

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS**

**EFEITO DA CULTIVAR E DO TEMPO DE COCÇÃO EM  
ALGUNS CONSTITUINTES E ISOTERMAS DE  
ADSORÇÃO DE FARINHAS DE ARROZ**

**CLEUSA HELENA ALVES MONTEIRO DE LIMA**

**ANÁPOLIS  
GOIÁS  
2009**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**EFEITOS DA CULTIVAR E DO TEMPO DE COCÇÃO EM ALGUNS  
CONSTITUINTES E ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DE FARINHAS DE  
ARROZ**

CLEUSA HELENA ALVES MONTEIRO DE LIMA

ORIENTADOR: PROF. DIEGO PALMIRO RAMIREZ ASCHERI, D.S.

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – Para obtenção do Título de Mestre.

Anápolis  
Goiás  
2009

**EFEITOS DA CULTIVAR E DO TEMPO DE COCÇÃO EM ALGUNS  
CONSTITUINTES E ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DE ÁGUA DE  
FARINHAS DE ARROZ**

Por

Cleusa Helena Alves Monteiro de Lima

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de  
MESTRE EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Aprovada em: 26/02/2009

---

Prof. D.S. Diego P. R. Ascheri  
Orientador  
UEG/UNUCET

---

Prof. D.S. Ivano A. Devilla  
Membro  
UEG/UNUCET

---

D.S. Paulo César Afonso Junior  
Membro  
EMBRAPA CAFÉ

Dedico este trabalho a Deus, minha fonte inesgotável de amor e aos usados por Ele para manter vivo esse sentimento no meu dia a dia: mamãe Maria Helena, meu irmão Isaias e minha Dinda Tereza com todo apreço.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por permitir que tudo se realizasse em seu tempo, por estar comigo em todos os momentos e por enviar pessoas tão especiais em minha vida e jamais permitir que caíssem folhas secas na lagoa dos meus propósitos.

À EMBRAPA Arroz e Feijão na pessoa da Doutora Priscila Zaczuk Bassinello, por tão gentilmente proporcionar a matéria-prima para o nosso estudo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo apoio financeiro na aquisição de vidrarias e reagentes.

A todo o corpo docente e à coordenação do curso do Mestrado em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Goiás, todos incentivadores do nosso crescimento em especial agradeço ao Professor Ivano, que contribuiu muito para que eu chegasse até aqui, pois sem sua presença positiva por muitas vezes pensamos em desistir.

Aos técnicos do laboratório de química, Kátia, Thiago, Walter, Valerinha, Daiane, Tia e, em especial, a Talita, que foi indispensável e sempre muito prestativa sem medir esforços para ajudar. Na cadeia da vida são todos os elos igualmente valiosos, porque todos são necessários, assim como vocês.

Aos meus amigos do mestrado. A vida é tão boa que não cansa de reservar bons presentes: Hugo, Márcia, Reginaldo, Greicy, Josianny, Renato, Haydê pessoas especiais que tornaram o convívio diário muito agradável, mas, sem dúvidas, o maior presente foi você Daiana, suas palavras, sua alegria, sua sinceridade, sua fé são ingredientes que entram em nosso coração como combustível, que nunca nos deixa parar, desanimar, não há palavras que descrevam meu sincero agradecimento a você.

Agradeço àquela que se tornou uma irmã, um anjo: Aline já são quase oito anos de amizade regados a muita dedicação e sinceridade, sem palavras você consegue se fazer muito presente e especial na vida daqueles que você ama e eu só posso agradecer por fazer parte disso.

A minha família, pois com o passar dos dias você percebe que a família é o chão sem o qual você não consegue se imaginar. Em especial agradeço Madrinha Marlene, Katiúscia, meu irmão Isaias e minha cunhada Valquíria por acreditarem e apoiarem a minha idéia de fazer o mestrado e, sem dúvidas, à Tia Te, que é uma mãe pra mim e que se esforçou muito para que eu agüentasse até o fim sem medir esforços.

A minha mãe Maria Helena: essa vitória é da senhora mamãe! Tantos sacrifícios, tantas abdições, tanta saudade, tanto amor é difícil pra mim dizer um simples obrigada pois a senhora é bem maior do que isso, serei eternamente grata por tudo, te amo muito!

Agradeço a todas as pessoas que fazem parte da minha vida e que de alguma forma torceram para que tudo desse certo, Diego por reclamar muito as minhas ausências e mesmo assim me apoiar e àqueles que me dão os sorrisos mais bonitos, meus afilhados Stéphanie, Julia, David Gabriel, Lanna Beatriz, Jennifer, Bárbara (minha Dinda) e Victor Samuel (madinha).

E por fim agradeço aquele que no decorrer do tempo a gente toma como um pai, que por várias vezes foi muito severo, quantos momentos difíceis passados para que chegássemos até aqui e posso dizer que fazia tempo que não me sentia tão bem e orgulhosa de ser eu mesma quanto hoje, é muito bom construir uma convivência que te ensina tanto e que vai deixar saudades, o mais interessante é que os altos e baixos normais numa convivência são só fases é só uma questão de tempo e você descobre um amigo, o meu sincero agradecimento Professor Diego

## SUMÁRIO

|                                                                 | <b>Página</b> |
|-----------------------------------------------------------------|---------------|
| RESUMO.....                                                     | xii           |
| ABSTRACT.....                                                   | xiii          |
| 1      INTRODUÇÃO.....                                          | 01            |
| 2      REVISÃO DE LITERATURA.....                               | 04            |
| 2.1    O ARROZ.....                                             | 04            |
| 2.1.2   CLASSIFICAÇÃO DO ARROZ.....                             | 05            |
| 2.1.3   QUALIDADE DO ARROZ E SUBPRODUTOS.....                   | 06            |
| 2.1.4   COMPONENTES PRINCIPAIS DA FARINHA DE ARROZ.....         | 08            |
| 2.1.4.1   Teor de Água.....                                     | 08            |
| 2.1.4.2   Teor de Amilose.....                                  | 09            |
| 2.2    ATIVIDADE DE ÁGUA.....                                   | 10            |
| 2.2.1   UMIDADE DE EQUILÍBRIO E ISOTERMA DE SORÇÃO DE ÁGUA..... | 12            |
| 2.2.2   TIPOS DE ISOTERMAS.....                                 | 14            |
| 2.2.3   EQUAÇÕES DE ISOTERMAS DE SORÇÃO.....                    | 15            |
| 3      MATERIAIS E MÉTODOS.....                                 | 18            |
| 3.1    MATERIAL.....                                            | 18            |
| 3.2    MÉTODOS.....                                             | 18            |
| 3.2.1   DESENHO EXPERIMENTAL E ELABORAÇÃO DAS FARINHAS.....     | 18            |
| 3.2.2   DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS.....                           | 19            |
| 3.2.2.1   Teor de Água.....                                     | 19            |
| 3.2.2.2   Teor de amido.....                                    | 19            |
| 3.2.2.3   Teor de Amilose.....                                  | 20            |
| 3.2.3   ESTABILIDADE DAS FARINHAS.....                          | 20            |
| 3.2.3.1   Determinação das Isotermas de adsorção.....           | 20            |
| 3.2.3.2   Estabilidade das Farinhas.....                        | 22            |
| 3.3    ANÁLISES ESTATÍSTICA.....                                | 23            |
| 4      RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                              | 25            |



|     |                                                                                 |    |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1 | EFEITO DA CULTIVAR E DO TEMPO DE COCÇÃO NOS TEORES DE AMIDO, AMIOSE E ÁGUA..... | 25 |
| 4.2 | CARACTERÍSTICA DE ADSORÇÃO DE ÁGUA DAS FARINHAS.....                            | 28 |
| 4.3 | MODELOS QUE ESTIMAM O CÁLCULO DO TEOR DE ADSORÇÃO DE ÁGUA.....                  | 28 |
| 4.4 | ESTABILIDADE DAS FARINHAS.....                                                  | 45 |
| 5   | CONCLUSÃO.....                                                                  | 49 |
|     | REFERÊNCIAS .....                                                               | 50 |
|     | APÊNDICES.....                                                                  | 59 |
|     | APÊNDICES A.....                                                                | 60 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Página</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| FIGURA 1 - Beneficiamento do arroz em casca com as proporções aproximadas de seus produtos e subprodutos. Fonte: Castro et al. (1999).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 05            |
| FIGURA 2 - Processo de gelatinização e birrefringência do amido (SCHOLZ e MAGRI, 2002). a) grãos de amido inteiro numa solução aquosa à temperatura ambiente, b) observa-se nitidamente a birrefringência (cruz de malta), c) A solução do amido aquecido à temperatura de gelatinização, d) eles incham e começam a perder birrefringência, e) o amido degrada à temperatura acima da gelatinização quebram e liberam amilose, f) perdem completamente a birrefringência..... | 10            |
| FIGURA 3 - Isotermas de adsorção e desorção de água. Fonte: Bobbio e Bobbio (2001).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 13            |
| FIGURA 4 - Os cinco tipos de isotermas de sorção segundo Brunauer et al. (1938).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 15            |
| FIGURA 5 - Esquema do recipiente para determinação das isotermas de adsorção de água por meio do método estático.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 21            |
| FIGURA 6 - Gráficos de resíduos versus valores ajustados do modelo matemático de Halsey para isotermas de adsorção de água de farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção: a) BPT0, b) BPT20, c) BPT40, d) BMT0, e) BMT20 e f) BMT40.....                                                                                                                                                                             | 31            |
| FIGURA 7 - Gráfico das isotermas de adsorção de água ajustadas ao modelo matemático de Halsey das farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção: a) BPT0, b) BPT20, c) BPT40, d) BMT0, e) BMT20 e f) BMT40.....                                                                                                                                                                                                         | 32            |
| FIGURA 8 - Gráficos de resíduos versus valores ajustados do modelo matemático de Oswin para isotermas de adsorção de água de farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção: a) BPT0, b) BPT20, c) BPT40, d) BMT0, e) BMT20 e f) BMT40.....                                                                                                                                                                              | 34            |
| FIGURA 9 - Gráfico das isotermas de adsorção de água ajustadas ao modelo matemático de Oswin das farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção: a) BPT0, b) BPT20, c) BPT40, d) BMT0, e) BMT20 e f) BMT40.....                                                                                                                                                                                                          | 35            |
| FIGURA 10 - Gráfico das isotermas de adsorção de água ajustadas ao modelo matemático de GAB das farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção: a) BPT0, b) BPT20, c) BPT40, d) BMT0, e) BMT20 e f) BMT40.....                                                                                                                                                                                                           | 38            |
| FIGURA 11 - Gráficos de resíduos versus valores ajustados do modelo matemático de GAB para isotermas de adsorção de água de farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes                                                                                                                                                                                                                                                                |               |

|             |                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|             | tempos de cocção: a) BPT0, b) BPT20, c) BPT40, d) BMT0, e) BMT20 e f) BMT40.....                                                                                                                                    | 39 |
| FIGURA 12 - | Diferentes regiões das isotermas de adsorção de água á temperatura de 30 °C de farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção.....                            | 44 |
| FIGURA 13 - | Estabilidade das farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção.....                                                                                          | 47 |
| FIGURA 14 - | Gráfico da relação entre o teor de água monomolecular versus teor de amido e teor de amilose contidos nas farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção..... | 48 |
| FIGURA 15 - | Curva de calibração da amilose padrão.....                                                                                                                                                                          | 61 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>Página</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| TABELA 1 - Modelos matemáticos de dois e de três parâmetros de isotermas de sorção de água.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 16            |
| TABELA 2 - Atividades de água de distintos sais saturados à temperatura de 30°C.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 21            |
| TABELA 3 - ANOVA dos teores de amido e amilose das farinhas de arroz das variedades BRS Primavera e BRS Monarca, obtidos em diferentes tempos de cocção.....                                                                                                                                                                                                                                    | 25            |
| TABELA 4 - Teores de água, de amido e de amilose dos grãos de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, submetidos a diferentes tempos de cocção.....                                                                                                                                                                                                                                   | 26            |
| TABELA 5 - Razão do teor de água absorvido por teor de amido ou amilose dos grãos de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca submetidos a diferentes tempos de cocção.....                                                                                                                                                                                                             | 27            |
| TABELA 6 - Valores médios e respectivos erros padrão da umidade de equilíbrio para as diferentes atividades de água das farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção.....                                                                                                                                                               | 28            |
| TABELA 7 - Análise de variância da regressão dos modelos matemáticos de adsorção de Halsey, Oswin e GAB, valor da probabilidade (p), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvio percentual médio (P) e erro padrão da (EPE) aplicados aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água das farinhas de arroz da cultivar BRS Primavera, obtidas em diferentes tempos de cocção..... | 29            |
| TABELA 8 - Análise de variância da regressão dos modelos matemáticos de adsorção de Halsey, Oswin e GAB, valor da probabilidade (p), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvio percentual médio (P) e erro padrão da (EPE) aplicados aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água das farinhas de arroz da cultivar BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção.....   | 30            |
| TABELA 9 - Valores dos parâmetros do modelo matemático de adsorção de água de Halsey à temperatura de 30° C, erro padrão, teste t e probabilidade (p), para farinha de arroz da cultivar BRS Primavera obtidas em diferentes tempos de cocção.....                                                                                                                                              | 33            |
| TABELA 10 - Valores dos parâmetros do modelo matemático de adsorção de água de Halsey à temperatura de 30° C, erro padrão, teste t e probabilidade (p), para farinha de arroz da cultivar BRS Monarca obtidas em diferentes tempos de cocção.....                                                                                                                                               | 33            |
| TABELA 11 - Valores dos parâmetros do modelo matemático de adsorção de água de Oswin à temperatura de 30° C, erro padrão, teste t e probabilidade (p), para farinha de arroz da cultivar BRS Primavera obtidas em diferentes tempos de cocção.....                                                                                                                                              | 36            |

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABELA 12 - | Valores dos parâmetros do modelo matemático de adsorção de água de Oswin à temperatura de 30° C, erro padrão, teste t e probabilidade (p), para farinha de arroz da cultivar BRS Monarca obtidas em diferentes tempos de cocção.....                                        | 36 |
| TABELA 13 - | Valores dos parâmetros do modelo matemático de adsorção de água de GAB à temperatura de 30° C, erro padrão, teste t e probabilidade (p), para farinha de arroz da cultivar BRS Primavera obtidas em diferentes tempos de cocção.....                                        | 37 |
| TABELA 14 - | Valores dos parâmetros do modelo matemático de adsorção de água de GAB à temperatura de 30° C, erro padrão, teste t e probabilidade (p), para farinha de arroz da cultivar BRS Monarca obtidas em diferentes tempos de cocção.....                                          | 37 |
| TABELA 15 - | ANOVA de fator único da umidade de equilíbrio das farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidos em diferentes tempos de cocção.....                                                                                                                 | 40 |
| TABELA 16 - | Valores de atividade de água ( $a_w$ ) e suas respectivas correspondentes de equilíbrio ( $X_e$ ) dos pontos de inflexão das isotermas à temperatura de 30°C, para as farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção. | 42 |
| TABELA 17 - | ANOVA de fator único da umidade de equilíbrio e de atividade de água correspondente ao primeiro e segundo ponto de inflexão das isotermas das farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção.....                     | 43 |
| TABELA 18 - | Teores de água em termos de moléculas de água por moléculas de glicose Correspondentes à monocamada (MG) e área superficial (Ar) dos sítios de Adsorção das farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, Obtidas em diferentes tempos de cocção.....       | 46 |
| TABELA 19 - | ANOVA de fator único da umidade de equilíbrio correspondentes à monocamada das farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidos em diferentes tempos de cocção.....                                                                                    | 46 |
| TABELA 20 - | Classificação do teor de amilose em arroz.....                                                                                                                                                                                                                              | 61 |
| TABELA 21 - | Teor de amilose para amostra testemunha.....                                                                                                                                                                                                                                | 62 |

## RESUMO

LIMA, C. H. A. M. **Efeitos da cultivar e do tempo de cocção em alguns constituintes e isotermas de adsorção de farinhas de arroz.** 2009. 62p. (Mestrado Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis.

A farinha de arroz é um novo subproduto do arroz que vem tendo destaque em diversos estudos, em especial sobre o seu correto armazenamento, por apresentar propriedades tecnológicas importantes para a agroindústria e por agregar valor ao arroz. O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito que causa o tipo de cultivar e o tempo de cocção do arroz em alguns constituintes e isotermas de adsorção de água de farinhas de arroz. Das farinhas obtidas foram analisadas os teores de água, amido e amilose, e se determinaram as isotermas de adsorção de água das farinhas à temperatura de 30°C e atividades de água entre 0,112 e 0,972. As farinhas foram obtidas do arroz cru e cozidos em tempos de 20 e 40 minutos de cocção. As isotermas foram ajustadas aos modelos matemáticos de Halsey, Oswin e GAB. As isotermas de adsorção de água das farinhas de arroz possuem forma sigmoidal do tipo II e se ajustam bem à equação de GAB. A cultivar BRS Primavera absorve maior quantidade de água e suas farinhas elaboradas disponibilizam maior quantidade de amido e amilose em todos os tempos de cocção aplicados e apresentam maior estabilidade na temperatura de 30°C em atividades de água entre 0,6 e 0,7.

Palavras chaves: *Oriza sativa*, atividade de água, subproduto de arroz, farinha de arroz, propriedades físico-químicas.

## ABSTRACT

LIMA, C. H. A. M. **Effects of the cultivar and the cooking time in some components and adsorption isotherms in the rice flour.** 2009. 62p. (Agricultural Engineering Masters) – Universidade Estadual de Goiás (State University of Goiás), Anápolis.

The rice flour is a new subproduct of the rice that has stood out in several studies, mostly concerning its correct storing, because it presents important technologic properties for the agro-industry and because it adds value to the rice. The objective of this project was to study the effect that the type of cultivar causes and the cooking time of the rice in some components, as well as the isotherms adsorption from the water of the rice flour. From the flour obtained, the water content, the starch and the amylase were analyzed, and the adsorption isotherms of the water from the flour at 30°C and water activity between 0,112 and 0,972. The flour was obtained from the uncooked rice and cooked for 20 and 40 minutes. The isotherms were adjusted to the mathematical models of Halsey, Oswin and GAB. The adsorption isotherms of the water from the rice flour have a type II sigmoidal form and adjust well to the GAB equation. The BRS Spring cultivar absorbs more quantity of water and its elaborate flour makes a higher quantity of starch and amylase available in all cooking times applied, and present higher stability in the temperature of 30°C in water activity between 0,6 e 0,7.

Key Words: *Oriza sativa*, water activity, rice subproduct, rice flour, physical-chemical properties

## 1. INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos o homem sentiu necessidade de desenvolver métodos de conservação de alimentos, uma vez que houve um aumento da demanda por alimentos em todo o mundo aliada ao crescimento populacional, que se apresentava mais acentuado que a quantidade de alimentos disponíveis. Surgiu então a necessidade de obtenção de novos produtos e aprimoramento da qualidade e do armazenamento daqueles já tradicionalmente consumidos.

O arroz (*Oryza sativa* L.) possui um papel de indiscutível destaque na cadeia agroindustrial além de ser um alimento de grande valor nutricional, é também altamente energético, apresenta grande fonte de carboidratos sendo rico em sais minerais, proteínas e vitaminas do complexo B. Apresenta uma produção em grande escala no Brasil e em diversos países, onde se tornou não somente um mero hábito alimentar, mas é lembrado como um alimento tradicional entre os consumidores, que em sua maioria preferem grãos longos, finos, de boa qualidade culinária e que permaneçam soltos e macios após o cozimento e resfriamento.

Apesar de o arroz ser um dos grãos mais produzidos em todo o mundo e utilizado principalmente para o consumo humano, os subprodutos de seu beneficiamento são geralmente empregados apenas na alimentação animal, porém, vêm se desenvolvendo novos produtos como a farinha de arroz que pode constituir excelente fonte de nutrientes além de serem utilizadas como coadjuvante tecnológico para a alimentação humana.

As farinhas de arroz por não possuir glúten trás uma grande vantagem para os consumidores portadores de doenças celíacas cujo único tratamento é a completa retirada do trigo, centeio, cevada e aveia da dieta. Constitui ainda boa alternativa para emprego de subproduto do processo de beneficiamento do arroz, com pouco uso industrial e baixo valor comercial, uma vez que o único tratamento satisfatório para os celíacos é a completa retirada do glúten ou substituição desses cereais por soja, milho, batata, mandioca, cará, arroz e seus subprodutos sendo que estes últimos são os menos alergênicos.



Não existem no mercado brasileiro produtos industrializados especiais sem glúten e a maior parte das preparações do cardápio do paciente celiaco é caseira, demandando tempo e dedicação para o preparo.

Ainda, Garcia (2007) ressalta que a possibilidade de substituição parcial da farinha de trigo pela de arroz (30%, por exemplo) proporcionaria uma redução da dependência externa cereal, pois atualmente o Brasil importa mais de 60% do trigo que consome e representaria uma alternativa de inovação tecnológica para os orizicultores agregando valor a esse subproduto.

Embora tenha sido cada vez mais crescentes estudos sobre as diversas formas de utilização e obtenção da farinha de arroz poucos trabalhos tem abordado as características de adsorção desse subproduto e as reais condições para se ter uma matéria-prima que durante a sua vida de prateleira mantenha as condições de qualidade sem que existam perdas e crescimento microbiológico na mesma. Apenas o conhecimento do teor de água não é suficiente para prever a estabilidade das farinhas de arroz, é necessário conhecer a disponibilidade deste e de que forma ele se comportará nos diferentes ambientes em que a farinha será submetida durante o armazenamento.

A transferência da água contida na farinha para o ambiente depende tanto dos constituintes da farinha como das condições do ambiente, a temperatura constante. O teor de água tende a entrar em equilíbrio com o ambiente que o circunda e existem vários métodos para se determinar essa relação destacando-se o método estático que consiste em utilizar soluções saturadas de diversos sais que varrem valores de atividade de água que vão desde zero até a unidade.

A representação gráfica dos dados experimentais obtidos por esses métodos são desenhadas utilizando modelos matemáticos que correlacionam a atividade de água e teor de água de equilíbrio e os parâmetros do processo de obtenção das farinhas, tais como a cultivar do arroz utilizada, tempo de cocção, etc.

Considerando o crescente interesse por esse subproduto, poucos são os trabalhos que estudaram as isoterma de adsorção de água de farinhas pré-gelatinizadas de arroz levando em consideração a estabilidade, o teor de amido e amilose. As informações obtidas dessas isotermas proporcionarão informações que darão suporte para o armazenamento do mesmo.

O presente trabalho teve como objetivo geral estudar os efeitos que causam a cultivar de arroz e o tempo de cocção em alguns constituintes e nas isotermas de adsorção das farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca elaboradas a partir de grãos cozidos nos tempos de 0 a 40 minutos de cocção.

Os objetivos específicos do presente estudo foram:

- Verificar os efeitos que causam a cultivar e o tempo de cocção na quantidade de água absorvida pelos grãos de arroz durante a cocção, e nos teores amido e amilose das farinhas de arroz cruas e cozidas;
- caracterizar as isotermas de adsorção de água das farinhas à temperatura de 30°C e atividades de água entre 0,112 e 0,972 e ajustar as isotermas a modelos matemáticos de Halsey, Oswin e GAB,
- estudar o efeito da cultivar e do tempo de cocção na estabilidade das farinhas de arroz elaboradas em função das isotermas de adsorção de água.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 O ARROZ**

O arroz constitui a base alimentar de mais da metade da população do globo. Isto significa que mais de um bilhão de pessoas se alimentam principalmente de arroz. Desse número a maior porcentagem cabe aos asiáticos (VIEIRA et al., 1999 e PEREIRA, 2002).

No Brasil, o plantio do arroz foi introduzido no período de colonização, por volta de 1540, na Capitania de São Vicente. Sua produção espalhou-se pelo litoral brasileiro, principalmente no nordeste (BASSINELLO e CASTRO, 2004; PRIMAVESI, 1991).

O arroz é uma cultura largamente difundida no país, ocupando uma posição de destaque na dieta alimentar do povo brasileiro. É consumido por todas as classes sociais, mas, especialmente, por aquelas de renda mais baixa. É cultivado praticamente em todos os Estados e, em alguns deles, constitui a principal fonte de renda agrícola. O arroz ainda é o principal fornecedor de calorias em todas as regiões brasileiras, à exceção da Região Nordeste, onde é substituído pela farinha de mandioca. Além disso, o arroz é importante fornecedor de proteínas, pois considerando os produtos de aporte protéico mais consumido, como carnes, feijão, trigo, leite e peixes, o feijão e as carnes são os primeiros, vindo a seguir o arroz (FERREIRA e YOKOYAMA, 1999; VIEIRA et al., 1999).

É um produto que possibilita uma diversidade de formas de preparo, quer em pratos salgados ou doces, podendo ser associado a outros alimentos, enriquecendo ainda mais a qualidade nutricional da preparação (BASSINELLO e CASTRO, 2004).

A maior parte da população mundial depende de alimentos de origem vegetal como principal fonte nutricional, embora sua qualidade protéica seja inferior aos alimentos de origem animal. Esse fenômeno deve-se principalmente à escassez e ao preço mais elevado da proteína animal. Além disso, muitas pessoas apresentam reações alérgicas a algum componente dos alimentos, o que pode colocar em risco sua saúde, além de reduzir o número de opções no momento da escolha das matérias-primas que irão compor sua dieta diária (GALERA, 2006).

A importância do arroz é tão significativa que o governo classifica-o como produto de segurança alimentar. Isto significa que o Estado interfere para garantir sua produção e

aquisição pelo consumidor, o que caracteriza o alto valor social do produto (FERREIRA e YOKOYAMA, 1999).

### 2.1.2 CLASSIFICAÇÃO DO ARROZ

O arroz é uma planta monocotiledônea da família *Poaceae* e espécie *Oryza sativa*, que se desdobra em duas subespécies, denominadas *communis* e *brevis*. A subespécie *brevis* compreende variedades de grãos muito curtos, cultivadas no Oriente. A subespécie *communis* compreende, por sua vez, dois grupos distintos: índico, com grãos longos, e japonico, com grãos curtos (VIEIRA et al., 1999).

O arroz é uma espécie hidrófila, cujo processo evolutivo tem levado sua adaptação às mais variadas condições ambientais. De uma maneira mais abrangente, são considerados dois grandes ecossistemas para a cultura, que são o de várzeas e o de terras altas, englobando todos os sistemas de cultivo de arroz (VIEIRA et al., 1999).

Para consumo de mesa, são conhecidos, no Brasil, três tipos do produto em função da forma de processamento pós-colheita: o arroz integral, o arroz branco polido e o arroz parboilizado (VIEIRA et al., 1999). Na Figura 1 mostra-se o beneficiamento do arroz em casca e seus produtos e subprodutos.

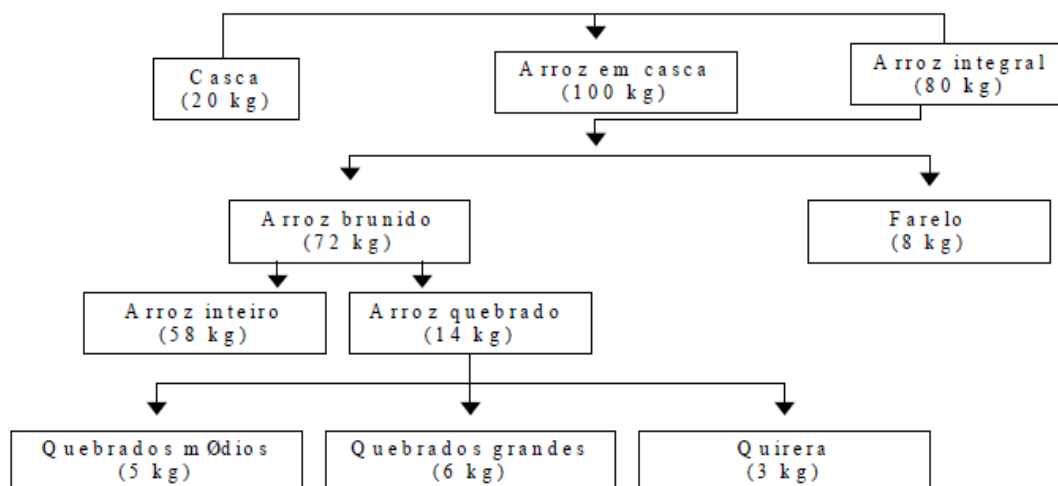


FIGURA 1 - Beneficiamento do arroz em casca com as proporções aproximadas de seus produtos e subprodutos. Fonte: Castro et al. (1999).

O arroz integral, ou seja, aquele do qual, no beneficiamento, é retirada apenas a casca, apesar de mais rico em nutrientes que o arroz polido, é pouco consumido no Brasil (CASTRO

et al., 1999). O arroz integral todo o grão é recoberto por uma casca rígida, não comestível<sup>1</sup> que tem como função a proteção do ataque de insetos e fungos. Esta casca é retirada para produção de arroz integral (AMATO et al., 2002).

A composição química do arroz polido comercial brasileiro gira em torno de 0,50% de lipídeos, 0,47% de cinzas, 6,66% de proteínas, e a composição do arroz comercial parboilizado polido é similar (GALERA, 2006).

O arroz parboilizado é aquele que ainda em casca é submetido a um processo hidrotérmico que provoca a gelatinização total ou parcial do amido, passando, posteriormente, pelo descasque e polimento. O processo de parboilização melhora a qualidade nutricional do arroz, em relação ao produto beneficiado polido, devido à redistribuição de alguns componentes do grão em decorrência dos efeitos da temperatura e da umidade durante o processo hidrotérmico. O arroz parboilizado pode ser consumido integral ou polido (LOPES, 1989).

Além das classificações botânicas e em função do processo de beneficiamento, as variedades de arroz são usualmente consideradas conforme o teor de amilose do amido. O conteúdo de amilose, que é fração linear do amido, é o fator que mais afeta as propriedades físico-químicas dos grãos de arroz durante o cozimento e as suas características sensoriais pós-cozimento (GALERA, 2006).

O arroz pode ser classificado em baixo, médio ou alto teor de amilose. Baixo, quando o teor de amilose é inferior a 22%, médio quando está entre 23 e 27% e alto quando é superior a 28% (BASSINELLO e CASTRO, 2004).

Quanto ao teor de amilose, as variedades de arroz mais usadas no Brasil são as com alto teor de amilose visto que o arroz cozido a partir dessa resulta em grãos com menor adesividade e relativa dureza em relação à textura, que são característica de qualidade valorizada pelos consumidores (GALERA, 2006).

Atualmente, também existem os arrozes modificados geneticamente, ainda não utilizados no Brasil. Um deles é conhecido como *golden rice* que contém  $\beta$ -caroteno, precursor da Vitamina A, e é destinado a pessoas com dieta imprópria, principalmente em países sub-desenvolvidos (GALERA, 2006).

### **2.1.3 QUALIDADE DO ARROZ E SUBPRODUTOS**

O arroz é uma importante fonte de calorias na alimentação humana e mundialmente corresponde a cerca de 20% da necessidade calórica da população. Segundo a Food

Agriculture Organization FAO (2005) no Brasil este cereal é responsável por 12% das calorias ingeridas sendo, portanto um dos alimentos mais presentes na dieta dos brasileiros.

O arroz apresenta, entre os cereais, maior digestibilidade, maior valor biológico e a mais elevada taxa de eficiência protéica sendo além de uma fonte de calorias também uma importante fonte de nutrientes (SCADE, 1981).

Tendo em vista algumas vantagens anteriormente citadas atualmente essa matéria prima tem ganhado espaço tanto na elaboração de novos produtos quanto para a utilização como ingrediente em produtos já existentes no mercado, pois além do menor custo e possível aumento do valor agregado no desenvolvimento de subprodutos como a farinha de arroz (BARBOSA et al., 2006).

Farinha é o produto obtido pela moagem da parte comestível de vegetais, podendo sofrer previamente processos tecnológicos adequados (BRASIL, 2001), assim farinha de arroz nada mais é que um subproduto do arroz, que passa por processamentos específicos para adquirir características físicas desejáveis, particulares de cada indústria.

Entre as razões que podem ser mencionadas para explicar a utilização da farinha de arroz em produtos alimentícios destacam-se suas características sensoriais, funcionais e altas reserva energética, principalmente, devido ao alto conteúdo de amido (BARBOSA et al., 2006).

Ainda vêm sendo utilizadas para preencher necessidade particular da indústria ou do consumidor, tais como alimentos infantis, produtos cárneos, formulação de panquecas e *waffles*, cereais matinais, massa e farinha para empanados ou como parte da formulação de pães, massas de pizza e *mufins*, além de ser muito utilizado nas formulações de produtos alimentícios para portadores da doença celíaca (ORMENESE e CHANG, 2002; BEAN e NISHITA, 1985; DEOBALD, 1972).

Sendo a farinha de arroz um ingrediente promissor na elaboração de produtos e levando-se em consideração que no Brasil esse ingrediente não possui uma linha de produtos bem-definida, surge a oportunidade de desenvolver um produto diferenciado. Sabe-se que a qualidade está diretamente relacionada com o desenvolvimento de novos produtos, que atualmente é um processo cada vez mais crítico quando se trata da competitividade. Isso devido, principalmente, às tendências de crescente globalização da economia, aumento da diversidade e variedade de produtos e redução do ciclo de vida dos produtos no mercado. Esses aspectos são indicativos da necessidade de uma estratégia para ampliar o mercado a partir de matérias-primas de uso tradicional, como o arroz, por meio do desenvolvimento de farinhas que tenham melhores propriedades funcionais para poderem ser aplicadas em

produtos e formulações, ou que possam ser moldadas para alimentos de conveniência, ou para fins especiais (DORS et al., 2006; ARAÚJO, 2005).

A água é um dos principais componentes dos alimentos. Mesmo em produtos desidratados, como a farinha onde ocorre em baixas proporções, é um dos mais importantes, influenciando bastante sobre as características de armazenamento (FERREIRA e PENA, 2003). O que torna importante o conhecimento das suas isotermas de sorção como busca do aumento da estabilidade deste produto frente ao armazenamento e seu uso por períodos mais prolongado como ingrediente.

## **2.1.4 COMPONENTES PRINCIPAIS DA FARINHA DE ARROZ**

### **2.1.4.1 Teor de Água**

Todos os produtos agrícolas, qualquer que seja o método de processamento a que tenham sido submetidos, contêm água em maior ou menor proporção. Geralmente o teor de água representa a água contida no produto, que pode ser classificada em: teor de água de superfície, que se refere à água livre ou presente na superfície externa do produto, facilmente evaporada e teor de água adsorvida, referente à água ligada, encontrada no interior do produto agrícola, sem combinar-se quimicamente com o mesmo. O aquecimento direto da amostra a 105°C é o processo usual da determinação do teor de água, é uma das medidas mais importantes e utilizadas na análise de materiais biológicos. O teor de água de um produto agropecuário está relacionada com sua estabilidade, qualidade e composição (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2005).

Quando o arroz alcança o estado maduro do grão, começa a etapa da perda de água até alcançar o teor de água com a qual se pode armazenar com segurança de conservação, estabelecido em 13%. Entretanto, o teor de água ótimo para colheita se pode estabelecer em função do comportamento do arroz durante seu processamento. Dada a importância desta característica ligada à cultivar, cada lançamento de uma nova cultivar vem acompanhado da correspondente especificação de teor de água de colheita, de modo a preservar a qualidade e minimizar perdas econômicas do produtor (GONZALES et al., 2004)

O teor de água na composição é na ordem de 12% no arroz polido (ASCHERI et al, 2006). Paricha et al. (1977) mostraram que este grão é mais higroscópico do que sementes de oleaginosas, portanto seu teor de água sofre mais oscilação com a umidade relativa do ambiente, deteriorando-se progressivamente com o incremento da umidade relativa e com o prolongamento do tempo de armazenamento.

#### 2.1.4.2 Teor de Amilose

Com base na composição química média do arroz branco ou polido, os carboidratos, mais concretamente o amido, constituem o maior grupo componente do grão, aproximadamente, 90% do grão de arroz beneficiado polido (BOBBIO e BOBBIO, 1995). São dois os polímeros de glicose que constituem o amido: a amilose (cadeia linear, com ligações  $\alpha_{1,4}$  glicosídicas) e a amilopectina (cadeia ramificada, com ligações  $\alpha_{1,4}$  e  $\alpha_{1,6}$  glicosídicas). A percentagem relativa destes polímeros varia, constituindo a amilose entre 15% e 30% do total (BASSINELLO e CASTRO, 2004).

Nas variedades glutinosas (cerosas), cujos grãos apresentam endosperma opaco e, quando cozidos, apresentam-se úmidos e pegajosos, o amido é quase totalmente formado por amilopectina, com um conteúdo de amilose que varia entre 0% e 2%. Nas variedades não glutinosas, os valores encontrados para o teor de amilose acham-se na faixa de 7% a 34% (JULIANO, 1971).

Sendo a amilose e a amilopectina moléculas complementares na composição do amido do arroz, é evidente que aumentos ou decréscimos no teor de uma delas reflete-se de forma inversa no teor da outra (VITTI, 1966 citado por BASSINELLO et al., 2004).

Segundo Noosuk et al. (2003), algumas qualidades do arroz são determinadas pelas propriedades do amido. As proporções de amilose e amilopectina influem na viscosidade e no poder de gelificação do amido (BOBBIO e BOBBIO, 1995).

A frio, a estrutura do amido mantém-se inalterada, isto é, permanece insolúvel. Mas grandes modificações ocorrem na sua estrutura, quando o amido é aquecido na presença de água (BASSINELLO e CASTRO, 2004).

Quando o arroz é aquecido a 70-80°C em presença de excesso de água ocorrem modificações no estado físico do amido (Figura 2), conferindo à massa um aspecto gelatinoso e resultando no cozimento do arroz. A amilopectina fixa a água por ação do grupo hidrofílico e como consequência se incha, assumindo propriedades físicas de plasticidade e transparência. Estas modificações dependem da ação do calor nas ligações que impediam a abertura do grânulo de amido para permitir a entrada da água no interior da molécula (SCHOLZ e MAGRI, 2002).

Van Lengerich (1990) observou que amidos degradados são compostos de moléculas com baixo peso molecular em decorrência da dextrinização do amido. Esse fenômeno, usualmente ocorre em temperaturas elevadas. Sacchetti et al. (2004) fizeram a mesma observação para amido de arroz extrusado à temperatura de 120°C.



De um modo geral, o amido libera grupos hidrofílicos (sítios de adsorção de água – OH) durante o processo de cocção e ficam disponíveis para formar pontes de hidrogênio com a água (ASCHERI et al., 2006; GUY, 2001). Se a disponibilidade de grupos hidrofílicos for grande, o material que contém amido degradado poderá transformar-se em produtos solúveis (ASCHERI et al., 2006; CARVALHO et al., 2002; FERNANDES et al., 2002; ASCHERI et al., 2001; GUY, 2001; HWANG, 2001; CARVALHO, 2000).

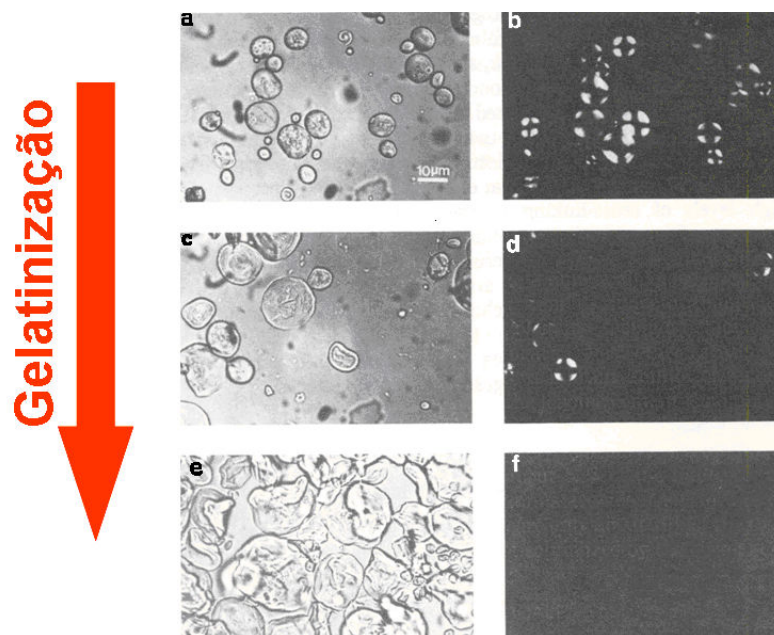


FIGURA 2 - Processo de gelatinização e birrefringência do amido (SCHOLZ e MAGRI, 2002). a) Grãos de amido inteiro numa solução aquosa à temperatura ambiente, b) se observa nitidamente a birrefringência (cruz de malta), c) A solução do amido aquecido à temperatura de gelatinização, d) eles incham e começam a perder a birrefringência, e) o amido degrada à temperatura acima da gelatinização, quebram e liberam amilose, f) perdem completamente a birrefringência.

## 2.2 ATIVIDADE DE ÁGUA

A água é, provavelmente, o fator individual que mais influi na alteração dos produtos agrícolas. Por outro lado, está perfeitamente demonstrado que materiais com o mesmo conteúdo em água alteram-se de forma distinta, do que se deduz claramente que a quantidade de água por si só não é um indicio fiel da deterioração dos produtos agrícolas. Como consequência desse fato surgiu o conceito de atividade de água ( $a_w$ ), que foi muito valorizado em estudos sobre alterações de produtos agrícolas, por estar diretamente relacionado com o crescimento e atividade metabólica dos microrganismos e com as reações hidrolíticas (ORDÓNEZ, 2005).

A utilidade da  $a_w$  foi depreciada, algumas vezes, porque nem sempre se pode prever totalmente o crescimento microbiano, já que a resposta dos microrganismos é diferente dependendo do soluto responsável pelo valor de  $a_w$ , contudo, em termos gerais, pode-se dizer que, graças a esse conceito, é possível calcular a estabilidade de muitos produtos agroindustriais, melhorar o processo de conservação e desidratação e planejar novos produtos mais estáveis (ORDÓNEZ, 2005).

A fração de água é um dos mais importantes componentes dos produtos agropecuários, afetando todas as suas propriedades físicas; entretanto, a forma como este composto altera a natureza física e interage com os demais componentes desses produtos depende das relações existentes entre o material e o meio. Quando um produto agropecuário é exposto a certa condição de umidade relativa, ele cede ou ganha água para equilibrar sua própria umidade. Isso ocorre quando a pressão de vapor de água na superfície do material se iguala à pressão de vapor de água do ar que o envolve (CORRÊA et al., 2002).

A determinação da atividade de água é uma das medidas mais importantes no processamento e análise dos produtos agropecuários “in natura” ou processados, devido à sua influência no que diz respeito à qualidade e à estabilidade do produto (CORRÊA et al., 2002). Haja vista a importância desse conceito, nas inúmeras aplicações no campo do processamento, na secagem e na armazenagem de alimentos, têm-se empregado esforços para a obtenção de equações que expressem o teor de umidade de equilíbrio ou a atividade de água para cada produto, como função das condições ambientais (LIMA et al., 2007).

Os valores de teor de umidade de equilíbrio dos produtos agropecuários dependem, principalmente, da temperatura, da umidade relativa de equilíbrio (ou atividade de água) e da espécie de produto. O histórico do produto e a maneira pela qual o equilíbrio foi obtido, também, influenciam na umidade de equilíbrio (BROOKER et al., 1992).

Comumente, dois métodos são usados para se determinar as curvas de umidade de equilíbrio (BROOKER et al., 1992): o método estático e o método dinâmico. No estático, a umidade de equilíbrio entre o produto e a atmosfera circundante é atingida sem movimentação do ar ou do material analisado. No método dinâmico, o ar ou o material é movimentado até que o equilíbrio seja atingido.

Diversos autores têm determinado essas curvas para vários produtos, utilizando um método ou outro para a obtenção dos dados experimentais. Para o estabelecimento das curvas teóricas, têm sido utilizadas relações matemáticas empíricas, uma vez que nenhum modelo teórico desenvolvido tem sido capaz de prever com precisão o teor de umidade de equilíbrio em todas as faixas de temperatura e umidade relativa do ar (BROOKER et al., 1992).

O movimento do vapor de água de um produto agropecuário para o ambiente depende tanto do produto (teor de umidade e composição) como das condições do ar (temperatura e umidade). Sob uma temperatura constante, o teor de umidade do alimento altera-se até entrar em equilíbrio com o vapor de água no ar circundante. O alimento então não ganha nem perde peso na armazenagem nessas condições. Isso é chamado de teor de umidade de equilíbrio do alimento, e a umidade relativa da atmosfera de armazenagem é conhecida como umidade relativa de equilíbrio quando diferentes valores de umidade relativa são plotados em relação ao teor de umidade de equilíbrio, obtém-se uma curva chamada isoterma de sorção de água (FELLOWS, 2006).

## **2.2.1 UMIDADE DE EQUILÍBRIO E ISOTERMAS DE SORÇÃO DE ÁGUA**

A água é um dos principais componentes dos produtos agropecuários. Mesmo em produtos desidratados, como a farinha onde ocorre em baixas proporções, é um dos mais importantes, influenciando bastante sobre as características de armazenamento (FERREIRA e PENA, 2003).

A disponibilidade da água em materiais higroscópicos é melhor indicada pela  $a_w$  ou pela umidade de equilíbrio com a umidade relativa do ar ambiente. A atividade de água e a umidade relativa, quando se estabelece o equilíbrio, são numericamente iguais (BROOKER et al., 1992).

Isotermas de adsorção descrevem a quantidade de água adsorvida por um produto, em dada temperatura, em função da  $a_w$ , ou da umidade relativa. Por meio das isotermas pode-se determinar a monocamada, a qual além de estar relacionada com o início de uma série de reações químicas de deterioração dos alimentos, representa o ponto de maior gasto de energia em um processo de secagem (FERREIRA e PENA, 2003; FADINI et al., 2006).

Inúmeros autores têm estudado o comportamento higroscópico de vários produtos agrícolas, utilizando métodos diferenciados para expressar a atividade de água em função da temperatura e do teor de umidade de equilíbrio. O estabelecimento de curvas de equilíbrio higroscópico é importante para definir limites de desidratação do produto, estimar as mudanças de umidade sob determinada condição de temperatura e umidade relativa e para definir os teores de água propícios ao início de atividade de agentes que irão provocar a deterioração do produto (CORRÊA et al., 2001).

O conhecimento e a compreensão das isotermas de sorção dos produtos agropecuários são de grande importância na área agrícola para a resolução de muitos problemas, tais como: avaliação e caracterização das ligações da água; análise do calor de sorção; otimização do

processamento, como, por exemplo, nos processos de secagem, avaliação de problemas de estocagem e embalagem, na estimativa da estabilidade microbiana, química e física dos produtos agropecuários, entre outros (DITCHFIELD, 2000).

Produtos desidratados, em contato com ar, em condições de temperatura e umidade relativa de equilíbrio (U.R.E.) constantes, adsorvem umidade do meio alcançando uma concentração de umidade conhecida como umidade de equilíbrio ( $X_e$ ). No entanto, produtos hidratados nessas mesmas condições, desorvem umidade para o meio até atingir a umidade de equilíbrio. Em geral, o termo “sorção” é designado ao fenômeno de adsorção e desorção de água que têm lugar em uma matéria quando submetida a um ambiente de temperatura e  $a_w$  controlada através de um processo de secagem ou de rehidratação (BOBBIO e BOBBIO, 2001).

Os mesmos autores citam que este fenômeno é estudado por meio das isotermas de sorção de água, que são representações gráficas da umidade de equilíbrio com diferentes valores de  $a_w$  com temperatura constante e, são chamadas de curvas de umidade de equilíbrio ou isotermas de sorção de água.

A Figura 3 mostra uma destas representações gráficas onde: em cada ponto da ordenada indica, em gramas de água por 100 g de matéria seca, o teor de água do alimento; a abscissa correspondente dá, no equilíbrio e para uma temperatura determinada, a atividade de água do alimento ou, o que é o mesmo, a umidade relativa do meio que o rodeia.

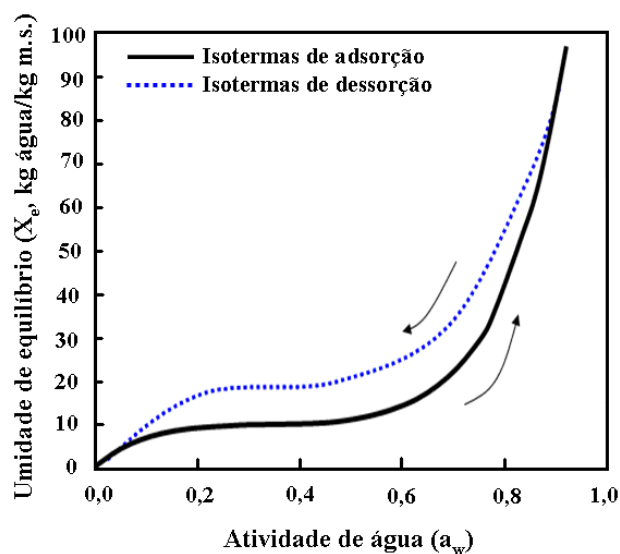


FIGURA 3 - Isotermas de adsorção e desorção de água. Fonte: Bobbio e Bobbio (2001).

Segundo Ditchfield (2000), o método mais simples para se construir uma isoterma de adsorção consiste em colocar uma amostra inicialmente seco dentro de câmaras de umidades controladas (por exemplo: dessecadores com soluções de  $a_w$  conhecidas) a uma temperatura constante, e medir-se o ganho da massa da amostra até que o equilíbrio tenha sido atingido. Ainda para o mesmo autor existem várias formas de se controlar a  $a_w$ , costumam-se utilizar soluções de ácido sulfúrico, soluções saturadas de sais e soluções insaturadas:

As soluções de ácido sulfúrico têm a vantagem de possibilitar a obtenção de valores de umidade relativa entre 0-95%, apenas pela modificação da concentração. As soluções devem ser preparadas a partir de ácido sulfúrico P.A. (puro para análise) e água destilada.

As soluções insaturadas permitem a obtenção de várias umidades relativas, utilizando-se uma única solução salina e variando-se sua concentração, a utilização mais freqüente para esse tipo de solução é para a calibração de equipamentos, uma vez que se preparadas corretamente, na concentração desejada fornecem um padrão mais confiável que as soluções saturadas de sais.

As soluções saturadas são consideradas como as mais adequadas porque podem liberar ou adsorver água sem sofrer alteração de sua umidade relativa de equilíbrio (DITCHFIELD, 2000). E é este o método recomendado por alguns autores como (ALEXANDRE et al., 2007; ASCHERI et al., 2005; CORRÊA et al., 2002; GOMES et al., 2002) para a obtenção de pontos experimentais que possam gerar isotermas de adsorção para produtos alimentícios em pó como farinhas, pelo método gravimétrico estático citado por (ASCHERI et al., 2005; CORRÊA et al., 2002).

## **2.2.2 TIPOS DE ISOTERMAS**

As isotermas de sorção de água apresentam diferentes formas. Brunauer et al. (1938) classificaram as isotermas de sorção (classificação de Brunauer-Emmett-Teller, BET) em cinco tipos gerais (Figura 4). As isotermas de sorção do tipo I e do tipo II são chamadas isotermas de Langmuir e sigmoidal ou de estrutura em S, respectivamente. Nenhum nome específico foi dado para os demais tipos de isotermas de sorção. Os tipos II e III têm uma estreita relação com os tipos IV e V, com a exceção que a máxima adsorção ocorre em pressões abaixo da pressão de vapor de água do meio.

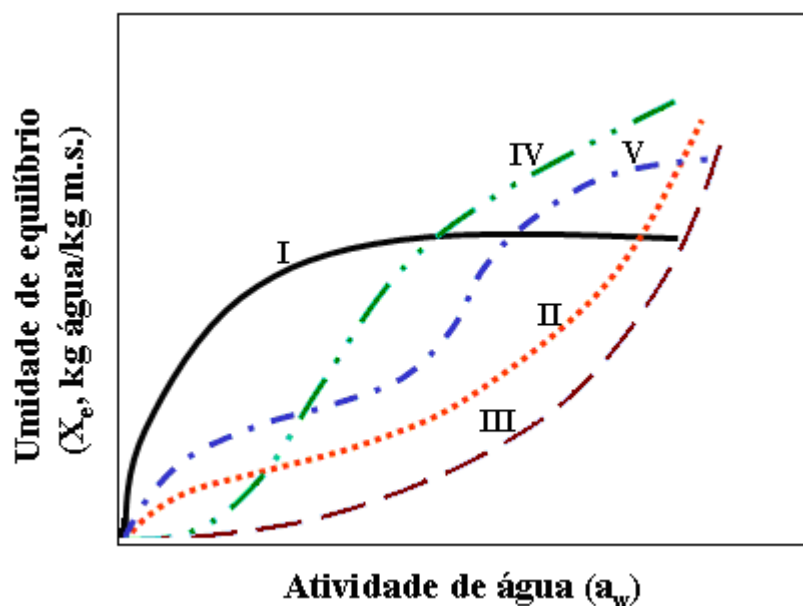


FIGURA 4 - Os cinco tipos de isothermas de sorção segundo Brunauer et al. (1938).

A Figura 4 mostra isothermas de sorção obtidas experimentalmente de substâncias que produzem isothermas de diferentes formas. São isothermas de adsorção obtidas por meio de um processo de umidificação de amostras previamente dessecadas. As isothermas de forma sigmoide são características de muitos alimentos tais como materiais protéicos ou farináceos como farinha de trigo, amidos, amidos modificados, etc. (ASCHERI et al., 2006). No entanto, alimentos tais como frutas, produtos de confeitaria e café solúvel, de elevado teor de açúcares e outras moléculas solúveis de baixo peso molecular e pobre em polímeros de alto peso molecular, exibem isothermas de sorção do tipo I (CHETANA et al., 2005).

### 2.2.3 EQUAÇÕES DE ISOTHERMAS DE SORÇÃO

Há um grande número de equações teóricas, semi-empíricas e empíricas que vem sendo propostas para estimativa da umidade de equilíbrio de produtos agropecuários. A maior vantagem da utilização de modelos matemáticos na predição de isothermas de sorção de umidade reside no fato de que com poucos pontos experimentais pode-se construir uma isoterma, a qual pode ser facilmente interpolada ou extrapolada para obtenção de pontos nas regiões de baixas e altas de  $a_w$ , pontos estes de difícil determinação experimental Pena et al. (1999).

Numerosos são os modelos com capacidade de predizer uma isoterma (Tabela 1); a maioria com equivalência entre si Boquet et al. (1980). Compilações com modelos

matemáticos amplamente utilizados na predição de isotermas são apresentadas por Chirife e Iglesias (1978) e Del Valle (1982).

TABELA 1 – Modelos matemáticos de dois e de três parâmetros de isotermas de sorção de água

| Modelo               | Referência                  | Equação                                                                                                                 |
|----------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chung & Pfo          | Chirife e Iglesias (1978)   | $X_e = \frac{1}{B} (\ln A - \ln(-\ln a_w)) \quad (1)$                                                                   |
| Halsey               | Chirife e Iglesias (1978)   | $X_e = \left( \frac{-A}{\ln a_w} \right)^{1/B} \quad (2)$                                                               |
| Oswin                | Chirife e Iglesias (1978)   | $X_e = A \cdot \left( \frac{a_w}{1-a_w} \right)^B \quad (3)$                                                            |
| GAB                  | Kapsalis (1986)             | $X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot k \cdot a_w}{(1 - k \cdot a_w) \cdot (1 - k \cdot a_w + C \cdot k \cdot a_w)} \quad (4)$ |
| B.E.T. Modificado    | Jaafar e Michalowski (1990) | $X_e = \frac{A \cdot B \cdot a_w}{(1 - C \cdot a_w) \cdot (1 + (B - C) \cdot a_w)} \quad (5)$                           |
| Henderson Modificado | Pena et al. (2000)          | $X_e = \left[ \frac{-\ln(1 - a_w)}{A \cdot B} \right]^{1/C} \quad (6)$                                                  |

A, B e C = constantes características das equações de dois e três parâmetros;  
C é a constante de Guggenheim relacionada às propriedades da monocamada e  
k é o fator que corresponde às propriedades da multicamada.  
 $X_m$  = conteúdo de umidade na monocamada molecular, kg.kg<sup>-1</sup>;  
 $X_e$  = conteúdo de umidade de equilíbrio, kg.kg<sup>-1</sup>;  
 $a_w$  – atividade de água, adimensional;

Ferreira e Pena (2003) avaliaram o comportamento higroscópico da farinha de pupunha obtida por secagem em estufa a 70 °C. Obtiveram dados de equilíbrio de adsorção nas temperaturas de 15 e 35°C, por meio do método estático em umidades relativas entre 0,11 a 0,97. Com os resultados construíram curvas de isotermas de adsorção de umidade e a umidade de equilíbrio e verificaram que a aplicabilidade do modelo de GAB na predição de dados de equilíbrio do produto era melhor do que o modelo de BET.

Costa et al. (2003) determinaram as isotermas de adsorção para o pó de beterraba, abóbora e cenoura obtidos pelo processo de leite de jorro à 25°C em atividades de águas que variou entre 0,11 e 0,94 e utilizaram o modelo matemático de GAB para a representação adequada do equilíbrio do teor de água.

Ascheri et al. (2005), estudaram as isotermas de adsorção de água e estabilidade das

farinhas de amaranto, milho e arroz. As farinhas foram obtidas por meio de extrusão termoplástica e para determinar as isotermas utilizaram o método estático gravimétrico, em temperatura de 30°C e umidades relativas variando entre 11,3 e 97,10%. As isotermas foram ajustadas a vários modelos de sorção e por meio dos testes estatísticos pertinentes, elegeram o modelo de GAB como aquele que melhor descreveu o comportamento destas farinhas e ainda com os valores da umidade na monocamada estabeleceram a estabilidade dos produtos.

Galvez et al. (2006), estudaram as isotermas de adsorção de farinha de milho, em três temperaturas estabelecidas entre 7,22 e 45°C, para uma atividade de água que variou entre 0,10 e 0,95. Os dados experimentais foram submetidos a modelos matemáticos de GAB, BET, HENDERSON, Curie, Oswin e Halsey sendo a qualidade dos ajustes avaliada mediante o coeficiente de determinação e a porcentagem de erro médio relativo (E). Concluíram que todas as equações se ajustaram corretamente aos dados para as três temperaturas de trabalho, entretanto se destacaram os modelos de GAB, Oswin e Halsey, com valores de  $R^2$  superiores a 0,96 e com E inferior a 10%.

García e Martínez (2006) em isotermas de adsorção de água de três cereais para café da manhã concluíram o modelo de GAB permitiu determinar os valores de adsorção de água dos cereais em nível da monocamada, em que o maior grau de adsorção foi para milho, seguido do trigo e finalmente arroz.

Ascheri et al. (2007) Determinaram as propriedades termodinâmicas de farinhas mistas pré-gelatinizadas de bagaço de jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) e arroz (*Oryza sativa*, L.) polido por meio de isotermas de adsorção de água que foram determinadas em atividades de água no intervalo de 0,11 a 0,84, sob temperaturas que variaram de 30 a 50 °C. Estes autores concluíram que a equação de GAB se ajustou bem às isotermas experimentais e foi utilizada para estimar as propriedades termodinâmicas de adsorção.



### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

As isotermas de adsorção de água das farinhas de arroz oriundas das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca foram determinadas no Laboratório de Propriedades Físicas de Produtos Vegetais do Curso de Engenharia Agrícola e Laboratório de Química da Unidade Universitária de Ciência e Tecnologia (UnUCET) da Universidade Estadual de Goiás em Anápolis – Goiás. As análises foram realizadas no período compreendido entre fevereiro e julho de 2008.

#### **3.1 MATERIAL**

Grãos polidos de arroz de terras altas dos cultivares BRS Primavera e BRS Monarca com umidade inicial de 10,23 e 9,13% (b.u.), respectivamente, foram cedidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Arroz e Feijão (Santo Antônio de Goiás/GO), cultivadas na fazenda Capivara, sendo a sua colheita realizada em 20/03/07.

#### **3.2 MÉTODOS**

##### **3.2.1 DESENHO EXPERIMENTAL E ELABORAÇÃO DAS FARINHAS**

Para estudar a estabilidade das farinhas pré-gelatinizadas do arroz em função da cultivar de arroz de terras altas e do tempo de cocção dos grãos de arroz, se utilizou um desenho experimental completamente casualizado com arranjo fatorial de 2 x 3 tratamentos: duas cultivares (BRS Primavera e BRS Monarca, denominados de BP e BM, respectivamente) e três tempos de cocção: 0 (amostra crua), 20 e 40 min, denominados de T0, T20 e T40, respectivamente. A fim de facilitar a discussão dos resultados, a combinação dos níveis dos fatores resultou as seguintes nomenclaturas: BPT0 e BMT0, BPT20 e BMT20 e BPT40 e BMT40 – farinhas de arroz cru (T0), farinhas de arroz cozidas a 20 min de cocção e farinhas de arroz cozidas a 40 min de aquecimento, respectivamente. O experimento teve duas repetições totalizando de 12 unidades experimentais.

Para cada tempo de cocção foi utilizado 150 g de arroz e 300 mL de água destilada. O tempo foi cronometrado logo após fervura da água e deixando a panela a meia tampa e fogo

lento. Adicionou-se mais água para completar a cocção nos tempos de 20 a 40 min, em volume de 675 e 825mL, respectivamente.

As amostras cruas e cozidas foram desidratadas em estufa FANEM a 105°C até peso constante, moídas em moinho de facas PERTEN LABORATORY MILL 3100, obtendo-se farinhas de arroz cruas e cozidas que foram identificadas e armazenadas a temperatura ambiente em plástico de baixa densidade durante três meses até que se procedessem com as análises.

As variáveis respostas foram os teores de água (Um), amido (Am) e amilose (Aml) e os parâmetros de estabilidade das farinhas: umidade de equilíbrio em termos de moles de água adsorvida por mol de resíduos de glicose (MG) e área superficial de adsorção de água (Ar) medidos por meio de isotermas de adsorção de água.

### **3.2.2 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS**

Os teores de água, amido e amilose foram determinados nos grãos de arroz das diferentes cultivares crus e cozidos nos diferentes tempos de aquecimento, cujos resultados experimentais tiveram o mesmo planejamento experimentas citado no item 3.2.1. As análises aqui descritas foram realizadas em três repetições.

#### **3.2.2.1 Teor de Água**

O teor de água foi determinado utilizando o método gravimétrico da American Association of Cereal Chemist (1969)

. Pesou-se um grama de amostra em placa de petri previamente tarada e submetida à cocção em estufa a 105°C até peso constante.

#### **3.2.2.2 Teor de Amido**

O teor de amido foi determinado segundo a técnica descrita por Cereda et al. (2004), por meio de digestão ácida em microondas. Pesou-se cerca de um grama de amostra em erlenmeyer de 250 mL. Adicionou-se 50 mL de HCl 1,0M e aquecido em microondas por 20 min. na potência máxima. Após neutralização com NaOH 10%, do hidrolisado foi determinado os açúcares redutores pelo método Lane-Enyon.

O teor de amido, porcentagem base seca, foi calculado de acordo com a Equação 7:

$$A (\%, \text{ b.s.}) = \frac{250 \times TL \times 0,9 \times 100}{\text{Leitura média} \times P A} \quad (7)$$

Em que: TL= fator de correção calculado como:  $TL = L.PG/100$ , onde L é mL da solução de glicose gastos e PG é o peso da glicose usada. PA é o peso da amostra seca e Leitura média: a leitura da titulação da amostra.

### **3.2.2.3 Teor de Amilose**

A concentração da fração amilose do amido foi determinada por meio de técnica colorimétrica, sendo a metodologia desenvolvida por Martínéz e Cuevas (1989) e adaptada pela EMBRAPA Arroz e Feijão, utilizando como indicador a solução iodo/iodeto de potássio e o complexo formado medido por espectrofotômetro no visível a um comprimento de onda de 620nm. O procedimento do padrão de amilose encontra-se no Apêndice A.

Em 100mg de amostra, já previamente moída no moinho de facas PERTEN LABORATORY MILL 3100, adicionou-se 1 mL de álcool etílico 95% e 9 mL de solução de NaOH 1,0N. Colocou-se em banho-maria a 100°C por nove minutos para gelatinizar o amido. Após atingir temperatura ambiente, transferiu-se para balão volumétrico de 100 mL, completou-se o volume com água destilada e homogeneizou-se. De cada um dos balões que contêm as amostras de amido gelatinizado, tomaram-se alíquotas de 5,0 mL com uma pipeta volumétrica, transferiu-se para balões de 100 mL e acidificou-se com 1 mL de ácido acético 1,0N. Acrescentaram-se 2 mL do indicador de iodo, que ao reagir com o amido formou-se um complexo de coloração azul; homogeneizou-se e esperou-se 30 minutos. A leitura foi efetuada no espectrofotômetro SPECTRONIC 21, Milton Roy Company, em três repetições.

Utilizaram-se como testemunhas as variedades Colômbia 1, Bluebonnet 50 e IR 8, pois apresentam teores de amilose baixo, intermediário e alto, respectivamente.

## **3.2.3 ESTABILIDADE DAS FARINHAS**

### **3.2.3.1 Determinação das isotermas de adsorção**

As curvas de isotermas de adsorção de água das farinhas de arroz foram determinadas utilizando-se do método gravimétrico estático (ASCHERI et al., 2003). Foram utilizadas soluções saturadas de Cloreto de Lítio (LiCl), Cloreto de Magnésio (MgCl<sub>2</sub>), Nitrato de Magnésio (Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), Cloreto de Sódio (NaCl), Cloreto de Potássio (KCl) e Sulfato de Potássio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) que colocadas em frascos herméticos de vidros (Figura 5) gerarão ambientes com diferentes valores de atividade de água ( $a_w$ ) entre 0,11 e 0,97 para a temperatura de 30°C (Tabela 2).

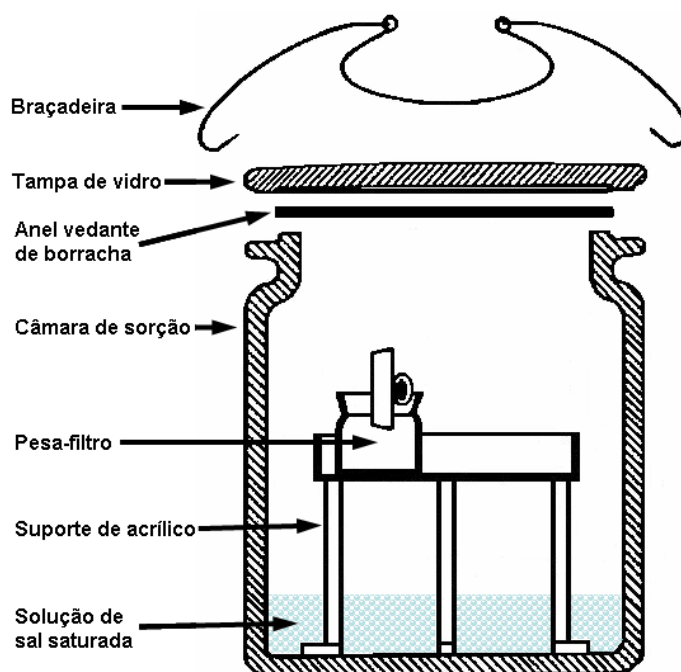


FIGURA 5 - Esquema do recipiente para determinação das isotermas de adsorção de água por meio do método estático.

TABELA 2 – Atividades de água de distintos sais saturados á temperatura de 30°C.

| Sal                                           | Atividade de água ( $a_w$ ) |
|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| LiCl                                          | 0,112                       |
| MgCl <sub>2</sub>                             | 0,323                       |
| C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> KO <sub>2</sub> | 0,216                       |
| MgCl <sub>2</sub>                             | 0,323                       |
| K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                | 0,432                       |
| Mg (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>            | 0,525                       |
| NaCl                                          | 0,752                       |
| KCl                                           | 0,844                       |
| K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                | 0,972                       |

Fonte: Greenspan (1977); Palipane e Driscoll (1992).

A determinação da massa seca ( $m_i$ ) foi realizada colocando-se aproximadamente 0,5 g da amostra em pesa-filtro de 25 mL, previamente tarado e transferido para a estufa a 75°C por aproximadamente 6 horas, em duas repetições segundo o método da AACC (1983). Seguidamente, os pesa-filtros foram colocados, sobre suporte, nos frascos contendo as soluções saturadas (Figura 5) e estes em estufa a 30°C. O processo foi acompanhado pesando-se as amostras de farinha de arroz das duas cultivares a cada 24 horas até que o equilíbrio

dinâmico fosse atingido entre a umidade relativa do ambiente do interior do recipiente e a umidade da amostra, ou seja, até não haver mais variação de massa ( $m_e$ ), detectada por meio de pesagens na balança analítica de precisão 0,001g.

Os valores de umidade de equilíbrio em gramas de água por 100 gramas de matéria seca (g água/100 m.s.) foram calculados por meio da Equação 8:

$$X_e = \frac{m_e - m_i}{m_i} \times 100 \quad (8)$$

Em que:  $m_e$  = a massa do produto no final do processo de sorção e  $m_i$  = a massa inicial.

Durante esse processo as amostras foram submetidas à inspeção visual diária para detectar quaisquer alterações perceptíveis e que pudessem influenciar na obtenção dos dados, todos os ensaios foram realizados em duplicata.

### 3.2.3.2 Estabilidade das Farinhas

Na interpretação do efeito dos fatores cultivar de arroz versus tempo de cocção sobre a estabilidade das farinhas de arroz foi definida o teor de água de equilíbrio na forma de monocamada como o teor de água correspondente à saturação de todos os sítios primários de adsorção por uma molécula de água quantificada em gramas de água por gramas de amostra seca (g água/100 m.s.).

O  $X_m$  foi determinado a partir do modelo matemático que melhor se ajustou às isotermas de adsorção de água das farinhas de arroz. Com esta variável se determinou um novo teor de água de equilíbrio em termos de moléculas de água adsorvida por molécula de glicose (MG) presentes nas farinhas segundo a relação de Mannheim e Passy (1982):

$$PM_{gli} = \frac{X_m PM_{gli}}{PM_{água} \times 100} \quad (9)$$

Em que:  $PM_{gli}$  = peso molecular da glicose (162 kg/kg mol) e  $PM_{água}$  = peso molecular da água (18 kg/kg mol).

A área superficial ( $A_{superficial}$ ) das farinhas das diferentes amostras foi calculada segundo a relação de Cadden (1988):

$$A_{superficial} = \frac{X_m N A_{H_2O}}{PM_{gli} \times 100} \quad (10)$$

Em que N= número de Avogadro ( $6,02 \cdot 10^{23}$  moléculas/kg mol) e  $A_{H_2O}$  a área superficial de uma molécula de água ( $10,6 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2$ ).

### 3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foi feita uma análise descritiva dos dados experimentais utilizados. As medidas, neste caso as médias, foram expressas em: valor  $\pm$  erro padrão. A fim de verificar os efeitos que causam os fatores do delineamento experimental utilizado se realizou-se uma análise de variância (ANOVA) em diferentes níveis de probabilidade e as respostas qualitativas significativas foram submetidas ao teste de médias de Duncan adotando-se o nível de 5% de significância. As respostas quantitativas significativas foram submetidas a análise de regressão linear e não-linear adotando o nível de significância de 5% ( $p \leq 0,05$ ) para os testes dos parâmetros da regressão (GOMES, 2000).

Das Equações 1 a 6 (Tabela 1), foram escolhidos os melhores modelos matemáticos que explicassem as variações de umidade de equilíbrio das farinhas em função da atividade de água. A adequação foi realizada utilizando a análise dos resíduos ou erros estimados. Estes valores foram obtidos pela diferença entre os valores observados e os valores estimados por um determinado modelo de regressão.

Além da análise dos resíduos, também foi aplicada uma análise de variância à regressão não-linear em nível de 5% de significância e determinados os valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), desvio percentual médio (P) e erro padrão da estimativa (EPE).

Os valores do resíduo ( $\hat{\epsilon}_i$ ), o erro médio relativo (P) e o erro médio estimado (SE) foram calculados para cada modelo matemático segundo as equações 11, 12 e 13 respectivamente do seguinte modo:

$$\hat{\epsilon}_i = y_i - \hat{y}_i \quad (11)$$

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \right) \quad (12)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (13)$$

Em que:

$n$  = número de observações experimentais;

$Y$  = valor observado experimentalmente;

$\hat{Y}$  = valor calculado pelo modelo;

GLR = graus de liberdade do modelo.

Para o desenvolvimento das análises estatísticas foi utilizado o software estatístico Statistic versão 6.0, e para encontrar os parâmetros obtidos para todos os modelos se adotou o método matemático Quase-Newton. Para a elaboração dos gráficos foi utilizado o programa Origin versão 5.0.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 EFEITO DA CULTIVAR E DO TEMPO DE COCÇÃO NOS TEORES DE AMIDO, AMILOSE E ÁGUA

A importância da quantificação dos teores de água, de amido e de amilose na estabilidade das farinhas de arroz está na relação que existe entre os sítios de adsorção de água que poderão ser formados durante o tempo de cocção dos grãos e a resistência da cultivar de arroz à degradação dos seus componentes principais.

A ANOVA da Tabela 3 mostra a significância da interação da cultivar de arroz de terras altas versus o tempo de cocção frente aos seus principais constituintes dos grãos de arroz, em nível de 0,1% de probabilidade.

TABELA 3 - ANOVA dos teores de amido, amilose e água das farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidos em diferentes tempos de cocção

| Fonte de variação | Parâmetros | Cultivar    | Tempo         | C x T                | Erro  |
|-------------------|------------|-------------|---------------|----------------------|-------|
| GL                |            | 1           | 2             | 2                    | 12    |
|                   | Amido      | 58,01       | 24,68         | 1,17                 | 0,78  |
| QM                | Amilose    | 22,45       | 13,97         | 0,41                 | 0,23  |
|                   | Água       | 54,59       | 8973,23       | 12,08                | 12,08 |
|                   | Amido      | 74,19***    | 31,56***      | 6387,23              | -     |
| F                 | Amilose    | 99,32***    | 61,83***      | 1,49 <sup>n.s.</sup> | -     |
|                   | Água       | 28861,47*** | 4744153,35*** | 1,81 <sup>n.s.</sup> | -     |
|                   | Amido      | <0,001***   | <0,001***     | <0,001***            | -     |
| P                 | Amilose    | <0,001***   | <0,001***     | p>0,05               | -     |
|                   | Água       | <0,001***   | <0,001***     | p>0,05               | -     |

G.L. = graus de liberdade;

\*\*\* Significativo ao nível de 0,1% (p<0,001).

<sup>n.s.</sup> Não significativo (p>0,05).



Os fatores tempo de cocção e cultivar de arroz afetaram os teores de amido e da amilose, a nível de 0,1% de significância ( $p < 0,001$ ), confirmado pela análise de variância da Tabela 3, onde também se observa que não ocorreu interação entre estes fatores ( $p > 0,05$ ), indicando que não existem evidências suficientes para concluir que o efeito do fator tempo de cocção depende do efeito do fator cultivar e vice-versa.

Na Tabela 4 se mostram os resultados das determinações analíticas realizadas.

TABELA 4 - Teores água, de amido e de amilose dos grãos de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca submetidos a diferentes tempos de cocção.

| Cultivar                 | Tempo (min.)             |                           |                          |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                          | 0                        | 20                        | 40                       |
| Teor de água (% b.u.)    |                          |                           |                          |
| BRS Primavera            | 10,23±0,03 <sup>cA</sup> | 75,01±0,01 <sup>bA</sup>  | 82,08±0,02 <sup>aA</sup> |
| BRS Monarca              | 9,13±0,02 <sup>cB</sup>  | 68,39±0,04 <sup>bB</sup>  | 79,35±0,03 <sup>aB</sup> |
| Teor de amilose (% b.s.) |                          |                           |                          |
| BRS Primavera            | 27,01±0,23 <sup>aA</sup> | 25,08±0,27 <sup>bA</sup>  | 23,73±0,22 <sup>cA</sup> |
| BRS Monarca              | 24,27±0,21 <sup>aB</sup> | 23,39±0,09 <sup>bB</sup>  | 21,45±0,47 <sup>cB</sup> |
| Teor de amido (% b.s.)   |                          |                           |                          |
| BRS Primavera            | 91,89±0,20 <sup>cA</sup> | 94,09±0,57 <sup>bA</sup>  | 96,73±0,23 <sup>aA</sup> |
| BRS Monarca              | 89,04±0,33 <sup>bB</sup> | 90,61±0,86 <sup>abB</sup> | 92,21±0,55 <sup>aB</sup> |

\* Médias de três repetições.

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem ao nível de 5% ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Duncan.

Os grãos crus possuem baixo teor de água (em torno de 10%, em base úmida), porém, de acordo com o teste de Duncan a nível de 5% de probabilidade (Tabela 4), a cultivar BP absorveu maior quantidade de água em todos os tempos de cocção utilizados ( $p < 0,05$ ), no entanto, de acordo com a proporcionalidade que existe entre os teores iniciais de água e os teores encontrados em T20 e T40, se observou que ambas cultivares absorveram a mesma quantidade de água, aproximadamente sete e oito vezes no T20 e no T40, respectivamente. Isto se deve ao fenômeno de gelatinização do amido cujos grânulos sofrem desarranjo molecular e perda de cristalinidade em função das variáveis combina das quantidade de água, temperatura e tempo de cocção do arroz, eles incham e absorvem água (GUY, 2001).

Se a disponibilidade de grupos hidrofílicos for grande, materiais amiláceos como arroz tornam-se produtos higroscópicos, solúveis, como é o caso de farinhas pré-gelatinizadas

(CARVALHO et al., 2002; FERNANDES, et al., 2002; ASCHERI et al., 2001; HWANG, 2001; CARVALHO, 2000).

Inicialmente, as cultivares BM e BP possuem considerável teor de amilose (24,27 e 27,01%, em base seca, respectivamente) e alto teor de amido (87,04 e 91,87 %, em base seca, respectivamente) considerando-se, neste caso, o componente majoritário das cultivares estudadas, responsável pela quantidade de água absorvida durante o tempo de cocção.

De acordo com o teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade a cultivar I possui os maiores teores de amido e de amilose em todos os tempos de cocção. Também, de acordo com esse teste de médias, o amido dos grãos de arroz cozidos por 20 min de cocção da cultivar BM não diferiu dos teores de amido dos grãos cozidos nos tempos T0 e T40 ( $p>0,05$ ), enquanto o teor de amido da cultivar BP aumento significativamente ( $p<0,05$ ) com o aumento do tempo de cocção.

Com o aumento do tempo de cocção também se pode verificar diminuição do teor de amilose. Para BP a amilose diminuiu de 27,005% para 23,728% e para BM diminuiu de 24,272% para 21,451%.

Aqui cabe ressaltar que o processo de cocção não aumenta nem diminui a composição química do arroz, porém tem um papel muito importante na liberação de seus componentes, uma vez que estes estão fortemente ligados entre si formando estruturas complexas que mesmo cozidos continuam parcialmente mantendo essa estrutura como é o caso do arroz cozido.

Contudo, ambos cultivares possuem a mesma razão de absorção água, pois possuem a mesma razão de quantidade de água absorvida por quantidade de amido ou amilose contidos nos grãos de arroz (Tabela 5).

TABELA 5 – Razão do teor de água absorvido por teor de amido ou amilose dos grãos de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca submetidos a diferentes tempos de cocção.

| Cultivar                                         | Tempo (min.) |      |      |
|--------------------------------------------------|--------------|------|------|
|                                                  | 0            | 20   | 40   |
| Teor de água/teor de amilose (g água/ g amilose) |              |      |      |
| BRS Primavera                                    | 0,38         | 2,99 | 3,46 |
| BRS Monarca                                      | 0,38         | 2,92 | 3,70 |
| Teor de água/teor de amido (g água/ g amido)     |              |      |      |
| BRS Primavera                                    | 0,11         | 0,80 | 0,85 |
| BRS Monarca                                      | 0,10         | 0,75 | 0,86 |

\* Médias de três repetições.

## 4.2 CARACTERÍSTICA DE ADSORÇÃO DE ÁGUA DAS FARINHAS

A Tabela 6 mostra os valores experimentais e respectivos erros padrão da umidade de equilíbrio, na temperatura de 30°C e valores de atividade de água que variaram de 0,112 a 0,972, das farinhas das cultivares de arroz BRS Primavera e BRS Monarca obtidas em tempo de 0 a 40 min de cocção.

Na Tabela 6 pode-se observar que, a exceto da farinha BPT20 em  $a_w$  entre 0,112 e 0,844, em todos os valores de atividade de água, com o aumento do tempo de cocção houve aumento da umidade de equilíbrio das amostras, provavelmente devido à disponibilidade dos sítios ativos de adsorção de água (grupos hidrofílicos que formam pontes de hidrogênio com a água), (BOUVIER, 2001; GUY, 2001) originados pelo desarranjo molecular do amido durante a gelatinização que podem estar contribuindo para a adsorção de água, conforme descrito por Ferreira e Pena (2003).

TABELA 6 – Valores médios e respectivos erros padrão da umidade de equilíbrio para as diferentes atividades de água das farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção.

| $a_w$ | Umidade de equilíbrio (% b.s.) |            |            |            |            |            |
|-------|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|       | BPT0                           | BPT20      | BPT40      | BMT0       | BMT20      | BMT40      |
| 0,112 | 2,81±0,06                      | 2,17±0,01  | 3,34±0,34  | 4,30±0,17  | 5,01±0,02  | 5,51±0,05  |
| 0,216 | 4,08±0,01                      | 3,33±0,23  | 4,89±0,10  | 5,78±0,10  | 6,61±0,01  | 7,13±0,10  |
| 0,323 | 5,30±0,01                      | 4,26±0,06  | 5,95±0,05  | 7,02±0,11  | 8,30±0,28  | 8,62±0,24  |
| 0,432 | 6,08±0,03                      | 5,10±0,03  | 7,02±0,08  | 8,20±0,09  | 9,68±0,07  | 10,34±0,10 |
| 0,525 | 7,28±0,15                      | 6,04±0,19  | 8,10±0,04  | 9,57±0,14  | 11,05±0,03 | 11,73±0,19 |
| 0,752 | 10,57±0,04                     | 8,96±0,13  | 11,94±0,01 | 14,41±0,17 | 17,01±0,09 | 17,56±0,34 |
| 0,844 | 13,29±0,00                     | 12,23±0,11 | 15,75±0,09 | 18,63±0,10 | 21,40±0,01 | 22,68±0,11 |
| 0,972 | 21,72±0,01                     | 22,99±0,13 | 26,37±0,00 | 29,82±0,03 | 35,94±0,01 | 35,26±0,01 |

$a_w$  = atividade de água. BPT0, BMT0, BPT 20, BMT 20, BPT 40, BMT 40 = farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em tempos de cocção de 0, 20 e 40 min, respectivamente.

#### 4.3 MODELOS PARA ESTIMATIVA DO TEOR DE ADSORÇÃO DE ÁGUA

Depois de submeter os dados experimentais aos modelos propostos na Tabela 1, tendo como base o coeficiente de determinação  $R^2$  selecionou-se os modelos de Halsey, Oswin e GAB para que se procedesse com a outras análises estatísticas. Esses modelos geralmente se aplicam muito bem a produtos farináceos.

Sendo assim ao iniciar-se nova etapa de análises empregou-se neste trabalho o modelo de Halsey (Equação 2), aplicável a diversos produtos farináceos, adaptando-se muito bem à agroindústria (BRANDELEIRO et al., 2005).

De acordo a ANOVA aplicada, a variação devida á regressão contribui significativamente para o ajuste desse modelo matemático aos dados experimentais das isotermas. A confiabilidade do ajuste foi elevado em todos os tempos de cocção e nos diferentes cultivares de arroz estudados, sendo estes muito menores que 1,0 % de probabilidade (Tabelas 7 e 8).

TABELA 7 – Análise de variância da regressão dos modelos matemáticos de adsorção de Halsey, Oswin e GAB, valor da probabilidade (p), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvio percentual médio (P) e erro padrão da estimativa (EPE) aplicados aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água das farinhas de arroz da cultivar BRS Primavera, obtidas em diferentes tempos de cocção.

| Modelo | Tempo (min) | G.L. | Q.M.    | Teste F  | P       | $R^2$ | E (%)  | EPE   |
|--------|-------------|------|---------|----------|---------|-------|--------|-------|
| Halsey | 0           | 2    | 893,68  | 714,42   | <0,01** | 0,968 | 15,576 | 1,118 |
|        | 20          | 2    | 1260,94 | 861,29   | <0,01** | 0,974 | 13,394 | 1,210 |
|        | 40          | 2    | 2373,74 | 904,23   | <0,01** | 0,976 | 12,765 | 1,620 |
| Oswin  | 0           | 2    | 899,54  | 2172,68  | <0,01** | 0,990 | 8,394  | 0,643 |
|        | 20          | 2    | 1267,85 | 2658,28  | <0,01** | 0,992 | 6,489  | 0,691 |
|        | 40          | 2    | 2386,42 | 2932,79  | <0,01** | 0,992 | 6,374  | 0,902 |
| GAB    | 0           | 3    | 601,25  | 7027,88  | <0,01** | 0,998 | 3,646  | 0,292 |
|        | 20          | 3    | 846,98  | 7654,56  | <0,01** | 0,998 | 3,908  | 0,333 |
|        | 40          | 3    | 1594,28 | 15082,74 | <0,01** | 0,998 | 2,301  | 0,325 |

TABELA 8 – Análise de variância da regressão dos modelos matemáticos de adsorção de Halsey, Oswin e GAB, valor da probabilidade (p), coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvio percentual médio (P) e erro padrão da estimativa (EPE) aplicados aos dados experimentais das isotermas de adsorção de água das farinhas de arroz da cultivar BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção.

| Modelo | Tempo (min) | G.L. | Q.M.    | Teste F  | P       | $R^2$ | E (%)  | EPE   |
|--------|-------------|------|---------|----------|---------|-------|--------|-------|
| Halsey | 0           | 2    | 849,92  | 1112,99  | <0,01** | 0,984 | 14,600 | 0,874 |
|        | 20          | 2    | 1687,09 | 720,84   | <0,01** | 0,968 | 13,718 | 1,530 |
|        | 40          | 2    | 2440,89 | 682,65   | <0,01** | 0,964 | 13,318 | 1,891 |
| Oswin  | 0           | 2    | 853,87  | 4286,95  | <0,01** | 0,996 | 6,075  | 0,446 |
|        | 20          | 2    | 1697,19 | 1889,87  | <0,01** | 0,988 | 7,381  | 0,948 |
|        | 40          | 2    | 2455,74 | 1688,35  | <0,01** | 0,986 | 7,388  | 1,206 |
| GAB    | 0           | 3    | 569,674 | 4918,75  | <0,01** | 0,996 | 5,889  | 0,340 |
|        | 20          | 3    | 1135,48 | 28542,73 | <0,01** | 0,998 | 1,640  | 0,199 |
|        | 40          | 3    | 1643,64 | 23294,02 | <0,01** | 0,998 | 1,550  | 0,266 |

Embora os valores de  $R^2$  possuam valores próximos da unidade e os valores de EPE tenderem a zero, os valores de E do modelo de Halsey estão acima do esperado, isto é, entre 12 e 16% o que torna este modelo matemático pouco satisfatório para prever os dados experimentais das isothermas de adsorção de farinhas de arroz nas condições estudadas, uma vez que, de acordo com (BARROS NETO et al., 1995; LOMAURO et al., 1985), um modelo matemático preditivo deve possuir valores de E menores de 10%.

Confirma-se este fato por meio da análise dos resíduos (Figura 6) onde se mostra que os resíduos se distribuem em forma tendenciosa, isto é, não aleatória e se deslocam de baixo para cima e os menores valores se concentram entre 5 e 10% de umidade de equilíbrio mostrados na Figura 7 onde estão os dados experimentais ajustados ao modelo de Halsey cujos parâmetros da equação estão nas Tabelas 9 e 10 para BP e BM, respectivamente.

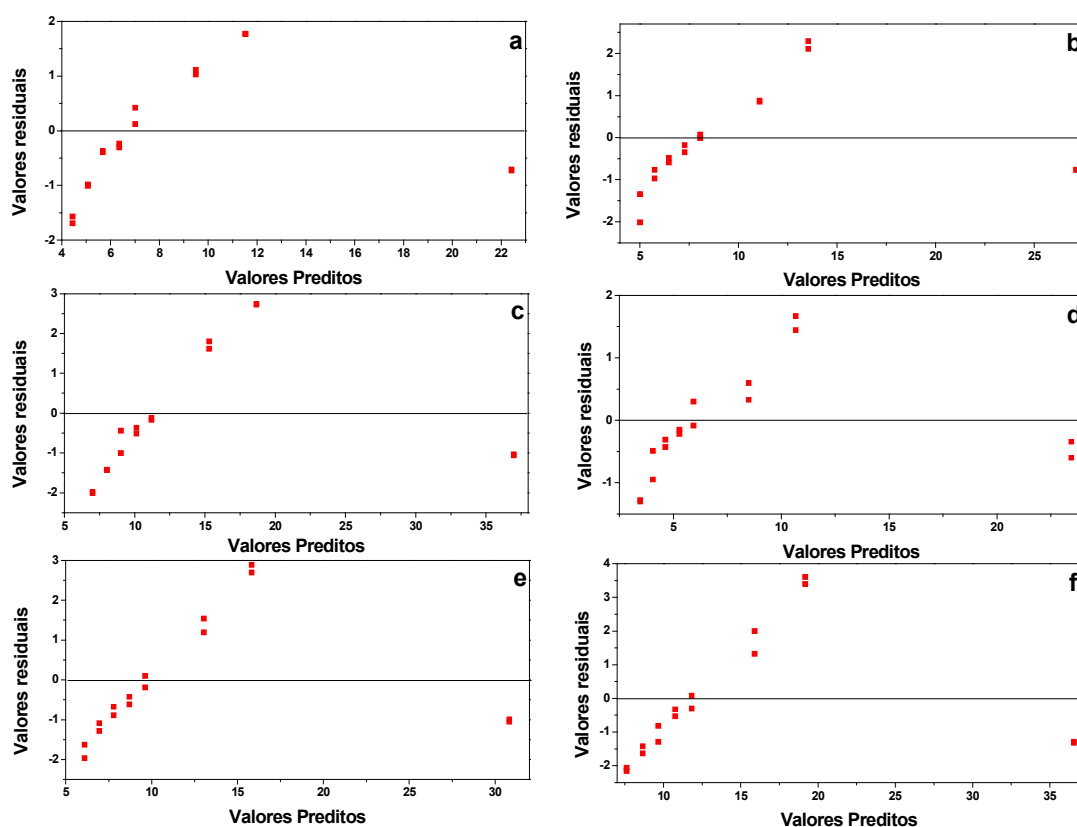


FIGURA 6 - Gráficos de resíduos versus valores ajustados do modelo matemático de Halsey para isothermas de adsorção de água de farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção: a) BPT0, b) BPT20, c) BPT40, d) BMT0, e) BMT20 e f) BMT40.

Da análise residual e pelo valor do desvio porcentual médio do modelo de Halsey pôde ser concluído que seria necessário melhorar a estimativa da umidade de equilíbrio das farinhas, isto é, deveria ser encontrada outra equação que relacione a atividade de água com a umidade de equilíbrio através de uma regressão não-linear mais adequada.

Para tentar melhorar a estimativa da umidade de equilíbrio, foi usado um segundo modelo, o modelo de adsorção de água de Oswin (Equação 3). Assim como o de Halsey, o modelo de Oswin é uma equação empírica e baseia-se na expansão matemática para curvas de forma sigmoidal (CHINNAN e BEAUCHAT, 1985; CAURIE, 1981). Este modelo matemático é capaz de ajustar bem curvas de isothermas de adsorção de alimentos protéicos e amiláceos (BOQUET et al., 1978).

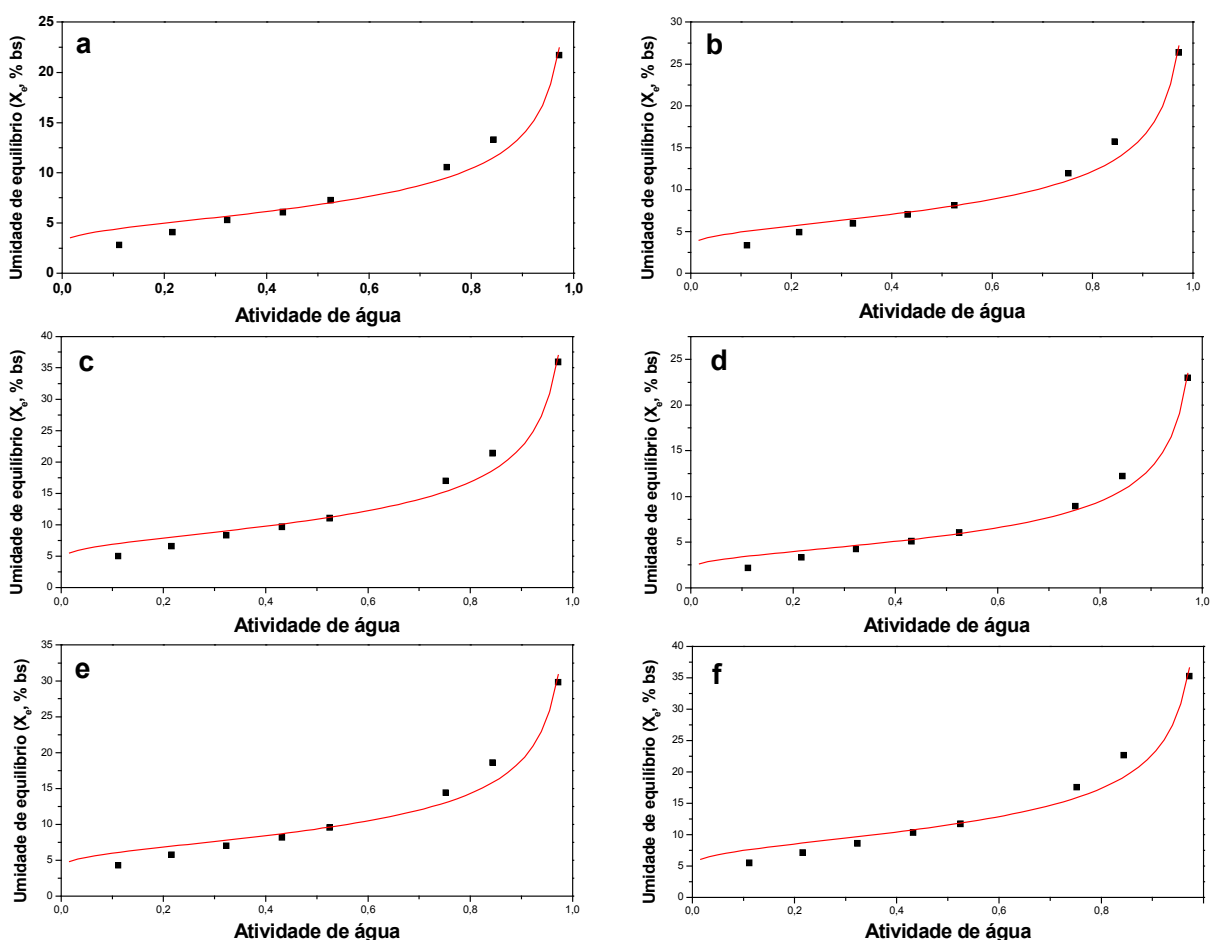


FIGURA 7 - Gráficos das isothermas de adsorção de água ajustadas ao modelo matemático de Halsey das farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção: a) BPT0, b) BPT20, c) BPT40, d) BMT0, e) BMT20 e f) BMT40.

Pelas Tabelas 7 e 8, tudo indica que o modelo de Oswin pode ajustar adequadamente as isotermas de adsorção de água das farinhas estudadas. A significância estatística  $p$  foi muito inferior de 0,1%, ou seja, o modelo de Oswin pode ser uma boa opção para o ajuste dos dados experimentais de umidade de equilíbrio em questão. Este modelo apresentou valores de  $R^2$  entre 0,986 e 0,996, valores de EPE entre 0,446 e 1,206 e valores de  $E$  entre 6,1 a 7,4%, inferiores dos 10% estabelecidos por Lomauro et al. (1985).

TABELA 9 – Valores dos parâmetros do modelo matemático de adsorção de água de Halsey à temperatura de 30°C, erro padrão, teste  $t$  e probabilidade ( $p$ ), para farinhas de arroz da cultivar BRS Primavera, obtidas em diferentes tempos de cocção.

| Tempo de cocção (min) | Parâmetro     | Erro padrão | Teste $t$ | Probabilidade ( $p$ ) |
|-----------------------|---------------|-------------|-----------|-----------------------|
| 0                     | $a = 119,828$ | 43,311      | 2,767*    | 0,015                 |
|                       | $b = 2,684$   | 0,132       | 20,262**  | > 0,01                |
| 20                    | $a = 139,307$ | 46,007      | 3,028**   | > 0,01                |
|                       | $b = 2,575$   | 0,113       | 22,799**  | > 0,01                |
| 40                    | $a = 354,923$ | 129,149     | 2,748*    | 0,016                 |
|                       | $b = 2,613$   | 0,113       | 23,165**  | > 0,01                |

TABELA 10 – Valores dos parâmetros do modelo matemático de adsorção de água de Halsey à temperatura de 30°C, erro padrão, teste  $t$  e probabilidade ( $p$ ), para farinhas de arroz da cultivar BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção.

| Tempo de cocção (min) | Parâmetro     | Erro padrão | Teste $t$ | Probabilidade ( $p$ ) |
|-----------------------|---------------|-------------|-----------|-----------------------|
| 0                     | $a = 36,742$  | 8,543       | 4,301**   | > 0,01                |
|                       | $b = 2,271$   | 0,083       | 27,510**  | > 0,01                |
| 20                    | $a = 278,178$ | 111,289     | 2,500*    | 0,025                 |
|                       | $b = 2,680$   | 0,132       | 20,371**  | > 0,01                |
| 40                    | $a = 607,788$ | 277,990     | 2,186*    | 0,046                 |
|                       | $b = 2,771$   | 0,143       | 19,408**  | > 0,01                |

Entretanto, pela análise residual da Figura 8 se pode verificar que ainda a distribuição dos resíduos é tendenciosa, porém, com pontos mais concentrados na média. Na Figura 9 observa-se que a maioria dos pontos não coincide exatamente com a curva de ajuste do



modelo de Oswin. Os parâmetros da equação estão nas Tabelas 11 e 12 para as isotermas das farinhas das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, respectivamente.

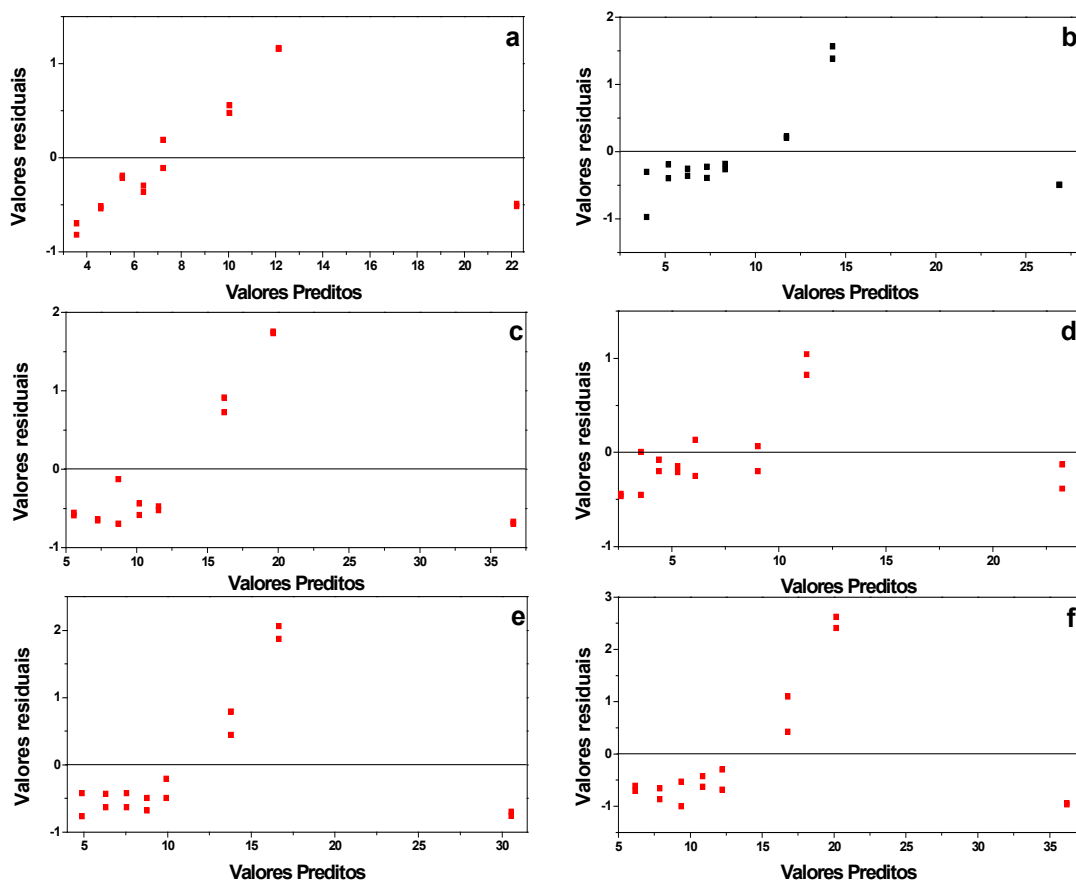


FIGURA 8 - Gráficos de resíduos versus valores ajustados do modelo matemático de Oswin para isotermas de adsorção de água de farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção: a) BPT0, b) BPT20, c) BPT40, d) BMT0, e) BMT20 e f) BMT40.

Assim, da análise residual e do valor do coeficiente de determinação, conclui-se que o modelo de adsorção de água de Oswin ainda não é adequado para estimar a variação da umidade de equilíbrio das farinhas de arroz em função da atividade de água.

Por último, empregou-se um dos modelos matemáticos de adsorção de água mais testados em produtos agroindustriais, a equação de GAB (MOURA et al., 2004; VAN DER BERG, 1984). A análise de variância da regressão não-linear, os valores da probabilidade, os coeficientes de determinação, os desvios percentuais médios e erros padrão da estimativa estão descritos nas Tabelas 7 e 8 para as cultivares BRS Primavera e BRS Monarca,

respectivamente. Os coeficientes da regressão e respectivos erros padrão, teste t e probabilidades do modelo de GAB, estão apresentados na Tabela 13 e 14.

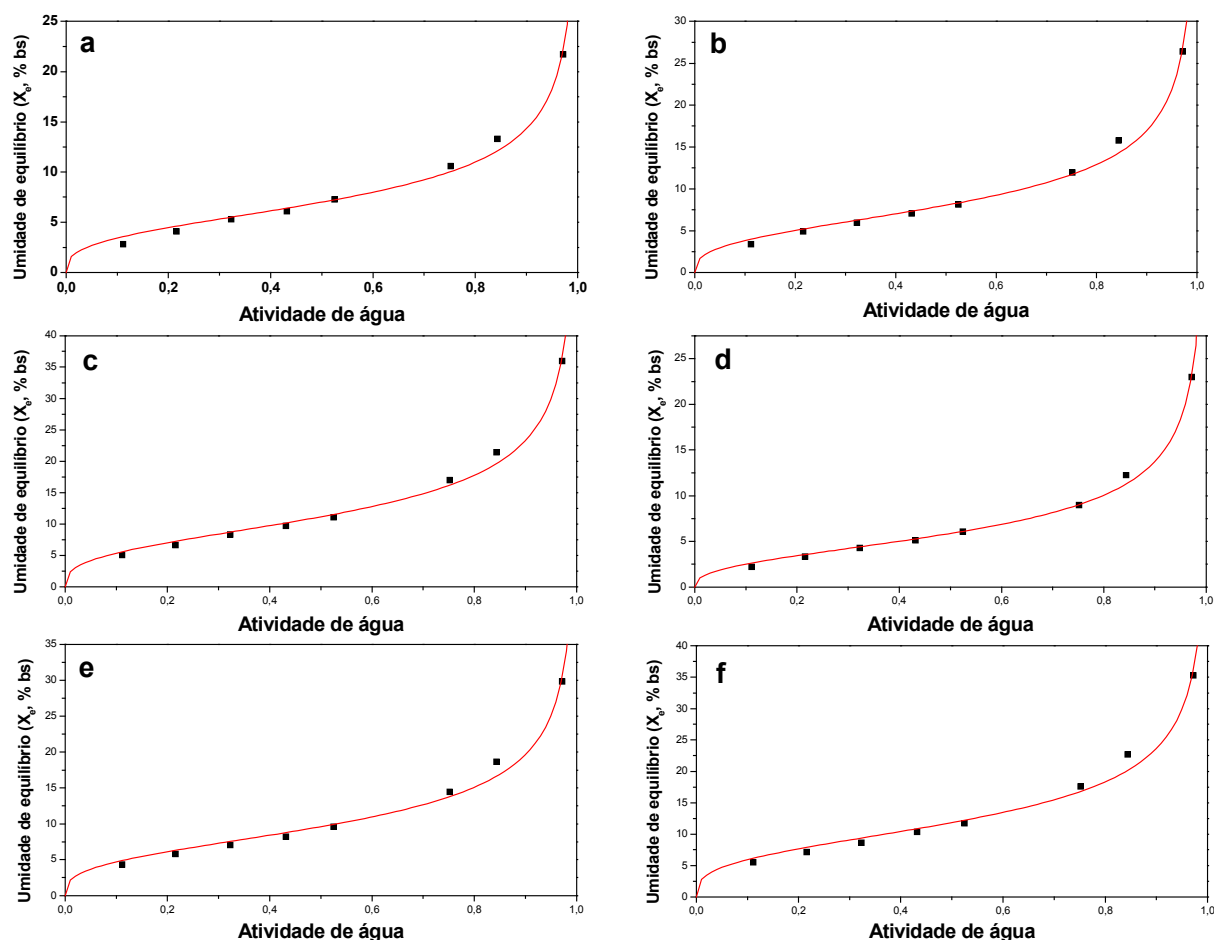


FIGURA 9 - Gráficos das isotermas de adsorção de água ajustadas ao modelo matemático de Oswin das farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção: a) BPT0, b) BPT20, c) BPT40, d) BMT0, e) BMT20 e f) BMT40.

A confiabilidade do ajuste p foi elevada sendo esta muito menor que 1,0 % de probabilidade ( $p < 0,01$ ). Os valores de  $R^2$  se encontram entre 0,996 e 0,998 e pela análise de E e EPE se constatou que seus valores são duas a cinco vezes inferiores aos valores correspondentes aos modelos de Oswin e Halsey, respectivamente. Estas análises demonstraram que o modelo de GAB se ajustou de forma semelhante à curva média dos dados experimentais de umidade de equilíbrio (Figura 10), o que pode ser confirmado pelo gráfico de dispersão dos resíduos da Figura 11 onde estes se distribuem aleatoriamente em torno da média zero e possuem variações bem inferiores aos mostrados pelos modelos de Halsey e Oswin. Portanto o modelo de GAB é mais adequado para estimar a umidade de equilíbrio das farinhas estudadas em função da atividade de água, à temperatura de 30°C.

TABELA 11 – Valores dos parâmetros do modelo matemático de adsorção de água de Oswin à temperatura de 30°C, erro padrão, teste t e probabilidade (p), para farinhas de arroz da cultivar BRS Primavera, obtidas em diferentes tempos de cocção.

| Tempo (min) | Coefficiente | Erro padrão | Teste t | Probabilidade (P) |
|-------------|--------------|-------------|---------|-------------------|
| 0           | a = 7,004    | 0,184       | 38,043  | > 0,01 **         |
|             | b = 0,325    | 0,010       | 34,201  | > 0,01 **         |
| 20          | a = 8,044    | 0,198       | 40,626  | > 0,01 **         |
|             | b = 0,340    | 0,009       | 38,723  | > 0,01 **         |
| 40          | a = 11,168   | 0,258       | 43,210  | > 0,01 **         |
|             | b = 0,335    | 0,008       | 40,353  | > 0,01 **         |

TABELA 12 – Valores dos parâmetros do modelo matemático de adsorção de água de Oswin à temperatura de 30°C, erro padrão, teste t e probabilidade (p), para farinhas de arroz da cultivar BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção.

| Tempo (min) | Coefficiente | Erro padrão | Teste t | Probabilidade (P) |
|-------------|--------------|-------------|---------|-------------------|
| 0           | a = 5,868    | 0,128       | 45,765  | > 0,01 **         |
|             | b = 0,388    | 0,007       | 52,048  | > 0,01 **         |
| 20          | a = 9,606    | 0,271       | 35,422  | > 0,01 **         |
|             | b = 0,326    | 0,010       | 31,935  | > 0,01 **         |
| 40          | a = 11,846   | 0,345       | 34,385  | > 0,01 **         |
|             | b = 0,315    | 0,011       | 29,587  | > 0,01 **         |

TABELA 13 – Valores dos parâmetros do modelo matemático de adsorção de água de GAB à temperatura de 30°C, erro padrão, teste t e probabilidade (p), para farinhas de arroz da cultivar BRS Primavera, obtidas em diferentes tempos de cocção.

| Tempo (min) | Coefficiente  | Erro padrão | Teste t | Probabilidade (P) |
|-------------|---------------|-------------|---------|-------------------|
| 0           | $X_m = 4,121$ | 0,105       | 39,212  | > 0,01 **         |
|             | $C = 20,359$  | 4,286       | 4,750   | > 0,01 **         |
|             | $k = 0,835$   | 0,005       | 154,680 | > 0,01 **         |
| 20          | $X_m = 4,519$ | 0,104       | 43,432  | > 0,01 **         |
|             | $C = 26,510$  | 6,539       | 4,054   | > 0,01 **         |
|             | $k = 0,853$   | 0,004       | 191,070 | > 0,01 **         |
| 40          | $X_m = 6,265$ | 0,102       | 61,697  | > 0,01 **         |
|             | $C = 29,862$  | 5,585       | 5,347   | > 0,01 **         |
|             | $k = 0,850$   | 0,003       | 263,889 | > 0,01 **         |

TABELA 14 – Valores dos parâmetros do modelo matemático de adsorção de água de GAB à temperatura de 30°C, erro padrão, teste t e probabilidade (p), para farinhas de arroz da cultivar BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção.

| Tempo (min) | Coefficiente  | Erro padrão | Teste t | Probabilidade (P) |
|-------------|---------------|-------------|---------|-------------------|
| 0           | $X_m = 3,165$ | 0,091       | 34,885  | > 0,01 **         |
|             | $C = 22,420$  | 7,118       | 3,150   | > 0,01 **         |
|             | $k = 0,888$   | 0,004       | 202,561 | > 0,01 **         |
| 20          | $X_m = 5,522$ | 0,067       | 82,464  | > 0,01 **         |
|             | $C = 25,782$  | 3,108       | 8,295   | > 0,01 **         |
|             | $k = 0,840$   | 0,003       | 331,216 | > 0,01 **         |
| 40          | $X_m = 6,885$ | 0,093       | 74,281  | > 0,01 **         |
|             | $C = 27,295$  | 3,659       | 7,460   | > 0,01 **         |
|             | $k = 0,830$   | 0,003       | 278,455 | > 0,01 **         |

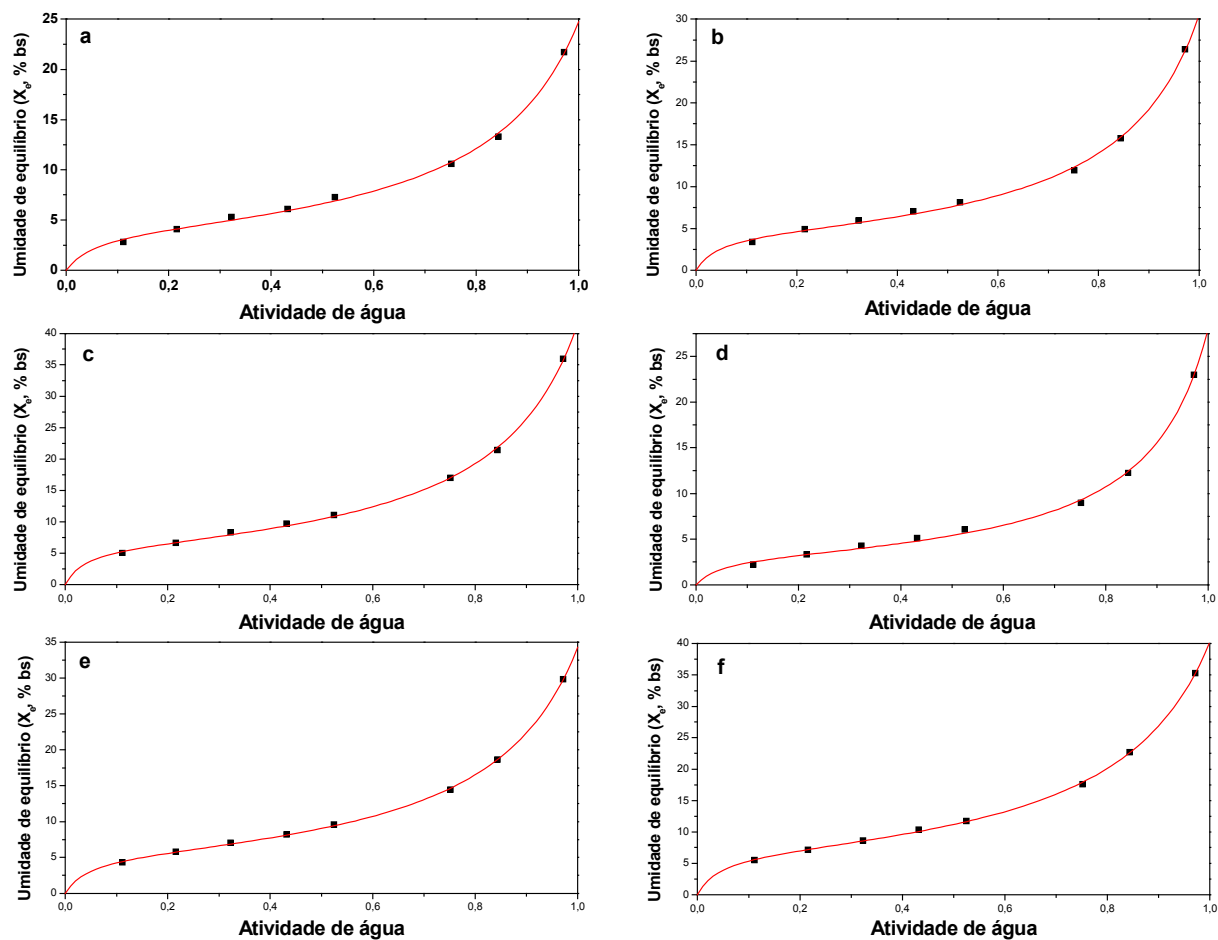


FIGURA 10 - Gráficos das isotermas de adsorção de água ajustadas ao modelo matemático de GAB das farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção: a) BPT0, b) BPT20, c) BPT40, d) BMT0, e) BMT20 e f) BMT40.

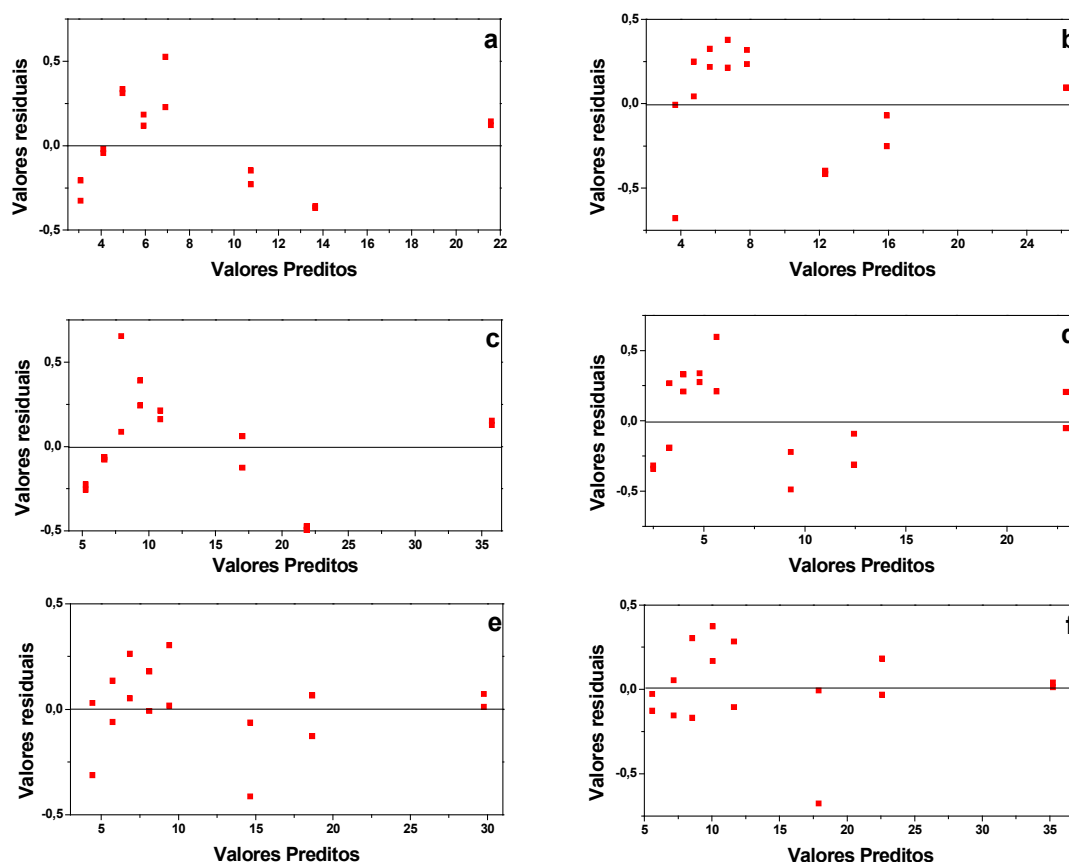


FIGURA 11 - Gráficos de resíduos versus valores ajustados do modelo matemático de GAB para isothermas de adsorção de água de farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção: a) BPT0, b) BPT20, c) BPT40, d) BMT0, e) BMT20 e f) BMT40.

Pela Figura 10 observa-se que as isothermas de adsorção de umidade evidenciaram curvas com comportamento sigmoidal, tipo II, característico de superfícies hidrofílicas de acordo com a classificação da International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC, 1985), e este mesmo comportamento foi evidenciado por Santos et al. (2004) ao estudar a adsorção de água em farinhas de mandioca temperadas.

TABELA 15. ANOVA de fator único da umidade de equilíbrio das farinhas de arroz dos cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidos em diferentes tempos de cocção.

| Farinha | Causas da variação | G.L. | Soma dos quadrados | Quadrado médio | Teste F     | Valor- <i>p</i> |
|---------|--------------------|------|--------------------|----------------|-------------|-----------------|
| BPT0    | a <sub>w</sub>     | 7    | 540,29             | 77,18          | 10654,29*** | <0,001          |
|         | Erro               | 8    | 0,06               | 0,01           |             |                 |
|         | Total              | 15   | 540,35             |                |             |                 |
| BPT20   | a <sub>w</sub>     | 7    | 805,24             | 115,03         | 3214,46***  | <0,001          |
|         | Erro               | 8    | 0,29               | 0,04           |             |                 |
|         | Total              | 15   | 805,53             |                |             |                 |
| BPT40   | a <sub>w</sub>     | 7    | 1478,39            | 211,20         | 8805,88***  | <0,001          |
|         | Erro               | 8    | 0,19               | 0,02           |             |                 |
|         | Total              | 15   | 1478,58            |                |             |                 |
| BMT0    | a <sub>w</sub>     | 7    | 650,94             | 92,99          | 2638,20***  | <0,001          |
|         | Erro               | 8    | 0,28               | 0,04           |             |                 |
|         | Total              | 15   | 651,22             |                |             |                 |
| BMT20   | a <sub>w</sub>     | 7    | 1020,00            | 145,71         | 4853,71***  | <0,001          |
|         | Erro               | 8    | 0,24               | 0,03           |             |                 |
|         | Total              | 15   | 1020,24            |                |             |                 |
| BMT40   | a <sub>w</sub>     | 7    | 1401,48            | 200,21         | 3320,76***  | <0,001          |
|         | Erro               | 8    | 0,48               | 0,06           |             |                 |
|         | Total              | 15   | 1401,96            |                |             |                 |

G.L. = graus de liberdade;

\*\*\* Muito significativo ao nível de 0,1% ( $p < 0,001$ ).

Pela ANOVA de fator único (Tabela 15) aplicada aos valores da umidade de equilíbrio para cada cultivar de arroz e respectivos tempos de cocção da Tabela 6, se constatou diferenças significativas entre as médias analisadas ( $p < 0,001$ ). Depois de alcançar o equilíbrio (entre um a três dias) nos diferentes ambientes de atividade de água à temperatura estabelecida, a umidade de equilíbrio das farinhas mostrou uma tendência de aumento com o incremento do valor da atividade de água, evidenciada estatisticamente pelo teste Duncan ao nível de 5% de probabilidade. Comportamento semelhante foi encontrado por Gomes et al. (2002) ao caracterizarem isoterma de adsorção de água da polpa de acerola, e por Pena et al. (2000) ao estudar o comportamento higroscópico do guaraná em pó. Corrêa et al. (2002)

também observaram este comportamento ao estudarem o equilíbrio higroscópico de ovo em pó, e por Ascheri et al. (2003) em farinhas de arroz solúvel.

Nas isotermas da Figura 10 observa-se três regiões bem diferenciadas. Os pontos de inflexão (respectivos valores de  $a_w$  e  $X_e$ ) de cada curva foram calculados com base na primeira derivada (Equação 14) e segunda derivada (Equação 15) do modelo de GAB. Os resultados estão na Tabela 16.

$$a_w = \frac{(C-1)^{2/3} - 1}{k \cdot \left[ (C-1) + (C-1)^{2/3} \right]}; \quad X_e = \frac{X_m}{C} \cdot \left[ (C-1)^{1/3} + 1 \right] \cdot \left[ (C-1)^{2/3} - 1 \right] \quad (14)$$

$$X_e = \frac{X_m}{C} \cdot \left[ (C-1)^{2/3} + 1 \right] \cdot \left[ (C-1)^{2/3} - 1 \right];$$

$$a_w = \frac{2 + \left( \frac{X_m}{X_e} - 1 \right) \cdot C - \left\{ \left[ 2 + \left( \frac{X_m}{X_e} - 1 \right) \cdot C \right]^2 - 4 \cdot (1 - C) \right\}^{0,5}}{2 \cdot k \cdot (1 - C)} \quad (15)$$

Pela ANOVA aplicada aos valores de umidade de equilíbrio e de atividade de água correspondentes ao primeiro e segundo ponto de inflexão (Tabela 17) se constatou que o fator cultivar de arroz não afetou os valores das atividades de água correspondentes a esses pontos de inflexão; todos os valores de  $a_w$  foram estatisticamente iguais segundo o teste de Duncan a nível de 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ), entretanto, afetou nos valores de umidade de equilíbrio, constatando-se, com o mesmo teste de médias, diferenças significativas entre as amostras no primeiro ponto de inflexão ( $p < 0,05$ ) e apenas as amostras BPT40 e BMT40 não diferiram entre si no segundo ponto de inflexão ( $p > 0,05$ ).



TABELA 16 – Valores de atividade de água ( $a_w$ ) e suas respectivas correspondentes umidades de equilíbrio ( $X_e$ ) dos pontos de inflexão das isothermas á temperatura de 30°C, para as farinhas de arroz dos cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção.

| Farinha | Primeiro ponto de inflexão |                        | Segundo ponto de inflexão |                         |
|---------|----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|
|         | $a_w$                      | $X_e$                  | $a_w$                     | $X_e$                   |
| P0      | 0,28±0,00 <sup>a</sup>     | 4,63±0,03 <sup>e</sup> | 0,73±0,01 <sup>a</sup>    | 10,33±0,19 <sup>d</sup> |
| P20     | 0,26±0,01 <sup>a</sup>     | 5,14±0,00 <sup>d</sup> | 0,76±0,04 <sup>a</sup>    | 12,80±1,16 <sup>c</sup> |
| P40     | 0,26±0,00 <sup>a</sup>     | 7,17±0,05 <sup>b</sup> | 0,78±0,00 <sup>a</sup>    | 18,37±0,14 <sup>a</sup> |
| M0      | 0,26±0,01 <sup>a</sup>     | 3,57±0,02 <sup>f</sup> | 0,71±0,03 <sup>a</sup>    | 8,29±0,63 <sup>e</sup>  |
| M20     | 0,27±0,00 <sup>a</sup>     | 6,29±0,05 <sup>c</sup> | 0,77±0,01 <sup>a</sup>    | 15,27±0,39 <sup>b</sup> |
| M40     | 0,27±0,00 <sup>a</sup>     | 7,86±0,10 <sup>a</sup> | 0,79±0,00 <sup>a</sup>    | 19,48±0,02 <sup>a</sup> |

\* Valores médios de duas repetições. Medias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Duncan.

Dessa ANOVA, podemos concluir que para um ponto estacionário no eixo de atividade de água da Figura 10, diferentes valores de umidades de equilíbrio podem ser calculados de acordo com o tipo de farinha de arroz estudada.

Maiores umidades de equilíbrio são obtidas com a cultivar BM para os tempos T20 e T40, indicando maior desarranjo molecular ocorrido no amido contido nestas amostras e, por consequência, maior a quantidades de os sítios ativos formando ponte de hidrogênio com a água do ambiente isotérmico.

As três regiões das isothermas da Figura 10 também podem ser visualizadas na Figura 12. Na primeira região das isothermas que corresponde a  $a_w$  compreendida entre 0 e 0,3, observa-se um aumento da umidade de equilíbrio com o aumento da  $a_w$ . As moléculas de água nesta região podem estar ligadas a sítios ativos por meio de ligações água-íon e água dipolo. Maiores valores de umidade de equilíbrio foram apresentadas pelas farinhas obtidas em maiores tempos de cocção, sendo ainda maiores para as farinhas da cultivar BRS Monarca.

TABELA 17 – ANOVA de fator único da umidade de equilíbrio e de atividade de água correspondentes ao primeiro e segundo ponto de inflexão das isotermas das farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca submetidas a diferentes tempos de cocção.

| Parâmetro                  | Causas da<br>variação | G.L. | Soma dos<br>quadrados | Quadrado<br>médio | Teste F               | Valor- <i>p</i> |
|----------------------------|-----------------------|------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------|
| Primeiro ponto de inflexão |                       |      |                       |                   |                       |                 |
| X <sub>e</sub>             | Farinha               | 5    | 26,241                | 5,248             | 920,857 ***           | <0,001          |
|                            | Erro                  | 6    | 0,034                 | 0,006             |                       |                 |
|                            | Total                 | 11   | 26,275                |                   |                       |                 |
| a <sub>w</sub>             | Farinha               | 5    | 0,001                 | 0,000             | 1,858 <sup>n.s.</sup> | 0,236           |
|                            | Erro                  | 6    | 0,000                 | 0,000             |                       |                 |
|                            | Total                 | 11   | 0,001                 |                   |                       |                 |
| Segundo ponto de inflexão  |                       |      |                       |                   |                       |                 |
| X <sub>e</sub>             | Farinha               | 5    | 196,453               | 39,291            | 60,556 ***            | <0,001          |
|                            | Erro                  | 6    | 3,893                 | 0,649             |                       |                 |
|                            | Total                 | 11   | 200,346               |                   |                       |                 |
| a <sub>w</sub>             | Farinha               | 5    | 0,010                 | 0,002             | 2,359 <sup>n.s.</sup> | 0,163           |
|                            | Erro                  | 6    | 0,005                 | 0,001             |                       |                 |
|                            | Total                 | 11   | 0,015                 |                   |                       |                 |

G.L. = graus de liberdade;

\*\*\* Significativo ao nível de 0,1% ( $p < 0,001$ );

<sup>n.s.</sup> não significativo ( $p > 0,05$ ).

Na segunda região das isotermas onde a  $a_w$  varia entre 0,3 e 0,8, observa-se um pequeno aumento da umidade de equilíbrio e uma ampla variação da  $a_w$ . Nesta etapa as farinhas são hidratadas por camadas sucessivas da molécula de água, retida por ligações de hidrogênio cada vez mais enfraquecidas e também por ligações do tipo Van der Waals (COSTA et al., 2003), nesta região considera-se que as moléculas de água disponíveis para reações químicas e bioquímicas são muito limitadas (MARTIN, 1991).

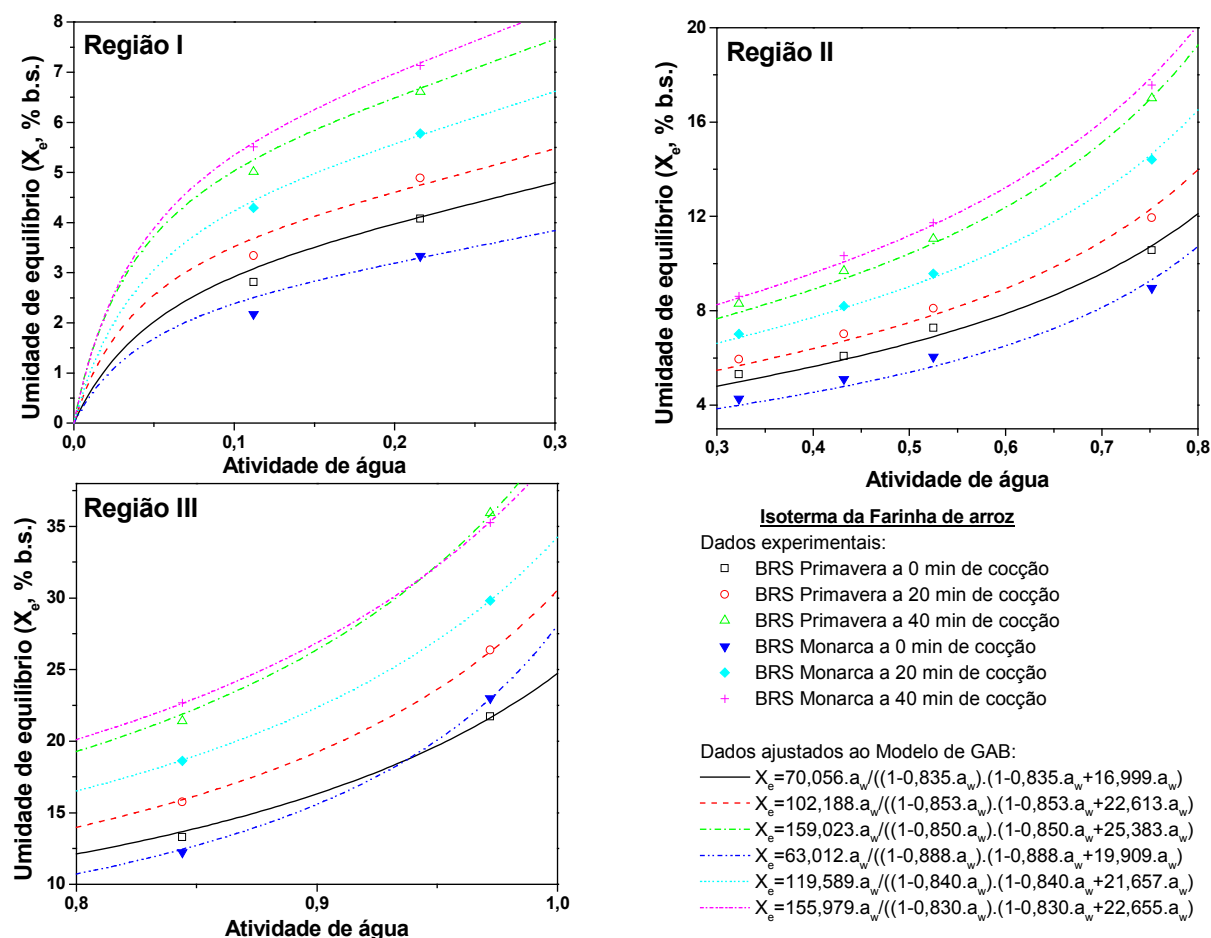


FIGURA 12 - Diferentes regiões das isotermas de adsorção de água à temperatura de 30°C de farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção.

De acordo com Labuza et al. (1985), nesta região as farinhas são consideradas altamente estáveis do ponto de vista microbiológico e, levando em consideração esta afirmação, o tempo de cocção diminui a estabilidade das farinhas na região II, sendo as farinhas obtidas nos tempos T40 as menos estáveis por possuir maiores valores de umidade e equilíbrio nessa região.

Na terceira região das isotermas, onde  $a_w$  varia de 0,8 a 1, se constata um forte aumento da umidade de equilíbrio. Este aumento é consequência da presença de substâncias solúveis e da alta porosidade do substrato. Segundo Costa et al. (2003), a água presente nesta fase está ligada por forças de natureza capilar ou osmótica. Esta água se mantém disponível para reações bioquímicas e pode comprometer o armazenamento do produto devido ao aparecimento de microrganismos sendo que os mais comuns são os fungos.

#### 4.4 ESTABILIDADE DAS FARINHAS

As pesquisas têm demonstrado que para muitos produtos agroindustriais armazenados existe um teor de água onde as perdas são mínimas. Segundo (LABUZA, 1985; CHIRIFE e IGLESIAS, 1978), esse teor de água crítico corresponde a valores de adsorção de água na monocamada das isoterma de tipo II (primeiro ponto de inflexão). Valores de teor de água acima do valor da monocamada são suficientes para influenciar as propriedades dielétricas da água, a qual se comportando como solvente para a composição química do produto armazenando, causa maior mobilidade e acelera a deterioração, dependendo da disponibilidade da água. Se o produto é altamente higroscópico, torna-se susceptível à deterioração. Pelo contrário, se o material possui elevado teor de compostos gordurosos a taxa de oxidação aumenta quando o teor de água decresce (LABUZA, 1985). Portanto, o teor de água na monocamada corresponde ao teor de água onde o produto poderá ser mais estável. Esta informação é muito importante na agroindústria para o acondicionamento e preservação do produto final com valores de umidade de equilíbrio correspondentes à monocamada, o que permitirá maximizar a vida de prateleira do produto.

Os valores do teor de água correspondente à monocamada das farinhas analisadas ( $X_m$ ) neste estudo foram determinados pelo modelo de GAB e estão nas Tabelas 13 e 14. Estes valores são particularmente importantes no armazenamento das farinhas devido a seu teor de amido, susceptível à deterioração. Uma vez que todas as farinhas contêm amido, o valor de  $X_m$  representa o único valor do teor de água em que as farinhas poderão ser mais estáveis.

Concordando com (LABUZA, 1985; IGLESIAS e CHIRIFE, 1982) e em termos de comparação da estabilidade, no presente estudo se levantou a hipótese de quanto maior a quantidade de moléculas de água presentes na monocamada menor a estabilidade das farinhas. Essa água foi quantificada com base ao  $X_m$ , porém, convertidas em moléculas de água adsorvida por moléculas de glicose presentes na farinha (Equação 1) e os resultados se mostram na Tabela 18. Além dos valores de MG, nessa tabela se mostram valores da área superficial do sítio de adsorção e as análises das médias usando o teste de Duncan a nível de 5% de significância ( $p < 0,05$ ). MG também está expressa em forma de gráfico na Figura 13.

Cabe ressaltar que a glicose é a unidade fundamental do componente majoritário do arroz que é o amido e, no presente estudo, foi considerada como os possíveis sítios ativos de adsorção de água.

TABELA 18 – Teores de água em termos de moléculas de água por moléculas de glicose correspondentes à monocamada (MG) e área superficial (Ar) dos sítios de adsorção das farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção\*.

| Cultivar de arroz                           | Tempo de cocção (min.)      |                             |                             |
|---------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                                             | 0                           | 20                          | 40                          |
| Moléculas de água/moléculas de glicose (MG) |                             |                             |                             |
| BRS Primavera                               | 0,371±0,004 <sup>cA</sup>   | 0,407±0,004 <sup>bB</sup>   | 0,564±0,004 <sup>aB</sup>   |
| BRS Monarca                                 | 0,285±0,002 <sup>cB</sup>   | 0,497±0,003 <sup>bA</sup>   | 0,620±0,010 <sup>aA</sup>   |
| Área superficial (Ar)                       |                             |                             |                             |
| BRS Primavera                               | 146,056±1,581 <sup>cA</sup> | 160,178±1,591 <sup>bB</sup> | 222,041±1,603 <sup>aB</sup> |
| BRS Monarca                                 | 112,265±0,715 <sup>cB</sup> | 195,710±1,120 <sup>bA</sup> | 244,094±3,596 <sup>aA</sup> |

\* Médias de duas repetições

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem ao nível de 5% (p<0,05) pelo teste de Duncan.

De acordo com o teste F da Tabela 19, os valores de MG e Ar variam com os fatores cultivar de arroz e tempo cocção ao nível de 1,0% de probabilidade (p<0,01). A interação mostra que a variação do teor de umidade correspondente à monocamada depende do binômio cultivar de arroz e tempo de cocção (p<0,001).

TABELA 19 – ANOVA de fator único da umidade de equilíbrio correspondente à monocamada das farinhas de arroz dos cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidos em diferentes tempos de cocção.

| Fonte de variação | G.L. | Soma dos quadrados | Quadrado médio | Teste F | Valor-P   |
|-------------------|------|--------------------|----------------|---------|-----------|
| Cultivar (C)      | 1    | 0,0012             | 0,0012         | 25,39   | 0,002**   |
| Tempo (T)         | 2    | 0,1393             | 0,0697         | 1454,26 | <0,001*** |
| C x T             | 2    | 0,0174             | 0,0087         | 181,72  | <0,001*** |
| Erro              | 6    | 0,0003             | 0,0001         |         |           |
| Total             | 11   | 0,1583             |                |         |           |

G.L. = graus de liberdade;

\*\* Significativo ao nível de 1,0% (p<0,01);

\*\*\* Significativo ao nível de 0,1% (p<0,001).

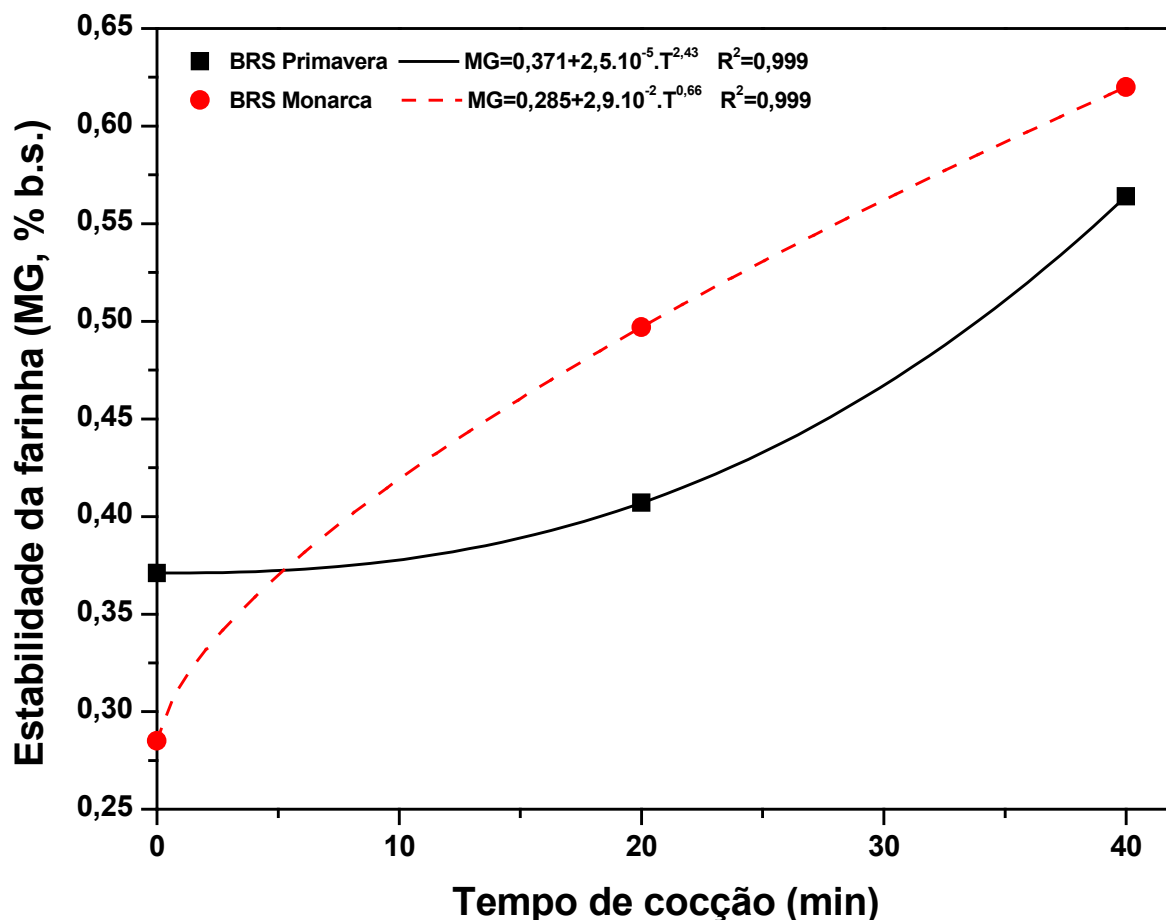


FIGURA 13 - Estabilidade das farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de cocção.

Comparando as amostras em termos de MG, pela Tabela 18 e Figura 13, vê-se que a farinha da cultivar BM adsorve inicialmente 0,285 moléculas de água por uma molécula de glicose, enquanto que a farinha da cultivar BP adsorve 0,371 moléculas de água por uma molécula de glicose. Estes valores sugerem que BMT0 é menos higroscópica que BPT0 e que poderão ter maior tempo de armazenamento quando estocados em condição semelhante a de sua camada monomolecular.

No entanto, quando submetidas a tempos de cocção prolongados os grãos de arroz da cultivar BP produzem farinhas mais estáveis por serem menos higroscópicas que as da BM, confirmada por meio das áreas superficiais de adsorção na monocamada (Tabela 18) apresentando valores de 18% e 9% menores do que das farinhas da cultivar BM cozidas nos tempos de 20 e 40 min, respectivamente.

Pela Tabela 19 e Figura 13 se pode observar que o tempo de cocção exerceu maior efeito na estabilidade das farinhas de arroz, diminuindo com o aumento do tempo de cocção.

As farinhas do cultivar BRS Primavera se destacaram por possuírem maior estabilidade adsorvendo 9 e 34 % de moléculas de água por 100 moléculas de glicose nos tempos de 20 e 40 min de cocção, respectivamente. Nesses mesmos tempos, as farinhas do cultivar BRS Monarca adsorveram 4,7 (42%) e 1,6 (54%) vezes mais moléculas de água por 100 moléculas de glicose.

A estabilidade das farinhas estudadas apresentou boa correlação com os teores de amido e amilose (Figura 14). Os coeficiente de correlação de MG x Am e MG x Aml, para BP e BM foram de 0,910 e -0,988 e 0,901 e -0,935, respectivamente. Os valores de MG aumentaram e diminuíram com o aumento e a diminuição do teor de amido e amilose, respectivamente, sugerindo que quanto maior é o teor de amido e menor o teor de amilose menor será a estabilidade das farinhas durante o armazenamento.

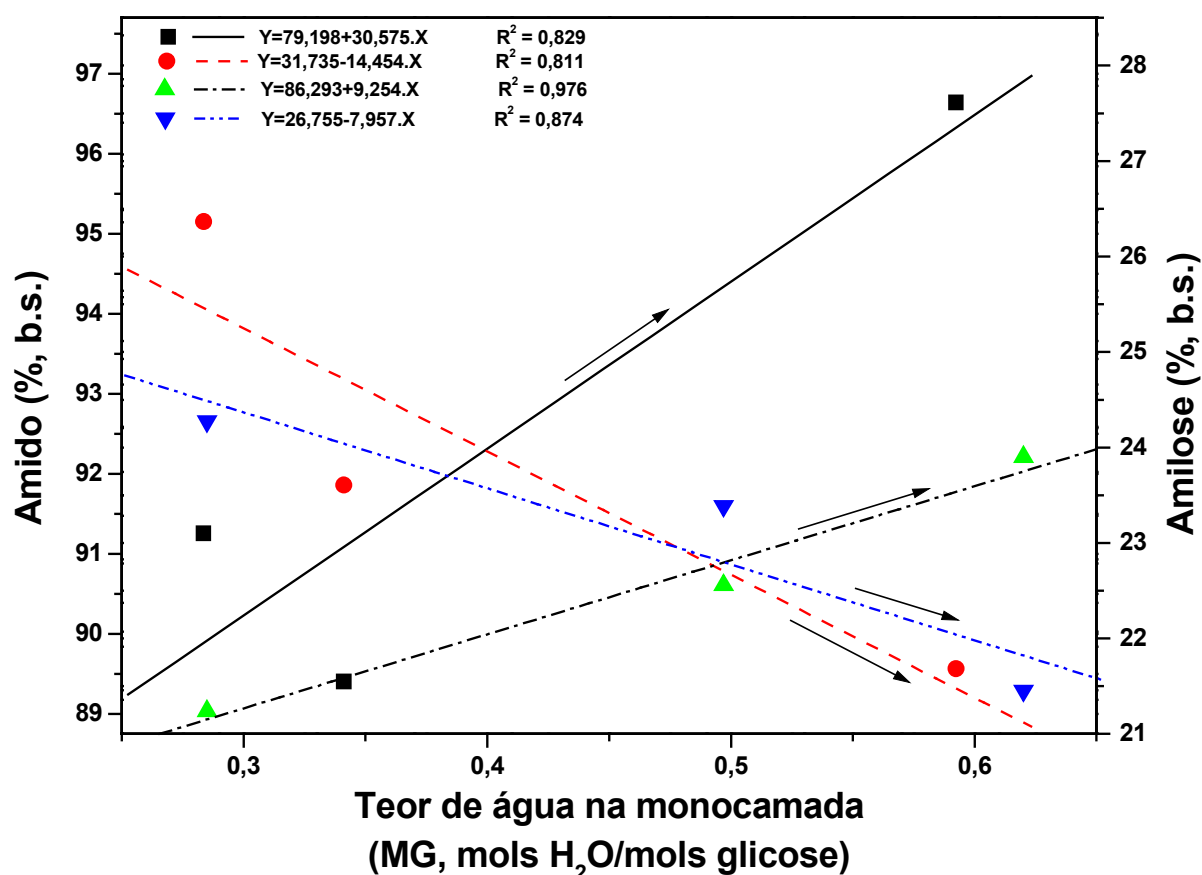


FIGURA 14 - Gráficos da relação entre o teor de água monomolecular versus teor de amido e teor de amilose contidos nas farinhas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca, obtidas em diferentes tempos de

## 5 CONCLUSÃO

A cultivar e o tempo de cocção não dependem entre si na variação da quantidade de água absorvida pelos grãos do arroz e dos teores de amido e amilose das farinhas. Os grãos de arroz da cultivar BRS Primavera absorvem maior quantidade de água e as farinhas elaboradas possuem maiores teores de amido e amilose em todos os tempos de cocção aplicados. Em ambas cultivares se detectam aumento do teor de amido e diminuição do teor de amilose e absorvem a mesma proporção de água em função do tempo de cocção.

A cocção disponibiliza maior quantidade de sítios de adsorção de água e quanto maior o tempo de cocção maior o teor de água de equilíbrio das farinhas de arroz.

As isotermas de adsorção de água das farinhas de arroz possuem forma sigmoideal do tipo II e são bem ajustadas pelas equações de GAB e Oswin.

Com base nas isotermas de adsorção das farinhas de arroz estudadas e nos valores de teor de água na monocamada, a cultivar BRS Primavera é aquela que apresenta maior estabilidade frente ao armazenamento mesmo quando submetida a algum tratamento e a cultivar BRS Monarca poderá ser mais bem aproveitada quando seu subproduto for feito da farinha crua.

A equação de GAB sugere que, nas condições estudadas, o armazenamento para esses produtos à temperatura de 30°C a umidade relativa ambiente deve estar entre 60,2 e 70%, considerando esse intervalo seguro para um armazenamento livre de ataque microbiano.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRE, H. V.; FIQUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de biologia e ciências da terra**, v. 7, n. 1, p. 11-20, 2007.

AMATO, G. W.; CARVALHO, J. L. V.; SILVEIRA, F. S. **Arroz parboilizado: tecnologia limpa, produto nobre**. Porto Alegre: Ricaro Lenz, 2002. 240 p.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. **Saint Paul**, v. 1, 1983.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. 7.ed., **Saint Paul**: MN, v. 2, 1969.

ARAÚJO, N. C.; **Resposta Técnica**. Alimentos e Bebidas. Ministério da Ciência e Tecnologia. Sistema Brasileiro de respostas Técnicas. CETEC. Minas Gerais, 2005. (Parecer Técnico apresentado ao SENAI, Rio Grande do Sul).

ASCHERI, D. P. R.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. P. W.; DEVILLA, I. A. Propriedades termodinâmicas de adsorção de água de farinhas mistas pré-gelatinizadas de bagaço de jabuticaba e arroz: efeito dos parâmetros de extrusão. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, v. 10, n. 3, p. 183-193, 2007.

ASCHERI, D. P. R.; ANDRADE, C. T.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R. Obtenção de farinhas mistas pré-gelatinizadas a partir de arroz e bagaço de jabuticaba. Efeito das variáveis de extrusão nas propriedades de pasta. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 24, n. 1, p.115-144, 2006.

ASCHERI, D. P. R.; RIBEIRO, M. M.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Isotermas de adsorción de água y estabilidad de harinas extruídas de amaranto, arroz y maíz: estufio comparativo. **Alimentaria**, Madrid, n. 363, p. 100-107, 2005.

ASCHERI, D. P. R., NASCIMENTO, G. C., ASCHERI, J. L. R. Características de adsorción de agua de la harina de arroz soluble a varias temperaturas. **Alimentaria**, Madrid, v. 4 349, p. 111-119, 2003.

ASCHERI, J. L. R.; MENDONÇA, X. M. F. D.; ASCHERI, D. P. R. Efecto de la adición de aislado proteico de soya en las propiedades físico-químicas de pellets de harina de arroz. **Alimentaria**, Madrid, v. 38, n. 319, p. 53 – 61, 2001.

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

BARROS NETO, B.; SCARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas: Editora da UNICAMP, 1995. 299p.

BASSINELLO, P. Z.; CASTRO, E. M. Arroz como Alimento. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 25, n. 222, p.108, 2004.

BASSINELLO, P. Z.; ROCHA, M. S.; COBUCCI, R. M. A. Avaliação de Diferentes Métodos de Cocção de Arroz de Terras Altas para Teste Sensorial. Comunicado Técnico 84. Embrapa Arroz e Feijão – Santo Antonio de Goiás, p. 1-8, 2004.

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

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. 2ª ed, São Paulo: Livraria Varela, 1995. 223p.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 3ª ed. São Paulo: Livraria Varella, 2001. 223p.

BOQUET, R.; CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. On the equivalence of isotherm equations. **Journal of Food Technology**, v. 15, p. 345-349, 1980.

BOQUET, R.; CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Equation for fitting water sorption isotherms of foods: Part II: Evaluation of various two-parameter models. **Journal of Food Technology**, v. 13, p. 319-327, 1978.

BOUVIER, J. M. Breakfast cereals. In: GUY, R. **Extrusion cooking**. Boca Raton: Woodhead Publishing Limited, 2001. p. 135-160.

BRANDELEIRO, R. P. H.; VIEIRA, A. P.; TELIS, V. R. N.; ROMERO-TELIS, J.; YAMASHITA, F. Aplicação de revestimentos comestíveis em abacaxis processados por métodos combinados: Isotermas de sorção e cinética de desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 2, p. 285-290, 2005.

BRASIL. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001: Regulamento Técnico sobre os padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, 02-01-2001, 54 p. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 13 de dez. 2008.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; Hall, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport: The AVI Publishing Company, 1992. 450p.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layer. **Journal of American Chemistry Society**, v. 60, n. 1, p. 309-312, 1938.

CADDEN, A. M. Moisture sorption characteristics of several food fibers. **Journal of Food**, v. 53, p. 1150-5. 1988.

CARVALHO, R. V. **Formulações de snacks de terceira geração por extrusão: caracterização texturométrica e microestrutural**. 2000. 88p. (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CARVALHO, R. V.; ASCHERI, J. R. A.; CAL-VIDAL, J. Efeito dos parâmetros de extrusão nas propriedades físicas de pellets (3g) de misturas de farinhas de trigo, arroz e banana. **Ciências Agrotécnica**, v. 26, n. 5, p. 1006-1018, 2002.

CASTRO, E. M.; VIEIRA, N. R. A.; RABELO, R. R.; SILVA, S. F. **Qualidade de Grãos em Arroz**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 30p.

CAURIE, M. Derivation of full range moisture sorption isotherms. In: ROCKLAND, L. B.; STEWART, G. F. **Water activity: influences on food quality**. New York: Academic Press, 1981. p. 63-87.

CEREDA, M. P.; DAIUTO, E. R.; VILPOUX, O. Metodologia de determinação de amido digestão ácida em microondas. **ABAM**, v. 2, n. 8, 2004.

CHETANA, R.; SRINIVASA, P. C.; REDDY, S. R. Y. Moisture sorption characteristics of milk burfi, an traditional Indian sweet, using sugar substitutes. **European Food Research and Technology**, v. 220, n. 2, p. 136-141, 2005.

CHINNAN, M. S.; BEAUCHAT, L. R. Sorption isotherms of whole cowpeas and flours. **Lebensmittel- Issenschaft & Technologie**, v.18, p.83-85, 1985.

CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods: Part 1 - a review. **Journal of Food Technology**, v. 13, p. 159-174, 1978.

CORRÊA, P. C.; JUNIOR, P. C. A.; ANDRADES, E. T. Modelagem matemática da atividade de água em polpa crítica peletizada. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.2, p.283-287. 2001.

CORRÊA, P. C.; JUNIOR, P. C. A.; STRINGHETA, P. C.; CARDOSO, J. B. Equilíbrio Higroscópico e Atividade de Água para o Ovo Integral Processado em "Spray Dryer". **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 15-22, 2002.

COSTA, J. M. C.; MEDEIROS, M. F. D.; MATA, A. L. M. L. Isotermas de adsorção de pós de beterraba (*Beta vulgaris L.*), abóbora (*Curcubita moschata*) e cenoura (*Daucus carota*) obtidos pelo processo de secagem em leito de jorro: estudo comparativo. **Revista ciência Agrônômica**, Natal, v. 4, n. 1, p. 5-8. 2003.

DEL VALLE, F. R. **Efecto de la actividad del agua sobre la conservación de la calidad de los alimentos**. In: SEMINÁRIO LATINOAMERICANO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 4, 1982, Campinas. **Anais**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 1982. s. p.

DEOBALD, H. J. Rice flours. In: HOUSTON, D. F. (Ed.). **Rice: chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemistry (AACC), 1972. p. 264-269.

DITCHFIELD, C. **Estudo dos métodos para medida da atividade de água**. 2000. 195p. (Mestrado em Engenharia Química) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo SP.

DORS, C. G.; CASTIGLIONI, G. L.; RUIZ, W. A. Utilização da Farinha de Arroz na elaboração de Sobremesa. **Vetor**, Rio grande, v. 16, n. 2, p. 63-64, 2006.

FADINI, A. L.; SILVA, P. M. P.; JARDIM, D. C. P.; VISSOTO, F. Z.; QUEIROZ, M. B.; BATISTA, G.; Isotermas de Sorção de Umidade e Estudo de Estabilidade de Macadâmias Drageadas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 9, p. 83-88, 2006.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos. Princípios e Prática**. 2ª Ed.. Porto Alegre: Editora Artmed. 2006. 561p.

FERNANDES, M. S.; WANG, S. H.; ASCHERI, J. L. R.; OLIVEIRA, M. F.; COSTA, S. A. J. Produtos extrusados expandidos de misturas de canjiquinha e soja para uso como petiscos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 10, p. 1495-1501, 2002.

FERREIRA, C. D.; PENA, R. S. Comportamento Higroscópico da Farinha de Pupunha (*bactris gasipaes*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, n. 23, v. 2, p. 251-255, 2003.

FERREIRA, C. M.; YOKOYAMA, L. P. **Cadeia Produtiva do Arroz na Região Centro-Oeste**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999.110p.

**FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO)**. Statistical Databases Agriculture, 2005. Disponível em: <<http://apps.fao.org/page/collections?subset=agriculture>> Acesso Em: 10 julho 2008.

GALERA, J. S. **Substituição parcial da farinha de trigo por farinha de arroz (*Oryza sativa* L.) na produção de sonho – estudo modelo**. 2006. 99p. (Mestrado em ciências dos alimentos área de bromatologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

GALVEZ, A. V.; ARAVENA, E. L.; MONDACA, R. L. Isotermas de adsorción em Harina de Maiz (*Zea mays* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 4, p. 821-827, 2006.

GARCÍA, F. A. Farinha de arroz: bom para quem produz, bom para quem consome. **ARROZ BRASILEIRO**. 2007. Disponível em: <<http://www.arroz.agr.br/site/arrozfoco>>. Acesso em: 12 dez. 2008.

GARCÍA, F. P.; MARTÍNEZ, A. J. G. Evaluación de las isotermas de sorción en cereales para desayuno. **Superficies y Vacío**, v. 19, n. 1, p. 12-19, 2006.

GOMES, F. P. **Curso de Estatística Experimental**. 12<sup>a</sup> ed., São Paulo: ESALQ/USP, 2000. 467p.

GOMES, P. M. A.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Caracterização e isotermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó. **Revista brasileira de produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 157-165, 2002.

GONZÁLEZ, R. J.; LIVORE, A.; PONS, B. Physico-Chemical and Cooking Characteristics of Some Rice Varieties. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, n. 1, p. 71-76, 2004.

GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **Journal Res. Nat. Bur. of standards**, v. 81A, n. 1, p. 89-96, 1977.

GUY, R. Snack foods. In: GUY, R. **Extrusion cooking**. Boca Raton: Woodhead Publishing Limited, 2001. cap. 8, p. 161-181.

HWANG, J. K. Production of functional carbohydrates by the extrusion reactor. **Food Science and Biotechnology**, v. 10, n. 4, p. 455-459, 2001.

IGLESIAS, H.A.; CHIRIFE, J. **Handbook of food isotherms**. New York. Academia Press: 1982.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz, métodos químicos e físicos para análises de alimentos**. 4<sup>a</sup> ed. São Paulo, 2005.

INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED OF CHEMISTRY – IUPAQ. Reporting physisorption data for gas/solid systems. **Pure and Applied Chemistry**, v. 57, n. 4, p. 603-619, 1985.

JAAFAR, F.; MICHALOWSKI, S. Modified BET equation for sorption/desorption isotherms. **Drying Technology**, v. 8, n. 4, p. 811-827, 1990.

JULIANO, B. O. A simplified assay for millied-rice amylose. **Cereal Science Today**, St. Paul, v. 16, n. 10, p. 334-340, 1971.

KAPSALIS, J. G. Influences of hysteresis and temperature on moisture sorption isotherms. In: ROCKLAND, L. B.; BEUCHAT, L. R. **Water activity: theory and applications to food**. New York: Marcel Dekker, 1986. cap. 9, p. 173-213.

LABUZA, T. P.; KAAUANE, A.; CHEN, J. Y. Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. **Journal of Food Science**. London, v. 50, p. 385-391, 1985.

LIMA, E. E.; SILVA, A. S.; MELO, K. S.; ALVES, N. M. C.; DANTAS, H. J. **Utilização de Modelos Matemáticos para Estimar as Isotermas de Adsorção das Folhas Desidratadas do Coentro**. II JORNADA NACIONAL DA AGROINDÚSTRIA. Bananeiras, 2007. p. 2.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Parte I: fruit vegetable and meat products. **Lebensmittel Wissenschaft und Technology**, v. 18, n. 2, p. 111-117, 1985.

LOPES, C. C. **Estudo do mecanismo de quebra dos grãos de arroz**. Campinas, 1989. 128 p. (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MANNHEIM, C. H.; PASSY, N. Flow properties and water sorption of food powders I. Starches, **Lebensmittel Wissenschaft und Technology**, v. 15, n. 4, p. 216 – 221, 1982.

MARTIN, G. L'eau dans les céréales. In: GODON, B.; WILLIM, C. **Les industries de premier transformation des céréales**. Paris: Technique et Documentation Lavoisier, 1991. p.155-156.

MARTÍNEZ, C.; CUEVAS, F. **Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz: guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad auditutorial sobre el mismo tema**. 3ª ed, Cali: Centro Internacional de agricultura tropical, 1989. 73 p.

MOURA, R. S. F.; GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, A. C.; SOUSA, A. G. S.; SILVA, M. M.; OLIVEIRA, A. M. V. O. Modelagem matemática para isotermas de polpa de caju. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, n. 2, p. 1-11, 2004.

NOOSUK, P.; HILLB, S. E.; PRADIPASENAC, P.; MITCHELL, J. R. Structure-Viscosity Relationships for Thai Rice Starches. **Starch/Stärke**, v. 55, n. 8, p. 337–344, 2003.

ORDÓÑEZ, J. A.; **Tecnologia de Alimentos. Componentes dos Alimentos e Processos**. v. 1, Porto Alegre: Editora Artmed, , 2005. 295p.

ORMENESE, R. C. S. C.; CHANG, Y. K. Massas alimentícias de arroz: uma revisão. **Boletim CEPPA**, Curitiba; v. 20, n. 2; p. 175–190, 2002.

PALIPANE, K. B.; DRISCOLL, R. H. Moisture sorption characteristics of in-shell macadamia nuts. **Journal Food Engineering**, v. 18, n. 1, p. 63-76, 1992.

PARICHA, P. C.; RITH, A. M.; SAHOO, J. K. Studies on the higroscopic equilibrium and viability of rice stored under various relative humidities. **Seed Research**, New Delhi, v. 5, n. 1, p. 1-5, 1977.

PASSOS, S. M. G.; FILHO, V. C.; JOSÉ, A. **Principais culturas (1)**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1995.402p.

PENA, R. S.; RIBEIRO, C. C.; GRANDI, J. G. Aplicação de modelos matemáticos bi e tri-paramétricos na predição de isothermas de adsorção de umidade do guaraná (*Paullinia cupana*) em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 1, p. 8 – 11 2000.

PENA, R. S.; RIBEIRO, C. C.; GRANDI, J. G.; **Aplicação de modelos matemáticos bi e tri-paramétricos na predição de isothermas de adsorção de umidade do guaraná (*Paullinia cupana*) em pó**, Belém:UFPA, p.3-5, 1999.

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

PRIMAVESI, A. B. **Cultura do Arroz. ABC do Lavrador Prático**. nº 65. São Paulo: Edições Melhoramento., 1991. 23p.

SACCHETTI, G.; PINNAVAIA, G. G.; GUIDOLIN, E., DALLA ROSA, M. Effects of extrusion temperature and feed composition on the functional, physical and sensory properties of chestnut and rice flour-based snack-like products. **Food Research International**, v. 37, p. 527-534, 2004.

SANTOS, F. S. S.; FIQUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isothermas de adsorção de umidade de farinhas de mandioca temperadas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 149-155. 2004.

SCADE, J. **Cereales**. Espanha. Editora Acribia S.A., 1981. 76p.

SCHOLZ, M. B. S.; MAGRI, T. B. Tempo de cozimento de cultivares e linhagens de arroz irrigado. In: 1º Congresso da Cadeia Produtiva de Arroz / VII Reunião Nacional de Pesquisa de Arroz – RENAPA. Volume 1. Florianópolis. **Anais**, 2002. p. 51-53.

VAN DER BERG, C. Description of water activity of foods for engineering purposes by means of the GAB model of sorption. In: MCKENNA, B.M. (Ed.). **Engineering and Food**. London: Elsevier Applied Science, v. 1, p. 21-31, 1984.

VAN Lengerich, B. Influence of extrusion processing on in-line rheological behavior, structure, and function of wheat starch. In: FARIDI, H.; FAUBION, J. M. **Dough Rheology and baked product texture**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. p. 421.



VIEIRA, N. R. A.; SANTOS, A. B.; SANTANA, E. P.; **A Cultura do Arroz no Brasil**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 633p.

VITTI, P. A. Viscosidade do amido e sua importância nos alimentos. **Boletim do Centro Tropical de Pesquisa e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, n. 8, p. 69-83, 1966.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A

### CONSTRUÇÃO DA CURVA DE CALIBRAÇÃO

Antes de fazer a leitura de absorbância, deve ser construída a curva padrão de amilose. Esta curva é obtida utilizando-se diversas diluições de amilose pura comercial e seguindo um procedimento similar ao realizado com as amostras de arroz, segundo Martínéz e Cuevas (1989).

Inicialmente foram pesados 40 mg de amilose e colocados em balões de 100 mL. Foram seguidos os mesmos passos realizados para gelatinizar o amido das amostras de arroz. Depois de gelatinizado o amido e completado o volume do balão, foram pipetadas alíquotas de 2, 3, 4, 5 e 6 mL e transferidas para os balões de 100 mL, obtendo-se cinco diluições da solução padrão. Depois foram colocados 0.4, 0.6, 0.8, 1 e 1.2 mL de ácido acético respectivamente e 0.8, 1.2, 1.6, 2.0 e 2.4 mL de iodo. Foram completados os balões com água destilada, agitados e deixados em repouso por 30 minutos, antes de realizar as leituras. Utilizando-se o espectrofotômetro a um comprimento de onda a 620 nm foi lida a absorção de luz de cada uma das diluições da solução padrão.

Para a construção da curva padrão, colocou-se no eixo x (abscissa) a concentração de amilose das diluições e no eixo y, os valores de absorção. A equação de reta obtida através da curva é do tipo linear e relaciona a absorbância lida (y) com a concentração dos padrões (x). Através da equação de reta da curva padrão, pôde-se calcular a concentração de amilose de cada amostra, pelo valor de absorbância lido através da equação:

$$C = \left( Abs \pm \frac{b}{a} \right) \times fd \quad (14)$$

Onde, C é a concentração em mg mL<sup>-1</sup>; b é o coeficiente angular; a é o coeficiente linear; fd é o fator de diluição igual a 20.

O último passo consistiu na leitura dos valores de absorbância das amostras e calculou-se o conteúdo de amilose através da multiplicação do valor de absorção de cada amostra pelo fator de conversão que foi obtido ao elaborar a curva padrão. Entre cada leitura, passou-se o branco para zerar o aparelho. Na Tabela 20 encontra-se a classificação das amostras de acordo com os teores de amilose.

TABELA 20 – Classificação do teor de amilose em arroz

| Teor de amilose | (%)     | Características     |
|-----------------|---------|---------------------|
| Alto            | 28 a 32 | seco, solto e duro  |
| Intermediário   | 23 a 27 | seco, solto e macio |
| Baixo           | 11 a 22 | pegajoso e macio    |

Fonte: Adaptado de Martínéz e Cuevas (1989).

## RESULTADOS DA CURVA DE CALIBRAÇÃO

Para determinar o teor de amilose construiu-se a curva de calibração (Figura 16), que serve como referência para os teores de amilose das amostras teste. Quanto mais retilínea for à curva, maior é a confiança dos resultados, e este fato se comprova pelo valor de  $R^2$  estar bem próximo de 1.

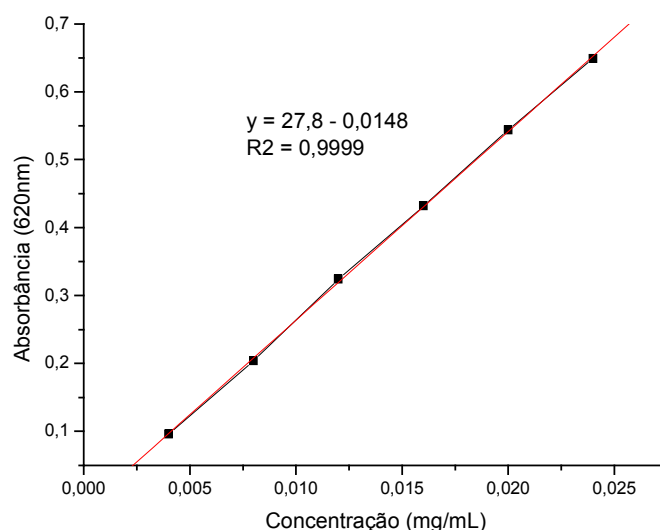


FIGURA 15 - Curva de calibração da amilose padrão

Os resultados do teor de amilose para as amostras testemunhas estão na Tabela 21.

TABELA 21 – Teor de Amilose para amostras testemunhas

| Testemunhas   | Teor de Amilose (%) |
|---------------|---------------------|
| Colômbia 1    | 17,9 B <sup>1</sup> |
| Bluebonnet 50 | 24,6 I <sup>2</sup> |
| IR 8          | 26,5 A <sup>3</sup> |

<sup>1</sup>Teor de amilose baixo, <sup>2</sup>Teor de amilose intermediário, <sup>3</sup>Teor de amilose alto.

As testemunhas são cultivadas sob condições similares no mesmo ano das amostras teste e, portanto, servem como referência para inferir interações genótipo x ambiente em relação às características de teor de amilose.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)