

# CARACTERÍSTICAS DE ADSORÇÃO DE ÁGUA DE FARINHAS CRUAS E PRÉ-GELATINIZADAS DE DUAS VARIEDADES DE ARROZ DE TERRAS ALTAS

CLEUSA HELENA ALVES MONTEIRO DE LIMA\*

DIEGO PALMIRO RAMIREZ ASCHERI\*\*

SUELY MIRANDA CAVALCANTE BASTOS\*\*\*

---

O presente trabalho teve como objetivo estudar as características de adsorção de água de farinhas de arroz cruas e pré-gelatinizadas das cultivares de terras altas BRS Primavera e BRS Monarca. As amostras pré-gelatinizadas foram obtidas de grãos de arroz cozidos em água por 10 a 40 min. As farinhas obtidas foram submetidas as determinações de teor de água, açúcares redutores totais. As isotermas de adsorção foram obtidas em diferentes atividades de água (0,112-0,972) a 30°C. Dos modelos matemáticos de adsorção de água (Halsey, Oswin e GAB), a equação de GAB explicou melhor a variação das isotermas em função da atividade de água (máxima de 0,75) como sendo seguro para o armazenamento desses produtos de arroz. Em atividades de água entre 0 e 0,3, a estrutura dos grânulos de amido das farinhas cruas resiste à adsorção da água. Os resultados sugerem que a farinha de arroz cru da cultivar BRS Monarca é menos higroscópica que a de BRS Primavera e poderá ter maior tempo de armazenamento quando estocada em condição semelhante à de sua camada monomolecular. Quando submetidos a tempos de cocção prolongados, os grãos de arroz da cultivar BRS Primavera produzem farinhas mais estáveis por serem menos higroscópicas que as similares da cultivar BRS Monarca.

*PALAVRAS-CHAVE: Oriza sativa; ATIVIDADE DE ÁGUA; SUBPRODUTOS DE ARROZ; PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS; ISOTERMAS DE ADSORÇÃO.*

---

\* Engenheira de Alimentos, Mestre em Engenharia Agrícola, Professora, Faculdade de Tecnologia SENAI Roberto Mange, Anápolis, GO (e-mail: ascheridpr@gmail.com).

\*\* Engenheiro de Alimentos, Doutor em Engenharia de Alimentos, Professor, Programa de Mestrado de Engenharia Agrícola, Unidade de Ciências Exatas e Tecnológicas (UnUCET), Universidade Estadual de Goiás (UEG), Anápolis, GO (e-mail: ascheridpr@gmail.com).

\*\*\* Licenciada em Matemática, Mestre em Engenharia Agrícola, Professora, UnUCET, UEG, Anápolis, GO (e-mail: suelymcavalcante@gmail.com).

## 1 INTRODUÇÃO

O arroz desempenha papel de destaque na cadeia agroindustrial, além de ser alimento de grande valor nutricional, boa fonte de carboidratos, rico em sais minerais, proteínas e vitaminas do complexo B, especialmente o arroz integral. Sua produção alcança grande escala no Brasil e em diversos países para atender a demanda desse alimento tradicional. Os consumidores preferem grãos longos, finos, de boa qualidade culinária e que permaneçam soltos e macios após o cozimento e resfriamento.

Apesar de constituir um dos grãos mais produzidos em todo o mundo, os resíduos de seu beneficiamento são subempregados e, na maioria das vezes, destinados à alimentação animal. Não foram encontrados dados estatísticos oficiais sobre a produção e o consumo de farinha de arroz. Ormenese e Chang (2002) constataram que os Estados Unidos e o Canadá consomem em torno de 13.500 a 18.000 t de farinha de arroz por ano, na forma de alimentos infantis, cereais matinais, produtos extrusados e formulações alternativas para pessoas alérgicas à proteína de trigo, além de ração animal.

De acordo com Dors, Castiglioni e Augusto-Ruiz (2006), o Brasil ainda não conta com linha de produtos bem definida à base de farinha de arroz. Há a necessidade de se adotar estratégia para ampliar seu mercado por meio do desenvolvimento de farinhas com alto valor agregado. Trata-se de produto não alergênico, não tóxico para portadores de doença celíaca que pode ser usado como substituto do trigo na elaboração de produtos sem glúten (HEISLER *et al.*, 2008). A granulometria fina do amido proporciona textura extremadamente suave aos produtos após o cozimento e sabor brando.

Embora tenham sido desenvolvidos estudos sobre as características físico-químicas, nutricionais e funcionais, além das diversas formas de utilização e obtenção da farinha de arroz (DORS, CASTIGLIONI e AUGUSTO-RUIZ, 2006; CLERICI e EL-DASH, 2008), poucos trabalhos têm abordado as características de adsorção desse subproduto e as reais condições para se ter matéria-prima que durante a sua vida-de-prateleira mantenha as condições de qualidade sem que existam perdas e crescimento microbiano. Apenas o conhecimento do teor de água não é suficiente para prever a estabilidade das farinhas de arroz, sendo necessário conhecer sua disponibilidade e a forma que se comportará durante o armazenamento em diferentes ambientes.

De modo geral, a absorção de água do arroz durante sua cocção está diretamente relacionada com a proporção de amilose/amilopectina do amido, assim como ao tempo de cocção à que o arroz foi submetido. Ascheri *et al.* (2010) correlacionaram os conteúdos desses constituintes com a quantidade de água absorvida durante a cocção de diferentes variedades de arroz de terras altas, obtendo correlações positiva e negativa para o amido e a amilose, respectivamente. Durante a cocção, essas macromoléculas liberam hidroxilas (-OH) e ficam disponíveis para formar ligações com a água. Se a disponibilidade de grupos hidrofílicos for grande, as farinhas pré-gelatinizadas podem se transformar em produtos mais higroscópicos que o amido, isto é, tendem a adsorver água com grande facilidade até alcançar a umidade de equilíbrio em determinadas condições de temperatura e umidade relativa do ar.

O presente trabalho teve como objetivo estudar as características de adsorção de água de farinhas de arroz cruas e pré-gelatinizadas das cultivares de arroz de terras altas BRS Primavera e BRS Monarca obtidas em tempos de 10 a 40 minutos de cocção.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram estudadas farinhas cruas e pré-gelatinizadas de grãos beneficiados de arroz de terras altas das cultivares BRS Primavera (BP) e BRS Monarca (BM). As amostras cruas beneficiadas foram cedidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Arroz e Feijão (Santo

Antônio de Goiás, GO), sendo a experimentação realizada no Laboratório de Propriedades Físicas de Produtos Vegetais da Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual de Goiás (Anápolis-GO, Brasil). Realizou-se o beneficiamento dos grãos de arroz após colheita, no Laboratório de Apoio do Melhoramento Genético de Arroz da Embrapa que consistiu no descasque e polimento padrão dos grãos em moinho de provas (Suzuki) até atingir polimento entre 95 e 100 graus, determinado em medidor Satake Milling Meter MM1B.

Para a elaboração das farinhas pré-gelatinizadas, o arroz foi cozido utilizando-se a metodologia descrita por Bassinello, Rocha e Cobucci (2004) com modificações para o tempo de cozimento. Adicionou-se o arroz e a água numa panela e deixou-se ferver até antes da água secar. Em seguida, tampou-se a panela e diminuiu-se o fluxo do gás para continuar a cocção em fogo lento. Foram utilizadas 150 g de arroz e 300 mL de água destilada para cada tempo de cocção, estabelecido entre 10 e 40 minutos. Durante o cozimento, adicionaram-se mais 75, 150 e 225 mL de água para completar os tempos de 20, 30 e 40 minutos, respectivamente, caso contrário, as amostras poderiam queimar ou ficar mal cozidas (ASCHERI *et al.*, 2010).

As amostras cruas e cozidas foram desidratadas em estufa Fanem 520 (Fanem, São Paulo, Brasil) a 45°C por 16h e moídas em moinho de facas Perten Laboratory Mill 3100 (Perten Instruments, Huddinge, Suécia).

O teor de água das amostras foi determinado com base no método da American Association of Cereal Chemists (2000) a 105°C até massa constante, e o teor de açúcares redutores totais conforme o método de Lane-Enyon da Association of Official Analytical Chemists (2000) por meio de digestão ácida em autoclave.

As isotermas de adsorção de água das farinhas foram obtidas utilizando-se o método gravimétrico estático (SPIESS e WOLF, 1987). As soluções saturadas de cloreto de lítio, cloreto de magnésio, nitrato de magnésio, cloreto de sódio, cloreto de potássio e sulfato de potássio foram colocadas em frascos de vidros, providos de tampa com fechadura hermética para geração de ambientes com diferentes valores de atividade de água (0,112, 0,216, 0,323, 0,432, 0,525, 0,752, 0,844 e 0,972, respectivamente) para a temperatura de 30°C (GREENSPAN, 1977; PALIPANE e DRISCOLL, 1992).

A determinação da massa seca inicial ( $m_i$ ) 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 6h, em três repetições, segundo o método da American Association of Cereal Chemists (2000). Em seguida, os pesa-filtros foram colocados sobre suporte nos frascos contendo as soluções saturadas e esses em estufa (MARCONI, modelo M 035/5) a 30°C. O processo foi acompanhado pesando-se as amostras a cada 24h até que o equilíbrio dinâmico fosse atingido entre a umidade relativa gerada no interior do recipiente e o teor de água da amostra, ou seja, até não haver mais variação de massa ( $m_e$ ) detectada por meio de pesagens em balança analítica eletrônica digital (QUIMIS, modelo Q500L210C) com precisão de 0,001g.

Os valores do teor de água de equilíbrio em porcentagem de um grama por 100 g de matéria seca ( $X_e$ ) foram calculados por meio da Equação 1:

$$X_e = \frac{m_e - m_i}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

A estabilidade das farinhas obtidas foi definida em função do teor de água de equilíbrio correspondente à monocamada ( $X_m$ , em porcentagem), que consiste na quantidade de moléculas de água adsorvida na monocamada por molécula de glicose presente nas farinhas (MG, em porcentagem), segundo a relação de Mannheim e Passy (1982):

$$MG = \frac{X_m PM_{gli}}{PM_{\text{água}} \times 100} \quad (2)$$

Em que:

$PM_{gli}$  = massa molecular da glicose (162 kg kg<sup>-1</sup> mol);

$PM_{\text{água}}$  = massa molecular da água (18 kg kg<sup>-1</sup> mol).

Dos modelos matemáticos de adsorção de água de Halsey e Oswin (CHIRIFE e IGLESIAS, 1978) e GAB (KAPSALIS, 1986) (Equações 3 a 5, respectivamente) escolheu-se o melhor para explicar a variação das isotermas em função da atividade de água. Utilizaram-se, para esse fim, análise de variância (ANOVA) aplicada à regressão não linear ao nível de 5% de significância, o desvio percentual médio (P) e o erro padrão da estimativa (EPE), descritos nas Equações 6 e 7, respectivamente, como métodos para verificação da adequação do modelo ajustado.

$$X_e = \left( \frac{-A}{\ln a_w} \right)^{1/B} \quad (3)$$

$$X_e = A \left( \frac{a_w}{1-a_w} \right)^B \quad (4)$$

$$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot k \cdot a_w}{(1 - k \cdot a_w) \cdot (1 - k \cdot a_w + C \cdot k \cdot a_w)} \quad (5)$$

Em que:

A e B = constantes características das equações de dois parâmetros;

C = constante de Guggenheim relacionada às propriedades da monocamada;

k = fator que corresponde às propriedades da multicamada;

$X_m$  = teor de água de equilíbrio correspondente à monocamada molecular (%).

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{|X_e - \hat{X}_e|}{X_e} \right) \quad (6)$$

Em que:

n = número de observações experimentais;

$X_e$  e  $\hat{X}_e$ , em porcentagem = teores de água de equilíbrio observados experimentalmente e estimados pelo modelo matemático utilizado, respectivamente.

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_e - \hat{X}_e)^2}{\text{Graus de liberdade do resíduo}}} \quad (7)$$

Por meio da ANOVA, a 5% de probabilidade (valor- $p \leq 0,05$ ), analisou-se um modelo polinomial de segunda ordem para verificar o efeito que causa no teor de água de equilíbrio, a

interação do tempo de cocção usado na elaboração das farinhas de arroz e os níveis de atividade de água a que essas farinhas foram submetidas. Utilizou-se o coeficiente de determinação ajustado ( $R_{aj}^2$ ) para julgar a adequação do modelo aos dados experimentais.

As análises estatísticas foram desenvolvidas usando-se o *Statistic 8* (STATSOFT, 2007), sendo adotado para calcular os parâmetros obtidos dos modelos de adsorção de água o método matemático Quase-Newton. Os gráficos foram elaborados com o programa *OriginPro 8* (ORIGIMLAB, 2007).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Sendo o amido o componente majoritário dos grãos de arroz BRS Primavera e BRS Monarca (ASCHERI *et al.*, 2010) supõe-se que as propriedades de adsorção de água de suas farinhas ocorra de acordo com a disponibilidade dos grupos hidroxilas livres (-OH) presentes nas regiões cristalinas e amorfas dos grânulos de amido. Essa disponibilidade ocorre em detrimento do desarranjo estrutural do amido após cocção do arroz, ou seja, em presença de excesso de água o amido é insolúvel em água fria. Quando aquecido em temperaturas elevadas e tempo prolongado, a gelatinização do amido ocasiona destruição da ordem molecular e mudanças irreversíveis nas suas propriedades, passando a ser solúvel em água fria e tornando-se mais higroscópico pela liberação de -OH que interagem com a água através de ligações de hidrogênio. Esse comportamento pode ser observado na Tabela 1, na qual se mostra a variação da quantidade de água adsorvida pelas farinhas cruas e pré-gelatinizadas.

**TABELA 1 – TEOR DE ÁGUA DE EQUILÍBRIO DAS FARINHAS CRUAS E PRÉ-GELATINIZADAS DAS CULTIVARES DE ARROZ BRS PRIMAVERA E BRS MONARCA, OBTIDAS EM DIFERENTES VALORES DE ATIVIDADE DE ÁGUA À 30°C**

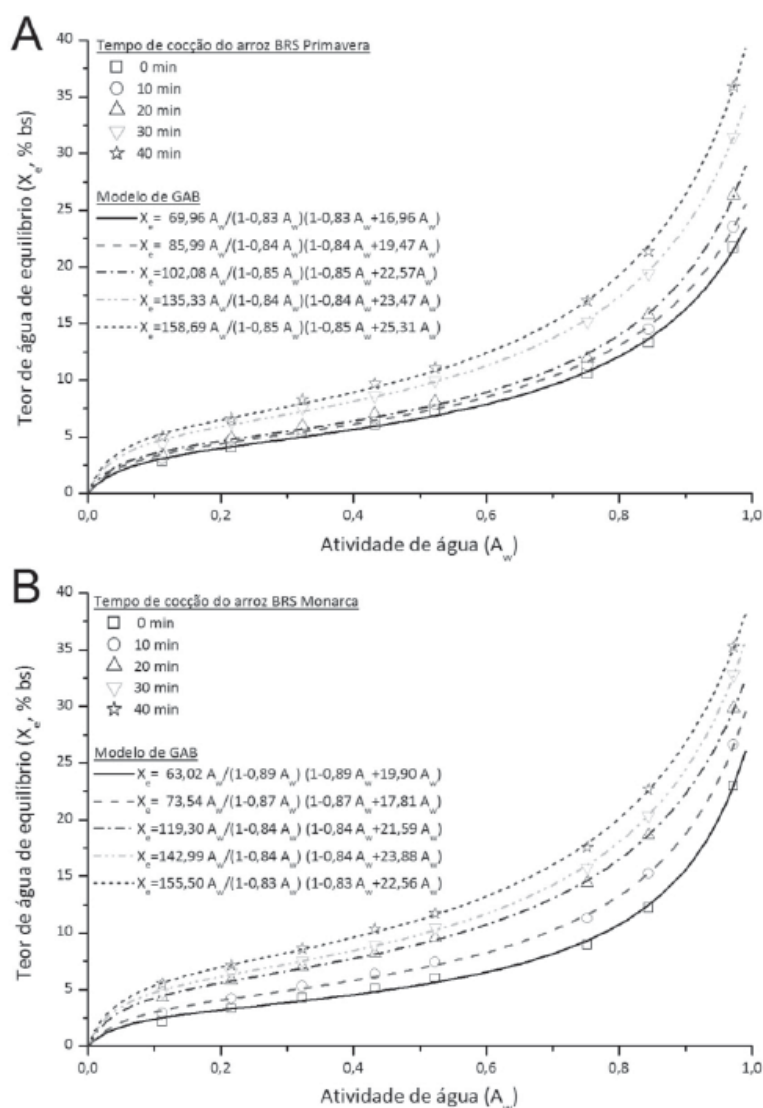
$A_w$	Teor de água de equilíbrio (% , em base seca)									
	FCP	PP10	PP20	PP30	PP40	FCM	PM10	PM20	PM30	PM40
0,112	2,8	3,1	3,3	4,4	5,0	2,2	2,9	4,3	4,7	5,5
0,216	4,1	4,7	4,9	6,3	6,6	3,3	4,2	5,8	6,5	7,1
0,323	5,3	5,6	5,9	7,6	8,3	4,3	5,3	7,0	7,5	8,6
0,432	6,1	6,6	7,0	8,6	9,7	5,1	6,4	8,2	8,9	10,3
0,525	7,3	7,9	8,1	10,0	11,0	6,0	7,4	9,6	10,5	11,7
0,752	10,6	11,3	11,9	15,2	17,0	9,0	11,3	14,4	15,8	17,6
0,844	13,3	14,5	15,8	19,4	21,4	12,2	15,3	18,6	20,4	22,7
0,972	21,7	23,5	26,4	31,5	35,9	23,0	26,6	29,8	32,8	35,3

$A_w$  = atividade de água; FCP e FCM = farinhas cruas; PP e PM = farinhas pré-gelatinizadas da cultivares de arroz BRS Primavera e BRS Monarca, respectivamente.

Independentemente do tempo de cocção e da cultivar de arroz, a umidade de equilíbrio aumentou em função da atividade de água (Figura 1). Al-Muhtaseb, McMinn e Magee (2004) referiram que em  $A_w = 0,3$  a adsorção ocorre na região amorfa dos grânulos de amido e em  $A_w > 0,3$  pode ocorrer nessa e na região cristalina dos grânulos. No presente estudo observou-se que em atividades de água igual a 0,323, as farinhas cruas adsorveram menos água que as farinhas pré-gelatinizadas. Essas, por sua vez, adsorveram quantidade mais elevada de água quanto maior foi o tempo de cocção do arroz, indicando que nessas farinhas a adsorção ocorreu nas regiões amorfa e cristalina devido ao desarranjo molecular causado pela cocção do arroz que expõe maior quantidade de sítios de adsorção.

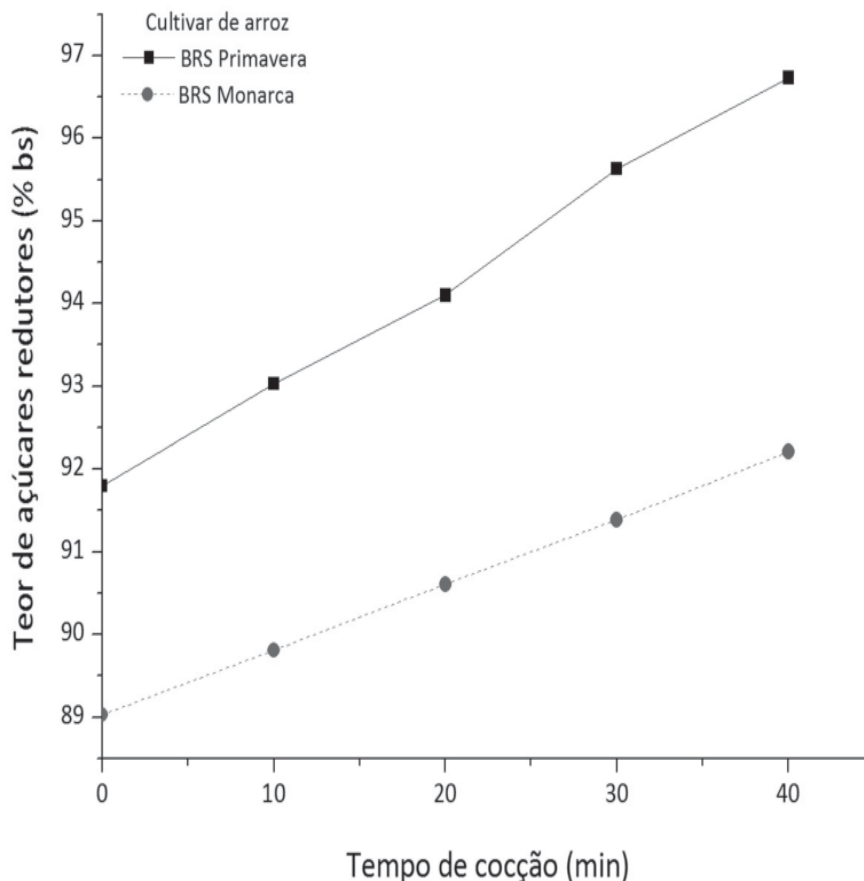
Mostram-se, na Figura 1, as curvas de adsorção de água das farinhas cruas (FC) e pré-gelatinizadas de arroz (F10, F20, F30 e F40), obtidas nos tempos de 10 a 40 min de cocção das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca. Independentemente do tempo de cocção e da cultivar de arroz, as isotermas cresceram com o aumento da atividade de água. Em atividades de água entre 0 e 0,3, a estrutura dos grânulos de amido das farinhas cruas resiste à adsorção da água. Nessa faixa de  $A_w$ , Al-muhtaseb, Mcminn e Magee (2004) afirmaram que a região amorfa do amido é a responsável pelo aumento da umidade de equilíbrio.

Em  $A_w = 0,3$ , os valores de  $X_e$  das FC foram de 3,88 e 4,88% para BRS Primavera e BRS Monarca, respectivamente. Entretanto, para as amostras pré-gelatinizadas F10, F20, F30 e F40 observou-se aumento nesse valor correspondente a 5,25 e 4,94; 5,43 e 6,68; 6,98 e 7,20 e 7,68 e 8,24%, respectivamente. Esse fato leva a acreditar que para as farinhas pré-gelatinizadas a adsorção de água não ocorre apenas na região amorfa, mas também na região cristalina pelo desarranjo molecular causado pelo processo de cocção do arroz que libera hidroxilas livres.



**FIGURA 1 - CURVAS DE ADSORÇÃO DE ÁGUA DE FARINHAS CRUAS E PRÉ-GELATINIZADAS DAS CULTIVARES DE ARROZ BRANCO BRS PRIMAVERA E BRS MONARCA, OBTIDAS À 30°C**

Segundo Ascheri *et al.* (2010), o amido se torna mais suscetível à hidrólise em maior tempo de cocção do arroz. Reforça-se essa afirmação com os teores presentes de açúcares redutores das farinhas cruas e pré-gelatinizadas (Figura 2). Os açúcares redutores apresentam maior afinidade pela água que o amido e estão mais disponíveis quanto maior for o tempo de cocção do arroz, elevando a capacidade de adsorção das farinhas pré-gelatinizadas.



**FIGURA 2 - EVOLUÇÃO DO TEOR DE AÇÚCARES REDUTORES EM DETRIMENTO DA GELATINIZAÇÃO DO AMIDO CONTIDO NO ARROZ DAS CULTIVARES BRS PRIMAVERA E BRS MONARCA, EM FUNÇÃO DO TEMPO DE COCÇÃO**

As isotermas da Figura 1 apresentam forma sigmoideal do tipo II, segundo a classificação da International Union of Pure and Applied of Chemistry (1985), típicas de superfícies hidrofílicas tais como, farinhas de arroz pré-gelatinizadas por extrusão termoplástica (ASCHERI, NASCIMENTO e ASCHERI, 2003), microcápsulas de lactoferrina (MAIA *et al.*, 2004), amido de batata e outros (AL-MUHTASEB, MCMINN e MAGEE, 2004), farinhas extrusadas de amaranto, arroz e milho (ASCHERI *et al.*, 2005), tomate em pó (GOULA *et al.*, 2008), farinhas de misturas amido-proteína obtidas por extrusão (WŁODARCZYK-STASIAK e JAMROZ, 2008), e amido de rizomas do lírio-do-brejo (ASCHERI *et al.*, 2009), entre outros.

Pode-se verificar pelo teste F da Tabela 2, que a regressão não linear contribuiu significativamente para o ajuste dos modelos de Halsey, Oswin e GAB aos dados experimentais da Tabela 1. A confiabilidade da adequação foi elevada em todas as isotermas, sendo essa maior que 99,0% de confiança (valor- $p < 0,01$ ). Embora os valores do EPE sejam baixos, os valores de P do modelo de Halsey estão acima do esperado (entre 12 e 16%), o que o torna pouco satisfatório para prever as isotermas nas condições estudadas, pois esses devem ser inferiores a 10% como

estabelecido por Lomauro, Bakshi e Labuza (1985). Entretanto, tudo indica que os modelos de Oswin e GAB ajustaram-se adequadamente às isotermas por mostrarem valores de P entre 1,1 e 8,3% e valores de EPE entre 0,1 e 1,3%. O modelo de GAB apresentou valores de P e EPE duas e cinco vezes inferiores aos encontrados para os modelos de Oswin e Halsey, respectivamente, significando que se trata do modelo mais adequado para estimar o teor de água de equilíbrio das farinhas cruas e pré-gelatinizadas de arroz das cultivares BRS Primavera e BRS Monarca em diferentes atividades de água à temperatura de 30°C. A equação de GAB indicou que, nas condições estudadas, o armazenamento desses produtos de arroz deve ocorrer à temperatura de 30°C e umidade relativa ambiente máxima de 75%, condição segura para seu armazenamento livre de ataque microbiano.

**TABELA 2 - RESULTADOS DOS MÉTODOS DE VERIFICAÇÃO DA ADEQUAÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS DE ADSORÇÃO DE ÁGUA PARA O AJUSTE DAS ISOTERMAS, OBTIDAS À 30°C, DAS FARINHAS CRUAS E PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ DAS CULTIVARES BRS PRIMAVERA E BRS MONARCA**

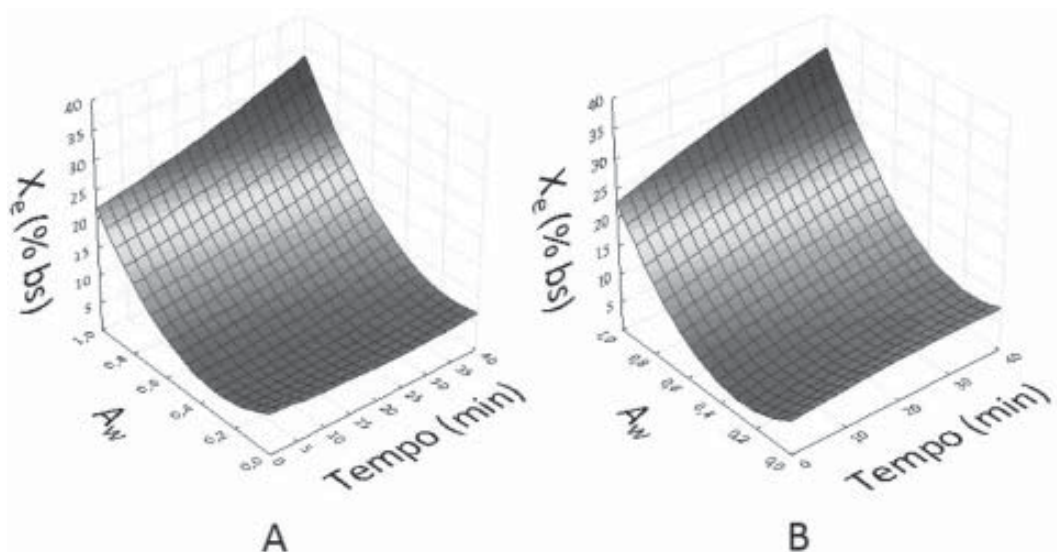
Modelo	Farinha	BRS Primavera			BRS Monarca		
		Teste F	EPE (%)	P (%)	Teste F	EPE (%)	P (%)
Halsey	Crua	306,90**	1,217	15,62	489,58**	0,932	14,41
	FPT10	325,25**	1,271	14,67	318,14**	1,299	14,77
	FPT20	374,30**	1,298	13,22	311,25**	1,646	13,56
	FPT30	341,78**	1,656	13,15	327,88**	1,760	13,14
	FPT40	389,71**	1,745	12,75	295,47**	2,032	13,22
Oswin	Crua	939,95**	0,692	8,25	2047,14**	0,457	5,63
	FPT10	988,40**	0,731	7,44	1094,48**	0,745	7,11
	FPT20	1193,93**	0,729	6,33	828,11**	1,012	7,35
	FPT30	978,68**	0,981	6,90	878,79**	1,078	6,96
	FPT40	1285,37**	0,963	6,35	743,36**	1,285	7,37
G.A.B.	Crua	2757,73**	0,330	3,68	2264,95**	0,355	5,19
	FPT10	3089,75**	0,338	3,88	5958,62**	0,261	2,75
	FPT20	3580,99**	0,343	3,80	19016,65**	0,173	1,38
	FPT30	8576,44**	0,271	2,49	17453,34**	0,198	1,54
	FPT40	6579,50**	0,348	2,31	18236,32**	0,212	1,11

EPE = erro padrão da estimativa; P = desvio percentual médio.

\*\* Altamente significativo ao nível de 1% de probabilidade.

A Figura 3 mostra os gráficos de superfície de resposta do teor de água de equilíbrio gerados pela interação do tempo de cocção do arroz e níveis de atividade de água. Um modelo polinomial de segunda ordem adequou-se bem aos dados experimentais (Tabela 3). O coeficiente de correlação ajustado foi maior que 92% ( $R_{aj}^2 > 0,92$ ) e apenas o fator tempo quadrático ( $T^2$ ) de ambas as cultivares não foi significativo ( $p > 0,05$ ). Os modelos representativos para as cultivares BRS Primavera e BRS Monarca estão descritos nas Equações 8 e 9, respectivamente.





**FIGURA 3 – GRÁFICOS DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DO TEOR DE ÁGUA DE EQUILÍBRIO ( $X_e$ ) EM FUNÇÃO DO TEMPO DE COCÇÃO E DA ATIVIDADE DE ÁGUA: A) FARINHA DE ARROZ BRS PRIMAVERA, B) FARINHA DE ARROZ BRS MONARCA**

$$X_e = 7,25 - 0,11 T - 21,34 A_w + 35,80 A_w^2 + 0,31 A_w T \quad (8)$$

$$X_e = 6,07 - 0,08 T - 23,38 A_w + 39,90 A_w^2 + 0,26 A_w T \quad (9)$$

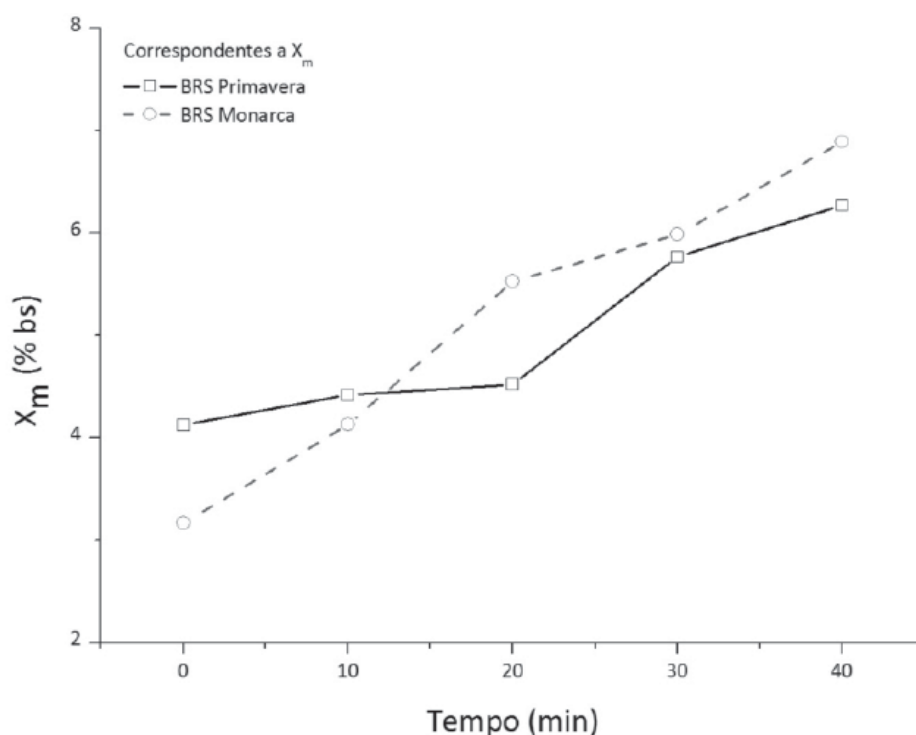
**TABELA 3 – TESTE F E ESTIMATIVA DOS COEFICIENTES DA REGRESSÃO POLINOMIAL DE SEGUNDA ORDEM AJUSTADOS AOS DADOS EXPERIMENTAIS DE TEOR DE ÁGUA DE EQUILÍBRIO DAS FARINHAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ EM FUNÇÃO DO TEMPO DE COCÇÃO E ATIVIDADE DE ÁGUA**

Fatores	Cultivar de arroz de terras altas			
	BRS Primavera		BRS Monarca	
	Teste F	Coef. Reg.	Teste F	Coef. Reg.
Intercepto	-	7,25	-	6,07
T	106,62**	-0,11	83,42**	0,08
T <sup>2</sup>	3,52 <sup>n.s</sup>	0,00	0,61 <sup>n.s</sup>	0,00
A <sub>w</sub>	1131,75**	-21,34	724,74**	-23,38
A <sub>w</sub> <sup>2</sup>	140,92**	35,80	98,86**	39,90
A <sub>w</sub> x T	37,69**	0,30	15,53**	0,26
R <sup>2</sup> aj.	0,948		0,926	

De acordo com a Tabela 3, a interação T x A<sub>w</sub> foi altamente significativa em ambas as cultivares (p<0,01), indicando que existem evidências suficientes para afirmar que o efeito da A<sub>w</sub> sobre as propriedades de adsorção de água das farinhas depende do efeito do tempo de cocção utilizado para elaborar as farinhas pré-gelatinizadas e vice versa. Nos gráficos de superfície de resposta da Figura 3 observa-se que maiores efeitos foram obtidos em tempos de 40 min e atividade de água de 0,972. Nessas condições, os teores de água de equilíbrio das farinhas pré-gelatinizadas

BRS Primavera e BRS Monarca foram de 31,47 e 32,47%, respectivamente, adsorvendo aproximadamente 50% mais água que as farinhas cruas (que adsorveram 21,71 e 22,99%).

Os resultados da avaliação da estabilidade das farinhas pré-gelatinizadas são apresentados na Figura 4. MG (Equação 2) foi quantificada com base no valor de  $X_m$  obtido do modelo de GAB. Pode-se observar que as farinhas de arroz da cultivar BRS Monarca adsorveram inicialmente 0,29%, enquanto que as farinhas da cultivar BRS Primavera adsorveram 0,371%. Esses valores sugerem que a farinha de arroz cru da cultivar BRS monarca é menos higroscópica que a da BRS Primavera e que poderá ter maior tempo de armazenamento quando estocada em condição semelhante à de sua camada monomolecular. No entanto, quando submetidos a tempos de cocção prolongados, os grãos de arroz da cultivar BRS Primavera produzem farinhas mais estáveis por serem menos higroscópicas que as da cultivar BRS Monarca. Ainda na Figura 4 pode-se observar o efeito exercido pelo tempo de cocção na estabilidade das farinhas de arroz. MG aumenta com a elevação do tempo de cocção. As farinhas do cultivar BRS Primavera destacaram-se pela maior estabilidade, adsorvendo 9 e 34% das 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 e 1,6 vezes mais moléculas de água por 100 moléculas de glicose.



**FIGURA 4 - ESTABILIDADE DAS FARINHAS DE ARROZ DAS CULTIVARES BRS PRIMAVERA E BRS MONARCA, OBTIDAS EM DIFERENTES TEMPOS DE COCÇÃO**

#### 4 CONCLUSÃO

A disponibilidade de sítios de adsorção de água de arroz BRS Primavera e BRS Monarca é maior quanto maior for o tempo de cocção utilizado para a elaboração do arroz pré-gelatinizado.

As isotermas de adsorção de água das farinhas de arroz apresentam forma sigmoideal do tipo II e são bem ajustadas pelas equações de GAB. Com base nas isotermas e no comportamento higroscópico na monocamada conclui-se que a cultivar BRS Primavera apresenta maior estabilidade frente ao armazenamento mesmo quando submetida a algum tratamento, enquanto a cultivar BRS Monarca apresenta maior estabilidade quando seu subproduto é obtido da farinha crua.

O modelo matemático de GAB sugere que, nas condições estudadas, o armazenamento para esses produtos seja realizado sob temperatura de 30°C e umidade relativa ambiente entre 60,2 e 70%, considerando-se esse intervalo seguro para armazenamento livre de ataque microbiano.

## ABSTRACT

### WATER ADSORPTION CHARACTERISTICS OF RAW AND PREGELATINIZED FLOURS OF TWO VARIETIES OF UPLAND RICE

The objective of this work was to study the water adsorption of raw and pregelatinized rice flours of selected rice cultivars BRS Primavera and BRS Monarca. Pregelatinized samples were obtained from rice grains cooked in water for 10 to 40 minutes. The obtained flours were analyzed for water content, total reducing sugars and adsorption isotherms. The isotherms were obtained at different water activities (0.112 to 0.972) at 30°C. From the mathematical models of water adsorption (Halsey, Oswin and GAB), GAB equation was the model that best explained the variation of isotherms as a function of water activity (maximum at 0.75) as being the safest for rice products storage. Within water activity between 0 and 0.3, the structure of starch granules of the raw flours resists to water adsorption. The results suggest that the raw rice flour of BRS Monarca is less hygroscopic than BRS Primavera and may have longer shelf life when stored in a similar condition to its monomolecular layer. When cooking at longer time, the grains of rice flour BRS Primavera were more stable because they are less hygroscopic than their counterparts of BRS Monarca.

**KEY-WORDS:** *Oriza sativa*; WATER ACTIVITY; RICE BY-PRODUCTS; PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES; ADSORPTION ISOTHERMS.

## REFERÊNCIAS

- 1 AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Water sorption isotherms of starch powders. Part 1: mathematical description of experimental data. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 297–307, 2004.
- 2 AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). **Approved methods of the AACC**. 10<sup>th</sup> ed. St. Paul, 2000.
- 3 ASCHERI, D. P. R.; MOURA, W. S.; ASCHERI, J. L. R.; FREITAS JUNIOR, E. A. Propriedades termodinâmicas de adsorção de água do amido de rizomas do lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 454-462, 2009.
- 4 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**, v. 40, n. 349, p. 111-119, 2003.
- 5 ASCHERI, D. P. R.; PEREIRA, L. D.; BASSINELLO, P. Z.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R. Calidad del arroz de tierras altas en función del tiempo de cocción y del cultivar de arroz. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 2, p. 163-173, 2010.
- 6 ASCHERI, D. P. R.; RIBEIRO, M. M.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Isotermas de adsorción de agua y estabilidad de harinas extruídas de amaranto, arroz y maíz: estudio comparativo. **Alimentaria**, n. 363, p. 100-107, 2005.
- 7 ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis of AOAC International**. 17<sup>th</sup> ed. Gaithersburg, 2000, v. 2.
- 8 BASSINELLO, P. Z.; ROCHA, M. S.; COBUCCI, R. M. A. **Avaliação de diferentes métodos de cocção de arroz de terras altas para teste sensorial**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. p. 1-8. (Comunicado Técnico, 84).
- 9 CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods. Part 1 - a review. **Journal of Food Technology**, v. 13, n. 3, p. 159-174, 1978.
- 10 CLERICI, M. T. P. S.; EL-DASH, A. A. Características tecnológicas de farinhas de arroz pré-gelatinizadas obtidas por extrusão termoplástica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1543-1550, 2008.
- 11 DORS, G. C.; CASTIGLIONI, G. L.; AUGUSTO-RUIZ, W. Utilização da farinha de arroz na elaboração de sobremesa. **Vetor**, v. 16, n. 1/2, p. 63-67, 2006.
- 12 GOULA, A. M.; KARAPANTSIOS, T. D.; ACHILIAS, D. S.; ADAMOPOULOS, K. G. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 1, p. 73–83, 2008.

- 13 GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **Journal Research National Bureau of Standards**, v. 81A, n. 1, p. 89-96, 1977.
- 14 HEISLER, G.E.R.; ANTÔNIO, G. de A.; MOURA, R.S.; MENDONÇA, C.R.B.; GRANADA, G.G. Viabilidade da substituição da farinha de trigo pela farinha de arroz na merenda escolar. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.19, n.3, p.299-306, 2008.
- 15 INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED OF CHEMISTRY (IUPAC). Reporting physisorption data for gas/solid systems. **Pure and Applied Chemistry**, v. 57, n. 4, p. 603-619, 1985.
- 16 KAPSALIS, J. G. Influences of hysteresis and temperature on moisture sorption isotherms. In: ROCKLAND, L. B.; BEUCHAT, L. R. (Eds). **Water activity: theory and applications to food**. New York: Marcel Dekker, 1986. Chap. 9, p. 173-213.
- 17 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.
- 18 MAIA, L. H.; CORNEJO, F. E. P.; ASCHERI, D. P. R.; MAIA, M. C. A.; ROCHA-LEÃO, M. H. M. Moisture sorption studies on lactoferrin microcapsules. **Alimentaria**, n. 356, p. 79-87, 2004.
- 19 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.
- 20 ORIGIMLAB Corporation. **OriginPro 8 SR0**. Northampton, 2007. 1 CD.
- 21 ORMENESE, R. C. S. C.; CHANG, Y. K. Massas alimentícias de arroz: uma revisão. **Boletim do CEPPA**, v. 20, n. 2, p. 175-190, 2002.
- 22 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.
- 23 SPIESS, W. E. L.; WOLF, W. R. Critical evaluation of methods to determine sorption isotherms. In: ROCHLAND, L. B., BEUCHAT, L. R. (Eds). **Water activity: theory and application to food**. Nueva York: Marcel Dekker, 1987. p. 2150-233.
- 24 STATSOFT INC. **Statistica** (data analysis software system) version 8.0. Tulsa, 2007. 1 CD.
- 25 WŁODARCZYK-STASIAK, M.; JAMROZ, J. Analysis of sorption properties of starch-protein extrudates with the use of water vapour. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 4, p. 580-589, 2008.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Goiás e à Embrapa Arroz e Feijão e Agroindústria de Alimentos pela realização das análises e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo suporte econômico repassado.