



ARMAZENAMENTO E PROCESSAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES TEORES DE SÓLIDOS INSOLÚVEIS SUSPENSOS NAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DE SUCOS DE ABACAXI NATURAIS E DESPECTINIZADOS

Alexandre José de Melo Queiroz¹, José Raniere Mazile Vidal Bezerra² & Carlos Alberto Gasparetto³

RESUMO

Estudou-se, neste trabalho, a influência dos sólidos insolúveis suspensos nas características reológicas de sucos de abacaxi *in natura* e sucos tratados com enzima pectinolítica. Cada um dos dois tipos de suco foi estudado através de seis frações, divididas em quatro peneiradas, uma centrifugada e uma integral, representando seis teores de sólidos insolúveis suspensos. Os dados reométricos foram coletados através de um reômetro Haake rotovisco e os dados experimentais ajustados pelo modelo de Mizrahi-Berk. Das seis frações *in natura*, quatro apresentaram comportamento pseudoplástico, uma caracterizou-se como newtoniana e outra como dilatante enquanto das seis frações tratadas enzimaticamente cinco apresentaram comportamento pseudoplástico e uma caracterizou-se como newtoniana. O teor de sólidos insolúveis suspensos mostrou-se o principal fator responsável pelo comportamento reológico dos sucos de abacaxi naturais e despectinizados.

Palavras-chave: reologia, suco, sólidos suspensos, pectina, *Ananas comosus* L.

INFLUENCE OF DIFFERENT CONTENTS OF INSOLUBLE SUSPENDED SOLIDS ON RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF NATURAL AND DESPECTINIZED PINEAPPLE JUICE

ABSTRACT

The influence of insoluble suspended solid contents in rheological characteristics of pineapple juice, both natural and treated with pectinolytic enzymes, was studied. Each type of juice was examined by six fractions, divided into four sievings, one centrifuged and the others whole, representing six contents of insoluble suspended solids. The rheometric data were collected by means of Haake rotovisco rheometer and the experimental data were adjusted by the Mizrahi-Berk model. In the natural material four fractions showed pseudoplastic behaviour, one characterized as newtonian and the others as dilatant, whereas in the enzyme treated material, five fractions presented pseudoplastic behaviour and one was characterized as newtonian. The insoluble suspended solid content was found to be the principal factor responsible for this rheological behaviour of natural and despectinized pineapple juices.

Key words: rheology, juice, suspended solids, pectin, *Ananas comosus* L.

Recebido em 10/06/1999, Protocolo 057/99

¹ Prof. Adjunto DEAg/UFPB, CP 10017, Campus II, CEP 58109 - 970, Campina Grande, PB. Fone: (0xx83) 310 1194, Fax: (0xx83) 310 1185. E-mail: alex@deag.ufpb.br

² Doutorando em Engenharia de Alimentos/FEA - UNICAMP, CP 6121, CEP 13081 - 970, Campinas, SP. E-mail: raniere@ceres.fea.unicamp.br

³ Professor FEA - UNICAMP. E-mail: gasparetto@ceres.fea.unicamp.br

INTRODUÇÃO

O dimensionamento de equipamentos para processamento de derivados de frutas, quer sejam sucos ou polpas, envolve problemas relativos ao seu escoamento, importantes para a correta adequação de sistemas de tubulação, trocadores de calor, filtros, bombas etc. às suas finalidades. Em se tratando de suco de frutas, alguns de seus constituintes têm especial influência sobre o seu comportamento reológico, sendo um deles representado pelos sólidos insolúveis suspensos, conforme os trabalhos de Ezell (1959), trabalhando com suco de laranja; Foda & McCollum (1970) estudando sucos de tomate; Gunjal & Waghmare (1987) em trabalho sobre manga; Tanglerpaibul & Rao (1987) relatando propriedades de concentrados de tomate; Trifiro et al. (1987) purê de damasco; Gehrke & Gasparetto (1996) sucos de laranja; Amstalden & Gasparetto (1996), trabalhando com citrus; Queiroz et al. (1996) observando o comportamento de sucos de abacaxi; Queiroz (1998) em trabalho com sucos de abacaxi e manga; outro constituinte importante é representado pelas pectinas, conforme relatado em Holdsworth (1971) estudando fluidos alimentares; Tanglerpaibul & Rao (1987), Ibarz et al. (1992) trabalhando com sucos de pêra e groselha; e Queiroz (1998). Nos trabalhos acima citados observa-se a convergência dos resultados no sentido de uma relação direta entre os fatores teor de sólidos insolúveis suspensos e pectinas e um aumento na dificuldade de escoamento dos materiais estudados.

O objetivo deste trabalho foi estudar as características reológicas de sucos de abacaxi com e sem tratamento pectinolítico e com diferentes teores de sólidos insolúveis suspensos.

MATERIAL E MÉTODOS

Elaboração dos materiais

Os sucos foram produzidos a partir de frutas frescas e no estágio de maturação “meio-maduras”. Após recepção em laboratório, as frutas foram lavadas, descascadas e, depois de separados e descartados os pedúnculos centrais, processadas em despulpadeira de lâminas rotativas, provida de tela com abertura de malha de 1,60 mm. O resultado deste processamento foi denominado suco “natural” e “integral”. Sucos com teores reduzidos de sólidos insolúveis suspensos foram obtidos a partir do suco integral, sendo para isto empregadas peneiras de aço inoxidável agitadas em agitador mecânico, marca Produtest, no nível de agitação máxima durante 60 min. Para se obter diminuições graduais nos teores de sólidos insolúveis suspensos, foram utilizados quatro tamanhos de malha, inferiores à abertura da tela da despulpadeira: 1,18, 0,84, 0,59 e 0,149 mm. Para a eliminação completa dos sólidos insolúveis suspensos foi feita uma centrifugação a 15000 rpm, por 40 min.

Somando-se o material integral, os quatro peneirados e o centrifugado, tem-se o total de seis materiais do tipo “natural”. O outro tipo de material estudado foi obtido a partir da precipitação da pectina dos sucos, pelo tratamento das amostras com a enzima pectinolítica Pectinex 3XL, fabricada pela empresa Novo-Nordisk. Os sucos tratados enzimaticamente foram denominados “despectinizados” e totalizaram seis amostras, sendo uma integral, quatro peneiradas e uma centrifugada, todas

obtidas pelo mesmo procedimento utilizado para o tipo natural. O teor de pectina do material natural foi determinado através da metodologia proposta por Ranganna (1978) e cujo princípio é a neutralização das cargas dos resíduos de ácidos urônicos livres pelos íons cálcio, gelificando e precipitando a pectina.

As propriedades reológicas foram determinadas a 30°C com um reômetro Haake rotovisco e sistema de medição ZA-30 de cilindros concêntricos. As medições experimentais foram realizadas em triplicata utilizando-se, no presente estudo, os treze maiores valores de taxa de deformação. Após a reometria foram determinados os teores de sólidos insolúveis, determinação esta realizada pelo método Adolfo Lutz, nº 13.6.4 (Lara et al., 1976). As curvas de tensão de cisalhamento versus taxa de deformação foram ajustadas pelo modelo de Mizrahi & Berk (1972) proposto para ser utilizado no estudo do escoamento de suco de laranja concentrado e suspensões de partículas interagindo entre si em um meio pseudoplástico, dado pela equação:

$$\tau^{1/2} = K_{OM} + K_M \dot{\gamma}^{n_M}$$

em que:

- τ - tensão de cisalhamento
- $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação
- K_{OM} - raiz quadrada da tensão inicial
- K_M - fator de consistência
- n_M - índice de comportamento de fluxo

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comportamento reológico

Na Figura 1 estão representadas as curvas ajustadas pelo modelo de Mizrahi & Berk, representando a relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação, para três amostras de suco de abacaxi natural e três amostras de suco de abacaxi despectinizado. Além de representar dois tipos de material, um natural e outro despectinizado, as amostras da Figura 1 foram escolhidas visando-se comparar as frações com maior teor de sólidos insolúveis (integrals), as frações isentas desses sólidos (centrifugados) e as frações com teores intermediários, passadas em peneiras de 0,84 mm.

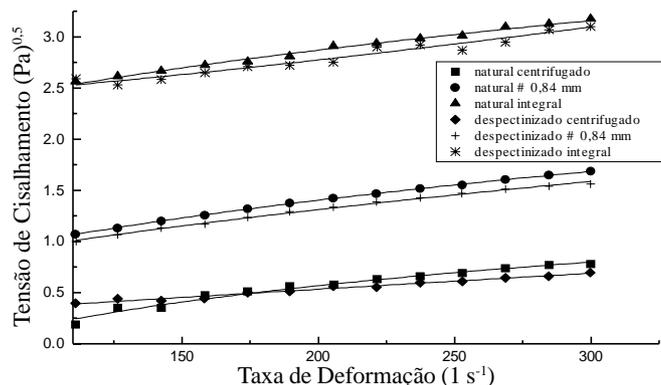


Figura 1. Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para as frações integral, passada em peneira 0,84 mm e centrifugada de abacaxi natural e despectinizado com ajustes pelo modelo de Mizrahi-Berk

Observa-se, nas seis curvas, comportamento semelhante a cada duas curvas, formando três pares. As curvas das frações centrifugadas apresentaram inclinações diferentes, cruzando-se

entre 150 e 200 s⁻¹ na escala da taxa de deformação e nas curvas das frações passadas em peneira 0,84 mm as inclinações são semelhantes, embora a fração do material natural esteja representado numa posição pouco superior, na escala das tensões, à posição do material despectinizado; o mesmo ocorre com as frações dos materiais integrais, com a curva do material natural posicionada pouco acima da curva do despectinizado.

Na Tabela 1 observam-se os parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para os seis materiais da Figura 1, e os índices de ajuste qui-quadrado (χ^2), a soma dos quadrados dos desvios (SSR) e o coeficiente de regressão (R²).

Tabela 1. Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para as frações de abacaxi naturais e despectinizadas

	Natural			Despectinizado		
	Integral	#0,84 mm	Centrifugado	Integral	#0,84 mm	Centrifugado
K _{0M}	2,05178	-0,12999	-5,12570	2,40825	0,91337	0,26231
K _M	0,01116	0,16787	3,37073	0,00005	0,00117	0,00049
n _M	0,80808	0,41835	0,09892	1,66343	1,00047	1,18716
X ²	0,00025	0,00002	0,00089	0,00189	0,00007	0,00022
SSR	0,00255	0,00015	0,00892	0,01887	0,00072	0,00218
R ²	0,99476	0,99967	0,97714	0,95500	0,98851	0,98116

Em cinco dos seis ajustes verificam-se valores de R² acima de 0,97 e SSR inferior a 0,01, configurando a adequação do modelo para caracterizar o comportamento reológico dos materiais utilizados.

Mediante a aplicação dos parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk, tem-se que as frações integral, 1,18, 0,84 e 0,59 mm, apresentaram comportamento pseudoplástico, enquadrando-se na classificação de Nagy et al. (1993) que afirmam ser este o comportamento típico de sucos e purês de frutas contendo particulado insolúvel. A fração passada em peneira 0,149 mm apresentou comportamento newtoniano. Segundo diversos autores, como Ibarz et al. (1992) trabalhando com suco de pêssego, este foi o comportamento observado em sucos contendo pouco ou nenhum material particulado. A fração centrifugada apresentou comportamento dilatante, também detectado por Varshney & Kumbhar (1978) que registraram esta observação em suco filtrado de abacaxi a 7° Brix e a 45°C.

A fração integral e todas as frações peneiradas de suco de abacaxi despectinizado apresentaram comportamento pseudoplástico. A amostra centrifugada comportou-se como fluido newtoniano, resultados semelhantes aos obtidos por Saenz & Costell (1986) para derivados de limão clarificados e não clarificados, e Marques & Meireles (1996) estudando suco de laranja.

Influência dos sólidos insolúveis na viscosidade dos sucos natural e despectinizado de abacaxi

As viscosidades dos materiais natural e despectinizado acompanharam os teores de sólidos insolúveis, diminuindo de valor a medida em que estes foram sendo reduzidos, e a forma como as viscosidades diminuíram com as reduções de sólidos insolúveis diferiram do material natural para o despectinizado (Tabela 2A e B).

Vê-se que o material natural, em relação ao despectinizado, partiu de um teor de sólidos inferior e de uma viscosidade superior, medidos no produto integral, para um teor de sólidos superior e viscosidade similar no último peneiramento. Verificam-se, assim, pontualmente, viscosidades semelhantes em materiais com diferentes teores de sólidos insolúveis. Comparando-se

os materiais passados em cada uma das peneiras, percebe-se que na menor das malhas as viscosidades do material natural e do despectinizado apresentaram valores idênticos para teores de sólidos diferentes em 65% (Tabela 2A e B).

No material natural, embora a maior redução de viscosidade entre os peneirados (92%) tenha ocorrido na fração da malha 0,149 mm, com o material da peneira 0,84 mm já foi conseguida uma redução de 71%. Da mesma forma, o material despectinizado teve sua maior redução de viscosidade com a peneira 0,149 mm (91%) mas a peneira 1,18 mm originou um material com a viscosidade reduzida em 71%.

Observando-se os valores de sólidos insolúveis e viscosidade aparente a 300 s⁻¹ (Tabela 2A e B) constata-se que, para teores semelhantes de sólidos insolúveis medidos nos sucos naturais e despectinizados (0,52 g 100g⁻¹: natural integral contra 0,61 g 100g⁻¹: despectinizado integral; 0,26 g 100g⁻¹: natural em #0,149 mm contra 0,25 g 100g⁻¹: despectinizado em #1,18 mm) os valores de viscosidade aparente das amostras despectinizadas não são inferiores aos valores obtidos para as amostras naturais, fato devido, provavelmente, ao baixo teor de pectina determinado nas amostras naturais (0,083 %).

Na Figura 2, a seguir, tem-se o comportamento das curvas de viscosidade em função do teor de sólidos insolúveis, para os dois materiais. Observando-se os valores das relações entre redução percentual de viscosidade e redução percentual do teor de sólidos insolúveis, percebe-se que as reduções de sólidos provocaram reduções de viscosidade em ordens diferentes entre o material natural e o despectinizado.

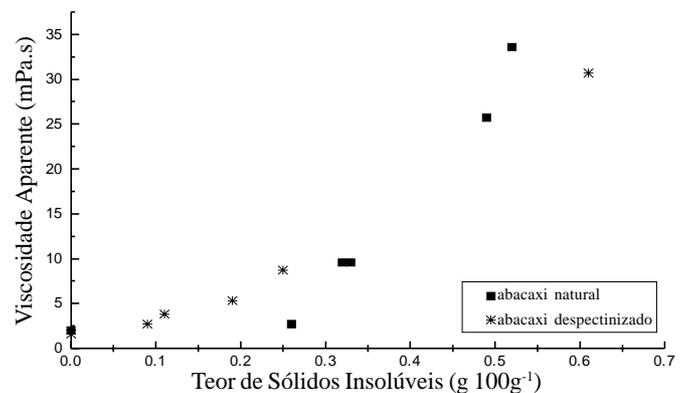


Figura 2. Viscosidade aparente a 300 s⁻¹ das frações de suco de abacaxi natural e despectinizado, para seus respectivos teores de sólidos

No despectinizado, todas as relações foram em níveis semelhantes e se situaram na faixa entre 1,1 e 1,2 para todos os peneirados (Tabela 2B); no material natural (Tabela 2A), após o valor de 3,8 do material da peneira 1,18 mm, o índice da relação se situou entre 1,8 e 2,0 para os demais peneirados. Considerando-se os valores absolutos de viscosidade e de sólidos insolúveis, a relação entre ambos também foi mais estável no despectinizado para todos os peneirados; no entanto, a média desses valores foi semelhante para o natural (37,3 mPa s 100g g⁻¹) e para o despectinizado (35,3 mPa s 100g g⁻¹) com o desvio-padrão do natural sendo mais que o dobro do desvio-padrão do despectinizado (19,1 mPa s 100g g⁻¹ contra 7,8 mPa s 100g g⁻¹). Esta diferença entre os desvios refletiu particularmente os valores obtidos para

Tabela 2. Variação da viscosidade de cada fração de suco de abacaxi natural e despectinizado em relação à viscosidade da fração integral. Relações entre esta variação de viscosidade e a variação do teor de sólidos insolúveis suspensos (SIS) de cada fração em relação à fração integral. Relação entre viscosidade e teor de SIS de cada fração

	Integral	Peneirados			Centrifugado	
	(#1,60mm)	(#1,18mm)	(#0,84mm)	(#0,59mm)		(#0,149mm)
A. Natural						
Sólidos Insolúveis (g 100g ⁻¹)	0,52	0,49	0,32	0,33	0,26	0,00(*)
Viscosidade Aparente a 300 s ⁻¹ (mPa.s)	33,6	25,7	9,6	9,6	2,7	2,0
Variação (%) de Viscosidade em Relação à Fração Integral (1)	-	- 23	- 71	-71	- 92	- 94
Redução (%) de Sólidos Insolúveis em Relação à Fração Integral (2)	-	6	38	36	50	-
Relações entre as Variações das Linhas (1) e (2)	-	3,8	1,9	2,0	1,8	-
Relação entre Viscosidade e Teor de SIS (mPa.s.100g ⁻¹)	64,6	52,4	30,0	29,1	10,4	-
B. Despectinizado						
Sólidos Insolúveis (g 100g ⁻¹)	0,61	0,25	0,19	0,11	0,09	0,00 (*)
Viscosidade Aparente a 300 s ⁻¹ (mPa.s)	30,7	8,7	5,3	3,8	2,7	1,6
Variação (%) de Viscosidade em Relação à Fração Integral (1)	-	- 71	- 83	- 88	- 91	- 95
Redução (%) de Sólidos Insolúveis em Relação à Fração Integral (2)	-	59	69	82	85	-
Relações entre as Variações das Linhas (1) e (2)	-	1,2	1,2	1,1	1,1	-
Relação entre Viscosidade e Teor de SIS (mPa.s.100g ⁻¹)	50,3	35,0	28,0	34,5	30,2	-

#: malha - mm
 (*): valor teórico
 (-): redução

o suco natural integral, com 64,6 mPa s 100g g⁻¹ e o suco natural da peneira 0,149 mm, com 10,4 mPa s 100g g⁻¹. No caso do material integral, tanto natural quanto despectinizado, este pareceu sofrer mais influência dos sólidos insolúveis contidos nas suas amostras que os materiais peneirados. Também no caso do material natural da peneira 1,18 mm obteve-se um número superior aos dos demais peneirados. De maneira geral, a viscosidade do despectinizado mostrou certa constância na sua dependência em relação aos sólidos insolúveis, em todos os peneirados, ao contrário do material natural, em que apenas os valores para os materiais das peneiras 0,84 e 0,59 mm estiveram próximos e com valor semelhante àqueles dos despectinizados.

CONCLUSÕES

1. O teor de sólidos insolúveis suspensos mostrou-se o principal fator responsável pelo comportamento reológico dos sucos de abacaxi naturais e despectinizados.

2. No suco natural, a eliminação total dos sólidos insolúveis suspensos com a centrifugação reduziu a viscosidade aparente da fração centrifugada para menos de 1/16 do valor da viscosidade aparente da fração integral, na taxa de deformação de 300 s⁻¹, enquanto no despectinizado, esta eliminação total dos sólidos insolúveis suspensos reduziu a viscosidade aparente para menos de 1/19.

3. A redução do teor de sólidos insolúveis suspensos dos sucos de abacaxi naturais e despectinizados a níveis entre 0,09 e 0,26 g 100g⁻¹, provocou reduções de viscosidade aparente a níveis semelhantes aos obtidos com a eliminação total desses sólidos.

4. A redução do teor de sólidos insolúveis suspensos alterou, de forma diferente, os valores de viscosidade aparente dos dois materiais.

5. Os materiais naturais apresentaram padrões de comportamento reológico distintos dos despectinizados apenas nas frações com menores teores de sólidos insolúveis suspensos (peneirados em malha 0,149 mm e centrifugados).

AGRADECIMENTOS

Aos Srs. Sílvio e Regina Flores, pela cessão, em nome da empresa Novo-Nordisk, da enzima utilizada nos ensaios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMSTALDEN, L.C. Estudo da deposição de hesperidina em evaporadores da indústria de citrus. Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 1996. 94p. Tese Doutorado

- EZELL, G.H. Viscosity of concentrated orange and grapefruit juices. *Food Technology*, Lake Alfred, v.13, p. 9-13. 1959.
- FODA, Y.H.; McCOLLUM, J.P. Viscosity as affected by various constituents of tomato juice. *Journal of Food Science*, Urbana, v. 35, p. 333-338. 1970.
- GEHRKE, T.; GASPARETTO, C.A. Reometria de suco de frutas. Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 1996. 52p. Dissertação Mestrado
- GUNJAL, B.B.; WAGHMARE, N.J. Flow characteristics of pulp, juice and nectar of "Baneshan" and "Neelum" mangoes. *Journal of Food Science Technology*, Parbhani, v. 24, p. 20-23. 1987.
- HOLDSWORTH, S.D. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid food products. *Journal of Texture Studies*, Chipping Campden, v.2, n.4, p.393-418, 1971.
- IBARZ, A.; GONZALEZ, C.; ESPLUGAS, S.; VICENTE, M. Rheology of clarified fruit juices: I - Peach juices. *Journal of Food Engineering*, Lleida, v.15, n.1, p.49-61, 1992.
- LARA, A.B.W.; NAZARIO, G.; ALMEIDA, M.E.W.; PREGNOLATO, W. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 2. ed. São Paulo. Instituto Adolfo Lutz. v.1, 1976. p. 139-140.
- MARQUES, D.S.; MEIRELES, M.A. Estudo da influência da concentração em sólidos solúveis e da porcentagem de polpa suspensa sobre a viscosidade do suco de laranja concentrado produzido no Brasil. *Ciência e Tecnologia Alimentos*, Campinas, v.16, n.3, p.260-264, 1996.
- MIZRAHI, S.; BERK, Z. Flow behaviour of concentrated orange juice - Mathematical treatment. *Journal of Texture Studies*, Haifa, v.3, p.69-79, 1972.
- NAGY, S.; CHEN, C.S.; SHAW, P.E. Fruit juice processing technology. Florida: Agscience Inc., Albuquerque, 1993. 713p.
- QUEIROZ, A.J.M. Estudo do comportamento reológico dos sucos de abacaxi e manga. Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. 1998. 170 p. Tese Doutorado
- QUEIROZ, A.J.M.; VIDAL, J.R.M.; VIDAL, B.C.; GASPARETTO, C.A. Influência dos sólidos suspensos na reologia do suco de abacaxi. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 24, Anais..., Uberlândia, MG. v.I, p.49-53. 1996.
- RANGANA, S. Manual of analysis of fruit and vegetable products. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 1978. 634p.
- SAENZ, C.; COSTELL, E. Comportamiento reológico de productos de limón. Influência de la temperatura y de la concentracion. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, Valencia, v.26, n.4, p.581-588, 1986.
- TANGLERTPAIBUL, T.; RAO, M.A. Rheological properties of tomato concentrates as affected by particle size and methods of concentration. *Journal of Food Science*, New York, v. 52, n.1, p. 141-145. 1987.
- TRIFIRÒ, A.; SACCANI, G.; GHERARDI, S.; BIGLIARDI, D. Effect of content and sizes of suspended particles on the rheological behaviour of apricot purees. *Industria Conserve*, Napoli, v. 62, p. 97-104. 1987.
- VARSHNEY, N.N.; KUMBHAR, B.K. Effect of concentration and temperature on rheological properties of pineapple and orange juices. *Journal of Food Science Technology*, Kharagpur, v.15, p.53-55, 1978.