



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE  
ESCOLA DE QUÍMICA E ALIMENTOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE  
ALIMENTOS**

**ISOLADO PROTÉICO DE FARELO DE ARROZ: OBTENÇÃO, PROPRIEDADES  
FUNCIONAIS E APLICAÇÃO**

**PRISCILA MISSIO DA SILVA  
QUÍMICA DE ALIMENTOS**

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Myriam de las Mercedes Salas-Mellado  
Orientadora**

**RIO GRANDE-RS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE  
ESCOLA DE QUÍMICA E ALIMENTOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS

**ISOLADO PROTÉICO DE FARELO DE ARROZ: OBTENÇÃO, PROPRIEDADES  
FUNCIONAIS E APLICAÇÃO**

Priscila Missio da Silva  
QUÍMICA DE ALIMENTOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos.

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Myriam de las Mercedes Salas-Mellado

Orientadora

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Márcia Arocha Gularte

Coorientadora

RIO GRANDE/RS  
2012

## **AGRADECIMENTOS**

*A Deus por colocar em meu caminho oportunidades e me dar força para alcançar meus objetivos;*

*Aos meus pais, Nibalton e Arlete, ao meu irmão Wagner e a minha cunhada e amiga Tamiris pelo apoio, compreensão, dedicação e esforços que fizeram por mim;*

*Ao meu namorado, Paulo, que sempre confiou em mim, me apoiou, me deu força e esteve ao meu lado nos momentos de preocupações e tristezas;*

*Aos meus avós e tios que sempre me deram força para seguir com meus estudos e nunca me abandonaram nos momentos em que mais precisei;*

*À prof<sup>a</sup> Myriam Salas Mellado, por sua orientação, dedicação, apoio e confiança, tenho grande admiração pela forma que trabalha, demonstrando entusiasmo e amor pela pesquisa, além de uma grande amiga. Ao prof. Carlos Prentice Hernández pela atenção, colaboração e disponibilidade, sempre com paciência e calma;*

*À prof<sup>a</sup> Márcia Gularte, por seus ensinamentos, experiência e amizade nesses sete anos, que sempre, com atenção me orientou e incentivou no decorrer da graduação e da pós-graduação;*

*À prof<sup>a</sup> Eliana Badiale Furlong, pelos ensinamentos, profissionalismo, gentileza e prestabilidade constante, importantes neste trabalho;*

*Ao prof. Álvaro Guerra Dias, por fazer parte da minha banca de mestrado;*

*Aos amigos Franciela, Elessandra, Letícia e Gilberto pela amizade, companheirismo, pelos momentos alegres, divertidos e inesquecíveis que juntos compartilhamos;*

*À Méri e ao Rodrigo, minha família em Rio Grande. Obrigada por tudo, pela amizade, pelos momentos alegres, por terem compartilhado esses dois anos comigo sem medir esforços para me ajudar no que fosse preciso. Vou sentir muita falta.*

*À Shanise, uma amiga que construí ao longo da graduação se firmando na pós. Sempre disposta a me ajudar e a corrigir meus trabalhos, sua amizade é muito importante para mim;*

*À Sabrine, que não mediu esforços em me ajudar, sempre. Foi muito importante na realização do meu trabalho. Uma amizade que quero levar para a vida toda;*

*À Inajara, pela amizade e por sua paciência e calma para me ensinar;*

*À Lidi, Michele, Tania, Ariane e Janise pela amizade construída, pelos momentos compartilhados que vão permanecer para sempre;*

*Aos meus ajudantes, Carol, Eduardo, Luana e Dennis, obrigada por sempre estarem dispostos a ajudar na realização das análises;*

*A todos os amigos do Laboratório de Tecnologia de Alimentos (LTA): Ana Paula, Carolina, Gabriela, Joyce, Márcia, Marcondes, Renata, Sandriane, Viviane;*

*Ao Laboratório de Micotoxinas e Ciência de Alimentos e ao Laboratório de Análise Sensorial e Controle de Qualidade pelos equipamentos emprestados, e ao Laboratório de Engenharia Bioquímica por disponibilizar o uso da centrífuga, equipamento importantíssimo na realização deste trabalho;*

*Ao Engenho Coradini pela disponibilização do farelo de arroz;*

*Agradeço a todos aqueles que contribuíram de alguma maneira para realização deste trabalho. Cada um que passa na nossa vida passa sozinho, pois cada pessoa é única. Mas não vai só, leva um pouco de nós e deixa um pouco de si. Esta é a maior responsabilidade de nossa vida e a prova evidente que duas almas não se encontram por acaso.*

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	iii
LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	viii
RESUMO .....	x
ABSTRACT .....	xi
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
2.1 Objetivo geral .....	3
2.2 Objetivos específicos .....	3
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>4</b>
3.1 Arroz .....	4
3.2 Farelo de arroz .....	5
3.2.1 Minerais .....	7
3.2.2 Vitaminas .....	7
3.2.3 Lipídeos .....	7
3.2.4 Carboidratos e fibras .....	7
3.2.5 Proteínas .....	7
3.3 Métodos de isolamento de proteínas .....	9
3.3.1 Método químico .....	9
3.3.2 Método enzimático .....	10
3.4 Extratos, concentrados e isolados protéicos .....	11
3.5 Propriedades funcionais das proteínas .....	12
3.5.1 Solubilidade .....	13
3.5.2 Capacidade de retenção de água .....	14
3.5.3 Capacidade de retenção de óleo .....	14
3.5.4 Capacidade emulsificante .....	14
3.5.5 Propriedades espumantes .....	15
3.6 Inclusão de isolado em alimentos .....	15
3.7 Doença celíaca .....	16
3.8 Farinha de arroz .....	17
3.9 Bolos .....	17
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>19</b>
4.1 Matéria-prima .....	19

4.2 Método químico: Testes preliminares .....	19
4.3 Testes preliminares para obtenção do rendimento em peso do isolado protéico do farelo de arroz (IPFA).....	21
4.4 Desengorduramento do farelo de arroz B.....	21
4.5 Método enzimático .....	21
4.6 Rendimento do peneiramento do farelo de arroz B .....	22
4.7 Composição proximal do farelo B e do isolado protéico do farelo de arroz (IPFA).....	23
4.8 Determinação do ponto isoelétrico do farelo e curva de solubilidade do isolado protéico do farelo de arroz (IPFA) .....	23
4.9 Obtenção do isolado protéico do farelo de arroz pelo método químico: Método definitivo.....	24
4.10 Caracterização do isolado protéico do farelo de arroz (IPFA).....	25
4.10.1 Eletroforese (SDS – PAGE) das proteínas do isolado .....	25
4.10.2 Aminograma das proteínas do isolado.....	26
4.10.3 Calorimetria diferencial de varredura (DSC) das proteínas do isolado.....	26
4.11 Propriedades funcionais do isolado protéico de farelo de arroz (IPFA).....	26
4.11.1 Capacidade de retenção de água (CRA) .....	26
4.11.2 Capacidade de retenção de óleo (CRO).....	27
4.11.3 Capacidade emulsificante (CE) .....	27
4.11.4 Propriedades espumantes.....	28
4.11.4.1 Capacidade de formação de espuma (CFE).....	28
4.11.4.2 Estabilidade de espuma (EE) .....	28
4.12 Testes preliminares para a elaboração de bolo com isolado protéico do farelo de arroz (IPFA) .....	29
4.13 Elaboração de bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA) .....	30
4.14 Medida do pH das massas dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA).....	31
4.15 Composição proximal dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA).....	31
4.16 Avaliação da qualidade dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA).....	32
4.16.1 Medida do colapso .....	32
4.16.2 Volume específico .....	32
4.16.3 Cor .....	32

4.16.4 Textura .....	32
4.16.5 Avaliação sensorial.....	33
4.17 Análise estatística .....	34
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>35</b>
5.1 Testes preliminares .....	35
5.1.1 Rendimento dos isolados obtidos pelo método químico .....	35
5.1.2 Componentes dos isolados obtidos por diferentes métodos .....	35
5.2 Rendimento do farelo de arroz B.....	36
5.3 Composição proximal do farelo B.....	37
5.4 Ponto isoelétrico do farelo de arroz B desengordurado .....	38
5.5 Influência das lavagens dos resíduos da etapa de centrifugação e da granulometria do farelo no teor e rendimento protéico dos isolados .....	39
5.6 Caracterização do isolado protéico do farelo de arroz (IPFA).....	40
5.6.1 Composição proximal do IPFA .....	40
5.6.2 Eletroforese (SDS – PAGE) das proteínas do IPFA.....	40
5.6.3 Aminograma das proteínas do IPFA.....	41
5.6.4 Calorimetria diferencial de varredura (DSC) das proteínas do isolado.....	43
5.7 Propriedades funcionais do isolado protéico de farelo de arroz (IPFA).....	45
5.7.1 Curva de solubilidade das proteínas.....	45
5.7.2 Capacidade de retenção de água (CRA) .....	46
5.7.3 Capacidade de retenção de óleo (CRO), capacidade emulsificante (CE) e formação de espuma (FE).....	47
5.7.4 Estabilidade da espuma .....	48
5.8 Testes preliminares para a elaboração de bolo com isolado protéico do farelo de arroz (IPFA) .....	48
5.9 Bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA).....	49
5.9.1 Avaliação da qualidade dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA).....	49
5.10 Composição proximal dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA).....	52
5.11 Avaliação da qualidade dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA).....	53
5.11.1 Estrutura alveolar dos bolos .....	53
5.11.2 Textura dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico de farelo de arroz (IPFA).....	54

5.11.3 Avaliação sensorial dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico de farelo de arroz (IPFA).....	55
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	<b>57</b>
<b>7 REFERÊNCIAS</b> .....	<b>58</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma da solubilização das proteínas do farelo de arroz. ....	20
Figura 2. Precipitação das proteínas solubilizadas do farelo de arroz desengordurado e obtenção do isolado protéico úmido. ....	21
Figura 3. Fluxograma da obtenção do isolado protéico de farelo de arroz desengordurado pelo método enzimático. ....	22
Figura 4. Fluxograma definitivo de extração das proteínas pelo método químico. ....	24
Figura 5. Fluxograma de elaboração dos bolos adicionados de isolado protéico de farelo de arroz (IPFA). ....	30
Figura 6. Modelo de ficha de resposta para o teste de preferência usando escala de ordenação. ....	33
Figura 7. Curva de solubilidade para o farelo de arroz desengordurado com granulometria de 42 mesh em diferentes valores de pH. ....	38
Figura 8. Perfil eletroforético dos marcadores padrão de peso molecular (a) e do isolado protéico de farelo de arroz (IPFA) (b) obtidos por SDS-PAGE. ....	41
Figura 9. Calorimetria diferencial de varredura (DSC) do isolado protéico do farelo de arroz (IPFA). ....	44
Figura 10. Curva de solubilidade do isolado protéico do farelo de arroz desengordurado em diferentes valores de pH. ....	45
Figura 11. Curva da capacidade de retenção (CRA) de água do isolado protéico do farelo de arroz em diferentes pHs. ....	46
Figura 12. Estabilidade da espuma do isolado protéico do farelo de arroz (IPFA) durante 60 minutos. ....	48
Figura 13. Bolos elaborados com farinha de arroz (a) e farinha de trigo (b) adicionados de 7% de IPFA. ....	49
Figura 14. Isolado protéico do farelo de arroz (IPFA). ....	51
Figura 15. Secções transversais dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico de farelo de arroz (IPFA). ....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição centesimal (%) do arroz em casca e de suas frações após a moagem à 14% de umidade.....	5
Tabela 2. Limites de tolerância para o farelo de arroz estabilizado ou parboilizado.....	6
Tabela 3. Propriedades funcionais das proteínas requeridas em vários alimentos .....	13
Tabela 4. Formulações dos bolos elaborados com farinha de trigo e farinha de arroz adicionados de 7% de isolado protéico de farelo de arroz.....	29
Tabela 5. Formulações dos bolos elaborados com farinha de arroz e porcentagens diferentes de isolado protéico.....	31
Tabela 6. Rendimento percentual, em peso, dos isolados obtidos pelo método químico para os três diferentes farelos de arroz .....	35
Tabela 7. Valores de umidade, proteína, gordura e rendimento protéico dos isolados em relação aos diferentes processos de obtenção.....	36
Tabela 8. Composição proximal (%) do farelo de arroz integral, peneirado e peneirado e desengordurado com granulometria de 42 mesh.....	37
Tabela 9. Valores de proteína e rendimento protéico dos isolados obtidos com ou sem lavagens e diferentes granulometrias .....	39
Tabela 10. Composição proximal (b. u.) do isolado protéico de farelo de arroz (IPFA) com granulometria de 42 mesh, seco à 40°C .....	40
Tabela 11. Composição de aminoácidos do isolado protéico de farelo de arroz (IPFA), hidrolisado protéico de farelo de arroz liofilizado (HPFAL) e extrato enzimático do farelo de arroz (EEFA) .....	42
Tabela 12. Aminoácidos do isolado protéico de farelo de arroz (IPFA), conteúdo de aminoácidos necessários para bebês e crianças de 2 a 5 anos .....	43
Tabela 13. Capacidade de retenção de óleo (CRO), capacidade emulsificante e formação de espuma do isolado protéico do farelo de arroz .....	47
Tabela 14. Medidas de pH das massas, colapso e volume específico dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA) .....	50
Tabela 15. Cor do miolo dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA).....	51
Tabela 16. Composição proximal (b. u.) dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA) .....	52
Tabela 17. Firmeza e elasticidade dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico de farelo de arroz (IPFA) .....	54

Tabela 18. Totais de pontos de preferências dos provadores das amostras dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico de farelo de arroz (IPFA) .....	55
Tabela 19. Tabela de contraste das diferenças entre os totais de ordenação de cada amostra de bolo ao nível de 5% .....	56

## RESUMO

O arroz é o segundo cereal mais produzido no mundo e para que ele seja consumido é necessário o processo de beneficiamento, onde é retirada a casca, e com o polimento, o farelo. O farelo, após a retirada do óleo, é utilizado para alimentação animal, mas como corresponde a 8% do grão, são necessárias novas alternativas para o uso do mesmo, uma vez que contém em torno de 17% de proteína. As proteínas do farelo de arroz são consideradas de alta qualidade, hipoalergênicas e anticancerígenas. Devido ao excesso de fibras presentes no farelo, este não é utilizado diretamente na alimentação humana, podendo ser usado como fonte para a obtenção de extratos, concentrados ou isolados. A obtenção do isolado protéico pode ser por via química, que consiste na extração alcalina ou ácida, seguida de precipitação no ponto isoelétrico ou via enzimática, com o uso de enzimas amilolíticas, hemicelulases e carboidrases para a separação das proteínas. O objetivo deste estudo foi obter um isolado protéico a partir de farelo de arroz visando a inclusão deste em produto de panificação. Foi obtido isolado protéico pelo método químico que foi analisado pelo rendimento protéico, pelas propriedades funcionais, perfil aminoacídico, eletroforese e características térmicas. O isolado foi adicionado em bolos em diferentes concentrações sendo avaliado pelas características tecnológicas e sensoriais. O isolado protéico do farelo de arroz (IPFA) que apresentou maior rendimento protéico foi o obtido pelo método químico, com o farelo de granulometria de 42 mesh e desengordurado. Em relação às propriedades funcionais, foi verificado que o IPFA possui maior solubilidade e capacidade de retenção de água em pH 11, alta capacidade emulsificante e alta capacidade de formação de espuma. No aminograma, constatou-se que os aminoácidos encontrados no IPFA atendem as necessidades de bebês e crianças. No perfil eletroforético, o IPFA apresentou 3 grupos de proteínas. Na análise térmica com DSC, o IPFA apresentou alta temperatura de desnaturação e baixo valor de entalpia. Na elaboração dos bolos, à medida que foi adicionado o IPFA, aumentou o teor protéico, o pH e o volume específico e diminuiu o colapso, a luminosidade e a firmeza dos bolos. Na análise sensorial, os bolos com IPFA não apresentaram diferenças estatísticas do bolo controle (sem IPFA). Estes resultados indicam a potencialidade do IPFA em produtos de panificação.

**Palavras-chave:** Farelo de arroz. Isolado protéico. Propriedades funcionais. Doença celíaca.

## **Rice bran protein isolate: obtainment, functional properties and application.**

### **ABSTRACT**

Rice is the second largest cereal produced in the world, being necessary to submit grains to a milling process to eliminate hush and bran. Bran corresponding to 8% of the grain after the removal of oil is used for feed. New alternatives are needed to find a better use for the bran as it contains up to 17% of proteins of high quality, hypoallergenic and anti-cancer properties. Due to the excessive fiber content, rice bran is not use directly for human food, and it is possible to use it as raw material to obtain extracts, concentrates and protein isolates. Protein can be isolated by chemical process, which include alkaline or acid extraction followed by precipitation at the isoelectric point, or an enzymatic process with the use of amylolytic, hemicellulases and carbohydrases enzymes for the protein separation. The objective of this study was to obtain a protein isolate from rice bran and add it in a bakery product. Protein isolate was obtained by chemical method that has been analyzed by protein yield, the functional properties, amino acid profile, electrophoresis and thermal characteristics. The isolate was added to cakes in different concentrations that were evaluated by sensory and technological characteristics. Rice bran protein isolate (RBPI) with the highest protein yield was obtained by a chemical process using a defatted and with a particle size of 42 mesh bran as raw material. Functional properties had shown that RBPI presented a high solubility and water holding capacity at pH value of 11, and high emulsifying and foaming capacity. It was verified that the aminoacid profile meet the needs of babies and children. The electrophoretic profile shows three bands of proteins and the thermal analysis with DSC, RBPI presented high denaturation temperature and low enthalpie value. In cake production, as RBPI was added the protein content, pH and collapse, firmness and springiness values decreased. The sensory analysis did not show any significant difference between cake added with RBPI and the control. Results indicated the food potential of the use of RBPI in bakery products.

**Keywords:** Rice bran. Protein isolate. Functional properties. Celiac disease.

## 1 INTRODUÇÃO

O arroz é a principal fonte de alimento de um terço da população do mundo e base alimentar de habitantes dos países asiáticos. O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de arroz e o estado do Rio Grande do Sul responde por aproximadamente 50% da produção nacional (FREITAS et al., 2010).

O farelo de arroz é obtido no processo de beneficiamento do grão. Nas etapas do beneficiamento do grão, para comercialização, pode-se verificar a distribuição média de, arroz polido 68%, casca 24% e farelo 8 a 10%. Essa grande quantidade de farelo, no entanto, após a extração do óleo, é descartada ou mesmo comercializada a preço baixo para ração animal (FEDDERN et al., 2007; PARRADO et al., 2006).

A proteína do farelo de arroz é uma proteína de alta qualidade, valiosa tecnologicamente pelo sabor suave, riqueza nutricional, conteúdo de aminoácidos essenciais, e ainda por seus efeitos hipoalergênicos e hipocolesterolêmicos (FABIAN et al., 2010; CHRASTIL, 1992). As proteínas podem ser extraídas através do método químico ou enzimático.

No método químico, o solvente mais utilizado para a extração das proteínas do farelo de arroz é o hidróxido de sódio, onde ele solubiliza as proteínas para posterior precipitação no ponto isoelétrico com ácido clorídrico (SHIH e DAIGLE, 2000; HAMADA, 1997; GNANASAMBANDAM e HEITIRACHCHY, 1995).

O método enzimático, geralmente empregado em pHs neutros, pode ser usado para aumentar o rendimento da extração, pois liberam maior conteúdo de proteína da matriz polissacarídica. As carboidrases são utilizadas no processo enzimático, com a finalidade de melhorar a extractabilidade das proteínas de origem vegetal (ANSHARULLAH e CHESTERMAN, 1997).

O uso de isolados protéicos pelas indústrias de alimentos tem mostrado aumento expressivo em virtude de suas características funcionais. A capacidade que as proteínas possuem em desempenhar certas funções nos alimentos, como, absorção de água, formação de gel e espuma, formação e estabilidade de emulsão, depende de vários fatores como conteúdo protéico, pH, solubilidade, concentração de sal e métodos de processamento (WANG et al., 2000b; SILVA et al., 1997; SGARBIERI, 1996).

Nos últimos anos, estudos comprovam o aumento do desenvolvimento de produtos sem glúten, com incremento nas formulações, no sentido de aprimorar a rede de glúten que os alimentos não possuem. As proteínas auxiliam na formação dessa

rede e ainda aumentam o valor nutritivo, pois a farinha de arroz possui baixo teor protéico (MARCO e ROSELL, 2008; VIEIRA et al., 2008) e ainda, devido à ausência de glúten, o alimento é recomendado como seguro para pessoas com doença celíaca (MARTIA et al., 2011). As proteínas podem ser utilizadas sozinhas ou em combinação com farinha de arroz, amido, farinha de milho (HOFFPAUER, 2005).

A farinha de arroz têm sido utilizada na elaboração de pães (CROCKETT et al., 2011; DEMIRKESEN et al., 2010) e bolos (GULARTE et al., 2011; GOMÉZ et al., 2010; TURABI et al., 2008). Nas últimas décadas, várias formulações de produtos de panificação sem glúten têm sido propostas com base nas qualidades tecnológicas e sensoriais dos produtos resultantes. Há uma grande variedade de alimentos sem glúten, e os bolos são uma opção entre os produtos assados. Além disso, possui grande aceitação no mercado, por ser um produto saboroso, e de fabricação mais simples que a do pão.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Obter um isolado protéico a partir de farelo de arroz, e determinar as propriedades funcionais das proteínas, assim como o conteúdo de aminoácidos, perfil protéico e características térmicas visando a inclusão do isolado protéico em produto de panificação, para melhorar as características tecnológicas e nutricionais do mesmo.

### **2.2 Objetivos específicos**

Comparar os métodos químico e enzimático para a obtenção do isolado protéico, considerando o rendimento protéico como a resposta principal para definir qual método adotar;

Avaliar o isolado protéico obtido, pelas suas propriedades funcionais, composição química, composição aminoacídica, perfil eletroforético e propriedades térmicas;

Aplicar o isolado protéico de farelo de arroz em bolo com o uso da farinha de trigo e da farinha de arroz;

Avaliar a qualidade tecnológica e sensorial dos bolos elaborados com diferentes concentrações de isolado protéico de farelo de arroz.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Arroz

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais cultivados do mundo, constituindo a base da alimentação de mais da metade da população, sendo para alguns povos, especialmente na Ásia, alimento de sobrevivência. A produção asiática de arroz representa 96,68% da produção mundial (FUNGUETTO et al., 2010).

Alguns autores apontam o Brasil como o primeiro país a cultivar esse cereal no continente americano (EMBRAPA, 2011). A cultura deste cereal desempenha um papel estratégico em níveis econômico e social. Nesse cenário, o Brasil participou, em 2009, com 12.651.800 de toneladas e destaca-se como único país não-asiático entre os 10 maiores produtores (FAO, 2011).

Segundo o Instituto Rio Grandense do Arroz – IRGA (2011) o Rio Grande do Sul responde por cerca de 63% da produção nacional do grão. Estima-se uma produtividade média em torno de 7 toneladas por hectare.

A maior forma de consumo do arroz é em grão, somente uma pequena quantidade é consumida como ingrediente em alimentos processados. Ele fornece, em média, 715Kcal por dia, 27% de carboidratos, 20% das proteínas e 3% dos lipídios da alimentação, sendo, assim, uma excelente fonte de energia, devido, também à alta concentração de amido. Além disso, também, possui vitaminas, minerais e baixo teor de lipídeos. No Brasil, o consumo per capita é de 108 g por dia, fornecendo 14% dos carboidratos, 10% das proteínas e 0,8% dos lipídios da dieta (WALTER et al., 2008).

O grão de arroz é constituído por uma cariopse e uma camada protetora, a casca. A casca é composta de duas folhas modificadas, a pálea e a lema, que corresponde a cerca de 20% do peso do grão, é um revestimento formado durante o crescimento do grão, de baixa densidade e elevado volume. É um material fibroso, cujos maiores constituintes são celulose (50%), lignina (30%) e resíduos inorgânicos (20%). O resíduo inorgânico contém, em média, de 95% a 98%, em peso, de sílica, perfazendo de 13% a 29% do total da casca. A cariopse é formada por diferentes camadas, sendo as mais externas o pericarpo (1-2%), o tegumento e a camada de aleurona, que representam 5-8% da massa do arroz integral. A camada de aleurona apresenta duas estruturas de armazenamento proeminentes, os grãos de aleurona e os corpos lipídicos. O embrião ou gérmen está localizado no lado ventral na base do grão, é rico em proteínas e lipídios, e representa 2-3% do arroz integral. O endosperma forma a maior parte do grão (89-94% do arroz integral) e consiste de

células ricas em grânulos de amido e com alguns corpos protéicos (SILVA et al., 2009; WALTER et al, 2008; MESSIAS, 2005).

Antes de ser consumido, o grão de arroz passa por processos de beneficiamento. As três formas que o arroz beneficiado é consumido são branco, parboilizado e integral. O beneficiamento do arroz inicia-se com a separação da casca do resto do grão, obtendo-se o arroz integral. Após o descascamento, é realizado o polimento. Nesta etapa, separa-se o farelo do grão propriamente dito através de uma série de equipamentos, provocando a separação do germe e das camadas exteriores por abrasão, obtendo-se assim o arroz branco (STORCK, 2004).

O processo tradicional de beneficiamento do arroz gera aproximadamente 65 a 75% de grãos polidos (inteiros e quebrados), 19 a 23% de casca, 8 a 10% de farelo e 3 a 5% de impurezas (SANTOS et al., 2010).

A Tabela 1 apresenta a composição centesimal do arroz em casca e de suas frações após a moagem à 14% de umidade.

Tabela 1. Composição centesimal (%) do arroz em casca e de suas frações após a moagem à 14% de umidade

<b>Produto</b>	<b>Proteína</b>	<b>Gordura</b>	<b>Fibras</b>	<b>Cinzas</b>	<b>Carboidratos</b>
Arroz bruto	5,8 – 7,7	1,5 – 2,3	7,2 – 10,4	2,9 – 5,2	64,0 – 73,0
Arroz integral	7,1 – 8,3	1,6 – 2,8	0,6 – 1,0	1,0 – 1,5	73,0 – 87,0
Arroz polido	6,3 – 7,1	0,3 – 0,5	0,2 – 0,5	0,3 – 0,8	77,0 – 89,0
Farelo de arroz	11,3 – 14,9	15,0 – 19,7	7,0 – 11,4	6,6 – 9,9	34,0 – 62,0
Casca do arroz	2,0 – 2,8	0,3 – 0,8	34,5 – 45,9	13,2 – 21,0	22,0 – 34,0

Fonte: FAO, 2011.

### 3.2 Farelo de arroz

No beneficiamento do arroz, após a retirada da casca, são removidas as camadas mais externas do grão, que compreendem ao pericarpo, tegumento, camada de aleurona e parte do endosperma, originando o farelo. A natureza e composição do farelo dependem do sistema ou grau de polimento, contaminação com casca e a severidade da parboilização, para o arroz parboilizado (KAEWKA et al., 2009; DENARDIN et al., 2003; PAN et al., 2005; AMISSAH et al., 2003).

Apesar de escassos, estudos têm demonstrado que o farelo de arroz apresenta características nutricionais importantes, porém, sua utilização na alimentação humana é irrisória. Fato contestável, pois este co-produto, além de ser

produzido em grande escala, apresenta um baixo valor quando comparado a outros alimentos com características nutricionais semelhantes (ex: farelo de trigo) (DENARDIN et al., 2003).

As características físicas e químicas do farelo de arroz dependem de fatores como, cultivar, tratamento do grão antes do beneficiamento, sistema de beneficiamento empregado e grau de polimento ao qual o grão de arroz foi submetido. Assim, os valores expressos na literatura para composição do farelo de arroz apontam grandes variações que refletem a influência desses fatores na composição do produto final. Deste modo, tornou-se prática comum de mercado especificar os limites máximos e mínimos de tolerância para os componentes majoritários (PESTANA et al., 2008). Embora a legislação brasileira não estabeleça padrões de qualidade para farelo de arroz, a indústria de transformação do arroz recomenda como parâmetros os valores indicados na Tabela 2.

Tabela 2. Limites de tolerância para o farelo de arroz estabilizado ou parboilizado

<b>Componentes</b>	<b>Tolerância (%)</b>
Gordura	16 (mínimo)
Proteína	13 (mínimo)
Fibra dietética total	20 (mínimo)
Fibra bruta	9 (máximo)
Cinza	10 (máximo)
Umidade	12 (máximo)

Fonte: PESTANA et al., 2008.

Ainda que estudos relatem a boa qualidade nutricional deste co-produto em especial no que se refere a minerais, vitaminas e fibra dietética, seu uso é praticamente inexistente em nutrição humana.

O farelo de arroz possui gosto doce, cor clara, moderadamente oleoso e tem um sabor de noz. Sua textura varia de um pó fino a uma consistência de floco, dependendo do processo de estabilização. Além da cor, sabor e propriedades nutritivas, outras propriedades são importantes para sua utilização na indústria alimentícia como absorção de água e gordura, emulsificação e capacidade espumante (MESSIAS, 2005).

### **3.2.1 Minerais**

As cinzas procedentes do farelo de arroz perfazem de 7 a 10% de seu peso total. Um dos principais minerais presentes no farelo é o fósforo, principalmente na forma de fitato. Outros dois minerais mais encontrados são o magnésio e o potássio (OLIVEIRA et al., 2011; MESSIAS, 2005).

### **3.2.2 Vitaminas**

O farelo de arroz é considerado uma adequada fonte de vitaminas do complexo B e também uma boa fonte de vitamina E (tocoferóis e tocotrienóis) e componentes como o orizanol, embora suas concentrações possam variar substancialmente, dependendo da origem (SANTA-MARÍA et al., 2010; PARRADO et al., 2006).

### **3.2.3 Lipídeos**

Cerca de 80% dos lipídeos do arroz integral estão contidos no farelo, e destes, 33% estão no germe. Dentre as características do farelo de arroz, o alto valor energético é uma das mais importantes, devido, em parte, ao elevado percentual lipídico em sua composição nutricional, entre 16 e 23%. Seus principais constituintes são: ácido palmítico (12,3 a 20,5%), ácido linoléico (37,1 a 40,7%), ácido oléico (37,1 a 52,8%). Quanto ao grau de saturação, o óleo do farelo de arroz contém, em média, 40% de ácidos graxos poliinsaturados, 40% de monoinsaturados e 20% de saturados (OLIVEIRA et al., 2011; MESSIAS, 2005).

### **3.2.4 Carboidratos e fibras**

O farelo de arroz contém entre 9,6 e 12,8% de celulose e entre 8,7 e 11,4% de hemiceluloses, podendo apresentar, também, quantidades consideráveis de amido que variam entre 2 e 20%. Retém, em torno de, 70% da fibra total do grão descascado, estas se apresentam distribuídas em pequenas quantidades de fibras solúveis, cerca de 2,0 a 2,5% e grande quantidade de fibras insolúveis, entre 31 e 33% para o farelo de arroz parboilizado (MESSIAS, 2005).

### **3.2.5 Proteínas**

O farelo de arroz desengordurado contém entre 15 a 17% de proteínas que possuem valor nutricional e propriedades nutracêuticas únicas (GANGADHARA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2009; KAEWKA et al., 2009; CHANDI e SOGI, 2007; HAMADA,

2000). Fatores genéticos, ambientais, além do manejo de cada cultivar proporcionam a variação no conteúdo protéico advertindo que cultivares com alto teor protéico apresentam maior resistência do grão aos efeitos mecânicos durante o processamento (MESSIAS, 2005).

A proteína do farelo de arroz é uma proteína de alta qualidade, hipoalergênica, devido ao alto conteúdo de lisina (REVILLA et al., 2009; SEREEWATTHANAWUT et al., 2008), podendo ser útil em formulações infantis, também tem sido constatado atividade anti-cancerígena (KAEWKA et al., 2009; JAYADEEP et al., 2009). É tão eficaz quanto à proteína de soja na redução dos níveis de colesterol plasmático, no entanto, sua insolubilidade é alta devido à agregação causada por ligações dissulfeto que limitam o uso destas proteínas na dieta (REVILLA et al., 2009; PARRADO et al., 2006).

O percentual do aminoácido essencial lisina está em maior quantidade no farelo do que no endosperma, ou qualquer outra proteína proveniente de farelo de cereais, no entanto, possui menor digestibilidade, cerca de 73% quando comparado aos farelos de outros cereais que podem chegar a mais de 90% em extratos concentrados (WANG et al., 1999).

Através do farelo desengordurado ou com gordura, podem-se extrair proteínas ainda com uso escasso em alimentos, embora exista um grande potencial de aplicação. Uma das vantagens da utilização da proteína do farelo de arroz é a ausência de efeitos indesejáveis em indivíduos com intolerância ou com alergia ao glúten (OLIVEIRA, 2009).

Tem sido considerado favorável a utilização das proteínas extraídas do farelo de arroz desengordurado como ingrediente nutracêutico, devido a sua estabilidade térmica (TANG et al., 2003).

O alto teor de fibras, encontrado no farelo de arroz, implica na formação de complexos com as extremidades protéicas dificultando a extração das proteínas. Devido ao processo de estabilização por aquecimento do farelo para inativar a lipase e a lipoxigenase, a extração torna-se mais difícil, pois realça a complexação das proteínas com os carboidratos e outros componentes (TANG et al., 2002).

As proteínas são ingredientes chave em vários alimentos contribuindo para o valor nutricional, flavor e outras importantes propriedades funcionais do sistema alimentício. Apesar do potencial farmacêutico e nutricional do farelo de arroz ser reconhecido, ainda não existem concentrados e isolados protéicos disponíveis no mercado. Os prováveis motivos para isso podem ser a natureza complexa das

proteínas do farelo de arroz, a baixa solubilidade destas, incluindo sua forte agregação, e o alto conteúdo de fitatos e fibras, os quais se ligam as proteínas dificultando sua separação (WANG et al., 1999).

### **3.3 Métodos de isolamento de proteínas**

#### **3.3.1 Método químico**

As proteínas apresentam carga positiva ou negativa, em valores de pH menores ou maiores que o ponto isoelétrico (PI), respectivamente, e as moléculas de água podem interagir com essas cargas, solubilizando as proteínas. O pH de menor solubilidade protéica é o ponto isoelétrico da proteína, que é dependente da matéria-prima, mas em geral, está entre os pHs de 3,5 a 6,5. No ponto isoelétrico, as proteínas apresentam um número de radicais ácidos desprotonados ( $\text{COO}^-$ ) igual ao número de radicais básicos protonados ( $\text{NH}_3^+$ ), ou seja, igual número de cargas positivas e negativas nas moléculas, assim, a proteína não apresenta uma carga resultante e, portanto, deixa de existir o efeito de repulsão e dessa forma as proteínas tendem a formar precipitados (RIBEIRO e SERAVALLI, 2004; SGARBIERI, 1996).

Um dos métodos de extração das proteínas do farelo de arroz é a solubilização alcalina seguida de precipitação ácida e a remoção da matéria insolúvel é feita por centrifugação. As proteínas são precipitadas por adição de ácido quando o ponto isoelétrico é atingido. Os ácidos mais utilizados para precipitação são sulfúrico, fosfórico ou clorídrico (MONDOR et al., 2009). Este método é simples, porque os agentes necessários para o processo são facilmente disponíveis. No entanto, como resultado da degradação nas condições de pH elevado, a produção de proteína é geralmente baixa. Condições elevadas de pH também pode levar a resultados indesejáveis, incluindo intercruzamento molecular e rearranjos resultando na diminuição do valor nutritivo e formação de compostos tóxicos, como lisinoalanina (SEREEWATTHANAWUT et al., 2008; WANG et al., 1999).

Gnanasambandam e Hettiarachchy (1995) produziram concentrados de proteínas a partir de farelos de arroz com diferentes granulometrias. O farelo de arroz estabilizado apresentou baixa extratibilidade protéica em todos os tamanhos de partículas (75 $\mu$  a 150 $\mu$ ). Ambos concentrado protéico de farelo de arroz não-estabilizado (CPFANE) e concentrado protéico de farelo de arroz estabilizado (CPFAE), apresentaram solubilidade máxima de nitrogênio em pH 8,0. CPFANE (71,5% de proteína) e CPFAE (50,9% de proteína) não apresentaram diferenças nos teores de aminoácidos. O perfil eletroforético dos concentrados protéicos elaborados

com farelo estabilizado e não-estabilizado revelaram componentes comuns e ausência de determinadas bandas do CPFAE.

Bera e Mukherjee (1989) elaboraram um concentrado protéico de farelo de arroz a partir de arroz integral com gordura e desengordurado. Foram analisadas as propriedades funcionais, solubilidade do nitrogênio, propriedades emulsificantes e propriedades de espuma no intervalo de pH entre 2,0 e 10,5 e em três soluções: água, 0,1M de NaCl (baixo teor de sal) e 1,0M de NaCl (alto teor de sal). Abaixo e acima do ponto isoelétrico (pH 4,5) a solubilidade do nitrogênio aumentou. O maior pH aumentou a solubilidade do nitrogênio e, assim, melhorou consideravelmente as propriedades funcionais. Em altas concentrações de sal, a solubilidade do nitrogênio reduziu alterando, também as propriedades de emulsificação e espuma.

### 3.3.2 Método enzimático

Vários estudos visam isolar as proteínas do arroz, pela remoção enzimática de conteúdos não protéicos, a partir de seus produtos como a farinha e o farelo. Diversas enzimas têm sido utilizadas, entre estas, encontram-se a pancreatina, as proteases alcalinas, fúngicas ou bacterianas, em conjunto ou não com a ação de amilases e carboidrases (AGBOOLA et al., 2005; ANSHARULLAH e CHESTERMAN, 1997; SHIH et al., 1999; SHIH; DAIGLE, 1997; SHIH; DAIGLE, 2000; WANG et al., 1999).

As carboidrases têm um efeito positivo sobre a extratibilidade das proteínas vegetais. Em geral, elas contribuem desintegrando os tecidos da parede celular e, conseqüentemente, aumentando a extração de proteínas (GUAN e YAO, 2008; LIU et al., 2008b; WANG et al., 1999). Vários fatores como, a quantidade de enzima, o tempo de incubação, a temperatura e o pH, podem afetar a eficiência do tratamento enzimático, e seus efeitos podem ser independentes ou interativos (LIU et al., 2008b).

A *Viscozyme L*, é uma carboidrase multi-componente, que contém uma vasta gama de carboidrases incluindo arabanase, celulase, hemicelulase e xilanase, e pode eficazmente hidrolisar a parede celular vegetal de polissacarídeos (LIU et al., 2008b). A xilanase hidrolisa a xilana, que é um polissacarídeo comum da parede celular vegetal composto de D-xilose. Isso pode ter vantagem na clivagem das ligações dentro da matriz do polissacarídeo e, conseqüentemente, libera mais componentes intercelulares, como a proteína (WANG et al., 1999). Estes autores produziram um isolado protéico de farelo de arroz contendo aproximadamente 92,0% de proteína. O isolado foi preparado a partir de farelo de arroz desengordurado utilizando as enzimas

fitase e xilanase, apresentando propriedades de formação de espuma semelhantes à clara de ovo.

Hamada (2000) utilizou Alcalase 2.4L e Flavourzyme para produzir um hidrolisado de farelo de arroz e obteve 27,6 e 29,9% de proteína, respectivamente.

### **3.4 Extratos, concentrados e isolados protéicos**

A procura por fontes de proteína de origem vegetal tem despertado o interesse da pesquisa na caracterização e isolamento de proteínas como, por exemplo, o milho (ADEBOWALE et al., 2007), a soja (DIFTIS e KIOSSEOGLU, 2003), a farinha de arroz (VIEIRA et al., 2008), o farelo de arroz (WANG et al., 1999), a farinha de trigo (CARREIRA et al., 2009). Do farelo de arroz podem-se obter extratos, concentrados e isolados protéicos.

Os concentrados protéicos de farelo de arroz podem ser utilizados em alimentos como um ingrediente protéico. Alguns concentrados possuem boa atividade, capacidade e estabilidade emulsificante. Estas propriedades indicam o possível uso dos concentrados como emulsificante de gorduras no preparo de alimentos (BERA e MUKHERJEE, 1989).

Parrado et al. (2006) elaboraram um extrato enzimático do farelo de arroz solúvel em água e o estabilizaram através de um tratamento enzimático com uma mistura de endoproteases. O produto revelou uso potencial em alimentos funcionais devido a presença de 38% de proteínas na forma de peptídeos e aminoácidos livres contendo 6% de aminoácidos contendo enxofre.

Shih e Daigle (2000) isolaram, com enzimas, um concentrado protéico de arroz integral com um teor de 49% de proteínas e obtiveram um produto final com 85% de proteínas.

Foram elaborados concentrados protéicos a partir de farelo de arroz desengordurado que foi tratado pelo método químico, com tratamento alcalino a pH 11 e precipitação em pH 4. Os concentrados úmidos foram utilizados para formular alimentos para bebês que foram avaliados nutricionalmente, ficando os valores de eficiência protéica semelhantes às da caseína (PRAKASH e RAMANATHAM, 1995).

Chandi e Sogi (2007) verificaram que a capacidade emulsificante do concentrado protéico de farelo de arroz variou entre 24 e 74%. As emulsões elaboradas apresentaram-se razoavelmente estáveis sob condições variadas de pH, concentrações de açúcar e de sal. Ainda relataram que as propriedades funcionais de

concentrados protéicos do farelo de arroz são comparáveis as da caseína, mostrando o alto potencial do produto para as indústrias alimentícias.

Wang et al. (1999) produziram um isolado protéico do farelo de arroz e o perfil de aminoácidos essenciais foi semelhante ao exigido para crianças com idade entre 2 e 5 anos. Os níveis de arginina, valina, tirosina, histidina, isoleucina, metionina e triptofano foram altos no isolado protéico do farelo de arroz. Quando comparado com o isolado protéico de soja e a caseína, o isolado protéico do farelo de arroz apresentou conteúdos similares ou maiores de fenilalanina, treonina, histidina, arginina, leucina, alanina, ácido aspártico, glicina, valina e cisteína.

As propriedades funcionais de isolados protéicos foram avaliadas a partir de grãos de soja armazenados sob várias condições e tempos de armazenamento. O índice de solubilidade do nitrogênio, a atividade emulsificante, a estabilidade da emulsificação, a textura e a estabilidade térmica dos isolados diminuíram após o tempo de armazenamento, com a degradação dos isolados. As propriedades funcionais das proteínas realizadas a partir de outras três condições (resfriamento baixo, frio e à temperatura ambiente) mostraram quase nenhuma mudança significativa durante os 12 meses de armazenamento, quando comparado com as controle (LIU et al., 2008a).

### **3.5 Propriedades funcionais das proteínas**

A qualidade de um alimento é definida pela sua composição, propriedades nutricionais e propriedades funcionais. A composição é caracterizada pelas quantidades ou proporções de seus vários componentes; as propriedades nutricionais pela sua riqueza em nutrientes essenciais, pela biodisponibilidade de tais nutrientes e pela ausência de substâncias tóxicas ou antinutricionais; e as propriedades funcionais de um ingrediente são as que determinam sua utilização (RIBEIRO e SERAVALLI, 2004).

Para que o uso das proteínas vegetais seja bem sucedido é necessário que as mesmas possuam características desejáveis como as propriedades funcionais, bem como o fornecimento de aminoácidos essenciais. Essas propriedades são características físico-químicas intrínsecas, que afetam o comportamento das proteínas em sistemas alimentícios durante a transformação, a elaboração, o armazenamento e a preparação (ADEBOWALE et al., 2007).

Na Tabela 3 estão apresentadas as propriedades funcionais requeridas de proteínas em vários alimentos.

Tabela 3. Propriedades funcionais das proteínas requeridas em vários alimentos

<b>Alimento</b>	<b>Funcionalidade</b>
Bebidas	Solubilidade em diversos valores de pH, estabilidade térmica, viscosidade
Sopas, molhos	Viscosidade, emulsificação, retenção de água
Produtos de panificação	Formação de uma matriz e um filme com propriedades viscoelásticas, coesão, desnaturação térmica, formação de gel, absorção de água, emulsificação e aeração
Derivados de leite (sorvetes, iogurtes)	Emulsificação, retenção de gordura, viscosidade, aeração, formação de gel, coagulação
Substitutos de ovos	Aeração, formação de gel
Produtos cárneos (embutidos, presunto)	Emulsificação, gelificação, coesão, absorção de água e gordura, retenção de água
Coberturas	Coesão, adesão
Produtos de confeitaria	Dispersibilidade, emulsificação

Fonte: RIBEIRO e SERAVALLI, 2004.

O somatório das propriedades funcionais de um alimento ou ingrediente alimentício é definida como funcionalidade. Valor funcional é uma característica de funcionalidade de um produto ou ingrediente alimentício que aumente sua aceitação e utilização. As principais propriedades funcionais das proteínas são aquelas que as tornam capazes de contribuir para as características desejáveis de um alimento. A avaliação das proteínas quanto às suas propriedades funcionais é um problema bastante complexo por causa da grande diversidade de estruturas e conformações, e de possíveis interações com outros componentes dos alimentos como lipídeos, carboidratos, água, íons e outras proteínas (RIBEIRO e SERAVALLI, 2004).

### 3.5.1 Solubilidade

A solubilidade é uma das propriedades funcionais mais importantes das proteínas. Ela pode afetar outras propriedades como as propriedades hidrodinâmicas e reológicas. Nas formulações baseadas em proteínas, como emulsões, espumas e géis, geralmente é necessária uma proteína de boa solubilidade (LIU et al. 2011). A alta solubilidade é necessária em concentrados protéicos para serem utilizados como

ingredientes funcionais em muitos alimentos, incluindo bebidas, molhos, cremes, chantilis e coberturas (CHANDI e SOGI, 2007).

Solubilidade protéica é uma condição importante para as propriedades funcionais dos alimentos, e, também é um índice de aplicações potenciais das proteínas. Pesquisadores relatam que a solubilidade protéica tem uma estreita afinidade com as propriedades emulsificantes e espumantes (MOHAMED et al., 2009), e, também com a formação de géis (CÂNDIDO, 1998).

### **3.5.2 Capacidade de retenção de água**

De acordo com Sgarbieri (1996) a capacidade de hidratação envolve uma interação entre a proteína ou alimento protéico com a água. A maior ou menor afinidade da proteína com a água também se relaciona com outras propriedades funcionais como textura, viscosidade, geleificação e emulsificação.

A absorção de água pela proteína é afetada por diversos fatores como a composição de aminoácidos, estrutura e conformação das proteínas, polaridade, ligação iônica, pH e temperatura (LIU, 1999).

### **3.5.3 Capacidade de retenção de óleo**

A capacidade de retenção de gordura é importante para aplicações em alimentos, pois se baseia principalmente na capacidade do óleo de entrar fisicamente por um complexo de atração. Em aplicações em alimentos, como na emulsão de produtos cárneos, a capacidade de um componente alimentar de se prender ao óleo é uma característica importante porque a gordura age como um retentor de sabor, consistência e um potencial intensificador de sensação na boca (AIDER e BARBANA, 2011). A alta absorção de óleo é essencial na formulação de alimentos como salsichas, massas de bolo, maionese e molhos para saladas (CHANDI e SOGI, 2007).

### **3.5.4 Capacidade emulsificante**

As emulsões são formadas devido à presença de grupos hidrofóbicos e hidrofílicos das proteínas, e normalmente é definida como o volume de óleo que pode ser emulsificado pela proteína antes de ocorrer o colapso da emulsão. A capacidade emulsificante refere-se a uma habilidade de um emulsificante em formar e estabilizar pequenas gotículas durante a homogeneização. E a estabilidade da emulsão refere-se à capacidade da proteína de formar uma emulsão que se mantenha inalterada por

um período de tempo e em condições específicas (AIDER e BARBANA, 2011; CHANDI e SOGI, 2007; KINSELLA, 1976).

As proteínas constituem um dos mais importantes grupos de emulsificantes utilizados na indústria alimentícia, pois estabilizam as gotículas de óleo evitando a coalescência, também, reduzem a tensão interfacial óleo-água contribuindo para a formação de gotículas de óleo. Para que a proteína tenha propriedades emulsificantes adequadas é necessário que as moléculas tenham capacidade de se adsorver rapidamente a interface óleo-água imediatamente formada durante o processo de emulsificação e sofrer a mudança conformacional e o rearranjo na interface, seguido da formação de um filme coeso, com propriedades viscoelásticas, como resultado de interações intermoleculares (DIFTIS e KIOSSEOGLU, 2003).

Os consumidores do século XXI preferem alimentos de fontes ou com ingredientes de origem natural. Essa nova tendência também se aplica aos ingredientes em menores quantidades, mas funcionais, como os emulsionantes utilizados na fabricação de emulsões alimentícias. Infelizmente, os emulsionantes comumente utilizados em emulsões na fabricação dos alimentos, como os monoglicerídeos, são considerados sintéticos. Provavelmente, a lecitina seja o único emulsificante utilizado comercialmente em alimentos naturais em vários países, mesmo tendo sido feitas inúmeras pesquisas para um novo emulsificante natural (YUN e HONG, 2007).

### **3.5.5 Propriedades espumantes**

As espumas são sistemas dispersos de duas fases distintas, onde uma delas líquida circunda uma fase dispersa constituída de bolhas de ar (CARVALHO, 2004).

A capacidade de uma proteína em formar espuma refere-se à expansão de volume da dispersão protéica com a incorporação de ar por batimento, agitação ou aeração. A estabilidade da espuma diz respeito à retenção do volume máximo de espuma formada em função do tempo de repouso sendo, geralmente, medida pela liberação de fluido da espuma (SGARBIERI, 1996).

### **3.6 Inclusão de isolado em alimentos**

Pesquisas relatam que nos últimos anos tem havido um aumento significativo no desenvolvimento de produtos sem glúten, envolvendo uma abordagem diversificada. Os alimentos incluem o uso de amidos (LOPEZ et al., 2004), outras proteínas que não sejam o glúten (MARCO e ROSELL, 2008), produtos lácteos,

gomas e hidrocolóides (LAZARIDOU et al., 2007) ou prebióticos (KORUS et al., 2006) como alternativas à formação da rede de glúten, a fim de melhorar a estrutura, aceitabilidade e vida útil desses produtos de panificação.

A maioria dos produtos sem glúten são à base de amido ou arroz com a adição de diferentes tipos de hidrocolóides. Mas, no entanto, nessas formulações, livres de glúten, faltam fibras e nutrientes (TORBICA et al., 2010). Pães sem glúten contém menos proteínas, lipídios, vitaminas e outros ingredientes nutricionais importantes comparados ao pão comum (THOMPSON, 2000).

Aumenta cada vez mais o interesse por produtos elaborados com proteínas vegetais como ingredientes em sistemas de alimentação a nível mundial. O sucesso final em utilizar proteínas vegetais depende das características favoráveis que elas dão aos alimentos. Nos países desenvolvidos, as proteínas vegetais são consideradas versáteis como ingredientes funcionais (ADEBOWALE et al., 2007).

### **3.7 Doença celíaca**

A doença celíaca é uma enteropatia ligada à fatores genéticos, ambientais e imunológicos e o resultado são lesões na mucosa intestinal. É uma intolerância à gliadina do trigo e às prolaminas do centeio e cevada, e possivelmente da aveia. A reação à ingestão de glúten por pessoas que sofrem de doença celíaca é a inflamação do intestino delgado levando à má absorção de vários e importantes nutrientes como ferro, ácido fólico, cálcio e vitaminas lipossolúveis (OLÉN et al., 2011; STRAUCH e COTTER, 2011; VILLANACCI et al. 2011; GUJRAL et al., 2004; GALLAGHER et al., 2003). Ela pode se manifestar nos primeiros anos de vida e permanecer sem diagnóstico até a vida adulta. Em outros casos, a doença se manifesta apenas na vida adulta (PÉREZ et al. 2011).

O tratamento para a doença celíaca é a isenção do glúten da dieta ao longo de toda a vida do paciente. O glúten é responsável pelas características da farinha na elaboração de produtos de panificação. No entanto, ele deve ser suprimido da dieta dos pacientes que sofrem de doença celíaca, pois sua ingestão provoca graves danos intestinais. A dieta de um paciente celíaco não pode conter ingredientes como trigo, centeio, cevada, triticale, farinha de aveia, nem seus subprodutos; alimentos processados derivados desses cereais como cachorros-quentes, saladas, sopas, molhos cremosos; nem medicamentos que contenham o glúten como ligante em pílulas ou comprimidos (TORBICA et al., 2010; GUJRAL et al., 2004).

As formulações de produtos de panificação sem glúten são um desafio para técnicos em cereais e padeiros. Pesquisas relatam que há um número limitado de publicações que descrevem produtos isentos de glúten, pois isso está tanto na dificuldade em produzir alimentos sem glúten como na falta de consciência do número de pessoas que possuem doença celíaca (TORBICA et al., 2010).

### **3.8 Farinha de arroz**

A grande quantidade de grãos quebrados resultantes do processo de beneficiamento do arroz, cerca de 14%, e seu baixo valor comercial têm levado as indústrias a buscar novas possibilidades para agregar valor a este produto. Uma das alternativas é a produção de farinha, pois a mesma está cada vez mais popular como substituta da farinha de trigo na preparação de produtos consumidos por pacientes com doença celíaca, pois possui um baixo nível de prolamina, sabor suave, cor branca, propriedades hipoalergênicas, baixos níveis de sódio e carboidratos de fácil digestão (CAPRILES e ARÊAS, 2011; SAKAČ et al., 2011; TORBICA et al., 2010; CLERICI e EL-DASH, 2008; MARCO e ROSELL, 2008; WANG, 2000a).

É uma das farinhas de cereais mais adequadas para produtos sem glúten, podendo ser incorporada como espessante em produtos doces ou salgados, de cor e aromas variados. Tem sido usada, também, na elaboração de produtos como panquecas, waffles, e como parte da formulação de pães e muffins (NGAMNIKOM e SONGSERMPONG, 2011; NEVES et al., 2010; GUJRAL et al., 2004).

O conteúdo de proteína na farinha comercial de arroz é relativamente baixo (7 a 9%) (VIEIRA et al., 2008), assim torna-se importante incorporá-la em produtos de panificação e confeitaria para que seu valor nutricional aumente. Centenaro et al. (2007) elaboraram pães de trigo enriquecidos com proteína de peixe para aumentar o conteúdo deste nutriente no produto. Os resultados mostraram que os pães com 3 e 5% de polpa lavada seca e 50% de polpa lavada úmida apresentaram aumento no conteúdo protéico de 31, 45 e 48% respectivamente, em relação ao conteúdo protéico do pão padrão. A proteína do farelo de arroz pode ser uma alternativa interessante, pois além de suprir essa deficiência, esta não possui efeitos indesejáveis que possam afetar os indivíduos com intolerância ou com alergia ao glúten (PESTANA et al., 2008).

### **3.9 Bolos**

Segundo a resolução da Anvisa nº 12 (1978), bolo é o produto assado, preparado à base de farinhas ou amidos, açúcar, fermento químico ou biológico,

podendo conter leite, ovos, manteiga, gordura e outras substâncias alimentícias que caracterizam o produto.

Escolher matérias-primas apropriadas, aplicar formulação balanceada e processos de mistura e cozimento de acordo com o tipo de produto que se quer produzir é indispensável na elaboração de bolos, como também, uma mistura homogênea dos ingredientes, com máxima incorporação de ar e mínimo desenvolvimento do glúten (GUTKOSKI et al., 2009). A massa de bolo é uma emulsão complexa de gordura em água, composta por bolhas e uma mistura de ovo-açúcar-água-gordura na qual são dispersas partículas de farinha. Durante o assamento, o aumento de temperatura, a pressão de vapor de água e a taxa de formação de dióxido de carbono resultam na expansão da massa. Aumento adicional de temperatura causa gelatinização do amido e coagulação de proteínas (KOCER et al., 2007).

Ronda et al. (2011) estudaram o efeito do uso de diferentes fontes de amido (arroz, batata, milho e trigo) e tipos de proteína (proteína isolada de soja, proteína de trigo) em diferentes porcentagens (0%, 10%, 20%), sobre as propriedades reológicas das massas e na densidade de massa e volume de bolos. Os bolos com amido de arroz e proteína isolada de soja apresentaram maior consistência, viscosidade, elasticidade, adesividade e força comparados ao comportamento reológico dos bolos com farinha de trigo.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Matéria-prima**

Foram utilizados três tipos de farelo de arroz provenientes de indústrias da Região Sul. O farelo de arroz desengordurado estabilizado e peletizado, da empresa A. Os outros dois tipos de farelos integrais foram obtidos das indústrias B e C.

### **4.2 Método químico: Testes preliminares**

O isolado protéico do farelo de arroz foi obtido pelo método descrito por Gnanasambandam e Heitiarachchy (1995), com modificações, onde o farelo de arroz desengordurado foi diluído em água destilada na proporção de 1:6, seguido de homogeneização, em agitador de hélice (Ika Labor Technik) à 500rpm, ajustando o pH para 11 com NaOH 1M utilizando o pHmetro (Marconi PA 200), durante 60 minutos, seguido de centrifugação, em centrífuga (High Speed Brushless Centrifuge MPW-350) a 15200G durante 30 minutos, em temperatura ambiente, posterior filtração do sobrenadante em malha metálica, obtendo-se as proteínas solubilizadas I. Foram realizadas lavagens nos resíduos com água alcalinizada pH 11, sendo necessária a completa remoção do resíduo das paredes do tubo da centrífuga, seguido, novamente por centrifugação, nas mesmas condições anteriores, obtendo-se, assim as proteínas solubilizadas I, II e III, como pode ser visualizado na Figura 1.

O total de proteínas solubilizadas foram homogeneizadas em agitador de hélice à 500rpm, sendo necessário o ajuste em pH 4,5 com HCl 1N, ocorrendo a precipitação no ponto isoelétrico. Centrifugou-se a 15200G durante 30 minutos, em temperatura ambiente. Após centrifugar e separar o sobrenadante do resíduo contendo as proteínas, a parte sólida foi armazenada a uma temperatura de 4°C, para posteriores análises de umidade e proteína bruta (Figura 2).

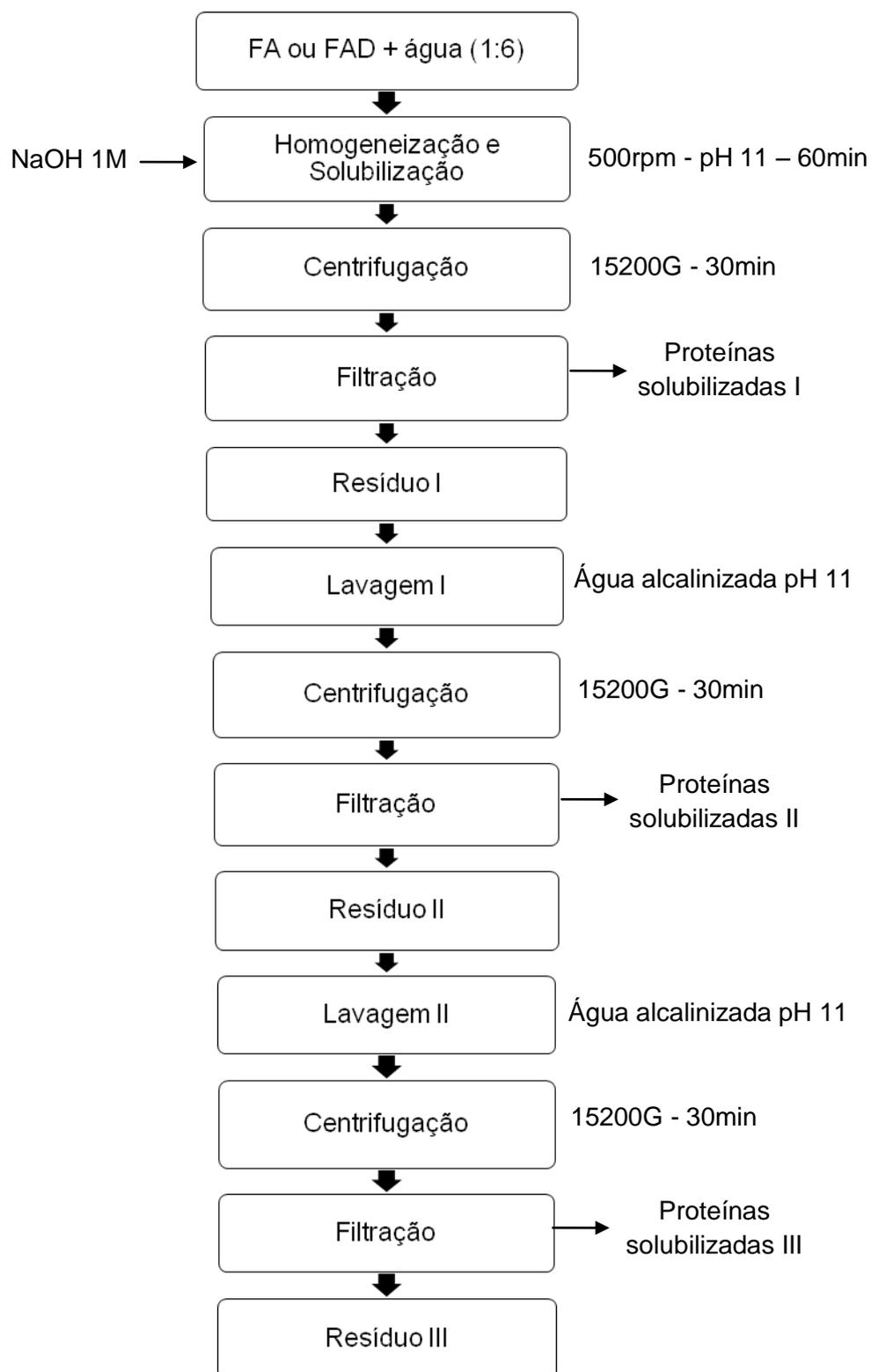


Figura 1. Fluxograma da solubilização das proteínas do farelo de arroz.

FA: Farelo de arroz.

FAD: Farelo de arroz desengordurado.

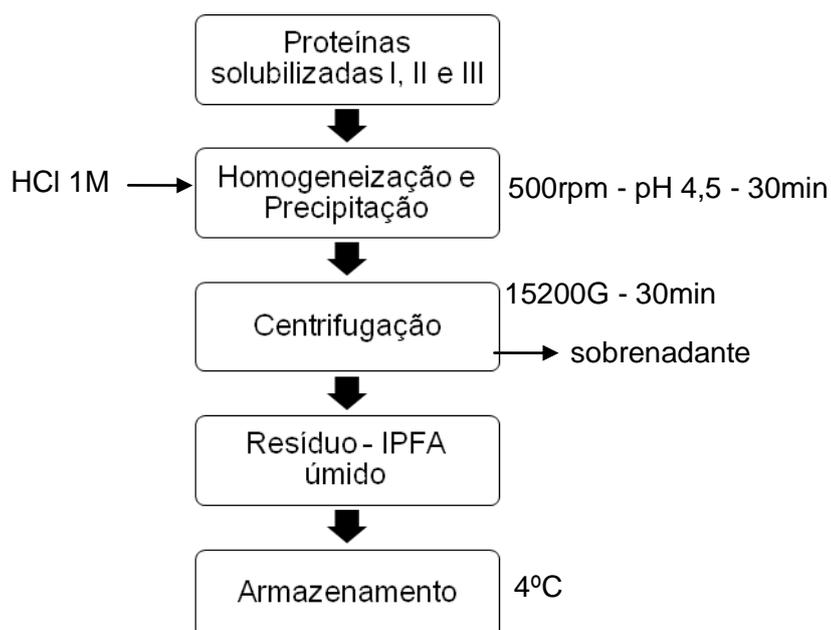


Figura 2. Precipitação das proteínas solubilizadas do farelo de arroz desengordurado e obtenção do isolado protéico úmido.

#### 4.3 Testes preliminares para obtenção do rendimento em peso do isolado protéico do farelo de arroz (IPFA)

Para a escolha do melhor farelo a ser utilizado no método químico, as amostras de farelo A, B e C foram peneiradas em peneira de 42 mesh e submetidas ao método químico de obtenção do isolado protéico. O farelo que apresentou maior rendimento em peso, na obtenção do isolado, foi desengordurado e submetido novamente ao método químico. O farelo desengordurado foi peneirado em peneira de 100 mesh e submetido ao método enzimático.

Com o resultado do teor protéico dos isolados obtidos nestes dois métodos, decidiu-se o processo que seria utilizado na obtenção do IPFA.

#### 4.4 Desengorduramento do farelo de arroz B

O desengorduramento consistiu na remoção de gordura do farelo de arroz, peneirado em peneira de 42 mesh, com éter de petróleo na proporção 1:7 (p/v) sob agitação orbital por 1 hora e secagem por 24 horas em temperatura ambiente.

#### 4.5 Método enzimático

O método enzimático foi realizado conforme Wang et al. (1999) com adaptações (Figura 3), onde diluiu-se 50g de farelo de arroz desengordurado e peneirado em malha de 100 mesh, em 375mL de água deionizada, ajuste de pH para

5 com HCl 1N e temperatura 55°C, adição de 50mg de fitase do trigo (®Sigma-Aldrich) com atividade de 0,03 U/mg de sólido e de 50mg de xilanase (endo-1,4-β-xilanase de *Trichoderma longibrachiatum* ®Sigma-Aldrich) com atividade ≥1.0 U/mg sólido, permanecendo sob aquecimento e agitação à 500 rpm por 2hs, após o pH foi aumentado para 10 com NaOH 1N, em seguida foi realizada centrifugação a 27000G durante 40 minutos, para a retirada do resíduo. No sobrenadante, onde estão as proteínas, foi realizado ajuste do pH para 4 com HCl 1N, seguido novamente de centrifugação (18800G x 10min). Foi realizado, também, um controle, sem enzimas. O resíduo sólido foi armazenado à 4°C para posteriores determinações de umidade e proteína bruta.

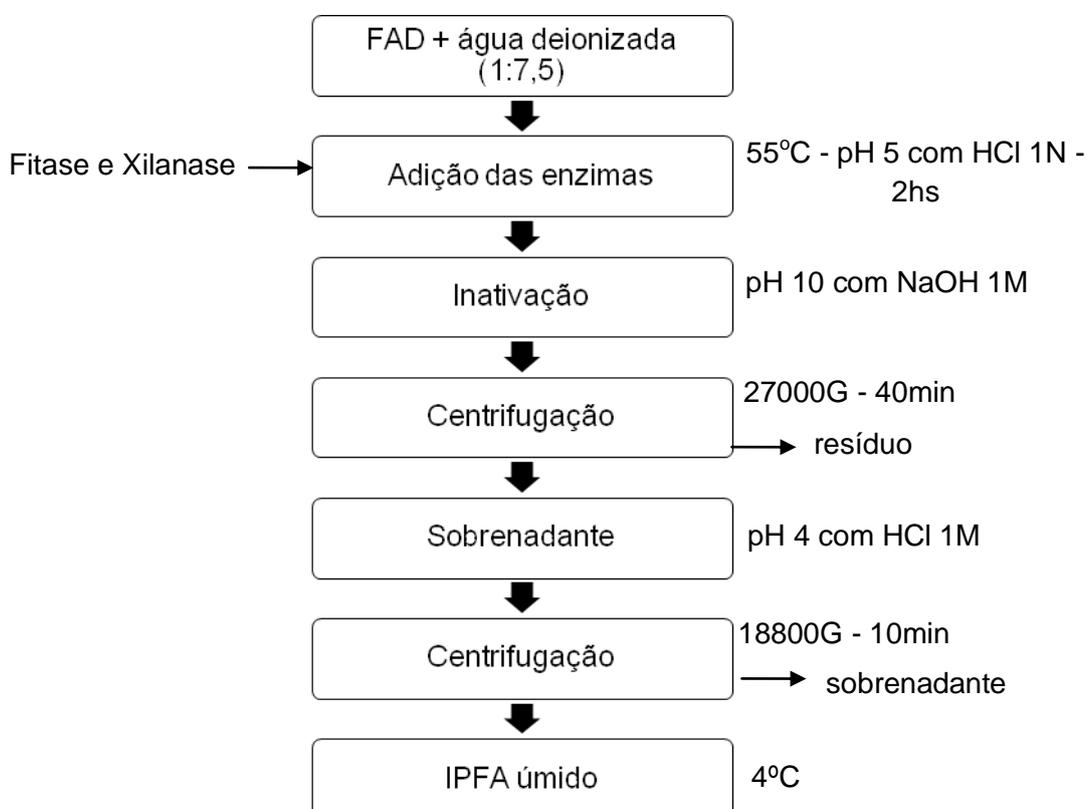


Figura 3. Fluxograma da obtenção do isolado protéico de farelo de arroz desengordurado pelo método enzimático.

FAD: Farelo de arroz desengordurado.

#### 4.6 Rendimento do peneiramento do farelo de arroz B

Com a finalidade de obter uma fração homogênea foram pesados 50g de farelo de arroz B, e foi colocado em peneira de 42 mesh (abertura: 355 mm), com posterior agitação em agitador eletromagnético (Bertel) de 60Hz, durante 15 minutos.

O rendimento foi determinado como a relação entre o peso inicial e o peso de farelo que passou pela peneira. O mesmo procedimento foi repetido duas vezes.

#### **4.7 Composição proximal do farelo B e do isolado protéico do farelo de arroz (IPFA)**

A umidade foi determinada pelo método gravimétrico em estufa (QUIMIS-D 242) a 105°C; a proteína bruta em micro-Kjeldahl com o uso do digestor (GERHARDT) e destilador (TECNAL 036/1); as cinzas, pelo método gravimétrico em mufla (QUIMIS 318-M24) a 550°C; a gordura, através da extração com solvente em Soxhlet (QUIMIS 308-26B). Todas essas análises foram realizadas conforme método descrito pela AOAC (2000), com n° de 960,39; 992,15; 923,03; e 925,30; respectivamente. As fibras foram determinadas pelo método do Instituto Adolfo Lutz (2008). A quantidade de carboidratos foi obtida por diferença.

#### **4.8 Determinação do ponto isoelétrico do farelo e curva de solubilidade do isolado protéico do farelo de arroz (IPFA)**

O percentual de solubilidade foi verificado pelo método descrito por Morr et al. (1985), com variação de pH na faixa de 3 a 11. Pesou-se quantidade suficiente de farelo desengordurado para proporcionar 500mg de proteína em um béquer de 50mL, adicionou-se 2mL de NaCl 0,1M obtendo-se uma pasta homogênea. A seguir foi adicionada solução tampão de Sørensen e McIlvaine (ASSUMPÇÃO e MORITA, 1972), no pH correspondente até o volume de 40mL.

A dispersão protéica foi mantida sob agitação por 45 minutos em agitador magnético (QUIMIS®, modelo 261-2) e após transferida para um balão volumétrico de 50mL completando o volume com solução tampão correspondente. Em seguida, centrifugou-se a dispersão por 30 minutos a 8667G em centrífuga de tubos (Biosystems, tipo MPW-350/350R) e as soluções foram filtradas em papel filtro. Foram feitas determinações de proteínas solúveis no sobrenadante pelo método de Lowry et al. (1951). A solubilidade da proteína foi calculada como a quantidade de proteína no sobrenadante dividida pela quantidade de proteína total x 100. A proteína total foi determinada conforme a AOAC (2000) método 992,15 e calculada mediante o fator N x 5,95. Determinou-se o % solubilidade conforme a Equação 1.

$$\%S = \left( \frac{A \times 50}{W \times \left( \frac{P}{100} \right)} \right) \times 100 \quad (\text{Eq.1})$$

Onde: A: concentração de proteína no sobrenadante (mg/mL);

W: peso da amostra (mg);

P: quantidade de proteína na amostra (determinada pelo método de Kjeldhal).

#### 4.9 Obtenção do isolado protéico do farelo de arroz pelo método químico: Método definitivo

Para a obtenção do isolado protéico de farelo de arroz utilizou-se o método químico descrito por Gnanasambandam e Heitiarachchy (1995), com adaptações (Figura 4).

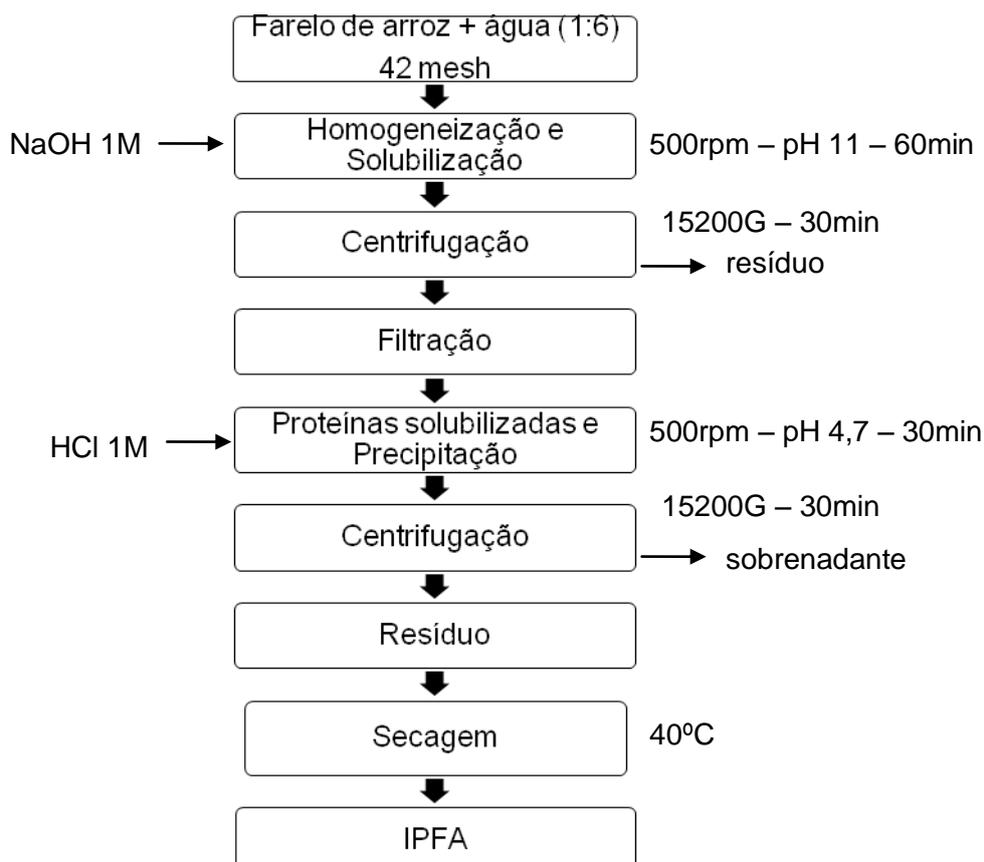


Figura 4. Fluxograma definitivo de extração das proteínas pelo método químico.  
IPFA: isolado protéico do farelo de arroz.

O farelo de arroz desengordurado (42 e 100 mesh) foi diluído em água destilada na proporção de 1:6, ajustado o pH para 11 com NaOH 1N, utilizando o potenciômetro Marconi PA 200 e homogeneizado em agitador de hélice (Ika Labortechnik) por 60 minutos à 500rpm, seguido de centrifugação (Hitachi CR22GIII) a 15200G durante 30 minutos, em temperatura ambiente e filtração do sobrenadante em malha metálica, obtendo-se as proteínas solubilizadas. As proteínas solubilizadas foram homogeneizadas em agitador de hélice à 500 rpm, sendo necessário o ajuste para pH 4,7 com HCl 1N, onde ocorreu a precipitação no ponto isoelétrico. Centrifugou-se, novamente, a 15200G durante 30 minutos, em temperatura ambiente. Após separar o sobrenadante, a parte sólida, correspondente ao isolado protéico, foi seca em estufa com circulação de ar forçado a 40°C até peso constante e após, armazenada à uma temperatura de 4°C para posteriores determinações.

#### **4.10 Caracterização do isolado protéico do farelo de arroz (IPFA)**

##### **4.10.1 Eletroforese (SDS – PAGE) das proteínas do isolado**

A eletroforese em gel de sulfato dodecil de sódio de poliacrilamida foi realizada de acordo com Laemmli (1970) em um sistema tampão contínuo: tampão tris 1,5M e SDS 10% (p/v). O gel foi preparado com 12% de gel de separação e 4% em gel de concentração. A análise de eletroforese foi realizada em uma unidade de eletroforese vertical (GSR/ 300STS). Em tubo de ensaio foi adicionado 0,2% de proteína em 1,5mL de água destilada, com posterior adição de 1,5mL de tampão tris 0,5M para que ficasse na proporção de 1:1 (p/p) e em seguida, os tubos foram agitados em vórtex até a dissolução da amostra. Uma alíquota de 1mL de amostra foi pipetado para um eppendorf e adicionado 100µL de β-mercaptoetanol. O eppendorf com a amostra foi colocado em água fervente por 4 minutos para desnaturação das proteínas. Após arrefecimento, foram adicionadas 3 gotas de azul de bromofenol. Uma alíquota de 20µL de amostra foi colocada no espaço de corrida (poço) e foi adicionado 10µL de SDS (sulfato dodecil de sódio). Após montou-se o aparelho, cobrindo este com solução tampão de corrida, com posterior aplicação de uma corrente de 40mA durante 3 horas. Após, o gel foi retirado da placa e colocado em solução corante por 2 horas sob agitação constante, em seguida, as bandas de proteínas presentes na amostra foram reveladas pela solução descorante.

#### **4.10.2 Aminograma das proteínas do isolado**

A composição dos aminoácidos totais foi realizada pela Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (USP, Ribeirão Preto, SP, Brasil). Os aminoácidos foram obtidos por hidrólise do isolado com HCl 6N contendo fenol 0,01%, ponto de ebulição constante, por 22h a 110°C, conforme Bidlingmeyer et al. (1984).

#### **4.10.3 Calorimetria diferencial de varredura (DSC) das proteínas do isolado**

A análise de DSC foi realizada em calorímetro diferencial de varredura (DSC Q20, TA Instruments), onde verificou-se a desnaturação térmica e termodinâmica das proteínas. A metodologia utilizada foi segundo Wang et al. (1999), na qual foram dissolvidos 60mg do isolado protéico de farelo de arroz em 1mL de tampão fosfato 0,06M (pH 7,0) contendo NaCl 0,10M. Uma alíquota de 45µL dessa solução foi colocada em cápsula de alumínio TA hermeticamente fechada. A amostra foi aquecida de 45 a 130°C a 10°C/min, passando por uma corrente a 50mL/min de nitrogênio (N<sub>2</sub>). Foi utilizada como referência uma cápsula de alumínio contendo a solução de tampão fosfato 0,06M (pH 7,0) e NaCl 0,10M hermeticamente fechada. O pico da temperatura de desnaturação (T<sub>p</sub>) e a entalpia (ΔH) foram calculados pelo programa de software de análise térmica.

### **4.11 Propriedades funcionais do isolado protéico de farelo de arroz (IPFA)**

#### **4.11.1 Capacidade de retenção de água (CRA)**

A CRA foi determinada de acordo com Regenstein et al. (1979), onde foram preparadas dispersões protéicas de 1% em diferentes valores de pH, entre 3 a 11, onde foram adicionados 2mL de solução de NaCl 0,1M até obtenção de uma pasta homogênea. Em seguida, acrescentou-se 40mL de solução tampão de pH correspondente, levando-a ao agitador magnético durante 15 minutos. Centrifugou-se a dispersão a 963G durante 25 minutos.

As proteínas solúveis foram determinadas por Lowry et al (1951), onde foram descontadas do total de proteínas da amostra original e a capacidade de retenção de água foi determinada pela quantidade de água retida pela proteína da amostra, expressa em g de água retida por grama de proteína, segundo a Equação 2.

$$\text{CRA} = \frac{W}{P} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: W: quantidade de água retida (g);

P: massa de proteína (g).

#### 4.11.2 Capacidade de retenção de óleo (CRO)

A CRO foi determinada pelo método descrito por Fonkwe e Singh (1996), adaptado as condições do laboratório. Onde foi pesado 1g de proteína em tubos e adicionados 20mL de óleo vegetal. A amostra foi agitada em agitador de tubos (Certomet, MU) para que ocorresse a homogeneização da mistura durante 10 minutos. Em seguida centrifugaram-se as amostras a 8667G em centrífuga de tubos (Biosystems, tipo MPW-350/350R) durante 15 minutos.

A quantidade de óleo retido pela amostra foi obtida pela diferença entre o óleo adicionado e o não retido pela amostra, e a capacidade de retenção de óleo foi expressa como a quantidade de óleo retido por grama de proteína, de acordo com a Equação 3.

$$\text{CRO} = \frac{Or}{P} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde: Or: quantidade de óleo retido (mL);

P: massa de proteína (g).

#### 4.11.3 Capacidade emulsificante (CE)

A CE dos isolados foi determinada pelo método descrito por Okezie e Bello (1988), onde foi preparada uma suspensão com 1g de proteína e 34mL de solução de NaCl 3%, em liquidificador doméstico (Arno, modelo LIR-P), homogeneizando por 30 segundos em velocidade média. Com uma pipeta foi adicionado 30mL de óleo vegetal, com auxílio de uma bureta, numa vazão de 10mL/min, sob agitação.

A suspensão foi colocada em tubos de centrífuga graduados e levados ao banho de água (modelo Q-215-2, Quimis<sup>®</sup>) a 85°C durante 15 minutos. Centrifugou-se a 963G durante 40 minutos.

O volume de óleo separado em cada amostra foi medido em proveta. A diferença entre a camada de óleo remanescente e a quantidade de óleo adicionado foi

expressa como a quantidade de óleo emulsificado por grama de proteína contida na amostra, segundo a Equação 4.

$$CE = \frac{Oe}{P} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde: Oe: quantidade de óleo emulsificado (mL);

P: massa de proteína (g).

#### **4.11.4 Propriedades espumantes**

O método utilizado foi o descrito por Glória e Reginato-d'Arce (2000), adaptado as condições do laboratório.

##### **4.11.4.1 Capacidade de formação de espuma (CFE)**

Para a determinação da CFE foi preparada uma suspensão de 5g de proteína com 100mL de água destilada, agitando-a em liquidificador doméstico (Arno, modelo LIR-P) durante 5 minutos, logo após foi transferida para uma proveta graduada de 250mL.

A CFE foi calculada pela relação do aumento de volume após a agitação e o volume inicial, conforme a Equação 5.

$$CFE = \frac{(B-A)}{A} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde: A: volume antes da agitação (mL);

B: volume após o batimento (mL).

##### **4.11.4.2 Estabilidade de espuma (EE)**

A EE foi determinada após o repouso da amostra nas provetas, em temperatura ambiente (20-25°), durante os períodos de 5, 15, 30 e 60 minutos, sempre relacionando o volume de espuma inicial com o volume de espuma ainda existente na proveta. A EE foi calculada de acordo com a equação 6.

$$EE = \frac{V}{V_0} \times 100 \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:  $V_0$ : volume inicial de espuma (mL);

$V$ : volume de espuma após um tempo determinado (mL).

#### 4.12 Testes preliminares para a elaboração de bolo com isolado protéico do farelo de arroz (IPFA)

As formulações dos bolos basearam-se em Gularte et al. (2011), com adaptações. Inicialmente foram testadas duas formulações, uma com farinha de trigo e uma com farinha de arroz, ambas com 7% de IPFA em substituição às farinhas. As formulações dos bolos elaborados estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Formulações dos bolos elaborados com farinha de trigo e farinha de arroz adicionados de 7% de isolado protéico de farelo de arroz

<b>Ingredientes</b>	<b>BFT (%)</b>	<b>BFA (%)</b>
Farinha de trigo	100,0	-
Farinha de arroz	-	100,0
Leite	64,6	64,6
Ovos	53,8	53,8
Óleo de girassol	32,3	32,3
Açúcar	92,8	92,8
Fermento químico	3,2	3,2
IPFA	7,0	7,0

BFT: bolo com farinha de trigo.

BFA: bolo com farinha de arroz.

IPFA = Isolado protéico de farelo de arroz.

A mistura dos bolos foi realizada em uma única operação, onde todos os ingredientes foram homogeneizados durante 1min na velocidade 4 e 9min na velocidade 6 (batedeira planetária modelo “Stand Mixer”). A massa de bolo (200 g) foi colocada em uma forma metálica retangular (109 × 159 x 50mm), capacidade de 430

ml), e assada em forno elétrico (G.Paniz FTE 150) durante 30 minutos a 150°C. Após o cozimento, os bolos foram retirados das formas metálicas, mantidos a temperatura ambiente por 1h para esfriar e estabilizar. A elaboração dos bolos seguiu o fluxograma da Figura 5.

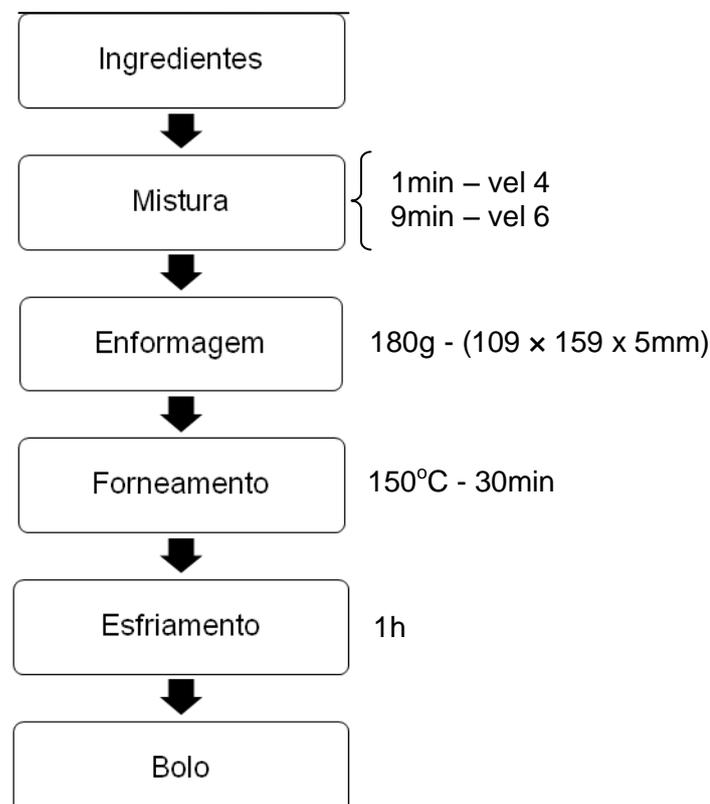


Figura 5. Fluxograma de elaboração dos bolos adicionados de isolado protéico de farelo de arroz (IPFA).

Como o bolo com farinha de arroz apresentou melhores características tecnológicas que o bolo com farinha de trigo, novas formulações foram elaboradas com farinha de arroz e diferentes percentuais de IPFA.

#### 4.13 Elaboração de bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA)

Foi realizada pesquisa bibliográfica para definir a quantidade de IPFA a ser adicionada nos bolos, e decidiu-se que seriam adicionados 3%, 5% e 7% de IPFA como está apresentada na Tabela 5.

A metodologia realizada está descrita no item 4.12. Os bolos utilizados para análise de composição proximal foram embalados em sacos de polietileno. Foram

obtidos sete bolos de cada formulação. Elaborou-se um bolo controle com 100% de farinha de arroz.

Tabela 5. Formulações dos bolos elaborados com farinha de arroz e porcentagens diferentes de isolado protéico

Ingredientes*	Formulações (%)			
	Controle	3%	5%	7%
Farinha de arroz	100,0	97,0	95,0	93,0
Leite	60,1	60,1	60,1	60,1
Ovos	50,0	50,0	50,0	50,0
Óleo de girassol	30,0	30,0	30,0	30,0
Açúcar	90,1	90,1	90,1	90,1
Fermento químico	3,0	3,0	3,0	3,0
IPFA	-	3,0	5,0	7,0

\*Os ingredientes foram calculados com base a farinha.

IPFA = Isolado protéico de farelo de arroz

#### 4.14 Medida do pH das massas dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA)

A medida do pH das massas foi determinada, utilizando potenciômetro Marconi PA 200, através da introdução do eletrodo na massa crua dos bolos.

#### 4.15 Composição proximal dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA)

A umidade foi determinada pelo método gravimétrico em estufa (QUIMIS-D 242) a 105°C; a proteína bruta em micro-Kjeldahl com o uso do digestor (GERHARDT) e destilador (TECNAL 036/1); as cinzas, pelo método gravimétrico em mufla (QUIMIS 318-M24) a 550°C; a gordura, através da extração com solvente em Soxhlet (QUIMIS 308-26B). Todas essas análises foram realizadas conforme método descrito pela AOAC (2000), com n° de 960,39; 992,15; 923,03; e 925,30; respectivamente. A quantidade de carboidratos foi obtida por diferença.

## **4.16 Avaliação da qualidade dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA)**

### **4.16.1 Medida do colapso**

Foi realizada de acordo com Gularte et al. (2011), onde foi determinada a diferença de altura (em cm) com paquímetro, dos bolos logo após terem sido retirados do forno e uma hora depois.

### **4.16.2 Volume específico**

Foi determinado o peso dos bolos, em balança analítica e expresso em gramas. O volume aparente foi determinado pelo método de deslocamento de sementes de painço e o volume específico calculado pela relação entre o volume aparente e peso dos bolos assados, sendo expresso em cm<sup>3</sup>/g (GUTKOSKI et al., 2007).

### **4.16.3 Cor**

A cor dos bolos foi determinada com o colorímetro (Minolta, CR 400, Osaka, Japan). Os bolos foram colocados em uma placa branca definida como padrão e a escala CIE-Lab a luz do dia (D65) foram usadas para medir a cor dos bolos. O L\* indica a luminosidade e a\* e b\* são as coordenadas de cromaticidade, onde L\*, varia de 0 (preto) a 100 (branco), a\*, varia do verde (-) ao vermelho (+) e b\*, varia do azul (-) ao amarelo (+).

A diferença da cor total ( $\Delta E$ ) foi calculada através da equação 8:

$$\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{0,5}$$

Onde:

$\Delta L = L_{\text{padrão}} - L_{\text{amostra}}$ ;  $\Delta a = a_{\text{padrão}} - a_{\text{amostra}}$ ;  $\Delta b = b_{\text{padrão}} - b_{\text{amostra}}$ .

### **4.16.4 Textura**

A determinação da textura do miolo dos bolos foi realizada de acordo com o método nº 74-09, da AACC, sendo realizada em texturômetro TA. XT.plus, utilizando o software Exponent Stable Micro Systems. Fatias de 2,5cm foram selecionadas de forma aleatória e colocadas em uma plataforma, onde foram comprimidas a 40% da sua altura original utilizando um probe cilíndrico de 36mm de diâmetro. As condições

do teste foram: velocidade de pré-teste  $1,0 \text{ mm.s}^{-1}$ , de teste  $1,7 \text{ mm.s}^{-1}$ , pós-teste  $10 \text{ mm.s}^{-1}$ . Foram analisadas a firmeza (g) e a elasticidade (%) dos bolos. Realizaram-se quatro determinações de cada amostra.

#### 4.16.5 Avaliação sensorial

Para a avaliação sensorial dos bolos foi realizado um teste de preferência através de escala de ordenação, segundo Gularte (2009). O teste foi conduzido em cabines individuais iluminadas com lâmpadas fluorescentes, utilizando 50 julgadores não treinados com experiência sensorial, que receberam as amostras simultaneamente. Foram distribuídas 4 amostras: bolo controle, bolo com 3% de IPFA, bolo com 5% de IPFA e bolo com 7% de IPFA. As amostras foram codificadas com algarismos aleatórios de 3 dígitos, servidas ao acaso em pratos de plástico descartável, contendo, aproximadamente, 10g de bolo à temperatura ambiente, sendo que, os julgadores receberam um copo de água em temperatura ambiente e foram instruídos a enxaguar a boca entre as avaliações. Os resultados foram obtidos por meio de ficha de avaliação (Figura 6) sendo calculados pela soma das ordens para cada amostra e avaliados estatisticamente pelo teste de Friedman, utilizando os dados da Tabela de Newell & Mac Farlane. A aceitação foi calculada conforme Gularte (2009), sendo o valor máximo da escala de avaliação considerada como 100%, calcula-se a média dos somatórios de cada amostra e por regra de três simples calcula-se o percentual de aceitação.

Nome .....	Data .....
<p>Você está recebendo amostras de bolo, ordene-as de acordo com a sua preferência.</p>	
_____	_____
Menos preferida	Mais preferida
Comentários: _____	

Figura 6. Modelo de ficha de resposta para o teste de preferência usando escala de ordenação.

#### **4.17 Análise estatística**

Os resultados de cada análise foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Testes preliminares

#### 5.1.1 Rendimento dos isolados obtidos pelo método químico

Na Tabela 6, encontram-se os valores do rendimento, em peso, dos isolados obtidos para os três diferentes farelos de arroz com granulometria de 42 mesh.

Tabela 6. Rendimento percentual, em peso, dos isolados obtidos pelo método químico para os três diferentes farelos de arroz

Farelo	Rendimento dos isolados (%)
A	12,0
B	51,6
C	6,3

O farelo de arroz B apresentou 51,6% de rendimento, o maior valor entre os farelos analisados, acredita-se que as proteínas contidas nos farelos A e C estavam menos disponíveis, dificultando o processo de extração das mesmas pelo método químico. A diferença do valor de rendimento dos isolados obtidos dos diferentes farelos pode ser explicada, também, pela composição química do farelo de arroz, que depende de fatores genéticos, ambientais, do uso de fertilizantes e das técnicas de beneficiamento e moagem utilizadas, assim como das condições de conservação (GARCIA, 2010). O farelo B foi o utilizado para as análises seguintes de obtenção do isolado protéico.

#### 5.1.2 Componentes dos isolados obtidos por diferentes métodos

Na Tabela 7 estão apresentados os valores de umidade, proteína (b. s.), gordura (b. s.) e rendimento protéico dos isolados em relação aos processos químico e enzimático de obtenção de proteínas.

Após escolhido o farelo, realizaram-se novos testes para aumentar o percentual de proteína do isolado, pois no primeiro teste o valor de 31% ainda era baixo. Foram testados, então, o desengorduramento do farelo e o método enzimático.

No método químico, onde foi utilizado farelo com gordura com granulometria de 42 mesh, obteve-se um extrato protéico com 31,0% de proteína e 49,6% de gordura (Tabela 7), ambos valores em base seca (b. s.). Com o desengorduramento do farelo

de arroz com granulometria de 42 mesh, processo B, atingiu-se um valor de 75,2% de proteína (b. s.) e 1,1% de gordura (b. s.), teor inferior a Subagio e Morita (2008) que encontraram 89,8% de proteína em isolado protéico de feijão.

Tabela 7. Valores de umidade, proteína, gordura e rendimento protéico dos isolados em relação aos diferentes processos de obtenção

Processo	Umidade (%)	Proteína (%)*	Gordura (%)*	Rendimento protéico (%)
A	65,5 <sup>a</sup>	31,0 <sup>b</sup>	49,6 <sup>a</sup>	-
B	66,3 <sup>a</sup>	75,2 <sup>a</sup>	1,1 <sup>b</sup>	35,6 <sup>a</sup>
C	60,6 <sup>b</sup>	76,6 <sup>a</sup>	0,3 <sup>c</sup>	15,2 <sup>b</sup>
D	59,2 <sup>c</sup>	76,6 <sup>a</sup>	**	-

A: isolado obtido pelo método químico com farelo de arroz com granulometria de 42 mesh.

B: isolado obtido pelo método químico com farelo de arroz com granulometria de 42 mesh desengordurado.

C: isolado obtido pelo método enzimático com farelo de arroz com granulometria de 100 mesh desengordurado.

D: controle, sem enzimas.

\*Valores em base seca

\*\*Valor não determinado

\*\*\*Letras distintas nas colunas diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Em relação ao método enzimático (Tabela 7), onde se utilizou farelo com granulometria de 100 mesh, obteve-se um isolado com 76,6% de proteína (b. s.) e 0,34% de gordura (b. s.), valor de proteína encontrado inferior ao valor verificado por Wang et al. (1999) que foi de 92% (b. s.) de proteína. Como o controle, sem enzimas, não mostrou diferença significativa com o processo C, verificou-se que as enzimas não foram efetivas neste processo.

Para o rendimento protéico (Tabela 7) dos isolados obtidos pelo método químico e pelo método enzimático, o isolado obtido pelo método químico diferiu estatisticamente do isolado obtido pelo método enzimático, sendo o percentual de rendimento do isolado obtido pelo método químico (35,6%) muito maior que o percentual de rendimento do método enzimático (15,2%).

Com esses resultados, decidiu-se então utilizar o método químico para a extração das proteínas, pois foi o método em que se obteve o maior percentual de proteína e rendimento protéico.

## 5.2 Rendimento do farelo de arroz B

A porção retida na peneira correspondeu a grãos inteiros, quebrados e cascas de arroz. O rendimento obtido após peneiramento na peneira de 42 mesh, foi

de 67% da matéria inicial, o que acarreta em grandes perdas do produto, se o mesmo for utilizado para consumo humano, indicando a necessidade de rever o processo de separação do mesmo durante o processamento de arroz pela indústria.

### 5.3 Composição proximal do farelo B

Na Tabela 8 apresenta-se os valores da composição proximal do farelo de arroz B integral, peneirado na peneira de 42 mesh e peneirado e desgordurado com granulometria de 42 mesh.

Tabela 8. Composição proximal (%) do farelo de arroz integral, peneirado e peneirado e desgordurado com granulometria de 42 mesh

Componentes	Farelo		
	Integral	Peneirado	Peneirado e Desgordurado
Umidade	10,1 <sup>c</sup> ± 0,08	10,5 <sup>b</sup> ± 0,05	13,2 <sup>a</sup> ± 0,02
Proteína	12,8 <sup>b</sup> ± 0,25	12,8 <sup>b</sup> ± 0,12	15,6 <sup>a</sup> ± 0,16
Lipídeos	16,6 <sup>b</sup> ± 0,10	17,7 <sup>a</sup> ± 0,53	0,7 <sup>c</sup> ± 0,03
Cinzas	10,5 <sup>c</sup> ± 0,0	12,3 <sup>b</sup> ± 0,10	14,4 <sup>a</sup> ± 0,08
Fibras	10,4 <sup>a</sup> ± 0,20	8,4 <sup>b</sup> ± 0,0	10,8 <sup>a</sup> ± 1,90
Carboidratos**	39,6	38,3	45,3

\*Letras distintas nas linhas indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

\*\*Obtidos por diferença.

Observando a Tabela 8 verifica-se que o peneiramento diminuiu a quantidade de carboidratos, comparando o farelo peneirado com o integral, que era uma dos objetivos desta operação. Com o desgorduramento houve o aumento das proteínas de 12,8 para 15,6% e a drástica redução dos lipídeos de 17,7 para 0,7%.

Os valores de proteína, cinzas e carboidratos (Tabela 8) estão acima dos valores encontrados por Lacerda et al. (2010) e Feddern et al. (2007) em relação ao farelo integral. Já em relação ao valor dos lipídeos, os mesmos autores encontraram valores maiores para o farelo de arroz integral. Gnanasambandam e Heitiarachy (1995) relataram valores maiores para lipídeos (2,6 e 2,7%), e valores próximos para proteínas (15,3 e 17,7%) em relação aos farelos de arroz não-estabilizado e estabilizado, respectivamente.

#### 5.4 Ponto isoelétrico do farelo de arroz B desengordurado

A Figura 7 ilustra a curva de solubilidade do farelo de arroz desengordurado com granulometria de 42 mesh.

Podemos observar que a solubilidade é alta nos valores de pH ácido e alcalino e que a partir do pH 4,7 foi aumentando a medida que o valor de pH atingia a faixa alcalina. O maior percentual de solubilidade foi encontrado no pH 11,0. O ponto em que ocorreu a menor solubilidade foi no pH 4,7. Ao realizar a análise de solubilidade, a mesma permaneceu em valores menores nos pHs em torno 4,0 e 5,0, então foi necessário realizar a análise com os pHs intermediários para saber qual o pH em que ocorre a menor solubilidade, visto que esse é o pH onde irá ocorrer a precipitação da proteína, muito importante no processo de isolamento. Para Gnanasambandam e Heitiarachchy (1995) o pH de precipitação foi de 4,5 para o concentrado protéico de farelo de arroz, estando o valor próximo ao encontrado neste estudo.

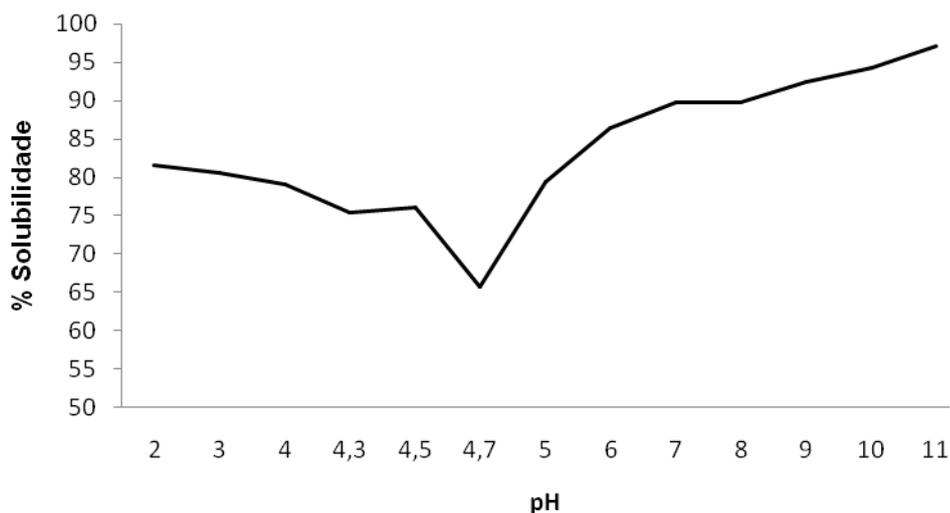


Figura 7. Curva de solubilidade para o farelo de arroz desengordurado com granulometria de 42 mesh em diferentes valores de pH.

Com a determinação da curva de solubilidade, observou-se que o pH de precipitação foi alterado de 4,5 para 4,7, então o farelo foi submetido novamente ao método químico, com e sem as lavagens para verificar o percentual de proteína recuperada.

### 5.5 Influência das lavagens dos resíduos da etapa de centrifugação e da granulometria do farelo no teor e rendimento protéico dos isolados

Na Tabela 9, apresenta-se os valores proteína (b. s.) e rendimento protéico dos isolados obtidos com ou sem lavagens dos resíduos da etapa de centrifugação e diferentes granulometrias. Comparou-se, para fins estatísticos, os processos A e B (lavagens) e os processos B e C (granulometria), separadamente.

Tabela 9. Valores de proteína e rendimento protéico dos isolados obtidos com ou sem lavagens e diferentes granulometrias

<b>Processo</b>	<b>Proteína (%)***</b>	<b>Rendimento protéico (%)</b>
A	75,6 <sup>A</sup> ± 2,08	37,8 <sup>A</sup> ± 1,05
B	78,3 <sup>Aa</sup> ± 1,58	35,6 <sup>Ba</sup> ± 0,74
C	76,7 <sup>a</sup> ± 0,77	34,3 <sup>b</sup> ± 0,38

A: isolado obtido com farelo com granulometria de 42 mesh e precipitação em pH 4,7, com lavagens.

B: isolado obtido com farelo com granulometria de 42 mesh e precipitação em pH 4,7, sem lavagens.

C: isolado obtido farelo com granulometria de 100 mesh e precipitação em pH 4,7, sem lavagens.

\*Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey entre os parâmetros analisados nas colunas (A e B).

\*\*Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey entre os parâmetros analisados nas colunas (B e C).

\*\*\*Valor em base seca.

Relacionando o processo A com o B, pode-se observar que, apesar do teor de proteína não ter apresentado diferença significativa, o rendimento protéico foi maior para o processo com as lavagens, mas como essas lavagens aumentavam em uma hora o processo, decidiu-se que esta etapa não seria mais realizada. Testou-se, então, diminuir a granulometria do farelo para aumentar o percentual de extração (processos B e C). Ao triturar o farelo, trituraram-se, também, as fibras e cinzas fazendo com que as proteínas não apresentassem diferença significativa e o rendimento protéico fosse menor para o processo que utilizou o farelo com menor granulometria.

Os valores de rendimento protéico estão acima dos encontrados por Gnanasambandam e Heitiarachchy (1995). Os autores verificaram um rendimento protéico de 11,6% e 10,5% para farelos de arroz não estabilizado e estabilizado respectivamente, ambos com granulometria menor do que 100 mesh.

## 5.6 Caracterização do isolado protéico do farelo de arroz (IPFA)

### 5.6.1 Composição proximal do IPFA

Na Tabela 10 apresenta-se a composição proximal do isolado protéico de farelo de arroz (IPFA) com granulometria de 42 mesh, seco à 40°C.

Tabela 10. Composição proximal (b. u.) do isolado protéico de farelo de arroz (IPFA) com granulometria de 42 mesh, seco à 40°C

Componentes	Isolado protéico (%)
Umidade	8,2 ± 0,07
Proteína	64,7 ± 0,55
Lipídeos	2,6 ± 0,22
Cinzas	1,9 ± 0,04
Carboidratos*	22,6

\*Obtidos por diferença.

(b. u.): base úmida

O IPFA apresentou um teor de umidade de 8,2%, valor dentro do estabelecido pela Anvisa (1996), que determina um percentual máximo de 15% de umidade em farinhas. Em relação ao teor protéico, o IPFA apresentou 64,7% de proteína, valor maior que os encontrados por Chandi e Sogi (2007) que relataram teores de proteína de 54,1%, 58,9% e 52,5% para diferentes concentrados provenientes de três tipos de farelos de arroz. Em relação aos lipídeos e cinzas do IPFA, Hassan et al. (2010) encontraram 1,25% e 4,73%, valor menor, para os lipídeos e maior para as cinzas, respectivamente, em isolado protéico de farinha de trigo desengordurada.

### 5.6.2 Eletroforese (SDS – PAGE) das proteínas do IPFA

O perfil eletroforético do isolado protéico do farelo de arroz (IPFA) está apresentado na Figura 8.

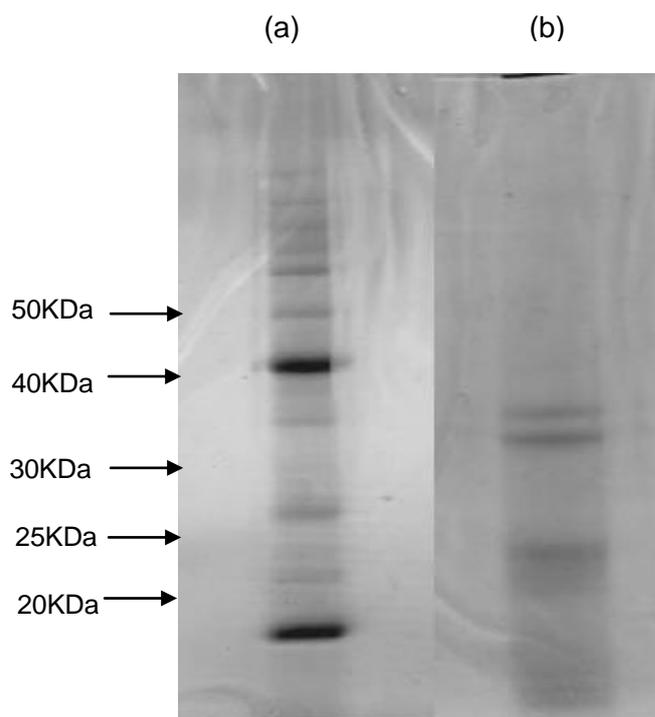


Figura 8. Perfil eletroforético dos marcadores padrão de peso molecular (a) e do isolado protéico de farelo de arroz (IPFA) (b) obtidos por SDS-PAGE.

A eletroforese mostrou que as proteínas do isolado possuem 3 componentes de proteínas. Os pesos moleculares dos 3 componentes ficaram entre 20 e 50KDa. Os maiores tamanhos moleculares ficaram entre 30 e 50KDa. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Tang et al. (2003), que trabalharam com hidrolisados enzimáticos do farelo de arroz desengordurado e estabilizado pelo calor. Fabian et al. (2010), também, encontraram bandas de proteínas de 29-45KDa que foram atribuídas à albumina, enquanto as outras bandas foram atribuídas à presença de globulina. Agboola et al. (2005) verificaram que, existem proteínas de todos os grupos e com diferentes tamanhos, em seus resultados de eletroforese das frações das proteínas do arroz.

Conforme Wang et al. (1999) as proteínas do farelo de arroz contém 37% de albumina, 36% de globulinas, 22% de glutelinas e 5% de prolaminas.

### 5.6.3 Aminograma das proteínas do IPFA

A composição de aminoácidos do isolado protéico do farelo de arroz (IPFA) está apresentada na Tabela 11.

Tabela 11. Composição de aminoácidos do isolado protéico de farelo de arroz (IPFA), hidrolisado protéico de farelo de arroz liofilizado (HPFAL) e extrato enzimático do farelo de arroz (EEFA)

Aminoácidos*	IPFA	HPFAL	EEFA
Ácido aspártico	8,33 ± 0,00	11,2	6,48
Ácido glutâmico	14,91 ± 0,37	18,1	9,57
Serina	4,41 ± 0,03	4,5	6,28
Glicina	6,76 ± 0,21	6,2	7,25
<b>Histidina</b>	4,54 ± 0,04	3,3	5,42
Arginina	6,65 ± 0,13	10,2	12,77
<b>Treonina</b>	3,81 ± 0,09	3,7	6,29
Alanina	6,52 ± 0,10	7,3	5,48
Prolina	5,19 ± 0,17	Nd	4,92
Tirosina	4,09 ± 0,13	3,7	2,25
<b>Valina</b>	6,98 ± 0,12	7,0	6,48
<b>Metionina</b>	2,83 ± 0,07	Nd	3,74
Cisteína	0,47 ± 0,01	Nd	2,40
<b>Isoleucina</b>	4,43 ± 0,03	4,5	4,92
<b>Leucina</b>	8,40 ± 0,39	8,0	6,62
<b>Fenilalanina</b>	5,10 ± 0,33	5,1	5,62
<b>Lisina</b>	6,59 ± 0,25	5,4	3,46

IPFA: isolado protéico do farelo de arroz.

HPFAL: hidrolisado protéico de farelo de arroz liofilizado (TANG et al. 2003).

EEFA: extrato enzimático do farelo de arroz (PARRADO et al. 2006).

\*Valores expressos em gramas de aminoácido por 100 gramas de proteína.

Os aminoácidos essenciais estão destacados em negrito.

nd: não determinado.

O IPFA apresentou alto conteúdo em lisina, um aminoácido limitante em proteínas de cereais, maior que o encontrado no hidrolisado protéico de farelo de arroz liofilizado elaborado por Tang et al. (2003) e no extrato enzimático de farelo de arroz elaborado por Parrado et al. (2006). Os valores encontrados no IPFA, para os aminoácidos essenciais, concordam com os mesmos autores. O IPFA apresentou, também, maiores conteúdos de ácido glutâmico, ácido aspártico, glicina, arginina, alanina, valina e leucina em relação aos outros aminoácidos.

Os bebês têm necessidades nutricionais diferenciadas devido ao rápido crescimento e sistema gastrointestinal imaturo (Wang et al. 1999). Na Tabela 12

encontram-se os valores de aminoácidos do IPFA e o conteúdo de aminoácidos necessários para bebês e crianças com idade entre 2 a 5 anos. Pode-se observar que o IPFA atende as necessidades dos bebês e das crianças na maioria dos aminoácidos. Não atende apenas no conteúdo de leucina e treonina para bebês, e treonina para crianças de 2 a 5 anos, tornando o IPFA um possível ingrediente em produtos para bebês e crianças, já que suas proteínas são hipoalergênicas (JAYADEEP et al., 2009; KAEWKA et al., 2009; REVILLA et al., 2009; SEREEWATTHANAWUT et al., 2008).

Tabela 12. Aminoácidos do isolado protéico de farelo de arroz (IPFA), conteúdo de aminoácidos necessários para bebês e crianças de 2 a 5 anos

Aminoácido*	IPFA	Bebês	Crianças de 2 a 5 anos
Histidina	4,54 ± 0,04	2,6	1,9
Isoleucina	4,43 ± 0,03	4,6	2,8
Leucina	8,40 ± 0,39	9,3	6,6
Lisina	6,59 ± 0,25	6,6	5,8
Treonina	3,81 ± 0,09	4,3	4,3
Triptofano	na	1,7	1,1
Valina	6,98 ± 0,12	5,5	3,5

\*Valores expressos em gramas de aminoácido por 100 gramas de proteína.

na: não analisado.

#### 5.6.4 Calorimetria diferencial de varredura (DSC) das proteínas do isolado

Na Figura 9 pode ser visualizada a curva obtida pela análise de DSC das proteínas do isolado.

Observando a Figura 9 verifica-se que a temperatura de desnaturação do IPFA foi 111,2°C e a partir dos dados obteve-se um valor de entalpia de 0,4J/g. Wang et al. (1999) encontraram os valores de 83,4°C para a temperatura de desnaturação e 0,96J/g para a entalpia em isolado protéico de farelo de arroz obtido pelo método enzimático. Tang et al. (2003) encontraram os valores de 84,1°C e 84,6°C para proteínas do farelo de arroz liofilizadas e secas com *spray-dryer*. Os valores obtidos pelo IPFA, por Wang et al. (1999) e por Tang et al. (2003) indicaram que a desnaturação das proteínas depende do grau e das condições de extração. Os tratamentos físicos aplicados em extrações alcalinas podem desnaturar as proteínas até certo ponto (PARAMAN et al., 2006), fazendo com que a temperatura de

desnaturação fosse maior para o IPFA em relação a temperatura de desnaturação encontrada pelos autores. A temperatura de desnaturação apresentada por Wang et al. (1999), foi comparável à maioria das proteínas de cereais e leguminosas e a pequena mudança de entalpia mostra a falta de uma estrutura ordenada do isolado ou a presença de um isolado muito termoestável.

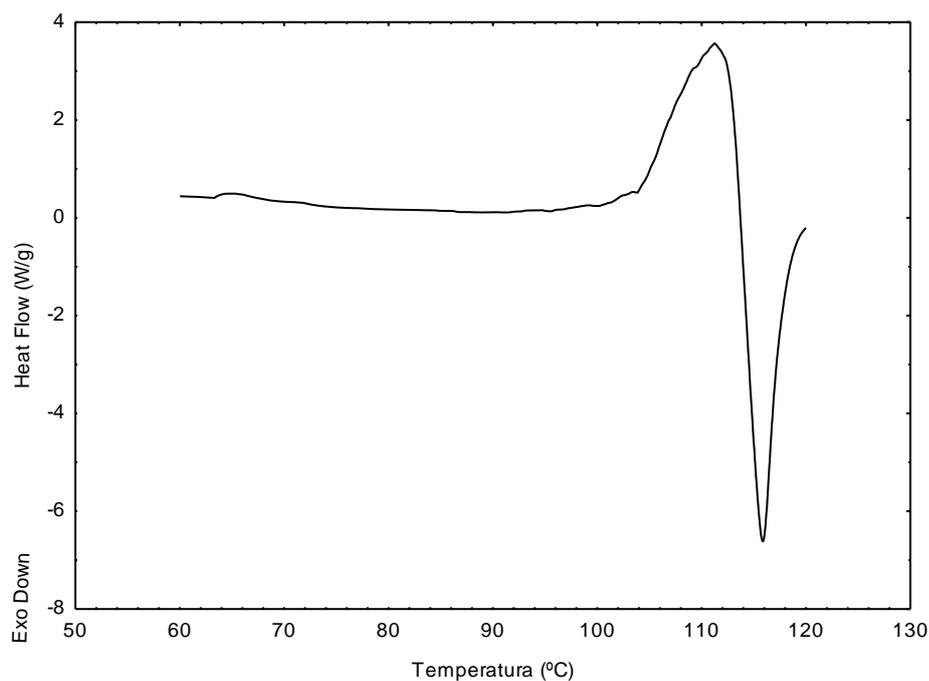


Figura 9. Calorimetria diferencial de varredura (DSC) do isolado protéico do farelo de arroz (IPFA).

Com relação à entalpia ( $\Delta H$ ), o IPFA e o isolado obtido por Wang et al. (1999) apresentaram valores próximos à zero, indicando que as proteínas estavam praticamente desnaturadas, pois a  $\Delta H$  diminui quando a proteína está parcialmente desnaturada e é zero quando a proteína está completamente desnaturada. As mudanças de entalpia podem ser usadas para prever a extensão da desnaturação protéica (Biliaderis, 1983). Paraman et al. (2006) encontraram 1,79J/g para proteínas do arroz extraídas por método químico. Neste estudo o IPFA pode ter sido mais desnaturado que o avaliado por Paraman et al. (2006), indicando que, ao adicionar o isolado em um produto, o mesmo não sofrerá tantas alterações, visto que a proteína está praticamente desnaturada.

## 5.7 Propriedades funcionais do isolado protéico de farelo de arroz (IPFA)

### 5.7.1 Curva de solubilidade das proteínas

Na Figura 10 apresenta-se a curva de solubilidade do isolado protéico do farelo de arroz em diferentes valores de pHs.

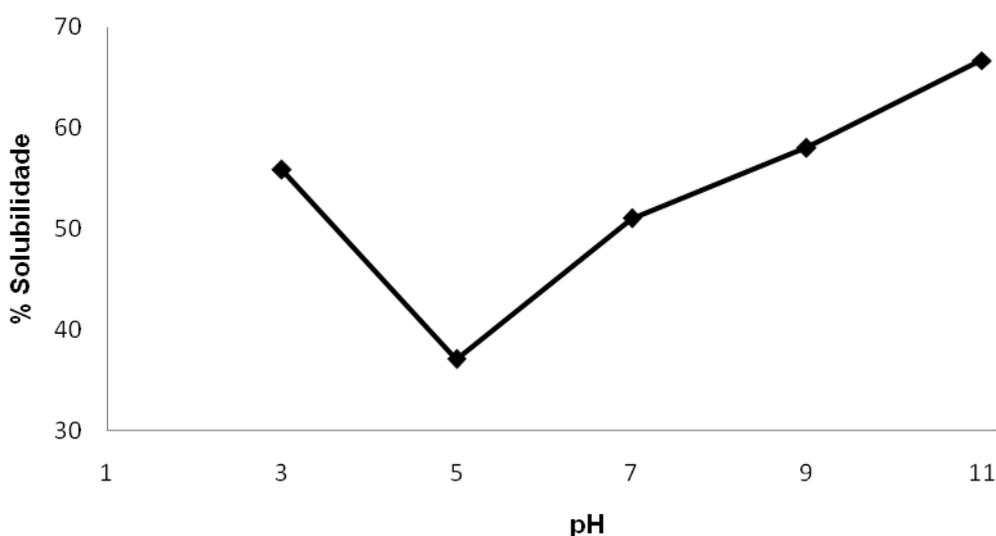


Figura 10. Curva de solubilidade do isolado protéico do farelo de arroz desengordurado em diferentes valores de pH.

De acordo com a Figura 10, pode-se observar que o percentual de solubilidade iniciou alto no pH 3, entretanto diminuiu no pH 5, mostrando seu menor valor nesse pH, e a partir do pH 5, foi aumentando mostrando maior valor em pH 11. Normalmente, na faixa de pH ácido, a solubilidade diminui à medida que o pH aumenta, até atingir o ponto isoelétrico. A perda de forças de repulsão eletrostáticas oferecem condições benéficas para a formação de agregados de proteínas com grande diâmetro e alta densidade e, em seguida, a solubilidade aumenta com o aumento de pH. Forças eletrostáticas de repulsão entre as proteínas carregadas positivamente ajudam a mantê-las separadas e aumentam as interações entre a proteína e o solvente (DENG et al. 2011).

Bera e Mukherjee (1989) também encontraram o menor valor de solubilidade entre os pHs 4 e 6. No valor de pH 5, o percentual de solubilidade do isolado foi de 37,1%, enquanto para os mesmos autores o percentual ficou entre 5 e 20% quando os autores utilizaram água destilada e soluções de 0,1N e 1N de NaCl. Entre os pHs 9 e 11 foram obtidos os maiores percentuais de solubilidade tanto para o isolado quanto para o concentrado analisado por Bera e Mukherjee (1989). Agboola et al. (2005)

também encontraram percentuais menores de solubilidade entre pHs ácidos para glutelinas do arroz extraídas por pré-tratamentos enzimáticos e não enzimáticos. Em pHs baixos, até 6, os extratos tiveram baixa solubilidade, aumentando acentuadamente em pH 7 até pH 9.

### 5.7.2 Capacidade de retenção de água (CRA)

Na figura 11, está apresentada a curva da capacidade de retenção de água do isolado protéico do farelo de arroz em diferentes valores de pH.

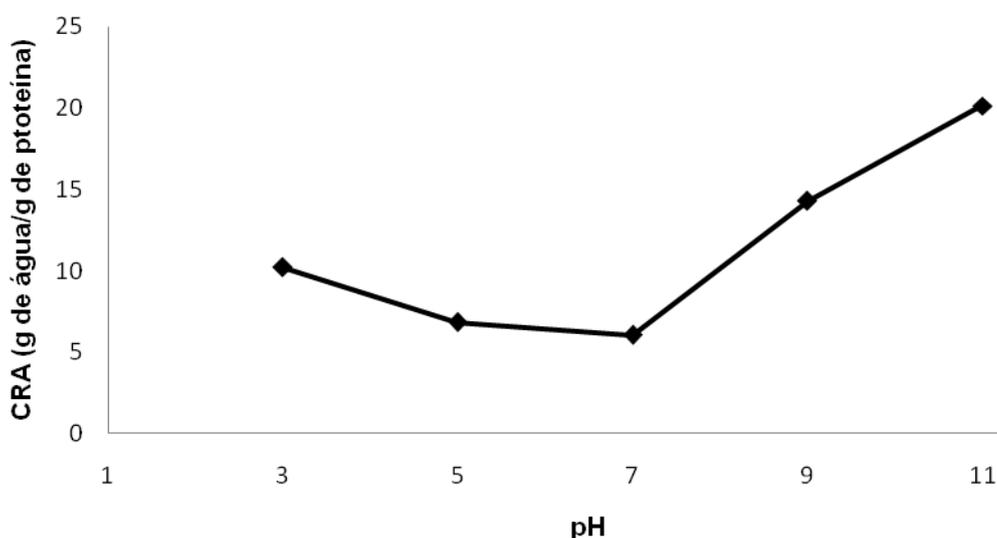


Figura 11. Curva da capacidade de retenção (CRA) de água do isolado protéico do farelo de arroz em diferentes pHs.

Os menores valores para CRA ficaram nos pHs 5 e 7 que foram de 6,8 e 6,0g de água/g de proteína, respectivamente. Nos valores de pH alcalino a CRA foi maior que nos valores de pH ácido. Amza et al. (2011) avaliaram a CRA em água e encontraram 0,94 e 0,84g de água/g de proteína em isolados protéicos de semente de ameixa liofilizado e seco, apesar de ser uma matéria-prima diferente do farelo de arroz, estes valores foram menores que os apresentados pelo IPFA. Chandi e Sogi (2007) também, avaliaram a CRA em água, e obtiveram valores de 3,87; 5,6 e 4,04g de água/g de proteína para diferentes concentrados protéicos de farelos obtidos de três variedades de arroz, os valores encontrados estão próximos aos valores encontrados neste estudo.

A alta absorção de água pelas proteínas ajuda a reduzir a perda de umidade em produtos de panificação embalados. Também é necessária para manter o frescor e sensação de boca úmida em alimentos cozidos. Valores de absorção de água variando entre 1,49 a 4,72 (g/g) são considerados críticos em alimentos viscosos como sopas e molhos (ALETOR et al., 2002).

### 5.7.3 Capacidade de retenção de óleo (CRO), capacidade emulsificante (CE) e formação de espuma (FE)

Na tabela 13 apresenta-se os valores de capacidade de retenção de óleo (CRO), capacidade emulsificante e formação de espuma do isolado protéico do farelo de arroz (IPFA).

Tabela 13. Capacidade de retenção de óleo (CRO), capacidade emulsificante e formação de espuma do isolado protéico do farelo de arroz

<b>Propriedades funcionais</b>	<b>Valores</b>
CRO (mL óleo/g prot.)	3,0 ± 0,0
Capacidade emulsificante (mL óleo emulsificado/g prot.)	26,6 ± 0,28
Formação de espuma (%)	62,0 ± 2,83

O IPFA apresentou uma CRO de 3mL de óleo/g de proteína, valor semelhante ao relatado por Chandi e Sogi (2007), que encontraram 3,74g óleo/g proteína em concentrado protéico de farelo de arroz.

A capacidade emulsificante do IPFA foi de 26,6mL óleo emulsificado/g proteína. Liu et al. (2011) relataram que ao avaliar a capacidade emulsificante do concentrado protéico do farelo de arroz em óleo de amendoim refinado, o mesmo apresentou 28% de emulsificação em solução de 0,5% de sal no pH 7, valor menor que o do IPFA que apresentou 86,7% de emulsificação.

O percentual de formação de espuma para o IPFA foi elevado. Fabian et al. (2010) encontraram valores menores que o apresentado pelo IPFA para a formação de espuma de extratos protéicos de farelo de arroz. Chandi e Sogi (2007) avaliaram a formação de espuma de concentrado protéico de farelo de arroz em pHs entre 5 e 9 e diferentes concentrações de sal e açúcar e os valores variaram entre 0,2 e 12,3%, valores também, menores que o do IPFA obtido neste estudo.

### 5.7.4 Estabilidade da espuma

Na figura 12, visualiza-se a estabilidade da espuma do isolado protéico do farelo de arroz (IPFA) durante 60 minutos.

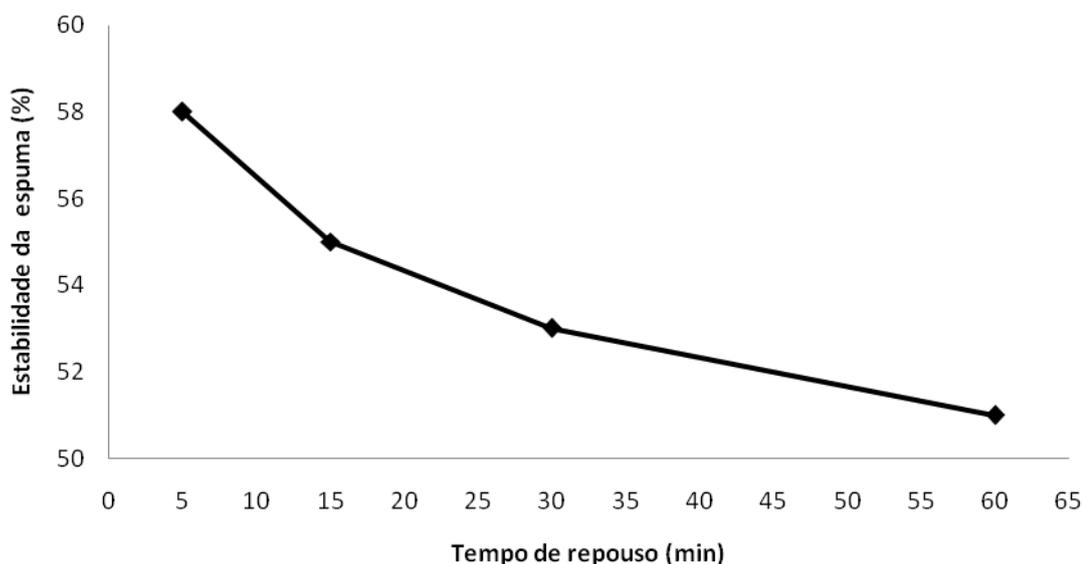


Figura 12. Estabilidade da espuma do isolado protéico do farelo de arroz (IPFA) durante 60 minutos.

A estabilidade da espuma decaiu com o tempo, dos 5 aos 60 minutos. A formação de espuma é alta logo após o batimento, contudo, a espuma que é formada por um filme protéico, não apresenta resistência ao longo do tempo, diminuindo sua estabilidade. Agboola et al. (2005) verificaram que a estabilidade da espuma, em pH 9, diminuiu com o passar do tempo para as glutelinas do arroz extraídas por processos de pré-tratamento enzimático.

### 5.8 Testes preliminares para a elaboração de bolo com isolado protéico do farelo de arroz (IPFA)

Na figura 13 apresenta-se os bolos elaborados com farinha de arroz (a) e farinha de trigo (b) adicionados de 7% de IPFA.



Figura 13. Bolos elaborados com farinha de arroz (a) e farinha de trigo (b) adicionados de 7% de IPFA.

Comparou-se os bolos elaborados com farinha de trigo e com farinha de arroz mediante uma avaliação da aparência e do sabor, apresentando o bolo com farinha de arroz, as melhores características tecnológicas, alvéolos mais uniformes, cor mais clara, maior volume e sabor mais adocicado. Acredita-se que o bolo elaborado com farinha de arroz e IPFA apresentou melhores características porque as proteínas adicionadas presentes no IPFA são do mesmo cereal. Por esses motivos foi decidido que as formulações dos bolos adicionados de IPFA seriam elaboradas com farinha de arroz e denominados “bolos sem glúten”.

## **5.9 Bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA)**

### **5.9.1 Avaliação da qualidade dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA)**

Na tabela 14, apresenta-se as medidas de pH das massas, colapso e volume específico dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA).

Analisando os dados da tabela 14, pode-se observar que o pH manteve-se perto da neutralidade em todas as massas dos bolos controle e adicionados de IPFA. Gómez et al. (2012), Gómez et al. (2011) e Gularte et al. (2011) também encontraram valores neutros de pHs para diferentes tipos de bolos elaborados com farinha de arroz e farinha de trigo. O pH afeta a estrutura alveolar e o gosto dos bolos. Assim, o pH pode ser analisado como uma das medidas objetivas para o controle de qualidade dos bolos. Um bolo com um valor de pH excessivamente baixo irá apresentar um gosto amargo. Um nível de pH muito alto implicará em um bolo com sabor de sabão (BAIK et al., 2000).

Tabela 14. Medidas de pH das massas, colapso e volume específico dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA)

<b>Bolos</b>	<b>pH</b>	<b>Colapso (cm)</b>	<b>Volume específico (cm<sup>3</sup>.g<sup>-1</sup>)</b>
Controle	7,7	0,21 <sup>ab</sup> ± 0,06	1,97 <sup>b</sup> ± 0,03
B3%	7,0	0,28 <sup>a</sup> ± 0,03	1,90 <sup>b</sup> ± 0,04
B5%	7,4	0,19 <sup>b</sup> ± 0,05	2,07 <sup>a</sup> ± 0,03
B7%	7,6	0,19 <sup>b</sup> ± 0,04	2,13 <sup>a</sup> ± 0,06

Controle: apenas com farinha de arroz.

B3%: bolo adicionado de 3% de IPFA.

B5%: bolo adicionado de 5% de IPFA.

B7%: bolo adicionado de 7% de IPFA.

\*Letras distintas nas colunas indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

Os parâmetros de qualidade importante em bolos são: cor, teor de umidade, textura, densidade e pH. Esses parâmetros são controlados pela transferência de calor e massa. Eles variam não só devido à estrutura do forno como a umidade e velocidade do ar durante o cozimento (BAIK et al., 2000). A qualidade do bolo, também, está relacionada à viscosidade e estabilidade da massa para a obtenção de um bolo com uma estrutura que não entre em colapso (OLIETE et al., 2010).

Para os valores de colapso dos bolos, Tabela 14, os bolos com 5% e 7% de IPFA apresentaram menores valores e diferentes estatisticamente do bolo com 3% de IPFA, mas o bolo controle apresentou valores iguais estatisticamente a todos os bolos adicionados de IPFA.

Verifica-se, também, que os maiores percentuais de adição do IPFA nos bolos sem glúten, levaram à volumes maiores estatisticamente, isso pode ser explicado pelo elevado percentual de formação de espuma do IPFA. O volume do bolo é em parte uma consequência do ar incorporado na massa que durante o forneamento dos bolos, há a gelatinização do amido, desnaturação das proteínas e expansão das bolhas de ar. A estrutura do bolo depende da harmonização desses processos (YANG e FOEGEDING, 2010).

A tabela 15 apresenta os parâmetros de cor do miolo dos bolos sem glúten adicionados de IPFA.

Tabela 15. Cor do miolo dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA)

Bolos	Parâmetros de cor			
	L*	a*	b*	$\Delta E^*$
Controle	76,6 <sup>a</sup> ± 0,90	-2,2 <sup>c</sup> ± 0,06	18,8 <sup>b</sup> ± 0,36	33,1 <sup>a</sup> ± 0,36
B3%	68,9 <sup>b</sup> ± 0,90	1,1 <sup>b</sup> ± 0,30	20,1 <sup>a</sup> ± 0,20	27,4 <sup>b</sup> ± 0,28
B5%	66,8 <sup>c</sup> ± 0,98	1,3 <sup>b</sup> ± 0,27	20,0 <sup>a</sup> ± 0,43	26,5 <sup>c</sup> ± 0,12
B7%	63,5 <sup>d</sup> ± 0,92	2,4 <sup>a</sup> ± 0,09	20,2 <sup>a</sup> ± 0,36	24,3 <sup>d</sup> ± 0,09

Controle: apenas com farinha de arroz.

B3%: bolo adicionado de 3% de IPFA.

B5%: bolo adicionado de 5% de IPFA.

B7%: bolo adicionado de 7% de IPFA.

\*Letras distintas nas colunas indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

\*\*Média de 8 determinações.

Em relação à luminosidade, todos os bolos diferiram estatisticamente. O maior valor, que corresponde ao mais branco, é apresentado pelo bolo controle, apenas com farinha de arroz. Valores mais altos de luminosidade do miolo indicam maior reflectância da luz, traduzindo-se em bolos com coloração mais clara (GUTKOSKI et al., 2009). O IPFA é um produto escuro (Figura 14) e devido à isso, os bolos foram ficando mais escuros, diferindo estatisticamente e proporcionalmente a adição de IPFA.



Figura 14. Isolado protéico do farelo de arroz (IPFA).

Para os valores de  $a^*$ , (Tabela 15), os mesmos foram aumentando significativamente em relação à adição de IPFA, ou seja, os valores vão se aproximando da cor vermelha, resultado da reação de Maillard, em que os pigmentos resultantes são marrom-avermelhados. A reação de Maillard envolve a reação de açúcares redutores e proteínas ou aminoácidos formando pigmentos escuros, as melanoidinas (WANG et al., 2011). Portanto, a adição de IPFA aumentaria a concentração desses reagentes, resultando em mais melanoidinas, e a cor vermelha acastanhada mais intensa. Para os valores de  $b^*$ , o percentual de adição dos isolados não influenciou estatisticamente. Na variação de cor, avaliado pelo parâmetro  $\Delta E^*$ , todos os bolos sem glúten diferiram estatisticamente, mostrando que quanto maior a adição do isolado menor a variação de cor do miolo dos bolos.

#### 5.10 Composição proximal dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA)

Na Tabela 16 encontra-se a composição proximal dos bolos sem glúten adicionados de IPFA.

Tabela 16. Composição proximal (b. u.) dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA)

Componentes	Bolos			
	Controle	B3%	B5%	B7%
Umidade	20,7 <sup>b</sup> ± 0,09	22,1 <sup>a</sup> ± 0,15	22,2 <sup>a</sup> ± 0,28	19,5 <sup>c</sup> ± 0,11
Proteína	5,4 <sup>d</sup> ± 0,10	6,3 <sup>c</sup> ± 0,24	6,7 <sup>b</sup> ± 0,17	7,4 <sup>a</sup> ± 0,15
Lipídeos	11,9 <sup>a</sup> ± 0,10	11,9 <sup>a</sup> ± 0,07	11,9 <sup>a</sup> ± 0,04	12,3 <sup>a</sup> ± 0,29
Cinzas	1,0 <sup>a</sup> ± 0,05	1,0 <sup>a</sup> ± 0,05	1,1 <sup>a</sup> ± 0,01	1,1 <sup>a</sup> ± 0,01
Carboidratos*	61,0	58,3	57,5	59,8

Controle: apenas com farinha de arroz.

B3%: bolo adicionado de 3% de IPFA.

B5%: bolo adicionado de 5% de IPFA.

B7%: bolo adicionado de 7% de IPFA.

\*Obtidos por diferença.

\*\*Letras distintas nas linhas indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

(b. u.): base úmida.

Em relação ao teor de umidade, os bolos diferiram estatisticamente, mas os valores encontrados estão mais baixos do que os de Ashwini et al. (2009). Eles encontraram valores de 30 a 33% de umidade em bolos elaborados com hidrocolóides. A inclusão do IPFA nos bolos foi realizada com o intuito de aumentar o

seu teor protéico, o que foi comprovado pela análise de proteína bruta, onde a adição do IPFA aumentou proporcionalmente o teor protéico dos bolos, já os lipídeos e as cinzas não apresentaram diferenças significativas.

## 5.11 Avaliação da qualidade dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico do farelo de arroz (IPFA)

### 5.11.1 Estrutura alveolar dos bolos

Na Figura 15, visualiza-se as secções transversais dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico de farelo de arroz (IPFA).

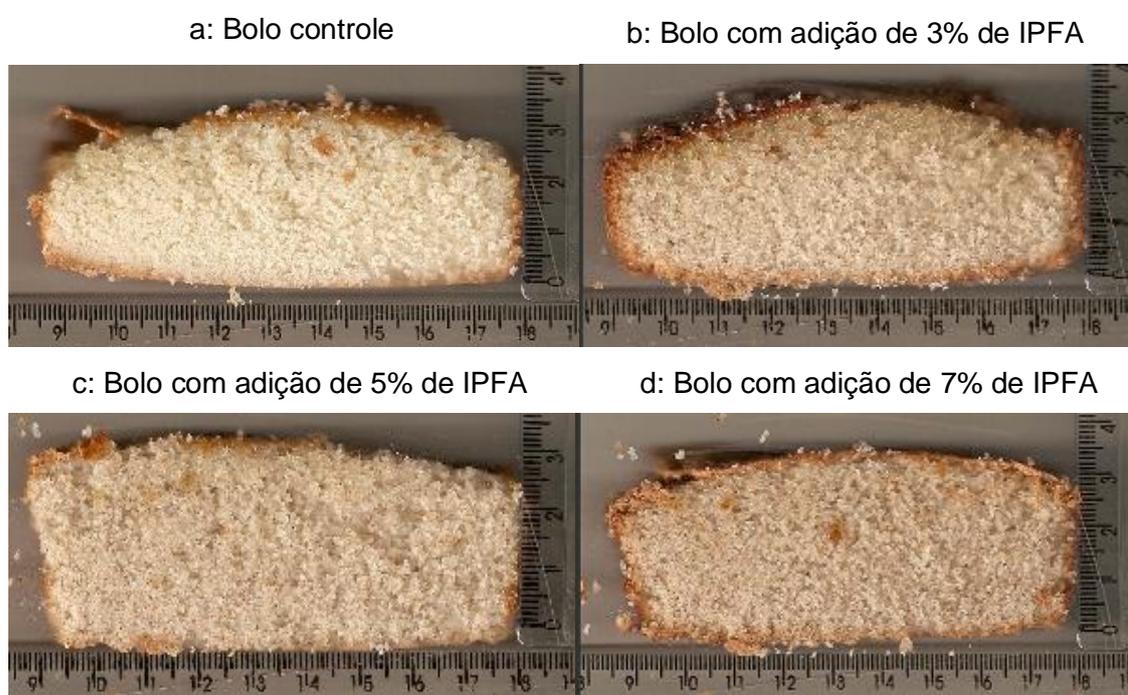


Figura 15. Secções transversais dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico de farelo de arroz (IPFA).

De acordo com a Figura 15 e a Tabela 16, à medida que aumenta o teor protéico melhora a estrutura alveolar dos bolos, a distribuição de células de gás, aumentam os glóbulos de ar fazendo com que os bolos tenham mais volume. No processo de batimento da massa, apesar da forte agitação e velocidade das pás, os ingredientes não são solubilizados completamente. Ocorre liberação de gás carbônico antes e durante o forneamento. Durante o forneamento ocorre, também, a volatilização do vapor de água da massa e a formação de uma matriz complexa de amido gelatinizado e proteínas, que prendem o material volátil e formam alvéolos de

tamanhos variados. Esses “colchões” de ar, distribuídos de forma não uniforme, podem representar, em uma mesma amostra, variações nos valores de firmeza e influenciar os outros parâmetros de textura (ESTELLER et al., 2006). A textura do bolo é influenciada pela estrutura tridimensional, tamanho e distribuição das células de gás no miolo do bolo (SUBAGIO e MORITA, 2008).

### 5.11.2 Textura dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico de farelo de arroz (IPFA)

Na Tabela 17, observa-se os valores de firmeza e elasticidade dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico de farelo de arroz (IPFA).

Tabela 17. Firmeza e elasticidade dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico de farelo de arroz (IPFA)

Bolos	Textura	
	Firmeza (g)*	Elasticidade (%)*
Controle	1126,2 <sup>a</sup> ± 61,51	43,0 <sup>c</sup> ± 0,80
B3%	900,7 <sup>b</sup> ± 45,15	45,4 <sup>b</sup> ± 0,76
B5%	618,4 <sup>d</sup> ± 43,74	49,7 <sup>a</sup> ± 0,62
B7%	790,4 <sup>c</sup> ± 42,34	45,8 <sup>b</sup> ± 0,51

Controle: apenas com farinha de arroz.

B3%: bolo adicionado de 3% de IPFA.

B5%: bolo adicionado de 5% de IPFA.

B7%: bolo adicionado de 7% de IPFA.

\*Média de 4 determinações.

\*\*Letras distintas indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

Os bolos sem glúten adicionados de IPFA apresentaram diferenças estatísticas em relação à firmeza e elasticidade (Tabela 17). À medida que foi adicionado o IPFA a firmeza foi diminuindo, este fato pode estar relacionado ao alto percentual de formação de espuma do IPFA, pois no momento do batimento os alvéolos são formados e o aquecimento faz com que essa estrutura permaneça, através da coagulação protéica, isso provavelmente fez com que os bolos com maior percentual de IPFA apresentassem menores valores de firmeza. Schmiele et al. (2011) encontraram maiores valores de firmeza para bolos elaborados com substituição parcial da farinha de trigo por isolado protéico de soja na faixa de 0 a 12% e mistura de farinha integral de aveia e flocos de aveia na faixa de 0 a 40%.

Os valores de elasticidade estão dentro do observado na literatura (Tabela 17). Zambrano et al. (2005) verificaram valores de elasticidade entre 38,5% e 45,2%

para bolos elaborados com gomas guar e xantana em bolos como substitutos de gordura.

A dureza ou firmeza dos bolos, medida por métodos instrumentais é proporcional à força aplicada para originar uma deformação ou ruptura da amostra e está correlacionada à uma mordida humana durante a deglutição dos alimentos. A força avaliada, para esses tipos de alimentos, depende da formulação como: qualidade da farinha, quantidade de açúcares, gorduras, emulsificantes e ovos, umidade da massa e conservação, tempo de fabricação do produto e embalagem (ESTELLER et al., 2006). A firmeza é caracterizada como a força necessária para morder o alimento e a elasticidade como o alimento tem capacidade de voltar a forma original após uma determinada pressão (PREICHARDT et al., 2009).

### 5.11.3 Avaliação sensorial dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico de farelo de arroz (IPFA)

Na Tabela 18 apresentam-se os totais de pontos, ou seja, o somatório das ordens de preferências dos provadores das amostras dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico de farelo de arroz (IPFA).

Tabela 18. Totais de pontos de preferências dos provadores das amostras dos bolos sem glúten adicionados de isolado protéico de farelo de arroz (IPFA)

Totalização de pontos por aceitação dos provadores	Amostras			
	Controle	B3%	B5%	B7%
Somatório das ordens	141	122	118	119
Aceitação (%)	70,5	61	59	59,5

Controle: apenas com farinha de arroz.

B3%: bolo adicionado de 3% de IPFA.

B5%: bolo adicionado de 5% de IPFA.

B7%: bolo adicionado de 7% de IPFA.

De acordo com os dados obtidos dos provadores em relação aos totais de preferências para cada amostra de bolo (Tabela 18), o bolo controle obteve aceitação sensorial satisfatória de 70,5%, sendo superior às outras amostras.

No entanto comparando-se os contrastes entre as amostras (Tabela 19), verificou-se que os bolos não apresentaram diferença significativa ao nível de 5% de significância, provavelmente pelo fato da quantidade adicionada de IPFA ser pouco perceptível sensorialmente.

Tabela 19. Tabela de contraste das diferenças entre os totais de ordenação de cada amostra de bolo ao nível de 5%

Médias	Médias			
	Controle	B3%	B5%	B7%
Controle	-	19 <sup>ns</sup>	23 <sup>ns</sup>	22 <sup>ns</sup>
B3%	-	-	4 <sup>ns</sup>	3 <sup>ns</sup>
B5%	-	-	-	-1 <sup>ns</sup>
B7%	-	-	-	-

Controle: apenas com farinha de arroz.

B3%: bolo adicionado de 3% de IPFA.

B5%: bolo adicionado de 5% de IPFA.

B7%: bolo adicionado de 7% de IPFA.

ns: não significativo a 5%.

Esses resultados mostram que o IPFA pode ser aplicado em bolos sem glúten para celíacos, pois os mesmos não apresentaram diferença significativa em relação ao bolo controle. O IPFA deve apresentar sabor neutro e leve e a adição do mesmo nos bolos sem glúten não alterou as características sensoriais como sabor e odor, não trazendo para o bolo características marcantes que permitissem aos provadores distinguir diferenças entre os bolos adicionados de isolado e o controle.

## 6 CONCLUSÕES

Obteve-se um isolado protéico de farelo de arroz (IPFA) pelo método químico que apresentou maior rendimento protéico que o método enzimático, e que nele estão representados 3 grupos de proteínas segundo o perfil eletroforético. O IPFA revelou alto teor protéico, boas propriedades funcionais, como alta solubilidade e capacidade de retenção de água em pHs alcalinos, baixa capacidade de retenção de óleo, alta capacidade emulsificante e de formação de espuma. Em relação aos aminoácidos essenciais, o IPFA possui adequadas quantidades e estas suprem as necessidades de bebês e crianças. Na análise térmica por DSC, o IPFA apresentou elevada temperatura de desnaturação e baixo valor de entalpia.

A farinha de arroz mostrou melhor desempenho tecnológico que a farinha de trigo quando adicionada de IPFA, sendo que os bolos produzidos com 3%, 5% e 7% de IPFA apresentaram maiores teores protéicos e melhores características tecnológicas que o bolo controle, porém, foram igualmente preferidos, sensorialmente, mostrando a potencialidade do uso do IPFA em produtos de panificação livres de glúten.

## 7 REFERÊNCIAS

ADEBOWALE, Y. A.; ADEYEMI, I. A.; OSHODI, A. A.; NIRANJAN, K. Isolation, fractionation and characterization of proteins from *Mucuna* bean. **Food Chemistry**. v. 104, p. 287 - 299, 2007.

AGBOOLA, S.; NG, D.; MILLS, D. Characterization and functional properties of Australian rice protein isolates. **Journal of Cereal Science**, v. 41, p. 283-290, 2005.

AIDER, M.; BARBANA, C. Canola proteins: composition, extraction, functional properties, bioactivity, applications as a food ingredient and allergenicity - A practical and critical review. **Trends in Food Science & Technology**. v. 22, p. 21-39, 2011.

ALETOR, O.; OSHODI, A. A.; IPINMOROTI, K. Chemical composition of common leafy vegetables and functional properties of their leaf protein concentrates. **Food Chemistry**. v. 78, p. 63–68, 2002.

AMISSAH, J. G. N.; ELLIS, W. O.; ODURO, I.; MANFUL, J. T. Nutrient composition of bran from new rice varieties under study in Ghana. **Food Control**. v. 14, p. 21–24, 2003.

AMZA, T.; AMADOU, I.; ZHU, K.; ZHOU, H. Effect of extraction and isolation on physicochemical and functional properties of an underutilized seed protein: Gingerbread plum (*Neocarya macrophylla*). **Food Research International**. v. 44, p. 2843–2850, 2011.

ANSHARULLAH, J. A. H.; CHESTERMAN, C. F. Application of carbohydrases in extracting protein from rice bran. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 74, p. 141-146, 1997.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 354, de 18 de julho de 1996. Disponível em: [http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/354\\_96.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/354_96.htm). Acesso em: 30 jan 2012.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução - CNNPA nº 12, de 1978. Disponível em: [http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12\\_78\\_pos.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12_78_pos.htm). Acesso em: 30 jan 2012.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis**. 17ª edição. Maryland: AOAC, 2000.

ASHWINI, A.; JYOTSNA, R.; INDRANI, D. Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the rheological, microstructural and quality characteristics of eggless cake. **Food Hydrocolloids**. v. 23, p. 700–707, 2009.

ASSUMPÇÃO, R. N. V.; MORITA, T. **Manual de soluções, reagentes e solventes. padronização, preparação, purificação**. Ed. Edgard Blücher Ltda. São Paulo. 1972. 627p.

BAIK, O. D.; MARCOTTE, M.; CASTAIGNE, F. Cake baking in tunnel type multi-zone industrial ovens. Part II. Evaluation of quality parameters. **Food Research International**. v. 33, p. 599-607, 2000.

BERA, M. B.; MUKHERJEE, R. K. Solubility, emulsifying, and foaming properties of rice bran protein concentrates. **Journal of Food Science**. v. 54, p. 142–145, 1989.

BIDLINGMEYER, B. A.; COHEN, S. A.; TARVIN, T. L. Rapid analysis of amino acids using pre-column derivatization. **J. Chromatogr**. v. 336, p.93-104, 1984.

BILIADERIS, C. G. Differential scanning calorimetry in food research – a review. **Food Chemistry**. v. 10, p. 239-265, 1983.

CÂNDIDO, L. M. B. **Obtenção de concentrados e hidrolisados protéicos de Tilápia do Nilo (*Oreochromus niloticus*): composição, propriedades nutritivas e funcional**. 1998. 207 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CAPRILES, V. D.; ARÊAS, J. A. G. Avanços na produção de pães sem glúten: aspectos tecnológicos e nutricionais. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**. v. 29, p. 129-136, 2011.

CARREIRA, R. L.; RAMOS, C. S.; SILVA, M. R.; JUNIOR, C. O. L.; SILVESTRE, M. P. C. Emprego de metodologia enzimática na obtenção de extratos protéicos de farinha de trigo. **Química Nova**. v. 32, p. 919-922, 2009.

CARVALHO, A. V. Extração, Concentração e Caracterização Físico-Química e Funcional das Proteínas de Semente de Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*, Schum), **Universidade Estadual de Campinas**. p. 19 – 21, 2004.

CENTENARO, G. S.; FEDDERN, V.; BONOW, E. T.; SALAS-MELLADO, M. Enriquecimento de pão com proteínas de pescado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 27, p. 663-668, 2007.

CHANDI, G. K.; SOGI, D. S. Functional properties of rice bran protein concentrates. **Journal of Food Engineering**. v. 79, p. 592–597, 2007.

CHRASIL, J. Correlation between the physicochemical and functional and properties of rice. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**. v. 40, p. 1683-1686, 1992.

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

CROCKETT, R.; IE, P.; VODOVOTZ, Y. Effects of soy protein isolate and egg white solids on the physicochemical properties of gluten-free bread. **Food Chemistry**. v. 129, p. 84–91, 2011.

DEMIRKESEN, I.; MERT, B.; SUMNU, G.; SAHIN, S. Rheological properties of gluten-free bread formulations. **Journal of Food Engineering**. v. 96, p. 295–303, 2010.

DENG, Q.; WANG, L.; WEI, F.; XIE, B.; HUANG, F. H.; HUANG, W.; SHI, J.; HUANG, Q.; TIAN, B.; XUE, S. Functional properties of protein isolates, globulin and albumin extracted from Ginkgo biloba seeds. **Food Chemistry**. v. 124, p. 1458–1465, 2011.

DERNADIN, C. C.; SILVA, L. P.; BEVILAQUA, P. R.; ALVES, L. L.; FAGUNDES, C. A. A. Composição nutricional do farelo de arroz polido e parboilizado. In: III Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. **Anais do III Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado** (Sosbai). Balneário Camburiú, 2003.

DIFTIS, N.; KIOSSEOGLOU, V. Improvement of emulsifying properties of soybean protein isolate by conjugation with carboxymethyl cellulose. **Food Chemistry**. v. 81, p. 1-6, 2003.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <http://www.cnpaf.embrapa.br/>. Acesso em: 01 nov 2011.

ESTELLER, M. S.; JÚNIOR, O. Z.; LANNES, S. C. S. Bolo de “chocolate” produzido com pó de cupuaçu e kefir. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**. v. 42, p. 447 - 454, 2006.

FABIAN, C. B.; HUYNH, L.H.; JU, Y.H. Precipitation of rice bran protein using carrageenan and alginate. **Food Science and Technology**. v. 43, p. 375–379, 2010.

FAO. Food and Agriculture Organization. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/t0567e/T0567E08.htm>. Acesso em: 01 nov 2010.

FEDDERN, V.; BADIALE-FURLONG, E.; SOUZA-SOARES, L. A. Efeitos da fermentação nas propriedades físico-químicas e nutricionais do farelo de arroz. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 27, p. 800-804, 2007.

FONKWE, L. G.; SINGH, R. K. Protein recovery from mechanically deboned turkey residue by enzymatic hydrolysis. **Process Biochemistry**. v. 31, p. 605-616, 1996.

FREITAS, D. M. A.; VALÉRIO, M. G. B.; TILLMANN, M. A. A.; MENEGHELLO, G. E. Influência da temperatura e do tempo de incubação em sementes de arroz no sistema

pré-germinado. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**. v. 17, p. 115-124, 2010.

FUNGUETTO, C. I.; PINTO, J. F.; BAUDET, L.; PESKE, S. T. Desempenho de sementes de arroz irrigado recobertas com zinco. **Revista Brasileira de Sementes**. v. 32, p. 117-123, 2010.

GALLAGHER, E.; GORMLEY, T. R.; ARENDT, E. K. Crust and crumb characteristics of gluten free breads. **Journal of Food Engineering**. v. 56, p. 153–161, 2003.

GANGADHARA; KUMAR, P. R.; PRAKASH, V. The structure functional catalytic activity of rice bran lipase in the presence of selenium and lithium. **European Food Research and Technology**. v. 230, p. 551-557, 2010.

GARCIA, M. C. **Influência do tempo de torra por microondas nas características sensoriais, físicas e químicas de farelos de cultivares de arroz e sua aplicação em barra de cereais**. 2010. 152f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos. Universidade Federal de Goiás. Goiás.

GLÓRIA, M. M.; REGINATO-D'ARCE, M. A. B. Concentrado e isolado protéico de torta de castanha do Pará: obtenção e caracterização química e funcional. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 20, p. 240-245, 2000.

GNANASAMBANDAM, R.; HEITIRACHCHY, N. S. Protein Concentrates from Unstabilized and Stabilized Rice Bran: Preparation and Properties. **Journal of Food Science**. v. 60, p. 1066-1069, 1995.

GÓMEZ, M.; DOYAGÜE, M. J.; HERA, E. Addition of pin-milled pea flour and air-classified fractions in layer and sponge cakes. **Food Science and Technology**. v. 46, p. 142-147, 2012.

GÓMEZ, M.; RUIZ, E.; OLIETE, B. Effect of batter freezing conditions and resting time on cake quality. **Food Science and Technology**. v. 44, p. 911-916, 2011.

GÓMEZ, M.; MANCHÓN, L.; OLLETE, B.; RUIZ, E.; CABALLERO, P. A. Adequacy of wholegrain non-wheat flours for layer cake elaboration. **Food Science and Technology**. v. 43, p. 507-513, 2010.

GUAN, X.; YAO, H. Optimization of Viscozyme L-assisted extraction of oat bran protein using response surface methodology. **Food Chemistry**. v. 106, p. 345–351, 2008.

GUJRAL, H. S.; HAROS, M.; ROSELL, C. M. Improving the texture and delaying staling in rice flour chapati with hydrocolloids and alfa-amylase. **Journal of Food Engineering**. v. 65, p. 89–94, 2004.

GULARTE, M. A.; GÓMEZ, M.; ROSELL, C. M. Impact of legume flours on quality and in vitro digestibility of starch and protein from gluten-free cakes. **Food and Bioprocess Technology**. On line. 2011.

GULARTE, M. A. **Manual de análise sensorial de alimentos**. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2009. 43p.

GUTKOSKI, L. C.; TEIXEIRA, D. M. F.; DURIGON, A.; GANZER, A. G.; BERTOLIN, T. E.; COLLA, L. M. Influência dos teores de aveia e de gordura nas características tecnológicas e funcionais de bolos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 29, p. 254-261, 2009.

GUTKOSKI, L. C.; KLEIN, B.; PAGNUSSATT, F. A.; PEDÓ, I. Características tecnológicas de genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivados no cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 1, p. 786-792, 2007.

HAMADA, J. S. Characterization and functional properties of rice bran proteins modified by commercial exoproteases and endoproteases. **Journal of Food Science**. v. 65, p. 305-310, 2000.

HAMADA, J. S. Characterization of proteins fractions of rice bran to devise effective methods of protein solubilization. **Cereal Chemistry**. v. 74, p. 662-668, 1997.

HASSAN, H. M. M.; AFIFY, A. S.; BASYIONY, A. E.; AHMED, G. T. Nutritional and functional properties of defatted wheat protein isolates. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**. v. 4, p. 348-358, 2010.

HOFFPAUER, D. W. New applications for whole rice bran. **Cereal Foods World**. v. 50, p. 173-174, 2005.

Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Ed. IV. 1ª Ed. Digital. São Paulo. 2008. 1020p.

IRGA. Instituto Rio Grandense do Arroz. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/>. Acesso em: 01 nov 2011.

JAYADEEP, A.; SINGH, V.; RAO, B. V. S.; SRINIVAS, A.; ALI, S. Z. Effect of physical processing of commercial de-oiled rice bran on particle size distribution, and content of chemical and bio-functional components. **Food and Bioprocess Technology**. v. 2, p. 57-67, 2009.

KAEWKA, K.; THERAKULKAIT, C.; CADWALLADER, K. R. Effect of preparation conditions on composition and sensory aroma characteristics of acid hydrolyzed rice bran protein concentrate. **Journal of Cereal Science**. v. 50, p. 56-60, 2009.

KINSELLA, J. E. Functional Properties in Foods: a Survey. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 1976, p. 219.

KOCER, D.; HICSASMAZ, Z.; BAYINDIRLI, A.; KATNAS, S. Bubble and pore formation of the high-ratio cake formulation with polydextrose as a sugar and fat-replacer. **Journal Food Engineering**. v. 78, p. 953-964, 2007.

KORUS, J.; GRZELAK, K.; ACHREMOWICZ, K.; SABAT, R. Influence of prebiotic additions on the quality of gluten-free bread and on the content of inulin and fructooligosaccharides. **Food Science & Technology International**, v. 12, p. 489-495, 2006.

LACERDA, D. B. C. L.; JÚNIOR, M. S. S.; BASSINELLO, P. Z.; CASTRO, M. V. L.; LOBO-SILVA, V. L.; CAMPOS, M. R. H.; SIQUEIRA, B. S. Qualidade de farelos de arroz cru, extrusado e parboilizado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 40, p. 521-530, 2010.

LAEMMLI, U. K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of the bacteriophage T4. **Nature**. v. 227, p. 680-685, 1970.

LAZARIDOU, A.; DUTA, D.; PAPAGEORGIOU, M.; BELC, N.; BILIADERIS, C. G. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. **Journal of Food Engineering**. v. 79, p. 1033-1047, 2007.

LIU, C. a; WANG, X.; MA, O.; ZHANG, Z.; GAO, W.; XIAO, L. Functional properties of protein isolates from soybeans stored under various conditions. **Food Chemistry**. v. 111, p. 29 - 37, 2008.

LIU, J. b; GUAN, X.; ZHU, D.; SUN, J. Optimization of the enzymatic pretreatment in oat bran protein extraction by particle swarm optimization algorithms for response surface modeling. **Food Science and Technology**. v. 41, p. 1913–1918, 2008.

LIU, Y.; ZHAO, G.; REN, J.; ZHAO, M.; YANG, B. Effect of denaturation during extraction on the conformational and functional properties of peanut protein isolate. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. v. 12, p. 375–380, 2011.

LUI, K. **Soybeans: chemistry, technology and utilization**. Maryland. Aspen Publishers. 1999. p. 532.

LOPEZ, A. C. B.; PEREIRA, A. J. G.; JUNQUEIRA, R. G. Flour mixtures of rice flour, corn and cassava starch in the production of gluten-free white bread. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v. 47, p. 63-70, 2004.

LOWRY, O. H.; ROSEBROUGH, N. J.; FARR, A. L.; RANDALL, R. J. Protein measurement with the folin phenol reagent. **Journal Biology Chemistry**. v. 193, p. 265-275, 1951.

MARCO, C.; ROSELL, C. M. Functional and rheological properties of protein enriched gluten-free composite flours. **Journal of Food Engineering**. v. 88, p. 94-103, 2008.

MARTIA, A.; PAGANIA, M. A.; SEETHARAMANB, K. Understanding starch organization in gluten-free pasta from rice flour. **Carbohydrate Polymers**. v. 84, p. 1069–1074, 2011.

MESSIAS, R. F. **Fracionamento enzimático do farelo integral de arroz parboilizado**. 2005. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.

MOHAMED, A.; BIRESAW, G.; XU, J.; HOJILLA-EVANGELISTA, M. P.; RAYAS-DUARTE, P. Oats protein isolate: Thermal, rheological, surface and functional properties. **Food Research International**. v. 42, p. 107–114, 2009.

MONDOR, M.; AKSAY, S.; DROLET, H.; ROUFIK, S.; FARNWORTH, E.; BOYE, J. I. Influence of processing on composition and antinutritional factors of chickpea-protein concentrates produced by isoelectric precipitation and ultrafiltration. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. v. 10, p. 342–347, 2009.

MORR, C. V.; GERMAN, B.; KINSELLA, J. E.; REGESTEIN, J.M; VAN BUREN, J. M.; KILARA, A; LEWIS, B.A.; MANGINO, M. E. A collaborative study to develop a standardized food protein solubility procedure. **Journal of Food Science**. v. 50, p. 1715-1718, 1985.

NEVES, F. M.; 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**. v. 43, p. 326–330, 2010.

NGAMNIKOM, P.; SONGSERMPONG, S. The effects of freeze, dry, and wet grinding processes on rice flour properties and their energy consumption. **Journal of Food Engineering**. v. 104, p. 632-638, 2011.

OKEZIE, B. O.; BELLO, A. B. Physicochemical and functional properties of winged bean flour and isolate compared with soy isolate. **Journal of Food Science**, v. 53, p. 540-554, 1988.

OLÉN, O.; ASKLING, J. LUDVIGSSON, J. F.; HILDEBRAND, H.; EKBOM, A. EKSTRÖM SMEDBY, K. Coeliac disease characteristics, compliance to a gluten free diet and risk of lymphoma by subtype. **Digestive and Liver Disease**. v. 43, p. 862–868, 2011.

OLIETE, B.; PÉREZ, G. T.; GÓMEZ, M.; RIBOTTA, P. D.; MOIRAGHI, M.; LÉON, A. E. Use of wheat, triticale and rye flours in layer cake production. **International Journal of Food Science & Technology**. v. 45, p. 697–706, 2010.

OLIVEIRA, M. S.; FEDDERN, V.; KUPSKI, L.; CIPOLATTI, E. P.; BADIALE-FURLONG, E.; SOUZA-SOARES. Changes in lipid, fatty acids and phospholipids composition of whole rice bran after solid-state fungal fermentation. **Bioresource Technology**. v. 102, p. 8335–8338, 2011.

OLIVEIRA, M. S. **Disponibilização de compostos funcionais em farelo de arroz fermentado em estado sólido**. 2009. 122f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.

PAN, Z.; CATHCART, A.; WANG, D. Thermal and chemical treatments to improve adhesive property of rice bran. **Industrial Crops and Products**. v. 22, p. 233–240, 2005.

PARAMAN, I.; HETTIARACHCHY, N. S.; SCHAEFER, C.; BECK, M. I. Physicochemical properties of rice endosperm proteins extracted by chemical and enzymatic methods. **Cereal Chemistry**. v. 83, p. 663-667, 2006.

PARRADO, J.; MIRAMONTES, E.; JOVER, M.; GUTIERREZ, J. F.; TERAÍN, L. C.; BAUTISTA, J. Preparation of a rice bran enzymatic extract with potential use as functional food. **Food Chemistry**. v. 98, p. 742-748, 2006.

PÉREZ, L. C.; VILLASANTE, G. C.; RUIZ, A. C.; LEÓN, F. Non-dietary therapeutic clinical trials in coeliac disease. **European Journal of Internal Medicine**. On line. 2011.

PESTANA, V. R.; MENDONÇA, C. R. B.; ZAMBIAZI, R. C. Farelo de arroz: características, benefícios à saúde e aplicações. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**. v. 26, p. 29-40, 2008.

PRAKASH, J.; RAMANATHAM, G. Physico-chemical and nutritional traits of rice bran protein concentrate-based weaning foods. **Journal of Food Science and Technology**. v. 32, p. 395-399, 1995.

PREICHARDT, L. D.; VENDRUSCOLO, C. T.; GULARTE, M. A.; MOREIRA, A. S. Efeito da goma xantana nas características sensoriais de bolos sem glúten. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**. v. 03, p. 70-76, 2009.

REGESTEIN, J. M.; GORIMAR, T. S.; SHERBON, J. M. Measuring the water capacity of natural actomyosin from chicken breast muscle in the presence of pyrophosphate and divalent cation. **Journal of Food Biochemistry**. v. 3, p. 205-211, 1979.

REVILLA, E.; MARIA, C. S.; MIRAMONTES, E.; BAUTISTA, J.; GARCÍA-MARTÍNEZ, A.; CREMADES, O.; CERT, R.; PARRADO, J. Nutraceutical composition, antioxidant activity and hypocholesterolemic effect of a water-soluble enzymatic extract from rice bran. **Food Research International**. v. 42, p. 387-393, 2009.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de Alimentos**. São Paulo: Edgard Blücher: Instituto Mauá de Tecnologia, 2004. 184p.

RONDA, F.; OLIVETE, B.; GÓMEZ, M.; CABALLERO, P. A.; PANDO, V. Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate and different starch sources. **Journal of Food Engineering**. v. 102, p. 272-277, 2011.

SAKAČ, M.; TORBICA, A.; SEDEJ, I.; HADNAĐEV, M. Influence of breadmaking on antioxidant capacity of gluten free breads based on rice and buckwheat flours. **Food Research International**. v. 44, p. 2806-2813, 2011.

SANTA-MARÍA, C.; REVILLA, E.; MIRAMONTES, E.; BAUTISTA, J.; GARCÍA-MARTÍNEZ, A.; ROMERO, E.; CARBALLO, M.; PARRADO, J. Protection against free radicals (UVB irradiation) of a water-soluble enzymatic extract from rice bran. Study using human keratinocyte monolayer and reconstructed human epidermis. **Food and Chemical Toxicology**. v. 48, p. 83-88, 2010.

SANTOS, J. W.; CABRAL, L. S.; ZERVOUDAKIS, J. T.; ABREU, J. G.; SOUZA, A. L.; PEREIRA, G. A. C.; REVERDITO, R. Farelo de arroz em dietas para ovinos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**. v.11, p 193-201, 2010.

SCHMIELE, M.; SILVA, L. H.; COSTA, P. F. P.; RODRIGUES, R. S.; CHANG, Y. K. Influência da adição de farinha integral de aveia, flocos de aveia e isolado protéico de soja na qualidade tecnológica de bolo inglês. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**. v. 29, p. 71-82, 2011.

SEREEWATTHANAWUT, I.; PRAPINTIP, S.; WATCHIRARUJI, K.; GOTO, M.; SASAKI, M.; SHOTIPRUK, A. Extraction of protein and amino acids from deoiled rice bran by subcritical water hydrolysis. **Bioresource Technology**. v. 99, p. 555–561, 2008.

SGARBIERI, V.C. **Proteínas em Alimentos Protéicos. Propriedades, degradação, modificações**. São Paulo: Varela, 1996. 193p.

SHIH, F. F.; CHAMPAGNE, E. T.; DAIGLE, K.; ZARINS, Z. Use of enzymes in the processing of protein products from rice bran and rice flour. **Nahrung**. v. 43, p. 14-18, 1999.

SHIH, F. F.; DAIGLE, K. Use of enzymes for the separation of protein from rice flour. **Cereal Chemistry**. v. 74, p. 437-441, 1997.

SHIH, F. F.; DAIGLE, K. W. Preparation and characterization of rice protein isolates. **Journal American Oil Chemist Society**. v. 77, p. 885-889, 2000.

SILVA, E. J.; AKASAKI, J. L.; DASNOY, J. R. Influência das variáveis envolvidas no plantio de arroz nas características da cinza de casca de arroz. **Ambiente Construído**. v. 9, p. 67-82, 2009.

SILVA, J. B.; BORA, P. S.; NETO, V. Q. Caracterização de propriedades funcionais do isolado protéico de sementes de algaroba (*Prosopis juliflora*). modificado por acetilação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 17, p. 1-30, 1997.

STORCH, C. R. **Variação na composição química em grãos de arroz submetidos a diferentes beneficiamentos**. 2004. 121f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

STRAUCH, K. A.; COTTER, V. T. Celiac disease: an overview and management for primary care nurse practitioners. **The Journal for Nurse Practitioners**. v. 7, p. 588-594, 2011.

SUBAGIO, A.; MORITA, N. Effects of protein isolate from hyacinth beans (*Lablab purpureus*) seeds on cake characteristics. **Food Science and Technology**. v. 14, p. 12-17, 2008.

TANG, S.; HETTIARACHCHY, N. S.; HORAX, R.; ESWARANANDAM, S. Physicochemical properties and functionality of rice bran protein hydrolyzate prepared from heat-stabilized defatted rice bran with the aid of enzymes. **Journal of Food Science**. v. 68, p. 152–157, 2003.

TANG, S.; HETTIARACHCHY, N. S.; SHELLHAMMER, T. H. Protein extraction from heat-stabilized defatted rice bran. 1. physical processing and enzyme treatments. **Journal of Agricultural Food Chemistry**. v. 50, p. 7444-7448, 2002.

THOMPSON, T. Folate, iron, and dietary fiber contents of the gluten-free diet. **Journal of the American Dietetic Association**. v. 100, p. 1389-1396, 2000.

TORBICA, A.; HADNACEV, M.; DAPCEVIC, T. Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. **Food Hydrocolloids**. v. 24, p. 626-632, 2010.

TURABI, E.; SUMNU, G.; SAHIN, S. Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend. **Food Hydrocolloids**. v. 22, p. 305–312, 2008.

VIEIRA, C. R.; LOPES Jr., C. O.; RAMOS, C. S.; CAPOBIANGO, M.; SILVESTRE, M. P. Extração enzimática das proteínas da farinha de arroz. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 28, p. 599-606, 2008.

VILLANACCI, V.; CEPPA, P.; TAVANI, E.; VINDIGNI, C.; VOLTA, U. Coeliac disease: The histology report. **Digestive and Liver Disease**. v. 43, p. 385–395, 2011.

WALTER, M.; MARCHEZANII, E.; AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**. v. 38, p.1184-1192, 2008.

WANG, H. H. a; SUN, D. W.; ZENG, Q.; LU, Y. Effect of pH, corn starch and phosphates on the pasting properties of rice flour. **Journal of Food Engineering**. v. 46, p. 133-138, 2000.

WANG, H.; QIAN, H.; YAO, W. Melanoidins produced by the Maillard reaction: Structure and biological activity. **Food Chemistry**. v. 128, p. 573-584, 2011.

WANG, M.; HETTIARACHCHY, N. S.; QI, M.; BURKS, W.; SIEBENMORGEN, T. Preparation and functional properties of rice bran protein isolate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 47, p. 411-417, 1999.

WANG, S. H. b; FERNANDES, S. M.; CABRAL, L. C. Solubilidade de nitrogênio, dispersibilidade de proteína e propriedades emulsificantes dos extratos hidrossolúveis desidratados de arroz e soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 20, p.12-17, 2000.

YANG, X.; FOEGEDING, E. A. Effects of sucrose on egg white protein and whey protein isolate foams: factors determining properties of wet and dry foams (cakes). **Food Hydrocolloids**. v. 24, p. 227–238, 2010.

YUN, S. E.; HONG, S.T. Isolation and investigation of emulsifying properties of surface-active substances from rice bran. **Food Hydrocolloids**. v. 21, p. 838-843, 2007.

ZAMBRANO, F.; HIKAGE, A.; ORMENESE, R. C.; MONTENEGRO, F. M. RAUENMIGUEL, A. M. Efeito das gomas guar e xantana em bolos como substitutos de gordura. **Brazilian Journal Food and Technology**. v. 8, p. 63-71, 2005.