



## COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE VARIEDADES DE ARROZ DE TERRAS ALTAS

DIEGO P. R. ASCHERI<sup>1</sup>; DIVA M. GARCIA<sup>2</sup>; PRISCILA Z. BASSINELLO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro de Alimentos, Doutor em Engenharia de Alimentos, UnUCET/UEG, Anápolis–GO (0XX62) 3261-1995, E-mail: ascheridpr@uol.com.br.

<sup>2</sup> Engenheira de Alimentos, Universidade Católica de Goiás, Goiânia–GO, (0XX62) 3533-2110.

<sup>3</sup> Agrônoma, Doutora em Ciência dos Alimentos, Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás–GO, (0XX62) 3533-2186.

Apresentado no  
XXXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola  
30 de julho a 2 de agosto de 2007 - Bonito - MS

**RESUMO:** O comportamento reológico de cinco variedades de arroz de terras altas (BRS Primavera, BRS Pepita, BRS Monarca, BRS Sertaneja e BRS MG Curinga) foi estudado. A leitura das medidas reológicas foi feita através de viscosímetro de cilindros concêntricos Brookfield, modelo DVII+, usando pequenas amostras na temperatura de 25°C. Os dados reológicos foram ajustados aos modelos de Newton, Oswald-de-Walle e Herschel-Bulkley, na faixa de deformação de 13,2-132,0 s<sup>-1</sup>. As pastas apresentaram comportamento pseudoplástico com tensão residual. Foi obtido o melhor ajuste com o modelo de Herschel-Bulkley cujos parâmetros variaram de acordo com a variedade de arroz. BRS Pepita apresentou alta viscosidade aparente; BRS Sertaneja, BRS Monarca e BRS Primavera apresentaram viscosidades intermediárias e BRS MG Curinga apresentou baixa viscosidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** reologia, arroz de terras altas, viscosidade aparente.

### RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF UPLAND RICE VARIETIES

**ABSTRACT:** The rheological behavior of five upland rice varieties (BRS Primavera, BRS Pepita, BRS Monarca, BRS Sertaneja and BRS MG Curinga) was studied. The rheological measurements were carried out with a concentric cylinder Brookfield viscometer, model DVII+, using small samples in a temperature of 25°C. The rheological data were fitted to the models of Newton, Oswald-of-Walle and Herschel-Bulkley at the shear rate between 13.2 to 132.0 s<sup>-1</sup>. The rice pastes presented pseudoplastic behavior with residual shear stress. The best adjustment was obtained with Herschel-Bulkley model whose parameters had varied according to the rice variety. BRS Pepita showed a high apparent viscosity; BRS Sertaneja, BRS Monarca and BRS Primavera had intermediate viscosities while BRS MG Curinga presented low viscosity.

**KEYWORDS:** rheology, upland rice, apparent viscosity.

**INTRODUÇÃO:** O arroz, um cereal cultivado e consumido em todos os continentes, desempenha papel estratégico, tanto no aspecto econômico quanto social. Tendo em vista o seu grande consumo, percebe-se que a preocupação com as exigências em torno da qualidade do arroz aumenta cada vez mais. Hoje, existem inúmeras variedades de arroz, classes e tipos, e estas aumentam com as pesquisas que estão sendo feitas, objetivando sempre um cultivar de melhor qualidade tecnológica e agrônômica,

e que atenda as expectativas dos consumidores. No mundo globalizado de hoje, a qualidade deve ser identificada, aprimorada constantemente e divulgada. É o modo para garantir a sobrevivência em um mercado cada vez mais exigente e competitivo. Diante disso, deve-se haver um constante aperfeiçoamento da busca pela qualidade, desenvolvendo-se métodos e inovando-se outros já existentes. A preferência do consumidor, que pressupõe a valorização dos atributos que lhe agradam, é determinada não só pelas propriedades químicas e físicas dos grãos, mas também por aspectos relacionados à aparência do produto após cozimento, tais como, pegajosidade e textura (macio ou solto). São vários os critérios e métodos utilizados para determinar a qualidade culinária do arroz. A confiabilidade dos resultados obtidos depende, em grande parte, da utilização correta da metodologia selecionada. Alguns são considerados indiretos, não oferecendo muita precisão e garantia dos resultados, devendo ser revistos. Neste trabalho, estudou-se o comportamento reológico à 25°C de cinco variedades de arroz de terras altas.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Cinco variedades de arroz polido [BRS Primavera (BPr), BRS Pepita (BP), BRS Monarca (BM), BRS Sertaneja (BS), BRS MG Curinga (BMC)] de sistema de cultivo de terras altas foram utilizadas como matérias-primas. Estas variedades foram cultivadas na fazenda Capivara, situada no município de Santo Antônio de Goiás-GO, sendo a sua colheita realizada em 25/04/2006. A variedade BRS Primavera foi considerada como padrão por possuir características de um arroz ideal, isto é, de classe longo fino, de aparência vítrea e translúcida após o beneficiamento, com menor tempo de cocção e que, ao ser preparado, se apresenta com textura solta, macia e enxuta (Morais *et al.*, 2003). A partir deste arroz, procedeu-se o preparo das pastas para posterior análise reológica. Inicialmente foram cozidos 50 g de arroz em 200 mL de água destilada por, aproximadamente, 10 minutos. Vários testes de diluição do arroz cozido foram realizados a fim de encontrar uma pasta adequada para a leitura no viscosímetro, ou seja, aquela em que o valor de torque estivesse entre 10 e 90%. A diluição ideal encontrada com a amostra padrão foi feita com a adição de 72 mL de água destilada a 20 g de arroz cozido e homogeneizado com o triturador *mix* SB 40-BLACK & DECKER. As medidas reológicas foram obtidas de acordo com a metodologia descrita no manual do equipamento Brookfield DV-II+ (2006) na temperatura ambiente (25°C), controlada em banho termostático com circulação de água. Os dados experimentais, em unidades de torque nas velocidades de 10, 20, 50 e 100 rpm (correspondentes a uma faixa de deformação de 13,2-132,0 s<sup>-1</sup>), a partir de um volume de 8mL da diluição, foram obtidos utilizando-se um viscosímetro de cilindros concêntricos da marca Brookfield digital DV-II+ com adaptador de pequenas amostras e pino SC4-18. Os ensaios foram realizados em três repetições com três réplicas cada, sendo a tensão de cisalhamento resultante da média das repetições experimentais. A tensão de cisalhamento ( $\tau$ ) em pascal (Pa) e a taxa de deformação ( $\dot{\gamma}$ ) expressa no inverso do tempo (s<sup>-1</sup>) foram calculadas de acordo com o manual do viscosímetro utilizado (Brookfield DV-II+, 2006):  $\dot{\gamma} = \text{RPM} \cdot \text{SRC}$  e  $\tau = \text{TK} \cdot \text{SMC} \cdot \text{SRC} \cdot \text{Torque}$ . Onde: RPM = velocidade do pino (rpm); TK = torque constante do modelo de viscosímetro (0,09373); SMC = constante multiplicador do pino SC4-18 (3,2); SRC = taxa de deformação constante do pino SC4-18 (1,32) e Torque = torque (%) obtido pela medida de viscosidade. O conjunto,  $\tau \times \dot{\gamma}$  foi ajustado às equações de Newton:  $\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$ , de Ostwald-de-Waelle (Lei da potência, LP):  $\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$ , e de Herschel-Bulkley (HB):  $\tau = \tau_0 + K_H \cdot \dot{\gamma}^{n_H}$ . Onde:  $\tau_0$  - tensão de cisalhamento inicial ou tensão residual (Pa); K e  $K_H$  = índices de consistência (em Pa·s<sup>n</sup> e Pa·s<sup>n<sub>H</sub></sup>, respectivamente);  $\eta$  = viscosidade newtoniana (Pa); n e  $n_H$  = índice de comportamento do fluido (adimensional). A obtenção dos dados experimentais foi feita num delineamento inteiramente casualizado onde para cada ajuste foram analisados o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e o parâmetro qui-quadrado ( $\chi^2$ ), utilizando o programa gráfico ORIGIN 5.0. Foi calculado o coeficiente de variação em cada faixa de deformação de acordo com Pimentel-Gomes (2000).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Houve grande variação nos resultados de tensão de cisalhamento obtidos entre cada faixa de deformação, alcançando um coeficiente de variação de 10 a 26%. Possivelmente esta variação é atribuída ao teor de sólidos totais e composição química da pasta, pois,

Oguntunde & Akintoye (1991) referem que estas propriedades comprometem o comportamento viscoso. Proteínas desnaturadas insolúveis tendem a formar agregados e grânulos de amido sedimentam rapidamente, podendo afetar negativamente os parâmetros reológicos do produto. Por isso, os resultados do comportamento reológico das amostras foram analisados com base na média de cada faixa de deformação. Dentre os modelos de Newton, LP e HB, utilizados para descrever o comportamento reológico, o de HB proporcionou melhores parâmetros de controle de ajuste (tabela 1), apresentando os menores valores de  $\chi^2$ , além dos valores mais elevados para o  $R^2$ . Além do modelo de HB, os valores de tensão de cisalhamento das variedades BM e BMC também podem ser representados pelo modelo de LP por apresentarem valores de  $\chi^2$  próximos a zero e  $R^2$  próximo a um.

**Tabela 1. Parâmetros dos modelos de Newton, de Oswald-de-Waelle e de Herschel-Bulkley para variedades de arroz de terras altas.**

Parâmetro	Variedades de arroz de terras altas				
	BRS Pepita	BRS Sertaneja	BRS Monarca	BRS Primavera	BRS MG Curinga
Newton					
$\eta$	0,28753	0,26623	0,26253	0,24746	0,21728
$R^2$	0,89669	0,88940	0,88784	0,89508	0,95472
$\chi^2$	15,49094	13,03720	13,91076	11,69621	4,51977
Oswald-de-Waelle					
K	1,26599	1,16351	1,22003	1,08964	0,66127
N	0,68123	0,68286	0,66959	0,68120	0,76115
$R^2$	0,99577	0,99250	0,99921	0,99334	0,99988
$\chi^2$	0,95084	0,48627	0,14777	1,11291	0,01827
Herschel-Bulkley					
$\tau_0$	4,40944	3,28775	2,04608	3,84525	0,48130
$K_H$	0,37310	0,46022	0,72170	0,31236	0,56463
$n_H$	0,90674	0,85305	0,76470	0,91211	0,79015
$R^2$	0,99998	0,99997	0,99998	0,99740	0,99995
$\chi^2$	0,01093	0,02149	0,00742	0,86957	0,01491

De um modo geral, todos os parâmetros de ajuste do modelo HB variaram com o tipo de variedade de arroz analisada. A BMC apresentou menor valor de  $\tau_0$  (0,48130 Pa), indicando que a pasta desta variedade requer uma tensão de cisalhamento mínima necessária para o fluido escoar; por outro lado, BP e BM requerem mudanças abruptas no comportamento reológicos para as pastas escoarem. As pastas de arroz mostraram-se como fluidos não-newtonianos e com perfis pseudoplásticos. O valor de  $n_H$  indica o grau de pseudoplasticidade, de forma que, quanto mais afastado se encontra da unidade, maior a pseudoplasticidade da pasta. De acordo com o modelo de HB, as amostras BS, BM e BMC apresentam maior comportamento pseudoplástico do que BP e BPr. Este comportamento é mais bem visualizado na figura 1, onde se pode notar que a inclinação das curvas diminui com o aumento de  $\gamma$ .

Isto evidencia uma diminuição da viscosidade aparente ( $\eta_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$ ) com o aumento de  $\gamma$  (figura 2). Este

fato se deve à orientação das moléculas na direção do escoamento e à quebra de agregados, que tornam a resistência ao movimento cada vez menor (Barnes *et al.*, 1989). Ainda na figura 2, observam-se 3 grupos de curvas, sendo que o primeiro está situado em alta viscosidade da BP, o segundo está situado em viscosidades intermediárias das BS, BM e BPr e, o último, em baixas viscosidades da BMC. Como o amido gelatinizado é o maior responsável pela viscosidade das pastas de produtos amiláceos (Ascheri *et al.*, 2006), os diferentes perfis de viscosidade provavelmente se devem à gelatinização total ou parcial do amido durante o processo de cocção dos grãos de arroz, o que provocaria o aumento ou diminuição da  $\eta_a$ . Para uma taxa de deformação constante de 132,0 s<sup>-1</sup>, observam-se nitidamente estas diferenças, obtendo-se uma escala de valores de  $\eta_a$  de 0,27, 0,25, 0,24, 0,23 e 0,21 Pa.s para as variedades BP, BS, BM, BPr e BMC, respectivamente.

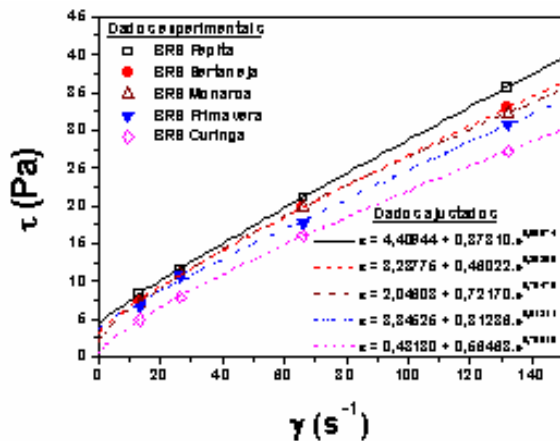


FIGURA 1. Curvas de  $\tau$  vs.  $\gamma$

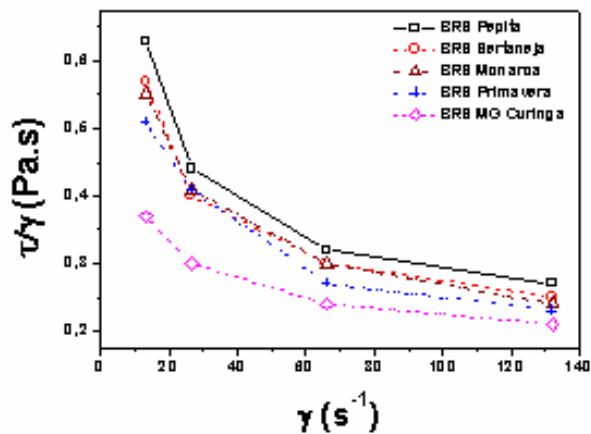


FIGURA 2. Curvas de  $\eta_a$  vs.  $\gamma$ .

**CONCLUSÕES:** As pastas de arroz polido das variedades cultivadas em sistema de terras altas possuem comportamento pseudoplástico com tensão residual, com bom ajuste do modelo de Herschel-Bulkley. Todos os parâmetros de ajuste do modelo de Herschel-Bulkley variaram de acordo com a variedade de arroz com viscosidades aparentes bem diferenciadas, apresentando alta viscosidade a variedade BRS Pepita, viscosidades intermediárias as variedades BRS Sertaneja, BRS Monarca e BRS Primavera e, baixa viscosidade a variedade BRS MG Curinga.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem à Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual de Goiás de Anápolis-GO, ao Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Católica de Goiás e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Arroz e Feijão de Santo Antônio de Goiás – GO, pelo suporte técnico.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ASCHERI, D.P.R. *et al.* Obtenção de farinhas mistas pré-gelatinizadas a partir de arroz e bagaço de jabuticaba: efeito das variáveis de extrusão nas propriedades de pasta. **B. CEPPA**, Curitiba, v. 24, n. 1, p. 115-144, jan./jun. 2006.

BARNES, H.A.; HUTTON, J.F.; WALTERS, K. **An introduction to Rheology**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1989. 199p.

BROOKFIELD DV-II+. Brookfield DV-II+ programmable viscometer. Operating instructions manual nº M/97-164. Disponível em: <www.brookfielengineering.com>. Acesso em: 24 nov. 2006.

MORAIS, O.P. *et al.* **Comunicado técnico 73: Extensão de recomendação da cultivar de arroz de terras altas “BRS Soberana para Goiás”**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, dez. 2003. 4p.

OGUNTUNDE, A.O.; AKINTOYE, O.A. Measurement and comparison of density, specific heat and viscosity of cow's milk and soymilk. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, v. 13, n. 3, p. 221-230, Jan. 1991.

PIMENTEL-GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 12ed. São Paulo: ESALQ/USP, 2000. 467p.