bem-estar. Muito obrigada pelo carinho e pelos ensinamentos.

Ao professor Dr. Manoel Soares Soares Júnior pela co-orientação, pela disponibilidade de auxiliar na parte estatística do trabalho e pelos ensinamentos e carinho.

Aos técnicos de laboratório da UFG Deivis e Ana Paula pela colaboração e atenção.

Aos técnicos de laboratório da UEL Neusinha e Sr. Nelson, pelas palavras de carinho e ajuda nos experimentos, sempre muito prestativos e com uma alegria contagiante.

Aos colegas de mestrado por compartilharem as experiências, pela ajuda nos trabalhos e pela diversão. Às amigas Célia e Gardênia pela companhia em Londrina, não somente nos laboratórios, pela amizade e companheirismo, dividindo as dificuldades e alegrias, com certeza, momentos inesquecíveis. Às amigas Camila, Luciana e Fernanda pelos conselhos e pela amizade. Obrigada pela força.

Aos amigos do mestrado em especial Jean, Gil, Fred, Vit, Dayana, Talita pela amizade construída e pelo apoio em todos os momentos.

Aos amigos da UEL, Luly, Ju, Ana Paula, Carolina, Mariana, Karine, Thiago(s) pelos auxílios nas análises, momentos divertidos no laboratório, festinhas surpresa....enfim por todo carinho.

Em especial pelas irmãzinhas que ganhei Carol Marcucci e Mariana Curi, que estavam sempre ao meu lado, laboratório e pós laboratório, pelos momentos de alegria, amizade, hospedagem... enfim só tenho a agradecer muito a vocês.

Aos meus queridos amigos Adriana, Andressa, Leidiane e Luiz pelo companheirismo e pela torcida.

Ao meu querido orientador Dr. Márcio Caliari pela orientação, paciência e sabedoria com que conduziu todo esse trabalho. Obrigada pelos ensinamentos acadêmicos, ensinamentos da vida, pela tranquilidade nos momentos difíceis, sempre disposto a ajudar e contribuir. Obrigada pela confiança em mim, serei sempre grata a tudo isso que me ensinou.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudos.

Á todos vocês, muito obrigada!

## RESUMO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um cereal consumido em todo o mundo, sendo a base energética da alimentação humana, constituindo cerca de 23% das calorias diárias totais e cerca de 14% das proteínas. Os grãos quebrados de arroz são subprodutos gerados na indústria processadora de arroz durante o beneficiamento do cereal e tem sido utilizados para produção de amidos modificados, sendo ideal por ser fonte de baixo custo, fácil aquisição e que permite produção industrial. O propósito deste trabalho foi determinar o efeito da hidrólise enzimática da farinha de grãos quebrados de arroz para produção de uma farinha modificada, com  $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase, e das temperaturas de secagem (40, 80, 100, 120 e 140°C), em suas características físicas, químicas e tecnológicas. Também teve como objetivo desenvolver um produto similar à farinha láctea de arroz sem glúten, por meio do delineamento de misturas, utilizando como componentes a farinha de grãos quebrados de arroz modificada enzimaticamente e seca (FMS), leite em pó e açúcar refinado. As análises realizadas nas farinhas de grãos quebrados e nas FMS foram composição centesimal, determinação de açúcares redutores, glicose, coordenadas de cor, solubilidade e absorção em água e leite e análise de microscopia eletrônica de varredura. A hidrólise enzimática na temperatura de 40°C foi mais eficiente utilizando as concentrações de 2UE de  $\alpha$ -amilase /g de farinha no tempo de 2 horas e 3,5UE de amiloglucosidase /g de farinha no tempo de 3 horas de hidrólise. As FMS a 40, 80 e 100°C apresentaram teores de açúcares redutores de 111,37; 108,15 e 116,04 mg/g de farinha e glicose de 83,20; 75,90 e 77,30 mg/g de farinha respectivamente, sendo estes significativamente maiores em relação a farinha de grãos quebrados *in natura* e aos demais tratamentos. As temperaturas de secagem influenciaram na composição centesimal da FMS em diferentes temperaturas, apresentando um aumento no teor de lipídios com o aumento da temperatura de secagem e modificação em sua estrutura. As FMS em 40, 80 e 100°C apresentaram conteúdo de açúcares redutores, glicose, solubilidade em água e em leite significativamente maiores que a farinha de grãos quebrados. As FMS a partir de 100°C apresentaram características de uma farinha resistente a força de cisalhamento, ao aquecimento e estável a temperaturas mais baixas. Também apresentaram uma coloração mais escura, com tonalidades amarelas e levemente vermelhas em relação aos demais tratamentos. O produto similar à farinha láctea de arroz foi selecionado, com a formulação de 10% de açúcar, 31% de leite em pó e 59% de FMS a 100°C, e avaliados quanto à composição centesimal e parâmetros de qualidade. A formulação apresentou aceitação sensorial com *score* de 7,95, boas características de firmeza, características tecnológicas como índice de solubilidade em água e leite, coordenadas de cor e composição nutricional semelhantes às farinhas lácteas comerciais.

**Palavras-chave:** *Oryza sativa* L., hidrólise enzimática, amilases, secagem, alimento sem glúten.



## ABSTRACT

The rice (*Oryza sativa* L.) is a cereal consumed worldwide, and the energy base of food, constituting about 23% of total daily calories and about 14% of the protein. The grains are broken rice by-products generated in the processing industry for the processing of rice and cereals have been used for the production of modified starch to be ideal source of low cost, easily obtainable and allows industrial production. The purpose of this study was to determine the enzymatic hydrolysis of grain flour broken rice flour to produce a modified with  $\alpha$ -amylase and amyloglucosidase, and drying temperatures (40, 80, 100, 120 and 140 ° C) in its physical, chemical and technological. It also aimed to develop a product similar to flour gluten-free rice milk, by means of mixture design, using flour as components of broken grains of rice and dried enzymatically modified (FDM), milk powder and sugar. The analyzes in FDM were broken and composition, determination of reducing sugars, glucose, color coordinates, solubility and absorption in water and milk analysis and scanning electron microscopy. The enzymatic hydrolysis at 40 ° C was more efficient using 2U of  $\alpha$ -amylase / g flour in time of 2 hours and 3U of amyloglucosidase / g of flour in the time of three hours of hydrolysis. The FDM at 40, 80 and 100 ° C showed a reducing sugar of 111.37, 108.15 and 116.04 mg / g of flour and glucose 83.20, 75.90 and 77.30 mg / g flour respectively, which are significantly higher than the grain flour fresh broken and the other drying temperatures treatments. As influence the composition of the FDM at different temperatures, an increase in lipid content with increasing drying temperature and changes in its structure. The FDM 40, 80 and 100 ° C had a content of reducing sugars, glucose, solubility in water and in milk significantly larger than the grain flour broken. The FDM from 100 ° C exhibited characteristics of a flour resistant to shear force, and stable to heating at lower temperatures. They also had a darker color with yellow tones and slightly red in the other treatments. The product similar to the rice flour milk was selected with the formulation 10% sugar, 31% milk powder and 59% of the FDM 100 ° C, and evaluated for composition and quality parameters. The formulation presented with sensory acceptance score of 7.95, good strength characteristics, technological characteristics as an index of solubility in water and milk, color coordinates and nutritional composition similar to milk commercial flour.

**Key words:** *Oryza sativa* L., enzymatic hydrolysis, amylases, drying, gluten-free food

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Tipos de modificações de amido, objetivos principais e os processos utilizados.....	29
<b>Tabela 2</b>	Alíquotas para preparação do branco, solução padrão e amostra para determinação do teor de glicose nas amostras.....	46
<b>Tabela 3</b>	Condições de temperatura para secagem e umidade final das farinhas modificadas enzimaticamente.....	47
<b>Tabela 4</b>	Concentrações máximas e mínimas estabelecidas da farinha modificada enzimaticamente e seca de arroz (FMS), leite em pó integral (LP) e açúcar refinado (AC) para elaboração das misturas das farinhas lácteas experimentais (FLE).....	55
<b>Tabela 5</b>	Planejamento experimental de misturas com os teores da farinha modificada seca (FMS), leite em pó (LP) e açúcar refinado (AC), representados por valores reais e pseudocomponentes.....	55
<b>Tabela 1.1</b>	Atividade das enzimas $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase.....	75
<b>Tabela 1.2</b>	Resultados do conteúdo de açúcares redutores produzidos com $\alpha$ -amilase em 3 diferentes concentrações a 40°C, durante 4 horas de hidrólise.....	77
<b>Tabela 1.3</b>	Porcentagem de grau de hidrólise com $\alpha$ -amilase em 3 diferentes concentrações a 40°C, durante 4 horas de hidrólise.....	78
<b>Tabela 1.4</b>	Resultados de glicose produzidos com a enzima amiloglucosidase em 3 diferentes concentrações a temperatura 40°C durante 5 horas de hidrólise.....	79
<b>Tabela 1.5</b>	Porcentagem de hidrólise (%) para produção de glicose durante 5 horas com enzima amiloglucosidase em 3 diferentes concentrações, a 40°C.....	80
<b>Tabela 1.6</b>	Composição centesimal da farinha de grãos quebrados de arroz <i>in natura</i> e da farinha modificada com enzima $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase e seca a 40°C e de cultivares de farinhas de arroz encontrados por diversos autores na literatura.....	82
<b>Tabela 1.7</b>	Conteúdo de açúcares redutores e glicose das farinhas de grãos quebrados de arroz e modificada com as enzimas $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase a 40°C.....	83
<b>Tabela 1.8</b>	Índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA), índice de solubilidade em leite (ISL), índice de absorção em leite (IAL) das farinhas de grãos quebrados de arroz <i>in natura</i> e modificadas com enzima $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase a 40°C e resultados encontrados em farinhas de arroz por diferentes autores.....	84
<b>Tabela 1.9</b>	Coordenadas de cor (L*, a* e b*) das farinhas de grãos quebrados de arroz e modificadas com as enzimas $\alpha$ -amilase amiloglucosidase e seca a 40°C e resultados encontrados estudos com farinha de arroz por diversos autores.....	86
<b>Tabela 2.1</b>	Condições de secagem utilizadas nas farinhas modificadas enzimaticamente.....	98
<b>Tabela 2.2</b>	Condições de secagem das farinhas modificadas enzimaticamente nas temperaturas 40, 80, 100, 120 e 140 °C, seguidos dos resultados do	

	tempo de secagem e umidade final nos diferentes tratamentos.....	102
<b>Tabela 2.3</b>	Composição centesimal da farinha de grãos quebrados de arroz <i>in natura</i> e das farinhas modificadas com as enzimas $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase, secas nas temperaturas de 40, 80, 100, 120 e 140°C.....	104
<b>Tabela 2.4</b>	Índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção em água (IAA), índice de solubilidade em leite (ISL), índice de absorção em leite (IAL) das farinhas de grãos quebrados de arroz <i>in natura</i> e modificadas enzimaticamente e secas nas temperaturas de 40, 80, 100, 120 e 140°C.....	108
<b>Tabela 2.5</b>	Propriedades viscoamilográficas das farinhas de grãos quebrados de arroz <i>in natura</i> e das farinhas modificadas enzimaticamente e secas nas temperaturas de 40, 80, 100, 120 e 140°C.....	111
<b>Tabela 2.6</b>	Coordenadas de cor ( $L^*$ , $a^*$ e $b^*$ ) das farinhas de grãos quebrados de arroz <i>in natura</i> e das farinhas modificadas e secas nas temperaturas de 40, 80, 100, 120 e 140°C.....	115
<b>Tabela 3.1</b>	Concentrações máximas e mínimas estabelecidas da farinha modificada enzimaticamente e seca de arroz (FMS), leite em pó integral (LP) e açúcar refinado (AC) para elaboração das misturas das farinhas lácteas experimentais (FLE).....	130
<b>Tabela 3.2</b>	Planejamento experimental de misturas com os teores da farinha modificada enzimaticamente e seca (FMS), leite em pó (LP) e açúcar refinado (AC), representados por valores reais e pseudocomponentes.....	131
<b>Tabela 3.3</b>	Modelos de regressão múltipla, nível de significância (P), falta de ajuste (FA) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para índice de solubilidade em água (ISA), índice de solubilidade em leite (ISL) e firmeza do produto similar à farinha láctea experimental (FLE) em função dos níveis codificados de açúcar ( $x_1$ ), leite em pó ( $x_2$ ) e farinha modificada ( $x_3$ ).....	137
<b>Tabela 3.4</b>	Modelo de regressão múltipla, nível de significância (P), falta de ajuste (FA) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para as coordenadas de cor $L^*$ , $a^*$ e $b^*$ das misturas do produto similar à farinha láctea experimental (FLE) em função dos níveis de açúcar ( $x_1$ ), leite em pó ( $x_2$ ) e farinha modificada enzimaticamente e seca (FMS) ( $x_3$ ).....	141
<b>Tabela 3.5</b>	Resultados das análises microbiológicas realizadas na farinha modificada enzimaticamente e seca na temperatura de 100°C.....	145
<b>Tabela 3.6</b>	Índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção em água (IAA), índice de solubilidade em leite (ISL), índice de absorção em leite (IAL) da farinha láctea de arroz desejada (FLD) comparados com três marcas comerciais de farinhas lácteas.....	148
<b>Tabela 3.7</b>	Coordenadas de cor ( $L^*$ , $a^*$ e $b^*$ ) do produto similar à farinha láctea de arroz selecionado (FLD) comparado com três marcas comerciais de farinhas lácteas.....	150
<b>Tabela 3.8</b>	Resultados da análise de firmeza do mingau do produto similar à farinha láctea de arroz sem glúten desejado (MFLD) e de três marcas comerciais de farinhas lácteas.....	150

<b>Tabela 3.9</b>	Composição centesimal e valor energético do produto similar à farinha láctea de arroz desejada (FLD) e de mingau estudado por Augusto-Ruiz et al. (2003).....	152
-------------------	---	-----

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1</b>	Cálculo da porcentagem de hidrólise.....	47, 73, 98, 130
<b>Equação 2</b>	Índice de absorção em água .....	50, 74, 99, 133
<b>Equação 3</b>	Índice de solubilidade em água .....	50, 74, 100, 133
<b>Equação 4</b>	Índice de absorção em leite.....	51, 74, 100, 133
<b>Equação 5</b>	Índice de solubilidade em leite .....	51, 74, 100, 133
<b>Equação 6</b>	Cálculo dos pseudocomponentes.....	56
<b>Equação 7</b>	Pseudocomponentes do açúcar.....	56, 131
<b>Equação 8</b>	Pseudocomponentes do leite em pó.....	56, 131
<b>Equação 9</b>	Pseudocomponentes da farinha modificada enzimaticamente e seca.....	56, 131
<b>Equação 10</b>	Equação linear modelo <i>Scheffé</i> .....	57
<b>Equação 11</b>	Equação modelo <i>Scheffé</i> com as interações.....	57

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Estrutura do grão de arroz.....	23
<b>Figura 2</b>	Beneficiamento do arroz em casca com as proporções aproximadas de seus produtos e subprodutos.....	25
<b>Figura 3</b>	Estrutura da amilose.....	27
<b>Figura 4</b>	Estrutura da amilopectina.....	27
<b>Figura 5</b>	Aplicações de amido em diversos segmentos.....	31
<b>Figura 6</b>	Modificação enzimática do amido pela ação da $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase.....	33
<b>Figura 7</b>	Protocolo experimental.....	42
<b>Figura 8</b>	Hidrólise enzimática com $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase da farinha de grãos quebrados de arroz em banho-maria sob agitação horizontal em temperatura de 40°C.....	47
<b>Figura 9</b>	Secagem da farinha de grãos quebrados de arroz hidrolisados com $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase em estufa de esterilização.....	48
<b>Figura 10</b>	Representação das coordenadas de cor L*(luminosidade), a* (croma a) e b* (croma b).....	50
<b>Figura 11</b>	Análise de textura “firmeza” do mingau de farinha láctea em texturômetro TA- XT2i.....	53
<b>Figura 1.1</b>	Micrografias das farinhas de grãos quebrados de arroz <i>in natura</i> (A, B e C) e modificada enzimaticamente a 40°C (a, b e c) em microscópio eletrônico de varredura, sob aumentos de 80x, 2000x e 4000x respectivamente.....	88
<b>Figura 2.1</b>	Gráfico da viscosidade (UB) durante análise viscoamilográfica, das amostras das farinhas de arroz modificadas enzimaticamente e secas (FMS) nas temperaturas de 40, 80, 100, 120 e 140°C, em função do tempo (min).....	112
<b>Figura 2.2</b>	Farinha de grãos quebrados de arroz <i>in natura</i> (a), modificadas enzimaticamente nas temperaturas de 40°C (b), 80°C (c), 100°C (d), 120°C (e) e 140°C (f).....	114
<b>Figura 2.3</b>	Micrografias da FGQ (A, B e C) em microscópio eletrônico de varredura sob aumentos de 80x, 2000x e 4000x respectivamente.....	117
<b>Figura 2.4</b>	Micrografias da FMS a 40°C (a, b e c) em microscópio eletrônico de varredura sob aumentos de 80x, 2000x e 4000x respectivamente.....	118
<b>Figura 2.5</b>	Micrografias da FMS a 80°C (d, e, f) em microscópio eletrônico de varredura sob aumentos de 80x, 2000x e 4000x respectivamente.....	118
<b>Figura 2.6</b>	Micrografias da FMS a 100°C (g, h e i) em microscópio eletrônico de varredura sob aumentos de 80x, 2000x e 4000x respectivamente.....	119
<b>Figura 2.7</b>	Micrografias da FMS a 120°C (j, k e l) em microscópio eletrônico de varredura sob aumentos de 80x, 2000x e 4000x respectivamente.....	119
<b>Figura 2.8</b>	Micrografias da FMS a 140°C (m, n e o) em microscópio eletrônico de varredura sob aumentos de 80x, 2000x e 4000x respectivamente.....	119
<b>Figura 3.1</b>	(A) Índice de solubilidade em água (ISA), (B) índice de solubilidade em leite (ISL), (C) firmeza em função das proporções em pseudocomponentes de açúcar, leite em pó e farinha de arroz	

	modificada. Área demarcada entre os pontos experimentais evidencia a área do gráfico possível de ser analisada. Os vértices de cada extremidade da área demarcada representam o valor máximo do pseudocomponente de cada ingrediente da mistura.....	140
<b>Figura 3.2</b>	Luminosidade (A), croma a* (B) e croma b* (C) em função das proporções de açúcar, leite em pó e farinha modificada e seca, em pseudocomponentes. A área demarcada entre os pontos experimentais demonstra a área do gráfico possível de ser analisada.....	142
<b>Figura 3.3</b>	Teste de desejabilidade da FLD utilizando parâmetros de índice de solubilidade em água, índice de solubilidade em leite, “firmeza” e luminosidade (L*).....	146
<b>Figura 3.4</b>	Farinha láctea desejada (FLD) e respectivas marcas A, B e C de farinhas lácteas comerciais.....	149

## LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

<b>AACC</b>	American Association of Cereal Chemists
<b>ABAM</b>	Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca
<b>AC</b>	Açúcar
<b>ADNS</b>	Ácido 3,5- dinitrossalicílico
<b>AOAC</b>	Association of Official Analytical Chemists
<b>APHA</b>	American Public Health Association
<b>b.s.</b>	Base seca
<b>CONAB</b>	Companhia Nacional de Abastecimento
<b>DE</b>	Dextrose equivalente
<b>FA</b>	Falta de ajuste
<b>FDA</b>	Food and Drug Administration
<b>FGQ</b>	Farinha de grãos quebrados de arroz <i>in natura</i>
<b>FLE</b>	Farinha láctea de arroz experimental
<b>FLD</b>	Farinha láctea de arroz desejada
<b>FMS</b>	Farinha de arroz modificada enzimaticamente e seca
<b>G</b>	Gramas
<b>G</b>	Força centrífuga
<b>hs</b>	Horas
<b>IAA</b>	Índice de absorção em água
<b>IAL</b>	Índice de absorção em leite
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>ISA</b>	Índice de solubilidade em água
<b>ISL</b>	Índice de solubilidade em leite
<b>kV</b>	Quilovolt
<b>LP</b>	Leite em pó instantâneo
<b>MAPA</b>	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
<b>MEV</b>	Microscopia Eletrônica de Varredura
<b>MFLE</b>	Mingau do produto similar à farinha láctea experimental
<b>MFLD</b>	Mingau do produto similar à farinha láctea desejado
<b>Min</b>	Minutos
<b>mL</b>	Mililitros
<b>mg</b>	Miligramas
<b>MS</b>	Matéria seca
<b>N</b>	Newton
<b>P</b>	Nível de significância
<b>PEBD</b>	Polietileno de baixa densidade
<b>p/v</b>	Peso por volume
<b>PV</b>	Pico de viscosidade
<b>UB</b>	Unidade de Brabender
<b>UE</b>	Unidade enzimática
<b>UFC</b>	Unidade formadora de colônias
<b>µL</b>	Microlitros



## SUMÁRIO

### PARTE 1

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>22</b>
2.1	ASPECTOS GERAIS DO ARROZ.....	22
<b>2.1.1</b>	<b>Beneficiamento do arroz.....</b>	<b>24</b>
2.2	CARACTERÍSTICAS DO AMIDO.....	26
2.3	AMIDOS MODIFICADOS.....	28
<b>2.3.1</b>	<b>Modificação enzimática.....</b>	<b>30</b>
2.4	SECAGEM DE ALIMENTOS.....	34
2.5	ALIMENTOS ESPECIAIS.....	36
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>39</b>
3.1	OBJETIVOS GERAL.....	39
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	39
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS GERAIS.....</b>	<b>41</b>
4.1	MATERIAL.....	41
<b>4.1.1</b>	<b>Farinha de arroz.....</b>	<b>41</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Enzimas <math>\alpha</math>-amilase e amiloglicosidase.....</b>	<b>41</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Demais matérias primas utilizadas.....</b>	<b>41</b>
4.2	MÉTODOS.....	41
<b>4.2.1</b>	<b>Moagem dos grãos quebrados de arroz.....</b>	<b>45</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Composição centesimal das farinhas de grãos quebrados de arroz, modificada e seca e do produto similar à farinha láctea de arroz, sem glúten.....</b>	<b>45</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Determinação da atividade enzimática.....</b>	<b>45</b>
4.2.3.1	Determinação da atividade enzimática da $\alpha$ -amilase.....	45
4.2.3.2	Determinação da atividade enzimática da amiloglicosidase.....	46
<b>4.2.4</b>	<b>Hidrólise enzimática da farinha de grãos quebrados de arroz.....</b>	<b>47</b>
4.2.4.1	Porcentagem de hidrólise.....	47
<b>4.2.5</b>	<b>Secagem da farinha modificada enzimaticamente.....</b>	<b>29</b>
<b>4.2.6</b>	<b>Análises físicas e tecnológicas das farinhas.....</b>	<b>49</b>
4.2.6.1	Parâmetros instrumentais de cor.....	49
4.2.6.2	Índice de absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA).....	50
4.2.6.3	Índice de absorção em leite (IAL) e índice de solubilidade em leite (ISL).....	51
4.2.6.4	Determinação de açúcares redutores.....	52
4.2.6.5	Características viscoamilográficas.....	52
4.2.6.6	Microscopia eletrônica de varredura.....	53
4.2.6.7	Textura (firmeza) do mingau de farinha láctea de arroz.....	53
<b>4.2.7</b>	<b>Seleção da farinha ideal para a produção do produto similar à farinha láctea de arroz, sem glúten.....</b>	<b>53</b>
<b>4.2.8</b>	<b>Desenvolvimento do produto similar à farinha láctea de arroz sem glúten.....</b>	<b>54</b>

4.2.8.1	Delineamento de misturas.....	54
4.2.8.2	Produção do mingau do produto similar à farinha láctea de arroz sem glúten.....	57
4.2.8.3	Análises físicas, químicas e tecnológicas das misturas do produto similar à farinha láctea de arroz sem glúten.....	57
4.2.8.4	Determinação da mistura com maior desejabilidade para produção da farinha láctea de arroz sem glúten.....	58
<b>4.2.9</b>	<b>Análises microbiológicas.....</b>	<b>59</b>
<b>4.2.10</b>	<b>Análise sensorial.....</b>	<b>59</b>

<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>60</b>
-------------------------	-----------

## **PARTE 2**

<b>5</b>	<b>ARTIGOS.....</b>	<b>67</b>
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA MODIFICADA ENZIMATICAMENTE DE GRÃOS QUEBRADOS DE ARROZ COM $\alpha$ -AMILASE E AMILOGLUCOSIDASE.....	68
<b>5.1.1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>70</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Material e Métodos.....</b>	<b>71</b>
5.1.2.1	Moagem dos grãos quebrados de arroz.....	72
5.1.2.2	Determinação da atividade enzimática das enzimas.....	72
5.1.2.3	Hidrólise enzimática da farinha de grãos quebrados de arroz.....	72
5.1.2.4	Caracterização química, física e tecnológica das farinhas de grãos quebrados de arroz <i>in natura</i> e modificada enzimaticamente.....	73
5.1.2.5	Análises estatísticas.....	74
<b>5.1.3</b>	<b>Resultados e Discussão.....</b>	<b>74</b>
5.1.3.1	Atividade das enzimas $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase.....	74
5.1.3.2	Hidrólise enzimática da farinha de grãos quebrados de arroz.....	75
5.1.3.3	Análises químicas das farinhas de grãos quebrados de arroz <i>in natura</i> e modificada enzimaticamente.....	81
5.1.3.4	Propriedades tecnológicas das farinhas de grãos quebrados de arroz <i>in natura</i> e modificada enzimaticamente.....	84
5.1.3.5	Coordenadas de cor das farinhas de grãos quebrados de arroz e modificada enzimaticamente.....	85
5.1.3.6	Análise de microscopia eletrônica de varredura.....	86
<b>5.1.4</b>	<b>Conclusão.....</b>	<b>89</b>
<b>5.1.5</b>	<b>Agradecimentos.....</b>	<b>89</b>
<b>5.1.6</b>	<b>Referências.....</b>	<b>89</b>
5.2	EFEITO DA TEMPERATURA DE SECAGEM NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS DA FARINHA DE ARROZ MODIFICADA ENZIMATICAMENTE.....	93
<b>5.2.1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>95</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Material e métodos.....</b>	<b>97</b>
5.2.2.1	Moagem dos grãos quebrados de arroz.....	97
5.2.2.2	Hidrólise enzimática da farinha de grãos quebrados de arroz.....	97
5.2.2.3	Secagem das farinhas de grãos quebrados de arroz modificada enzimaticamente.....	98

5.2.2.4	Caracterização química, física e tecnológica das farinhas de grãos quebrados de arroz <i>in natura</i> (FGQ) e modificadas enzimaticamente e secas (FMS) em diferentes temperaturas.....	99
5.2.2.5	Análises estatísticas.....	101
<b>5.2.3</b>	<b>Resultados e Discussão.....</b>	<b>101</b>
5.2.3.1	Hidrólise enzimática da farinha de arroz e análises químicas das farinhas de grão quebrados de arroz <i>in natura</i> e modificadas enzimaticamente e secas em diferentes temperaturas.....	101
5.2.3.2	Propriedades tecnológicas das farinhas de grãos quebrados de arroz <i>in natura</i> e modificadas enzimaticamente e secas em diferentes temperaturas.....	106
5.2.3.3	Propriedades viscoamilográficas das farinhas de grãos quebrados de arroz <i>in natura</i> e modificadas enzimaticamente e secas em diferentes temperaturas.....	109
5.2.3.4	Coordenadas de cor das farinhas de grãos quebrados de arroz e modificadas enzimaticamente e secas em diferentes temperaturas.....	114
5.2.3.5	Análise de microscopia eletrônica de varredura.....	117
<b>5.2.4</b>	<b>Conclusão.....</b>	<b>120</b>
<b>5.2.5</b>	<b>Agradecimentos.....</b>	<b>120</b>
<b>5.2.6</b>	<b>Referências.....</b>	<b>120</b>
5.3	PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS, NUTRICIONAIS E SENSORIAIS DE ALIMENTO SEM GLÚTEN ELABORADO COM FARINHA DE ARROZ MODIFICADA ENZIMATICAMENTE.....	125
<b>5.3.1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>127</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Material e Métodos.....</b>	<b>128</b>
5.3.2.1	Produção da farinha modificada enzimaticamente e seca (FMS) para utilização nas misturas do produto similar à farinha láctea sem glúten.....	129
5.3.2.2	Delineamento de misturas para produção do produto similar à farinha láctea sem glúten experimental.....	130
5.3.2.3	Análises microbiológicas.....	132
5.3.2.4	Preparação do mingau do produto similar à farinha láctea sem glúten (MFLE).....	132
5.3.2.5	Caracterização química, física e tecnológica das misturas do produto similar à farinha láctea experimental (FLE) e das marcas comerciais.....	132
5.3.2.6	Análise sensorial do mingau de farinha láctea sem glúten experimental (MFLE).....	134
5.3.2.7	Análises estatísticas.....	135
<b>5.3.3</b>	<b>Resultados e Discussão.....</b>	<b>135</b>
5.3.3.1	Caracterização física e tecnológica das misturas do produto similar à farinha láctea sem glúten experimental (FLE) .....	135
5.3.3.2	Análises microbiológicas da farinha modificada enzimaticamente e seca.....	144
5.3.3.3	Teste de desejabilidade.....	145
5.3.3.4	Avaliação sensorial do mingau do produto similar à farinha láctea selecionado (MFLD).....	147
5.3.3.5	Propriedades físicas, químicas e tecnológicas do produto similar à farinha láctea de arroz sem glúten experimental (FLD) comparada com as farinhas lácteas comerciais de trigo.....	152

<b>5.3.4</b>	<b>Conclusão.....</b>	<b>153</b>
<b>5.3.5</b>	<b>Agradecimentos.....</b>	<b>152</b>
<b>5.3.6</b>	<b>Referências.....</b>	<b>153</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO GERAL.....</b>	<b>158</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>159</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>164</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O arroz é um alimento básico para cerca de 2,4 bilhões de pessoas, sendo para a metade dessa população a principal fonte de energia da dieta, pois é composto basicamente de carboidratos representados, pela fração amido. Segundo pesquisa realizada no ano de 2011 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE, os brasileiros da Região Centro-Oeste do país são os que mais consomem arroz (consumo médio diário *per capita* de 195,4g) (IBGE, 2011).

Embora seja extremamente tecnificada, a cadeia produtiva do arroz ainda enfrenta vários problemas, em especial no que diz respeito ao grande volume de resíduos gerados pelo seu beneficiamento, que apresentam difícil manejo e/ou baixo valor comercial, sendo que destes, apenas 10% podem ser adicionados ao produto final. Após a distribuição dos grãos quebrados adicionados ao produto final, 4% de grãos são geralmente destinados a indústria cervejeira e para alimentação animal (LIMBERGER et al., 2008; SILVA et al., 2006).

O arroz, por ser basicamente um produto amiláceo (pode chegar até a 90% de amido no produto beneficiado em peso seco), apresenta quantidades menores de proteínas, lipídios, fibras e cinzas. As limitações das pastas e géis obtidos a partir de amidos nativos como de arroz, milho, mandioca tornaram necessário o desenvolvimento de muitos tipos de amidos modificados para aplicações alimentícias (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003; SILVA et al., 2006). A modificação do amido, que envolve a alteração das propriedades físicas e químicas características do amido nativo tem como objetivo melhorar suas propriedades funcionais e tecnológicas, podendo ser usado para adaptar o amido de alimento específico em diversas aplicações como substitutos de gorduras em padarias, produtos lácteos. Também é utilizado como estabilizante em molhos, recheios para tortas e pudins (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003; SINGH; KAUR; MCCARTHYB, 2007).

As principais vantagens na utilização de enzimas para modificação dos amidos, em comparação com as modificações químicas, são de que, as reações enzimáticas são realizadas em condições brandas de temperatura e pH, altamente específicas, reduzindo assim o número de reações colaterais e geração de resíduos durante o processamento. As enzimas fazem parte de uma tecnologia limpa que visa, gradativamente, substituir muitos componentes químicos utilizados nos processos industriais atuais. Isso demonstra a capacidade de minimização de problemas ambientais oferecida pelas enzimas (FELLOWS, 2006; NOVOZYMES, 2011).

As amilases têm tomado lugar de ácidos no processamento industrial de hidrolisados de amido e representam a maior parte do mercado de enzimas no mundo (GUPTA et al., 2003). As  $\alpha$ -amilases são endoenzimas que catalisam as reações de hidrólise das ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 presentes na molécula de amido de forma desordenada, liberando produtos de médio peso molecular. A amiloglicosidase é usada em amidos liquefeitos com  $\alpha$ -amilase para chegar a produtos que serão usados como substratos para fermentações, ou para a obtenção biotecnológica de glicose e dextrinas (FELLOWS, 2006; PANDEY et al., 2005).

Um grande número de mudanças químicas ocorre durante o emprego de temperaturas de secagem juntamente com as mudanças físicas, provocando alterações na qualidade do produto desidratado em termos de valor nutricional, cor, flavor (sabor e aroma) e textura (LABUZA, 1984).

Atualmente diversas pessoas apresentam reações alérgicas a algum componente dos alimentos, o que pode colocar em risco sua saúde, além de reduzir o número de opções no momento da escolha dos alimentos que irão compor sua dieta diária (FIORDA, 2011; MOURA, 2011). A maioria dos produtos de padaria, confeitaria, pastelaria em diversos países tem a farinha de trigo como ingrediente principal, causando limitações aos celíacos quanto à alimentação (CASTILLO; LESCANO; ARMADA, 2009).

Devido às reações alérgicas e limitações que algumas pessoas apresentam, se faz necessário a produção de alimentos especiais pelas indústrias de alimentos para atender a esse grupo de pessoas. O objetivo deste trabalho foi produzir a farinha de grãos quebrados de arroz, modificada enzimaticamente, submetida a tratamentos de secagem para utilização como ingrediente de um novo produto, sem glúten, similar à farinha láctea e avaliar sua viabilidade sob os pontos de vista tecnológico, nutricional e sensorial.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 ASPECTOS GERAIS DO ARROZ

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais importantes do mundo sendo consumido por mais da metade da população mundial. O local geográfico de origem do arroz não é ainda definitivamente conhecido. A domesticação de arroz, em um contexto geral, ocorreu independentemente na China, Índia e Indonésia, dando assim origem aos três grupos de arroz: sinica (conhecido como japonica), indica (longo-fino) e javanica (conhecido como bulu na Indonésia) (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008).

Da Índia, a cultura espalhou-se para o Oriente Médio por volta do século VIII e daí para a Europa nos séculos IX e X. A introdução no Brasil foi feita pelos portugueses no século XVI, nas regiões costeiras da Bahia. Alguns autores apontam o Brasil como o primeiro país a cultivar esse cereal no continente americano. A prática da orizicultura no Brasil, de forma organizada, aconteceu em meados do século XVIII (PEREIRA, 2002).

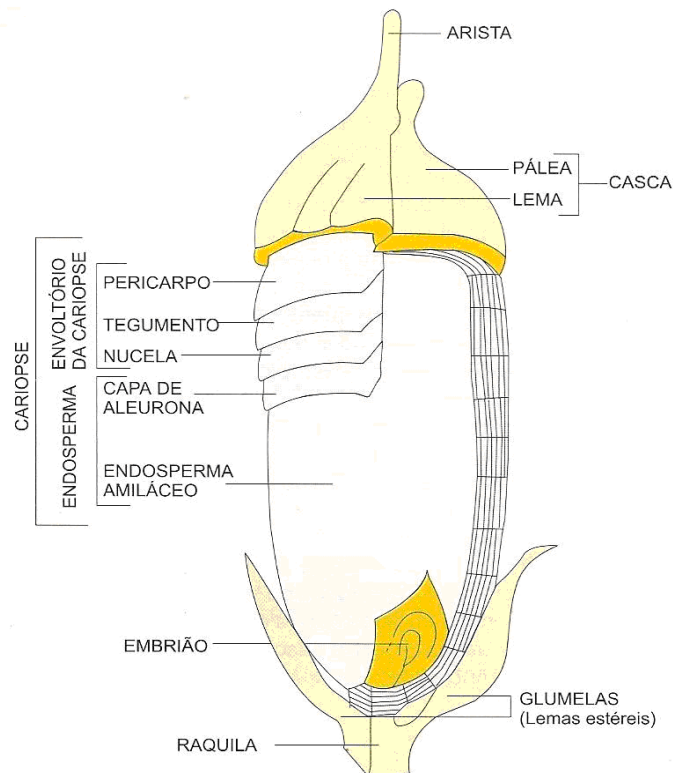
O arroz é fruto das gramíneas, família *Poaceae* e toda essa estrutura encontra-se envolvida pelas glumas, lema e pálea, que constituem a casca, e são removidas durante o beneficiamento do produto para consumo (Figura 1). O arroz é um cereal consumido, principalmente como grão inteiro, constituído de diferentes tecidos, com estrutura, composição e funções bastante diferenciadas (VIEIRA; RABELO, 2006).

A casca fornece uma proteção exterior ao endosperma e constitui em média 20% do peso bruto do arroz, mas os valores podem variar de 16 a 28%. A distribuição do peso do arroz integral é: pericarpo 1 a 2%, acrescido de aleurona 4 a 6%, germe 1% e endosperma 90 a 91%. O endosperma consiste na camada de aleurona que inclui o embrião (STORCK, 2004; WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008).

O Brasil é o principal produtor de arroz da América Latina e a produção nacional de arroz na safra 2011/12, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento- CONAB está estimada em torno de 11.926, 60 mil toneladas, sendo a área cultivada em 2011 de 2.860, 50 mil hectares, 8,9% menor do que a área da safra anterior (CONAB, 2011).

A Região Sul ocupa posição de destaque na cultura, respondendo por 75% da produção nacional. Esta parte da produção é representada pelo estado do Rio Grande do Sul, com estimativa de produção de 7.868,7 mil toneladas para safra 2011/12. Já a região Centro-Oeste possui estimativa de produção de 663,80 mil toneladas de arroz para safra 2011/12,

sendo o estado de Goiás responsável por 19% da produção, com uma redução de 20,8% da safra 2010/11(CONAB, 2011).



**Figura 1.** Estrutura do grão de arroz.  
Fonte: Vieira e Rabelo (2006).

O arroz é um alimento básico para cerca de 2,4 bilhões de pessoas, sendo para a metade dessa população a principal fonte de energia da dieta, uma vez que é composto basicamente de carboidratos, representado pela fração amido. Segundo pesquisa realizada no ano de 2011 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE, os brasileiros da Região Centro-Oeste do país são os que mais consomem arroz (consumo médio diário *per capita* de 195,4g) (IBGE, 2011).

O arroz no Brasil é consumido principalmente na forma de grãos inteiros, descascados e polidos. Os aspectos ligados à qualidade de grãos em arroz são mais amplos e complexos que aqueles considerados em outros cereais. O trigo e o milho, ao contrário, normalmente são transformados em outros produtos antes do consumo. No caso do arroz são também considerados aspectos relacionados à aparência dos grãos antes do cozimento além de aspectos determinantes da qualidade de consumo, como a aparência do produto após cozimento, o odor, a consistência e o sabor (CASTRO et al., 1999).



A proteína presente no arroz é considerada de boa qualidade porque contém oito aminoácidos essenciais ao homem (CASTRO et al., 1999). Além dos aminoácidos protéicos, o arroz também apresenta pequena quantidade de aminoácidos livres, localizados principalmente no gérmen (594,9 mg 100 g<sup>-1</sup>) e no farelo (361,4 mg 100 g<sup>-1</sup>), com pequena concentração no endosperma (52,7 mg 100 g<sup>-1</sup>). O aspartato e o glutamato correspondem a aproximadamente 60% do total dos aminoácidos livres presentes no arroz (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008). O arroz possui também vitaminas do complexo B, como a tiamina, riboflavina e niacina. Na fração lipídica destacam-se o orizanol e os tocotrienóis (KENNEDY et al., 2002; HEINEMANN; BEHRENS ; LANFER-MARQUEZ 2006).

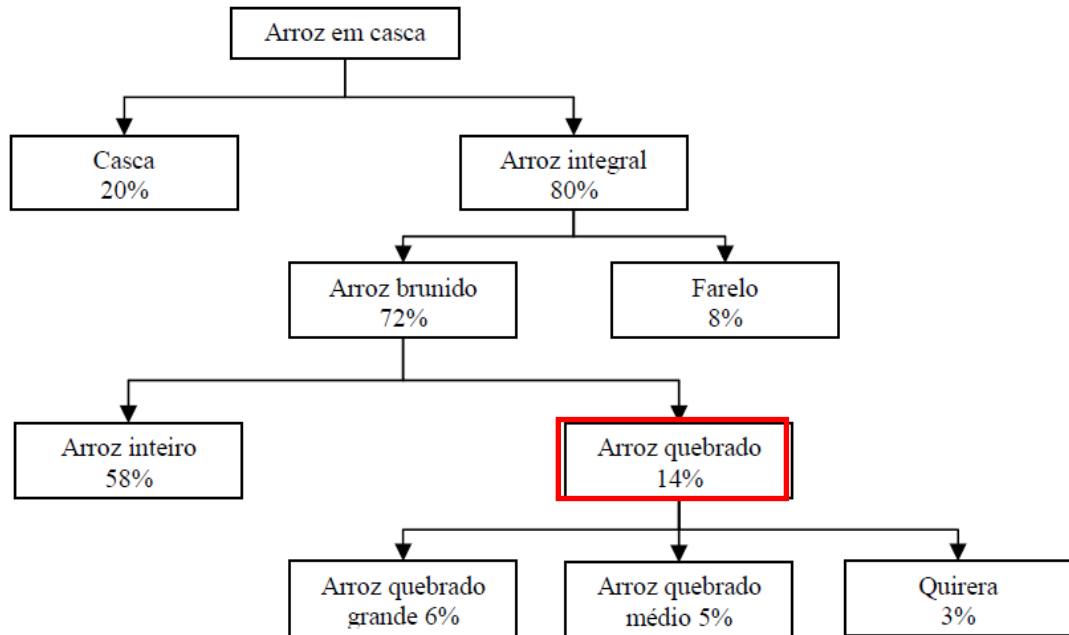
O arroz, por ser basicamente um produto amiláceo, podendo o teor de amido chegar até a 90% no produto beneficiado em peso seco. O amido é constituído por duas formas poliméricas, uma fração é denominada amilose e outra amilopectina. O conteúdo de amilose pode variar entre 7-33% em relação ao conteúdo total de amido nas diferentes cultivares, assim o componente majoritário é formado de amilopectina. Apresenta quantidades menores de proteínas, lipídios, fibras e cinzas em sua composição. (LAJOLO; MENEZES, 2006; STORCK, 2004).

### **2.1.1 Beneficiamento do arroz**

O arroz é classificado em grupos, subgrupos, classes e tipos segundo Portaria nº 269/88 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Conforme a forma de apresentação é classificado em arroz em casca e arroz beneficiado. Dependendo das etapas do beneficiamento submetido, o arroz é ordenado em grupos: integral, parboilizado, parboilizado integral e polido. O arroz beneficiado é distribuído em cinco classes, de acordo com suas dimensões: longo fino, longo, médio, curto e misturado. Ainda na classificação do arroz, são considerados os grãos inteiros, quebrados e a quirera (BRASIL, 2009).

Embora seja extremamente tecnificada, a cadeia produtiva do arroz ainda enfrenta vários problemas, em especial no que diz respeito ao grande volume de resíduos gerados pelo seu beneficiamento, que apresentam difícil manejo e/ou baixo valor comercial (SILVA et al., 2006).

Durante as etapas do processamento do arroz são gerados grãos quebrados (Figura 2). Destes, apenas 10% podem ser adicionados ao produto final. Após a distribuição dos grãos quebrados adicionados ao produto final, 4% de grãos que são usualmente destinados a indústria cervejeira e para alimentação animal (LIMBERGER et al., 2008).



**Figura 2.** Beneficiamento do arroz em casca com as proporções aproximadas de seus produtos e subprodutos.  
Fonte: Castro et al. (1999).

Como a composição dos grãos quebrados é rica em amido, estes resíduos poderiam apresentar enorme potencial industrial para utilização como matéria-prima de baixo custo na obtenção de amido modificado (DORS; CASTIGLIONI; AUGUSTO-RUIZ, 2006).

Este tipo de amido modificado, obtido a partir de modificação física ou química do amido nativo, apresenta características reológicas superiores, em especial no que diz respeito ao poder de inchamento e solubilização dos grânulos, redução da retrogradação e temperatura de gelatinização, claridade da pasta e a viscosidade do gel, bem como, melhor estabilidade a ciclos de congelamento/descongelamento (LIMBERGER et al., 2008).

Apesar do baixo custo, a farinha de grãos quebrados de arroz é pouco produzida por não apresentar propriedades tecnológicas competitivas em relação ao trigo. Entretanto, o arroz apresenta características especiais que devem ser melhores aproveitadas. Por exemplo, não é um alimento alergênico; existem variedades com ampla faixa de teor de amilose, o que permite a seleção de acordo com a finalidade; não é tóxico para portadores de doença celíaca (podendo ser utilizado como substituto do trigo na elaboração de produtos sem glúten) (SILVA; ASCHERI, 2009).

A maior parte da farinha de arroz é destinada às indústria processadoras de alimentos, para a fabricação de alimentos infantis, barras de cereais, chocolates, massas, pães e demais

produtos. Apesar de todos os benefícios socioeconômicos e nutricionais que pode proporcionar, a farinha de arroz está inserida no mercado em quantidades modestas. Poucos são os supermercados que a oferecem ao consumidor. Pesquisadores ressaltam que a possibilidade de substituição parcial da farinha de trigo pela de arroz (30%, por exemplo) proporcionaria uma redução da dependência externa do cereal, pois atualmente o Brasil importa mais de 60% do trigo que consome. Representaria ainda uma alternativa de inovação tecnológica para os produtores de arroz, agregando valor a esse subproduto (GARCIA, 2010).

## 2.2 CARACTERÍSTICAS DO AMIDO

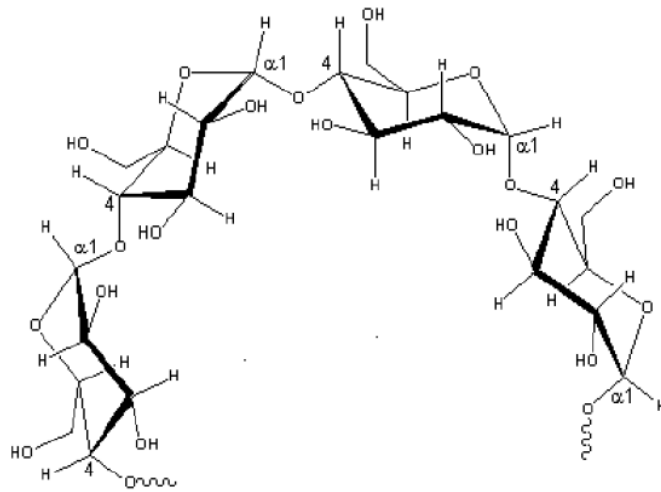
O amido encontra-se amplamente distribuído em diversas espécies vegetais como um carboidrato de reserva, sendo abundante em grãos de cereais (40% a 90% do peso seco), leguminosas (30% a 50% do peso seco), tubérculos (65% a 85% do peso seco) e frutas imaturas ou verdes (40% a 70% do peso seco) (LAJOLO; MENEZES, 2006).

O grão de arroz é constituído de amido. Este polissacarídeo é formado por monômeros de glicose, cujas propriedades são determinadas pelo tipo de ligação entre as moléculas na cadeia. O polímero, quando linear ( $\alpha$ -1,4), compõem a amilose e ramificada ( $\alpha$ - 1,6), a amilopectina.

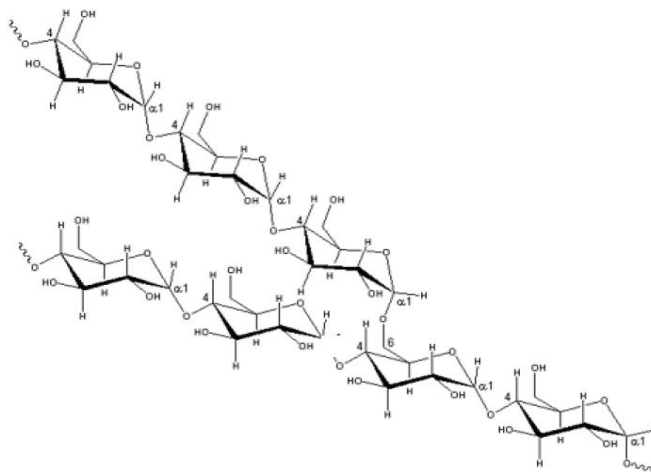
O teor de amilose (Figura 3) está correlacionado com as propriedades texturais, como maciez, coesão, cor, brilho e volume de expansão. Relaciona-se, portanto, com as mudanças que ocorrem durante o processo de cocção e determinam a qualidade culinária (FERREIRA et al., 2005).

A amilopectina (Figura 4) está presente em todos os amidos, constituindo cerca de 75% dos amidos mais comuns. Como a amilose, a amilopectina está formada por  $\alpha$ - D- glucose conectada por ligações  $\alpha$ - 1,4. A amilopectina é muito mais ramificada que a amilose com 4-5% de ligações  $\alpha$ - 1,6. Este nível de ramificação indica que a cadeia unitária da amilopectina tem de longitude, 20-25 unidades de glicose.

A molécula de amilopectina tem três tipos de cadeias: cadeia A, composta por glicose com ligações  $\alpha$ - 1,4; cadeias B, compostas por glicose e ligações  $\alpha$ - 1,4 e  $\alpha$ - 1,6 e cadeias C de glicose com ligações  $\alpha$ - 1,4 e  $\alpha$ - 1,6 e também um grupo redutor (BEMILLER; WHISTLER, 2000; HOSENEY, 1991).



**Figura 3.** Estrutura da amilose  
Fonte: Lajolo e Menezes (2006).



**Figura 4.** Estrutura da amilopectina.  
Fonte: Lajolo e Menezes (2006).

O amido contribui grandemente para propriedades de textura de muitos alimentos e é amplamente utilizada em alimentos e aplicações industriais como agente espessante, estabilizante, gelificante, agente de volume e retenção de água. As propriedades características físico-químicas e funcionais dos sistemas de amido e sua singularidade em vários produtos alimentares variam de acordo com amido de origem biológica. Amidos de diferentes fontes vegetais, como trigo, milho, arroz e batata têm recebido bastante atenção em relação à estrutura e propriedades físico-químicas (SINGH; KAUR; MCCARTHYB, 2007). As limitações das pastas e géis obtidos a partir de amidos nativos tornaram necessário o

desenvolvimento de muitos tipos de amidos modificados para aplicações alimentícias (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003; SILVA et al., 2006).

## 2.3 AMIDOS MODIFICADOS

O amido nativo é um estabilizador de boa textura e regulador em sistemas alimentares, mas as limitações como a baixa decomposição, resistência ao cisalhamento, resistência térmica e da tendência de alta retrogradação limitam a sua utilização em algumas aplicações industriais de alimentos. A modificação do amido, que envolve a alteração das propriedades físicas e químicas características do amido nativo, tem como objetivo melhorar suas características funcionais e tecnológicas, podendo ser usado para adaptar o amido de alimento específico em diversas aplicações como substitutos de gorduras em padarias e produtos lácteos. Também é utilizado como estabilizante em molhos, recheios para tortas e pudins (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003; SINGH; KAUR; MCCARTHYB, 2007).

As modificações podem ser divididas em físicas, químicas, enzimáticas e combinadas (Tabela 1). A gelificação e a posterior eliminação da umidade do amido permitem a obtenção de amidos pré-gelatinizados, solúveis em água e base para confecção de alimentos previamente preparados. Os amidos podem ser ácido-modificados para reduzir a viscosidade e serem utilizados nas indústrias têxteis, de papel e de alimentos. Os modificados oxidados de géis muito claros e de baixa viscosidade a quente são usados em confecções de doces de goma mais claros e mais suaves. Os amidos de ligações cruzadas apresentam alta resistência à ação mecânica e enzimática e são usados na confecção de alimentos com pH 4 ou inferior. Os acetilados apresentam redução na tendência a retrogradação. Os amidos fosfatados são recomendados para alimentos refrigerados ou congelados. Os processos enzimáticos dão origem as dextrinas, maltoses e glicoses (BEMILLER, 1997; COPELAND et al., 2009; SINGH; KAUR; MCCARTHYB, 2007).

Processos enzimáticos dão origem as dextrinas, maltose e glicose, açúcares mais ou menos complexos, com diferentes graus de doçura e aderência. As dextrinas são as bases para fabricação de colas e a maltose e a glicose são versáteis, sendo usadas em alimentos e bebidas, fermentadas ou não

**Tabela 1.** Tipos de modificações de amido, objetivos principais e os processos utilizados.

<b>Modificado</b>	<b>Objetivo principal</b>	<b>Tratamento/Processo</b>
1- Pré-gelatinizado	Dispersão em água fria	<i>Drum-drying</i>
2- Baixa viscosidade	Reduzir viscosidade	e
a. Dextrinas	Varição da estabilidade na viscosidade	Calor seco com ácido
b. Ácido-modificado	Alta tendência de formar gel	Hidrólise ácida (suspensão)
c. Oxidado	Aumentar a estabilidade da viscosidade	Oxidação (suspensão ou pasta)
d. Com enzimas	Baixa viscosidade	$\alpha$ -amilase (pasta)
3- <i>Crosslinked</i>	Modificações das características de cozimento	<i>Crosslinking</i> (suspensão)
4- Estabilizado da viscosidade	Aumentar a estabilidade	Esterificação/Esterificação
5- Combinação de modificações	Combinação com os objetivos 1, 2, 3 e/ou 4	Combinação dos tratamentos 1, 2, 3 ou 4
6- Açúcares	Aumentar a doçura	Ácido e/ou enzimas

Fonte: SWINKELS (1996).

Possuem baixa viscosidade e são usadas em alimentos processados de altas concentrações contendo propriedades formadoras de filmes e adesivos e se utilizam também na elaboração de frutos secos caramelizados e doces. São classificadas de acordo com sua solubilidade em água fria sendo que as dextrinas que retém quantidades elevadas de cadeias lineares ou de grandes fragmentos formam géis fortes (BEMILLER, 2000; SINGH; KAUR; MCCARTHYB, 2007).

De acordo com a Associação Brasileira dos produtores de amidos de mandioca (ABAM), existe uma gama de possibilidades para aplicação de amido (Figura 5), sendo as indústrias alimentícias as maiores consumidoras de amido.

Os amidos modificados apresentaram propriedades tecnológicas de interesse a algumas aplicações na indústria de alimentos tais, como a resistência de suas pastas a ciclos de congelamento e descongelamento e elevada expansão quando utilizados na produção de biscoitos (COPELAND et al., 2009). As fontes de amido mais utilizadas nas modificações

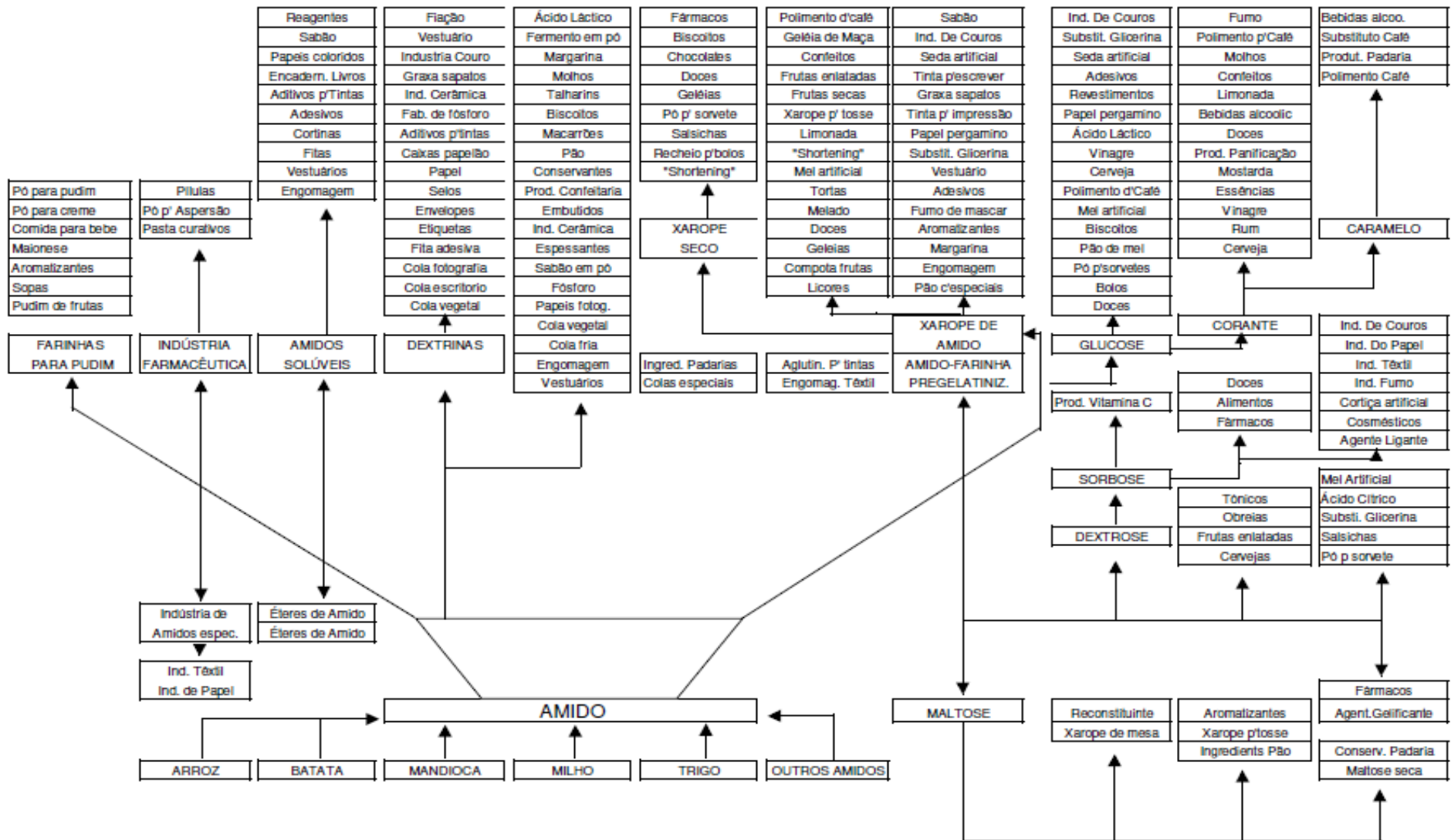
foram, segundo Silva et al. (2006), em ordem decrescente de importância, a mandioca, o milho ceroso e o milho regular.

Os amidos modificados têm sido utilizados como ingredientes em diversos produtos, observando as alterações de suas propriedades de viscosidade aparente, poder redutor, propriedades de expansão para aplicação na indústria de alimentos e sua aceitação por parte do consumidor (SILVA et al., 2006; SHIRAI et al., 2007; MATSUGMA et al., 2009)

A indústria de alimentos consumia menos de 10% dos amidos modificados produzidos no Brasil excluindo o polvilho azedo e outros produtos da hidrólise (maltodextrinas, maltoses e glicoses) em torno de 20000 toneladas. Os amidos modificados mais produzidos na indústria alimentícia são os pré-gelatinizados, os amidos de ligações cruzadas, os ácido-modificados e as dextrinas, produzidas por modificações químicas ou enzimáticas (BEMILLER, 1997; CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003.; MATSUGMA et al., 2009).

### **2.3.1 Modificação enzimática**

As enzimas são os agentes mais importantes nas reações de hidrólise. São compostos de natureza protéica que atuam como catalisadores biológicos em todas as reações metabólicas energeticamente possíveis e aceleram essas reações por ativação específica. As enzimas permitem também alcançar rapidamente o estado de equilíbrio da reação, por diminuir a energia de ativação e aumentar a velocidade. As enzimas não sofrem modificação durante a reação e ao final de cada ciclo voltam a apresentar a mesma atividade (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2009). As principais vantagens na utilização de enzimas, em comparação com as modificações químicas, são de que, as reações enzimáticas são realizadas em condições brandas de temperatura e pH, e são altamente específicas, reduzindo assim o número de reações colaterais e subprodutos (FELLOWS, 2006).



**Figura 5.** Aplicações de amido em diversos segmentos.  
 Fonte: ABAM (2011).



As três principais categorias de hidrolisados para uso alimentício são: a glicose, a maltose e a maltodextrina. Os oligossacarídeos, como as isomaltoses, são novos derivados de hidrolisados que têm conquistando o mercado nos últimos anos. Este mercado é especificamente destinado aos produtos ligados a saúde, como as fibras dietéticas, e para favorecimento de crescimento de bactérias lácticas, como os probióticos (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2009).

As dextrinas são compostos com estrutura química semelhante do amido, porém de menor peso molecular, sendo também mais solúveis e originando soluções menos viscosas. A 200 °C a dextrinização é completa e acima dessa temperatura o amido se decompõe com a formação de caramelos, produtos escuros e amargos (BOBBIO, BOBBIO, 2001; FRANCO, et al., 2001).

Apenas 1% das enzimas já identificadas são produzidas comercialmente. No entanto, os avanços na biotecnologia tiveram um efeito significativo sobre o número e tipo de novas enzimas que estão disponíveis para uso no processamento de alimentos ou produção de ingredientes especializados. O crescimento nos últimos anos foi rápido na utilização de enzimas nas indústrias de alimentos, para reduzir os custos de processamento, para aumentar a produção de extratos de matérias-primas e melhorar a vida de prateleira e características sensoriais de alimentos (FELLOWS, 2006).

As amilases têm tomado lugar de ácidos no processamento industrial de hidrolisados de amido, pois apresentam diferentes aplicações industriais, como em alimentos, detergentes, têxteis e indústria de papéis e representam a maior parte do mercado de enzimas no mundo, sendo que a maior aplicação para a  $\alpha$ -amilase está na produção de amidos hidrolisados (GUPTA et al., 2003; LI et al., 2004).

A  $\alpha$ -amilase (1,4- $\alpha$ -glucan-4-glucanohydrolase, EC 3.2.1.1.) e conhecida como sendo uma enzima que quebra as ligações  $\alpha(1,4)$  dos polissacarídeos que possuem três ou mais unidades de D-glucose em união  $\alpha$ -1,4. O ataque ocorre na forma não seletiva (tipo endoenzima) sobre vários pontos da cadeia simultaneamente, sendo que os primeiros produtos da hidrólise são sempre oligossacarídeos de 5 a 7 unidades de glicose (BRUCHMANN, 1980; DAMODARAN; PARKIN; FENEMMA, 2010).

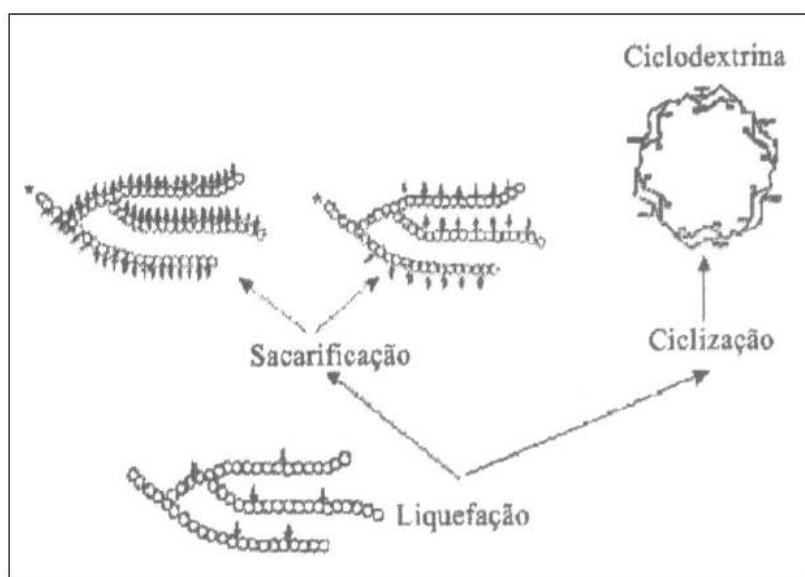
A ação da  $\alpha$ -amilase sobre a amilose se dá em duas etapas. A primeira consiste no ataque aleatório e rápido do substrato, resultando em maltose e maltotriose, enquanto que a segunda, bem mais lenta, permite a formação de glicose e maltose. A hidrólise da amilopectina pela  $\alpha$ -amilase fornece como produtos finais glicose, maltose e as  $\alpha$ -dextrinas

limites (oligosacarídeos contendo quatro ou mais unidades de glicose unidas por ligações do tipo  $\alpha$ -1,6) (AQUARONE et al., 2001).

A amiloglucosidase, conhecida também como glucoamilase e glicoamilase ((1,4) (1,6)-  $\alpha$ -D-glucan glucanohidrolase, EC 3.2.1.3) é uma enzima extracelular que rompe as ligações  $\alpha$ -1,4 e  $\alpha$ -1,6 do amido a partir da extremidade não redutora até glicose (LIN et al., 1993; PANDEY et al., 2005).

A amiloglucosidase é uma enzima de indução, sendo importante a presença de maltose ou amido no meio para sua alta produção. Além das frações amilose e amilopectina do amido, outras moléculas como maltose, dextrinas e glicogênio são hidrolisados pela enzima, que atua também sobre as ligações  $\alpha$ -1,3. A amiloglucosidase é usada em amidos liquefeitos com  $\alpha$ -amilase para chegar a produtos que serão usados como substratos para fermentações, ou para a obtenção biotecnológica de glicose e dextrinas (FELLOWS, 2006; PANDEY et al., 2005).

A Figura 6 apresenta as possibilidades de modificação do amido por via enzimática. Na sacarificação do amido, a  $\alpha$ -amilase atua na cadeia rompendo as ligações liberando em maior proporção dissacarídeos expressos em maltose. Por outro lado, a amiloglucosidase age sobre a cadeia liberando monossacarídeos (glicose).



**Figura 6.** Modificação enzimática do amido pela ação da  $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase.

Fonte: SURMELY et al. (1997).

A expressão xarope de glicose designa todas as soluções aquosas purificadas e concentradas de polímeros de D-glicose, obtidas por hidrólise do amido e DE entre 20 e 80. Por glicose são compreendidos os hidrolisados contendo moléculas de glicose, na proporção de 5% a 95%, com a condição de que predominem em relação aos demais polissacarídeos. A

glicose pura ou dextrose é composta por 100% de D-glicose e pode ser produzida por hidrólise do amido ou da sacarose (a partir da cana-de-açúcar), seguida de separação da D-glicose e dos outros mono ou polissacarídeos (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2009).

A modificação enzimática do amido pode ser usado para diminuir a viscosidade e melhorar a estabilidade do gel, a sensação, a aparência, a textura e a resistência ao calor. Modificação enzimática tem sido utilizada principalmente como enzimas hidrolizantes em amidos e um dos seus produtos é o xarope de glicose, seja xarope, ou de xarope de milho rico em frutose, principalmente provenientes de amidos de arroz, batata e mandioca (KAUR et al., 2010). O conhecimento do potencial de utilização do amido da farinha do arroz, como amido modificado, sem a necessidade da etapa de extração, tornaria possível seu aproveitamento na elaboração de produtos diferenciados, mais específicos e muito interessantes do ponto de vista econômico para as indústrias de beneficiamento de arroz.

Sier et al. (2004) também relatam vários exemplos da utilização da enzimas amilolíticas com o objetivo de modificar matérias-primas amiláceas e/ou obter produtos específicos, destacando-se os usos na indústria de alimentos (modificação de farinhas utilizadas em panificação, na modificação enzimática de materiais amiláceos para a obtenção de açúcares, na fabricação de bebidas fermentadas), na etapa de degomagem na indústria têxtil, na indústria de papel, na indústria química e farmacêutica.

Severo, Moraes e Augusto-Ruiz (2010) estudaram a modificação enzimática da farinha de arroz visando a produção de amido resistente. Auh et al. (2006) estudaram modificação enzimática com a do amido de arroz para degradação da amilose, e obtiveram a redução da retrogradação do amido. Khatoon et al. (2009) estudaram hidrólise enzimática no amido de arroz para produção de maltodextrina, identificaram a presença de oligossacáridos no amido hidrolisado que podem conferir propriedades funcionais necessárias para ser utilizado como substituto de gordura.

## 2.4 SECAGEM NOS ALIMENTOS

A secagem é uma operação unitária bastante utilizada nos processos industriais e é uma das operações menos entendidas em função da complexidade dos fenômenos envolvidos na transferência simultânea de calor, massa e quantidade de movimento no sólido durante o processo (KINGSLEY et al., 2007). A secagem tem como objetivo primordial a eliminação de

umidade de um produto, sendo a água ou qualquer outro líquido contido no produto (CELESTINO, 2010).

De maneira geral, esse processo é uma operação na qual calor é fornecido a um dado material que contém água, a fim de se vaporizar certo conteúdo de água deste material, obtendo-se um produto sólido seco. Trata-se de um processo com transporte simultâneo de calor e massa, acompanhado de mudança de fase (BARBANTI; MASTROCOLA; PIZZARANI, 1995).

Quando um material qualquer é submetido a um processo de secagem convectiva, alguns conceitos diferentes de umidade são explorados. A umidade que esta amostra possui, no instante em que é posta no secador, é chamada de “umidade total”. À diferença entre a umidade total e a umidade de equilíbrio, dá-se o nome de umidade livre. A umidade de equilíbrio é a umidade que o material possui, em uma determinada temperatura e pressão, em equilíbrio com a umidade da fase gasosa insaturada como o ar de secagem (FRUTHOTEC, 2001; CELESTINO, 2010).

Determinadas propriedades nutritivas do alimento podem ser perdidas, principalmente as vitaminas, em processos com tratamento térmico, e, com a secagem, não é diferente; apesar disso, vantagens podem ser atribuídas à desidratação: Aumento da vida útil do produto, o alimento desidratado é nutritivo e apesar das possíveis perdas de alguns nutrientes, o valor alimentício do produto concentra-se por causa da perda de água; Facilidade no transporte e comercialização, pois o alimento seco é leve, compacto e suas qualidades permanecem inalteradas por longos períodos; O processo de secagem é econômico onde os secadores semi-industriais têm baixo custo, a mão-de-obra não necessita ser especializada e os produtos desidratados têm baixo custo de armazenagem (FELLOWS, 2006; CELESTINO, 2010).

Um grande número de mudanças químicas ocorre durante a secagem juntamente com as mudanças físicas. Isso afeta a qualidade do produto desidratado em termos de valor nutricional, cor, *flavor* (sabor e aroma) e textura (LABUZA, 1984).

A reação de escurecimento não-enzimático envolve aminoácidos e açúcares redutores na formação de melanoidinas, ocorrendo perda do valor nutritivo das proteínas (reação de *Maillard*). As reações de escurecimento não-enzimático têm início na temperatura de 70°C. No entanto, mesmo diminuindo a temperatura para 20 °C, a produção de melanoidinas continua, o que pode ser observado também durante o armazenamento do produto desidratado. O tipo de açúcar presente no alimento também acelera o processo de escurecimento. Hexoses (monossacarídeos com seis carbonos – glicose e frutose) são mais

reativas que os dissacarídeos (sacarose e lactose). Alimentos com atividade de água entre 0,5 e 0,8 estão mais sujeitos ao escurecimento não-enzimático (ARAÚJO, 2008; BOBBIO, BOBBIO, 2001; DAMODARAN; PARKIN; FENEMMA, 2010).

A reação de *Maillard* e degradação de Strecker produzem aromas diferentes de acordo com a combinação de aminoácidos livres e açúcares presentes em um alimento em particular. Aromas diferentes são produzidos, dependendo do tipo de açúcar e as condições de aquecimento utilizadas (FELLOWS, 2006; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

## 2.5 ALIMENTOS ESPECIAIS

Atualmente diversas pessoas apresentam reações alérgicas a algum componente dos alimentos, o que pode colocar em risco sua saúde, além de reduzir o número de opções no momento da escolha dos alimentos que irão compor sua dieta diária (FIORDA, 2011; MOURA, 2011). A doença celíaca é caracterizada como uma intolerância à fração gliadina presente no trigo e das prolaminas presente no centeio, triticale e aveia. As prolaminas são substâncias tóxicas, resistentes à digestão pelas enzimas gástricas e pancreáticas e alcançam a lâmina do intestino delgado, causando a inflamação nas células intestinais (NOBRE; SILVA; CABRAL, 2007; GALLAGHER; GORMLEY; ARENDT, 2004).

O único tratamento satisfatório para celíacos é a completa retirada do trigo, centeio, cevada e aveia da dieta. A substituição destes cereais pode ser feita por soja, arroz, milho, batata, mandioca e cará, sendo que dentre esses, o arroz é o menos alergênico. A dieta deve ser seguida por toda a vida, mesmo que o paciente não apresente sintomas após a ingestão de glúten (POSSIK et al., 2005). A maioria dos produtos de padaria, confeitaria, pastelaria em diversos países tem a farinha de trigo como ingrediente principal, causando limitações aos celíacos quanto à alimentação (CASTILLO; LESCANO; ARMADA, 2009).

As indústrias de alimentos estão interessadas na identificação e no desenvolvimento de espécies que produzam amidos nativos com características físicas e químicas especiais. O amido pode, entre outras funções, servir para facilitar o processamento, fornecer textura, servir como espessante, fornecer sólidos em suspensão e proteger os alimentos durante o processamento. O amido de arroz é utilizado como ingrediente em vários alimentos e produtos industriais, tais como, sobremesas, produtos de panificação e substituto de gorduras

(PUCHONGKAVARIN; VARAVINIT; BERGTHALLER, 2005). Também tem sido utilizado como ingrediente para produção de cereais matinais e fórmulas infantis (LUNDUBWONG; SEIB, 2000; ZAVAREZE et al., 2009).

Sendo a farinha de arroz um ingrediente promissor surge a oportunidade de desenvolver produtos diferenciados. O desenvolvimento de novos produtos está diretamente ligado com a qualidade, principalmente, com as tendências de crescente globalização é da economia, sendo fundamentais para o aumento da diversidade e variedade de produtos. Esses aspectos são indicativos da necessidade de ampliação do mercado a partir de matérias-primas tradicionais, por meio do desenvolvimento de farinhas que tenham propriedades funcionais específicas para serem aplicadas em produtos e formulações como alimentos instantâneos, pudins, molhos para salada, ou que possam ser direcionadas para alimentos de conveniência ou para fins especiais, como alimentos em pó (DORS; CARTIGLIANO; AUGUSTO-RUIZ, 2006; WU; CHEN; WANG, 2010). As farinhas de arroz vêm sendo utilizadas para preencher necessidades particulares da indústria ou do consumidor, tais como alimentos infantis, produtos cárneos, formulação de panquecas e *waffles*, cereais matinais, massa e farinha para empanados ou como parte da formulação de pães, massas de pizza e *mufins*, além de serem muito utilizadas nas formulações de produtos alimentícios para portadores de doença celíaca (DEOBALD, 1972; BEAN; NISHITA, 1985).

Devido à características peculiares, a farinha de arroz ceroso pode ser útil na produção de molhos congelados. Além disso, é excelente agente de separação de massas de biscoitos refrigerados pela baixa capacidade de absorção de umidade (NABESHIMA, EL-DASH, 2004). A farinha de arroz modificada está presente em maior ou menor proporção constituindo um ingrediente auxiliar como no caso dos empanados, como espessante em iogurtes, sopas e *baby foods*, como um componente majoritário em farinhas láctea, e para se adicionar ao leite como *cereal shake diet* (AUGUSTO-RUIZ et al., 2003).

O processo de fabricação dos cereais para alimentação infantil, tais como farinha láctea (à base de trigo), mingau de milho, arroz e misturas de cereais utiliza enzimas como as amilases. As amilases são adicionadas para diminuir a viscosidade da mistura de cereais durante o processo de pré-gelatinização, facilitando o escoamento pela tubulação. As amilases são inativadas com o aquecimento durante a etapa final do processo de secagem desses cereais, por isso são consideradas coadjuvantes tecnológicas de fabricação (SURMULEY et al., 2003).

Um produto muito utilizado para alimentação especial é farinha láctea. Ela foi inventada no ano de 1860 na cidade de Vevey, na Suíça por um farmacêutico de origem alemã chamado Henri Nestlé. Em seu laboratório inventou uma espécie de farinha láctea misturando leite, cereais e minerais. A descoberta foi uma revolução na época, pois existia dificuldade de produtos que substituíssem o leite materno, que era uma das causas de mortalidade infantil na época (NESTLE, 2011).

A farinha láctea segundo legislação RIISPOA- Lei nº 1283 de 18 de dezembro de 1950, “é o produto resultante de dessecação em condições próprias, da mistura de leite com farinha de cereais e leguminosas, cujo amido tenha sido tornado solúvel por técnica apropriada” e atende as seguintes especificações:

- 1 - ser obtida de matéria-prima e de substâncias que satisfaçam à regulamentação vigente;
- 2 - apresentar caracteres normais, inclusive boa solubilidade em água;
- 3 - ter no mínimo 20% (vinte por cento) de extrato seco total de leite;
- 4 - ter no mínimo 5% (cinco por cento) de gordura láctea;
- 5 - não ter mais de 6% (seis por cento) de umidade;
- 6 - ter no mínimo 30% (trinta por cento) de farinha de cereais ou de leguminosas;
- 7 - não ter mais de 1% (um por cento) de celulose;
- 8 - não conter substâncias conservadores.

Considerando o exposto, o estudo das propriedades do amido modificado se faz necessário para promover o melhoramento do processamento do produto, a fim de ser uma alternativa para melhorar as características que os amidos nativos não podem conferir aos alimentos. O amido modificado será utilizado para desenvolvimento de novos produtos com maior estabilidade, podendo ser consumido por pessoas que possuem reações alérgicas e limitações na sua alimentação.

O objetivo deste trabalho foi realizar a produção da farinha de grãos quebrados de arroz modificada enzimaticamente, seguida de tratamentos de secagem para utilização como ingrediente de um novo produto similar à farinha láctea, isento de glúten, assim como, avaliar a sua viabilidade de produção, do ponto de vista tecnológico, nutricional e sensorial.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi realizar a produção da farinha de grãos quebrados de arroz modificada enzimaticamente, seguida de tratamentos de secagem para utilização como ingrediente de um novo produto similar à farinha láctea, isento de glúten, assim como, avaliar a sua viabilidade de produção, do ponto de vista tecnológico, nutricional e sensorial.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Preparar a farinha de grãos quebrados de arroz *in natura* (FGQ) por meio de moagem;
- Determinar a composição centesimal (teor de proteínas, lipídios, carboidratos e cinzas) da FGQ e suas propriedades físico-químicas e tecnológicas (propriedades viscoamilográficas, ISA, ISL, IAA, IAL, umidade, coordenadas de cor, determinação de açúcares redutores e glicose);
- Determinar a atividade enzimática das enzimas  $\alpha$ -amilase (*Aspergillus oryzae*) e amiloglucosidase (*Aspergillus niger*);
- Definir, por meio de testes preliminares, parâmetros ideais de concentração de substrato (FGQ), pH, temperatura e tempo de hidrólise para produção de glicose;
- Promover a modificação enzimática da FGQ com a utilização de  $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase;
- Determinar a porcentagem da hidrólise e definir o melhor tratamento enzimático (maior produção de glicose) para produção da farinha modificada enzimaticamente e seca (FMS);
- Produzir a FMS e realizar a moagem do produto seco em diferentes temperaturas;
- Avaliar a influência de diferentes temperaturas (40, 80, 100, 120, 140°C) sobre as características químicas (proteínas, lipídios, carboidratos, cinzas, pH, açúcares redutores,



glicose), físicas (coordenadas de cor) e tecnológicas (propriedades viscoamilográficas, ISL, IAL, ISA, IAA) dessa farinha ;

- Avaliar por meio de microscopia eletrônica de varredura as farinhas FGQ e as FMS;
- Estabelecer a condição ideal de secagem da FMS para utilizar como ingrediente na produção de um novo produto similar à farinha láctea sem glúten, considerando os maiores conteúdos de glicose, maiores índices de solubilidade e absorção em água e leite e maior estabilidade de viscosidade à quente;
- Realizar análises microbiológicas (*Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Smonella sp*, coliformes totais e a 45°C) da FMS escolhida, segundo legislação RDC n°12, considerando padrões para produtos infantis e farináceos;
- Elaborar formulações com diferentes proporções da FMS, açúcar (AC) e leite em pó (LP) considerando legislação vigente para produtos como farinha láctea;
- Avaliar os efeitos de cada componente das misturas ternárias (FMS, AC e LP), por meio de análise estatística, nos parâmetros de qualidade (índices de solubilidade e absorção em água e leite, viscosidade, parâmetros instrumentais de cor, textura) para produção de mingau de tipo farinha láctea de arroz sem glúten (MFLE);
- Obter por meio de análise estatística a formulação de farinha láctea de arroz desejada (FLD), comparada as marcas comerciais considerando os parâmetros de qualidade (ISA, ISL, textura e coordenadas de cor (L\*));
- Produzir o MFLD com aroma artificial sabor baunilha e avaliar a aceitação sensorial global dos consumidores do MFLD selecionado estatisticamente;
- Comparar nutricionalmente o novo produto com as marcas comerciais de farinha láctea.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS GERAIS

### 4.1 MATERIAL

#### 4.1.1 Farinha de Arroz

Para a produção da farinha de arroz (*Oryza sativa* L.) utilizaram-se grãos quebrados das cultivares Puitá-RS e Irga 417- RS, doados pela empresa Cristal Alimentos S/A, em março de 2011, localizada em Aparecida de Goiânia, Goiás.

#### 4.1.2 Enzimas $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase

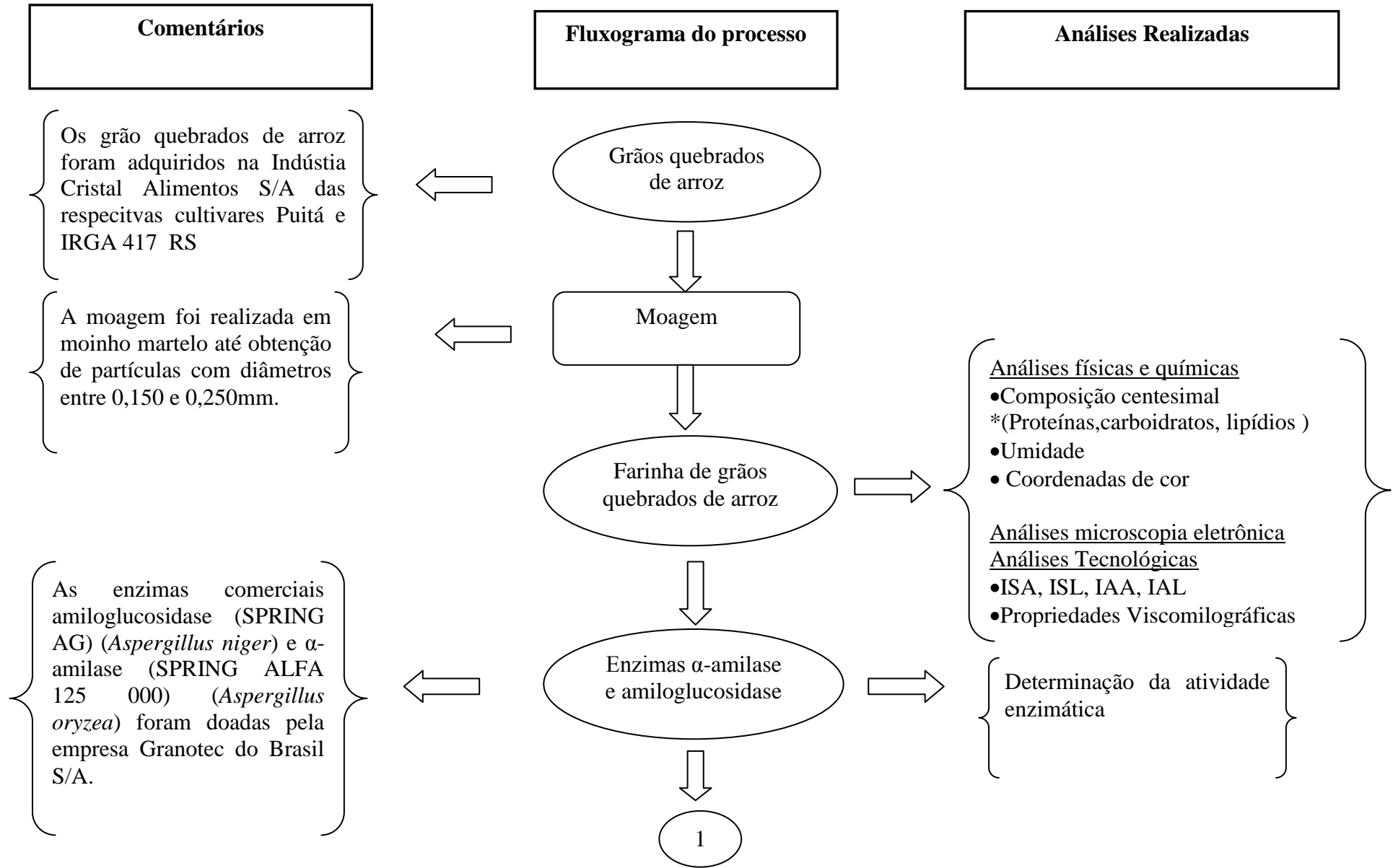
Para realização da modificação enzimática da farinha de arroz foram utilizadas as enzimas comerciais amiloglucosidase (SPRING AG) (*Aspergillus niger*) e  $\alpha$ -amilase (SPRING ALFA 125 000) (*Aspergillus oryzae*), na forma liofilizada, doadas pela empresa Granotec do Brasil S.A em junho de 2010, localizada em Curitiba, Paraná.

#### 4.1.3 Demais matérias primas utilizadas

Para a preparação das misturas do produto similar à farinha láctea de arroz experimental (FLE) e desejada (FLD) utilizou-se leite em pó integral instantâneo da marca comercial Nestlé e açúcar refinado da marca União. Para a preparação do mingau de FLE e FLD foram utilizados leite integral da marca Tyrol e aroma artificial de baunilha da marca Fleischman. Os ingredientes das marcas comercializadas foram adquiridos no período entre setembro/novembro de 2011, em supermercados da cidade de Londrina, Paraná.

### 4.2 MÉTODOS

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do presente trabalho está descrita no protocolo experimental na Figura 7.



**Figura 7.** Protocolo experimental.

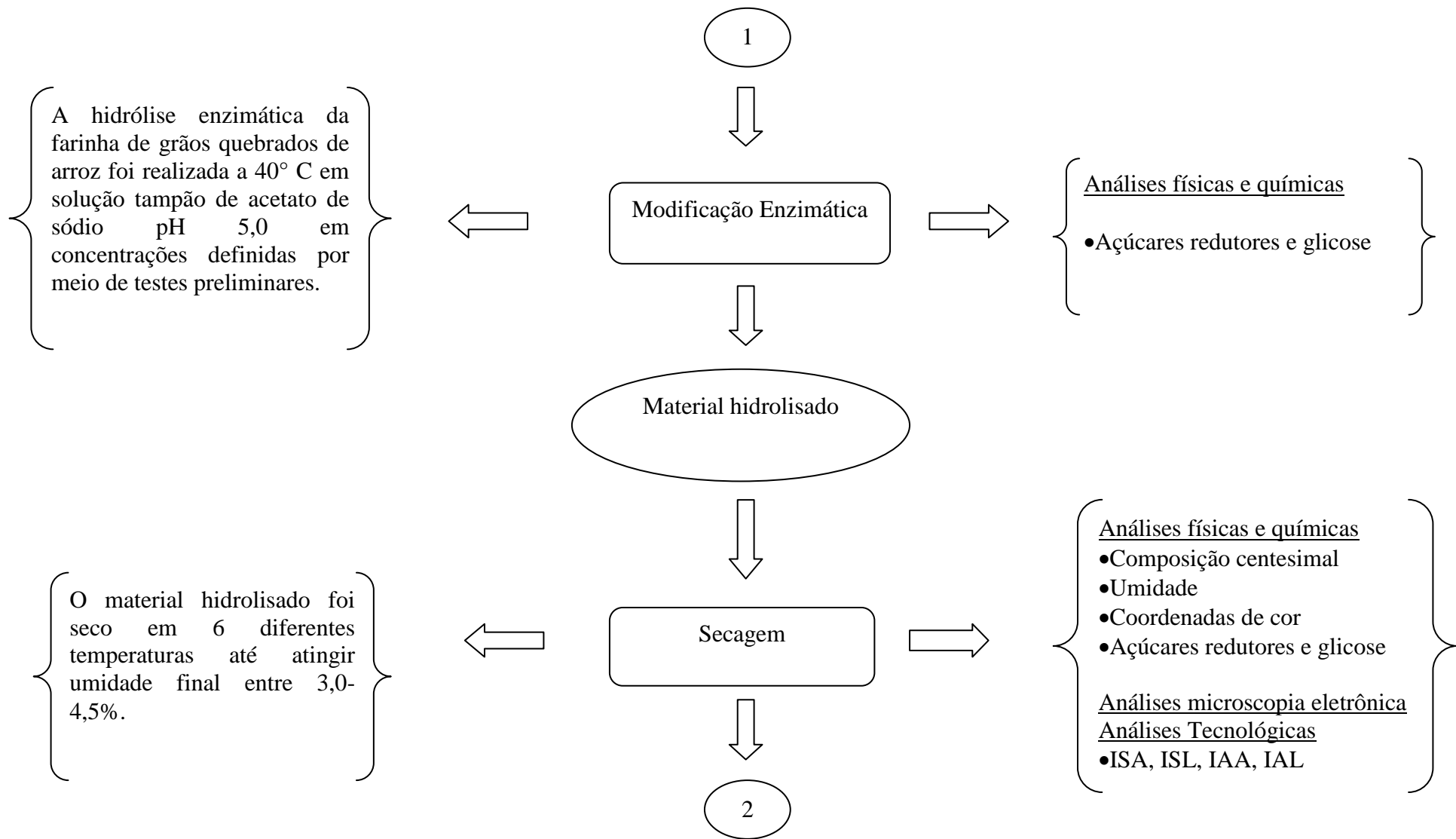
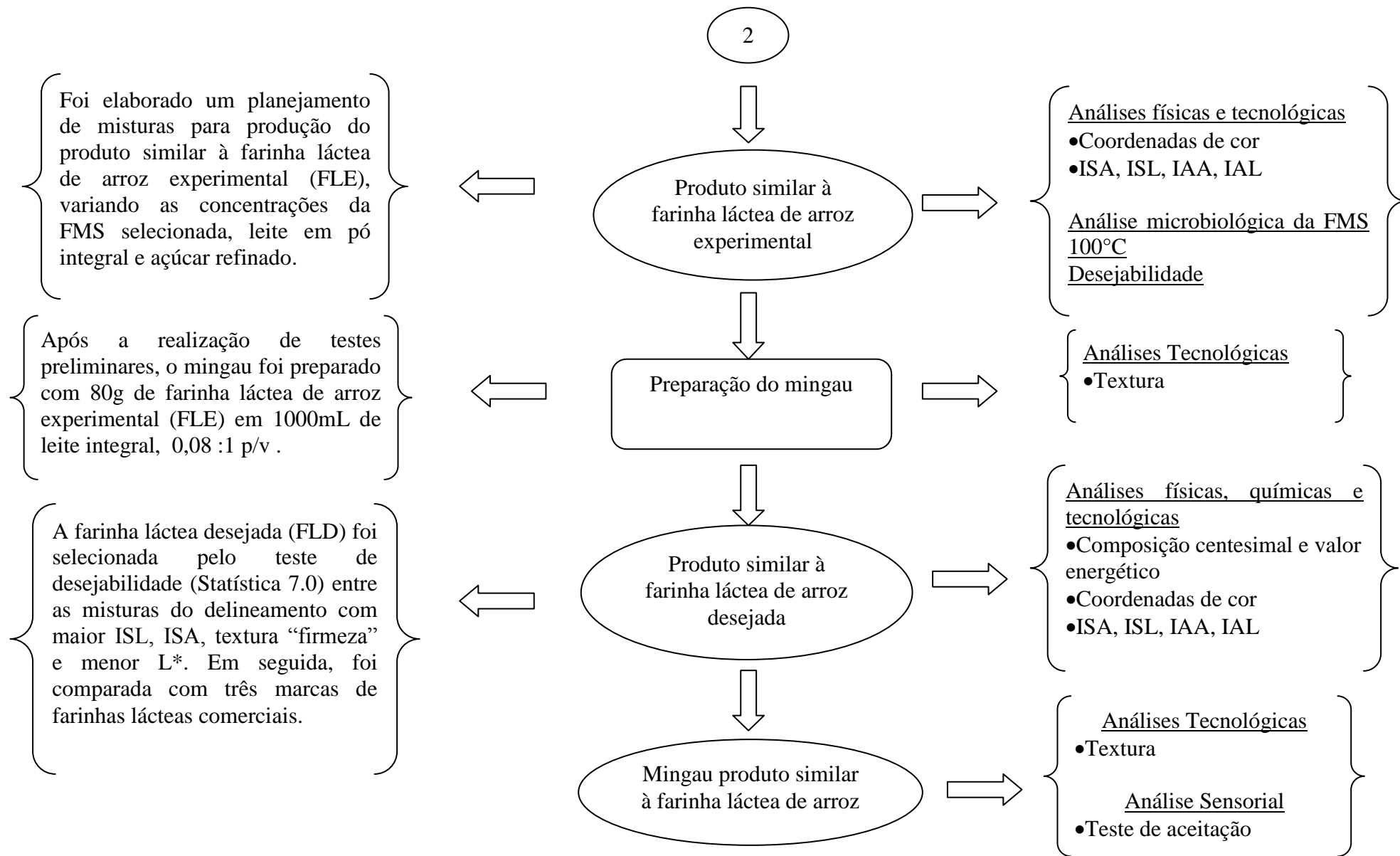


Figura 7 cont. Protocolo experimental.



**Figura 7.** cont. Protocolo experimental.

#### **4.2.1 Moagem dos grãos quebrados de arroz**

A farinha de arroz (FGQ) foi obtida após a moagem dos grãos quebrados em moinho de martelos (Marconi, MA-090/CF, Piracicaba, Brasil) em diâmetros entre 0,150 e 0,250mm. A farinha foi acondicionada em embalagens plásticas de polietileno de baixa densidade (PEBD) e armazenada em temperatura de refrigeração até sua utilização ou realização das análises.

#### **4.2.2 Composição centesimal das farinhas de grãos quebrados de arroz, farinha de arroz modificada enzimaticamente e seca e do produto similar à farinha láctea de arroz sem glúten experimental**

As análises físicas e químicas da farinha de arroz (FGQ), farinha de arroz modificada e seca (FMS) e da FLD foram realizadas em triplicata. Foram quantificados conforme AOAC (1997), os teores de umidade (método n° 925.10); cinzas (método n° 923.03); proteína bruta (método n° 960.52); com fator conversão do nitrogênio em proteína de 5,75 para FGQ e FMS e 6,25 para FLD; lipídios totais (método n° 920.39C). Os carboidratos foram determinados pelo cálculo da diferença entre 100 gramas do alimento e a soma total dos valores encontrados para umidade, proteínas, lipídios e cinzas.

#### **4.2.3 Determinação da atividade enzimática**

##### **4.2.3.1 Determinação da atividade enzimática da $\alpha$ -amilase**

O ensaio para determinação da atividade da  $\alpha$ -amilase foi realizado segundo metodologia utilizada por Pascoal, Mitidieri e Fernandes (2011) com modificações na concentração da solução tampão de acetato de sódio e na temperatura do ensaio. O ensaio foi realizado com a adição de 20  $\mu$ L de uma solução de enzima a 80  $\mu$ L de tampão acetato de sódio 0,025 mol L<sup>-1</sup>, pH 5,0 e 100  $\mu$ L de solução de amido 0,5% (p/v) preparada em tampão acetato de sódio 0,025 mol L<sup>-1</sup>, pH 5,0. Esta mistura foi mantida em banho a 40°C por 15 min.

A atividade enzimática foi medida através da determinação da concentração de açúcar redutor formado usando o reagente 3,5-dinitrossalicílico (ADNS) (MILLER, 1959). Estes ensaios foram realizados da seguinte forma: a 100  $\mu$ L da solução de amido hidrolisado foi

adicionado 1,0 mL de ADNS e a solução obtida mantida em banho-maria a 100°C, por 5 min. Após resfriamento até a temperatura ambiente foi realizada a leitura da absorbância no espectrofotômetro a 550nm. Uma unidade de enzima (UE) foi determinada pela quantidade de enzima capaz de produzir 1µmol de glicose por mL de solução em um minuto de reação.

#### 4.2.3.2 Determinação da atividade enzimática amiloglucosidase

Para determinação da atividade da amiloglucosidase utilizou-se a metodologia descrita por Silva, Asquiere e Fernandes (2005) com modificações na temperatura do ensaio e na concentração do tampão acetato de sódio. Foram adicionados 60µL da solução de enzima e 100µL da solução de substrato de 1% (p/v) de solução de amido e tampão acetato pH de 5,0 foram misturados em tubos tipo *ependorf* e incubados em banho-maria a 40°C por 15 min. A reação foi interrompida adicionando 100µL de solução de ácido acético 1,0 mol L<sup>-1</sup>.

A concentração de glicose liberada pela reação foi determinada segundo o método de glicose oxidase (Kit Glicose Enzimática Líquida, Biotécnica). O experimento com o kit glicose oxidase foi realizado segundo a Tabela 2.

**Tabela 2.** Alíquotas para preparação do branco, solução padrão e amostra para determinação do teor de glicose nas amostras.

	<b>Branco</b>	<b>Padrão</b>	<b>Amostra</b>
Reagente de cor	1,0 mL	1,0 mL	1,0 mL
Solução padrão	-	10 µl	-
Amostra	-	-	10 µL

Os tubos foram agitados e incubados em banho-maria (Kacil BM-02) a 37 °C por 10 minutos. A leitura da absorbância foi realizada a 510 nm, zerando o equipamento com o branco (espectrofotômetro Bell 1105). A unidade de enzima foi calculada da mesma forma que para a enzima  $\alpha$ -amilase.

#### 4.2.4 Hidrólise enzimática da farinha de grãos quebrados de arroz

Para a hidrólise enzimática da FGQ, para produção de açúcares redutores, foi utilizada a enzima comercial Spring  $\alpha$ -amilase (*Aspergillus oryzae*) onde as condições de hidrólise

utilizadas foram a proporção de 20% (p/v) de farinha segundo metodologia de Beninca (2008) em solução de enzima com diferentes concentrações (1UE, 2UE e 3UE por g de amido), em tampão acetato de sódio  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$  pH de 5,0 e temperatura de  $40^\circ\text{C}$  (temperatura e pH ótimos da enzima) em banho-maria com agitação tipo *Dubnoff* (Tecnal TE-053) (Figura 8) definidas por meio de testes preliminares.

Após a hidrólise com a  $\alpha$ -amilase e estabilidade do processo, foi escolhida a melhor condição de produção de açúcar redutor por meio de teste de Tukey ao nível de 5% de significância. A enzima comercial Spring AG amiloglicosidase (*Aspergillus niger*) foi adicionada no material previamente hidrolisado em diferentes concentrações (1,5UE, 3,5UE e 5,5UE por g de farinha), definidos por testes preliminares, nas proporções de 16% (p/v), segundo Silva et al. (2005) e adicionados em solução tampão acetato de sódio  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$  pH de 5,0 e temperatura de  $40^\circ\text{C}$  em banho-maria com agitação horizontal tipo *Dubnoff* (Tecnal TE-053). As hidrólises com  $\alpha$ -amilase e amiloglicosidase foram realizadas em triplicatas.



**Figura 8.** Hidrólise enzimática com  $\alpha$ -amilase e amiloglicosidase da farinha de grãosquebrados de arroz em banho-maria sob agitação horizontal em temperatura de  $40^\circ\text{C}$ .

#### 4.2.4.1 Porcentagem de hidrólise

A porcentagem de hidrólise foi calculada segundo O'Brien e Wang (2008) e está descrita na Equação 1.

$$\% \text{ Hidrólise} = \frac{\text{Quantidade de açúcares redutores ou glicose produzidos}}{\text{Quantidade de amido (b.s)}} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

#### 4.2.5 Secagem da farinha modificada enzimaticamente



Após a hidrólise enzimática, foi selecionado o tratamento que obteve maior produção de açúcar redutor e glicose e submeteu-se ao tratamento de secagem em estufa Marconi M033 em diferentes temperaturas (Tabela 3) até atingir valores de umidade entre 3,0-4,5% para produção da farinha modificada enzimaticamente e seca (FMS). O material utilizado nas bandejas foi starflon da marca Tramontina<sup>®</sup>, com 30 cm de diâmetro. A estufa com o material para secagem pode ser observada na Figura 9.

**Tabela 3.** Condições de temperatura para secagem e umidade final das farinhas modificadas enzimaticamente.

Tratamento	Temperatura	Umidade
1	40°C	3,0-4,5%
2	80°C	3,0-4,5%
3	100°C	3,0-4,5%
4	120°C	3,0-4,5%
5	140°C	3,0-4,5%



**Figura 9.** Secagem da farinha de grãos quebrados de arroz hidrolisados com  $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase em estufa de esterilização.

Durante o período de secagem, as bandejas foram alternadas periodicamente (1 em 1h) de compartimento e giradas para que ocorresse uma secagem uniforme do produto. Após a secagem do material, a umidade foi determinada no analisador de umidade MB45 (OHAUS)

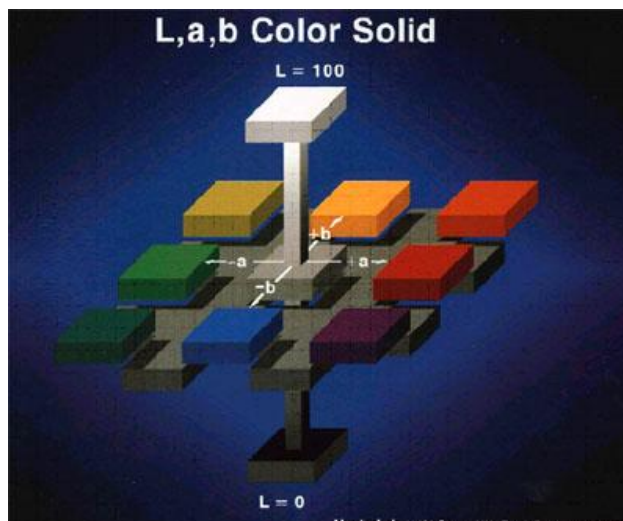
(luz halógena). Para o analisador foram fixados os seguintes parâmetros: 2g de amostra no tempo de 6 min a 105°C, parâmetros mais próximos da análise de umidade em estufa à 105°C (fator de correção 1,1). Depois do tratamento de secagem, o produto obtido foi moído em moinho analítico (A11- IKA), e passado por peneira de 60 *mesh* para realização das análises de composição centesimal, microscopia eletrônica, análises viscoamilográficas, coordenadas de cor, índice de solubilidade e absorção em água e leite.

#### **4.2.6 Análises físicas e tecnológicas das farinhas**

Para as FGQ e FMS foram determinados as coordenadas de cor, o índice de absorção em água (IAA) e em leite (IAL), o índice de solubilidade em água (ISA) e em leite (ISL), açúcares redutores, glicose, pH, propriedades viscoamilográficas e a microscopia eletrônica de varredura. Estas análises foram realizadas em triplicatas, com exceção das características viscoamilográficas. As médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. As análises físicas e tecnológicas foram realizadas no Laboratório de Ciência de Alimentos e a análise de microscopia eletrônica no Laboratório de microscopia e microanálise, ambos laboratórios da Universidade Estadual de Londrina (UEL).

##### **4.2.6.1 Parâmetros instrumentais de cor**

Os parâmetros instrumentais de cor da FGQ e FMS foram determinados em colorímetro Konica Minolta Chroma-Meter CR-400  $a^*$  e  $b^*$ , onde os valores de  $L^*$  (luminosidade ou brilho) podem variar do preto (0) ao branco (100), os de croma  $a^*$  do verde (-60) ao vermelho (+60) e os de croma  $b^*$  do azul (-60) ao amarelo (+60), representados na Figura 10. Os resultados foram expressos como a média aritmética de 6 repetições.



**Figura 10.** Representação das coordenadas de cor L\*(luminosidade), a\* (croma a) e b\* (croma b).

Fonte: Hunterlab (1998)

#### 4.2.6.2 Índice de Absorção de água (IAA) e índice de solubilidade em água (ISA)

O IAA foi determinado pelo método de Anderson et al. (1969) com algumas modificações na temperatura do teste. Em um tubo de centrífuga, previamente tarado, foram colocados 2,5 g da farinha e 30 mL de água. O tubo foi agitado por 30 min em banho-maria com temperatura de 28 °C e centrifugado por 10 min a 3.000 G em centrífuga (Sigma®, 3-18K, Newport Pagnell, Inglaterra). O sobrenadante foi retirado com auxílio de uma pipeta volumétrica de 10 mL, permanecendo apenas o gel formado no tubo.

O ISA também foi determinado pelo método de Anderson et al. (1969), onde 10 mL do sobrenadante obtido no análise do IAA, foi colocado em pesa-filtro e levado a estufa a 105°C por 4 horas até peso constante, para determinação do resíduo de evaporação. Os valores de IAA e ISA foram determinados utilizando-se as Equações 2 e 3 respectivamente e os resultados expressos em g de gel/g de matéria seca.

$$\text{IAA} = \frac{\text{Mrg}}{[(\text{Ma}(\text{bs})) - (\text{Mre} * 3)]} * 100 \quad (\text{Equação 2})$$

$$\text{ISA} = \frac{\text{Mre} * 3}{\text{Ma}(\text{bs})} * 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

Mre = massa do resíduo de evaporação (g)

Ma= massa da amostra (g), base seca

Mrg= massa do resíduo de centrifugação (g)

#### 4.2.6.3 Índice de absorção em leite (IAL) e índice de solubilidade em leite (ISL)

O IAL foi determinado pelo método de Anderson et al. (1969). Em um tubo de centrífuga, previamente tarado, foram colocados 2,5 g da farinha e 30 mL de leite. Após homogeneização por 20 seg, os tubos foram mantidos a 10°C e centrifugado por 10 min a 3.000 G em centrífuga (Sigma, 3-18K, Newport Pagnell, Inglaterra). O sobrenadante foi retirado com auxílio de uma pipeta volumétrica de 10 mL, permanecendo apenas o gel formando no tubo.

O ISL também foi determinado pelo método de Anderson et al. (1969) com algumas modificações na secagem do sobrenadante, onde 10 mL do sobrenadante obtido no análise do IAL, foram colocados em pesa-filtro e levado a uma pré-evaporação em banho maria a 90°C e colocado em uma estufa a vácuo por 16 horas, para determinação do resíduo de evaporação e o precipitado da centrifugação foi pesado. Utilizou um controle, em triplicata, para obter-se a quantidade de sólidos do leite e subtraí-la nos cálculos do resíduo de evaporação para determinação do ISL. Os valores do IAL e ISA foram determinados pelas Equações 4 e 5 respectivamente e os resultados expressos em % e g de gel /g de matéria seca.

$$IAL = \frac{Mrg}{Ma (bs) - (Mre * 3)} \quad \text{(Equação 4)}$$

$$ISL = \frac{(Mrg - Mrc) * 3}{Ma (bs)} \times 100 \quad \text{(Equação 5)}$$

Onde:

Mre = massa do resíduo de evaporação da amostra (g)

Mrc = massa do resíduo de evaporação do controle (g)

Ma= massa da amostra (g), base seca

Mrg= massa do resíduo de centrifugação (g)

#### 4.2.6.4 Determinação de açúcares redutores

A determinação de açúcares redutores foi pelo método ADNS segundo Miller (1959), com leitura de absorbância no espectrofotômetro a 550nm. A determinação do conteúdo de glicose foi pelo kit glicose enzimática – Biotécnica com leitura de absorbância no espectrofotômetro a 510nm.

#### 4.2.6.5 Características viscoamilográficas

As propriedades viscoamilográficas foram determinadas em Viscoamilógrafo Brabender (Duisburg), nº176513, tipo 801301, segundo o método nº 22-10 pela AACC (1983). As amostras de FGQ e FMS foram padronizadas com 14% de umidade.

No tubo próprio do equipamento misturou-se 56 g de amostra com 400 mL de água destilada (14% p/v) e em seguida realizou-se o início do teste. A temperatura inicial foi de 50°C. A pasta foi aquecida a uma taxa de 1,5°C por minuto, desde 50°C até 95°C, permanecendo nessa temperatura por 30 min, sendo em seguida resfriada a 50°C. A partir dos viscoamilogramas obtidos foram determinados os seguintes parâmetros:

- temperatura inicial de pasta: temperatura (°C) na qual a viscosidade de pasta aumentou de 0 a 20 Unidades Brabender (UB);
- viscosidade inicial a 95°C: valor da viscosidade da pasta, em UB, quando se atingiu a temperatura de 95°C;
- viscosidade final a 95°C: valor da viscosidade de pasta, em UB, após 30 minutos à temperatura de 95°C;
- viscosidade máxima: valor máximo da viscosidade de pasta, em UB, durante a etapa de aquecimento;
- temperatura de viscosidade máxima: temperatura (°C) onde ocorreu a viscosidade máxima;
- viscosidade final: valor da viscosidade, em UB, no final do ciclo de resfriamento, quando a temperatura atingiu 50°C;
- estabilidade de pasta: valor da viscosidade, em UB, depois da pasta ter permanecido por 5 min a temperatura de 50°C (APLEVICZ; DEMIATE, 2007).

#### 4.2.6.6 Microscopia eletrônica de varredura

Utilizou-se microscópio de varredura eletrônica (FEI Company, Quanta-200, Netherlands, EUA). As amostras foram alocadas em stubs de alumínio, utilizando uma fita dupla face, banhados com um fino filme de ouro (10 nm) e examinadas com voltagem de aceleração de 10 kV, em aumentos de 80x, 2000x e 4000x .

#### 4.2.6.7 Textura (firmeza) do mingau de farinha láctea de arroz

As análises de textura do mingau das misturas de FLE e FLD foram realizadas em texturômetro TA-XT2i (STABLE MICRO SYSTEMS, 1997), com *probe* P25L cilíndrico de acrílico para determinação da força máxima de compressão, sendo avaliado o parâmetro “firmeza”.

O teste de firmeza foi conduzido segundo o método nº 16-50 da AACC (2000). O mingau foi preparado segundo item 4.2.8.2 e resfriado a 50°C. O mingau foi colocado em recipiente plástico com aproximadamente 80mL e realizadas leituras referentes à força máxima necessária para penetrar no produto em uma distância de 18mm (Figura 11). As condições de operação do texturômetro para a medida da força em compressão foram: velocidade de pré-teste de 2,0mm s<sup>-1</sup>, velocidade de teste de 1,0 mm s<sup>-1</sup>, velocidade de pós-teste de 2,0 mm s<sup>-1</sup>, distância de 18 mm.



**Figura 11.** Análise de textura “firmeza” do mingau de farinha láctea em texturômetro TA-XT2i.

#### **4.2.7 Seleção da farinha modificada enzimaticamente e seca em diferentes temperaturas, ideal para a produção do produto similar à farinha láctea de arroz sem glúten**

Como o novo produto desenvolvido é similar à farinha láctea utilizou-se como referência a legislação RIISPOA- Lei nº 1283 de 18 de dezembro de 1950, onde fica expresso que farinha láctea “é o produto resultante de dessecação em condições próprias, da mistura de leite com farinha de cereais e leguminosas, cujo amido tenha sido tornado solúvel por técnica apropriada” e atende as seguintes especificações:

- 1 - ser obtida de matéria-prima e de substâncias que satisfaçam à regulamentação vigente;
- 2 - apresentar caracteres normais, inclusive boa solubilidade em água;
- 3 - ter no mínimo 20% (vinte por cento) de extrato seco total de leite;
- 4 - ter no mínimo 5% (cinco por cento) de gordura láctea;
- 5 - não ter mais de 6% (seis por cento) de umidade;
- 6 - ter no mínimo 30% (trinta por cento) de farinha de cereais ou de leguminosas;
- 7 - não ter mais de 1% (um por cento) de celulose;
- 8 - não conter substâncias conservadores.

Diante dessas especificações foi selecionada, como parâmetro de qualidade, a FMS em diferentes temperaturas, com maior teor de proteína, açúcar redutor, glicose, melhor solubilidade e absorção em água e leite comparados, por meio de Teste Tukey a 5% de significância.

#### **4.2.8 Desenvolvimento do produto similar à farinha láctea de arroz sem glúten**

##### **4.2.8.1 Delineamento de misturas**

Foram elaboradas diferentes misturas para produção do produto similar à farinha láctea de arroz, variando as concentrações da FMS selecionada, leite em pó integral e açúcar refinado conforme descritos na Tabela 4. As concentrações dos componentes que variaram na formulação foram restringidas nas formulações experimentais das farinhas lácteas dentro de faixas estabelecidas em testes preliminares e baseadas nas especificações da legislação (item

4.2.6), de acordo com o planejamento experimental de misturas apresentado na Tabela 5 (BARRROS NETO; SCARMÍNIO; BRUNS, 2010).

**Tabela 4.** Concentrações máximas e mínimas estabelecidas da farinha modificada enzimaticamente e seca de arroz (FMS), leite em pó integral (LP) e açúcar refinado (AC) para elaboração das misturas das farinhas lácteas experimentais (FLE).

Componente	Máximo % (m/m)	Mínimo % (m/m)
Farinha modificada e seca 100°C	75	59
Leite em pó integral	40	20
Açúcar refinado	5	15

**Tabela 5.** Planejamento experimental de misturas com os teores da farinha modificada seca (FMS), leite em pó (LP) e açúcar refinado (AC), representados por valores reais e pseudocomponentes.

Formulação (Experimen.)	Proporção dos ingredientes na mistura ternária					
	Concentrações reais			Pseudocomponentes		
	AC(c <sub>1</sub> )	LP (c <sub>2</sub> )	FMS (c <sub>3</sub> )	AC (X <sub>1</sub> )	LP (X <sub>2</sub> )	FMS (X <sub>3</sub> )
1	0,05	0,20	0,75	0	0	1
2	0,15	0,35	0,50	0,40	0,6	0,0
3	0,15	0,20	0,65	0,4	0,0	0,60
4	0,05	0,40	0,55	0,0	0,8	0,2
5	0,10	0,40	0,50	0,2	0,8	0
6	0,10	0,31	0,59	0,20	0,44	0,36
7	0,10	0,31	0,59	0,20	0,44	0,36

Fonte: Statsoft (2007)

$$X_1 + X_2 + X_3 = 1 \text{ ou } 100\%$$

Para o cálculo do erro experimental dos modelos elaborados para cada resposta, introduziu-se uma repetição do ensaio 6 (ponto central), totalizando 7 experimentos. Nas seis formulações experimentais da farinha láctea de arroz foi realizada uma padronização da umidade em torno de 3% por secagem da mistura em estufa a 70°C por cerca de 2 horas.

Para melhor visualização dos efeitos das variáveis independentes (FMS, LP e AC) sobre as variáveis dependentes ISA, IAA, ISL, IAL, viscosidade, parâmetros de cor (L\*, a\* e b\*) e textura (firmeza) foram utilizados os pseudocomponentes que, neste estudo, foram determinados conforme a equação proposta por Barros Neto, Scarmínio e Bruns (2010) (Equação 7).



$$X_i = \frac{c_i - a_i}{1 - \sum_{i=1}^q a_i} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:  $0 \leq a_i \leq c_i$ ;  
 $\sum_{i=1}^q a_i < 1$

$i = 1, 2, 3, \dots, q$ ;

$x_i$  = teor do componente, em termos de pseudocomponente;

$c_i$  = proporção real do componente;

$a_i$  = limite inferior da concentração do componente.

Assim, os ingredientes em estudo puderam ser expressos em pseudocomponentes, utilizando a equação 7 para o açúcar, equação 8 para o leite em pó e equação 9 para farinha modificada e seca.

$$X_{\text{açúcar}} = \frac{c_{\text{açúcar}} - 0,05}{1 - (0,05 + 0,20 + 0,5)} \quad (\text{Equação 7})$$

$$X_{\text{leite em pó}} = \frac{c_{\text{leite em pó}} - 0,20}{1 - (0,05 + 0,20 + 0,5)} \quad (\text{Equação 8})$$

$$X_{\text{farinha modificada e seca}} = \frac{c_{\text{farinha modificada e seca}} - 0,50}{1 - (0,05 + 0,20 + 0,5)} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde,

$x$  = teor do componente, em termos de pseudocomponente;

$c$  = proporção real do componente.

A representação gráfica do sistema de misturas de cada variável resposta foi construída, utilizando-se diagramas triangulares. Após a execução do experimento e a coleta de dados, foi realizado o ajuste de uma equação polinomial para cada resposta, estimando-se os respectivos

coeficientes, através dos modelos canônicos de *Scheffé*, para três os componentes: modelos linear (Equação 11) e as interações (Equação 12):

$$y = \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 \quad (\text{Equação 10})$$

$$y = \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_{12}x_1x_2 + \beta_{13}x_1x_3 + \beta_{23}x_2x_3 \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

$y$  é a variável dependente;

$\beta$  o coeficiente de regressão para cada componente do modelo;

$x_1$  = açúcar;

$x_2$  = leite em pó;

$x_3$  = farinha modificada e seca;

Os dados de cada resposta foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e avaliariam-se a significância ( $P \leq 0,05$ ), o coeficiente de variação, o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) e a falta de ajuste dos modelos matemáticos obtidos. Utilizou-se o programa Statistica versão 7.0 (STATSOFT, 2007) para obtenção do planejamento experimental, análise dos dados e construção dos gráficos.

#### 4.2.8.2 Produção do mingau do produto similar à farinha láctea de arroz sem glúten

Para o preparo do mingau, utilizaram-se 80g de FMS adicionados em 1L de leite integral UHT, na proporção de (0,08:1) p/v, 2mL de aroma artificial de baunilha, definidos por meio de testes preliminares. A mistura foi aquecida sob agitação constante em panela de aço inox e permaneceu por 8 min após atingir a temperatura de 90-93°C, obtendo-se a consistência de mingau.

#### 4.2.8.3 Análises físicas, químicas e tecnológicas das misturas do produto similar à farinha láctea de arroz sem glúten e das farinhas comerciais.

As misturas das FLE, FLD e das marcas comerciais de farinha láctea foram caracterizadas quanto a ISL e ISA, IAL e IAA, coordenadas de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ), e a análise

de textura (firmeza) foi realizada na forma de mingau (MFLE e MFLD). As análises foram realizadas em triplicata, com exceção dos parâmetros de cor e textura “firmeza”, que foram realizadas em 6 replicatas. A composição centesimal da FLD foi realizada segundo análises descritas no item 4.2.2. O valor energético total da FLD foi estimado seguindo os valores de conversão de Atwater, onde multiplicou-se o conteúdo de carboidrato (menos o teor de fibra alimentar insolúvel) e proteína por 4 kcal g<sup>-1</sup> e o de lipídeos por 9 kcal g<sup>-1</sup>, sendo que os produtos somados constituíram o valor energético total (BRASIL, 2003). As análises foram conduzidas nos laboratórios de Físico-química de Alimentos do Departamento de Ciência e Tecnologia dos Alimentos (DCTA) da Universidade Estadual de Londrina (UEL) e nos laboratórios do setor de Engenharia de Alimentos, da Escola de Agronomia de Engenharia de Alimentos (EAEA) da Universidade Federal de Goiás (UFG).

#### 4.2.8.4 Determinação da mistura com maior desejabilidade para produção da farinha láctea de arroz

Determinou-se como parâmetro de qualidade as variáveis que apresentaram os parâmetros mais próximos de três marcas comerciais e dentro das especificações da legislação descrita no item 4.2.7. Desta forma, foram atribuídas a estas variáveis notas entre 0, para a menos desejada e 1 como a mais desejada. Os resultados escolhidos para determinação da FLD foram: textura “firmeza”, L\* (luminosidade), ISA e ISL, que são as variáveis que mais impactam na qualidade tecnológica da farinha láctea. O cálculo da formulação do novo produto similar à farinha láctea de arroz com maior desejabilidade foi determinado por meio do programa Statistica versão 7.0 (STATSOFT, 2007).

#### 4.2.9 Análises microbiológicas

As análises microbiológicas da FMS (definida para utilização como ingrediente no produto similar à farinha láctea de arroz) foram realizadas no Laboratório de Microbiologia da Universidade Estadual de Londrina (UEL). Segundo RDC n° 12 produtos como “farinhas e alimentos para consumo infantil” foram realizadas pesquisa de Coliformes totais e a 45°C, *Salmonella sp.*, *Staphylococcus aureus* e *Bacillus cereus* seguindo técnica descrita pela American Public Health Association (APHA, 2001) e Food and Drug Administration (FDA,

2002). Os resultados das análises foram comparados com a legislação vigente para realização da análise sensorial.

#### **4.2.10 Análise sensorial**

Apenas a mistura selecionada por meio do teste de desejabilidade (FLD) foi utilizada na avaliação sensorial. O teste foi aprovado pelo CEP/UFG sob protocolo 020/2011 e realizado no Laboratório de Análise Sensorial, da Universidade Estadual de Londrina (UEL).

Aplicou-se um questionário de recrutamento que contemplava a faixa etária, sexo, escolaridade e hábitos de consumo de produtos como farinha láctea, mingau de arroz, mingau de maisena para cada um dos participantes de modo a caracterizar o perfil da equipe e uma carta de consentimento em que o provador aceitava participar do teste sensorial. No momento do recrutamento, os provadores foram informados das condições do teste, e que não era obrigatório a engolir a amostra. Receberam, também, informações sobre os ingredientes utilizados na formulação do mingau de farinha láctea de arroz e que poderiam desistir do teste a qualquer momento.

Para a aceitação global do produto foi utilizada a escala hedônica estruturada de 9 pontos, na qual 9 representava a nota máxima “gostei muitíssimo”, 5,0 “indiferente” e 1 a nota mínima “desgostei muitíssimo” (DUTCOSKY, 2011).

O teste foi realizado em cabines individuais, utilizando luz branca. Cerca de aproximadamente 50mL da amostra preparada segundo item 4.2.7.2 , e foram servidas em copos plásticos, codificados aleatoriamente, devidamente armazenados em local adequado para que não ocorresse risco de contaminação. A amostra foi preparada próxima à hora marcada para o teste e servida à temperatura usual de consumo entre 50-60°C, mantida em banho.

## REFERÊNCIAS

- A. A .C. C. American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**. 10 ed. Saint Paul: AACC International, 2000.
- A. A. C. C. American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**. 8 ed. v 1-2. Saint Paul: AACC International, 1983.
- ABAM. Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca. **Tipos de aproveitamentos do amido**. Disponível em <[http://www.abam.com.br/includes/index.php.link\\_include=menu2/proc\\_ob\\_amido.php&menu=2&item=2](http://www.abam.com.br/includes/index.php.link_include=menu2/proc_ob_amido.php&menu=2&item=2)>. Acesso em: 21 jun. 2011.
- ALPEVICZ, K. S.; DEMIATE, I. M. Caracterização de amidos de mandioca nativos e modificados e utilização em produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 478-484, 2007.
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN JUNIOR, E. L. Gelatinization of corn grits by rolland extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, Minneapolis, v. 14, n. 1, p. 44-11, 1969.
- A.O.A.C. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC International**. Food composition, additives, natural contaminants. 16. ed. v. 2. Gaithersburg: AOAC, 1997.
- APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4. ed. Washington: APHA, 2001, 676 p.
- AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A. **Biotechnologia Industrial: Biotechnologia na Produção de Alimentos**. v. 4. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2001. 544p.
- ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e pratica**. 4. ed. Viçosa : Ed. UFV, 2008. 596 p.
- AUH, J. H.; CHAE, H. Y.; KIM, Y. R.; SHIM, K. H.; YOO, S. H.; PARK, K. H. Modification of rice starch by selective degradation of amylose using alkalophilic *Bacillus cyclomaltodextrinase*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 54, n. 6, p. 2314-2319, 2006.
- AUGUSTO-RUIZ, W.; BONATO, S. R.; ARRIECHE, L. S.; ALVES, F. V. Caracterização da farinha pré-gelatinizada de arroz integral produzida a partir de grãos quebrados. **Vetor**, Rio Grande, v.13, n. 1, p. 25-46, 2003.
- BAIOCCHI, M. L. M. **Aproveitamento de subproduto do beneficiamento de arroz: desenvolvimento de farinha modificada como alternativa para a indústria de panificação**. 2011.103f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) –

Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

BARBANTI, D.; MASTROCOLA, D.; PIZZARANI, S. Air drying of plums influence of some process parameters on the specific drying kinetics. **Sciences des Aliments**, Paris, v. 15, n. 1 p.19-29, 1995.

BARROS NETO, B. B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 4 ed. Campinas: Unicamp, 2010, 404p.

BEMILLER, J.N. Starch Modification: challenges and prospects. **Starch/Stärke**, Weinheim, v.49, n.4, p.127-131, 1997.

BEAN, M. M.; NISHITA, K. D. Rice flours for baking. In: JULIANO, B. O. **Rice: chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1985, p. 539-556.

BEMILLER, J. N.; WHISTLER, R. L. Carboidratos. In: FENNEMA, O. R. **Química de los alimentos**. 2 ed. Zaragoza: Acribia, 2000. cap. 4, p. 229-246.

BENINCA, C. **Emprego de técnicas termoanalíticas na análise de amidos nativos e quimicamente modificados**. 2008. 76f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução **RDC nº 12 de 02 de janeiro de 2001**. Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Disponível em: <<http://www.e-legis.bvs.br>>. Acesso em: 22 jun. 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Leites desidratados, cap 5 In: **Lei Nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950 que dispõe sobre a Inspeção industrial e sanitária dos produtos de origem animal, regulamentada pelo Decreto Nº 30.691 de 29 de março de 1952 e suas alterações**. Disponível em: <<http://www.g100.org.br/clique/rispoa.html>>. Acesso em: 22 jun. 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria nº 269, de 17 de novembro de 1988**. Normas de identidade, qualidade, embalagem e apresentação do arroz Disponível em: <<http://padclassif.tripod.com/padrao/arroz.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2010.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 360**, de 23 de dezembro de 2003. Aprova regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=9059>>. Acesso em: 18 jul. 2009.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. 3. ed. rev. ampl. São Paulo: Livraria Varela, 2001. 223p.

CASTILLO, V. D.; LESCANO, G.; ARMADA, M. Formulación de alimentos para celíacos con base en mezclas de harinas de quínoa, cereales y almidones. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, Caracas, v. 59, n. 3, p. 332-336, 2009.

CASTRO, E. M.; VIEIRA, N. R. A.; RABELO, R. R.; SILVA, S. A. **Qualidade de grãos em arroz**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 30 p. (Circular Técnica, 34).

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem nos alimentos**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010, 51p.

CEREDA, M. P.; VILPOUX, O.; DEMIATE, I. M. Amidos Modificados. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. (coord.) **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. v. 3, cap. 12, p. 246-333.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2011/2012– Terceiro Levantamento - Dezembro/2011**. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11\\_12\\_08\\_10\\_58\\_12\\_08.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_12_08_10_58_12_08.pdf)>. Acesso em: 02 jan. 2012.

COPELAND, L.; BLAZEK, J.; SALMAN, H.; TANG, M. C. Form and functionality of starch. **Food Hydrocolloids**, London, v. 23, n. 6, p. 1527-1534, 2009.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENEMMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4 ed. Porto Alegre, ARTMED, 2010.900p.

DEOBALD, H. J. Rice flours. In: HOUSTON, D. F. **Rice: chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, v. 4, 1972, p. 264-269.

DORS, G. C.; CASTIGLIONI, G. L.; AUGUSTO-RUIZ, W. Utilização da farinha de arroz na elaboração de sobremesa. **Vetor**, Rio Grande, v. 16, n. 2, p. 63-67, 2006.

DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. 3 ed. Coleção exatas, 4. Curitiba: Champagnat, 2011.426p.

FDA-FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 2002. **Bacteriological analytical manual**. Disponível em: <<http://www.cfsan.fda.gov/~eban/ban-4html>>. Acesso em: 10 jun. 2010.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e práticas**. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.

FERREIRA, M. C.; PINHEIRO, B. S.; SOUSA, I. S. F.; MORAIS, O. P. **Qualidade do arroz no Brasil: evolução e padronização**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 61p.

FIORDA, F. A. **Bagaço e fécula de mandioca na elaboração de farinhas cruas e pré-gelatinizadas, snacks e macarrões instantâneos com amaranto**. 2011. 187f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)- Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

FOOD INGREDIENTS BRASILE. **Dossiê enzimas**. Disponível em: <<http://www.revista-fi.com/materias/113.pdf>>. Acesso em: 02 dez. 2011.

FRANCO, C. M. L.; DAIUTO, E. R.; DEMIATE, I. M.; CARVALHO, L. J. C. B.; LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; VIPOUX, O. F.; SARMENTO, S. B. S. Estrutura dos

grânulos de amido. In: **Cultura de tuberosas amiláceas Latino Americanas: Propriedades gerais do amido**. Campinas: Fundação Cargill, v. 1, cap.6, p. 101-133, 2001.

FRUTHOTEC. **Desidratação de frutas e hortaliças: Manual técnico**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), 2001.

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

GARCIA, F. A. Farinha de arroz: bom para quem produz, bom para quem consome. **Arroz em Foco**. Disponível em: <http://www.arroz.agr.br/site/arrozemfoco/070129.php>. Acesso em: 18 mai. 2010.

GUPTA, R.; MOHAPATRA, H.; GOSWAMI, V.K.; CHAUHAN, B. Microbial  $\alpha$ -amylases: a biotechnological perspective. **Process Biochemistry**, London, v. 38, n. 11, p. 1599-1616, 2003.

HEINEMANN, R. J. B.; BEHRENS, J. H.; LANFER-MARQUEZ, U. M. A study on the acceptability and consumer attitude towards parboiled rice. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 41, n. 6, p. 627-634, 2006.

HOSENEY, R.C. **Principios de ciencia y tecnologia de los cereals**. Zaragoza: Acribia, 1991. 89 p.

HUNTERLAB. **User's manual with Universal Software Version 3.5**. Rest: HunterLab, 1998.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de orçamentos familiares 2008-2009**. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=1937&id\\_pagina=1](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1937&id_pagina=1). Acesso em: 10 nov. 2011.

KAUR, B.; ARIFLIN, F.; BHAT, R. KARIM, A. A. Progress in starch modification in the last decade. **Food Hydrocolloids**, London, p. 1-7, 2011.

KENNEDY, G.; BURLINGAME, B.; NGUYEN, N. Nutrient impact assessment of rice in major rice-consuming countries. **International Rice Commission Newsletter**, Rome, n. 1, v. 51, p. 33-42, 2002.

KHATOON, S.; SREERAMA, Y. N.; RAGHAVENDRA, D.; BHATTACHARYA, D.; BHAT, K. K. Properties of enzyme modified corn, rice and tapioca starches. **Food Research International**, Essex, v. 42, p.1426-1433, 2009.

KINGSLEY, R. P.; GOYAL, R. K.; MANIKANTAN, M. R.; ILYAS, S. M. Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behaviour of peach slice. **International Journal of Food Science and Technology**, London, v.42, n. 1, p. 65-69, 2007.

LABUZA, T. P. **Moisture sorption: practical aspects of isotherm measurement and use**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1984. 74 p.



LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. **Carboidratos en alimentos regionales Iberoamericanos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006. 648p.

LI, J. H.; VASANTHAN, T.; HOOVER, R.; ROSSNAGEL, B. G. Starch from hull-less barley: V. In-vitro susceptibility of waxy, normal, and high-amylose starches towards hidrolisis by alpha-amylases and amyloglucosidase. **Food Chemistry**, Barkin, v. 84, n. 4, p. 621-632, 2004.

LIMBERGER, V. M.; SILVA, L. P.; EMANUELLI, T.; COMARELA, C. G.; PATIAS, L. D. Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n.1, p. 84-88, 2008.

LIN, W.L.; FELDBERG, R.S. ; CLARK, E.D.B. Kinetics of Cell Growth and Heterologous Glucoamylases Production in Recombinant *Aspergillus nidulans*. **Biotechnology and Bioengineering**, New York, v. 41, 1993. p. 273-279.

LUMDUBWONG, N.; SEIB, P. A. Rice isolation by alkaline protease digestion of wet-millet rice flour. **Journal of Cereal Science**, London, v. 31, n. 1, p. 63-74, 2000.

MATSUGUMA, L. S.; LACERDA, L. G.; SCHNITZLER, E.; CARVALHO FILHO, M. S.; FRANCO, C. M. L. F.; DEMIATE, I. M. Characterization of native and oxidized starches of two varieties of peruvian carrot (*Arracacia xanthorrhiza*, B.) from two production areas of Paraná state, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 52, n. 3, p. 701-713, 2009.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for the determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**, Washignton, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.

MOURA, C. M. A. Qualidade de farinhas pré-gelatinizadas e macarrões formulados com arroz e linhaça. 2011. f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

NABESHIMA, E. H.; EL-DASH, A. A. Modificação química da farinha de arroz como alternativa para o aproveitamento dos subprodutos do beneficiamento do arroz. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v.22, n.1, p. 107-120, 2004.

NESTLÉ. **História da farinha láctea**. Disponível em: <<http://www.nestle.com.br/site/anestle.aspx>> . Acesso em: 20 out. 2011.

NOBRE, S. R.; SILVA, T.; CABRAL, J. E. P. Doença celíaca revistada. **Journal Português de Gastroenterologia**, Lisboa, v.14, n. 1, p. 184-193, 2007.

NOVOZYMES. **Enzimas e o Meio Ambiente**. Disponível em <[http://www\\_novozymes\\_com-images.htm](http://www_novozymes_com-images.htm)> Acesso em: 20 jun. 2011.

O'BRIEN, S. WANG, Y. Susceptibility of annealed starches to hydrolysis by  $\alpha$ -amylase and glucoamylase. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 72, n. 4, p.597-607, 2008.

PANDEY, A.; WEBB, C.; SOCCOL, C. R.; LARROCHE, C. **Enzyme Technology**. Berlin: Springer Us, 2005. 742p.

PASCOAL, A. M.; MITIDIERI, S.; FERNANDES, K. F. Immobilisation of  $\alpha$ - amylase from *Aspergillus niger* onto polyaniline. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v. 89, p. 300-306, 2011.

PAUCAR-MENACHO, L. M.; SILVA, L. H. D.; BARRETTO, P. A. D. A.; MAZAL, G.; FAKHOURI, F. M.; STEEL, C. J.; COLLARES-QUEIROZ, F. P. Desenvolvimento de massa alimentícia fresca funcional com a adição de isolado protéico de soja e polidextrose utilizando páprica como corante. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 4, p. 767-778, 2008.

PEREIRA, J. A. **Cultura do Arroz no Brasil: subsídios para a sua história**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 226p.

POSSIK, P. A.; FINARDI FILHO, F.; FRANCISCO, A.; LUIZ, M. T. B. Alimentos sem glúten no controle da doença celíaca. **Nutrire**, São Paulo, v. 29, p. 61-74, 2005.

PUCHONGKAVARIN, H.; VARAVINIT, S.; BERGTHALLER, W. Comparative study of pilot scale rice starch production by an alkaline and an enzymatic process. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 57, n. 3-4, p. 134 - 144, 2005.

SILVA, R. F.; ASCHERI, J. L. R. Extrusão de quirera de arroz para uso como ingrediente alimentar. **Brazil Journal Food Technology**, Campinas, v. 12, n. 3, p. 190-199, 2009.

SILVA, R. N.; ASQUIERI, E. R.; FERNANDES, K. F. Immobilization of *Aspergillus Níger* glucoamylase onto a polyaniline polymer. **Process Biochemistry**, London, v. 40, n. 1, p. 1155-1159, 2005.

SILVA, G. O. TARIZAWA, R. A.; PEDROSO, R. A.; FRANCO, C. M. C. Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n.1, p. 188-197, 2006.

SINGH, J. M.; KAUR, L.; MCCARTHYB, O. J. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications—A review. **Food Hydrocolloids**, London, v. 21, n. 1, p. 1-22, 2007.

SHIRAI, M. A.; HAAS, A.; FERREIRA, G. F.; MATSUGAMA, L. S.; FRANCO, M. L., DEMIATE, I. M. Características físico-químicas e utilização em alimentos de amidos modificados por tratamento oxidativo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 2, n. 2, p. 239-247, 2007.

STASOFT. **STATISTICA 7.0 for Windows** – Computar program manual. Tulsa: Statsoft, Inc., 2007. CD Room.

STORCK, C. R. **Variação na composição química em grãos de arroz submetidos a diferentes beneficiamentos**. 2004.108 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

SURMELY, R.; ALVAREZ, H. ; CEREDA, M.P. ; VILPOUX, O.F. Hidrólise do Amido. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. (coord.) **Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas**. v. 3, cap. 15, 2003. p. 377-395.

SWINKELS, J.J.M. **Industrial starch chemistry**: Properties, modifications and applications of starches. Veendam: AVEBE, 1996. 48 p.

VIEIRA, N. R. A.; RABELO, R. R. Qualidade tecnológica. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006, p. 869-900.

WALTER, M. E.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. Revisão bibliográfica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n.4, p. 1-9, 2008.

WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**, Saint Paul: Eagan Press, 1997. 241p.

WU, Y.; CHEN, Z.; LI, X.; WANG, Z. Retrogradation properties of high amylase rice flour and rice starch by physical modification. **Food Science and Technology**, Londres, v. 43, n. 1, p. 492-497, 2010.

ZAVAREZE, E. R.; EL HALAL, S. L. M.; PEREIRA, J. M.; RADUNZ, A. L. ELIAS, M. C.; DIAS, A. R. G. Caracterização química e rendimento de extração de amido de arroz com diferentes teores de amilose. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, p. 24-30, 2009.

## **PARTE 2**

### **5 ARTIGOS**

5.1) Caracterização da farinha de grãos quebrados de arroz modificada enzimaticamente com  $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase;

5.2) Efeito da temperatura de secagem nas características físicas, químicas e tecnológicas da farinha de grãos quebrados de arroz modificada enzimaticamente;

5.3) Propriedades tecnológicas, nutricionais e sensoriais de alimento sem glúten elaborado com farinha de grãos quebrados de arroz modificada enzimaticamente.

## 5.1 CARACTERIZAÇÃO DA FARINHA DE GRÃOS QUEBRADOS DE ARROZ MODIFICADA ENZIMATICAMENTE COM $\alpha$ -AMILASE E AMILOGLUCOSIDASE<sup>1</sup>

### Resumo

Os grãos quebrados de arroz são subprodutos gerados na indústria processadora de arroz durante o beneficiamento do cereal e tem sido utilizada para produção de amidos modificados sendo ideal por ser uma fonte de baixo custo, fácil aquisição e que permite produção industrial. A amiloglucosidase em combinação com  $\alpha$ -amilase é utilizada comercialmente para produção de xaropes de D-glicose (dextrose) e D-glicose cristalina. O propósito deste trabalho foi determinar o efeito da hidrólise enzimática da farinha de arroz para produção de uma farinha modificada com  $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase visando sua caracterização física, química e tecnológica agregando valor aos subprodutos. A hidrólise da farinha de grãos quebrados de arroz foi realizada a temperatura de 40°C em solução tampão acetato de sódio 0,025M, pH 5,0, em três concentrações de  $\alpha$ -amilase (1, 2 e 3UE/g farinha), nos tempos de 1 a 4 horas. Após determinadas as condições de maior produção de açúcares redutores, foi adicionada a amiloglucosidase no material hidrolisado, em três concentrações (1,5; 3,5 e 5,5 UE/g farinha), nos tempos de 1 a 5 horas, para produção de glicose. As análises foram realizadas nas farinhas de grãos quebrados de arroz e na farinha modificada e seca a 40°C na condição mais eficiente de hidrólise. Foram realizadas análises de composição centesimal, índices de absorção e solubilidade em água e leite, determinação de açúcares redutores, glicose, coordenadas de cor e microscopia eletrônica de varredura. A hidrólise foi mais eficiente utilizando 2UE de  $\alpha$ -amilase /g farinha, no tempo de 2 horas e 3,5UE de amiloglucosidase/g farinha no tempo de 3 horas. A farinha modificada enzimaticamente apresentou valores de açúcares redutores de 111,37 mg/g de farinha e teor de glicose de 83,20 mg/g de farinha. Conclui-se que a farinha modificada enzimaticamente nas melhores condições apresentou conteúdo de açúcares redutores, glicose, solubilidade em água e leite significativamente maiores que a farinha de grãos quebrados, alterando significativamente as coordenadas de cor e modificação em sua estrutura.

**Palavras - chave:** hidrólise enzimática, *Oryza sativa* L., grãos quebrados de arroz, amido modificado, amilases

<sup>1</sup>Artigo a ser publicado.

## Abstract

The grains are broken rice by-products generated in the processing industry for the processing of rice and cereals have been used for the production of modified starches to be ideal source of low cost, easily obtainable and allows industrial production. The amyloglucosidase in combination with  $\alpha$ -amylase is used commercially for production of D-glucose syrup (dextrose) and D-crystalline glucose. The purpose of this study was to determine the effect of enzymatic hydrolysis of rice flour to produce a modified flour with  $\alpha$ -amylase and amyloglucosidase aiming the physical, chemical and technological adding value to products. Hydrolysis of grain flour broken rice was carried out at 40 ° C in buffer 0.025 M sodium acetate, pH 5.0, at three concentrations of  $\alpha$ -amylase (1, 2 and 3UE / g flour) times in 1-4 hours. After certain conditions of increased production of reducing sugars, amyloglucosidase was added to the hydrolysed material in three concentrations (1.5, 3.5 and 5.5 EU / g flour), times in 1-5 hours, for the production of glucose. The analyzes were performed on flour of broken grains of rice flour and modified and dried at 40 ° C provided more efficient hydrolysis. Analyses of chemical composition, rates of absorption and solubility in water and milk, determination of reducing sugars, glucose, color coordinates and scanning electron microscopy. The hydrolysis is more efficient using 2U of  $\alpha$ -amylase / g flour at the time of 2 hours and 3.5 U of amyloglucosidase / g flour at the time of 3 hours. The enzymatically modified flour showed values of 111.37 mg / g of flour, sugars and 83.20 mg / g of flour in the glucose content. It follows that the flour enzymatically modified under the best conditions presented content of reducing sugars, glucose, milk and water solubility significantly higher than the grain flour broken significantly altering the color coordinates and modification its structure.

Key - words: enzymatic hydrolysis, *Oryza sativa* L., grains broken rice, modified starch, amylases

### 5.1.1 Introdução

Os grãos quebrados de arroz são subprodutos gerados na indústria processadora de arroz durante o beneficiamento do cereal e têm sido utilizados para produção de amidos modificados, sendo ideal por ser fonte de baixo custo, fácil aquisição e que permite produção industrial (LIMBERGER, 2006).

Os amidos modificados têm grande importância na indústria de alimentos. Devido às limitações das pastas e géis obtidos a partir de amidos nativos, foi necessário o desenvolvimento de muitos tipos de amidos modificados para aplicações alimentícias. Na indústria, o amido modificado está em constante evolução, com inúmeras possibilidades de gerar amidos com novas propriedades funcionais e agregar valor ao produto como o mercado tem exigido, aumentando suas aplicações (KAUR et al., 2012; SINGH; KAUR; MCCARTHYB, 2007).

A hidrólise do amido, tanto para fins analíticos quanto para industriais, pode ser feita por processo químico e enzimático. O amido não tem sabor, mas seus produtos de hidrólise apresentam gosto adocicado, como a maltose e a glicose. A produção de glicose a partir da hidrólise do amido de arroz pode conferir ingredientes para serem incorporados em diversos tipos de produtos de panificação, sorvetes, indústria de balas e confeitos (FRANCO; DAIUTO; DEMIATE, 2001; SEVERO; MORAIS; RUIZ, 2010).

As enzimas fazem parte de uma tecnologia limpa que visa, gradativamente, substituir muitos componentes químicos utilizados nos processos industriais atuais. Isso demonstra a capacidade de minimização de problemas ambientais oferecida pelas enzimas. As enzimas podem ser empregadas em baixas temperaturas e condições amenas, usadas para substituir condições e componentes químicos resultando em economia de energia e diminuição da poluição e utilizadas para o tratamento de resíduos biológicos (NOVOZYMES, 2011).

As  $\alpha$ -amilases são endoenzimas que catalisam as reações de hidrólise das ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 presentes na molécula de amido de forma desordenada, liberando produtos de médio peso molecular. A amiloglucosidase é uma enzima hidrolítica que catalisa a quebra das ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 a partir de uma extremidade não redutora das moléculas de amilose ou amilopectina do grânulo de amido e oligossacarídeos relacionados liberando  $\beta$ -D-glicose. Em uma velocidade menor, a amiloglucosidase também atua hidrolisando as ligações  $\alpha$ -1,6 (BOBBIO, BOBBIO, 2001; DAMODARAN; PARKIN; FENEMMA, 2010).

A glicoamilase (amiloglucosidase), em combinação com alfa amilase, é utilizada comercialmente para produção de xaropes de D-glicose (dextrose) e D-glicose cristalina. A

enzima age sobre o amido gelatinizado por completo como uma exoenzima, liberando, sequencialmente, unidades D-glicosil simples a partir da extremidade não redutora das moléculas por ligações  $\alpha$ -1,6. Conseqüentemente, a enzima pode hidrolisar por completo o amido a glicose, porém ela sempre é usada em amidos que foram despolimerizados com alfa-amilase para gerar mais fragmentos e, por consequencia, mais extremidades não redutoras (DAMODARAN; PARKIN; FENEMMA, 2010; UTHUMPORN; ZAIDUM; KARIM, 2010).

Outra utilização para as amilases é o processo de fabricação dos cereais para alimentação infantil, tais como farinha láctea (à base de cereais), mingau de milho, arroz e misturas de cereais. As amilases são adicionadas para diminuir a viscosidade da mistura de cereais durante o processo de pré-gelatinização facilitando o escoamento pelas tubulações nas instalações industriais. De acordo com Sumerley et al. (2003), a  $\alpha$ -amilase é considerada uma enzima liquidificante, porque reduz drasticamente a viscosidade de pastas gelificadas de amido. As amilases são inativadas com o aquecimento durante a etapa final do processo de secagem desses cereais, por isso são consideradas coadjuvantes tecnológicas de fabricação.

O propósito deste trabalho foi caracterizar a farinha de grãos quebrados de arroz submetida à hidrólise enzimática com  $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase quanto às análises químicas, físicas e tecnológicas, visando agregar valor aos subprodutos da indústria processadora de arroz e aproveitamento desses resíduos.

### **5.1.2 Material e Métodos**

Para a produção da farinha de arroz (*Oryza sativa* L.) utilizaram-se grãos quebrados das cultivares Puitá-RS e Irga 417- RS, doados em março de 2011, pela empresa Cristal Alimentos S/A, localizada em Aparecida de Goiânia, Goiás.

Para realização da modificação enzimática da farinha de arroz foram utilizadas as enzimas comerciais amiloglucosidase (SPRING AG) (*Aspergillus niger*) e  $\alpha$ -amilase (SPRING ALFA 125 000) (*Aspergillus oryzea*), na forma liofilizada, doadas em junho de 2010, pela empresa Granotec do Brasil S.A, localizada em Curitiba, Paraná.

#### **5.1.2.1 Moagem dos grãos quebrados de arroz**



A farinha de arroz (FGQ) foi obtida após a moagem dos grãos quebrados em moinho de martelos (Marconi, MA-090/CF, Piracicaba, Brasil) em diâmetros que variam de 0,150 e 0,250mm. A farinha foi acondicionada em embalagens plásticas de polietileno de baixa densidade (PEBD) e armazenada sob refrigeração pelo período entre abril a dezembro de 2011.

#### 5.1.2.2 Determinação da atividade enzimática

A determinação enzimática foi realizada no laboratório de Química de Proteínas – ICB/UFG. O ensaio para determinação da atividade da  $\alpha$ -amilase foi realizada segundo metodologia utilizada por Pascoal, Mitidieri e Fernandes (2011) com modificações na concentração da solução tampão de acetato de sódio e na temperatura do ensaio. O ensaio foi realizado com a adição de 20  $\mu\text{L}$  de uma solução de enzima a 80  $\mu\text{L}$  de tampão acetato de sódio 0,025 mol  $\text{L}^{-1}$ , pH 5,0 e 100  $\mu\text{L}$  de solução de amido 0,5% (p/v) preparada em tampão acetato de sódio 0,025 mol  $\text{L}^{-1}$ , em pH 5,0. Esta mistura foi mantida em banho-maria a temperatura de 40°C por 15 min. A atividade enzimática foi medida através da determinação da concentração de açúcar redutor formado usando o reagente 3,5-dinitrossalicílico (ADNS) (MILLER, 1959).

Para determinação da atividade da amiloglucosidase utilizou-se metodologia descrita por Silva, Asquiere e Fernandes (2005) com modificações na temperatura do ensaio e na concentração do tampão acetato de sódio. Foram adicionados 60 $\mu\text{L}$  da solução de enzima e 100 $\mu\text{L}$  da solução de substrato de 1% (p/v) de solução de amido e tampão acetato em pH 5,0 foram misturados em tubos tipo *ependorf* e incubados em banho-maria a temperatura de 40°C por 15 min. A reação foi interrompida adicionando 100 $\mu\text{L}$  de solução de ácido acético 1,0 mol  $\text{L}^{-1}$ . A concentração de glicose liberada pela reação foi determinada segundo o método de glicose oxidase (Kit Glicose Enzimática Líquida, Biotécnica).

#### 5.1.2.3 Hidrólise enzimática da farinha de grãos quebrados de arroz

Para a hidrólise enzimática da FGQ para produção de açúcares redutores foi utilizada a enzima comercial Spring  $\alpha$ -amilase (*Aspergillus oryzea*) onde as condições de hidrólise utilizadas conforme Beninca (2008). Foi utilizada farinha na proporção de 20% (p/v) em solução tampão acetato de sódio 0,025 mol  $\text{L}^{-1}$  pH 5,0, com a enzima liofilizada em diferentes concentrações (1UE, 2UE e 3UE por g de farinha) , definidos por meio de testes

preliminares. A hidrólise foi realizada a 40°C em banho-maria com agitação horizontal tipo *Dubnoff* (Tecnal TE-053) (Figura 1) até estabilidade na produção de açúcares redutores.

Após a hidrólise com a  $\alpha$ -amilase e estabilidade do processo, foi escolhida a melhor condição de produção de açúcares redutores (tempo e concentração da enzima  $\alpha$ -amilase), por meio de teste Tukey ao nível de 5% de significância. A enzima comercial Spring AG amiloglicosidase (*Aspergillus niger*) foi adicionada ao material previamente hidrolisado em diferentes concentrações (1,5UE, 3,5UE e 5,5UE por g de farinha) em solução acetato de sódio 0,025 mol L<sup>-1</sup> e pH 5,0, segundo Silva et al. (2005), tornando a solução 16% (p/v) de farinha e mantidos a 40°C em banho-maria com agitação horizontal tipo *Dubnoff* (Tecnal TE-053). A hidrólise foi realizada até atingir estabilidade na produção de glicose. A porcentagem de hidrólise foi calculada segundo O'Brien e Wang (2008) sendo descrita na Equação 1:

$$\% \text{ Hidrólise} = \frac{\text{Quantidade de açúcares redutores ou glicose produzidos}}{\text{Quantidade de amido (b.s)}} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

#### 5.1.2.4 Caracterização química, física e tecnológica das farinhas de grãos quebrados de arroz *in natura* e modificada enzimaticamente

As análises físicas e químicas da farinha de grãos quebrados de arroz *in natura* (FGQ) e da farinha de arroz modificada enzimaticamente (FMS) foram realizadas em triplicata. Foram quantificados conforme AOAC (1997), os teores de umidade (método nº 925.10); cinzas (método nº 923.03); proteína bruta (método nº 960.52); com fator conversão do nitrogênio em proteína de 5,75 para FGQ e FMS; lipídios totais (método nº 920.39C). Os carboidratos foram determinados pelo cálculo da diferença entre 100 g do alimento e a soma total dos valores encontrados para umidade, proteínas, lipídios e cinzas. Para realização dessas análises o material hidrolisado foi conservado sob refrigeração por 12hs e seco a temperatura de 40°C em estufa de esterilização Marconi até atingir peso constante. A moagem do material hidrolisado seco foi realizada segundo item 5.1.2.1, obtendo a farinha modificada (FMS).

Os parâmetros instrumentais de cor da FGQ e das FMS foram determinados em colorímetro Konica Minolta Chroma-Meter CR-400 conforme relatado por Paucar-Menacho et al. (2008). Os resultados foram expressos com a média aritmética de 6 repetições.

O índice de absorção e solubilidade em água (IAA e ISA) e em leite (IAL e ISL) foram determinados por Anderson et al. (1969) com modificações no tempo de centrifugação, segundo Equações 2, 3, 4 e 5.

$$IAA = \frac{Mrg}{[(Ma(bs)) - (Mre*3)]} * 100 \quad \text{(Equação 2)}$$

$$ISA = \frac{Mre * 3}{Ma (bs)} * 100 \quad \text{(Equação 3)}$$

$$IAL = \frac{Mrg}{Ma (bs) - (Mre * 3)} \quad \text{(Equação 4)}$$

$$ISL = \frac{(Mre - Mrc) * 3}{Ma (bs)} * 100 \quad \text{(Equação 5)}$$

Onde:

Mre = massa do resíduo de evaporação da amostra (g)

Mrc = massa do resíduo de evaporação do controle (g)

Ma = massa da amostra (g), base seca

Mrg = massa do resíduo de centrifugação (g)

A determinação de açúcares redutores foi realizada pelo método ADNS segundo Miller (1959), com leitura de absorbância no espectrofotômetro a 550nm. A determinação do conteúdo de glicose foi pelo kit glicose enzimática – Biotécnica com leitura de absorbância no espectrofotômetro a 510nm. A porcentagem de hidrólise de açúcar redutor foi determinada segundo O'Brien e Wang (2008).

As microestruturas das farinhas FGQ e FM foram visualizadas através de imagens obtidas pelo microscópio de varredura eletrônica (FEI Company, Quanta-200, Netherlands, EUA). As amostras foram alocadas em *stubs* de alumínio, utilizando uma fita dupla face, banhados com filme de ouro (10 nm) e examinadas com voltagem de aceleração de 10 kV, em

umentos de 80x, 2000x e 4000x. As análises físicas, químicas e tecnológicas foram realizadas no Laboratório de Análises Físico-Químicas de Alimentos do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina (DCA/UEL) e as análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas no Laboratório de Microscopia da UEL.

#### 5.1.2.5 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias dos resultados comparados pelo teste Tukey a 5% de probabilidade ( $P \leq 0,05$ ), por meio do programa Estatística versão 7.0 (STASOFT, 2007).

### 5.1.3 Resultados e Discussão

#### 5.1.3.1 Atividade das enzimas $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase

A otimização da hidrólise enzimática da FGQ foi realizada variando, dentre outros parâmetros, a concentração de enzimas, sendo necessário analisar a atividade enzimática das enzimas  $\alpha$ -amilase (SPRING ALFA 125.000) e amiloglucosidase (SPRING AG BR), para dosá-las com base na unidade enzimática. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1.1.

**Tabela 1.1.** Atividade enzimática da  $\alpha$ -amilase e amiloglucosidade.

Enzimas	Atividade Enzimática [UE (g de enzima) <sup>-1</sup> ]
$\alpha$ -amilase	6.166,70±0,06
Amiloglucosidase	408,02±0,07

UE= unidade de enzima

A atividade enzimática das preparações é específica de cada produtor ou comerciante e as enzimas exigem temperaturas e pH diferentes dependendo das condições de hidrólise e tipo de amido a ser utilizado, dificultando a comparação destas atividades a partir das fichas técnicas dos produtos e com dados de outros estudos. Além desses fatores ainda existem diversos tipos de metodologias para essa determinação com inúmeras adaptações, que elevam o grau de dificuldade das comparações de resultados. Neste estudo, utilizaram-se

metodologias para determinação da atividade enzimática que trabalharam com as mesmas enzimas e da mesma origem microbiana, sendo da  $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase provenientes de cepas do gênero *Aspergillus* (PASCOAL; MITIDIERI; FERNANDES, 2011; SILVA; ASQUIERI; FERNANDES, 2005).

Como neste trabalho a intenção foi trabalhar em condições brandas de temperatura para diminuir o custo de produção e pH comum entre as faixas das duas enzimas (ANEXOS A e B), foram realizadas modificações nas metodologias da atividade enzimática, sendo utilizadas em temperatura de 40°C e pH 5,0.

### 5.1.3.2 Hidrólise enzimática da farinha de grãos quebrados de arroz

Para facilitar a ação da enzima amiloglucosidase, foi decidido hidrolisar separadamente as duas enzimas para observar o comportamento de cada uma para hidrólise da FGQ, e evitar a utilização de excesso de enzimas. Primeiramente, foi utilizada a enzima  $\alpha$ -amilase para deixar o meio mais liquefeito para ação da amiloglucosidase, pois ela catalisa a quebra das ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 presentes na molécula de amido de forma desordenada, liberando produtos de médio peso molecular. A amiloglucosidase é uma enzima que catalisa a quebra das ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 a partir de uma extremidade não redutora das moléculas de amilose ou amilopectina do grânulo de amido e oligossacarídeos relacionados liberando  $\beta$ -D- glucose (DAMODARAN; PARKIN; FENEMMA, 2010).

A farinha de grãos quebrados de arroz (FGQ) na proporção 20% (p/v) foi submetida primeiramente a hidrólise com a enzima  $\alpha$ -amilase em solução de tampão acetato de sódio 0,025M, pH 5,0, até atingir estabilidade de produção de açúcares redutores. A Tabela 1.2 contém os valores de açúcares redutores produzidos durante hidrólise com  $\alpha$ -amilase em diferentes concentrações de enzima (1,0; 2,0 e 3,0 UE/g de farinha), em temperatura de 40°C e pH da solução tampão 5,0.

Os resultados apresentados na Tabela 1.2 demonstram que durante o período de estudo da hidrólise, no tempo de 1 hora, as 3 concentrações de  $\alpha$ -amilase (1, 2 e 3UE/g de farinha), apresentaram diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) no conteúdo de açúcares redutores em relação aos demais tempos (2, 3, 4 horas), e não diferiram entre eles ( $P > 0,05$ ). Pode-se observar que ocorreu uma estabilidade na produção de açúcares redutores a partir de 2 horas de hidrólise para todas concentrações de  $\alpha$ -amilase utilizadas.

**Tabela 1.2.** Resultados do conteúdo de açúcares redutores produzidos com  $\alpha$ -amilase em 3 diferentes concentrações a 40°C, durante 4 horas de hidrólise.

[ ] $\alpha$ -amilase <sup>1</sup>	Tempo (horas)			
	1	2	3	4
1	28,39 ± 0,96 <sup>A,b</sup>	37,84 ± 1,41 <sup>B,b</sup>	44,72 ± 1,31 <sup>A,a</sup>	40,87 ± 2,88 <sup>A,ab</sup>
2	28,15 ± 1,73 <sup>A,b</sup>	46,60 ± 2,82 <sup>A,a</sup>	46,05 ± 3,91 <sup>A,a</sup>	45,36 ± 3,27 <sup>A,a</sup>
3	32,59 ± 1,59 <sup>A,b</sup>	47,61 ± 2,92 <sup>A,a</sup>	47,57 ± 0,97 <sup>A,a</sup>	47,21 ± 2,38 <sup>A,a</sup>

<sup>1</sup>[UE /g de farinha].\* Valores de açúcares redutores expressos em mg/ g de farinha representados por média ± DP. Letras iguais (maiúsculas) entre as colunas e (minúsculas) entre as linhas significam que a quantidade de açúcares redutores produzidos em diferentes concentrações de enzimas não diferiram entre si (P > 0,05) pelo teste Tukey.

Nos tempos de 1, 3 e 4 horas de hidrólise, não houve diferença significativa entre as concentrações de  $\alpha$ -amilase (P > 0,05) no conteúdo de açúcares redutores, diferindo apenas no tempo de 2 horas, a concentração de 1UE de  $\alpha$ -amilase /g de farinha em relação às demais concentrações (P ≤ 0,05).

A melhor condição de hidrólise é a de 3UE de  $\alpha$ -amilase /g de farinha e tempo de 2 horas. Como essa não diferiu significativamente (P > 0,05) da condição de 2UE de  $\alpha$ -amilase /g de farinha, no tempo de 2 horas, optou-se por essa última que apresenta vantagem de ser economicamente mais viável.

Em estudo sobre o efeito da hidrólise enzimática de amidos de raízes e tubérculos com  $\alpha$ -amilase bacteriana, Rocha, Carneiro e Franco (2010) utilizaram 15% de amido (p/v) e realizaram hidrólise a temperatura de 37°C. Os maiores valores de açúcares redutores de mandioca foram obtidos com 4g/100g de amido (40mg/g de amido) após 48 horas de hidrólise. Em relação à hidrólise da farinha de arroz utilizada neste trabalho, obteve-se esse resultado (46,40 e 47,61 mg/g de farinha) com apenas 2 horas de hidrólise, nas concentrações de 2 e 3 UE de  $\alpha$ -amilase /g de farinha respectivamente, com concentração superior de 2,88% de açúcar redutor mg/g de farinha.

Na Tabela 1.3 estão expressos os resultados da porcentagem de hidrólise  $\alpha$ -amilase produzida no período de 4 horas. Para o cálculo do percentual hidrolisado, como neste trabalho não foi realizada análise de amido, utilizou-se o valor de 88,51% de amido (b.s), encontrado por Moura (2011) em grãos quebrados de arroz.

O melhor resultado encontrado nesse trabalho foi com a concentração de 3UE de  $\alpha$ -amilase /g de farinha com 5,37%, no período de 2 horas de hidrólise. Porém nesse mesmo tempo, com uma concentração menor (2UE de  $\alpha$ -amilase /g de farinha) obteve-se 5,26% que

não diferiu significativamente ( $P > 0,05$ ) da anterior, sendo a ideal para a adição da enzima amiloglucosidase.

**Tabela 1.3.** Porcentagem de grau de hidrólise com  $\alpha$ -amilase em 3 diferentes concentrações a  $40^{\circ}\text{C}$ , durante 4 horas de hidrólise.

[ ] $\alpha$ -amilase <sup>1</sup> (UE . g <sup>-1</sup> farinha)	Tempo (horas)			
	1	2	3	4
1	3,21± 0,22 <sup>A,c</sup>	4,27± 0,40 <sup>A,b</sup>	5,05± 0,30 <sup>A,a</sup>	4,62± 0,69 <sup>A,ab</sup>
2	3,19± 0,39 <sup>A,c</sup>	5,26± 0,64 <sup>A,ab</sup>	5,20± 0,88 <sup>A,ab</sup>	5,12± 0,74 <sup>A,b</sup>
3	3,68± 0,31 <sup>A,b</sup>	5,37± 0,66 <sup>A,a</sup>	5,37± 0,28 <sup>A,a</sup>	5,31± 0,54 <sup>A,a</sup>

<sup>1</sup>[UE /g de farinha ].\* Valores de açúcares redutores expresso % na farinha de arroz, representados por média ± DP. Letras iguais (maiúsculas) entre as colunas e (minúsculas) entre as linhas significam que a quantidade de açúcares redutores produzidos em diferentes concentrações de enzimas não diferiram entre si ( $P > 0,05$ ) pelo teste Tukey.

Em estudo com suscetibilidade de amidos submetidos ao processo de “annealing” e hidrólises com  $\alpha$ -amilase e glicoamilase nos Estados Unidos, O’Brien e Wang (2008) encontram valores de % de hidrólise, com 5 horas de hidrólise, com  $\alpha$ -amilase para batata (3,03%), amido de milho comercial Hylon VII (5,9%) e superiores aos encontrados neste trabalho para o milho comum (13,6%).

Após hidrólise com  $\alpha$ -amilase na concentração de 2UE de  $\alpha$ -amilase /g de farinha no período de 2 horas em banho-maria a temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$  realizou-se ensaio com 3 concentrações de amiloglucosidase (1,5; 3,5 e 5,5 UE/g de farinha) no material previamente hidrolisado até atingir estabilidade de produção de glicose, sendo estes valores apresentados na Tabela 1.4.

Para os tempos de 1 e 2 horas e concentrações de 1,5 e 3,5 UE de amiloglucosidase /g de farinha, os resultados não diferiram significativamente entre si ( $P > 0,05$ ) e diferiram para os demais tempos. Para a concentração da enzima de 5,5 UE de amiloglucosidase /g de farinha da enzima houve diferença significativa no conteúdo de glicose nos tempos de 1 e 2 horas de hidrólise ( $P \leq 0,05$ ), e a partir de 4 horas de hidrólise, não apresentou diferença significativa ( $P > 0,05$ ) na produção de glicose.

Na primeira hora de hidrólise, a concentração de 5,5UE de amiloglucosidase /g de farinha foi a que mais produziu glicose (47,74 mg/g de farinha). A produção de glicose nessa concentração de enzima diferiu significativamente em relação as demais (1,5 e 3,5 UE de amiloglucosidase /g de farinha) sendo que elas não diferiram entre si ( $P > 0,05$ ).

**Tabela 1.4.** Resultados de glicose produzidos com a enzima amiloglucosidase em 3 diferentes concentrações a 40°C, durante 5 horas.

[ ] amilo- glucosidase <sup>1</sup>	Tempo (horas)				
	1	2	3	4	5
1,5	34,51 ± 3,39 <sup>B,b</sup>	44,11 ± 2,45 <sup>C,b</sup>	51,38 ± 5,92 <sup>B,a</sup>	53,13 ± 3,74 <sup>B,a</sup>	50,58 ± 1,78 <sup>B,ab</sup>
3,5	38,85 ± 2,53 <sup>B,b</sup>	53,28 ± 1,78 <sup>B,b</sup>	66,53 ± 2,42 <sup>A,a</sup>	79,57 ± 4,66 <sup>A,a</sup>	73,80 ± 0,67 <sup>A,a</sup>
5,5	47,74 ± 1,42 <sup>A,c</sup>	62,48 ± 3,00 <sup>A,b</sup>	68,98 ± 2,86 <sup>A,b</sup>	87,44 ± 0,74 <sup>A,a</sup>	88,50 ± 1,60 <sup>A,a</sup>

<sup>1</sup>[UE /g de farinha ].\* Valores glicose expressos em mg/ g de farinha representados por média ± DP. Letras iguais (maiúsculas) entre as colunas e (minúsculas) entre as linhas significam que a quantidade de açúcares redutores produzidos em diferentes concentrações de enzimas não diferiram entre si ( $P > 0,05$ ) pelo teste Tukey

Para o tempo de hidrólise de 2 horas, as 3 concentrações diferiram significativamente entre si ( $P \leq 0,05$ ), sendo a concentração 5,5UE de amiloglucosidase /g de farinha a que produziu maior conteúdo de glicose (62,48mg/g de farinha). Nos tempos de 3, 4 e 5 horas de hidrólise com amiloglucosidase, as concentrações de 3,5 e 5,5 UE/g de farinha não apresentaram diferença significativa entre elas ( $P > 0,05$ ) e diferiram significativamente em relação a concentração de 1,5 UE de amiloglucosidase /g de farinha.

Pode-se observar que a partir do tempo de 3 horas de hidrólise ocorreu uma estabilidade de produção de glicose em todas as concentrações da amiloglucosidase e que não houve diferença significativa ( $P > 0,05$ ) no conteúdo de glicose em relação as concentrações de 3,5 e 5,5UE de amiloglucosidase /g de farinha.

Como não existe diferença significativa a partir da terceira hora entre os valores produzidos de glicose nas concentrações de 3,5 e 5,5 UE de amiloglucosidase /g de farinha, optou-se utilizar a concentração de amiloglucosidase de 3,5UE de amiloglucosidase/g de farinha e tempo de 3 horas, sendo essa condição mais econômica e com menor tempo de processo.

Na Tabela 1.5 encontram-se os valores de porcentagem de hidrólise de glicose produzidos durante 5 horas com diferentes concentrações de amiloglucosidase a 40°C.

Neste trabalho, o maior rendimento de hidrólise para produção de glicose encontrado foi no tempo de 5 hs, e concentração de 5,5UE de amiloglucosidase /g de farinha, porém não diferiu significativamente ( $P > 0,05$ ) entre os tempos 3 e 4 horas de hidrólise e entre a concentração de 3,5UE de amiloglucosidase /g de farinha. O tempo de 3 horas e a concentração de 3,5 UE de amiloglucosidase /g de farinha, torna a condição com maior



viabilidade, pois além do processo ser considerado de baixa energia, sendo realizado a 40°C, pode-se reduzir a quantidade utilizada de enzima.

**Tabela 1.5** Porcentagem de hidrólise (%) para produção de glicose durante 5 horas com enzima amiloglucosidase em 3 diferentes concentrações, a 40°C.

[ ] amilogluco sidase <sup>1</sup>	Tempo (horas)				
	1	2	3	4	5
1,5	3,90 ± 0,541 <sup>B,b</sup>	5,08 ± 0,561 <sup>B,b</sup>	5,80 ± 1,16 <sup>B,a</sup>	6,00 ± 0,845 <sup>B,a</sup>	5,71 ± 0,287 <sup>B,ab</sup>
3,5	4,39 ± 0,32 <sup>B,c</sup>	6,02 ± 0,43 <sup>A,b</sup>	7,52 ± 0,45 <sup>A,ab</sup>	8,99 ± 1,05 <sup>A,a</sup>	8,34 ± 0,11 <sup>A,a</sup>
5,5	5,40 ± 0,46 <sup>A,c</sup>	7,32 ± 0,68 <sup>A,b</sup>	7,80 ± 2,86 <sup>A,b</sup>	9,88 ± 0,726 <sup>A,a</sup>	10,00 ± 0,26 <sup>A,a</sup>

<sup>1</sup>[UE /g de farinha ].\* Valores glicose expressos em % na farinha de arroz, representados por média ± DP. Letras iguais (maiúsculas) entre as colunas e (minúsculas) entre as linhas significam que a quantidade de açúcares redutores produzidos em diferentes concentrações de enzimas não diferiram entre si (P > 0,05) pelo teste Tukey.

Kymura e Robyt (1995) no estudo com cinética e produtos de reação com enzima amiloglucosidase em diferentes fontes de amido (batata, tapioca e milho), com temperatura de hidrólise de 37°C, encontraram cerca de 1 a 8% de glicose no período de 4 horas, para os respectivos amidos. No presente trabalho foram encontrados valores de 6,00 a 9,88% (Tabela 1.5) de glicose neste mesmo tempo de hidrólise (4 horas) para farinha de arroz, e não para o amido puro. Moura (2011) encontrou que esta FGQ possui 87,55% de amido em sua composição, transformando para amido, apresenta conteúdo de glicose entre 5,25 a 8,64%, estando dentro do intervalo encontrado para os amidos hidrolisados encontrados no trabalho de Kymura e Robyt (1995).

Em estudo com suscetibilidade de amidos submetidos ao processo de “annealing” e hidrólises com  $\alpha$ -amilase e glicoamilase nos Estados Unidos, O'Brien e Wang (2008) encontram valores próximos de % de hidrólise com 5 horas de hidrólise com amiloglucosidase para batata (1,8%), amido de milho comercial Hylon VII (7,2%) e superiores para milho comum (25,6%).

Para Uthumporn, Zaidul e Karim (2010) a maioria das enzimas utilizadas para digestão de amido em temperaturas abaixo da gelatinização (amido cru) até o momento não produzem altos rendimentos de açúcares fermentáveis. Portanto, enzimas que podem digerir amido cru são economicamente atraentes porque elas aumentam o campo de utilização das

fontes de amido. Uma nova geração de enzimas amilolíticas como  $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase têm sido utilizadas em processos de baixa energia e podem efetivamente hidrolisar o amido em açúcares fermentáveis, como a glicose.

Segundo Cereda, Vilpoux e Demiate (2003) e Bobbio e Bobbio (2001), a proporção entre o conteúdo de amilose e amilopectina dos amidos que irá conferir características específicas à pasta de amido e a susceptibilidade quanto a ação das enzimas para produção de açúcares redutores e que variam de acordo com sua forma botânica.

Sendo assim, o estudo das diferentes concentrações de  $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase em diferentes tempos, teve como objetivo ajustar a proporção a ser utilizada das enzimas na hidrólise da FGQ.

#### 5.1.3.3 Análises químicas das farinhas de grãos quebrados de arroz *in natura* e modificada enzimaticamente

Após definidas as melhores condições de hidrólises, sendo 2 horas com concentração de 2UE/g de farinha da enzima  $\alpha$ -amilase e mais 3 horas com concentração de 3,5UE/g de farinha de amiloglucosidase, e temperatura de 40°C, a FGQ foi hidrolisada e seca em estufa a 40°C até atingir umidade entre 3,0 a 4,5%, sendo em seguida moída segundo descrito no item 5.1.2.1.

A FGQ e FMS foram analisadas quanto à composição centesimal, representado pela Tabela 1.6.

Segundo os valores expressos na Tabela 1.6, o conteúdo de proteínas na FGQ diferiu significativamente ( $P \leq 0,05$ ) em relação ao conteúdo encontrado na FMS após o processo de hidrólise enzimática, aumento de 4,25% após hidrólise. Os teores de lipídios, cinzas e carboidratos apresentaram diferenças significativas ( $P \leq 0,05$ ). O conteúdo de lipídios após hidrólise enzimática da FMS sofreu um decréscimo de 10,9%, tal fato pode ser explicado pela possível interação dos lipídios com proteínas e carboidratos, principalmente amilose (HIBI, 1994) ou decomposição e consequente liberação de ácidos graxos da possível formação de compostos voláteis durante o aquecimento (LICCIARDI et al., 2005; TAVARES, 2010) que ocorreram durante a secagem da FMS a 40°C.

O conteúdo de cinzas sofreu um acréscimo de 121,05% da FGQ para a FMS. Esse aumento pode ser devido a solução tampão em que a FGQ foi hidrolisada, que possui em sua composição o acetato de sódio. As cinzas são determinação do conteúdo mineral fixo, sendo o

sódio um mineral e apesar do acetato de sódio ter sido utilizado com a concentração da solução tampão de 0,025M, ocasionou esse acréscimo no conteúdo de cinzas da FMS.

**Tabela 1.6.** Composição centesimal da farinha de grãos quebrados de arroz *in natura* e da farinha modificada com enzima  $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase e seca a 40°C e de cultivares de farinhas de arroz encontrados por diversos autores na literatura.

Composição Centesimal*	Tratamentos		Referências		
	FGQ	FMS	Moura (2011)	Zavareze (2009)	Limberger (2006)
Proteínas	8,33±0,08 <sup>b</sup>	8,70±0,02 <sup>a</sup>	1,40±0,03	0,66	1,15±0,08
Lipídios	1,10±0,13 <sup>a</sup>	0,98±0,04 <sup>b</sup>	8,14±0,11	8,42	8,13±0,28
Cinzas	0,38±0,02 <sup>b</sup>	0,84±0,01 <sup>a</sup>	0,53 ±0,01	0,92	0,45±0,05
Carboidratos**	90,19±0,18 <sup>a</sup>	89,14±0,05 <sup>b</sup>	89,93± 0,13	88,42	-

\*Valores representados em base seca. \*\* Valores de carboidratos calculados por diferença. As letras diferentes representam diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ).

Os valores de carboidratos da FGQ e da FMS apresentaram diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ), com um decréscimo no conteúdo total de 0,79% da FMS em relação à FGQ. Essa diferença está relacionada às alterações nos teores de lipídios e cinzas, pois o conteúdo de carboidratos foi determinado por diferença.

Zavareze et al. (2009) estudaram extração e tratamentos hidrotérmicos de amido de arroz e caracterizaram a farinha de arroz da cultivar IRGA 417, proveniente do estado de Rio Grande do Sul, obtendo valores que concordam parcialmente aos encontrados neste trabalho. O conteúdo de lipídios foi 66,6% superior ao encontrado no trabalho, de proteínas 1,08% superior e o de cinzas 142,10% superior.

No estudo com modificação física e química do amido de quireira de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos, Limberger (2006) caracterizou a farinha de quireira de arroz proveniente do Rio Grande do Sul e de cultivar não mencionada. Na composição centesimal obteve valores 4,54% maiores para conteúdo de lipídios, 2,4% menor para o teor de proteínas e 15,55% maior no conteúdo de cinzas.

Na utilização de farinhas mistas de arroz e linhaça submetidas ao processo de extrusão termoplástica para produção de massa alimentícia sem glúten, Moura (2011) realizou a caracterização da farinha de grãos quebrados de arroz de cultivar não mencionada

proveniente da indústria Cristal Alimentos S/A em Goiânia, Goiás. O conteúdo de lipídios encontrado foi de 27,27% superior ao encontrado neste trabalho, teor de proteínas 2,28% inferior e para o conteúdo de cinzas os valores foram 39,47% superior.

Neste trabalho foram utilizados grãos quebrados de arroz provenientes de dois tipos de cultivares (IRGA 417 e Puitá inta CL) essas pequenas diferenças entre os demais autores podem ser provenientes das variações do conteúdo de lipídios e proteínas das diferentes cultivares utilizadas em cada trabalho. O grau de polimento pode ter influência no conteúdo de lipídios e cinzas, pois quanto menor a remoção das camadas periféricas do grão, menor será a remoção de farelo (rico em minerais, fibras e lipídios) (LAMBERTS et al., 2008; GARCIA, 2010).

A determinação do conteúdo de açúcares redutores e glicose nas farinhas antes e após a hidrólise, FGQ e FMS respectivamente, estão apresentados na Tabela 1.7.

**Tabela 1.7.** Conteúdo de açúcares redutores e glicose das farinhas de grãos quebrados de arroz e modificada com enzima  $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase, a 40°C.

Tratamentos	Açúcares redutores <sup>1</sup>	Glicose <sup>1</sup>
FGQ	0,56±0,08 <sup>a</sup>	0,48±0,07 <sup>a</sup>
FMS	111,37±1,00 <sup>b</sup>	83,20±0,99 <sup>b</sup>

<sup>1</sup> Valores expressos em mg /g farinha. As letras diferentes entre as colunas representam diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ).

As farinhas FGQ e FMS diferiram entre si ( $P \leq 0,05$ ) quanto aos conteúdos de açúcares redutores e glicose. Após a hidrólise enzimática com as enzimas  $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase, houve um aumento de 198 vezes no teor de açúcares redutores e 173 vezes no conteúdo de glicose, sendo que a glicose representa 74% dos açúcares redutores produzidos. Esse aumento pode ter ocorrido devido ao fato de que o material foi seco a 40°C por um período de 48 horas e durante esse tempo as enzimas ainda poderiam estar ativas, atuando na FGQ.

#### 5.1.3.4 Propriedades tecnológicas das farinhas de grãos quebrados de arroz *in natura* e modificada enzimaticamente

Os resultados expressos na Tabela 1.8 indicaram que o índice de solubilidade em água (ISA) diferiu significativamente ( $P \leq 0,05$ ) entre as farinhas, apresentando um aumento de 10 vezes para FMS. Os valores de IAA não diferiram ( $P > 0,05$ ) entre as farinhas FGQ e FMS.

O aumento da solubilidade em água da FMS possivelmente se deve ao fato da enzima glicoamilase (amiloglucosidase), em combinação com alfa amilase, ser utilizada comercialmente para produção de glicose. A enzima age sobre o amido liberando, sequencialmente, unidades D-glicosil simples a partir da extremidade não redutora das moléculas por ligações 1-6 (DAMODARAN; PARKIN; FENEMMA, 2010). Os açúcares possuem uma elevada solubilidade em água, sendo que a glicose apresenta solubilidade de  $107\text{g} \cdot 100\text{H}_2\text{O}^{-1}$  (BOBBIO; BOBBIO, 2001). Como a FMS possui em sua composição maior conteúdo de glicose (Tabela 1.7), isso justifica a alta solubilidade em água em relação à FGQ.

**Tabela 1.8** Índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA), índice de solubilidade em leite (ISL), índice de absorção em leite (IAL) das farinhas de grãos quebrados de arroz *in natura* e modificadas com enzima  $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase a  $40^\circ\text{C}$  e resultados encontrados em farinhas de arroz por diferentes autores.

Propriedade	Tratamentos		Autores		
	FGQ	FMS	Tavares (2010)	Barbosa et.al (2006)	(DORS; CASTIGLIONI; AUGUSTO-RUIZ, 2006)*
ISA <sup>1</sup>	1,47±0,02 <sup>b</sup>	14,76±0,23 <sup>a</sup>	1,23±0,09	1,82	2,10
IAA <sup>2</sup>	2,26±0,06 <sup>a</sup>	2,19±0,03 <sup>a</sup>	2,79±0,09	2,56	2,84
ISL <sup>1</sup>	11,68±0,28 <sup>b</sup>	24,54±0,06 <sup>a</sup>	-	-	-
IAL <sup>2</sup>	2,57±0,01 <sup>a</sup>	2,60±0,02 <sup>a</sup>	-	-	-

<sup>1</sup>Valores correspondem à média ± desvio-padrão (em %); <sup>2</sup>Valores correspondem à média ± desvio-padrão (g gel/g de matéria seca); Letras diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Em comparação com os outros autores, os valores de ISA para FGQ foram próximos aos encontrados em outros estudos: 17% superior a Becker (2010), 16,32% superior a Tavares (2010), 19,23 % inferior que Barbosa et al. (2006) e 30% inferior que Dors, Castiglioni e Augusto-Ruiz (2006) com farinhas de arroz.

Os resultados encontrados para IAA da FGQ apresentou valores que não concordam com trabalhos apresentados na Tabela 1.8, sendo 20,70% menor que encontrados nos estudos de Becker (2010), 18,99% que os de Tavares (2010), 11,71% que os de Barbosa et al. (2006) e 20,42% que os de Dors, Castiglioni e Augusto-Ruiz (2006). As diferenças possivelmente

sejam devido às características que cada cultivar de arroz possui, assim como conteúdo de amilose ou então à granulometria das farinhas trabalhadas por cada autor.

Segundo Leoro (2007) que trabalhou com o desenvolvimento de cereal matinal extrusado orgânico à base de farinha de milho e farelo de maracujá, o processo de moagem para a obtenção da farinha fina pode danificar o amido aumentando os sólidos solúveis e a taxa de absorção de água.

O IAA depende da disponibilidade de grupos hidrofílicos para se ligarem à molécula de água e está relacionado à viscosidade da pasta a frio, porque somente os grânulos de amido danificados absorvem água a temperatura ambiente e incham, resultando em incremento da viscosidade (Lustosa et al., 2009). A modificação enzimática realizada na temperatura de 40°C não foi suficiente para alterar os grânulos de amido para uma absorção mais eficiente.

A absorção de água por farinhas é uma propriedade relevante para aplicações em produtos cárneos, pães e bolos, pois valores altos da IAA são importantes para ajudar a reter a umidade dos mesmos e bastante desejáveis na utilização destes produtos, pois permite a adição de mais água à massa, melhorando suas características de manuseio e evitando o ressecamento do produto durante o armazenamento (MAIA et al., 1999; CLERICI; AIROLDI EL-DASH, 2008; OLIVEIRA et al., 2009).

Além dos produtos cárneos e de panificação, as farinhas com IAA elevado são indicadas como ingrediente de produtos de preparo rápido, pois esses necessitam absorver grande quantidade de água e, geralmente em baixas temperaturas (CLERICI; AIROLDI; EL-DASH, 2008).

O índice de solubilidade em leite (ISL) apresentou diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ), com aumento de 52,40% da FGQ em relação a FMS. As farinhas FGQ e FMS foram mais solúveis em leite que em água indicando dessa forma sua aplicação na elaboração de produtos instantâneos como alimentos infantis, sobremesas e produtos a base de leite (BECKER, 2010).

O índice de absorção em leite (IAL) entre as farinhas não diferiram entre si ( $P > 0,05$ ), apresentando baixa absorção em leite tanto na FGQ quanto para a FMS, indicando essa característica tanto em água como em leite.

5.1.3.5 Coordenadas de cor das farinhas de grãos quebrados de arroz e modificada enzimaticamente

As coordenadas de cor das farinhas FGQ e FMS estão apresentadas na Tabela 1.9. A escala L\* é uma indicação da luminosidade, ou seja, o quanto a amostra é clara ou escura (GOOD, 2002).

**Tabela 1.9.** Coordenadas de cor (L\*, a\* e b\*) das farinhas de grãos quebrados de arroz e modificadas com as enzimas  $\alpha$ -amilase amiloglucosidase e seca a 40°C e resultados encontrados estudos com farinha de arroz por diversos autores.

Tratamentos	Coordenadas de cor		
	L*	a*	b*
FGQ	95,32±0,10 <sup>a</sup>	0,17±0,03 <sup>a</sup>	5,32±0,15 <sup>a</sup>
FMS	94,24±0,30 <sup>b</sup>	0,05±0,01 <sup>a</sup>	8,60±0,54 <sup>b</sup>
Tavares (2010)	92,52±0,23	-0,22±0,02	5,04±0,05
Becker (2010)	92,49±0,13	-0,22±0,01	5,06±0,01
Moura(2010)	86,24±0,47	0,48±0,05	5,86±0,29
Barbosa et al (2006)	95,41	0,05	4,7

\*Letras diferentes mesma coluna diferem significativamente pelo teste Tukey ( $P \leq 0,05$ ); L\* = luminosidade; a\* = croma variando de verde (-60) a vermelho (+60); b\* = croma variando de azul (-60) ao amarelo (+60).

Quanto à luminosidade (L\*) a FGQ e FMS apresentaram diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ), sendo a FMS 1,13% mais escura que a FGQ. Isso se deve a diferença em sua composição devido à hidrólise enzimática, onde aumentou significativamente o conteúdo de açúcares redutores e glicose (Tabela 1.9), e durante a secagem a 40°C, estes podem ter tido interação com as proteínas, provocando escurecimento, tendo apenas iniciado uma possível reação de *Maillard* (DAMODARAN; PARKIN; FENEMMA, 2010).

Os valores da coordenada a\* não diferiram entre as farinhas FGQ e FMS. As farinhas apresentaram valores da coordenada a\* próximos a zero, mostrando que as amostras de FGQ e FMS não apresentaram pigmentação verde ou vermelha, e sim tenderam a neutralidade. Para coordenada de cromaticidade b\* as farinhas diferiram significativamente ( $P \leq 0,05$ ) apresentando tendência para o amarelo, sendo a FMS que apresentou um aumento de 61,80% em relação à FGQ.

Em estudo com mudanças físico-químicas e sensoriais de farinhas de arroz com torração em micro-ondas, Tavares (2010) encontrou valores inferiores 2,93% para luminosidade, valores próximos a neutralidade para cromaticidade a\* e 5,26% inferiores para cromaticidade b\*. Esses valores foram encontrados para cultivar IRGA 417, e demonstra que a farinha produzida mais escura e com menor tendência ao amarelo.

Becker (2010) trabalhando com caracterização de farinhas cruas e extrusadas obtidas a partir de grãos quebrados de diferentes genótipos de arroz, encontrou valores de 2,96% mais

escuras ( $L^*$ ) para cultivar IRGA 417, 64,78% maiores para cromaticidade  $a^*$  e para a cromaticidade  $b^*$  5,28% inferiores.

Moura (2011) encontrou resultados para farinha de grãos quebrados de diferentes cultivares 9,53% mais escuras ( $L^*$ ), cromaticidade  $a^*$  também próximas a neutralidade e cromaticidade  $b^*$  10,15% maior, com tendência mais para coloração amarela.

Barbosa et al. (2006) ao estudarem a elaboração de embutido tipo mortadela com farinha de arroz, de cultivar não mencionada, determinaram valores 1,22% superior de luminosidade, valores iguais para a cromaticidade  $a^*$  e 45,35% superiores para cromaticidade  $b^*$  dos valores encontrados nesse trabalho entre todos autores citados. A diferença de luminosidade entre as farinhas de arroz, em comparação aos outros estudos, provavelmente seja devido às diferenças entre as características químicas das farinhas (teor de pigmentos, minerais e fibras) e/ou às condições de beneficiamento dos grãos, e as cultivares que não foram mencionadas nos trabalhos. Os autores que trabalharam com cultivar IRGA 417 (Tavares, 2010 e Becker, 2010) apresentaram diferenças na coordenada de luminosidade em comparação com os resultados deste trabalho possivelmente, devido aos grãos quebrados utilizados neste estudo serem de cultivares mistas (IRGA 417 e Puitá inta CL), interferindo na claridade da farinha. Outro fator que pode influenciar na cor das farinhas cruas pode ser o grau de polimento do grão (LAMBERTS et al., 2008; GARCIA, 2010).

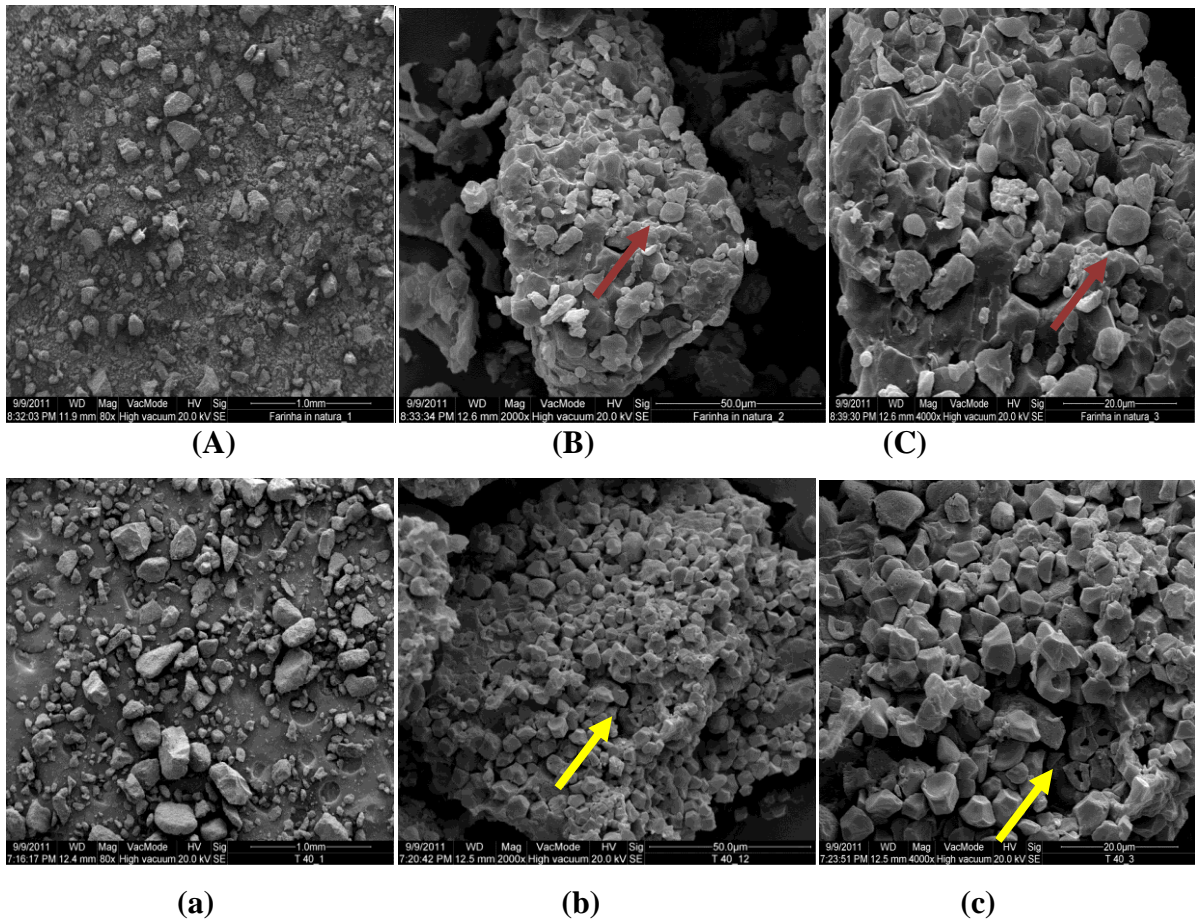
#### 5.1.3.6 Análise de microscopia eletrônica de varredura

As micrografias das farinhas FGQ e FMS estão apresentadas em três tipos de aumento e podem ser visualizadas na Figura 1.1.

É possível observar na Figura 1.1 A, B e C que os componentes da FGQ apresentaram-se soltos, com sua integridade preservada e podem ser identificados grânulos de amido, representados pelas setas vermelhas, com seu formato poliédrico característico peculiar do arroz e materiais não amiláceos, que se acham aderidos entre si ou aos grânulos de amido.

As FMS representadas pela Figura 1.1 (a, b e c) apresentaram aspecto diferenciado em relação a FGQ, indicando que a hidrólise ocorreu pelo aspecto de erosão e pela falta de uniformidade, indicados pelas setas amarelas. Rocha, Carneiro e Franco (2010) também encontraram o aspecto de erosão nos amidos de batata, batata-doce, mandioca e mandioquinha-salsa quando hidrolisados por  $\alpha$ -amilase bacteriana.





**Figura 1.1.** Micrografias das farinhas de grãos quebrados de arroz *in natura* (A, B e C) e modificada enzimaticamente e seca a 40°C (a, b e c) em microscópio eletrônico de varredura sob aumentos de 80x, 2000x e 4000x respectivamente.

A hidrólise torna os grânulos menos angulares e divididos em mais partes, pois com o processo ocorre o rompimento da cadeia de amilose ou amilopectina. Essas características também foram encontradas no trabalho de Quigley et al. (1998) nas microscopias de amido de arroz e batata hidrolisados com amiloglicosidase *Cladosporium gossypicola*.

As características da FMS estão relacionadas ao fato de que a enzima  $\alpha$ -amilase catalisa as reações de hidrólise das ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 presentes na molécula de amido de forma desordenada, e amiloglicosidase catalisa a quebra das ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 a partir de uma extremidade não redutora das moléculas de amilose ou amilopectina do grânulo de amido (DAMODARAN; PARKIN; FENEMMA, 2010).

### 5.1.4 Conclusão

A hidrólise enzimática a temperatura de 40°C foi mais eficiente utilizando a concentração de 2UE de  $\alpha$ -amilase /g de farinha no tempo de 2 horas e com 3,5UE de amiloglucosidase /g de farinha, tempo de 3 horas de hidrólise.

A farinha modificada enzimaticamente (FMS) nas melhores condições apresentou conteúdo de açúcares redutores, glicose, ISA e ISL significativamente maiores que a farinha de grãos quebrados.

O processo de hidrólise alterou significativamente as coordenadas de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) da FMS em comparação com a FGQ. Nas micrografias da análise de microscopia de varredura, a FMS apresentou grânulos menos angulares e divididos em mais partes, devido hidrólise das amilases no amido.

### 5.1.5 Agradecimentos

À CAPES e FAPEG pela bolsa de estudo e pelo apoio financeiro e pela parceria com a UEL.

### 5.1.6 Referências

ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN JUNIOR, E. L. Gelatinization of corn grits by rolland extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, Minneapolis, v. 14, n. 1, p. 44-11, 1969.

A.O.A.C. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC International**. Food composition, additives, natural contaminants. 16. ed. v. 2. Gaithersburg: AOAC, 1997.

BARBOSA, L. N.; GARCIA, L. V.; TOLOTTI, K. D.; GOELLNER, T.; AUGUSTO-RUIZ, W.; ESPÍRITO SANTO, M. Elaboração de embutido tipo mortadela com farinha de arroz. **Vetor**, Rio Grande, v. 16, n. 1 e 2, p. 11-20, 2006.

BECKER, F. S. **Caracterização de farinhas cruas e extrusadas obtidas a partir de grãos quebrados de diferentes genótipos de arroz**. 2010. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

BENINCA, C. **Emprego de técnicas termoanalíticas na análise de amidos nativos e quimicamente modificados**. 2008. 76f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

CEREDA, M. P.; VILPOUX, O.; DEMIATE, I. M. Amidos Modificados. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. (coord.) **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. v. 3, cap. 12, p. 246 - 333.

CLERICI, M. T. P. S.; AIROLDI, C.; EL-DASH, A. A. Production of acidic extruded rice flour and its influence on the qualities of gluten-free bread. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 42, n. 2, p. 618-623, 2009.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENEMMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4 ed. Porto Alegre, ARTMED, 2010. 900 p.

DORS, G. C.; CASTIGLIONI, G. L.; AUGUSTO-RUIZ, W. Utilização da farinha de arroz na elaboração de sobremesa. **Vetor**, Rio Grande, v. 16, n. 2, p. 63-67, 2006.

FRANCO, C. M. L.; DAIUTO, E. R.; DEMIATE, I. M. **Propriedades gerais do amido**. Campinas: Fundação Cargill, 2001, v. 1, 224p.

GUPTA, R.; MOHAPATRA, H.; GOSWAMI, V.K.; CHAUHAN, B. Microbial  $\alpha$ -amylases: a biotechnological perspective. **Process Biochemistry**, London, v. 38, n. 11, p. 1599-1616, 2003.

HIBI, H. Y. Effect of lipids on the viscoelastic properties of rice starch gel. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 46, n. 2, p. 44-48, 1994.

KAUR, B.; ARIFLIN, F.; BHAT, R. KARIM, A. A. Progress in starch modification in the last decade. **Food Hydrocolloids**, London, v. 26, n. 2, p. 398-404, 2012.

KYMURA, A. ROBYT J. F. Reaction of enzymes with starch granules: kinetics and products of the reaction with glucoamylase. **Carbohydrate research**, Barking, v. 277, n. 1. p. 87-107, 1995.

LAMBERTS, L.; ROMBOUTS, I.; BRIJS, K.; GEBRUERS, K.; DELCOUR, J. A. Impacto f parboiling conditions on maillard precursors and indicators in long-rain rice cultivars. **Food Chemistry**, London, v. 110, n. 4, p. 916-922, 2008.

LEORO, M. G. V. **Desenvolvimento de cereal matinal extrusado orgânico à base de farinha de milho e farelo de maracujá**. 2007. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

LICCIARDI, R.; PEREIRA, R. G. F. A.; MENDONÇA, L. M. V. L.; FURTADO, E. F. Avaliação físico-química de cafés torrados e moídos, de diferentes marcas comerciais, da região sul de Minas Gerais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 425-429, 2005.

LIMBERGER, V. M. **Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos**. 2006. 78f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Influência dos parâmetros de extrusão na absorção e solubilidade em água de farinhas pré-cozidas de mandioca e caseína. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 2, p. 223-229, 2009.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for the determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.

NOVOZYMES, **Enzimas e o Meio Ambiente** . Disponível em: <http://www.novozymes.com - images.htm> Acesso em: 20 jun. 2011.

O'BRIEN, S. WANG, Y. Susceptibility of annealed starches to hydrolysis by  $\alpha$ -amylase and glucoamylase. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 72, n. 4, p. 597-607, 2008.

PAUCAR-MENACHO, L. M.; SILVA, L. H. D.; BARRETTO, P. A. D. A.; MAZAL, G.; FAKHOURI, F. M.; STEEL, C. J.; COLLARES-QUEIROZ, F. P. Desenvolvimento de massa alimentícia fresca funcional com a adição de isolado protéico de soja e polidextrose utilizando páprica como corante. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 4, p. 767-778, 2008.

PASCOAL, A. M.; MITIDIARI, S.; FERNANDES, K. F. Immobilisation of  $\alpha$ - amylase from *Aspergillus niger* onto polyaniline. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v. 89, p. 300-306, 2011.

QUIGLEY, T. A.; KELLY, C. T.; DOYLE, E. M.; FOGARTY, W. M. Patterns of raw starch digestion by the glucoamylase of *Cladosporium Ossiypicola* ATCC 38026. **Process Biochemistry**, London, v. 33, n. 6, p. 677-681, 1998.

ROCHA, T. S.; CARNEIRO, A. P. A; FRANCO, C. M. L. Effect of enzymatic hydrolysis on some physicochemical properties of root and tuber granular starches. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 2, p. 544-551, 2010.

SEVERO, M. G.; MORAES, K.; RUIZ, W. A. Modificação enzimática da farinha de arroz visando a produção de amido resistente. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n.2, p. 345-350, 2010.

SINGH, J. M.; KAUR, L.; MCCARTHYB, O. J. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications—A review. **Food Hydrocolloids**, London, v. 21, n. 1, p. 1-22, 2007.

SILVA, R. N.; ASQUIERI, E. R.; FERNANDES, K. F. Immobilization of *Aspergillus Níger* glucoamylase onto a polyaniline polymer. **Process Biochemistry**, London, v. 40, n. 1, p. 1155-1159, 2005.

STASOFT. **STATISTICA 7.0 for Windows** – Computar program manual. Tulsa: Statsoft, Inc., 2007. CD Room.

SURMELY, R.; ALVAREZ, H.; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. Hidrólise do amido. In: CEREDA, M. P. (Coord.). **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas** (Série: Culturas de tuberosas amiláceas latino americanas). São Paulo: Fundação Cargill, 2003. v.3, cap. 15, p. 377-448.

TAVARES, J. S. **Mudanças físico-químicas e sensoriais de farinhas de arroz submetidas à torração em micro-ondas**. 2010. 218f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

UTHUMPORN, U.; ZAIDUL, I. S. M.; KARIM, A. A. Hydrolysis of granular starch at sub-gelatinization temperature using a mixture of amylolytic enzymes. **Food and bioproducts processing**, Rugby, v. 88, n. 1, p. 47-54, 2010.

ZAVAREZE, E. R.; EL HALAL, S. L. M.; PEREIRA, J. M.; RADUNZ, A. L. ELIAS, M. C.; DIAS, A. R. G. Caracterização química e rendimento de extração de amido de arroz com diferentes teores de amilose. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, II SSA, p. 24-30, 2009.

## 5.2. EFEITO DA TEMPERATURA DE SECAGEM NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS DA FARINHA DE ARROZ MODIFICADA ENZIMATICAMENTE<sup>1</sup>

### Resumo

Alterações nas propriedades tecnológicas dos amidos podem ser obtidas por processos físicos tais como tratamento térmico, exposição a radiações ou por processos químicos e enzimáticos, nos quais empregam-se reagentes ou enzimas específicas para alterar a estrutura das macromoléculas componentes do amido. A indústria do amido modificado está em constante evolução, com inúmeras possibilidades de gerar amidos com novas propriedades funcionais e agregar valor ao produto como o mercado tem exigido, aumentando assim suas aplicações. As principais razões que levam a modificação do amido são: modificar as características de cozimento (gomificação); diminuir a retrogradação e a tendência das pastas em formarem géis; aumentar a estabilidade das pastas aos ciclos de resfriamento e descongelamento, a transparência das pastas ou géis e a adesividade; melhorar a textura das pastas ou géis e a formação de filmes; e adicionar grupamentos hidrofóbicos e introduzir poder emulsificante. O propósito deste trabalho foi determinar o efeito das temperaturas de secagem (40, 80, 100, 120 e 140°C) nas características físicas, químicas e tecnológicas da farinha de arroz modificada enzimaticamente visando o aproveitamento dos grãos quebrados de arroz para utilização em produtos de indústrias alimentícias. As farinhas modificadas enzimaticamente e secas a 40, 80 e 100°C apresentaram teores de açúcares redutores de 111,37; 108,15 e 116,04 mg/g de farinha e 83,20; 75,90 e 77,30 mg/g de farinha de glicose respectivamente, sendo estes significativamente maiores em relação a farinha de grãos quebrados *in natura* e aos demais tratamentos. O tratamento da farinha modificada enzimaticamente e seca a 40°C apresentou valores de 14,75% de índice de solubilidade em água e de 24,54% em índice de solubilidade em leite, significativamente maiores quando comparados à farinha de grãos quebrados *in natura*. Com o aumento nas temperaturas de secagem, houve uma redução na solubilidade das farinhas e após o tratamento de 100°C as farinhas apresentaram maior resistência a força de cisalhamento, ao aquecimento e maior estabilidade a temperaturas mais baixas. Conclui-se que os diferentes tratamentos de secagem aplicados nas farinhas de grãos quebrados de arroz podem ser utilizados para produção de alimentos, como ingrediente de panificação, podendo ser destinados às crianças e portadores de doença celíaca.

Palavras - chave: *Oryza sativa* L. secagem, amido modificado, hidrólise enzimática.

<sup>1</sup> Artigo a ser publicado.

## Abstract

Changes in the technological properties of the starches can be obtained by physical means such as heat treatment is , exposure to radiation or by chemical and enzymatic processes, in which use is specific enzymes or reagents to modify the structure of the components of the starch macromolecules. The modified starch industry is constantly evolving, with numerous possibilities to generate starches with new functional properties and add value to the product as the market is required, thus increasing their applications. Changes in the technological properties of the starches can be obtained by physical means such as heat treatment is  $\neg$ , exposure to radiation or by chemical and enzymatic processes, in which use is specific enzymes or reagents to modify the structure of the components of the starch macromolecules. The modified starch industry is constantly evolving, with numerous possibilities to generate starches with new functional properties and add value to the product as the market is required, thus increasing their applications. The main reasons for the modification of starch are: modify the cooking characteristics (gomification), and decrease the retrogradation tendency of forming gels in folders, folders increase the stability of the cooling and thawing, the transparency of the pas  $\neg$  tures or gels and adhesiveness, and improve the texture of pastes or gels and the formation of films, and add groups and introducing hydrophobic emulsifying power. The purpose of this study was to determine the effect of drying temperature (40, 80, 100, 120 and 140 ° C) on the physical, chemical and technological properties of rice flour enzymatically modified in order to recycle these waste products for use in the food industry. The enzymatically modified flour and dried at 40, 80 and 100 ° C showed a reducing sugar of 111.37, 108.15 and 116.04 mg / g of flour, 83.20, 75.90 and 77.30 mg / glucose g flour, respectively, which are significantly higher than the flour of broken grains and fresh to the other treatments. The enzymatically modified flour treatment and dried at 40 ° C values were 14.75% solubility index of water and 24.54% in solubility index milk significantly greater when compared to grain flour broken in nature. With the increase in drying temperature, a reduction in the solubility of the meal and after treatment of 100 ° C, the flours showed greater resistance to shear force, and greater stability to heating at lower temperatures. It is concluded that the different drying treatments on grain flours broken rice can be used for food production, as an ingredient in baking, it can be for children and patients with celiac disease.

**Key - words:** *Oryza sativa* L., drying, modified starch, enzymatic hydrolysis.

### 5.2.1 Introdução

O arroz (*Oryza sativa* L), por ser basicamente um produto amiláceo, apresenta em sua composição o teor de amido de até 90% no produto beneficiado em peso seco e possui menores quantidades de lipídios, proteínas, fibras e cinzas. O amido é constituído por duas formas poliméricas de glicose, uma fração é denominada amilose e outra amilopectina. O conteúdo de amilose pode variar entre 7 e 33% em relação ao conteúdo total de amido nas diferentes cultivares de arroz, assim o componente majoritário é formado de amilopectina (ARAÚJO et al., 2003; SILVA, 2007). Os grãos quebrados de arroz são subprodutos gerados na indústria processadora de arroz durante o beneficiamento do cereal e têm sido utilizados para produção de amidos modificados sendo ideal por ser fonte de baixo custo, fácil aquisição e por permitir grande utilização industrial (LIMBERGER, 2006).

Os amidos modificados têm grande importância na indústria de alimentos. Devido às limitações das pastas e géis obtidos a partir de amidos nativos, foi necessário o desenvolvimento de muitos tipos de amidos modificados para aplicações alimentícias. Na indústria o amido modificado está em constante evolução, com inúmeras possibilidades de gerar amidos com novas propriedades funcionais e agregar valor ao produto como o mercado tem exigido, aumentando suas aplicações (KAUR et al., 2012; SINGH; KAUR; MCCARTHYB, 2007).

Alterações nas propriedades tecnológicas dos amidos podem ser obtidas por processos físicos tais como tratamento térmico, exposição a radiações ou por processos químicos, nos quais empregam-se reagentes específicos para alterar a estrutura das macromoléculas componentes do amido. O emprego industrial de amido se deve à sua característica única de poder ser usado diretamente na forma de grânulos, de grânulos intumescidos, na forma dispersa, como filme obtido da secagem de uma dispersão ou após extrusão, depois da conversão a uma mistura de oligossacarídeos ou a glicose, que pode ser isomerizada enzimaticamente para frutose. Dependendo do tipo, o amido pode, entre outras funções, facilitar o processamento, servir como espessante em sopas, caldos e molhos de carne, fornecer sólidos em suspensão e textura, ser ligante em embutidos de carne, estabilizante em molhos de salada, ou ainda proteger os alimentos durante o processamento (BEMILLER, 1997; SILVA et al., 2006)

Com a secagem, podem acontecer perdas de substâncias aromáticas voláteis, pela evaporação, e perda da capacidade de retenção de água, que pode ocorrer devido a desnaturação e agregação protéica. A torrefação pode levar à perda de polifenóis, devido à



degradação térmica progressiva. Contudo, esse efeito pode ser minimizado pela formação de produtos antioxidantes da reação de *Maillard*. Geralmente, acontece perda de valor nutritivo do alimento, principalmente, devido à destruição parcial de algumas vitaminas por oxidação e a complexação de aminoácidos e carboidratos devido à reação de *Maillard* (ORDÓÑEZ, 2005; DAMODARAN; PARKIN; FENEMMA, 2010).

Durante a desidratação podem ocorrer outras alterações, sobretudo se a temperatura for relativamente elevada. O amido pode gelatinizar adsorvendo fortemente a água e os componentes termoplásticos fundirem-se e amolecerem causando problemas de aglomeração e de aderência à embalagem do alimento. Também podem acontecer mudanças do estado amorfo, principalmente dos açúcares e o escurecimento não-enzimático. Este por sua vez pode modificar a cor, sabor e valor nutritivo dos alimentos (ORDÓÑEZ, 2005).

As principais razões que levam a modificação do amido são: modificar as características de cozimento (gomificação); diminuir a retrogradação e a tendência das pastas em formarem géis; aumentar a estabilidade das pastas ao resfriamento e descongelamento, a transparência das pastas ou géis e a adesividade; melhorar a textura das pastas ou géis e a formação de filmes; e adicionar grupamentos hidrofóbicos e introduzir poder emulsificante (BEMILLER 1997; CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003).

A hidrólise enzimática também tem sido utilizada como técnica que possibilita a compreensão da estrutura física e química do grânulo de amido e de seus componentes. A taxa de hidrólise dos grânulos de amido depende, fortemente, da origem botânica do sistema enzimático utilizado e do tamanho dos grânulos, entre outros fatores (FRANCO; CIACCO, 1992; FRANCO et al., 2001).

As enzimas fazem parte de uma tecnologia limpa que visa, gradativamente, substituir muitos componentes químicos utilizados nos processos industriais atuais. Isso demonstra a capacidade de minimização de problemas ambientais oferecida pelas enzimas. Podem ser empregadas em baixas temperaturas e condições amenas, usadas para substituir condições e componentes químicos resultando em economia de energia e diminuição da poluição e utilizadas para o tratamento de resíduos biológicos (NOVOZYMES, 2011).

As  $\alpha$ -amilases são endoenzimas que catalisam as reações de hidrólise das ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 presentes na molécula de amido de forma desordenada, liberando produtos de médio peso molecular. A amiloglicosidase (AMG) é uma enzima hidrolítica que catalisa a quebra das ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 a partir de uma extremidade não redutora das moléculas de amilose ou amilopectina do grânulo de amido e oligossacarídeos relacionados liberando  $\beta$ -D- glucose. Em uma velocidade menor, a amiloglicosidase também atua hidrolisando as

ligações  $\alpha$ -1,6 (BOBBIO, BOBBIO, 2001; FELLOWS; 2010; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

O propósito deste trabalho foi determinar o efeito da temperatura de secagem nas características físicas, químicas e tecnológicas da farinha de arroz modificada enzimaticamente visando o aproveitamento dos grãos quebrados de arroz para utilização em produtos das indústrias alimentícias.

## 5.2.2 Material e Métodos

Para a produção da farinha de arroz (*Oryza sativa* L.) utilizaram-se grãos quebrados das cultivares Puitá-RS e Irga 417- RS, doados pela empresa Cristal Alimentos S/A em março de 2011, localizada em Aparecida de Goiânia, Goiás.

Para realização da modificação enzimática da farinha de grãos quebrados de arroz (FGQ) foram utilizadas as enzimas comerciais, na forma liofilizada, amiloglicosidase (SPRING AG) (*Aspergillus niger*) e  $\alpha$ -amilase (SPRING ALFA 125 000) (*Aspergillus oryzae*), doadas pela empresa Granotec do Brasil S.A, localizada em Curitiba, Paraná.

### 5.2.2.1 Moagem dos grãos quebrados de arroz

A farinha de arroz (FGQ) foi obtida após a moagem dos grãos quebrados em moinho de martelos (Marconi, MA-090/CF, Piracicaba, Brasil) em diâmetros que variaram entre 0,150 e 0,250mm. A farinha foi acondicionada em embalagens de polietileno de baixa densidade (PEBD) e armazenada a temperatura de refrigeração pelo período de março a dezembro de 2011.

### 5.2.2.2 Hidrólise enzimática da farinha de grãos quebrados de arroz

Para a hidrólise enzimática da FGQ para produção de açúcares redutores foi utilizada a enzima comercial Spring  $\alpha$ -amilase (*Aspergillus oryzae*). As condições de hidrólise utilizadas para a FGQ foram 20% (p/v), proporção utilizada segundo metodologia de Beninca (2008), em solução 2UE de  $\alpha$ -amilase /g de farinha, em solução tampão acetato de sódio 0,025 mol L<sup>-1</sup>, pH 5,0 e temperatura de 40°C. O hidrolisado foi armazenado nessas condições em recipientes de polietileno em banho-maria com agitação tipo Dubnoff (Tecnal TE-053) por 2

horas. Posteriormente foi adicionada no material parcialmente hidrolisado a enzima comercial Spring AG amiloglucosidase (*Aspergillus Níger*), na concentração de 3,5UE de amiloglucosidase/g de farinha, diluída em solução tampão acetato de sódio com pH 5,0, tornando a concentração do material hidrolisado 16% (p/v) de FGQ, segundo Silva, Asquieri, Fernandes (2005) e retornando em seguida para o banho-maria por mais 3 horas. As bateladas foram de 60 g de farinha, 300mL de solução de acetato de sódio com 2UE farinha de  $\alpha$ -amilase/g de e 75mL de solução acetato de sódio 3,5UE de amiloglucosidase/g de farinha.

A porcentagem de hidrólise foi calculada segundo O'Brien e Wang (2008) e está descrita na Equação 1:

$$\% \text{ Hidrólise} = \frac{\text{Quantidade de açúcares redutores ou glicose produzidos}}{\text{Quantidade de amido (b.s)}} \quad (\text{Equação 1})$$

#### 5.2.2.3 Secagem das farinhas de grãos quebrados de arroz modificadas enzimaticamente

Os materiais hidrolisados com as enzimas  $\alpha$ -amilase e amiloglucosidase foram secos em diferentes temperaturas em estufa Marconi M033 (Tabela 2.1) até atingir valores de umidade entre 3,0-4,5%.

**Tabela 2.1.** Condições de secagem utilizadas nas farinhas modificadas enzimaticamente.

Tratamento	Temperatura
1	40°C
2	80°C
3	100°C
4	120°C
5	140°C

O material das bandejas utilizado para secagem foi starflon da marca Tramontina, com 30 cm de diâmetro, acondicionadas na estufa. Durante o período de secagem, as bandejas com o material hidrolisado foram alternadas periodicamente (1 em 1h) e giradas para que ocorresse uma secagem uniforme do produto. Apesar da hidrólise enzimática ocorrida a 40°C, essa temperatura foi adicionada nas condições de secagem para observar as modificações da FGQ

em comparação após a hidrólise e em temperaturas superiores. A secagem do material foi acompanhada até que o produto atingisse a faixa entre 3,0 e 4,5% de umidade por meio do analisador de umidade MB45 (OHAUS) luz halógena. Para a determinação da análise de umidade foram fixados os seguintes parâmetros: 2g de amostra no tempo de 6 min a 105°C e utilizado fator de correção (1,1), determinado por meio da análise de umidade em estufa à 105°C. Depois dos tratamentos de secagem, os produtos obtidos foram moídos e passados por peneira de 60 mesh para padronização do produto. Posteriormente realizou-se análises de composição centesimal, microscopia eletrônica, propriedades viscoamilográficas, pH, coordenadas de cor, índice de solubilidade e absorção em água e leite.

#### 5.2.2.4 Caracterização química, física e tecnológica das farinhas de grãos quebrados de arroz *in natura* e modificada enzimaticamente e secas em diferentes temperaturas

As análises físicas e químicas da farinha de arroz *in natura* (FGQ) e modificada enzimaticamente e secas (FMS) foram realizadas em triplicata. Foram quantificados conforme AOAC (1997), os teores de umidade (método nº 925.10); cinzas (método nº 923.03); proteína bruta (método nº 960.52); com fator conversão do nitrogênio em proteína de 5,75; lipídios totais (método nº 920.39C). Os carboidratos foram determinados pelo cálculo da diferença entre 100 gramas do alimento e a soma total dos valores encontrados para umidade, proteínas, lipídios e cinzas.

As coordenadas de cor da FMS foram determinadas em colorímetro Konica Minolta Chroma-Meter CR-400 conforme relatado por Paucar-Menacho et al. (2008). Os resultados foram expressos como a média aritmética de 6 repetições.

O índice de absorção em água (IAA) e leite (IAL) de solubilidade em água (ISA) e leite (ISL) foram determinadas conforme Anderson et al. (1969) com modificações na centrifugação da amostra, segundo Equações 2, 3, 4 e 5.

$$IAA = \frac{Mrg}{[(Ma(bs)) - (Mre*3)]} * 100 \quad (\text{Equação 2})$$

$$ISA = \frac{Mre * 3}{Ma (bs)} * 100 \quad (\text{Equação 3})$$

$$IAL = \frac{Mrg}{Ma (bs) - (Mre * 3)} \quad (\text{Equação 4})$$

$$ISL = \frac{(Mre - Mrc) * 3}{Ma (bs)} * 100 \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

Mre = massa do resíduo de evaporação da amostra (g)

Mrc = massa do resíduo de evaporação do controle (g)

Ma = massa da amostra (g), base seca

Mrg = massa do resíduo de centrifugação (g)

A determinação de açúcares redutores foi realizada pelo método ADNS segundo Miller (1959), com leitura de absorbância no espectrofotômetro a 550nm. A determinação do conteúdo de glicose foi pelo kit glicose enzimática – Biotécnica com leitura de absorbância no espectrofotômetro a 510nm.

As propriedades de pastas da FGQ e FMS foram monitoradas por meio do visco amilógrafo Brabender segundo metodologia descrita pela AACC (1983), nº 22/10. A concentração utilizada na análise foi de 10% de farinha para FGQ (40g de amostra em 400mL de água destilada) e 14% para FMS (56g de amostra em 400mL de água destilada), ambos corrigidos para 14% de umidade. As porcentagens utilizadas para realização das análises para a FGQ e FMS foram determinadas por meio de testes preliminares, até apresentarem leitura no gráfico. Não foi possível padronizar a porcentagem entre as farinhas devido não apresentarem leitura no gráfico Brabender nas mesmas proporções. A análise ocorreu de acordo com o seguinte regime tempo/temperatura: a amostra foi aquecida de 30°C para 95°C, mantendo-se a 95°C por 30 min e resfriado a 50°C, mantendo por 5 min. A taxa de aquecimento e resfriamento foi de 1,5° C por min e a velocidade da análise viscoamilográfica foi de 75rpm.

As microestruturas das farinhas FGQ e FMS foram visualizadas através de imagens obtidas pelo microscópio de varredura eletrônica (FEI Company, Quanta-200, Netherlands, EUA). As amostras foram alocadas em *stubs* de alumínio, utilizando uma fita dupla face, banhados com filme de ouro (10 nm) e examinadas com voltagem de aceleração de 10 kV, em aumentos de 80x, 2000x e 8000x.

#### 5.2.2.5 Análises estatísticas

Os dados foram analisados submetidos à análise de variância, sendo as médias dos resultados comparados pelo teste Tukey a 5% de probabilidade ( $P \leq 0,05$ ), por meio do programa Estatística versão 7.0 (STASOFT, 2007).

### 5.2.3 Resultados e Discussão

#### 5.2.3.1 Hidrólise enzimática da farinha de arroz (FGQ) e análises químicas das farinhas de grãos quebrados de arroz *in natura* (FGQ) e modificada enzimaticamente e secas (FMS) em diferentes temperaturas

Após definidas as melhores condições de hidrólises, 2 horas com 2UE de  $\alpha$ -amilase /g de farinha e 3 horas com 3,5 UE de amiloglucosidase /g de farinha, o material hidrolisado foi seco e moído segundo descrito no item 5.2.1.1.

Como a faixa de umidade final do produto foi padronizada para determinar a retirada da bandeja do secador, os tempos de secagem e a umidade relativa do ambiente variaram entre os tratamentos e os resultados encontrados estão apresentados na Tabela 2.2.

A farinha de grãos quebrados de arroz (FGQ) e as farinhas modificadas enzimaticamente e secas em diferentes temperaturas (FMS) foram analisadas quanto a composição centesimal e análise de açúcares redutores e glicose. Os resultados encontram-se na Tabela 2.3.

Os resultados expressos na Tabela 2.3 indicam que o teor de proteínas da FGQ diferiu significativamente ( $P \leq 0,05$ ) em relação a FMS<sub>40</sub> e FMS<sub>120</sub> e não diferiu significativamente em relação aos demais tratamentos de secagem ( $P > 0,05$ ), apresentando valores 4,25 e 3,23% menores a esses tratamentos respectivamente. As FMS<sub>100</sub>, FMS<sub>120</sub> e FMS<sub>140</sub> não diferiram significativamente entre si ( $P > 0,05$ ) em relação ao conteúdo de proteínas, sendo que a partir da temperatura de 100°C não houve alteração significativa entre os valores. O maior conteúdo

de proteínas foi encontrado na FMS<sub>40</sub> com 8,70%.

**Tabela 2.2.** Condições de secagem das farinhas modificadas enzimaticamente nas temperaturas 40, 80, 100, 120 e 140 °C, seguidos dos resultados do tempo de secagem e umidade final nos diferentes tratamentos.

Tratamento	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)	Tempo de secagem (min)	Umidade final do produto (%)
1	40	48	2880	3,0-4,5%
2	80	42	780	3,0-4,5%
3	100	45	480	3,0-4,5%
4	120	41	300	3,0-4,5%
5	140	42	180	3,0-4,5%

A FGQ diferiu significativamente ( $P \leq 0,05$ ) em relação as FMS em diferentes temperaturas em relação ao conteúdo de cinzas. Houve um aumento de 60,82%, após a hidrólise enzimática, no tratamento FMS<sub>40</sub>, possivelmente devido a utilização da solução de acetato de sódio para hidrólise da farinha de arroz, sendo o sódio um mineral, e possivelmente influenciou no teor de cinzas. As FMS em diferentes temperaturas de secagem apresentaram tendência de manter o conteúdo de cinzas entre 0,89 a 1,00%, mostrando que a temperatura de secagem não influenciou nesse parâmetro.

Em relação ao conteúdo de lipídios, as FGQ, FMS<sub>40</sub> e FMS<sub>80</sub> não apresentaram diferença significativa entre si ( $P > 0,05$ ) e diferiram dos demais tratamentos. As FMS<sub>100</sub>, FMS<sub>120</sub> e FMS<sub>140</sub> não diferiram significativamente entre si ( $P > 0,05$ ) e também apresentaram diferença dos demais tratamentos. O maior teor de lipídios foi encontrado para FMS<sub>100</sub> e a partir dessa temperatura, não apresentaram diferença significativa, ocorrendo um aumento de 43,30% em relação a FGQ.

O conteúdo de lipídios após hidrólise, na FMS<sub>40</sub> sofreu um decréscimo de 10,9% em relação a FGQ, possivelmente pela interação dos lipídios com proteínas e carboidratos, principalmente amilose (HIBI, 1994) ou decomposição e conseqüente liberação de ácidos graxos e da possível formação de compostos voláteis durante o aquecimento (LICCIARDI et al. 2005; TAVARES, 2010), que ocorreram durante a hidrólise a 40°C neste estudo.

Para os teores de carboidratos, a FGQ diferiu significativamente dos demais tratamentos ( $P \leq 0,05$ ) e as FMS<sub>40</sub>, FMS<sub>80</sub>, FMS<sub>100</sub>, FMS<sub>120</sub> e FMS<sub>140</sub> não apresentaram

diferença significativa entre elas ( $P > 0,05$ ).

O maior conteúdo de açúcar redutor foi encontrado na FMS<sub>100</sub> sendo que FMS<sub>40</sub> e FMS<sub>100</sub> não diferiram significativamente ( $P > 0,05$ ), diferindo significativamente dos demais. Os tratamentos FMS<sub>40</sub> e FMS<sub>80</sub> não diferiram significativamente entre si ( $P > 0,05$ ) e diferiu dos demais. Os tratamentos FGQ, FMS<sub>120</sub> e FMS<sub>140</sub> diferiram significativamente entre si e aos demais ( $P \leq 0,05$ ). O tratamento de FMS<sub>100</sub> produziu 207 vezes mais açúcares redutores em relação a FGQ.

O aumento no conteúdo de açúcares redutores na FMS<sub>100</sub> provavelmente está relacionado ao fato de que as enzimas utilizadas no tratamento de hidrólise, principalmente a amiloglucosidase, possui atividade até 90°C. Isto pode ter ocorrido no período em que o hidrolisado estava se aquecendo, até o momento de atingir a temperatura de 100°C.

Quanto à produção de glicose, os maiores valores encontrados foram nos tratamentos das FMS<sub>40</sub>, FMS<sub>80</sub> e FMS<sub>100</sub>, sendo que a FMS<sub>40</sub> e FMS<sub>100</sub> não apresentaram diferenças significativas entre eles ( $P > 0,05$ ). A FMS<sub>40</sub> produziu em torno de 173 vezes mais glicose que a FGQ, sendo esta diferente dos demais ( $P > 0,05$ ). Nos tratamentos das FMS<sub>120</sub>, FMS<sub>140</sub> e FMS<sub>160</sub> diferiram significativamente entre si ( $P \leq 0,05$ ), apresentando uma redução no conteúdo de glicose.

O aumento ocorrido no conteúdo de glicose na FMS<sub>40</sub> possivelmente foi devido a temperatura em que o material hidrolisado foi seco (40°C), temperatura em que as duas enzimas ainda apresentavam atividade, e por ter permanecido na estufa por cerca de 48 horas, continuaram agindo com o substrato.

Correia et al. (2009) em estudo com efeitos das temperaturas de secagem nas propriedades morfológicas e químicas de farinhas de castanhas, encontraram aumento de açúcares redutores, devido a utilização de enzimas com propriedades amilolíticas, como  $\alpha$ -amilase, glicoamilase, entre outras. A maioria das enzimas são ativas em temperaturas de secagem entre 55-60°C, promovendo aumento no conteúdo de açúcares redutores.



**Tabela 2.3.** Composição centesimal da farinha de grãos quebrados de arroz *in natura* e das farinhas modificadas enzimaticamente com enzima  $\alpha$ -amilase e amiloglicosidase, secas nas temperaturas de 40, 80, 100, 120 e 140°C.

	<b>Tratamentos</b>					
	<b>FGQ</b>	<b>FMS<sub>40</sub></b>	<b>FMS<sub>80</sub></b>	<b>FMS<sub>100</sub></b>	<b>FMS<sub>120</sub></b>	<b>FMS<sub>140</sub></b>
<b><u>Composição centesimal*</u></b>						
<b>Proteínas</b>	8,33±0,08 <sup>c</sup>	8,70±0,02 <sup>a</sup>	8,44±0,06 <sup>bc</sup>	8,49±0,02 <sup>abc</sup>	8,66±0,04 <sup>ab</sup>	8,53±0,09 <sup>abc</sup>
<b>Cinzas</b>	0,38±0,02 <sup>c</sup>	0,97±0,02 <sup>a</sup>	1,03±0,02 <sup>a</sup>	0,99±0,01 <sup>a</sup>	0,99±0,01 <sup>a</sup>	0,89±0,00 <sup>b</sup>
<b>Lipídios</b>	1,10±0,02 <sup>b</sup>	0,98±0,02 <sup>b</sup>	1,02±0,04 <sup>b</sup>	1,94±0,03 <sup>a</sup>	1,90±0,03 <sup>a</sup>	1,82±0,02 <sup>a</sup>
<b>Carboidratos**</b>	90,19±0,18 <sup>a</sup>	89,14±0,05 <sup>b</sup>	89,51±0,15 <sup>b</sup>	89,45±0,02 <sup>b</sup>	89,24±0,09 <sup>b</sup>	89,43±0,24 <sup>b</sup>
<b><u>Açúcares</u></b>						
<b>Açúcares Redutores</b>	0,56±0,08 <sup>e</sup>	111,37±1,00 <sup>ab</sup>	108,15±1,11 <sup>b</sup>	116,04±1,05 <sup>a</sup>	82,25±1,52 <sup>c</sup>	73,24±0,09 <sup>d</sup>
<b>Glicose</b>	0,48±0,07 <sup>e</sup>	83,20±0,99 <sup>a</sup>	75,90 ±1,74 <sup>b</sup>	77,30±2,70 <sup>ab</sup>	48,47±0,98 <sup>c</sup>	39,75±1,15 <sup>d</sup>

\*Valores representados em base seca. \*\* Valores de carboidratos calculados por diferença. As letras diferentes entre as colunas representam diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) pelo Teste de Tukey.

O tratamento térmico, no entanto, também pode favorecer o aumento do valor nutricional de produtos alimentícios, devido à desnaturação de proteínas e melhoria nas características sensoriais, além de inativar enzimas, fatores antinutricionais e micro-organismos (SGARBIERI, 1996).

A hidrólise do amido devido ao calor pode levar a dextrinização, esta ocorre quando os amidos são submetidos a temperaturas de 100 °C a 200 °C por diferentes períodos de tempo, sendo estas as mesmas temperaturas que normalmente são utilizadas nos processos de torração. As dextrinas são compostos com estrutura química semelhante as do amido, porém de menor peso molecular, sendo também mais solúveis e originando soluções menos viscosas. A 200°C a dextrinização é completa e acima dessa temperatura o amido se decompõe com a formação de caramelos, produtos escuros e amargos (BOBBIO, BOBBIO, 2001; FRANCO, et al., 2002).

Zavareze et al. (2009) estudaram extração e tratamentos hidrotérmicos de amido de arroz e caracterizaram a farinha de arroz proveniente do estado de Rio Grande do Sul da cultivar IRGA 417, obtendo valores diferentes aos encontrados neste trabalho. Nas farinhas de arroz *in natura* o conteúdo de lipídios relatado foi de 66,6% superior ao encontrado neste trabalho, 1,08% superior ao teor de proteínas e 142,10% superior ao teor de cinzas.

No estudo com modificação física e química do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos, Limberger (2006) caracterizou a farinha de quirera de arroz proveniente do Rio Grande do Sul de cultivar não mencionada. Na composição centesimal da farinha de quirera de arroz *in natura* obtiveram valores 4,54% maiores para conteúdo de lipídios, redução de 2,4% no teor de proteínas e aumento de 15,55% no conteúdo de cinzas.

Em estudo com a utilização de farinhas mistas de arroz e linhaça submetidas ao processo de extrusão termoplástica para produção de massa alimentícia sem glúten, Moura (2010) realizou a caracterização da farinha de grãos quebrados de arroz de cultivar não mencionada oriunda da indústria Cristal Alimentos S/A localizada em Aparecida de Goiânia, Goiás. O conteúdo de lipídios encontrado foi 27,27% superior ao encontrado neste trabalho, para proteínas foi 2,28% inferior e com relação a cinzas, 39,47% superior.

Como neste trabalho foram utilizados grãos quebrados de arroz provenientes de dois tipos de cultivares (IRGA 417 e Puitá inta CL) que podem ter causado essas diferenças entre os demais autores nas variações do conteúdo de lipídios e proteínas. Quanto ao teor de cinzas, o grau de polimento também pode ter influenciado na diferença entre os estudos, pois quanto menor a remoção das camadas periféricas do grão, menor pode ser a remoção de farelo (rico

em minerais e fibras) podendo interferir nesse conteúdo (LAMBERTS et al., 2008; GARCIA, 2010).

#### 5.2.3.2 Propriedades tecnológicas das farinhas de grãos quebrados de arroz *in natura* e modificadas enzimaticamente e seca em diferentes temperaturas

Os resultados obtidos para as FGQ, FMS<sub>40</sub>, FMS<sub>80</sub>, FMS<sub>100</sub>, FMS<sub>120</sub> e FMS<sub>140</sub> dos índices de solubilidade em água e leite (ISA e ISL) e índices de absorção em água e leite (IAA e IAL) estão apresentados na Tabela 2.4.

A FGQ e a FMS<sub>40</sub> diferiram significativamente dos demais tratamentos ( $P \leq 0,05$ ) para o ISA. Os tratamentos da FMS<sub>80</sub> e FMS<sub>100</sub> não diferiram significativamente entre si ( $P > 0,05$ ) e diferiram em relação aos demais. Isso também ocorreu com a FMS<sub>120</sub> e FMS<sub>140</sub>, que não apresentaram diferença significativa entre si ( $P > 0,05$ ) e diferiram dos demais.

O índice de solubilidade em água (ISA) apresentou um aumento de 10 vezes para FMS<sub>40</sub> em relação a FGQ, modificado pelo efeito da hidrólise na farinha *in natura*. Dentre os tratamentos, a FMS<sub>40</sub> foi a que apresentou maior valor no ISA, com 14,75%. Pode-se observar que com o aumento gradativo da temperatura de secagem das FMS ocorreu uma redução de 53,22% no ISA, da FMS<sub>40</sub> para FMS<sub>140</sub>. Mesmo com essa redução, o ISA da FMS<sub>140</sub> apresentou 4,69 vezes maior que o ISA da FGQ.

Os resultados encontrados nesse trabalho demonstram que os valores de ISA diminuíram drasticamente a partir de 100°C, possivelmente essa redução está associada ao fato de que o conteúdo de açúcares redutores também diminuiu drasticamente após essa temperatura. Os açúcares possuem uma elevada solubilidade em água (BOBBIO; BOBBIO, 2001). Como as FMS<sub>40</sub>, FMS<sub>80</sub> e FMS<sub>100</sub> possuem em sua composição maior conteúdo de glicose, pode-se afirmar que isso influenciou na solubilidade em água em relação a FGQ.

Os resultados encontrados para o ISA em FGQ por Becker (2010), Tavares (2010) foram 17% e 16,32% superiores e por Barbosa et al.(2006), Dors, Castiglioni e Augusto-Ruiz (2006) foram 19,23% e 30% inferiores, respectivamente.

Os valores de IAA para as FMS<sub>40</sub>, FMS<sub>80</sub>, FMS<sub>100</sub>, FMS<sub>120</sub> e FMS<sub>140</sub> apresentaram diferenças significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre si, sendo que a FMS<sub>40</sub> não diferiu significativamente da FGQ. O aumento do IAA apresentou tendência com o aumento da temperatura de secagem. A modificação enzimática não influenciou no IAA, para a FGQ e a FMS<sub>40</sub>, que não diferiram significativamente entre si.

Além dos produtos cárneos e de panificação as farinhas com IAA elevado são indicadas como ingrediente de produtos de preparo rápido, pois esses necessitam absorver grande quantidade de água e, geralmente em baixas temperaturas (CLERICI; EL-DASH, 2008). A absorção de água por farinhas é uma propriedade relevante para aplicações em produtos cárneos, pães e bolos, pois valores altos da IAA são importantes para ajudar a reter a umidade dos mesmos e bastante desejáveis na utilização destes produtos, pois permite a adição de mais água à massa, melhorando suas características de manuseio e evitando o ressecamento do produto durante o armazenamento (MAIA et al., 1999; CLERICI; EL-DASH, 2008; OLIVEIRA et al., 2009).

Os valores de IAA encontrados neste trabalho, foram 20,70% menores que encontrados por Becker (2010), 18,99% aos de Tavares (2010), 11,71% aos de Barbosa et al. (2006) e 20,42% aos de Dors, Castiglioni e Augusto-Ruiz (2006).

Essas diferenças possivelmente sejam também devido às características que cada cultivar de arroz possui, assim como o conteúdo de amilose ou então à granulometria das farinhas trabalhadas por cada autor. Segundo Leoro (2007) que trabalhou com o desenvolvimento de cereal matinal extrusado orgânico à base de farinha de milho e farelo de maracujá verificou que o processo de moagem para a obtenção da farinha fina pode danificar o amido aumentando os sólidos solúveis e a taxa de absorção de água.

Outro fator encontrado por Tavares (2010) no estudo com mudanças físico-químicas e sensoriais de farinhas de arroz submetidas à torração em micro-ondas em diferentes potências e umidade é que a alta hidrofobicidade superficial das proteínas desnaturadas podem promover a formação de uma matriz protéica capaz de reter quantidades significativas de água em sua estrutura. Sendo assim, nas farinhas submetidas aos tratamentos acima de 100°C, pode ter ocorrido a formação dessa matriz protéica, aumentando o IAA em relação às farinhas secas em temperaturas mais brandas.

O índice de absorção em água (IAA) e o índice de solubilidade (ISA) variam de acordo com o grau de gelatinização e dextrinização sofridos pelo amido durante o processamento. Somente os grânulos de amido gelatinizados absorvem água em temperatura ambiente e incham. O ISA, por sua vez, é um parâmetro que reflete o grau de degradação total do grânulo de amido, onde quanto maior a dextrinização, maior a degradação das moléculas de amido em moléculas menores (dextrinas), que são mais solúveis em água e, conseqüentemente, maior o ISA (GROSSMANN, 1986; ANDERSON et al., 1969).

**Tabela 2.4.** Índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA), índice de solubilidade em leite (ISL), índice de absorção em leite (IAL) em farinhas de grãos quebrados de arroz e nas farinhas modificadas e secas nas temperaturas 40, 80, 100, 120 e 140°C.

Propriedades	Tratamentos					
	FGQ	FMS <sub>40</sub>	FMS <sub>80</sub>	FMS <sub>100</sub>	FMS <sub>120</sub>	FMS <sub>140</sub>
ISA <sup>1</sup>	1,47±0,02 <sup>d</sup>	14,75±0,23 <sup>a</sup>	9,82± 0,31 <sup>b</sup>	9,57± 0,21 <sup>b</sup>	6,30±0,17 <sup>c</sup>	6,90±0,09 <sup>c</sup>
IAA <sup>2</sup>	2,26±0,06 <sup>de</sup>	2,18±0,03 <sup>e</sup>	2,53±0,04 <sup>d</sup>	4,38±0,09 <sup>c</sup>	5,03±0,05 <sup>b</sup>	5,35±0,06 <sup>a</sup>
ISL <sup>1</sup>	11,68± 0,28 <sup>d</sup>	24,54± 0,06 <sup>a</sup>	23,98± 0,84 <sup>a</sup>	22,65± 0,09 <sup>ab</sup>	20±38 <sup>bc</sup>	19,50±0,30 <sup>c</sup>
IAL <sup>2</sup>	2,58± 0,01 <sup>c</sup>	2,60±0,02 <sup>c</sup>	2,72±0,04 <sup>c</sup>	4,67±0,21 <sup>b</sup>	5,00±0,02 <sup>b</sup>	6,35±0,25 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Valores correspondem à média ± desvio-padrão (em %);<sup>2</sup>Valores correspondem à média ± desvio-padrão (g gel/g de matéria seca); Letras diferentes entre as linhas diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

A FGQ apresentou diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) em relação aos demais tratamentos para o ISL. O índice de solubilidade em leite (ISL) não apresentou diferença significativa entre as FMS<sub>120</sub> e FMS<sub>140</sub> ( $P \leq 0,05$ ) e a FMS<sub>140</sub> diferiu dos demais tratamentos. As FMS<sub>40</sub>, FMS<sub>80</sub> e FMS<sub>100</sub> não diferiram significativamente ( $P > 0,05$ ) entre si e a FMS<sub>100</sub> não diferiu da FMS<sub>120</sub>. Com a hidrólise enzimática, houve um aumento de 52,40% do ISL da FGQ para FMS<sub>40</sub>. O ISL também apresentou tendência de com aumento nas temperaturas de secagem. As FGQ e todas FMS em diferentes temperaturas foram mais solúveis em leite que em água. Essas farinhas podem ter como aplicação em produtos matinais como alimentos infantis, sobremesas e produtos a base de leite para consumo (BECKER, 2010).

O índice de absorção em leite (IAL) para as FGQ, FMS<sub>40</sub>, FMS<sub>80</sub> não diferiram entre si ( $P > 0,05$ ), diferindo dos demais tratamentos. As FMS<sub>100</sub> e FMS<sub>120</sub> não apresentaram diferença significativa entre si ( $P > 0,05$ ) e diferiram dos demais tratamentos em relação ao IAL. A FMS<sub>140</sub> apresentou maior IAL e diferiu significativamente de todos tratamentos.

O IAL apresentou a mesma tendência do IAA para os tratamentos, sendo que a FMS<sub>140</sub> apresentou o maior valor, de 6,35%. Mesmo com esse aumento de 2,46 vezes na solubilidade em leite em relação à FGQ, a FMS<sub>140</sub> apresentou valores baixos de IAA, não indicada para ser utilizada como ingrediente em produtos para consumo sem aquecimento e em alimentos instantâneos, como achocolatados e sopas.

### 5.2.3.3 Propriedades viscoamilográficas das farinhas de grãos quebrados de arroz *in natura* e modificada enzimaticamente e secas em diferentes temperaturas.

Na Tabela 2.5 pode-se observar os resultados das análises viscoamilográficas da FGQ e das FMS em diferentes temperaturas. A temperatura de empastamento não apresentou variação em relação à FGQ e a FMS<sub>40</sub>, para os tratamentos FMS<sub>80</sub> e FMS<sub>100</sub> ocorreu uma redução dessa temperatura de 8,04%, e em seguida um aumento de 11% para as FMS<sub>120</sub> e FMS<sub>140</sub>.

Os grânulos de amido, quando aquecidos em presença de água acima de uma determinada temperatura, formam uma suspensão viscosa. A temperatura na qual ocorre tal modificação é denominada de temperatura de gelatinização do amido. A gelatinização é definida como o colapso da ordenação granular, durante a qual ocorrem mudanças irreversíveis nas propriedades, como o inchamento dos grânulos, a fusão cristalina, a perda da birrefringência, o rompimento dos grânulos com a liberação da amilose e o aumento da viscosidade da suspensão (WHISTLER, BEMILLER, 1997).

Com o aumento das temperaturas de secagem das FMS foi possível observar, após o tratamento FMS<sub>100</sub> não houve pico de viscosidade, apresentando valores menores aos da viscosidade inicial a 95°C. Isso pode ter ocorrido devido a alterações nas estruturas dos amidos das FMS acima de 100°C.

Segundo Lustosa e Leonel (2010), em estudo com o desenvolvimento de misturas instantâneas de mandioca e caseína observaram que o pico de viscosidade se refere à máxima viscosidade após o início do aquecimento e antes do início do resfriamento da suspensão no viscoamilógrafo. Durante o ciclo de aquecimento até 95 °C ocorre o intumescimento e a gelatinização dos grânulos de amido, atingindo o pico máximo nesta etapa. O efeito da hidrólise e das diferentes temperaturas de secagem empregadas no presente trabalho na FGQ podem ter interferido no processo de gelatinização do amido, o que levou a um menor pico de viscosidade nestas condições.

Uthporn, Zadul, Darim (2010) estudaram amidos modificados enzimaticamente com mistura de amilases em temperaturas abaixo da gelatinização, e encontraram diminuição do pico de viscosidade para o amido de mandioca hidrolisado, concluindo assim que os grânulos de amido perderam a rigidez após hidrólise, diminuindo a sua capacidade de ligação em água e interferindo na viscosidade inicial de aquecimento da pasta.

Limberger et al. (2008) trabalhando com modificação química (fosfatação) e física (extrusão) do amido de farinhas de quirera de arroz, observaram que os picos de viscosidade das farinhas fosfatadas foram menores do que as farinhas de quirera nativa, e o mesmo aconteceu para as farinhas extrusadas. Segundo esses autores, as condições desses processos contribuíram para o menor pico de viscosidade das farinhas modificadas. Como neste trabalho, a farinha foi submetida ao processo de hidrólise e secagem, influenciou na formação de um pico de viscosidade menor para os tratamentos FMS<sub>40</sub> e FMS<sub>80</sub> em relação a FGQ e para ausência de pico para os demais tratamentos de secagem.

Para melhor visualização dos resultados, a Figura 2.1 apresenta o gráfico do tempo x viscosidade das farinhas modificadas submetidas aos tratamentos nas temperaturas de secagem a 40, 80,100, 120 e 140°C, na concentração de 14% (p/v) na análise viscoamilográfica do viscógrafo Brabender.

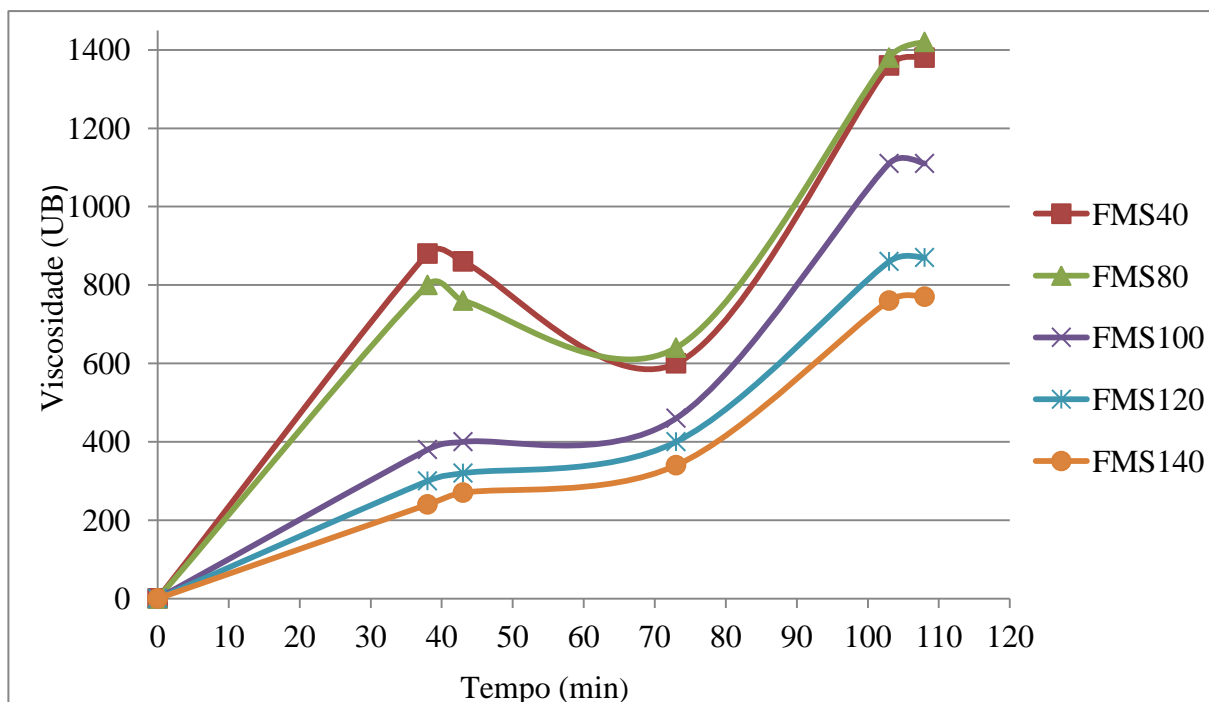
Na Figura 2.1 é possível observar que os dois primeiros tratamentos de secagem, FMS<sub>40</sub> e FMS<sub>80</sub>, tiveram um comportamento similar, apresentando um pequeno pico de viscosidade e, depois de atingir 95°C e com o resfriamento (50°C) continuou a aumentar a viscosidade até estabilidade da pasta.

**Tabela 2.5.** Análises viscoamilográficas das farinhas de grãos quebrados de arroz *in natura* e das farinhas modificadas enzimaticamente e secas nas temperaturas 40,80, 100,120 e 140 °C.

<b>Tratamentos</b>	<b>Temperatura de empastamento (°C)</b>	<b>Viscosidade Máxima<sup>1</sup> (UB)</b>	<b>Viscosidade a 95°C<sup>2</sup> (UB)</b>	<b>Viscosidade Final<sup>3</sup> (UB)</b>	<b>Quebra de viscosidade (UB)</b>	<b>Viscosidade de pasta a 50°C<sup>4</sup> (UB)</b>	<b>Estabilidade pasta<sup>5</sup> (UB)</b>	<b>Tendência a retrogradação (UB)</b>
<b>FGQ *</b>	87	600	540	600	60	1160	1180	580
<b>FMS**</b>								
<b>40°C</b>	87	880	860	600	20	1360	1380	780
<b>80°C</b>	79,5	800	760	660	40	1240	1400	740
<b>100°C</b>	80	(380) Sem pico	400	460	-20	1110	1110	650
<b>120°C</b>	88	(300) Sem pico	320	400	-20	860	870	470
<b>140°C</b>	90	(240) Sem pico	270	340	-30	760	770	430

\* Farinha de grãos quebrados de arroz , na concentração de 10%. \*\* Farinha modificada enzimaticamente e seca em diferentes temperaturas, na concentração de 14%.<sup>1</sup>Pico da viscosidade ; <sup>2</sup>Viscosidade da pasta a 95°C; <sup>3</sup>Viscosidade após 30min a 95°C; <sup>4</sup> Viscosidade da pasta a 50°C; <sup>5</sup>Viscosidade da pasta após 5 min a 50°C.





**Figura 2.1.** Gráfico da viscosidade das amostras de farinha de arroz modificadas enzimaticamente e secas nas temperaturas de 40, 80, 100, 120 e 140°C (UB- Unidades de Brabender) em função do tempo (min).

Nos tratamentos FMS<sub>120</sub> e FMS<sub>140</sub> não ocorreu quebra de viscosidade, pois estes tratamentos não obtiveram pico máximo de viscosidade antes do período de aquecimento a 95°C, apresentando estabilidade durante o cozimento por 30 min, com uma tendência de aumento na viscosidade. Mesmo com a agitação do viscoamilógrafo Brabender durante a análise, quando houve o resfriamento a 50°C, ocorreu um aumento de viscosidade indicando que a pasta apresenta característica firme e estável a essa temperatura.

Valores de viscosidade a quente, próximos dos valores de picos de viscosidade (PV), sugerem uma pasta mais estável durante o aquecimento e cisalhamento. No período de aquecimento, os grânulos são submetidos a uma maior ruptura, enquanto moléculas de amilose são lixiviadas na solução e alinham-se. Teoricamente esse período é acompanhado da diminuição da viscosidade, que atinge seu menor valor (NEWPORT SCIENTIFIC- RVA, 2001). Amidos modificados por ligações cruzadas (*cross-linked*), por exemplo, são resistentes a esse processo, como valores encontrados para esse trabalho para as FMS nas temperaturas acima de 100°C.

As mudanças que ocorrem nos grânulos de amido durante a gelatinização e a retrogradação são os principais determinantes do comportamento das pastas dos amidos (BOBBIO; BOBBIO, 2001). Os amidos pré-gelatinizados são usados quando se espera que os

produtos sejam solúveis ou dispersíveis em água fria ou quente, tendo particular importância para usuários que não têm como ou têm dificuldades em aquecer o amido (CEREDA, 2001).

Uma alta viscosidade é desejável para usos industriais, nos quais o objetivo é o poder espessante. Para isso, é necessário o controle da retrogradação no resfriamento. Uma das propriedades mais importantes do amido é a gomificação, que possibilita absorção, no aquecimento, de até 2,5 mil vezes seu peso em água. O aquecimento em excesso de água causa o intumescimento irreversível, porém limitado, dos grânulos, que se tornam muito sensíveis a estresses mecânico e térmico ou à acidez do meio. Mas, uma vez resfriado, ou ainda, congelado, os polímeros de amido nativo se reagrupam, liberando água e danificando o gel formado (CEREDA; VILPOUX; DEMIATE, 2003).

A FGQ na proporção de 10% obteve valor de 580UB para tendência a retrogradação, porém não pode ser comparada com as FMS em diferentes temperaturas de secagem devido as análises não terem sido realizadas na mesma proporção. Entre as FMS, observou-se que com o aumento de temperatura de secagem das farinhas modificadas, a tendência de retrogradação das farinhas foi diminuindo, apresentando redução da  $FMS_{40}$  para  $FMS_{140}$  de 55,12% na viscosidade da pasta.

O *setback* é calculado pela subtração do valor de viscosidade final da viscosidade e a pasta mantida a 50 °C por 5 min e reflete a tendência à retrogradação da pasta. De acordo com Limberger et al., 2008 quanto menor o *setback* menor a retrogradação e, conseqüentemente, menor a sinérese no produto depois de resfriado, sendo que as FMS estudadas possuem uma tendência a menor sinérese com o aumento da temperatura do tratamento.

Cereda, Vilpoux e Demiate (2003) definem que a retrogradação é basicamente um processo de cristalização das moléculas de amido que ocorre pela forte tendência de formação de pontes de hidrogênio entre moléculas adjacentes. Com o tempo, este gel formado tem a tendência de liberar água. Esta liberação de água é conhecida como sinérese e é comumente encontrada em alguns produtos como molhos em geral, não sendo desejada na indústria de alimentos.

A viscosidade final da FGQ foi de 1080UB. Entre as FMS, o tratamento da  $FMS_{100}$  apresentou o maior valor de viscosidade, com 1110 UB. A partir dos tratamentos submetidos a secagem em temperaturas maiores que 100°C, houve redução na viscosidade dos mesmos, sendo a  $FMS_{120}$  870UB e a  $FMS_{140}$  770UB.

A estabilidade da pasta é obtida pela permanência da pasta de amido na temperatura de 50°C em alguns minutos, sendo usado nesse trabalho o tempo de 5 minutos. Os resultados apresentaram uma tendência da FGQ e das FMS nas diferentes temperaturas em manter a

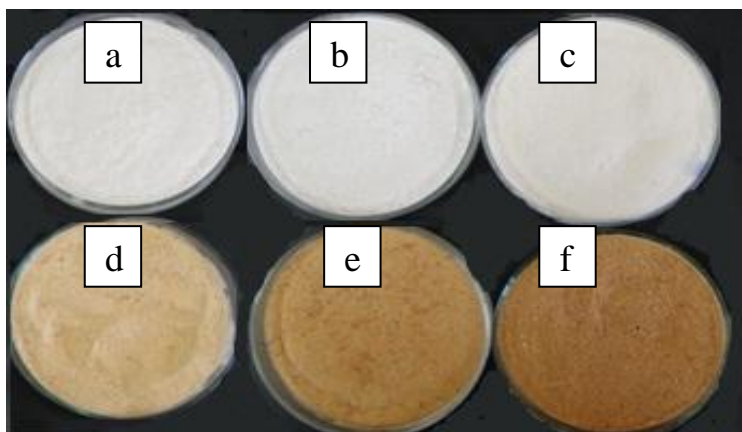
viscosidade durante a temperatura de 50°C, indicando a estabilidade da pasta da FGQ e das FMS. A viscosidade final é um parâmetro importante no uso de amido em alimentos, corresponde à viscosidade a ser desenvolvida no produto final e, portanto, deve ser apreciada pelo consumidor (OLIVEIRA et al., 2009).

Segundo Borba, Sarmiento e Leonel (2005) tratamentos térmicos que degradam o amido levam ao rompimento das estruturas moleculares e a redução da capacidade de recristalização dos grânulos. Tais farinhas poderiam ser utilizadas como ingredientes em sopas e mingaus de preparo rápido sob aquecimento, pois de acordo com Clerici e El-Dash (2008), estes produtos necessitam de farinhas com baixa retrogradação durante o resfriamento e que mantenham a viscosidade do produto. As propriedades viscoamilográficas das FMS estudadas se enquadram para serem utilizadas como ingrediente nesses tipos de produtos.

A comparação de dados dos parâmetros de viscosidade encontrados na literatura é dificultada tanto pelas diferentes metodologias utilizadas para estas análises, viscoamilógrafo Brabender e Rapid Viscoanalyzer – RVA, quanto pela grande variação das concentrações utilizadas, ajustes de pH, temperatura e tempo, tipo de amido, que possuem grande influencia nos resultados (BAIOCCHI, 2011; FRANCO et al. 2001).

#### 5.2.3.4 Coordenadas de cor das farinhas de grãos quebrados de arroz e modificadas enzimaticamente e secas em diferentes temperaturas.

As imagens das FGQ e FMS em diferentes temperaturas estão apresentadas na Figura 2.2. Pode-se observar visualmente que houve diferença nas cores das farinhas a partir do da FMS<sub>100</sub>, tratamento (d).



**Figura 2.2.** Farinha de grãos quebrados de arroz *in natura* (a), modificadas enzimaticamente e secas nas temperaturas 40°C (b), 80°C (c), 100°C (d), 120°C (e) e 140°C (f).

Os resultados das coordenadas de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) das FGQ e FMS estão apresentados na Tabela 2.6. A escala  $L^*$  é uma indicação da luminosidade, ou seja, o quanto a amostra é clara ou escura (GOOD, 2002).

Os resultados apresentados na Tabela 2.6 demonstram que as FGQ e todos os tratamentos das FMS apresentaram diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) quanto à luminosidade das amostras ( $L^*$ ). Com o tratamento de hidrólise e com o aumento das temperaturas empregadas nas FMS, a tendência foi de apresentar menor luminosidade, ou seja, amostras mais escuras. A FMS<sub>40</sub> apresentou redução de 1,13% na coordenada de luminosidade em relação a FGQ e a FMS<sub>140</sub> apresentou valores 21,44% menores que a FMS<sub>40</sub>, ou seja, uma farinha mais escura. O escurecimento dos tratamentos nas FMS possivelmente ocorreu devido a alteração na composição das FMS, devido a hidrólise enzimática e ao emprego de diferentes temperaturas de secagem, ocorrendo a interação dos açúcares redutores produzidos com as proteínas, ocasionando na reação de *Maillard* (DAMODARAN; PARKIN; FENEMMA, 2010).

**Tabela 2.6.** Coordenadas de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) das farinhas de grãos quebrados de arroz e das farinhas modificadas enzimaticamente e secas nas temperaturas de 40, 80, 100, 120 e 140 °C.

Tratamento	Parâmetros instrumentais de cor		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$
FGQ	95,32±0,10 <sup>a</sup>	0,16±0,03 <sup>d</sup>	5,32±0,15 <sup>e</sup>
FMS <sub>40</sub>	94,24±0,30 <sup>b</sup>	0,05±0,01 <sup>d</sup>	8,60±0,54 <sup>c</sup>
FMS <sub>80</sub>	93,20±0,08 <sup>c</sup>	0,29±0,02 <sup>d</sup>	7,26±0,04 <sup>d</sup>
FMS <sub>100</sub>	84,53±0,18 <sup>d</sup>	3,68±0,01 <sup>c</sup>	21,08±0,17 <sup>b</sup>
FMS <sub>120</sub>	77,97±0,25 <sup>e</sup>	6,39±0,11 <sup>b</sup>	22,08±0,18 <sup>a</sup>
FMS <sub>140</sub>	74,03±0,20 <sup>f</sup>	7,36±0,14 <sup>a</sup>	22,35±0,20 <sup>a</sup>

\*Letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste Tukey ( $P \leq 0,05$ );  $L^*$  = luminosidade;  $a^*$  = croma variando de verde (-60) a vermelho (+60);  $b^*$  = croma variando de azul (-60) ao amarelo (+60).

A coordenada de cromaticidade  $a^*$  demonstra a tendência da variação de tonalidade da amostra de verde (-60) a vermelho (+60) (HUNTERLAB, 1998). Em relação aos resultados encontrados para a coordenada de cromaticidade  $a^*$  representada na Tabela 2.6, todas as farinhas apresentaram valores positivos, ou seja, possuindo tendência a cor vermelha. As

FMS<sub>100</sub>, FMS<sub>120</sub> e FMS<sub>140</sub> apresentaram diferença significativa ( $P \leq 0,05$ ) entre si e diferiram dos demais tratamentos. As FGQ, FMS<sub>40</sub> e FMS<sub>80</sub> não diferiram significativamente ( $P > 0,05$ ) entre si, diferindo dos demais tratamentos. Os tratamentos apresentaram a tendência de aumentar os valores da coordenada a\* com o aumento da temperatura empregada na secagem, produzindo farinhas com tonalidades com tendência para o vermelho.

A coordenada de cromaticidade b\* demonstra a tendência da variação de tonalidade da amostra de azul (-60) a amarelo (+60) (HUNTERLAB, 1998). Para coordenada de cromaticidade b\* (Tabela 2.6) as farinhas apresentaram valores positivos, apresentando tendência a pigmentação amarela. Os tratamentos FMS<sub>120</sub> e FMS<sub>140</sub> não diferiram entre si ( $P > 0,05$ ) e diferiram entre os demais tratamentos. Os valores para a coordenada b\* aumentaram com o aumento da temperatura dos tratamentos, apresentando tendência a tonalidade amarela.

Becker (2010) trabalhando com caracterização de farinhas cruas e extrusadas obtidas a partir de grãos quebrados de diferentes genótipos de arroz, encontrou valores para farinhas cruas provenientes da cultivar IRGA 417 de 2,96% mais escuro, cromaticidade a\* próximos a neutralidade e para cromaticidade b\* 5,28% inferiores, comparados aos resultados encontrados neste trabalho.

Barbosa et al. (2006) ao estudarem a elaboração de embutido tipo mortadela com farinha de arroz, de cultivar não mencionada, determinaram valores 1,22% superiores de luminosidade, valores iguais para cromaticidade a\* 45,35% superiores na cromaticidade b\*, para os valores encontrados nesse trabalho entre todos autores citados.

A diferença de luminosidade entre as farinhas de arroz em comparação aos outros estudos provavelmente seja devido às diferenças entre as características químicas das farinhas (teor de pigmentos, minerais e fibras) e/ou às condições de beneficiamento dos grãos, onde muitos não mencionaram as cultivares utilizados (LAMBERTS et al., 2008; GARCIA, 2010).

No trabalho com efeito da temperatura e tempo de secagem em leiteo fluidizado na qualidade de arroz tipo *wazy*, na Tailândia, Jaiboon et al. 2009 encontraram em altas temperaturas de secagem, escurecimento dos grãos de arroz e aumento na pigmentação amarela, devido a escurecimento não enzimático a temperatura de 110°C. Os resultados encontrados foram de 12,5 para cromaticidade b\* e 83,02 para luminosidade (L\*).

Lamberts et al. (2008), em estudo das condições de parbolização de arroz no escurecimento do grão, concluíram que o aumento da temperatura justifica-se com a reação de escurecimento não enzimático (Reação de Maillard), pela reação de aminoácidos livres com açúcares redutores. Esse escurecimento é obtido por meio de secagem em altas temperaturas, ocorrendo uma produção de farinhas com luminosidade menor, ou seja, mais escuras e com

tons mais intensos de amarelo e vermelho, escurecimento encontrado nas FMS em temperaturas acima de 120°C.

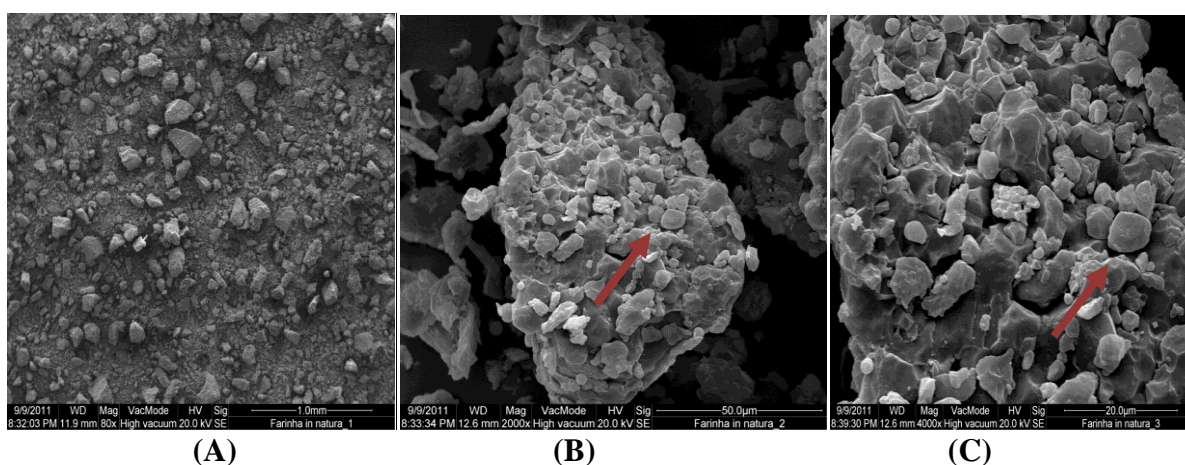
No presente trabalho, não foi realizada análise sensorial das FMS secas em diferentes temperaturas, porém estas apresentaram um aroma característico de caramelo, mais adocicado a partir de 100°C ficando mais intenso.

AS FMS em diferentes temperaturas podem ser utilizadas em produtos de panificação e os tratamentos que apresentaram menor luminosidade (FMS<sub>120</sub> e FMS<sub>140</sub>) podem ser utilizados como corantes naturais em substituição, por exemplo, de ingredientes que contenham chocolate e café. Os tratamentos que produziram farinhas mais claras (FMS<sub>40</sub>, FMS<sub>80</sub>) também podem ser empregados em produtos que se deseja “corpo” e não escurecer o produto.

#### 5.2.3.5 Análise microscopia eletrônica de varredura

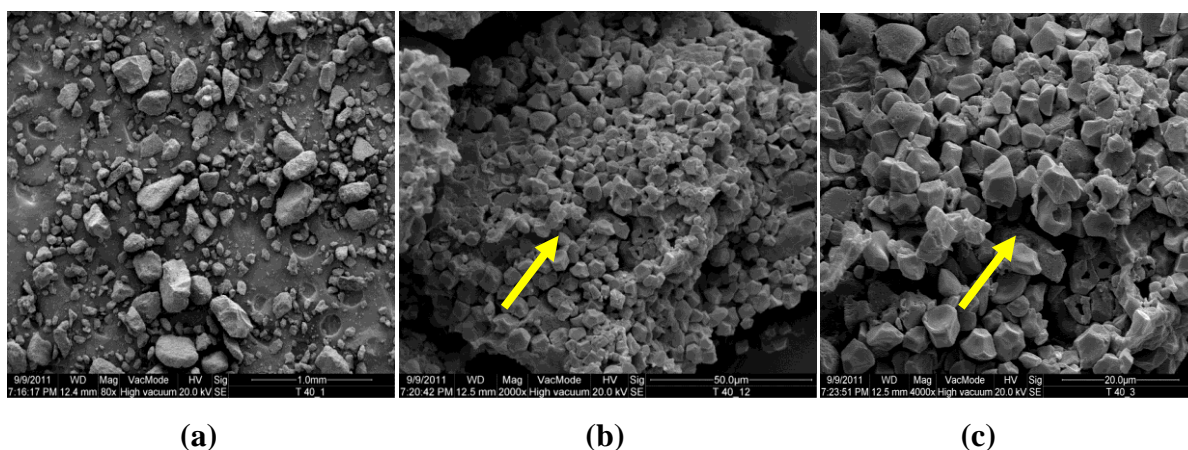
As micrografias das farinhas FGQ e FMS nas temperaturas 40, 80, 100, 120 e 140°C estão apresentadas em três tipos de aumento e podem ser visualizadas pela Figuras 2,3; 2,4; 2,5; 2,6; 2,7 e 2,8 respectivamente. É possível observar que após a hidrólise enzimática e a secagem nas temperaturas de 40, 80, 100, 120 e 140 °C as farinhas modificaram completamente a sua microestrutura.

É possível observar, nas microscopias da FGQ (Figura 2.3), que os grânulos de amido na FGQ apresentavam-se intactos e com concavidades. Também verifica-se a presença de materiais não amiláceos (provavelmente fibras e proteínas), que se encontravam aderidos entre si ou aos grânulos de amido (setas vermelhas).

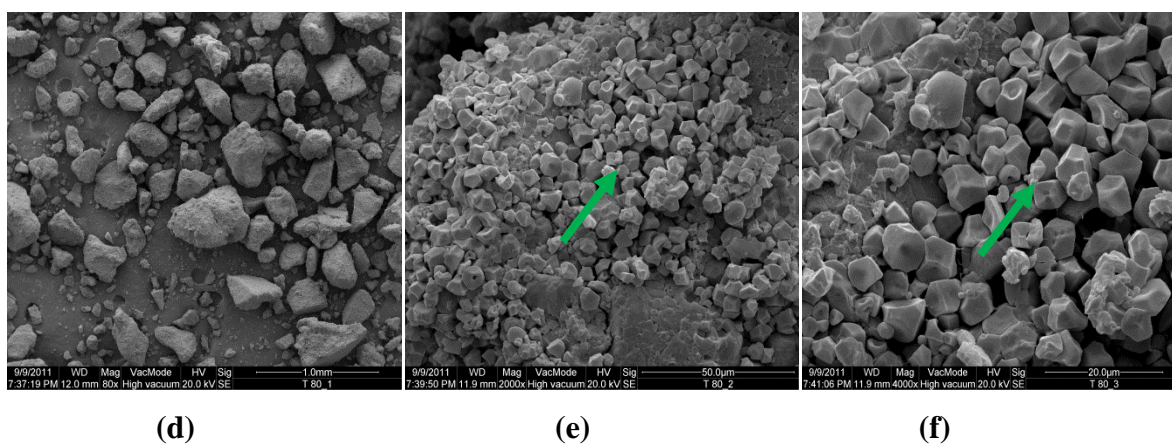


**Figura 2.3.** Micrografias da FGQ (A, B e C) em microscópio eletrônico de varredura sob aumentos de 80x, 2000x e 4000x respectivamente.

As micrografias apresentadas pelas Figuras 2.4 e 2.5, nos tratamentos da FMS<sub>40</sub> e FMS<sub>80</sub>, indicam que os grânulos tornaram-se menos angulares e divididos em várias partes, representados pelas setas amarelas para FMS<sub>40</sub> e verdes para FMS<sub>80</sub>. Isso possivelmente ocorreu devido ao efeito da hidrólise com as enzimas alfa-amilase e amiloglicosidase, ocorrendo rompimento na cadeia de amilose e amilopectina. Rocha, Carneiro e Franco (2010) também encontraram esses aspectos nos amidos de batata, batata-doce mandioca e mandioquinha-salsa quando hidrolisados por  $\alpha$ -amilase bacteriana.



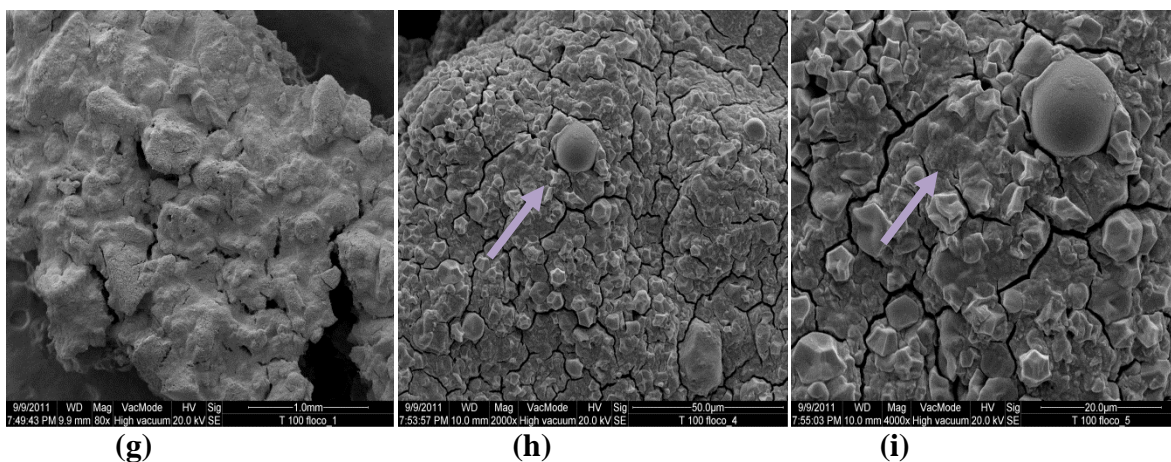
**Figura 2.4.** Micrografias FMS a 40°C (a, b e c) em microscópio eletrônico de varredura sob aumentos de 80x, 2000x e 4000x respectivamente.



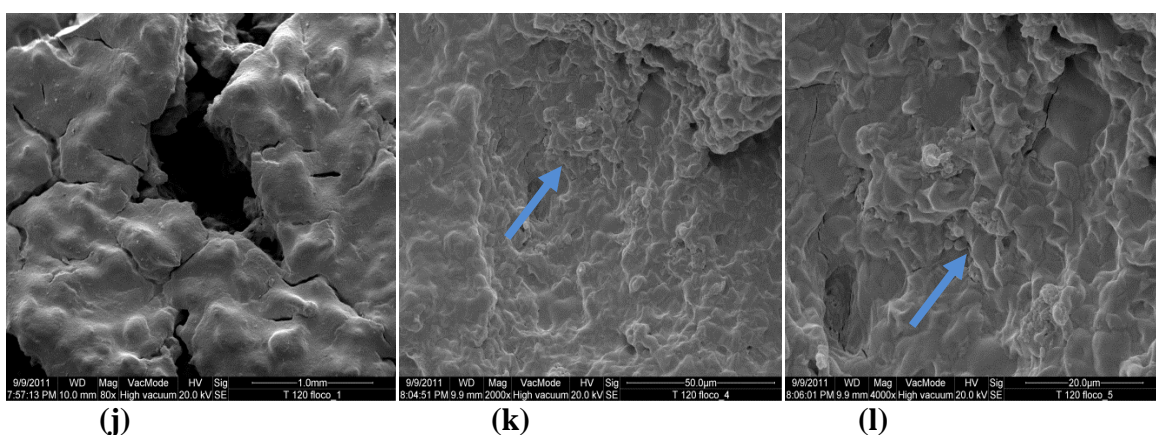
**Figura 2.5.** Micrografias da FMS a 80°C (d, e, f) em microscópio eletrônico de varredura sob aumentos de 80x, 2000x e 4000x respectivamente.

A partir da utilização de temperaturas mais altas de secagem nas farinhas modificadas enzimaticamente, representados pelas Figuras 2.6, 2.7 e 2.8, pode-se observar que o material apresentou aspecto granuloso com componentes que se fundiram, não sendo possível

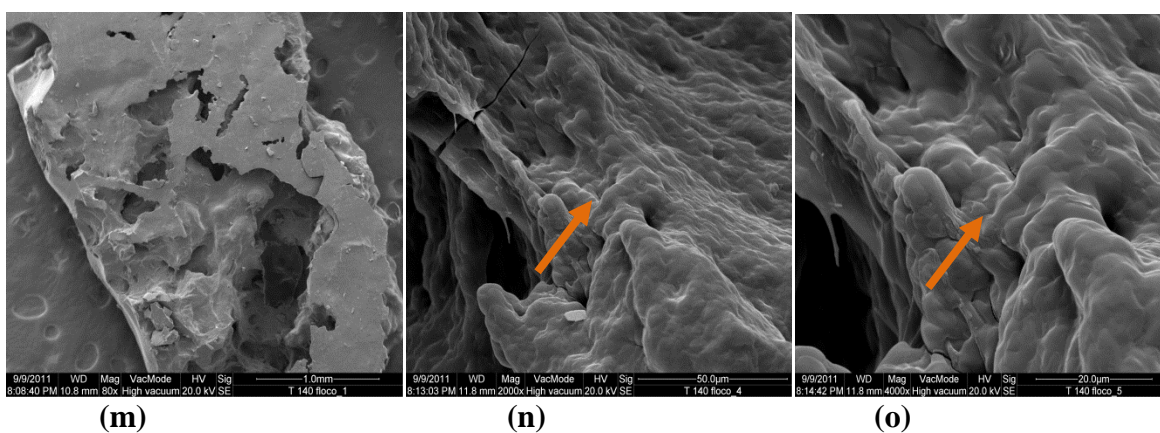
diferenciar grânulos de amido e material não amiláceo, apresentando uma superfície mais lisa e compacta.



**Figura 2.6.** Micrografias da FMS a 100°C (g, h, i) em microscópio eletrônico de varredura sob aumentos de 80x, 2000x e 4000x respectivamente.



**Figura 2.7.** Micrografias da FMS a 120°C (j, k, l) em microscópio eletrônico de varredura sob aumentos de 80x, 2000x e 4000x respectivamente.



**Figura 2.8.** Micrografias da FMS a 140°C (m, n, o) em microscópio eletrônico de varredura sob aumentos de 80x, 2000x e 4000x respectivamente.

Na FMS<sub>100</sub> (Figura 2.6) o aspecto da superfície não apresentou estar completamente compacto representado pelas setas lilás. Com o aumento da temperatura, as micrografias dos



tratamentos FMS<sub>120</sub> e FMS<sub>140</sub> apresentaram o aspecto completamente compacto e liso, representados pelas setas azul e laranja, Figuras 2.7 e 2.8, respectivamente.

No trabalho de Jaiboon et al. (2009) que avaliaram o efeito da temperatura e tempo de secagem em leito fluidizado na qualidade de arroz tipo *wazy*, na Tailândia, encontraram aspectos na microestrutura semelhantes na secagem dos grãos em temperaturas de 110 e 130°C, em que as estruturas dos grânulos de amido apresentaram-se fundidos, perdendo sua forma característica.

### 5.2.4 Conclusão

As temperaturas de secagem influenciaram na composição centesimal da FMS, apresentando um aumento no teor de lipídios com o aumento da temperatura de secagem.

As FMS<sub>40</sub>, FMS<sub>80</sub> e FMS<sub>100</sub> apresentaram conteúdo de açúcares redutores, glicose, ISA, ISL significativamente maiores que a FGQ.

As FMS a partir de 100°C apresentaram características de uma farinha resistente a força de cisalhamento, ao aquecimento e estável a temperaturas mais baixas. Também apresentaram uma coloração mais escura, com tonalidades amarelas e levemente vermelhas em relação aos demais tratamentos.

Na análise de microscopia de varredura a FMS apresentou grânulos menos angulares e divididos em mais partes devido hidrólise das amilases no amido em relação a FGQ. Com o aumento das temperaturas de secagem, suas estruturas foram se compactando, não sendo possível diferenciar o material amiláceo.

Assim, os diferentes tratamentos aplicados nas farinhas de grãos quebrados de arroz neste trabalho podem ser utilizados na produção de alimentos, como ingrediente de produtos de panificação, podendo ser destinados às crianças, idosos e portadores de doenças celíacas.

### 5.2.5 Agradecimentos

À CAPES e FAPEG pela bolsa de estudo e pelo apoio financeiro e a UEL pela parceria.

### 5.2.6 Referências

A.A.C.C. American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**. 8 ed. v 1-2. Saint Paul: AACC International, 1983.

ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN JUNIOR, E. L. Gelatinization of corn grits by rolland extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, Minneapolis, v. 14, n. 1, p. 44-11, 1969.

A.O.A.C. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC International**. Food composition, additives, natural contaminants. 16. ed. v. 2. Gaithersburg: AOAC, 1997.

BAIOCCHI, M. L. M. **Aproveitamento de subproduto do beneficiamento de arroz: desenvolvimento de farinha modificada como alternativa para a indústria de panificação**. 2011.103f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

BARBOSA, L. N.; GARCIA, L. V.; TOLOTTI, K. D.; GOELLNER, T.; AUGUSTO-RUIZ, W.; ESPÍRITO SANTO, M. Elaboração de embutido tipo mortadela com farinha de arroz. **Vetor**, Rio Grande, v. 16, n. 1 e 2, p. 11-20, 2006.

BECKER, F. S. **Caracterização de farinhas cruas e extrusadas obtidas a partir de grãos quebrados de diferentes genótipos de arroz**. 2010. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

BEMILLER, J.N. Starch modification: challenges and prospects. **Starch/Stärke**, v. 49, n. 4, p. 31-127, 1997.

BENINCA, C. **Emprego de técnicas termoanalíticas na análise de amidos nativos e quimicamente modificados**. 2008. 76f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. 3. ed. rev. ampl. São Paulo: Livraria Varela, 2001. 223p.

BORBA, A. M.; SARMENTO, S. B. S.; LEONEL, M. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 835-843, 2005.

CEREDA, M. P. **Propriedades gerais do amido**. São Paulo: Fundação Cargill, v.1, 2001.224p.

CEREDA, M. P.; VILPOUX, O.; DEMIATE, I. M. Amidos Modificados. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. (coord.) **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. v. 3, p. 246 - 333.

CLERICI, M. T. P. S.; EL-DASH, A. A. Características tecnológicas de farinhas de arroz pré-gelatinizadas obtidas por extrusão termoplástica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1543-1550, 2008.

CLERICI, M. T. P. S.; AIROLDI, C.; EL-DASH, A. A. Production of acidic extruded rice flour and its influence on the qualities of gluten-free bread. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 42, n. 2, p. 618-623, 2009.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENEMMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4 ed. Porto Alegre: ARTMED, 2010. 900p.

DORS, G. C.; CASTIGLIONI, G. L.; AUGUSTO-RUIZ, W. Utilização da farinha de arroz na elaboração de sobremesa. **Vetor**, Rio Grande, v. 16, n. 2, p. 63-67, 2006.

FRANCO, C. M. L.; CIACCO, C. F. Factors that affect the enzymatic degradation of natural starch granules: effect of size of the granules. **Starch**, Weinheim, v. 44, n. 11, p. 422-426, 1992.

FRANCO, C. M. L.; DAIUTO, E. R.; DEMIATE, I. M.; CARVALHO, L. J. C. B.; LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; VIPOUX, O. F.; SARMENTO, S. B. S. **Cultura de tuberosas amiláceas Latino Americanas: Propriedades gerais do amido**. Campinas: Fundação Cargill v. 1, cap.6, p. 101-133, 224 p, 2001.

GROSSMANN, M. V. E. **Efeito da extrusão termoplástica na gelatinização do amido de mandioca, visando à produção de álcool**. 1986. 124 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1986.

GOOD, H. Measurement of color in cereal products. **Cereal Foods World**, Minneapolis, v. 47, n. 1, p. 5-6, 2002.

HUNTERLAB. **User's manual with Universal Software Version 3.5**. Rest: HunterLab, 1998.

JAIBOON, P.; PRCHAYAWARAKORN, S.; DEVAHASTIN, S. SOMCHART, S. Effects of fluidized bed drying temperature and tempering time on quality of waxy rice. **Journal of Food Engeneering**, London, v. 95, n. 3, p. 517-524, 2009.

KAUR, B.; ARIFLIN, F.; BHAT, R. KARIM, A. A. Progress in starch modification in the last decade. **Food Hydrocolloids**, London, v. 26, n. 2, p. 398-404, 2012.

LAMBERTS, L.; ROMBOUTS, I.; BRIJS, K.; GEBRUERS, K.; DELCOUR, J. A. Impacto of parboiling conditions on maillard precursors and indicators in long-rain rice cultivars. **Food Chemistry**, Londres, v. 110, n. 4, p. 916-922, 2008.

LEORO, M. G. V. **Desenvolvimento de cereal matinal extrusado orgânico à base de farinha de milho e farelo de maracujá**. 2007. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

LIMBERGER, V. M. **Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos**. 2006. 78f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

LIMBERGER, V. M.; SILVA, L. P.; EMANUELLI, T.; COMARELA, C. G.; PATIAS, L. D. Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n.1, p. 84-88, 2008.

LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Influência dos parâmetros de extrusão na absorção e solubilidade em água de farinhas pré-cozidas de mandioca e caseína. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 2, p. 223-227, 2009.

LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M. Desenvolvimento de misturas instantâneas de mandioca e caseína: efeito do teor de proteína e parâmetros de extrusão sobre a viscosidade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 3, p. 693-699, 2010.

MAIA, L. H.; WANG, S. H.; ASCHERI, J. L. R.; CABRAL, L. C.; FERNANDES, L. S. Viscosidade de pasta, absorção de água e índice de solubilidade em água dos mingaus desidratados de arroz e soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 3, p. 391-396, 1999.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for the determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.

NOVOZYMES, **Enzimas e o Meio Ambiente**. Disponível em:  
<[http://www\\_novozymes\\_com - images.htm](http://www_novozymes_com - images.htm)> Acesso em: 20 jun. 2011.

O'BRIEN, S. WANG, Y. Susceptibility of annealed starches to hydrolysis by  $\alpha$ -amylase and glucoamylase. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 72, n. 4, p. 597-607, 2008.

OLIVEIRA T. M.; PIROZI, M. R.; BORGES, J. T. da S.; GERMANI, R.; FONTES, M. P. F. Caracterização do amido de grão-de-bico. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento em Alimentos**, Curitiba, v. 27, n. 1, p. 27-42, 2009.

ORDÓÑEZ, J. A. Utilização de radiações eletromagnéticas na indústria alimentícia-irradiação de alimentos. In: ORDÓÑEZ, J. A (org). **Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. v. 1, p. 125-154.

PAUCAR-MENACHO, L. M.; SILVA, L. H. D.; BARRETTO, P. A. D. A.; MAZAL, G.; FAKHOURI, F. M.; STEEL, C. J.; COLLARES-QUEIROZ, F. P. Desenvolvimento de massa alimentícia fresca funcional com a adição de isolado protéico de soja e polidextrose utilizando páprica como corante. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 4, p. 767-778, 2008.

ROCHA, T. S.; CARNEIRO, A. P. A; FRANCO, C. M. L. Effect of enzymatic hydrolysis on some physicochemical properties of root and tuber granular starches. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 2, p. 544-551, 2010.

SEVERO, M. G.; MORAES, K.; RUIZ, W. A. Modificação enzimática da farinha de arroz visando a produção de amido resistente. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n.2, p. 345-350, 2010.

SGARBIERI, V. C. Fontes de proteínas na alimentação. In: SGARBIERI, V. C (org). **Proteínas em alimentos protéicos**. São Paulo: Varela, 1996, p.139-257.

SING, J. M.; KAUR, L.; MCCARTHY, O. J. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications—A review. **Food Hydrocolloids**, London, v. 21, n. 1, p. 1-22, 2007.

SILVA, G. O. TARIZAWA, R. A.; PEDROSO, R. A.; FRANCO, C. M. C. Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n.1, p. 188-197, 2006.

SILVA, R. N.; ASQUIERI, E. R.; FERNANDES, K. F. Immobilization of *Aspergillus Níger* glucoamylase onto a polyaniline polymer. **Process Biochemistry**, London, v. 40, n. 1, p. 1155-1159, 2005.

STASOFT. **STATISTICA 7.0 for Windows** – Computar program manual. Tulsa: Statsoft, Inc., 2007. CD Room.

TAVARES, J. S. **Mudanças físico-químicas e sensoriais de farinhas de arroz submetidas à torração em micro-ondas**. 2010. 218f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

TAVARES, A. C. K.; ZANATTA, E.; ZAVAREZE, E. R.; HELBIZ, L E.; DIAS, A. R. G. The effects of acid and oxidative modification on the expansion properties of rice flours with varying levels of amylase. **Food Science and Technology**, Zurich, v.43, p. 1213-1219, 2010.

WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**, Saint Paul: Eagan Press, 1997. 241 p.

UTHUMPORN, U.; Z Aidul, I. S. M.; KARIM, A. A. Hydrolysis of granular starch at sub-gelatinization temperature using a mixture of amylolytic enzymes. **Food and bioproducts processing**, Rugby, v. 88, n. 1, p. 47-54, 2010.

ZAVAREZE, E. R.; EL HALAL, S. L. M.; PEREIRA, J. M.; RADUNZ, A. L. ELIAS, M. C.; DIAS, A. R. G. Caracterização química e rendimento de extração de amido de arroz com diferentes teores de amilose. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, II SSA, p. 24-30, 2009.

### 5.3 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS, NUTRICIONAIS E SENSORIAIS DE ALIMENTO SEM GLÚTEN ELABORADO COM FARINHA DE ARROZ MODIFICADA ENZIMATICAMENTE<sup>1</sup>

#### Resumo

Atualmente diversas pessoas apresentam reações alérgicas a algum componente dos alimentos, o que pode colocar em risco sua saúde, além de reduzir o número de opções no momento da escolha dos produtos que irão compor sua dieta diária. A doença celíaca é caracterizada como uma intolerância à fração gliadina presente no trigo e das prolaminas presente no centeio, triticale e aveia. O amido de arroz é utilizado como ingrediente em vários alimentos e produtos industriais, tais como, sobremesas, produtos de panificação e também tem sido utilizado como ingrediente para produção de cereais matinais e fórmulas infantis. A presente pesquisa teve por objetivo desenvolver um produto similar à farinha láctea de arroz sem glúten, e avaliar as propriedades tecnológicas, nutricionais e sensoriais de alimento, utilizando como ingrediente a farinha de grãos quebrados de arroz modificada enzimaticamente. Para o desenvolvimento do novo produto, tipo farinha láctea de arroz sem glúten, utilizou-se farinha de grãos quebrados de arroz modificada enzimaticamente e seca a 100°C, leite em pó instantâneo e açúcar refinado. Como ferramenta estatística utilizou-se o delineamento de misturas. Foi definida uma formulação ideal obtida pelos melhores modelos, considerando os maiores valores de solubilidade em água, leite, luminosidade e firmeza, com formulação de 10% de açúcar refinado, 31% de leite em pó e 59% de farinha modificada enzimaticamente e seca a 100°C. Foi realizada a análise sensorial do produto similar à farinha láctea de arroz e obteve-se *score* de 7,95. A farinha láctea desejada foi comparada quanto a composição centesimal e análises tecnológicas com três marcas de farinhas lácteas comerciais. Este produto apresentou boas características de textura, com características tecnológicas como índice de solubilidade em água e leite, parâmetros de cor e aceitação sensorial muito semelhantes às farinhas lácteas comerciais. Além disso, possibilitou a aplicação de resíduos industriais na alimentação humana aliando aos interesses do consumidor por produtos mais saudáveis e isentos de glúten, destinado para alimentação especial.

**Palavras - chave:** *Oryza sativa* L, modificação enzimática, alimento sem glúten, grãos quebrados de arroz, aceitabilidade

<sup>1</sup>Artigo a ser publicado.

## Abstract

Nowadays many people have allergic reactions to any component of food, which can endanger their health and reduce the number of options when choosing the products that will make your daily diet. Celiac disease is characterized as an intolerance to gliadin fraction found in wheat and the prolamins present in rye, triticale and oats. The rice starch is used as an ingredient in various food and industrial products such as desserts, bakery products and has also been used as an ingredient for the production of breakfast cereals, infant formula and hypoallergenic products. This study aimed to develop a product like milk rice flour gluten free, and assess the technological, nutritional and sensory properties of food, using flour as an ingredient of broken grains of rice enzymatically modified in order to develop new products for special nutritional uses. For the development of new product, type of rice flour gluten-free milk was used grain flour modified enzymatically broken rice and dried at 100 ° C, instant milk powder and sugar refinado. Statistical tool was used to design the mixtures thereof. Set an optimal formulation was obtained by the best designs, considering the highest solubility in water, milk, firmness and luminosity and selected for blending with formulation 10% sugar, 31% milk powder and 59% flour enzymatically modified and dried at 100 ° C. We performed the sensory analysis of dairy products like rice and flour was obtained score of 7.95. The instant cereal flour were compared to experimental composition and technological analysis with three commercial brands. This product has good characteristics of texture, technological characteristics such as water and milk in solubility index, the color parameters and sensory acceptability very similar to commercial milk flour. Furthermore, it allowed the application of industrial waste in food combining the interests of consumers for healthier products and gluten-free, intended for particular nutritional uses.

**Key-words:** *Oryza sativa* L., enzymatic modification, gluten-free food, broken grains of rice, acceptability

### 5.3.1 Introdução

A doença celíaca é caracterizada como uma intolerância à fração gliadina presente no trigo e das prolaminas presente no centeio, triticale e aveia. As prolaminas são substâncias tóxicas, resistentes à digestão pelas enzimas gástricas e pancreáticas e alcançam a lâmina do intestino delgado, causando a inflamação nas células intestinais (NOBRE; SILVA; CABRAL, 2007; GALLAGHER; GORMLEY; ARENDT, 2004).

O glúten é uma proteína composta pela misturas de frações protéicas de gliadina e glutenina e é obtido pela mistura destas proteínas que se encontram naturalmente na semente de muitos cereais como o trigo, cevada, triticale, centeio e aveia (DAMODARAN; PARKIN; FENEMMA, 2010). O único tratamento satisfatório para celíacos é a completa retirada do trigo, centeio, cevada e aveia da dieta. A substituição destes cereais pode ser feita por soja, arroz, milho, batata, mandioca e cará, principalmente, sendo que dentre esses, o arroz é o menos alergênico. A dieta deve ser seguida por toda a vida, mesmo que o paciente não apresente sintomas após a ingestão de glúten (POSSIK et al., 2005). A maioria dos produtos de padaria, confeitaria, pastelaria em diversos países tem a farinha de trigo como ingrediente principal, causando limitações aos celíacos quanto à alimentação (CASTILLO; LESCANO; ARMADA, 2009).

As indústrias de alimentos estão interessadas na identificação e no desenvolvimento de matérias-primas que produzam amidos nativos com características físicas e químicas especiais. O amido pode, entre outras funções, servir para facilitar o processamento, fornecer textura, servir como espessante, fornecer sólidos em suspensão e proteger os alimentos durante o processamento. O amido de arroz é utilizado como ingrediente em vários alimentos e produtos industriais, tais como, sobremesas, produtos de panificação e substituto de gorduras (PUCHONGKAVARIN; VARAVINIT; BERGTHALLER, 2005). Também tem sido utilizado como ingrediente para produção de cereais matinais, produtos hipoalergênicos e fórmulas infantis (LUNDUBWONG; SEIB, 2000; ZAVAREZE et al., 2009).

Os grãos quebrados de arroz são subprodutos gerados na indústria processadora de arroz. A fração de grãos quebrados durante o beneficiamento do cereal tem sido utilizada para produção de amidos modificados, sendo ideal por ser fonte de baixo custo, fácil aquisição e que permite produção industrial (LIMBERGER, 2006; NEVES et al., 2010).

Os amidos modificados têm grande importância na indústria de alimentos. Devido às limitações das pastas e géis obtidos a partir de amidos nativos, foi necessário o desenvolvimento de muitos tipos de amidos modificados para aplicações alimentícias. Na



indústria o amido modificado está em constante evolução, com inúmeras possibilidades de gerar amidos com novas propriedades funcionais e agregar valor ao produto como o mercado tem exigido, aumentando suas aplicações (KAUR et al., 2012; SINGH; KAUR; MCCARTHYB, 2007).

A hidrólise enzimática também tem sido utilizada como técnica que possibilita a compreensão da estrutura física e química do grânulo de amido e de seus componentes. A taxa de hidrólise dos grânulos de amido depende, fortemente, da origem botânica do sistema enzimático utilizado e do tamanho dos grânulos, entre outros fatores (FRANCO; CIACCO, 1992; FRANCO et al., 2001).

As  $\alpha$ -amilases são endoenzimas que catalisam as reações de hidrólise das ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 presentes na molécula de amido de forma desordenada, liberando produtos de médio peso molecular. A amiloglucosidase (AMG) é uma enzima hidrolítica que catalisa a quebra das ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 a partir de uma extremidade não redutora das moléculas de amilose ou amilopectina do grânulo de amido e oligossacarídeos relacionados liberando  $\beta$ -D- glucose. Em uma velocidade menor, a amiloglucosidase também atua hidrolisando as ligações  $\alpha$ -1,6 (DAMODARAN; PARKIN; FENEMMA, 2010).

A farinha de arroz vem sendo utilizada para atender necessidades especiais da indústria ou do consumidor (alimentos para bebês, produtos cárneos, formulação de panquecas e *waffles*, etc.) Devido às características peculiares, a farinha de arroz ceroso pode ser útil na produção de molhos congelados. Além disso, é excelente agente de separação de massas de biscoitos refrigerados pela baixa capacidade de absorção de umidade (NABESHIMA, EL-DASH, 2004). A farinha de arroz modificada está presente em maior ou menor proporção constituindo um ingrediente auxiliar, como no caso dos empanados, como espessante em iogurtes, sopas e como um componente majoritário em farinhas lácteas e para se adicionar ao leite como *cereal shake diet* (AUGUSTO-RUIZ et al., 2003).

Este trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades tecnológicas, nutricionais e sensoriais de um alimento tipo farinha láctea sem glúten elaborado com farinha de arroz modificada enzimaticamente visando desenvolvimento de novos produtos para alimentação especial e valorização dos subprodutos gerados pelas indústrias de alimentos.

### 5.3.2 Material e Métodos

Para a produção da farinha de arroz (*Oryza sativa* L.) utilizaram-se grãos quebrados

das cultivares Puitá-RS e Irga 417- RS, doados pela empresa Cristal Alimentos S/A safra 2011, localizada em Aparecida de Goiânia, Goiás.

Para realização da modificação enzimática da farinha de grãos quebrados arroz (FGQ) foram utilizadas, na forma liofilizada, as enzimas comerciais amiloglicosidase (SPRING AG) (*Aspergillus niger*) e  $\alpha$ -amilase (SPRING ALFA 125 000) (*Aspergillus oryzae*) doadas pela empresa Granotec do Brasil S.A, localizada em Curitiba, Paraná.

Para a preparação da mistura do produto similar à farinha láctea de arroz sem glúten (FLE) foram utilizados a farinha de grãos quebrados de arroz modificada enzimaticamente e seca a (FMS) a 100°C, leite em pó integral instantâneo da marca comercial Nestlé e açúcar refinado da marca União. Para a avaliação sensorial da farinha láctea de arroz sem glúten desejada (FLS) preparou-se mingaus com a adição de leite integral da marca Tyrol e aroma artificial de baunilha da marca Fleischman.

Foram utilizadas três marcas de farinhas lácteas comerciais para comparação tecnológica com a farinha láctea experimental, sendo as marcas Nutrimental, Nestlé e Carrefour. Os ingredientes utilizados nesse trabalho e as farinhas lácteas comerciais foram adquiridos no período entre setembro/novembro de 2011, em supermercados da cidade de Londrina, Paraná.

#### 5.3.2.1 Produção da farinha modificada enzimaticamente e seca (FMS) para utilização nas misturas do produto similar à farinha láctea sem glúten

A farinha de arroz (FGQ) foi obtida após a moagem dos grãos quebrados em moinho de martelos (Marconi, MA-090/CF, Piracicaba, Brasil) com diâmetros que variaram de 0,150 a 0,250mm. A farinha obtida foi acondicionada em embalagens de polietileno de baixa densidade (PEBD) e armazenada a temperatura ambiente no período de abril a outubro de 2011.

Na hidrólise enzimática da FGQ para produção de açúcares redutores foi utilizada a enzima comercial Spring  $\alpha$ -amilase (*Aspergillus oryzae*). As condições de hidrólise utilizadas foram FGQ na proporção de 20% (p/v), proporção utilizada segundo metodologia descrita por Beninca (2008), na concentração de 2UE de  $\alpha$ -amilase /g de farinha, em solução tampão acetato de sódio 0,025 mol L<sup>-1</sup> pH 5,0 e temperatura de 40°C. O hidrolisado foi armazenado nessas condições em recipientes de polietileno de alta densidade em banho-maria com agitação tipo *dubnoff* (Tecnal TE-053) por 2 horas. Posteriormente foi adicionada, no material parcialmente hidrolisado, a enzima comercial Spring AG amiloglicosidase (*Aspergillus*

*níger*), na concentração de 3,5UE de amiloglucosidase/g de farinha diluída em solução tampão acetato de sódio pH 5,0, tornando a concentração do material hidrolisado 16% de FGQ (p/v), segundo Silva, Asquieri, Fernandes (2005) e retornando para o banho-maria por mais 3 horas. As bateladas foram de 60 g de farinha, 300mL de solução de acetato de sódio com 2UE de  $\alpha$ -amilase /g de farinha e 75mL de solução acetato de sódio 3,5UE de amiloglucosidase /g de farinha.

A porcentagem de hidrólise foi calculada segundo O'Brien e Wang (2008) e está descrita na Equação 1:

$$\% \text{ Hidrólise} = \frac{\text{Quantidade de açúcares redutores ou glicose produzidos}}{\text{Quantidade de amido (b.s)}} \quad (\text{Equação 1})$$

Após a realização da hidrólise enzimática, o hidrolisado foi submetido a secagem em estufa de esterilização a 100°C durante o período de 8 horas, até atingir umidade final entre 3,0 e 4,5%. O produto seco foi moído e padronizado em peneiras de 32 mesh, obtendo-se a farinha modificada enzimaticamente e seca (FMS) para utilização como ingrediente da mistura do produto similar à farinha láctea sem glúten (FLE).

### 5.3.2.2 Delineamento de misturas para produção do produto similar à farinha láctea sem glúten (FLE)

Para seleção de melhor formulação do produto experimental (FLE) foram elaboradas diferentes misturas, variando as concentrações da FMS, leite em pó integral instantâneo (LP) e açúcar refinado (AC) conforme descritos na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1.**Concentrações máximas e mínimas estabelecidas da farinha modificada enzimaticamente e seca de arroz (FMS), leite em pó integral (LP) e açúcar refinado (AC) para elaboração das misturas das farinhas lácteas experimentais (FLE).

Componente	Máximo % (m/m)	Mínimo % (m/m)
FMS	75	59
LP	40	20
AC	5	15

As concentrações dos componentes que variaram na formulação foram restringidas nas formulações experimentais das farinhas lácteas dentro de faixas estabelecidas em testes preliminares e baseadas nas especificações da legislação (item 4.2.6 do material e métodos), de acordo com o planejamento experimental de misturas apresentado pela Tabela 3.2 (BARRROS NETO; SCARMÍNIO; BRUNS, 2010).

**Tabela 3.2.** Planejamento experimental de misturas com os teores da farinha modificada enzimaticamente e seca (FMS), leite em pó (LP) e açúcar refinado (AC), representados por valores reais e pseudocomponentes.

Formulação (Experimen.)	Proporção dos ingredientes na mistura ternária					
	Concentrações reais			Pseudocomponentes		
	AC(c <sub>1</sub> )	LP (c <sub>2</sub> )	FMS (c <sub>3</sub> )	AC (X <sub>1</sub> )	LP (X <sub>2</sub> )	FMS (X <sub>3</sub> )
1	0,05	0,20	0,75	0	0	1
2	0,15	0,35	0,50	0,40	0,6	0,0
3	0,15	0,20	0,65	0,4	0,0	0,60
4	0,05	0,40	0,55	0,0	0,8	0,2
5	0,10	0,40	0,50	0,2	0,8	0
6	0,10	0,31	0,59	0,20	0,44	0,36
7	0,10	0,31	0,59	0,20	0,44	0,36

$$X_1 + X_2 + X_3 = 1 \text{ ou } 100\%$$

As misturas foram homogeneizadas em batedeira planetária marca Arno por 2 min, e secas pelo período de 2 horas a 70°C até obtenção de umidade final entre 3,0-4,5%.

Assim, os ingredientes em estudo puderam ser expressos em pseudocomponentes, utilizando a equação 8 para o açúcar, equação 9 para o leite em pó e equação 10 para farinha modificada e seca.

$$X_{\text{açúcar}} = \frac{c_{\text{açúcar}} - 0,05}{1 - (0,05 + 0,20 + 0,5)} \quad (\text{Equação 8})$$

$$X_{\text{leite em pó}} = \frac{c_{\text{leite em pó}} - 0,20}{1 - (0,05 + 0,20 + 0,5)} \quad (\text{Equação 9})$$

$$X_{\text{farinha modificada e seca}} = \frac{c_{\text{farinha modificada e seca}} - 0,50}{1 - (0,05 + 0,20 + 0,5)} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde,

x = teor do componente, em termos de pseudocomponente;

c = proporção real do componente.

### 5.3.2.3 Análises microbiológicas

Foram realizadas análises microbiológicas da FMS no Laboratório de Microbiologia da Universidade Estadual de Londrina (UEL). Como este trabalho teve como objetivo a produção de um produto similar à farinha láctea, foram escolhidas duas categorias para realizar as análises exigidas pela legislação vigente, RDC nº 12 (BRASIL, 2001): “amidos, farinhas e féculas” e “alimentos infantis consumidos com líquidos ou não por crianças acima de 1 ano”. Exige-se que sejam feitas as análises de pesquisa de Coliformes totais e a 45°C, *Salmonella sp*, *Staphylococcus aureus* e *Bacillus cereus*. Baseada na legislação foi definida a realização dessas análises, seguida técnica descrita pela *American Public Health Association* (APHA, 2001) e *Food and Drug Administration* (FDA, 2002). Os resultados das análises foram comparados com a legislação vigente para realização da análise sensorial. Considerou-se que os outros ingredientes para produção do produto similar à farinha láctea sem glúten e para produção do mingau (leite em pó instantâneo, açúcar refinado, leite integral UHT, aroma artificial de baunilha) fossem comercialmente estéreis, pois foram adquiridos em estabelecimentos comerciais.

### 5.3.2.4 Preparação do mingau do produto similar à farinha láctea sem glúten (MFLE)

Para o preparo do mingau, utilizou-se 80g de FMS adicionados em 1L de leite integral UHT, na proporção de (0,08:1) p/v, 2mL de aroma artificial de baunilha, definidos por meio de testes preliminares. A mistura foi aquecida sob agitação constante em panela de aço inox e permaneceu por 8 min após atingir a temperatura de 90-93°C, obtendo-se a consistência de mingau.

### 5.3.2.5 Caracterização química, física e tecnológica das misturas da farinha láctea experimental (FLE), farinha láctea desejada (FLD) e das marcas comerciais

A composição centesimal foi realizada somente na mistura selecionada pelo teste de desejabilidade (FLD), com formulação de 10% de açúcar, 31% de leite em pó e 59% de

farinha modificada enzimaticamente e seca a 100°C. Foram quantificados conforme AOAC (1997), os teores de umidade (método nº 925.10); cinzas (método nº 923.03); proteína bruta (método nº 960.52); com fator conversão do nitrogênio em proteína de 6,25 para FLD.; lipídios totais (método nº 920.39C). Os carboidratos foram determinados pelo cálculo da diferença entre 100 gramas do alimento e a soma total dos valores encontrados para umidade, proteínas, lipídios e cinzas. O valor energético total da FLD foi estimado seguindo os valores de conversão de Atwater, no qual multiplicou-se o conteúdo de carboidratos e proteína por 4 kcal g<sup>-1</sup> e o de lipídeos por 9 kcal g<sup>-1</sup>. Todos os valores foram expressos em base seca e as análises foram realizadas em triplicata.

O índice de absorção em água (IAA) e leite (IAL) de solubilidade em água (ISA) e leite (ISL) foram determinadas nas misturas do delineamento, da FLD e em três marcas comerciais segundo metodologia de Anderson et al. (1969) com modificações no tempo da centrifugação, segundo Equações 2, 3, 4 e 5.

$$IAA = \frac{Mrg}{[(Ma(bs)) - (Mre*3)]} * 100 \quad (\text{Equação 2})$$

$$ISA = \frac{Mre * 3}{Ma (bs)} * 100 \quad (\text{Equação 3})$$

$$IAL = \frac{Mrg}{Ma (bs) - (Mre * 3)} \quad (\text{Equação 4})$$

$$ISL = \frac{(Mre - Mrc) * 3}{Ma (bs)} * 100 \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

Mre = massa do resíduo de evaporação da amostra (g)

Mrc = massa do resíduo de evaporação do controle (g)

Ma = massa da amostra (g), base seca

Mrg = massa do resíduo de centrifugação (g)

As coordenadas de cor das misturas do delineamento, da FLE, da FLD e das farinhas lácteas comerciais foram determinados conforme relatado por Paucar-Menacho et al. (2008).

As análises de textura do mingau das misturas do delineamento foi realizada em texturômetro TA-XT2i (STABLE MICRO SYSTEMS, 1997), com probe P25L cilíndrico de acrílico para determinação da força de compressão, sendo avaliado o parâmetro “firmeza”. O teste de firmeza foi conduzido segundo o método nº 16-50 da AACC (2000), método nº 66-50. O mingau de farinha láctea de arroz foi preparado segundo item 4.2.7.2 e resfriado a 50°C. O mingau foi colocado em recipiente plástico com capacidade de aproximadamente 80mL e as leituras foram realizadas referentes à força máxima necessária para penetrar no mingau em uma distância de 18mm. As condições de operação do texturômetro para a medida da força em compressão foram: velocidade de pré-teste de 2,0mm s<sup>-1</sup>, velocidade de teste de 1,0 mm s<sup>-1</sup>, velocidade de pós-teste de 2,0 mm s<sup>-1</sup>, distância de 18 mm Os resultados de cor e textura “firmeza” foram expressos como a média aritmética de 6 repetições.

#### 5.3.2.6 Análise sensorial do mingau de farinha láctea desejada (MFLD)

Com os modelos matemáticos ajustados obtidos para as propriedades de índice de solubilidade em água e leite, parâmetros de cor e textura (firmeza instrumental) e com o auxílio da função “*response desirability profiling*”, do programa Statistica 7.0 (STATSOFT 2007), realizou-se o cálculo para escolha da melhor formulação de mingau, com base nas variáveis independentes utilizadas (AC, LP e FMS). A formulação ideal foi obtida como a mais desejável com maior ISA e ISL, maior textura (firmeza instrumental) e menor luminosidade.

Os testes foram realizados no Laboratório de Análise Sensorial, do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina (DCTA/UEL) com 60 provadores não treinados, estudantes e funcionários da universidade, teste escala de laboratório. Foram recrutados consumidores adultos de ambos os sexos, conforme interesse e disponibilidade em participar da pesquisa, sendo excluídos do teste analfabetos, gestantes, fumantes e portadores de patologias que interferem na absorção intestinal e na sensibilidade gustativa, olfativa, ou que apresentaram redução da capacidade visual. Foi exigido de cada provador a leitura e assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice B) e o preenchimento do Questionário de Recrutamento de Provadores (Apêndice C) para participação na pesquisa, de acordo com o Comitê de Ética em Pesquisa da UFG (Protocolo

no 020/11). Foram calculados a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação das notas recebidas.

A amostra selecionada na análise de desejabilidade foi submetida ao teste sensorial de aceitabilidade. Escala hedônica de 9 pontos (9 = gostei extremamente, 5 = não gostei nem desgostei e 1 = desgostei extremamente) foi utilizada. O mingau do produto similar à farinha láctea sem glúten foi preparado segundo item 5.3.2.4 e servido em porções de 50mL, em cabine individual, sob iluminação branca, a temperatura de 50 a 60 °C.

A amostra do produto similar à farinha láctea sem glúten (FLE) selecionada foi comparada com farinhas lácteas de marcas comerciais a base de trigo em relação às propriedades de ISA, IAA, ISL, IAL, textura (firmeza), valor energético, composição centesimal e parâmetros de cor. As médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

#### 5.3.2.7 Análises estatísticas

Os resultados foram avaliados por meio da análise de variância, sendo as médias dos resultados comparados pelo teste Tukey a 5% de probabilidade ( $P \leq 0,05$ ) e pelo teste de desejabilidade, por meio do programa Estatística versão 7.0 (STASOFT, 2007).

### 5.3.3 Resultados e Discussão

#### 5.3.3.1 Caracterização tecnológica das misturas do produto similar à farinha láctea experimental (FLE)

O índice de absorção de água (IAA) e o índice de solubilidade em água (ISA) são importantes na avaliação da adequabilidade do uso de produtos amiláceos em suspensões ou em soluções. O IAA está relacionado com a viscosidade de pasta a frio (LUSTOSA; LEONEL; MISCHAN, 2009).

O ISA está relacionado à quantidade de sólidos solúveis em água de uma amostra seca, permitindo verificar o grau de severidade do tratamento submetido em função da degradação, gelatinização, dextrinização e consequente solubilização do amido (LEONEL et al., 2006).



O índice de absorção em leite (IAL) é importante quando se pretende elaborar produtos como cereais matinais ou produtos a base de leite como alimentos infantis instantâneos, sobremesas lácteas, requeijão e doces. (BECKER, 2010).

O índice de solubilidade em leite (ISL) é estudado para produtos consumidos com leite e que exigem instantaneidade quando misturados. Produtos como leite em pó, achocolatados, mistura para bolos necessitam de uma melhor solubilidade. Já produtos como farinha láctea, cereais matinais, não se desejam completa solubilidade ao se misturar ao leite, sendo desejável o consumo do produto em forma de flocos.

Os modelos para as análises de índice de absorção em água (IAA) e índice de absorção em leite (IAL) não foram significativos ( $P > 0,05$ ), por isso, não estão apresentados nesse artigo e seus resultados, com suas respectivas médias estão no Anexo C. Para o IAA, com a variação dos componentes AC, LP e FMS, apresentaram valores entre 3,76 e 4,07 g gel/g de matéria seca. A mistura do delineamento que apresentou menor IAA foi o ponto (0; 0; 1), valores em pseudocomponentes, correspondendo a formulação AC:LP:FMS na proporção (0,05; 0,20; 0,75) em componentes. O maior valor para o IAA foi na mistura em pseudocomponentes, no ponto (0,4; 0,6; 0), sendo valores em componentes (0,15; 0,35; 50). Em relação aos outros pontos do delineamento, ocorreu um maior IAA nas misturas como menor teor de FMS (50%), maior teor de AC (15%).

Para o IAL, a variação dos componentes de AC, LP e FMS nas misturas, apresentaram valores entre 3,8 a 4,48 g gel/ g de matéria seca. O ponto do delineamento, em valores de pseudocomponentes, que apresentou menor IAL foi o ponto (0; 0,8; 0,2), correspondendo a (0,05; 0,40; 0,55) em valores de componentes. O ponto do delineamento em pseudocomponentes, que apresentou maior IAL foi (0,2; 0,8; 0), e transformando para componentes, (0,10; 0,40; 0,50). Pode-se observar que as misturas com menor teor de FMS (50%), assim como para o IAA.

Segundo Bayarri, Duran e Costell (2004), que estudaram o poder adoçante em géis de amido, concluíram que os açúcares podem alterar o conteúdo de água em uma mistura, influenciando a hidratação dos ingredientes e a absorção de água pelos grânulos de amido.

A partir dos resultados das análises tecnológicas de ISA, ISL e textura “firmeza instrumental”, obtidos no delineamento de mistura foram elaborados modelos matemáticos de regressão que expressaram a relação entre os pseudocomponentes das misturas de FLE. Assim, o modelo de regressão, o nível de significância (p), a falta de ajuste (FA) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para ISA, ISL e textura “firmeza” das farinhas lácteas experimentais estão apresentados na Tabela 3.3.

Todos os modelos analisados foram significativos ( $P \leq 0,05$ ). Os efeitos da quantidade de açúcar (AC), leite em pó (LP) e farinha modificada (FMS) foram significativos ( $P \leq 0,05$ ) nos modelos de ISA e firmeza. Para o modelo do ISL, o modelo apresentou falta de ajuste significativa, sendo apresentado por possuir alguns efeitos significativos, não podendo ser utilizado para fins preditivos, mas somente com o objetivo de verificar a tendência da resposta.

O efeito da interação entre AC e LP foi significativo ( $P \leq 0,05$ ), com exceção do modelo de ISA. O efeito da interação entre a LP e FMS não foi significativo para os modelos ISA e firmeza instrumental, no entanto, optou-se por mantê-la no modelo de firmeza, pois melhorou o ajuste do modelo, ou seja, apresentou o melhor coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ). O efeito da interação entre AC e FMS também não foi significativo para os modelos de ISA e firmeza, mas optou-se por mantê-la no ISA para um melhor ajuste de modelo.

**Tabela 3. 3.** Modelos de regressão múltipla, nível de significância (P), falta de ajuste (FA) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para índice de solubilidade em água (ISA), índice de solubilidade em leite (ISL) e firmeza do produto similar à farinha láctea experimental (FLE) em função dos níveis codificados de açúcar ( $x_1$ ), leite em pó ( $x_2$ ) e farinha modificada ( $x_3$ ).

Propriedade	Modelo*	P	FA	$R^2$
ISA	$81,54x_1+53,56x_2+33,81x_3-44,23x_1x_2-45,50x_1x_3$	0,014	1,48000	0,9927
ISL	$50,06x_1+50,60x_2+37,20x_3+21,76x_1x_2-7,82x_2x_3$	0,006	0,30860	0,9888
Firmeza**	$0,14x_1+0,16x_2+0,24x_3+0,17x_1x_2+0,09x_2x_3$	0,044	0,00005	0,9775

\* Efeitos em itálico não foram significativos, porém foram mantidos para melhoria do ajuste do modelo. \*\*A análise de firmeza foi realizada no mingau produzido com as misturas do delineamento de FLE .

Os gráficos de curvas de nível elaborados a partir dos modelos ajustados para ISA, ISL e firmeza estão apresentados na Figura 3. 1. Os vértices de cada extremidade da área demarcada com linha contínua destes gráficos representam os valores máximos em pseudocomponentes de cada componente da mistura, sendo as misturas do delineamento representadas por números de 1 a 6. As linhas pontilhadas estão demarcando as áreas de máxima e mínima tendência de acordo com cada resposta.

Observou-se que a tendência do gráfico A, Figura 3.1 que quanto maior quantidade de açúcar na mistura, maior solubilidade em água, representada pela área com tons vermelhos. A área delimitada pelos pontos A, 2 e 5 representam a área do gráfico de máximo ISA, apresentados pela cor verde clara. Assim os pontos A (0,39; 0,5; 0,11), 2 (0,4 :0,6: 0) e 5 (0,2; 0,8; 0) nas proporções dos componentes AC:LP:FMS, valores em pseudocomponentes. A área

de mínima absorção está delimitada pelos pontos 1, B e C (área com tons mais verdes) dos pontos 1 (0: 0: 1), B (0,13: 0: 0,88) e C (0: 0,11: 0,89). Quanto maior proporção da FMS na mistura, menores valores no ISA. A FMS, apesar de modificada enzimaticamente e seca a 100°C ainda apresenta uma solubilidade ruim em comparação ao açúcar refinado e ao leite em pó, que passou pelo processo de instantaneização.

Para o ISL, o gráfico B da Figura 3.1 apresenta uma tendência de maior ISL com o aumento de LP e AC na mistura. A área de máximo ISL está demarcada pela linha pontilhada, contendo os pontos A, B, 2 e 5, nas formulações 0,82: 0,18: 0; 0,15: 0,85: 0; 0,4: 0,6: 0 e 0,2: 0,8: 0 respectivamente. Transformando em componentes, as formulações equivalem as proporções nas misturas dos pontos A (0,25: 0,25: 0,5); B (0,05: 0,24: 0,71); 2 (0,15: 0,35: 0,5) e 5 (0,1: 0,4: 0,5), indicando que a faixa de máximo ISL está entre 5 a 25% de AC, 24 a 40% de LP e 50 a 71% de FMS. A área de mínimo ISL está delimitada pelos pontos C, D e 1, nas proporções das formulações em pseudocomponentes (0,05: 0: 0,95); (0: 0,13: 0,87) e (0: 0: 1); área verde escuro do gráfico. Em componentes, correspondem as formulações das misturas de C (0,06: 0,2: 0,74), D (0,05: 0,23: 0,72) e 1 (0,05: 0,20: 0,75), indicando que ocorre mínimo ISL com formulação de 5 a 6% de AC, 20 a 23% de LP e 72 a 75% de FMS. Quanto maior a proporção de FMS e menores proporções de AC e LP na composição das misturas, menor ISL.

Entre as características sensoriais de aceitação, tais como aparência, textura e sabor, a textura é um atributo extremamente importante e em alimentos como biscoitos, *snacks*, massas alimentícias, pães, bolos e outros produtos de panificação em que a textura é o fator mais importante na escolha do consumidor (MARTINEZ et al., 2007).

A análise de firmeza (obtida por meio da força máxima durante a penetração do probe no mingau) foi escolhida ao invés da viscosidade devido ao mingau de farinha láctea formar grumos, e quando submetidos a análise de viscosidade pelo viscosímetro Brookfield, não apresentaram estabilidade durante a realização da análise ao ponto de realização da leitura.

O gráfico C representa a firmeza, medida em força máxima, nos mingaus a 50°C com diferentes misturas do delineamento de FLE. A área de máxima firmeza está concentrada nos pontos A (0: 0,1: 0,9), B (0: 0,35: 0,65) e 1 (0: 0: 1), parte mais vermelha do gráfico, representados em valores em pseudocomponentes. Transformando em componentes, as formulações equivalem as proporções nas misturas, A (0,05: 0,2: 0,73), B (0,05: 0,29: 0,66), 1 (0,05: 0,20: 0,75). A área de mínima firmeza está determinada pelos pontos C (0,32: 0,8: 0), 4 (0: 0,8: 0,2) e 5 (0,2: 0,8: 0), delimitada pela coloração verde claro do gráfico, valores em pseudocomponentes. As formulações equivalem as proporções nas misturas, em

componentes por C (0,13: 0,37: 0,5), 4 (0,05: 0,40: 0,55) e 5 (0,10: 0,40: 0,50). Os resultados apresentam uma tendência de maior firmeza do mingau, com o aumento da proporção de FMS (66 a 75%) e menor firmeza com o aumento de AC (5 a 13%).

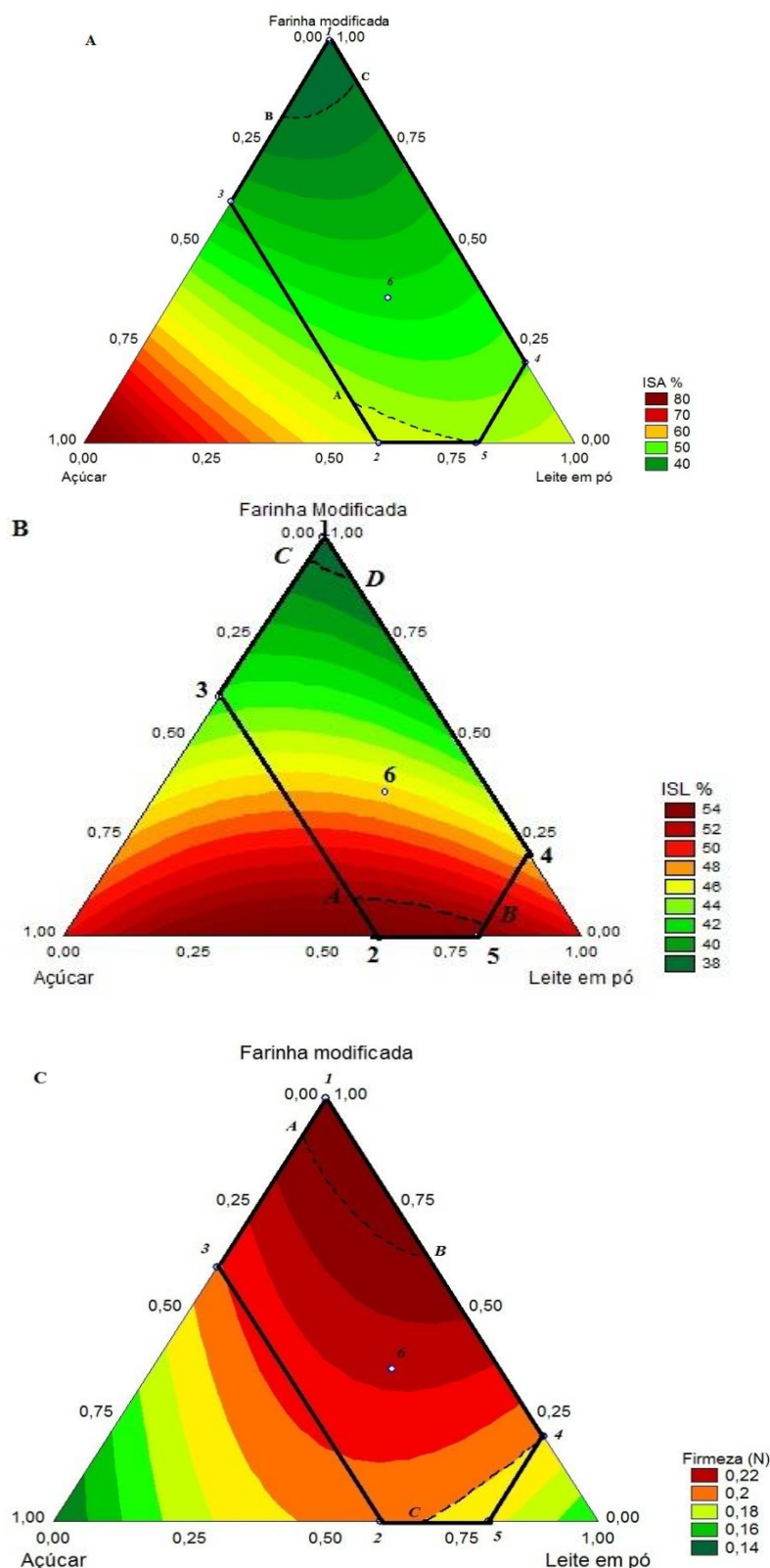
Ahmad & Williams (1999) explicam o efeito do açúcar na estrutura de dispersão do amido em termos da inibição da organização das cadeias. As moléculas de açúcar com grupos hidroxila equatoriais (ribose) previnem a reordenação da cadeia, reduzindo a viscosidade de pasta, diminuindo a firmeza do produto.

A FMS que contém amido influencia no aspecto firme e viscoso do mingau, devido ao processo de gelatinização dos grânulos em temperaturas entre 90 e 95°C. Segundo Brennan, Kuri & Tudorica (2004), a firmeza pode estar relacionada com a hidratação dos grânulos de amido durante o processo de cozimento e sua conseqüente gelatinização. A maior quantidade de grânulos de amido em dispersão, havendo disponibilidade de água suficiente, faz com que ocorra maior inchamento, maior contato entre as partículas, refletindo-se em maior força necessária para romper a estrutura formada na gelatinização (WHISTLER, BEMILLER, 1997; DAMODARAN; FENNEMA, 2010).

Master e Steeneken (1997) descrevem a influência dos componentes do leite em pó (como micelas de caseína, lactose e proteínas do soro) no comportamento reológico do amido. Pesquisas demonstram um aumento de viscosidade na presença de leite (caseínas, lactoglobulinas, gordura e outros componentes do leite, ou ainda, devido às interações entre os componentes. Tendo natureza iônica, acredita-se que a caseína e seus hidrolisados possam interagir com a amilose e ramificações da amilopectina por ligações de hidrogênio não-covalentes (GOEL et al., 1999).

A partir dos dados das coordenadas de cor obtidos no delineamento de mistura foram elaborados modelos matemáticos de regressão que expressaram a relação entre os pseudocomponentes e as coordenadas de cor  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  das misturas da FLE. Assim, o modelo de regressão, o nível de significância ( $p$ ), a falta de ajuste (FA) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  das farinhas lácteas experimentais estão apresentados na Tabela 3.4.

Os modelos de todos os parâmetros de cor  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  foram significativos ( $p=0,010$ ;  $p=0,002$  e  $p=0,025$  respectivamente). Os efeitos da quantidade de AC, LP e FMS foram significativos ( $P \leq 0,05$ ) em todos modelos analisados. A interação entre AC e LP foi significativa ( $P \leq 0,05$ ) apenas no modelo de cor  $a^*$ , mas essa interação foi mantida para  $L^*$ , pois com essa interação o modelo apresentou um melhor coeficiente de ajuste do modelo.



**Figura 3.1.** (A) Índice de solubilidade em água (ISA), (B) índice de solubilidade em leite (ISL), (C) firmeza em função das proporções em pseudocomponentes de açúcar, leite em pó e farinha de arroz modificada. Área demarcada entre os pontos experimentais evidencia a área do gráfico possível de ser analisada. Os vértices de cada extremidade da área demarcada representam o valor máximo de pseudocomponente de cada ingrediente da mistura.

O efeito da interação entre LP e FMS foi significativa apenas para o modelo a\*, sendo mantido para L\* e b\* para um melhor valor de coeficiente de determinação do modelo. A interação entre AC e FMS não foi significativa ( $P > 0,05$ ) para nenhum dos modelos acima.

**Tabela 3.4.** Modelo de regressão múltipla, nível de significância (P), falta de ajuste (FA) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para as coordenadas de cor L\*, a\* e b\* das misturas do produto similar à farinha láctea experimental (FLE) em função dos níveis de açúcar ( $x_1$ ), leite em pó ( $x_2$ ) e farinha modificada enzimaticamente e seca (FMS) ( $x_3$ ).

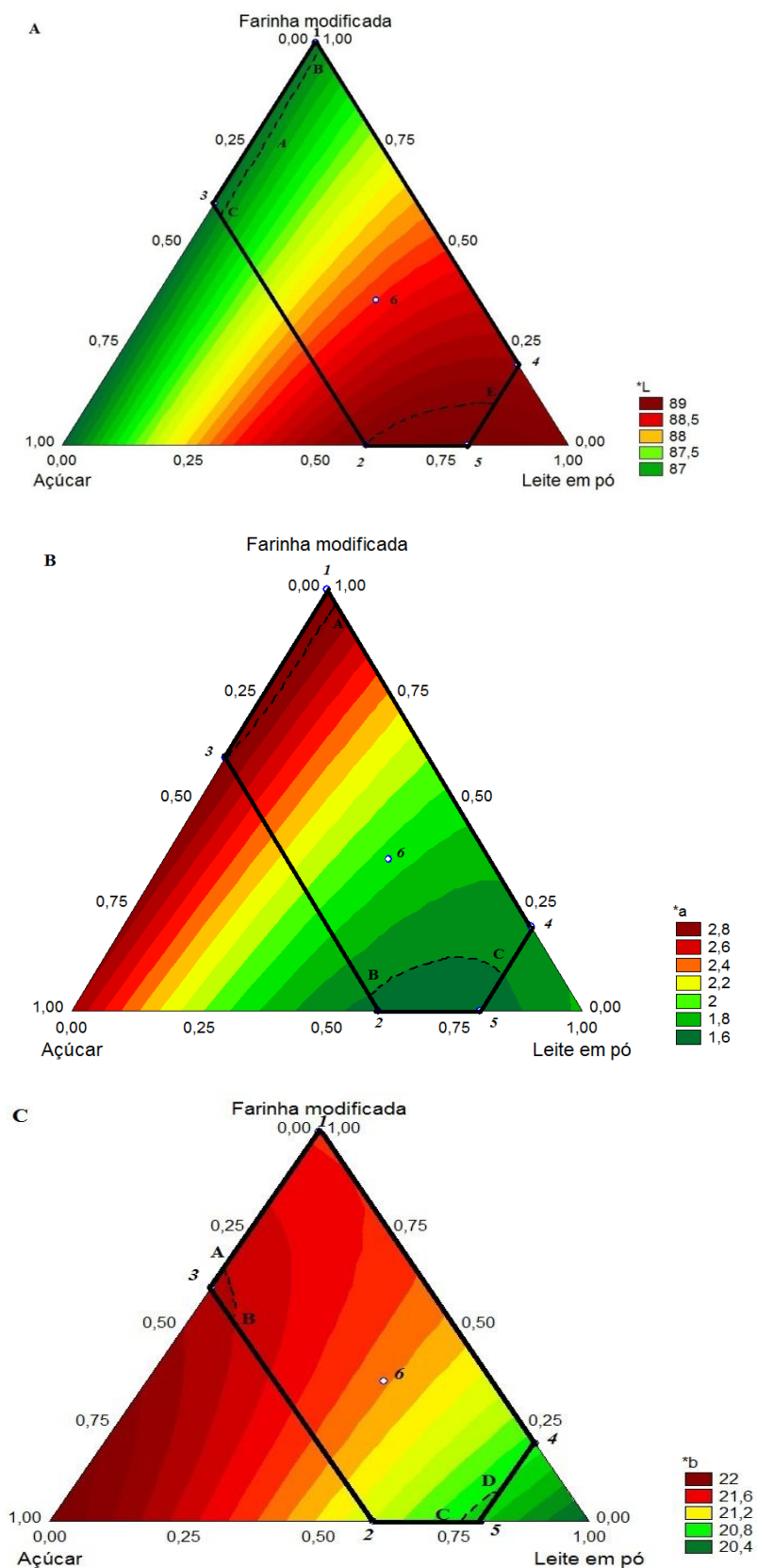
Propriedade	Modelo	P	FA	$R^2$
L*	$86,55x_1+89,05x_2+86,73x_3+4,06x_1x_2+1,49x_2x_3$	0,010	0,0150	0,9949
a*	$2,70x_1+1,73x_2+2,94x_3-2,34x_1x_2-1,890x_2x_3$	0,002	0,0005	0,9988
b*	$22,71x_1+20,25x_2+21,48x_3+1,60x_2x_3$	0,025	0,0600	0,9391

\* Efeitos em itálico não foram significativos, porém foram mantidos para melhoria do ajuste do modelo

Os gráficos de curvas de nível elaborados a partir dos modelos ajustados para L\*, croma a\* e b\* das farinhas lácteas experimentais estão apresentados na Figura 3.2. Os vértices de cada extremidade da área demarcada destes gráficos representam os valores máximos em pseudocomponentes de cada componente da mistura.

A luminosidade está relacionada com a quantidade de luz que é refletida pela amostra, ou seja, quanto mais luz é refletida, maior será o valor de L\* e vice-versa. Este componente expressa a intensidade do branco nas amostras (TEBA, 2009).

No gráfico A da Figura 3.2 observou-se uma tendência da coordenada de luminosidade com aumento da concentração do AC e LP. A área de máxima luminosidade, ou seja, o produto mais claro, foi demarcado pelos pontos D, 2 e 5, sendo respectivamente (0,11: 0,82: 0,07), (0,4: 0,6: 0) e (0,2: 0,8: 0), valores em pseudocomponentes. Em componentes, correspondem as formulações das misturas de D (0,028 : 0,405: 0,52), 2 (0,15: 0,35: 0,5) e 5 (0,10: 0,40: 0,50). A área de mínima luminosidade foi delimitada pelos pontos A, B, C, 1 e 3 onde dois pontos do delineamento de mistura estão nessa área, sendo os pontos A (0,19: 0,02 :0,78), B (0; 0,02; 0,98), C (0,40; 0,02; 0,58), 1(0: 0: 1) e 3(0,4: 0: 0,6), valores em pseudocomponentes. Em componentes, correspondem as formulações A (0,1:0,20:0,70), B (0,05: 0,20: 0,75), C (0,15: 0,20: 0,65), 1 (0,05: 0,20: 0,75) e 3 (0,15: 0,20: 0,65). As misturas com maior conteúdo de LP, entre 35 e 40% e menor proporção da FMS (50%) tendem a apresentar uma luminosidade mais alta, fazendo com que o produto se torne mais claro.



**Figura 3.2.** Luminosidade (A), croma a\* (B) e croma b\* (C) em função das proporções de açúcar, leite em pó e farinha modificada e seca, em pseudocomponentes. A área demarcada entre os pontos experimentais demonstra a área do gráfico possível de ser analisada.

Na Figura 3.2, no gráfico B está representado a cromaticidade  $a^*$ , que apresenta a tendência da amostra variar dos tons de verde (valores negativos) para o vermelho (valores positivos). A área formada pelos pontos A (0; 0,05; 0,95), 3 (0,4; 0; 0,6) e 1 (0:0:1) apresenta os valores de maior cromatidade  $a^*$ , sendo todos positivos, tendendo ao vermelho, valores em pseudocomponentes. Transformando em componentes, as formulações equivalem as proporções nas misturas A (0,05: 0,21: 0,74), 3 (0,15: 0,20: 65) e 1 (0,5: 0,20: 0,75). Porém, mesmos os valores sendo positivos, o maior valor encontrado foi da mistura 1, foi de 2,94 apresentando valores próximos a neutralidade. Os pontos B (0,41; 0,57; 0,02), C (0,11; 0,81; 0,08), 2 (0,4; 0,6; 0) e 5 (0,2; 0,8; 0) apresentaram a área de mínima cromaticidade  $a^*$ , com menor tendência ao vermelho, valores em pseudocomponentes. Em componentes correspondem as misturas B (0,15: 0,34: 0,51), C (0,08: 0,40: 0,52), 5 (0,10: 0,40: 0,50) e 2 (0,15: 0,35: 0,50) respectivamente. O ponto 5 foi o que apresentou menor valor de  $a^*$  entre as misturas (1,53), apresentando uma redução da cor vermelha em 47,96% entre os maiores e menores valores das misturas de 1 a 7. Observa-se pelas tendências do gráfico que quanto maior concentração de FMS na mistura, como na área de máximo, 65 a 75%, maior a tendência da mistura a tonalidade vermelha. Enquanto com o aumento da concentração de LP (34 a 40%) e AC (8 a 15%), ocorre uma menor tendência ao vermelho, como os valores são próximos a zero, e maior tendência a neutralidade das misturas, podendo essas misturas serem utilizadas em alimentos que não desejem a alteração da cor como géis, espessantes.

No gráfico C da Figura 3.2, observa-se a tendência da cromaticidade  $b^*$ , em que valores negativos tendem a tonalidade azul, e valores positivos, tonalidade amarela. Os valores de todas as misturas foram positivos, ou seja, tendem ao amarelo. A área de máxima cromaticidade  $b^*$  está delimitada pelos pontos A (0,36; 0; 0,64), B (0,40; 0,09; 0,51) e 3 (0,4; 0; 0,6), sendo o valor  $b^*$  do ponto 3 de 21,70, valores em pseudocomponentes. Transformando em componentes, as formulações equivalem as proporções nas misturas A (0,14: 0,2: 0,66), B (0,15: 0,22: 0,63), 3 (0,15 : 0,20: 0,65). A área de mínima cromaticidade  $b^*$  está representada pelos pontos C (0,23; 0,77; 0), D (0,11; 0,81; 0,08) e 5 (0,2; 0,8 ; 0), sendo o valor da coordenada  $b^*$  do ponto 5, 20,47. Transformando em componentes, as formulações equivalem as proporções nas misturas da área de mínima cromaticidade  $b^*$  sendo C (0,10: 0,48: 0,50); D (0,08: 0,40: 0,52). Pode-se observar que as misturas com maiores concentrações de FMS (63 a 65%) tendem para amarelo e que com 7 diferentes proporções



nas misturas AC:LP:FMS diferiram muito pouco na tonalidade das mesmas, reduzindo apenas 5,67% entre os maiores e menores valores das misturas de 1 a 7. As farinhas mais amareladas são desejáveis para elaboração de produtos de panificação, farinhas lácteas entre outros.

#### 5.3.3.2 Análises microbiológicas da farinha modificada enzimaticamente e seca

Devido as condições de hidrólise terem sido realizadas em temperatura de 40°C e pH 5,0, condições propícias para desenvolvimento microbiano, foram realizadas análises microbiológicas afim de garantir o produto quanto a possível contaminação. Os resultados das análises microbiológicas estão apresentados na Tabela 3.5.

A RDC n° 12/ANVISA (BRASIL, 2010) é a legislação responsável pelo regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. As análises foram realizadas somente no tratamento escolhido (FMS 100) devido aos demais ingredientes, leite em pó e açúcar refinado, serem considerados comercialmente estéreis, pois são produtos de marcas comercializadas no mercado.

Os resultados obtidos das análises microbiológicas (Tabela 3.5), indicam que para as análises de coliformes a 35°C, coliformes a 45°C, estafilococos coagulase positiva e *Salmonella sp* houve ausência desses micro-organismos na amostra de FMS<sub>100</sub> utilizada para produção de FLE.

Na análise de *Bacillus cereus*, a amostra apresentou uma contagem de  $1 \times 10^2$  UFC/g de amostra, porém valores dentro dos permitidos das duas categorias da legislação vigente.

Como a FMS<sub>100</sub> permaneceu por 8 horas no secador até atingir a umidade desejada, o tratamento conseguiu eliminar possível contaminação presente na amostra. O *Bacillus cereus* é uma bactéria que produz esporos, encontrada no solo e por isso está presente em diversos minerais. Por ser esporulado, precisa de condições extremas de tempo e temperatura, não sendo eliminado nesse processo, apesar de estar dentro dos padrões da legislação.

**Tabela 3.5.** Análises microbiológicas realizadas na farinha modificada enzimaticamente e seca a 100°C.

Análises microbiológicas	Valores permitidos por legislação*		Resultados das análises
	Amidos, farinhas, féculas	Alimentos infantis consumidos com líquidos ou não por crianças acima de 1 ano	
<i>Bacillus cereus</i> <sup>1</sup>	3x10 <sup>3</sup>	5x10 <sup>2</sup>	1x10 <sup>2</sup>
Coliformes a 45°C <sup>1</sup>	10 <sup>2</sup>	1	Ausente
Coliformes a 35°C <sup>1</sup>	-	20	Ausente
Estafilococos coagulase positiva <sup>1</sup>	-	5x10	Ausente
<i>Salmonella sp</i>	Ausente	Ausente	Ausente

\*(BRASIL, 1997). <sup>1</sup> UFC/g de amostra.

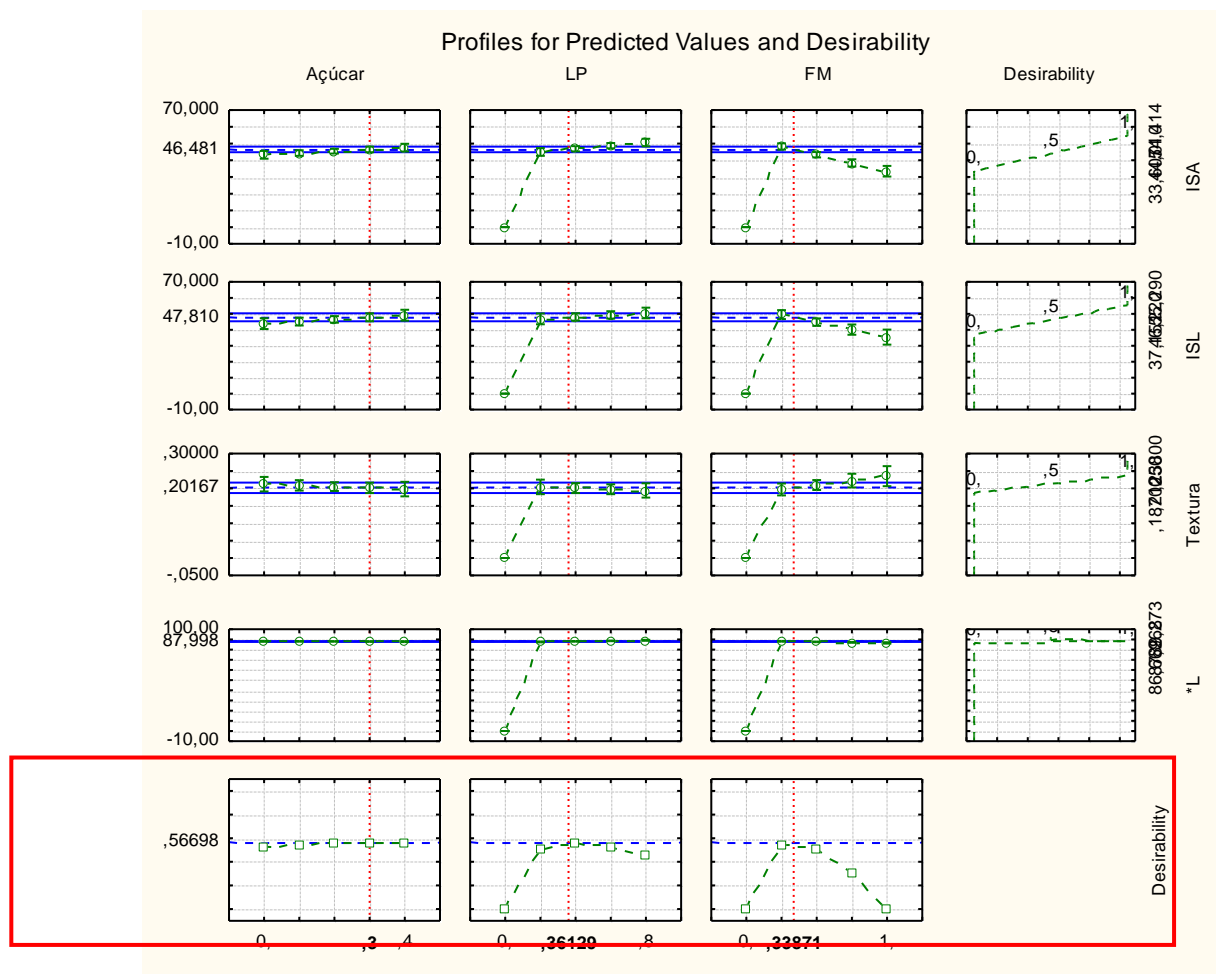
#### 5.3.3.3 Teste de desejabilidade

Para determinação da formulação ideal da FLD a ser utilizada na análise sensorial, foram escolhidos os tratamentos com maiores valores de ISA, ISL, firmeza e luminosidade L\*, tornando como padrão as marcas comerciais. O IAA e IAL não foram escolhidos, pois os modelos não foram significativos ( $P > 0,05$ ).

Como na função utilizada para a determinação do produto mais desejado, “response desirability profiling”, do programa Statistica 7.0 (STATSOFT, 2007) não pode se atribuir pesos para as análises, utilizou-se as análises consideradas mais relevantes para a formulação da FLD. Sendo assim, as coordenadas de cromaticidade a\* e b\*, que apresentaram modelos significativos, foram retiradas da análise.

Na Figura 3.3 está o teste de desejabilidade da formulação ideal para produção da FLD.

A mistura do delineamento ideal de acordo a desejabilidade gerada pelo programa foi uma mistura com (0,3:0,36:0,34) para as proporções dos ingrediente de AC:LP:FMS respectivamente, valores em pseudocomponentes. Como no delineamento experimental não tem esse ponto, foi considerado o ponto mais próximo a desejabilidade ideal, sendo este ponto central (0,2:0,44:0,36), valores em pseudocomponentes.



**Figura 3.3.** Teste de desejabilidade da FLD utilizando parâmetros de índice de solubilidade em água e leite, “firmeza” e luminosidade (L\*).

Pode-se observar que os pontos das proporções do delineamento escolhido na Figura 3.3, mantém a tendência da desejabilidade. Em valores de componentes, a mistura de farinha láctea de arroz desejada (FLD) foi com a proporção de 15% de açúcar, 31% de leite em pó e 59% de farinha modificada e seca a 100°C.

#### 5.3.3.4 Avaliação sensorial do mingau da farinha láctea desejada (MFLD)

A equipe da análise sensorial do teste de aceitação do MFLD foi composta por 60 provadores, sendo 31,67% do sexo masculino e 68,33% do sexo feminino, 66,67% com

escolaridade de 3º grau, 26,67% com 2º grau e 6,66% de 1º grau. Os provadores apresentaram faixa etária de 15 a 50 anos, sendo 46,67% da faixa etária entre 15 a 25 anos, 36,66% de 25 a 35 anos e 16,67% de 35 a 50 anos. A frequência de consumo dos provadores de produtos como farinha láctea, mingau de maisena e arroz foram de 58,33% ocasionalmente (1 a 5x por ano), 26,67% moderadamente (1 a 3x por mês) e 15% frequentemente (1 a 3x por semana).

A amostra de MFLD avaliada pelos 60 provadores recebeu escore médio de 7,95, correspondente à classificação entre “gostei moderadamente” e “gostei muito”, estando, portanto, acima do índice de aceitação determinado por Dutcosky (1995), sendo o valor mínimo dos resultados aceito de 7,0. O resultado da aceitação sensorial do MFLD obtido apresentou um valor acima do índice aceito, mesmo 58,33% dos provadores da equipe relatando consumir ocasionalmente esse tipo de produto. No campo de observação da ficha de análise sensorial (APÊNDICE A), 28,33% dos provadores fizeram anotações, sendo que 20% dos provadores do MFLD ressaltaram que prefeririam o mingau mais doce e 8,33% acharam o mingau com sabor “leve”, e que não era “enjoativo” em relação ao comerciais.

Em análise sensorial de mingau de preparo rápido com farinhas de arroz, soja desengordurada e leite em pó em diferentes proporções, Wang, Clerici e Sgarbieri (1994) quando avaliados em relação ao sabor, obtiveram *scores* entre 6,86 e 8,00. Encontraram maior aceitabilidade nas formulações com maior proporção de leite em pó e justificaram devido a proteína e a gordura do leite, quando combinadas com outros componentes de um produto, engrandecem e completam o perfil de sabor e aroma. Esse motivo também pode ter contribuído para que no teste de aceitação do MFLD, realizado neste trabalho, obtivessem médias de 7,95.

#### 5.3.3.5 Propriedades físicas, químicas e tecnológicas da farinha láctea de arroz desejada (FLD) comparadas com farinhas lácteas comerciais de trigo

A mistura selecionada FLD (10: 31: 59), ponto central do delineamento, foi comparada com farinhas lácteas de três marcas comerciais (A, B e C) quanto as propriedades tecnológicas (Tabela 3.6).

Os resultados encontrados para o ISA das FLD e dos produtos comercializados A, B e C demonstram maior solubilidade em água para a marca A, sendo 36,30% maior quando

comparada a FLD. Porém pode se observar que as marcas comerciais apresentam diferenças significativas entre elas ( $P \leq 0,05$ ) mostrando que não possuem um padrão para todos os produtos comercializados. A FLD não diferiu significativamente ( $P > 0,05$ ) em comparação a marca B apresentando os mesmos padrões tecnológicos quanto ao ISA para essa marca.

**Tabela 3.6.** Índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção em água (IAA), índice de solubilidade em leite (ISL) e índice de absorção em leite (IAL) da farinha láctea desejada (FLD) comparados com três marcas comerciais de farinhas lácteas.

Propriedade	Farinha láctea			
	FLD	Marcas Comerciais		
		A	B	C
ISA <sup>1</sup>	45,89±0,73 <sup>c</sup>	62,55±3,04 <sup>a</sup>	46,64 ± 0,21 <sup>c</sup>	56,66 ± 1,86 <sup>b</sup>
IAA <sup>2</sup>	3,81±0,07 <sup>c</sup>	15,37±1,19 <sup>a</sup>	8,27 ± 0,06 <sup>b</sup>	10,02 ± 0,77 <sup>b</sup>
ISL <sup>1</sup>	46,97±0,08 <sup>d</sup>	78,67±3,57 <sup>a</sup>	60,17 ± 1,19 <sup>c</sup>	68,88 ± 3,18 <sup>b</sup>
IAL <sup>2</sup>	4,25±0,03 <sup>d</sup>	19,10±0,17 <sup>a</sup>	11,59± 0,34 <sup>c</sup>	16,44 ± 0,28 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>Valores correspondem à média ± desvio-padrão (em %); <sup>2</sup>Valores correspondem à média ± desvio-padrão (g gel/g de matéria seca); Letras diferentes em linha diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

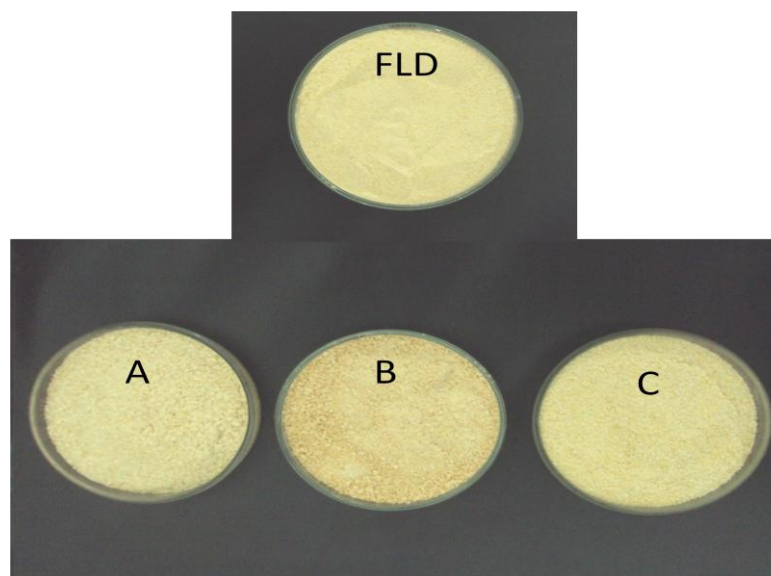
Para o IAA, houve diferença significativa entre as marcas ( $P \leq 0,05$ ), sendo que as marcas B e C não diferiram estatisticamente entre elas. A farinha láctea que apresentou maior IAA foi a marca A, 15,17 gel/g de matéria seca, sendo 3,98 vezes mais solúvel em água que a FLD. A marca A foi mais solúvel que as marcas B e C, podendo essa diferença ser proveniente dos diferentes parâmetros utilizados durante o tratamento para produção da farinha láctea de trigo.

Quanto ao ISL, todas as amostras diferiram significativamente ( $P \leq 0,05$ ), sendo a amostra com maior ISL a farinha láctea da marca A. A marca A apresentou um ISL 40,30% maior que a FLD. Já em relação às outras marcas, apresentou ISL 23,51% maior que marca B e 12,44% que a marca C. Essas diferenças podem ter ocorrido entre o ISL pelas diferentes formas de processamento das farinhas utilizadas pelas marcas comerciais e por elas serem de trigo.

Comparando as marcas comerciais A, B, C e a FLD todas diferiram significativamente ( $P \leq 0,05$ ) em relação ao IAL, sendo a marca que apresentou o maior IAL foi a marca A. O IAL da FLD foi 4,50 vezes menor que a farinha láctea com maior IAL, a marca A.

Comparando as marcas comerciais A, B, C e a FLD todas diferiram significativamente ( $P \leq 0,05$ ) em relação ao IAL, sendo a marca que apresentou o maior IAL foi a marca A. O IAL da FLD foi 4,50 vezes menor que a farinha láctea com maior IAL, a marca A.

As imagens das farinhas lácteas comerciais A, B e C e da FLD estão representadas na Figura 3.4. Pode-se observar visualmente que houve diferença nas cores entre as farinhas lácteas comerciais e a FLD.



**Figura 3.4.** Farinha láctea desejada (FLD) e respectivas marcas A, B e C de farinhas lácteas comerciais.

Os parâmetros de cor da FLD e das marcas comerciais de farinha láctea estão apresentados na Tabela 3. 7.

Em relação a luminosidade ( $L^*$ ) a FLD e a marca A não diferiram significativamente entre si ( $P > 0,05$ ) e as marcas B e C diferiram significativamente ( $P \leq 0,05$ ) entre si e das demais. As farinhas lácteas comerciais e a FLD apresentaram tendência ao branco, sendo que a FLD e a marca A apresentaram tonalidades mais claras em relação as outras.

Quanto a cromaticidade  $a^*$ , a farinha láctea da marca C foi a que apresentou maior valor, indicando maior tendência ao vermelho e diferiu significativamente ( $P \leq 0,05$ ) das demais. A FLD diferiu significativamente ( $P \leq 0,05$ ) de todas as marcas comerciais. As farinhas lácteas das marca A e B não diferiram significativamente entre si ( $P > 0,05$ ) e diferiram entre as demais, apresentando os menores valores para esse parâmetro de cor.

**Tabela 3.7.** Coordenadas de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) da farinha láctea desejada (FLD) e de três marcas comerciais de farinhas lácteas.

Propriedade	Farinha láctea			
	FLD	Marcas Comerciais		
		A	B	C
$L^*$	88,17±0,05 <sup>a</sup>	88,81±0,06 <sup>a</sup>	85,41 ± 0,35 <sup>c</sup>	86,91 ± 0,35 <sup>b</sup>
$a^*$	1,90±0,04 <sup>b</sup>	1,65±0,02 <sup>b</sup>	1,63 ± 0,03 <sup>c</sup>	3,04 ± 0,12 <sup>a</sup>
$b^*$	21,31±0,11 <sup>a</sup>	20,85±0,25 <sup>a</sup>	18,97± 0,18 <sup>b</sup>	19,05 ± 0,24 <sup>b</sup>

Letras diferentes entre as colunas diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Para a coordenada de cromaticidade  $b^*$ , as médias das farinhas lácteas FLD e da marca A foram que apresentaram maior tendência ao amarelo, não diferindo significativamente entre si ( $P > 0,05$ ). As farinhas lácteas das marcas B e C não apresentaram diferença significativa entre as médias ( $P > 0,05$ ) e diferiram entre as demais.

Em relação aos parâmetros de cor, observa-se que as farinhas lácteas comerciais e a FLE apresentam tendência a luminosidade mais clara, amarela e vermelha clara.

Na Tabela 3.8 estão apresentados os resultados da análise de firmeza da FLD e de três marcas comerciais de farinhas lácteas.

**Tabela 3.8.** Análise de firmeza do mingau de farinha láctea desejado (MFLD) e de três marcas comerciais de farinhas lácteas.

Propriedade	Farinha láctea			
	FLD	Marcas Comerciais		
		A	B	C
Firmeza <sup>1</sup>	0,216±0,00 <sup>c</sup>	0,375±0,02 <sup>a</sup>	0,301 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,240 ± 0,00 <sup>c</sup>

<sup>1</sup>Valores correspondem à média ± desvio-padrão, força máxima (N).

Os resultados apresentados pela Tabela 3.8 mostram que as marcas A e B de farinha láctea comercial diferiram significativamente entre si e em relação às demais ( $P \leq 0,05$ ). A FLE e a marca C não diferiram significativamente entre si ( $P > 0,05$ ), diferindo das demais marcas. A marca que apresentou maior firmeza foi A, apresentando 42,4% superior a FLE. Mesmo com essa diferença em relação à marca A, a FLE apresentou valores próximos ao valor de uma das marcas comerciais, marca C.

Os resultados das análises demonstraram que as farinhas lácteas comerciais (A, B e C) não apresentaram um padrão entre elas, sempre diferindo significativamente e que a FLE sempre apresentou valores próximos às diferentes marcas, indicando que o produto se assemelha ao produto comercial

Em estudo com mingaus de marama (*Tylosema esculentum* (Burch) A. Schreib) e sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) em diferentes proporções na África do Sul, Kayietesi et al. (2010) encontraram valores de firmeza entre 0,45 e 0,6 N, sendo estes valores bem superiores aos encontrados para os mingaus da (52 e 64%) e das farinhas lácteas comercializadas.

Lobato (2006) em estudo com misturas de leite, inulina e açúcar nas características de textura e sensoriais de pudins encontram valores de textura “firmeza” entre 0,40 a 0,63N. Os pudins com as formulações com maior proporção de amido (6%) foram que apresentaram maiores valores para firmeza. Oliveira (2002) no desenvolvimento de flans e pudins comerciais também concluiu que quanto maior a quantidade de amido, maior a força necessária para romper a estrutura do gel.

A firmeza do mingau está relacionada com a proporção de amido na formulação e também com a proporção utilizada para elaboração do mingau. Na marca A, no rótulo recomenda-se 30g para 120mL de leite, marca B 16,33g para 100mL de leite e marca C 15g para 100 mL de leite. Isso se justifica devido a marca A ter apresentado valores de firmeza acima das outras marcas comerciais (B e C). Já para FLD, utilizou-se apenas 8g para 100 mL de leite para produção do mingau, necessitando de menos produto para o consumo. Se optar por um MFLD mais firme, basta aumentar a porção para produção do mingau.

Na Tabela 3.9 estão apresentados a composição centesimal da FLD e das três marcas comercializadas de farinha láctea.

De acordo com a Tabela 3.9, a composição da FLD apresentou maior teor de gorduras totais, e conseqüentemente, maior valor energético em comparação com as marcas comerciais. Essa quantidade maior de lipídios foi possivelmente devido a formulação da FLD possuir 31% de leite em pó instantâneo, sendo que a legislação da farinha láctea exige no mínimo 20% de extrato seco de leite. Provavelmente as farinhas lácteas comerciais utilizam menores quantidades de extrato seco de leite na composição. Outro fator pode ser que, a farinha de



arroz modificada utilizada para mistura da FLD apresente um maior teor de lipídios do que a farinha utilizada para elaboração das farinhas lácteas comerciais.

**Tabela 3.9.** Composição centesimal do produto similar à farinha láctea desejado (FLD), marcas comerciais de farinhas lácteas e de mingau estudado por Augusto-Ruiz et al.(2003).

Propriedade*	Farinha lacteal				
	FLD	Marcas comerciais			Augusto-Ruiz et al.(2003)
		A	B	C	
<b>Valor energético</b>	150,95	123	119	121	115,50
<b>Carboidratos</b>	22,54	22	22	23	-
<b>Proteínas</b>	3,87	3,9	3,8	3,7	4,11
<b>Gorduras totais</b>	2,89	2,2	1,9	2,4	2,31
<b>Fibra alimentar</b>	-	0,0	0,8	0,6	1,8

\* Valores de composição centesimal (%) e valor energético (Kcal) em porção de 30g de produto.

Augusto-ruiz et al. (2003) trabalharam com produto alimentício elaborado com farinha pré-gelatinizada de grãos quebrados de arroz. Com base nos resultados da avaliação sensorial e do planejamento experimental foi elaborado um produto similar a farinha láctea tendo como ingredientes: farinha pré-gelatinizada de grãos quebrados de arroz, leite em pó desnatado, açúcar, óleo de arroz e goma comercial, obtendo valores de proteínas 5,83% maiores e de valor energético 23,48% menores em comparação aos encontrados neste trabalho.

### 5.3.4 Conclusão

Os resultados obtidos demonstraram que o uso da farinha modificada enzimaticamente com  $\alpha$ -amilase e amiloglucosidade, seca a 100°C, misturada com leite em pó e açúcar na proporção 59: 31:10 permite desenvolver um produto similar à farinha láctea de arroz sem glúten. Este produto apresentou boas características de firmeza, com características tecnológicas como índice de solubilidade em água e leite, parâmetros de cor e aceitação sensorial muito semelhantes às farinhas lácteas comerciais. O produto similar à farinha láctea de arroz sem glúten apresentou textura semelhante às farinhas comerciais e apresentou-se

mais rentável, necessitando de menor quantidade de produto para fabricação do mingau. Além disso, possibilitou a aplicação de resíduos industriais na alimentação humana, aliando aos interesses do consumidor que buscam por produtos mais saudáveis e isentos de glúten.

### 5.3.5 Agradecimentos

À CAPES e FAPEG pela bolsa de estudo e pelo apoio financeiro e a UEL pela parceria.

### 5.3.6 Referências

ABU-JDAYIL, B.; MOHAMEED, H.; EASSA, A Rheology of wheat starch-milk-sugar systems: effect of starch concentration, sugar type and concentration, and milk fat content. **Journal of Food Engineering**, London, v. 64, n. 2, p. 207-212, 2004.

ANDERSON, R. A.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN JUNIOR, E. L. Gelatinization of corn grits by rolland extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, Minneapolis, v. 14, n. 1, p. 44-11, 1969.

A.O.A.C. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC International**. Food composition, additives, natural contaminants. 16. ed. v. 2. Gaithersburg: AOAC, 1997.

A. O. A. C. **Official methods of analysis of AOAC International**: Agricultural chemicals, contaminants, drugs. 16. ed., v. 1. Gaithersburg: AOAC International, 1998.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4. ed. Washington: APHA, 2001, 676 p.

AUGUSTO-RUIZ, W.; BONATO, S. R.; ARRIECHE, L. S.; ALVES, F. V. Caracterização da farinha pré-gelatinizada de arroz integral produzida a partir de grãos quebrados. **Vetor**, Rio Grande, v.13, n. 1, p. 25-46, 2003.

BARROS NETO, B. B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 4 ed. Campinas: Unicamp, 2010, 404p.

BAYARRI, S.; DURAN, L.; COSTELL, E. Compression resistance, sweetener's diffusion and sweetness of hydrocolloids gels. **International Dairy Journal**, Barking, v.13, n.8, p.643-653, 2003.

BECKER, F. S. **Caracterização de farinhas cruas e extrusadas obtidas a partir de grãos quebrados de diferentes genótipos de arroz**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

BENINCA, C. **Emprego de técnicas termoanalíticas na análise de amidos nativos e químicamente modificados**. 2008. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução **RDC nº 12 de 02 de janeiro de 2001**. Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Disponível em: <<http://www.e-legis.bvs.br>>. Acesso em: 22 jun. 2010.

BRENNAN, C.S.; KURI, V.; TUDORICA, C.M. Inulin-enriched pasta: effects on textural properties and starch degradation. **Food Chemistry**, Barking, v.86, p.189-193, 2004.

CASTILLO, V. D.; LESCANO, G.; ARMADA, M. Formulación de alimentos para celíacos con base en mezclas de harinas de quínoa, cereales y almidones. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, Caracas, v. 59 , n. 3, p. 332-336, 2009.

FIORDA, F. A. **Bagaço e fécula de mandioca na elaboração de farinhas cruas e pré-gelatinizadas, snacks e macarrões instantâneos com amaranto**. 2011. 187f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENEMMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4 ed. Porto Alegre, ARTMED, 2010.900p

DORS, G. C.; CASTIGLIONI, G. L.; AUGUSTO-RUIZ, W. Utilização da farinha de arroz na elaboração de sobremesa. **Vetor**, Rio Grande, v. 16, n. 2, p. 63-67, 2006.

DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. 3 ed. Coleção exatas, 4. Champagnat: Curitiba, 2011.426p.

FDA-FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 2002. **Bacteriological analytical manual**. Disponível em: <<http://www.cfsan.fda.gov/~eban/ban-4html>>. Acesso em: 10 jun. 2010.

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

GOEL, P.K.; SINGHAL, R.S.; KULKARNI, P.R. Studies on interactions of corn starch with casein and casein hydrolysates. **Food Chemistry**, Barking, v.64, p.383-389, 1999.

KAUR, B.; ARIFLIN, F.; BHAT, R. KARIM, A. A. Progress in starch modification in the last decade. **Food Hydrocolloids**, London, v. 26, n. 2, p. 398-404, 2012.

KAYITESY, E.; DUODU, K. G.; MINNAAR, A., KOCK, H. L. Sensory quality of marama/sorghum composite porridges. **Journal of the Science and Food Agriculture**, v. 90, n. 12, p. 2124 -2132, 2010.

LEONEL, M.; MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z.; IATAURO, R. A.; DUARTE FILHO, J.

Efeitos de parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de produtos expandidos de inhame. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**: Campinas, v.26, n.2, p.459-69, 2006.

LIMBERGER, V. M. **Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos**. 2006. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

LUMDUBWONG, N.; SEIB, P. A. Rice isolation by alkaline protease digestion of wet-millet rice flour. **Journal of Cereal Science**, London, v. 31, n. 1, p. 63-74, 2000.

LUSTOSA, B. H. B.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Influência dos parâmetros de extrusão na absorção e solubilidade em água de farinhas pré-cozidas de mandioca e caseína. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 20, n. 2, p. 223-229, 2009.

MAIA, L. H.; WANG, S. H.; ASCHERI, J. L. R.; CABRAL, L. C.; FERNANDES, L. S. Viscosidade de pasta, absorção de água e índice de solubilidade em água dos mingaus desidratados de arroz e soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 3, p. 391-396, 1999.

MARTINEZ, C. S.; RIBOTTA, P. D.; LEÓN, A. E.; AÑÓN, M. A. Physical, sensory and chemical evaluation of cooked spaghetti. **Journal of Texture Studies**, Westport, v. 38, p. 666-683, 2007.

MATSER, A.M.; STEENEKEN, P.A.M. Rheological properties of highly cross-linked waxy maize starch in aqueous suspensions of skim milk components. Effects of the concentration of starch and skim milk components. **Carbohydrate Polymers, Barking**, v.32, p.297-305,1997.

MOURA, C. M. A. **Qualidade de farinhas pré-gelatinizadas e macarrões formulados com arroz e linhaça**. 2011. f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

NABESHIMA, E. H.; EL-DASH, A. A. Modificação química da farinha de arroz como alternativa para o aproveitamento dos subprodutos do beneficiamento do arroz. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v.22, n. 1, p. 107-120, 2004.

NEVES, F. M. N.; PEREIRA, J. M.; ZAVAREZE, E. R.; DIAS, A. R. G.; ELIAS, M. C. Expansion of rice flour treated with lactic acid and sodium bisulphate. **Food Science and Technology**, Zurich, v.43, n. 2, p. 326-330, 2010.

NOBRE, S. R.; SILVA, T.; CABRAL, J. E. P. Doença celíaca revistada. **Journal Português de Gastroenterologia**, Lisboa, v.14, n. 1, p. 184-193, 2007.

PASCOAL, A. M.; MITIDIARI, S.; FERNANDES, K. F. Immobilisation of  $\alpha$ - amylase from *Aspergillus niger* onto polyaniline. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v. 89, p. 300-306, 2011.

POSSIK, P. A.; FINARDI FILHO, F.; FRANCISCO, A.; LUIZ, M. T. B. Alimentos sem glúten no controle da doença celíaca. **Nutrire**, São Paulo, v. 29, n.1, p. 61-74, 2005.

PUCHONGKAVARIN, H.; VARAVINIT, S.; BERGTHALLER, W. Comparative study of pilot scale rice starch production by an alkaline and an enzymatic process. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 57, n. 3-4, p. 134 - 144, 2005.

ROCHA, T. S.; CARNEIRO, A. P. A; FRANCO, C. M. L. Effect of enzymatic hydrolysis on some physicochemical properties of root and tuber granular starches. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 2, p. 544-551, 2010.

SING, J. M.; KAUR, L.; MCCARTHYB, O. J. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications—A review. **Food Hydrocolloids**, London, v. 21, n. 1, p. 1 - 22, 2007.

SILVA, R. N.; ASQUIERI, E. R.; FERNANDES, K. F. Immobilization of *Aspergillus Níger* glucoamylase onto a polyaniline polymer. **Process Biochemistry**, London, v. 40, n. 1, p. 1155-1159, 2005.

STASOFT. **STATISTICA 7.0 for Windows** – Computar program manual. Tulsa: Statsoft, Inc., 2007. CD Room.

TEBA, C. S. **Elaboração de massas alimentícias pré-cozidas à base de farinha mista de arroz polido e feijão preto sem casca pelo processo de extrusão termoplástica**. 2009,199 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

WANG, S. H.; CLERICI, M. T. P. S.; SGARBIERI, V. C. Características sensoriais e nutricionais de mingau de preparo rápido a base de farinhas de arroz e soja desengordurada e leite em pó. **Alimentos e Nutrição**, São Paulo, v. 5, p. 77-86, 1993/94.

WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**, Saint Paul: Eagan Press, 1997. 241p.

ZAVAREZE, E. R.; EL HALAL, S. L. M.; PEREIRA, J. M.; RADUNZ, A. L. ELIAS, M. C.; DIAS, A. R. G. Caracterização química e rendimento de extração de amido de arroz com diferentes teores de amilose. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, p. 24-30, 2009.

## 6 CONCLUSÃO GERAL

A hidrólise enzimática a temperatura de 40°C foi mais eficiente, utilizando a concentração de 2UE/g de farinha para enzima  $\alpha$ -amilase no tempo de 2 horas e para enzima amiloglucosidase com concentração de 3,5UE/g de farinha e tempo de 3 horas de hidrólise.

A farinha modificada enzimaticamente, nas melhores condições de hidrólise, apresentou conteúdo de açúcares redutores, glicose, ISA e ISL significativamente maiores que a farinha de grãos quebrados.

O processo de hidrólise alterou significativamente as coordenadas de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) da FMS<sub>40</sub> em comparação com a FGQ. A análise de microscopia de varredura indicou que a FMS<sub>40</sub> apresentou grânulos menos angulares e divididos em mais partes devido hidrólise das amilases no amido.

As temperaturas de secagem influenciaram na composição centesimal da FMS, apresentando um aumento no teor de lipídios com o aumento da temperatura de secagem.

As FMS<sub>40</sub>, FMS<sub>80</sub> e FMS<sub>100</sub> apresentaram conteúdo de açúcares redutores, glicose, ISA, ISL significativamente maiores que a FGQ.

As FMS a partir de 100°C apresentaram maior resistência a força de cisalhamento, ao aquecimento e se mantiveram estáveis à temperaturas inferiores. Também apresentaram uma coloração mais escura, com tonalidades amarelas e levemente vermelhas em relação aos demais tratamentos.

Na análise de microscopia de varredura as farinhas FMS apresentaram grânulos menos angulares e mais divididos e com o aumento das temperaturas, suas estruturas foram se compactando, não sendo possível diferenciar o material amiláceo.

Os resultados obtidos demonstraram que a formulação desenvolvida com 10% de açúcar, 31% de leite em pó e 59% de farinha modificada enzimaticamente com  $\alpha$ -amilase e amiloglucosidade e seca a 100°C misturada permite produzir, um produto tipo farinha láctea de arroz, sem glúten.

O produto desenvolvido apresentou características tecnológicas como índice de solubilidade em água e leite, parâmetros de cor e aceitação sensorial muito semelhantes às farinhas lácteas comerciais. Apresentou também textura semelhante às farinhas comerciais e maior rendimento, necessitando de menos produto para elaboração do mingau.

Assim, os diferentes tratamentos aplicados nas farinhas de grãos quebrados de arroz, estudados neste trabalho, podem ser utilizados na produção de alimentos, como ingrediente de

alimentos de panificação. Os resultados indicaram a possibilidade do aproveitamento dos grãos quebrados de arroz na alimentação humana, aliado aos interesses do consumidor por produtos mais saudáveis e isentos de glúten, destinados para alimentação especial.

## **APÊNDICES**





**APÊNDICE A.** Ficha de avaliação da análise sensorial para aceitação global do mingau de farinha láctea de arroz sem glúten

Nome:.....Data:.....

**Avaliação sensorial de mingau de farinha láctea de arroz**

Por favor, avalie cada amostra usando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou do produto:

9- Gostei muitíssimo

8- Gostei muito

7- Gostei regularmente

6- Gostei ligeiramente

5- Indiferente

4- Desgostei ligeiramente

3- Desgostei regularmente

2- Desgostei muito

1- Desgostei muitíssimo

Comentários:.....

.....

....

<b>Amostra</b>	<b>Valor</b>

**APÊNDICE B.** Termo de Consentimento Livre e Esclarecido**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Você está sendo convidado (a) para participar, como voluntário (a), em uma pesquisa. Após ser esclarecido (a) sobre as informações a seguir, no caso de aceitar fazer parte do estudo, assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra do pesquisador responsável. Em caso de dúvida você pode procurar o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Goiás pelos telefones (62) 3521-1076 / 3521-1215.

**INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:**

Título do projeto: **Modificação enzimática da farinha de grãos quebrados de arroz para produção de um novo produto, isento de glúten.**

Pesquisador responsável: Suzane Martins Ferreira \_\_\_\_\_

assinatura

Pesquisadores participantes e Telefones para contato (inclusive ligações a cobrar):

Suzane Martins Ferreira

Telefone: (62)8581-9925/ (43) 9951-1599

Márcio Caliarí

Telefone: (62)9944-0063

A pesquisa tem por objetivo avaliar a aceitabilidade de farinha láctea obtida por meio de mistura de farinha de arroz modificada enzimaticamente, leite em pó integral, açúcar refinado e aroma artificial de baunilha.

O(a) senhor(a) tem liberdade de recusar a participar da pesquisa em qualquer momento sem qualquer prejuízo. A pesquisa não lhe trará danos morais, ou psicológicos. Os produtos utilizados foram avaliados antes da aquisição quanto às boas práticas de manipulação e fabricação, especificadas nos rótulos. Também foram tomados todos os devidos cuidados de manipulação pela equipe de pesquisa no manuseio das amostras e realizada análise microbiológica do mesmo.

Além disso, caso algum provador apresente reação adversa comprovada ao produto oferecido na presente pesquisa, o pesquisador responsável assumirá todos os danos provocados à saúde e tomará as providências necessárias, inclusive o encaminhamento para atendimento médico.

Se o (a) senhor(a) aceitar participar, irá avaliar os produtos por meio da análise sensorial. A análise sensorial será realizada com teste afetivo de aceitação, feito com 60 pessoas adultas de ambos os sexos. Serão excluídos da pesquisa analfabetos, intolerância a lactose e portadores de patologias que interferem na sensibilidade gustativa, olfativa e/ou apresentarem deficiência visual que impeça a análise da aparência. Para a avaliação da aceitabilidade do produto serão servidos 50 mL de mingau de farinha láctea de arroz aromatizada com baunilha na temperatura de 50°C em copos brancos descartáveis nas cabines

individuais. Cada provador avaliará as amostras, marcando na ficha o valor correspondente à sua análise.

As pessoas selecionadas para o teste de aceitação serão convidadas a irem ao laboratório para avaliação das amostras uma única vez, em período entre refeições. O resultado da avaliação dos provadores será de uso exclusivo nesta pesquisa e de acesso limitado aos pesquisadores. O (a) senhor (a) não terá nenhuma despesa para participar da pesquisa bem como nada será pago por sua participação.

### **CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO SUJEITO**

Eu,

\_\_\_\_\_, RG/ CPF/  
nº matrícula \_\_\_\_\_, abaixo assinado, concordo em participar do estudo Modificação enzimática da farinha de grãos quebrados de arroz para produção de um novo produto, isento de glúten, como participante. Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelos pesquisadores (a) sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

Local e data

\_\_\_\_\_

Nome e Assinatura do participante: \_\_\_\_\_

**APÊNDICE C.** Questionário para recrutamento de provadores.

**QUESTIONÁRIO PARA RECRUTAMENTO DE PROVADORES**

Desejamos formar uma equipe de provadores para avaliar a aceitação de mingau farinha láctea de arroz sabor baunilha. A prova será realizada no Laboratório de Análise Sensorial do DCTA/UEL, leva em torno de 5 minutos e você poderá fazê-la no horário em que tiver maior disponibilidade.

**Se você deseja participar do teste, por favor, preencha este formulário.**

Dados Pessoais:

Nome \_\_\_\_\_

Telefone \_\_\_\_\_

1. Faixa etária:

- 15-25  
 25-35  
 35-50  
 acima de 50 anos

2. Sexo:

- masculino  
 feminino

3. Ocupação:

- aluno  
 funcionário  
 professor  
 outro

4. Escolaridade:

- 1º grau  
 2º grau  
 3º grau  
 outro

5. Gosta de produtos como:

- |                     |                              |                              |
|---------------------|------------------------------|------------------------------|
| - Farinha láctea    | <input type="checkbox"/> Sim | <input type="checkbox"/> Não |
| - Mingau de arroz   | <input type="checkbox"/> Sim | <input type="checkbox"/> Não |
| - Mingau de maisena | <input type="checkbox"/> Sim | <input type="checkbox"/> Não |

6. Frequência de consumo de produtos como farinha láctea, mingau de cereais:

- Nunca  
 Ocasionalmente - \_\_\_\_\_ vezes por ano  
 Moderadamente - \_\_\_\_\_ vezes por mês  
 Frequentemente - \_\_\_\_\_ vezes por semana

## ANEXOS

ANEXO A. Ficha técnica da enzima  $\alpha$ -amilase (*Aspergillus oryzae*) Spring alfa 125.000

		FT				
<b>SPRING ALFA 125.000</b>						
CÓDIGO	REVISÃO	ELABORADOR	APROVADOR	DEPARTAMENTO	DATA APROVAÇÃO	PÁGINA
FT-01-01-11	01	DAYANE CRISTINE ARAUJO	CRISTIANE FERNANDA SATO	Pesquisa e Desenvolvimento	22/01/2009	1/1

Isento de registro conforme Resolução RDC Nº. 278 de 22/09/2005

<b>Descrição:</b>	Preparação enzimática de alfa-amilase fúngica purificada produzida por fermentação submersa de uma cepa selecionada de <i>Aspergillus oryzae</i> . (Conforme RDC Nº. 205, de 14 de novembro de 2006)
<b>Aplicação:</b>	Moinhos de trigo, indústrias de pães, de Melhoradores e Biscoitos. SPRING ALFA 125.000 pode ser utilizada em moinhos de trigo para o tratamento de farinhas e elaboração de pré-misturas; nas indústrias de pães e biscoitos fermentados; e nas indústrias de melhoradores, como enzima fundamental.
<b>Efeitos:</b>	Eleva o poder fermentativo Acréscimo de volume dos pães Melhor cor e sabor dos biscoitos e pães
<b>Composição:</b>	Enzima alfa-amilase fúngica. Amido de milho/fecula de mandioca.
<b>Especificações:</b>	Atividade enzimática alfa-amilase fúngica min.: 125.000 SKB/g Umidade máxima: 8,0% pH ótimo de atuação: 4,0 – 6,0 Temperatura ótima de atuação: 25 - 50°C Temperatura de inativação acima de 60° C
<b>Dosagem:</b>	3,4ppm – 22,4 ppm sobre o peso da farinha. 0,17g – 1,12g/ 50kg de farinha SPRING ALFA 125.000 tem sua dosagem ótima definida pelas características reológicas da farinha de trigo, pelos demais ingredientes utilizados nas formulações, pelo processo e pelas especificações dos produtos finais.
<b>Embalagem/ Estocagem:</b>	Válido por 1 ano. Caixa/barrica de papelão com 15 e/ou 25kg. O produto conserva suas características funcionais, desde que estocado em local seco e fresco e livre de contaminantes químicos e biológicos. Manter a embalagem fechada imediatamente após o uso do produto.

## INFORMAÇÕES NUTRICIONAIS

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL* POR 100g	
Valor Calórico	379 Kcal
Carboidratos	41g
Proteínas	54g
Gorduras Totais	0g
Gorduras saturadas	0g
Gorduras trans	0g
Fibra Alimentar	0g
Sódio	0mg

Referência: Resolução RDC Nº. 360 de 23/12/03

\*Estes valores são baseados em especificações, podendo ser considerados como valores típicos.

## LIMITES DE GARANTIA

Parâmetro	Limite máx. (ppm)
Arsênio (As)	3
Chumbo (Pb)	10
Metais pesados (como Pb)	50

Referência: Resolução Nº. 24/76/CNNPA – Item 12

## CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

Parâmetro	Limite
Pesquisa de <i>Salmonella</i> sp/25g	Ausência
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Ausência
Contagem de Coliformes a 45°C NMP/g	< 50
Aflatoxinas mg/kg	< 5
Contagem Estaf. coag. positiva UFC/g	< 5 x 10 <sup>4</sup>
Atividade antibiótica	Ausência

Referências: Resolução Nº. 24/76/CNNPA – Item 12, Resolução RDC Nº. 12, de 02/01/01 - Item 28 letra h.

CUIDADOS NO MANUSEIO: Consultar ficha de segurança do produto (FSP)

ANEXO B. Ficha técnica da enzima amiloglucosidase (*Aspergillus niger*) Spring AG BR

FT						
		<b>SPRING AG BR</b>				
CÓDIGO	REVISÃO	ELABORADOR	APROVADOR	DEPARTAMENTO	DATA APROVAÇÃO	PÁGINA
FT-01-03-02	00	DAYANE CRISTINE ARAUJO	FERNANDA KASSAB SIQUEIRA	Pesquisa e Desenvolvimento	28/11/2006	1/2

Isento de registro conforme Resolução RDC Nº. 278 de 22/09/2005

<b>Descrição:</b>	Preparação enzimática de amiloglucosidase produzida por fermentação submersa do microorganismo <i>Aspergillus niger</i> . (Conforme RDC Nº. 205, de 14 de novembro de 2006)
<b>Aplicação:</b>	Indústrias de pães, Molinhos e Fábricas de pré-misturas. SPRING AG BR é indicada para as formulações de pães industriais; para o tratamento de farinhas, produção de pré-misturas; e para a elaboração de melhoradores de panificação
<b>Efeitos:</b>	Favorece o poder fermentativo das massas Incremento de cor e sabor dos pães Otimização da Spring GOX A amiloglucosidase catalisa a reação de hidrólise da amilose e da amilopectina, oriundas do amido danificado, bem como das maltodextrinas, resultantes da ação da alfa-amilase, liberando moléculas de glicose tendo a otimização do poder oxidante, pela potencialização da ação da Spring GOX, o que favorece o poder fermentativo das massas e confere melhor coloração e sabor aos pães.
<b>Composição:</b>	Enzima amiloglucosidase. Amido de milho/fécula de mandioca.
<b>Especificações:</b>	Atividade enzimática amiloglucosidase mín.: 800 AGU/g Umidade máxima: 8,0% pH ótimo de atuação: 3,0 – 5,0 Temperatura ótima atuação: 65 – 80°C Temperatura de inativação: acima de 90°C
<b>Dosagem:</b>	12,5ppm – 125 ppm sobre o peso da farinha. 0,625 g – 6,25g/50kg de farinha. SPRING AG BR tem sua dosagem ótima definida pelas características reológicas da farinha de trigo, pelos demais ingredientes utilizados nas formulações, pelo processo e pelas especificações dos produtos finais.
<b>Embalagem/Estocagem:</b>	Válido por 1 ano. Caixa/barrica de papelão com 15 e/ou 25kg. O produto conserva suas características funcionais, desde que estocado em local seco e fresco e livre de contaminantes químicos e biológicos. Manter a embalagem fechada imediatamente após o uso do produto.

**Limites de garantia**

Parâmetro	Limite máx. (ppm)
Arsênio (As)	3
Chumbo (Pb)	10
Metais pesados (como Pb)	50

**Características microbiológicas**

Parâmetro	Limite
Pesquisa de <i>Salmonella</i> sp/25g	Ausência
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Ausência
Contagem de Coliformes a 45°C NMP/g	< 30
Aflatoxinas mg/Kg	< 5
Contagem Estaf. coag. positiva UFC/g	< 6 x 10 <sup>4</sup>
Atividade antibiótica	Ausência

Referências: Resoluções Nº. 24/76/CNNPA - DOU de 09/05/77 – Item 12, RDC Nº. 12, de 02/01/01 – Item 28 letra h.

**Cuidados no manuseio:**

**Identificação de perigos:** A inalação de poeiras ou aerossóis de enzimas, provindos do manuseamento, pode provocar a sensibilização, podendo causar reações alérgicas em indivíduos sensibilizados. O contato prolongado com a pele pode causar irritações menores.

**Segurança:** Durante a aplicação utilizar máscara de proteção com filtro tipo P100 (P3) contra partículas, e também luvas impermeáveis de borracha e óculos de proteção ou blindagem para os olhos, a fim de evitar o contato com a pele e mucosas.

**Primeiros socorros:** Inalação: levar o sinistrado para o ar livre; é necessária assistência médica no caso de dificuldades de respiração.

Contato com a pele: lavar com água abundante, sabão ou outros produtos apropriados. Retirar imediatamente todo o vestuário contaminado.

Contato com os olhos: lavá-los com as pálpebras abertas com água abundante. Em seguida, consultar um médico (Oftalmologista).

Ingestão: beber água, enxaguar a boca repetidas vezes. No caso de indisposição, consultar um médico.

**ANEXO C.** Índices de solubilidade e absorção em água e leite (ISA, ISL, IAA, IAL), firmeza e coordenadas de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ), das misturas de farinhas lácteas experimentais (FLE) em função do teor de açúcar (AC), leite em pó (LP) farinha modificada e seca (FMS), dados em valores reais e em pseudocomponentes\*

Form. (Experi men.)	Proporção dos ingredientes na mistura ternária						Respostas*							
	Concentrações reais			Pseudocomponentes			ISA <sup>1</sup>	IAA <sup>2</sup>	ISL <sup>1</sup>	IAL <sup>2</sup>	Firmeza <sup>3</sup>	L*	a*	b*
	AC (c <sub>1</sub> )	LP (c <sub>2</sub> )	FMS (c <sub>3</sub> )	AC (X <sub>1</sub> )	LP (X <sub>2</sub> )	FMS (X <sub>3</sub> )								
1	0,05	0,20	0,75	0	0	1	33,60±1,12	3,76±0,19	37,15±0,81	4,38±0,13	0,24±0,004	86,72±0,43	2,94±0,14	21,51±0,67
2	0,15	0,35	0,50	0,40	0,6	0,0	54,41±1,14	4,07±0,09	55,30±0,70	3,98±0,17	0,19±0,006	88,95±0,25	1,57±0,17	21,15±0,93
3	0,10	0,20	0,65	0,4	0,0	0,60	41,71±1,24	3,91±0,18	42,37±2,18	4,31±0,25	0,20±0,005	86,66±0,53	2,84±0,23	21,70±0,34
4	0,05	0,40	0,55	0,0	0,8	0,2	49,82±0,26	4,03±0,03	46,43±0,96	3,84±0,07	0,19±0,004	88,77±0,2	1,68±0,48	20,84±0,39
5	0,10	0,40	0,50	0,2	0,8	0	51,17±0,79	3,80±0,15	54,32±1,94	4,42±0,20	0,19±0,005	89,27±0,34	1,53±0,15	20,47±0,23
6	0,10	0,31	0,59	0,20	0,44	0,36	44,79±0,80	3,80±0,05	46,93±0,60	4,25±0,09	0,22±0,009	88,43±0,36	1,81±0,17	21,31±0,53
7	0,10	0,31	0,59	0,20	0,44	0,36	45,89±0,73	3,82±0,07	46,01±0,38	4,26±0,15	0,21±0,004	88,23±0,19	1,88±0,10	21,24±0,28

<sup>1</sup> Valores correspondem à média ± desvio-padrão (em %); <sup>2</sup>Valores correspondem à média ± desvio-padrão (g gel/g de matéria seca); <sup>3</sup> Valores correspondem à média ± desvio-padrão, força máxima (N).



