

PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE SOLUÇÕES-MODELO SIMILARES A SUCOS - PARTE II

Sílvia Cristina Sobottka Rolim de MOURA¹, Vitor Correia Lima FRANÇA²,
Áurea Maria Castelo Branco LEAL³

RESUMO

Propriedades termofísicas, densidade e viscosidade de soluções-modelo similares a sucos foram determinadas experimentalmente. Os resultados foram comparados aos preditos por modelos matemáticos (STATISTICA 6.0) e obtidos da literatura em função da sua composição química. Para definição das soluções-modelo, foi realizado um planejamento estrela, mantendo-se fixa a quantidade de ácido (1,5%) e variando-se a água (82-98,5%), o carboidrato (0-15%) e a gordura (0-1,5%). A densidade foi determinada em picnômetro. A viscosidade foi determinada em viscosímetro Brookfield modelo LVF. A condutividade térmica foi calculada com o conhecimento das propriedades difusividade térmica e calor específico (apresentados na Parte I deste trabalho MOURA [7]) e da densidade. Os resultados de cada propriedade foram analisados através de superfícies de respostas. Foram encontrados resultados significativos para as propriedades, mostrando que os modelos encontrados representam as mudanças das propriedades térmicas e físicas dos sucos, com alterações na composição e na temperatura.

Palavras-chave: condutividade térmica; viscosidade; soluções modelo; sucos.

SUMMARY

THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF MODEL SOLUTIONS SIMILAR TO JUICE - PART II. Thermophysical properties, density and viscosity of model solutions similar to juices were experimentally determined. The results were compared to those predicted by mathematical models (STATISTICA 6.0) and to values mentioned in the literature, according to the chemical composition. A star planning was adopted to define model solutions composition; fixing the acid amount in 1.5% and varying water (82-98.5%), carbohydrate (0-15%) and fat (0-1.5%). The density was determined by picnometer. The viscosity was determined by Brookfield LVF model viscosimeter. The thermal conductivity was calculated based on thermal diffusivity and specific heat values (presented at the 1st Part of this paper - MOURA [7]) and density. The results of each property were analyzed by the response surface method. The found results were significant, indicating that the models represent the changes of thermal and physical juices properties, according to their composition and temperature variations.

Keywords: thermal conductivity; viscosity; model solutions; juices.

1 - INTRODUÇÃO

O dimensionamento dos equipamentos utilizados no processamento de alimentos, principalmente os pasteurizadores e outros que requerem bombeamento do produto, exigem dados precisos das propriedades térmicas dos mesmos (condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico) e de como essas propriedades se comportam durante o processo em função da temperatura.

A necessidade de se conhecer as propriedades térmicas com precisão tem levado ao estudo da influência da composição e da temperatura nestas propriedades.

POLLEY, SNYDER & KOTNOUR [9] publicaram uma coleção de tabelas de propriedades térmicas em diversos alimentos, entre eles carnes, frutas, legumes, leite e cereais. São encontradas nestas tabelas algumas propriedades térmicas de sucos de maçã, cereja, grape, laranja e pêra, porém, estão incompletas.

Um trabalho mais específico de determinação de propriedades termofísicas, foi desenvolvido para suco clarificado de maçã, a diversas temperaturas e concentrações [4]. O trabalho apresenta resultados experimentais de determinações de densidade, viscosidade, calor específico e condutividade térmica. Os resultados mostram a grande influência da concentração e temperatura na determinação destas propriedades e modelam os dados em função destas variáveis. No mesmo ano, VIRENDRA, SINGH & SINGH [13] estudaram a predição da condutividade térmica, obtida por diversos modelos matemáticos, para diversos sucos (maçã, cereja, grape, laranja e morango). Comparando os valores teóricos com valores experimentais o erro encontrado foi menor que 10%.

O conhecimento das propriedades reológicas dos alimentos torna-se necessário para uma série de aplicações como: controle de qualidade, conhecimento da estrutura física e, principalmente, controle e dimensionamento de processos industriais.

O efeito da temperatura e da concentração na densidade e viscosidade de suco de maçã foi estudado por BAYINDIRLI [3]. Modelos matemáticos foram obtidos dos dados experimentais apresentando ótima correlação ($r^2 > 0,99$). Já em ALVARADO [1], encontra-se a influência da temperatura na viscosidade de sucos de frutas filtrados e do suco de cana-de-açúcar. Os resultados mostram que a viscosidade dos sucos de frutas segue a lei de Arrhenius, apresentando energias de ativação da ordem de 20kJ/g.mol.

Recebido para publicação em 21/01/2004. Aceito para publicação em 11/08/2005 (001279).

Centro de Tecnologia de Hortifrutícolas - FRUTHOTEC - /Instituto de Tecnologia de Alimentos - ITAL. Endereço: Avenida Brasil, 2880. CEP: 13073-001, Campinas-SP, Brasil. E-mail: smoura@ital.org.br

*Programa de Iniciação Científica CNPq - PIBIC
A quem a correspondência deve ser enviada.*

Um trabalho mais recente de predição de propriedades termofísicas aplicada a sucos clarificados, em função da concentração e da temperatura, pode ser encontrado em PEACOCK [8]. O artigo apresenta modelos matemáticos de predição da elevação do ponto de ebulição, densidade, entalpia, calor específico, solubilidade da sacarose, tensão superficial, condutividade térmica e viscosidade. O estudo mostra que existe alta correlação entre as propriedades termofísicas e a concentração e temperatura de produtos fluidos.

Outro trabalho, recentemente apresentado por TELIS-ROMERO et al. [11], obteve resultados significativos na determinação das propriedades termofísicas densidade, difusividade térmica, calor específico e condutividade térmica para suco de laranja não clarificado brasileiro.

É importante destacar o aumento da demanda dos produtos alimentícios no país, trazendo como consequência a exigência de modernização, adequação tecnológica e maior qualidade para as indústrias. O cumprimento dessas exigências só acontecerá com maiores informações científicas sobre o processamento de alimentos, o que passa pelo conhecimento das propriedades físicas para os cálculos dos processos. Hoje, os inúmeros dados de tais propriedades encontrados na literatura para produtos similares não são adequados, na maioria das vezes, para os produtos nacionais. Propriedades termofísicas de grande parte dos produtos brasileiros nem são encontradas na literatura.

A falta de conhecimento de algumas dessas características e de como elas se comportam diante de variações de temperatura pode levar a um processamento inadequado do produto, gerando prejuízos que poderiam ser facilmente evitados. A indústria de sucos tropicais no Brasil sofre com a falta de dados que sirvam de base para estudos de dimensionamento de processamentos térmicos. Assim, o objetivo do presente trabalho foi determinar experimentalmente a densidade e a viscosidade e, com o conhecimento prévio do calor específico e da difusividade térmica, calcular a condutividade térmica de soluções-modelo similares a sucos, na faixa de temperatura de 10 a 80 °C, estudando a influência da composição química e da temperatura nas propriedades físicas dos produtos. Foi feita ainda uma comparação entre os dados experimentais e valores calculados obtidos de modelos matemáticos encontrados na literatura.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 - Materiais

As soluções-modelo foram preparadas seguindo uma distribuição de componentes dada por um tratamento estatístico [6], tentando-se simular um suco de fruta. Foram variados os teores de água (82 a 98,5%), carboidrato (0 a 15%), gordura (0 a 1,77%), mantendo-se fixa a quantidade de ácido em 1,5%. Para estabilizar a emulsão, utilizou-se goma xantana a 0,2%.

2.2 - Métodos

2.2.1 - Densidade (ρ)

Determinada em triplicata, a 50°C, pelo método de deslocamento de fluidos em picnômetro, segundo norma nº 985.19 da AOAC [13]. Os picnômetros foram previamente calibrados com água destilada e os dados coletados em triplicata.

2.2.2 - Condutividade térmica (k)

Determinada após o conhecimento da difusividade térmica, densidade e do calor específico do produto, usando a relação (I):

$$k = \rho \cdot C_p \cdot \alpha \quad (I)$$

Onde:

k (kcal/m.°C.h)

ρ = densidade (kg/m³)

C_p = calor específico (kcal/kg°C)

α = difusividade térmica (m²/h)

2.2.3 - Viscosidade (η)

Determinada em triplicata, utilizando um viscosímetro Brookfield LVF spindle #1 à 60 rpm, conforme recomendações de VAN WAZER et al. [12].

2.2.4 - Delineamento experimental e avaliação dos resultados

A análise de superfície de resposta foi feita para otimizar as propriedades termofísicas citadas. Para tanto utilizou-se o Planejamento Estrela [2], o qual consiste em um método rotacional central, onde X_1 e X_2 são variáveis codificadas de acordo com o planejamento. Todos os dados foram coletados em triplicata. Para obtenção da superfície de resposta foi utilizado o programa STATISTICA 6.0.

O modelo experimental de segunda ordem (II) descreve as superfícies de resposta para as variáveis densidade, viscosidade e condutividade térmica.

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_1^2 + B_4 X_2^2 + B_5 X_1 X_2 \quad (II)$$

onde Y é a resposta medida experimentalmente para as variáveis mencionadas, B_0 é uma constante e B_1 a B_5 são coeficientes numéricos para as variáveis codificadas X_1 e X_2 .

$$X_1 = \frac{\%óleo}{\%água + \%carboidrato} \quad X_2 = \frac{\%carboidrato}{\%água}$$

O método de superfície de resposta determina as condições ótimas através da combinação entre "design" experimental especial com modelagem matemática, utilizando-se para tanto equações polinomiais de segunda ordem. Neste estudo adotou-se o Planejamento Estrela com três repetições do ponto central, a fim de analisar as propriedades especificadas anteriormente, variando-se a

composição de água (82% a 98,5%), carboidrato (0 a 15%) e gordura (0 a 1,77%) e mantendo-se fixa a concentração de ácido a 1,5%. Para cada propriedade física foram realizados 11 ensaios, seguindo o planejamento inicial para a viabilização da superfície de resposta. O planejamento encontra-se na *Tabela 1*.

TABELA 1 - Composição dos ensaios utilizada para determinar as propriedades físicas

Ensaio	X ₁	X ₂	Água (%)	Carboidrato (%)	Óleo (%)	Ácido (%)	Total (%)
1	-1	-1	95,63	2,58	0,29	1,50	100
2	1	-1	94,40	2,55	1,55	1,50	100
3	-1	1	84,97	13,24	0,29	1,50	100
4	1	1	83,87	13,08	1,55	1,50	100
5	0	0	89,47	8,14	0,89	1,50	100
6	0	0	89,47	8,14	0,89	1,50	100
7	0	0	89,47	8,14	0,89	1,50	100
8	-1,4142	0	90,28	8,22	0,00	1,50	100
9	0	1,4142	82,51	15,10	0,89	1,50	100
10	1,4142	0	88,67	8,06	1,77	1,50	100
11	0	-1,4142	97,61	0,00	0,89	1,50	100

Os valores obtidos experimentalmente para as propriedades termofísicas serão comparados com os obtidos através de modelos matemáticos encontrados na literatura.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados médios de pH, sólidos solúveis, densidade, calor específico e difusividade térmica, obtidos na Parte I do trabalho [7], e a condutividade térmica, calculada através da equação (I), estão dispostos na *Tabela 2*.

TABELA 2 - Resultados médios das propriedades: Sólidos solúveis, pH, densidade, calor específico, difusividade e condutividade térmicas, sendo o três últimos a 50 °C

Ensaio	Sólidos solúveis	pH	Cp (kcal/kg°C)	ρ (kg/m³) x 10 ³	α (m²/h) x 10 ⁴	k (kcal/m.°C.h)
1	5,0	2,48	0,8884	1,0095	3,8041	0,3412
2	4,5	2,50	0,9903	1,0059	5,5253	0,5504
3	15,5	2,36	0,8098	1,0534	3,5812	0,3055
4	15,0	2,45	0,9359	1,0382	3,8621	0,3753
5	9,0	2,40	0,8534	1,0213	4,0681	0,3546
6	9,0	2,40	0,8424	1,0213	3,8718	0,3331
7	9,0	2,40	0,8419	1,0213	4,1411	0,3561
8	10,0	2,27	0,8380	1,0323	2,8737	0,2486
9	17,0	2,23	0,8664	1,0413	3,5268	0,3182
10	9,6	2,48	0,9283	1,0309	4,3510	0,4164
11	2,0	2,31	0,9755	0,9939	5,1325	0,4976

Os dados da *Tabela 2* possibilitaram construir os gráficos de superfície de resposta para as propriedades termofísicas: densidade (*Figura 1*), viscosidade (*Figura 2*) e condutividade térmica (*Figura 3*), em função das variáveis X₁ e X₂, que serão apresentados mais adiante.

Através do programa Statistica 6.0 calcularam-se os coeficientes das equações geradas pelo modelo de superfície de resposta, bem como seus limites de confiança de 95%.

3.1 - Densidade (ρ)

A análise de variância avalia o quanto o modelo de superfície de resposta representa à variação dos dados observados. Para densidade, o modelo representa 81,1% da variação dos valores observados, em nível de significância de 5%. O fator de ajuste para densidade foi de aproxima-

madamente 0,02, portanto abaixo do valor nominal de 0,05 (95% de probabilidade). Isto significa que, apesar da equação ter um coeficiente de determinação (r² = 0,89) bom, não é o melhor ajuste possível. O modelo foi descrito com um intervalo de confiança (95%) de cada constante obtida.

O modelo de segunda ordem para densidade (DENS) é:

$$DENS = (1025,29 \pm 3,74) - (3,33 \pm 2,30)X_1 + (2,87 \pm 1,78)X_1^2 - (2,57 \pm 0,98)X_2^2 - (2,90 \pm 3,99)X_1X_2 \quad (III)$$

onde as variáveis X₁ e X₂ são codificadas conforme *Tabela 1*.

De acordo com a *Figura 1*, quanto maior o valor de X₁, menor o valor da densidade. Isto é fácil de visualizar, uma vez que os coeficientes B₁ e B₂, os quais estão atrelados à variável X₁, são negativos. Por outro lado, o efeito negativo de X₂ na densidade torna-se claro para valores altos de X₂.

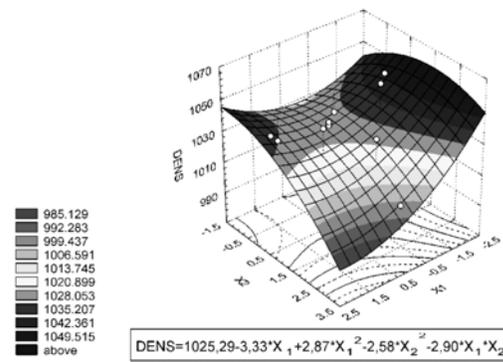


FIGURA 1 - Densidade em função de X₁ e X₂

Os valores encontrados experimentalmente foram comparados aos do modelo proposto por PEACOCK [8].

$$\rho = 1000 \left[1 + B \left(\frac{B + 200}{54000} \right) \right] \left[1 - 0,036 \left(\frac{T - 20}{160 - T} \right) \right] \quad (IV)$$

onde:

ρ = Densidade (kg/m³)

B = Concentração de sólidos solúveis (°Brix)

T = Temperatura (°C)

Pela análise dos valores da *Tabela 3* percebe-se que o erro é muito pequeno, no máximo 3,06% (ensaio 9).

TABELA 3 - Erro experimental para densidade, segundo equação (IV)

Ensaio	kg/m ³		%
	D _{exp}	D _{equação IV}	Erro _{equação IV} *
1	1009,5	1009,0	0,05
2	1005,9	1021,6	1,56
3	1053,4	1066,6	1,26
4	1038,2	1064,5	2,53
5	1021,3	1039,5	1,78
6	1021,3	1039,5	1,78
7	1021,3	1039,5	1,78
8	1032,3	1043,6	1,09
9	1041,3	1073,1	3,06
10	1030,9	1041,9	1,07
11	993,9	1012,0	1,82

* Erro = (valor teórico - valor experimental) / valor experimental x 10

3.2 - Viscosidade (η)

A viscosidade é uma propriedade que varia muito com a temperatura. Foram realizadas medidas a três temperaturas: 6°C, 30°C e 50°C, que encontram-se na *Tabela 4*.

TABELA 4 - Viscosidade cinemática dos ensaios 1 a 11 a 6°C, 30°C e 50°C

Ensaio	η (cP)		
	T(6°C)	T(30°C)	T(50°C)
1	58,45	33,40	20,70
2	51,30	28,50	17,50
3	68,40	38,00	23,50
4	65,10	35,90	21,80
5	62,60	34,45	20,60
6	62,70	34,50	20,60
7	62,75	34,50	20,50
8	54,00	30,70	18,80
9	57,60	33,80	20,50
10	58,45	32,35	19,60
11	42,10	22,85	13,90

A resposta encontrada para viscosidade representa apenas 60,7% da variação dos valores observados, em nível de significância de 5%. O fator de ajuste para viscosidade foi de aproximadamente 0,003, portanto abaixo do valor nominal de 0,05. Desta maneira, não se pode afirmar que o modelo encontrado seja o melhor, devendo-se assim ocorrer testes para verificar outras modelagens matemáticas. O modelo foi descrito com um intervalo de confiança (95%) de cada constante obtida. O coeficiente de determinação (r^2) do modelo foi de 0,76.

O modelo de segunda ordem para viscosidade (*VISC*) é:

$$VISC = (22,09 \pm 0,36) - (0,93 \pm 0,22)X_1 - [0,17 \pm 0,17]X_1^2 + (2,63 \pm 0,35)X_2 - (1,57 \pm 0,17)X_2^2 \quad (V)$$

De acordo com a *Figura 2*, o aumento de X_1 ocasiona o aumento da viscosidade. Isto equivale a dizer que, em sucos o aumento de carboidrato interfere positivamente no valor desta propriedade física.

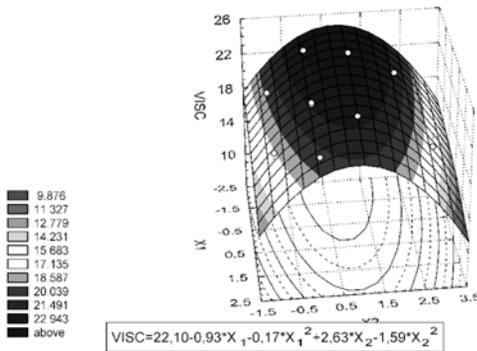


FIGURA 2 - Viscosidade em função de X_1 e X_2

Os dados encontrados em literatura para se estimar a viscosidade de sucos são bem específicos. Os poucos trabalhos que abordam esta propriedade física referem-se a sua variação em função da temperatura utilizando-se da relação de Arrhenius:

$$\eta = \eta_0 \cdot \exp\left(\frac{E_a}{R \cdot T}\right) \quad (VI)$$

onde:

η = viscosidade, (cP)

η_0 = fator pré-exponencial, (cP)

E_a = Energia de ativação de fluxo, (kcal/gmol)

R = Constante dos gases, ($1,987 \cdot 10^{-3}$ kcal/gmol.°K)

Plotando-se um gráfico de $\ln \eta$ versus $1/T$ pode-se determinar os valores de η_0 e de E_a , uma vez que $\ln \eta_0$ e E_a/R são os coeficientes linear e angular da reta, respectivamente.

Utilizando-se a relação de Arrhenius, os valores encontrados para a viscosidade nas três temperaturas medidas foram inferiores a 5%. Apesar da viscosidade ter sido medida em apenas 3 pontos, a regressão linear usada para aplicar a relação de Arrhenius apresentou um bom r^2 (*Tabela 5*), sendo então uma boa relação para a viscosidade nesta faixa de temperatura.

TABELA 5 - Erro experimental para viscosidade, segundo equação (VI), a 50°C

Ensaio	Equação	r^2	η		% Erro equação VI
			η_{exp}	$\eta_{equação VI}$	
1	$y = 2116,33x - 3,5051$	0,998	20,70	21,05	1,70
2	$y = 2194,44x - 3,9173$	0,9992	17,50	17,75	1,45
3	$y = 2180,78x - 3,5818$	0,9993	23,50	23,80	1,29
4	$y = 2231,64x - 3,8115$	0,9991	21,80	22,15	1,59
5	$y = 2265,62x - 3,9702$	0,998	20,60	20,99	1,90
6	$y = 2268,71x - 3,9795$	0,998	20,60	21,00	1,93
7	$y = 2279,76x - 4,0176$	0,998	20,50	20,92	2,03
8	$y = 2150,26x - 3,7046$	0,998	18,80	19,16	1,89
9	$y = 2100,99x - 3,4582$	0,997	20,50	21,04	2,63
10	$y = 2228,20x - 3,9061$	0,998	19,60	19,93	1,70
11	$y = 2262,30x - 4,3594$	0,9994	13,90	14,08	1,29

Erro = (valor teórico - valor experimental) / valor experimental x 100

3.3 - Condutividade térmica (k)

Uma vez determinados os valores de difusividade térmica, densidade e calor específico, podem-se calcular os valores de k para os 11 ensaios. Estes valores estão listados na *Tabela 2*.

A resposta encontrada para condutividade térmica representa 86,2% da variação dos valores observados, em nível de significância de 5%. O fator de ajuste para condutividade térmica foi de aproximadamente 0,12, portanto acima do valor nominal de 0,05, indicando que o modelo de segunda ordem aplicado para condutividade térmica é apropriado para justificar a variação desta propriedade térmica com a variação de X_1 e X_2 . O modelo foi descrito com um intervalo de confiança (95%) de cada constante obtida. O coeficiente de determinação (r^2) do modelo foi de 0,89.

O modelo de segunda ordem para condutividade térmica (COND) é:

$$COND = (0,352 \pm 0,028) + (0,013 \pm 0,009)X_1^2 - (0,035 \pm 0,040)X_1 X_2 \quad (VII)$$

De acordo com a *Figura 3*, quanto maior o valor de X_1 menor se torna o valor da condutividade térmica. Sendo assim, da mesma forma que o aumento de X_1 diminui o valor da difusividade térmica, também diminui o valor da condutividade térmica.

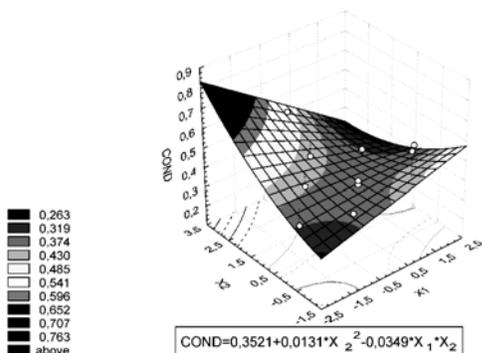


FIGURA 3 - Condutividade térmica em função de X_1 e X_2

Os valores encontrados experimentalmente foram comparados aos modelos propostos por KOLAROV & GROMOV [5] e SWEAT [10]:

- Modelo KOLAROV and GROMOV
 $k = 0,140 + 0,42 \cdot w$ (W/m °C) (VIII)

onde:

w = umidade decimal

- Modelo II: SWEAT
 $k = 0,58 \cdot X_1 + 0,25 \cdot X_2 + 0,16 \cdot X_3$ (W/m °C) (IX)

onde:

X_1 = fração mássica de água

X_2 = fração mássica de carboidrato

X_3 = fração mássica de gordura

Pela análise dos valores da *Tabela 6*, percebe-se que o erro é bastante alto e variado na determinação teórica da condutividade térmica, levando os valores sempre para cima (desvio positivo).

TABELA 6 - Erro calculado para condutividade térmica, segundo equações (VIII) e (IX)

Ensaio	W/m °C			%	
	$K_{\text{real}} (\text{exp})$	$K_{\text{equação VIII}}$	$K_{\text{equação IX}}$	Erro _{equação VIII}	Erro _{equação IX}
1	0,3412	0,5416	0,5616	58,75	64,59
2	0,5504	0,5365	0,5564	2,53	1,09
3	0,3055	0,4969	0,5264	62,64	72,30
4	0,3753	0,4923	0,5216	31,16	38,99
5	0,3546	0,5158	0,5407	45,45	52,48
6	0,3331	0,5158	0,5407	54,84	62,32
7	0,3561	0,5158	0,5407	44,84	51,84
8	0,2486	0,5192	0,5442	108,84	118,90
9	0,3182	0,4865	0,5177	52,90	62,71
10	0,4164	0,5124	0,5373	23,06	29,03
11	0,4976	0,5500	0,5676	10,52	14,06

Erro = (valor teórico - valor experimental) / valor experimental x 100

4 - CONCLUSÕES

As equações obtidas, excetuando-se a viscosidade, apresentaram bons resultados, permitindo que, uma vez conhecida a composição do suco, desde que os componentes variem dentro da faixa estudada, pode-se a princípio simular as propriedades termofísicas sem a necessidade de medi-las experimentalmente. Estas equações de modo geral visam prever as propriedades termofísicas de sucos tropicais, otimizando processos industriais, como dimensionamento dos equipamentos utilizados no processamento de alimentos.

A viscosidade aumentou com adição de carboidrato (elevação da variável X_1). A condutividade térmica teve comportamento oposto em relação a essa variável, diminuindo com aumento de X_1 . Muito pouco foi possível comentar sobre a variável X_2 (% de gordura em relação à água e ao carboidrato), pois esta, por estar em pouca quantidade, não representou tanta variação sobre as variáveis de resposta, provocando falta de ajuste de algumas propriedades termofísicas (viscosidade e densidade).

Os modelos encontrados na literatura em geral prezam bem os dados experimentais.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO, J.D. Nota. Viscosidad y energía de activación de jugos filtrados, **Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos**, v. 33, n. 1, p. 87-93, 1993.
- BARROS, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. 1995. **Planejamento e otimização de experimentos**. Metodologia de superfície de resposta., Editora da Unicamp.
- BAYINDIRLI, L. Mathematical Analysis of Variation of Density and Viscosity of Apple Juice with temperature and Concentration, **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 16, p. 23-28, 1992.
- CONSTENLA, D.T.; LOZANO, J.E.; CRAPISTE, G.H. Thermophysical Properties of Clarified Apple Juice as a Function of Concentration and Temperature, **Journal of Food Science**, v. 54, n. 3, p. 663-668, 1989.
- KOLAROV, K.M., GROMOV, M.A. Khromitelna Promishenost v. 2, n. 10, p. 32, In: JOWITT, R., ESCHER, F., HALLSTROM, H. F., MEFFERT, Th., SPISS, W.E.L., VOS, G. Physical Properties of Foods. Applied Science Publisher, NY, 1973. Apud: VIRENDRA, K.B. SINGH, A.K., SINGHY. Prediction of Thermal Conductivity of Fruit Juices by Thermal Resistance Model, **Journal of Food Science**, v. 54, n. 4, p. 1007-1012, 1989.
- MIN, D. B.; THOMAS, E. L. Application of response surface analysis in the formulation of whipped topping, **Journal of Food Science**, v. 45, p. 346348, 1980
- MOURA, S.C.S.R.; FRANÇA, V.C.L.; LEAL, A.M.C.B.. Propriedades termofísicas de soluções modelo similares a sucos Parte I, **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 23, n. 1, p. 6268, jan.-abr., 2003.
- PEACOCK, S. Predicting physical properties of factory

- juices and syrups, **International Sugar Journal**, v. 97, n. 1162, p. 571-577, 1995.
- [9] POLLEY, S.L.; SNYDER, O.P.; KOTNOUR, P. A compilation of Thermal Properties of Foods, **Food Technology**, v. 34, n. 11, p.76-94, 1980.
- [10] SWEAT, V.E. Thermal Properties of Foods. In: RAO, M.A., RIZVI, S.S.H. Engineering Properties of Foods. Marcel Dekker Inc, NY, 1986. Apud: VIRENDRA, K.B. SINGH, A.K., SINGHY. Prediction of Thermal Conductivity of Fruit Juices by Thermal Resistance Model, **Journal of Food Science**, v. 54, n. 4, p. 1007-1012, 1989.
- [11] TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V.R.N.; GABAS, A.L.; YAMASHITA, F. Thermophysical Properties of Brazilian Orange Juice as Affected by temperature and Water Content, **Journal of Food Engineering**, v. 38, p.27-40, 1998.
- [12] VAN WAZER, J.R.; LYONS, J.W.; KIM, K.Y.; COLWELL, R.E. **Viscosity and Flow Measurement** - A Laboratory Handbook of Rheology. New York: Interscience Publishers, 1972. p.215-230.
- [13] VIRENDRA, K.B.; SINGH, A.K.; SINGHY. Prediction of Thermal Conductivity of Fruit Juices by Thermal Resistance Model, **Journal of Food Science**, v. 54, n. 4, p. 1007-1012, 1989.

6 - AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão das bolsas de Iniciação Científica - PIBIC.