



## INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DE FLUIDOS EM PROJETOS DE INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS

Gustavo Dalla **Vecchia**<sup>1a</sup>; Michele N. **Berteli**<sup>2b</sup>; Jorge M. **Hashimoto**<sup>2b</sup>; Maria Isabel **Berto**<sup>2c</sup>.

<sup>1</sup> Faculdade de Engenharia de Alimentos – Unicamp; <sup>2</sup> GEPC – ITAL

N° 13209

**RESUMO** - A determinação dos parâmetros reológicos dos fluidos é um dos requisitos para os cálculos de dimensionamentos de linhas de processamento, equipamentos de bombeamento e troca térmica. O comportamento reológico dos fluidos influencia diretamente no cálculo das perdas por atrito de um sistema de bombeamento e, portanto da potência requerida pelo mesmo. Quanto maior resistência ao escoamento o fluido oferecer, maior será o atrito, e mais potência será requerida para movimentação do mesmo na linha industrial. Este projeto visa avaliar e quantificar a influência do comportamento reológico de diferentes fluidos na demanda energética de sistemas de bombeamento e deslocamento dos mesmos. Para isto, serão levantados os comportamentos reológicos de vários fluidos e os parâmetros reológicos determinados serão utilizados no cálculo da potência requerida para deslocar o fluido em condições de escoamento baseadas numa planta de piloto de pasteurização contínua de fluidos.

**Palavras-chaves:** Fluidos, reologia, potência, atrito, deslocamento.

**ABSTRACT** – Fluid rheological parameters are a requirement for calculation and dimension of processing plants that involves pumping and heat exchange. The rheological behavior of the fluid affects straightly the calculation of the frictional losses of the pumping system, and therefore, the power required by them. The higher fluid flow resistance and viscosity, the greater the friction, and more power is required to pump the fluid in the same system. This project aims to evaluate and quantify the influence of the rheological behavior of different fluids in the power demand of pumping system. Rheological behavior of various fluids was performed and the rheological parameters determined were used to calculate the power required to pump these fluids in a system based on a continuous pasteurization pilot plant.

**Key-words:** fluids, rheology, power, friction losses, pump.

<sup>a</sup> Bolsista CNPq, gu\_dallavecchia@hotmail.com, <sup>c</sup> Orientador, miberto@ital.sp.gov.br, <sup>b</sup> Colaboradores



## 1 Introdução

A palavra Reologia deriva do termo grego Rheologia (Rheo = deformação; logia = estudo). Assim reologia é o estudo do comportamento da deformação e do fluxo de matéria submetido a cisalhamentos, sob determinadas condições termodinâmicas ao longo de um intervalo de tempo. Inclui propriedades como: elasticidade, viscosidade e plasticidade. A viscosidade de um líquido (inverso da fluidez) mede a resistência interna oferecida ao movimento relativo de diferentes partes desse líquido. A viscosidade mede a resistência de um líquido em fluir (escoar) e não está diretamente relacionada com a densidade do líquido, que é a relação massa/volume (Rao, 1999; Steffe, 1996).

Para que um produto escoar, uma taxa de deformação deve ser aplicada, proveniente da movimentação dos rotores de bombas ou hélices de um sistema e o fluido responde conforme sua resistência a este fluxo, quantificado pela tensão de cisalhamento. A relação entre a tensão de cisalhamento versus a taxa de deformação é denominada de reograma, que caracteriza o fluido reologicamente. De uma maneira geral, os fluidos se dividem em dois grandes grupos: Fluidos Newtonianos e Não-Newtonianos. A determinação dos parâmetros reológicos é requisito para os cálculos de dimensionamentos de linhas de processamento, equipamentos de bombeamento e troca térmica. A potência de rotores ou de bombas para impulsionar o fluido é calculada com o desenvolvimento do Balanço de Energia Mecânica. Este balanço leva em consideração a variação das energias potencial, cinética e de pressão, e as perdas por atrito, entre dois pontos do sistema de bombeamento (Fellows, 2006). O comportamento reológico do fluido influencia diretamente nas perdas por atrito. Quanto maior resistência ao escoamento o fluido oferecer, maior será atrito, e mais potência será requerida para movimentação do fluido.

Dentro deste contexto, este projeto objetivou avaliar e quantificar a influência do comportamento reológico de alguns fluidos na demanda energética de sistemas de bombeamento e deslocamento dos mesmos. Para isto, foram levantados os comportamentos reológicos de vários fluidos e os parâmetros reológicos determinados foram utilizados no cálculo da potência requerida para descolar o fluido em uma instalação baseada em uma planta piloto de processamento de fluidos.



## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Materiais

A Tabela 1 mostra os produtos adquiridos em mercado local, selecionados para a determinação dos parâmetros reológicos. A seleção dos produtos procurou englobar desde fluidos pouco viscosos, aparentemente parecidos com o comportamento da água até fluidos bem mais viscosos e/ou pastosos, incluindo alguns com partículas em suspensão.

**Tabela 1. Produtos selecionados para análises reológicas**

Produto	Marca Comercial	Informação Nutricional declarada					
		Porção	Carboidratos	Proteínas	Gorduras totais	Fibra	Calorias/porção (kcal)
Leite de coco	Sococo	15g	0g	0g	3g	0g	38
Água de coco	Kero coco	200ml	11g	0g	0g	0g	45
Suco de Pêssego	Del Valle	200ml	27g	0g	0g	0g	111
Molho de Tomate	Pomarola	60g	2,6g	0g	0g	0,9g	10
Extrato de Tomate	Quero	30g	4,2g	0,9g	0g	0,9g	20
Leite Condensado	Mococa	20g	11g	1,3g	1,8g	0g	67
Creme de Leite	Nestle	15g	0,6g	0g	2,6g	0g	27
Mostarda	Hellmann's	12g	2g	0g	0g	0g	8
Shampoo	Palmolive	-	-	-	-	-	-

A determinação reológica foi realizada no Reômetro Brookfield R/S SST. O reômetro dispõe de três jogos de hastes/copos que são escolhidos para as medições em função da viscosidade do fluido a ser analisado: cilindros coaxial, Double gap e Vane. Os jogos de cilindro coaxial e double gap são utilizados para fluidos mais homogêneos enquanto que o a haste Vane é utilizada para fluidos mais pastosos e/ou com partículas em suspensão.

### 2.2 Métodos

Todas as análises foram feitas em triplicata. A seguir estão listadas as metodologias de análises e os equipamentos utilizados para tais determinações.



### 2.2.1 Determinação das propriedades físicas:

A densidade e umidade foram determinadas conforme metodologias do Instituto Adolfo Lutz (Instituto-Adolfo-Lutz., 1985). Os sólidos solúveis foram determinados utilizando-se o refratômetro codificado no GEPC como IU-EP. 091.

### 2.2.2 Determinação do comportamento reológico:

A Tabela 2 mostra as especificações técnicas dos sistemas de medidas do Reômetro Brookfield R/S SST e os fluidos analisados em cada um destes sistemas.

Tabela 2. Sistemas de medidas do reômetro, faixa de aplicação e produtos analisados

Jogo copo/cilindro	Medidas do jogo	Viscosidade indicada (Pa.s)	Faixa de Tensão indicada (Pa)	Produtos analisados com este sistema
Cilindro Coaxial	R <sub>i</sub> : 20mm, R <sub>a</sub> : 21mm, L: 60mm	0,005 - 1512	0,13 até 195	Molho de tomate, Mostarda, Shampoo, e Creme de leite.
Double Gap	R <sub>1</sub> : 19mm, R <sub>4</sub> : 21mm, R <sub>2</sub> : 19,7mm, R <sub>3</sub> : 20mm, L: 111mm	0,00019 - 190	0,83 até 83	Água de coco, leite de coco e suco de pêssego.
Vane	C: 40 mm; D:20 mm	*	51 a 1700	Extrato de tomate, Leite condensado.

R<sub>i</sub> =raio do cilindro; R<sub>a</sub> =raio do copo de amostra; L =comprimento do corpo do cilindro de mesmo raio; R<sub>1</sub> =raio externo do cilindro interno; R<sub>2</sub>: Raio interno do copo invertido, R<sub>3</sub>: Raio externo do copo invertido, R<sub>4</sub>: Raio interno do copo de amostra. C: comprimento da haste; D: Diâmetro da haste. \* Dado não fornecido pelo fabricante.

Foram escolhidas quatro temperaturas para a determinação reológica: 10, 25, 50 e 80°C que englobam condições usuais de processos industriais de resfriamento e aquecimento e estão dentro da faixa operacional do reômetro. Os valores de taxas de deformação englobou a faixa usual encontrada no escoamento de fluidos em tubulações (Stefee, 1996; Vitali, 1983). Para fluidos menos viscosos os ensaios foram conduzidos na taxa de deformação de 1 a 1200 s<sup>-1</sup>, enquanto que em produtos mais viscosos aplicou-se a faixa de 1 a 600 s<sup>-1</sup>. Para os produtos avaliados com o sistema Vane, foi usada uma taxa de deformação de 1 a 230 s<sup>-1</sup>, definida em função das condições operacionais do equipamento e dos fluidos testados. Os ensaios foram conduzidos com registro de leitura a cada dez segundos, taxa esta definida por ensaios preliminares. Foram analisados os parâmetros reológicos da curva crescente e da curva decrescente de taxa de deformação separadamente e também encontrado um valor único para subida e descida. Pelo menos dois modelos: Newtoniano e não Newtoniano da Lei da Potência (mais usual entre alimentos); foram ajustados aos dados experimentais. Caso o ajuste de ambos não tenha sido satisfatório, avaliado através do coeficiente de correlação (R<sup>2</sup>), outros modelos foram testados



(Hershel Bulkley, Casson e Bingham). Apesar dos parâmetros reológicos serem calculados pelo software do reômetro, os dados de tensão de cisalhamento versus taxa de deformação foram exportados para o Excel® para conferência destes valores fornecidos e construção dos gráficos apresentados neste artigo. Os procedimentos foram feitos em triplicata, e os resultados apresentados nesse artigo referem-se às medias dos valores obtidos.

### 2.2.3 Cálculo da potência de bombeamento

A potência de rotores ou de bombas para impulsionar o fluido foi calculada com o desenvolvimento da Equação geral de Energia Mecânica (Eq. 1). Este balanço leva em consideração as variações entre dois pontos: da energia potencial ( $\Delta\hat{E}_p$  = relacionada à diferença de altura), da energia cinética ( $\Delta\hat{E}_c$  = relacionada a variação da velocidade do fluido), da relação entre a diferença de pressão sobre a densidade, e as perdas por atrito ou perda de carga, entre estes dois pontos do sistema de bombeamento (Fellows, 2006).

$$-\hat{W} = \Delta\hat{E}_p + \Delta\hat{E}_c + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma\hat{F} \quad (1)$$

A dissipação de energia ou perda de carga total provocada redução da pressão total do fluido ao longo do escoamento foi calculada como a soma da perda de carga distribuída e localizada ( $\Sigma\hat{F} = \Delta P_d$ ). A perda de carga localizada, referente à dissipação de energia em trechos relativamente curtos da instalação onde o fluido passa por um acessório, como válvulas, mudanças de direção, expansões ou alongamentos bruscos, passagens divergentes, obstruções parciais, Tê ou “T”, cotovelos, etc foi calculada em função do valor de coeficiente de perda de carga de cada acessório, . (Torreira, 1996; Roma, 2006).

A equação utilizada para o cálculo da perda de carga distribuída em tubulações, foi a Fórmula Universal da Perda de Carga (Eq. 2), indicada pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e conhecida como Equação de Darcy-Weisbach (Roma, 2006) que é função do fator de atrito, do diâmetro e do comprimento ( $L$ ) da tubulação.

$$\Delta P_d = f \frac{1}{2} \rho v^2 \frac{L}{D} \quad (Pa) \quad (2)$$

A influência do comportamento reológico do fluido é embutida no cálculo do fator de atrito da equação (2) que é função do número de Reynolds e da rugosidade da tubulação. O



**VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013**  
**13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo**

calculado por equações empíricas encontradas na literatura: Hagen-Poiseuille (Eq 3) para regime laminar; equação de Blasius (1913), para números de Reynolds até  $10^5$  e tubos lisos ou sem rugosidade (Eq.4) e Equação de Swamee-Jain (Eq. 5) para demais casos (Roma, 2006). Quando o fluido apresentou comportamento Newtoniano, utilizou-se a viscosidade na temperatura de escoamento, diretamente no cálculo de Reynolds ( $Re = \frac{\rho v D}{\mu}$ ). No caso de fluidos não Newtonianos, a fórmula generalizada de Reynolds (Eq. 6) foi aplicada (Kreith, 1977; Rao & Rizvi, 1995; Steffe, 1996; Toledo, 1991). Este cálculo equivale a utilizar a equação de Reynolds ( $Re = \frac{\rho v D}{\eta_{ap}}$ ) com a viscosidade aparente do fluido para fluidos pseudoplásticos em uma taxa de deformação (Eq.7), calculada com a equação de Weissenberg-Rabinowitsch-Mooney (Eq.8) corrigida para fluidos não-Newtonianos, em função do diâmetro interno (D), vazão volumétrica e dos parâmetros reológicos, índices de consistência (K) e de comportamento do fluido (n) (Steffe, 1996; Steffe & Daubert, 2006).

$$f = \frac{64}{Re} \quad (3) \quad f = 0,316 Re^{-0,25} \quad (4) \quad f = \frac{0,25}{\left(\log\left(\frac{\epsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}\right)\right)^2} \quad (5)$$

$$Re = \frac{v^{2-n} D^n \rho}{8^{n-1} K} \left(\frac{4n}{3n+1}\right)^n \quad (6) \quad \eta_{ap} = K \dot{\gamma}^{n-1} \quad (7) \quad \dot{\gamma} = \left(\frac{3n+1}{4n}\right) \frac{32\dot{V}}{\pi D^3} \quad (8)$$

O cálculo da potência requerida para deslocar o fluido em um projeto de instalação foi simulado baseado numa planta de piloto utilizada por (Berto, 2004), instalada no laboratório de Instrumentação e Controle de Processos Alimentícios da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Unicamp (LACPA/FEA/UNICAMP). A Tabela 3 mostra as características da tubulação utilizada nos cálculos, a quantidade de acessórios contidos na tubulação e seus respectivos valores de coeficientes de perda de carga,  $K$ . Considerou-se nula a diferença de altura entre a entrada e saída da tubulação, uma vazão de fluido de 500 L/h e a gravidade  $9,81\text{m/s}^2$ .

**Tabela 3. Características da tubulação utilizada no calculo de bombeamento**

Acessórios/tubulação	Quantidade	$K$ (por unidade)
Comprimento total (m)	25	-
Diâmetro (mm)	25	-
e = Rugosidade do Tubo (mm)	(aço inox) 0,15	-
Entrada de Tubulações - Normal	1	0,5
Saída de Tubulações – Livre	1	1
Cotovelo	23	1,2
Válvula retenção de pé	1	1,75



Válvula de três vias

1

2,5

### 3 Resultados

#### 3.1 Propriedades Físicas

A Tabela 4 mostra os resultados das determinações das propriedades físicas dos fluidos analisados seguindo a metodologia descrita no referido item, em triplicada e seu desvio padrão. Não foi possível medir os sólidos solúveis do leite de coco, leite condensado e creme de leite, devido à sua característica leitosa não compatível ao equipamento de leitura.

Tabela 4. Propriedades físicas dos produtos analisados

	Densidade $\pm$ DP (g/cm <sup>3</sup> )	Umidade $\pm$ DP (% ubu)	Sólidos solúveis $\pm$ DP (°Brix)
Leite de Coco	0,915 $\pm$ 0,01	67 $\pm$ 1,1	*
Água de coco	1,025 $\pm$ 0,02	89 $\pm$ 0,9	5,5 $\pm$ 0,8
Suco de Pêssego	1,055 $\pm$ 0,02	86 $\pm$ 1,3	13 $\pm$ 0,9
Molho de Tomate	1,157 $\pm$ 0,01	61 $\pm$ 2,4	11 $\pm$ 1,2
Extrato de Tomate	1,201 $\pm$ 0,004	58 $\pm$ 1,9	17 $\pm$ 2,1
Leite condensado	1,35 $\pm$ 0,02	26 $\pm$ 3,3	*
Creme de Leite	1,005 $\pm$ 0,02	62 $\pm$ 3,1	*
Mostarda	1,24 $\pm$ 0,01	48 $\pm$ 4,4	16 $\pm$ 3,7
Shampoo	1,039 $\pm$ 0,02	21 $\pm$ 4,8	**

\*Não foi possível realizar essa medição. \*\* Medição não realizada.

#### 3.2 Comportamento Reológico

A Tabela 5 mostra o ajuste da viscosidade dos diversos fluidos a uma taxa de deformação crescente até o valor indicado, depois decrescente até zero. Considerando seu comportamento não-Newtoniano seguindo a Lei da potência  $(\tau =$

A água de coco apresentou o índice de comportamento do fluido muito próximo a uma unidade, portanto foi considerado como um fluido Newtoniano , o qual na mesma temperatura, a tensão versus a taxa de cisalhamento é constante, sendo este valor a viscosidade do fluido .



VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013  
13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo

Tabela 5. Ajuste da viscosidade dos fluidos, a uma taxa de deformação crescente até o valor indicado, depois decrescente até zero, considerando seu comportamento não-Newtoniano seguindo a Lei da potência (K: Índice de consistência do fluido, n: Índice de comportamento do fluido)

Produto (taxa deformação, s <sup>-1</sup> )	Temperatura (°C)	K ± DP (Pa.s)	n ±DP	R <sup>2</sup>
<b>Leite de Coco</b> (0 a 1200)	10	1,308± 0,28	0,544 ± 0,12	0,992
	25	0,528± 0,02	0,498 ± 0,15	0,994
	50	0,386 ± 0,45	0,487 ± 0,21	0,993
	80	0,012 ± 0,09	0,611 ± 0,11	0,996
<b>Suco de Pêssego</b> (0 a 1200)	10	0,040 ± 0,01	0,720 ± 0,02	0,996
	25	0,024 ± 0,3	0,710 ± 0,02	0,990
	50	0,350 ± 0,20	0,630 ± 0,04	0,989
	80	0,260 ± 0,44	0,270 ± 0,48	0,950
<b>Molho de Tomate</b> (0 a 230)	10	7659,220 ± 16	0,224±0,02	0,920
	25	6197,170± 22	0,228± 0,05	0,910
	50	4531,383± 12	0,242± 0,04	0,921
	80	5270,903 ± 27	0,222 ± 0,02	0,895
<b>Extrato de Tomate</b> (0 a 230)	10	11328,980 ± 7,8	0,161 ± 0,01	0,985
	25	10797,940 ± 21	0,157 ± 0,04	0,984
	50	7737,600 ± 19	0,188 ± 0,06	0,980
	80	4485,276 ± 23	0,221 ± 0,01	0,983
<b>Leite condensado</b> (0 a 600)	10	13,740 ± 2,2	0,890 ±0,01	0,989
	25	11,780 ± 1,2	0,976±0,01	0,997
	50	4,800 ± 3,3	0,830±0,06	0,986
	80	1,200 ±0,6	0,898±0,03	0,970
<b>Creme de Leite</b> (0 a 600)	10	217,080±11	0,420±0,01	0,980
	25	297,700±13	0,371±0,01	0,981
	50	349,260±19	0,335±0,02	0,984
	80	125,260±8,6	0,408±0,02	0,993
<b>Mostarda</b> (0 a 600)	10	349,840 ± 4,2	0,47±0,01	0,995
	25	316,030±2,3	0,457±0,02	0,995
	50	362,960±3	0,435±0	0,990
	80	553,320±11	0,412±0,01	0,993
<b>Shampoo</b> (0 a 600)	10	24476,370±23	0,091± 0,02	0,961
	25	35466,000±12	0,090±0,01	0,870
	50	21,760±1,7	0,676±0,01	0,960
	80	0,050±0,01	1,000±0,01	0,998
<b>Água de coco</b> (0 a 1200)	10	0,0014 ± 0,0001	Fluido	0,991
	25	0,0010 ± 0,0001	Newtoniano	0,992
	50	0,0005± 0,0001	n = 1	0,991



VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013  
13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo

80

0,0003 ± 0,0001

$K = \eta$

0,990

### 3.3 Potência de Bombeamento

Os parâmetros reológicos das Tabelas 5 foram utilizados no cálculo da potência requerida para deslocar o fluido em um projeto de instalação que foi simulado, baseado na planta de piloto utilizada por Berto (2004). A Tabela 6 mostra esses valores em função das viscosidades determinadas na temperatura e taxa de deformação indicada, calculada pela Equação (8).

**Tabela 6. Valor da potencia necessária para deslocar os diversos fluidos na planta simulada, à diversas viscosidades\*\*\* e temperaturas**

		10°C		25°C		50°C		80°C	
		Viscosidade (Pa.s)	Potência (HP)						
		Tx def.(s <sup>-1</sup> )		Tx def.(s <sup>-1</sup> )		Tx def.(s <sup>-1</sup> )		Tx def.(s <sup>-1</sup> )	
<b>Água de Coco</b>	de	1,4.10 <sup>-4</sup>	0,004	1.10 <sup>-4</sup>	0,004	5. 10 <sup>-5</sup>		4. 10 <sup>-5</sup>	
		90,54		90,54		90,54	0,004	90,54	0,004
<b>Leite de coco</b>	de	0,15	0,085	0,05	0,028	0,03		1,96. 10 <sup>-3</sup>	
		109,51		113,35		114,38	0,020	104,95	0,003
<b>Suco de Pêssego</b>	de	0,01	0,007	6,31.10 <sup>-3</sup>	0,005	0,06		6,65. 10 <sup>-3</sup>	
		99,34		99,78		103,83	0,031	151,74	0,005
<b>Molho de Tomate</b>	de	142,97	60,850	119,09	50,686	96,06		97,02	
		168,95		167,18		161,44	40,885	169,86	41,29
<b>Extrato de Tomate</b>	de	128,36	52,633	118,04	48,401	110		81,96	
		208,49		212,08		188,3	45,103	170,32	33,61
<b>Leite condensado</b>		8,34	3,045	10,57	3,858	2,21		0,75	
		93,33		91,09		95,17	0,809	93,11	0,278
<b>Creme de Leite</b>	de	13,39	6,565	14	6,865	13,34		7,24	
		121,79		128,91		135,47		123,38	
							6,542		3,55
<b>Shampoo</b>		130,53	61,864	204,79	97,060	186,57		0,05	
		316,64		301,26		319,41	88,423	90,54	0,026
<b>Mostarda</b>		28,15	11,183	23,75	9,436	24,27		32,69	
		116,06		117,43		119,94	9,643	122,84	12,98
<b>R<sup>2</sup></b>		0,993		0,994		0,994		0,993	

\*\*\*Viscosidade na taxa de deformação calculada com a Equação 8 (1cP=10<sup>-3</sup>Pa.s)

Como esperado, a potência requerida para bombeamento de um mesmo fluido diminui com o aumento da temperatura, já que a viscosidade do fluido decresce quando o mesmo é aquecido. No sistema de bombeamento simulado, uma bomba de até 1HP é capaz de bombear fluidos com faixa de viscosidade de 0,004cP (água de coco a 80°C) até fluidos com viscosidade de 2210 cP (Leite condensado a 50°C), conforme mostra os dados em vermelho na Tabela 6. Viscosidades de 7000 a 14000 cP necessitaram bombas na faixa de potência de 3 a 7 HP, conforme mostram os



dados em azuis. Potências na faixa de 9,5 a 13 HP foram necessárias para impulsionar fluidos com viscosidades na faixa de 23000 a 33000 cP (dados em verde). A faixa mais alta medida (molhos de tomate e shampoo) geraram valores de viscosidade na faixa de 80000 a 186000 cP, com necessidade de potências de 40 a 100 HP. A Figura 1 mostra os dados de potência requeridos em função da viscosidade do fluido nas temperaturas de análise, mostrando que a tendência entre os valores nas condições testadas é linear.

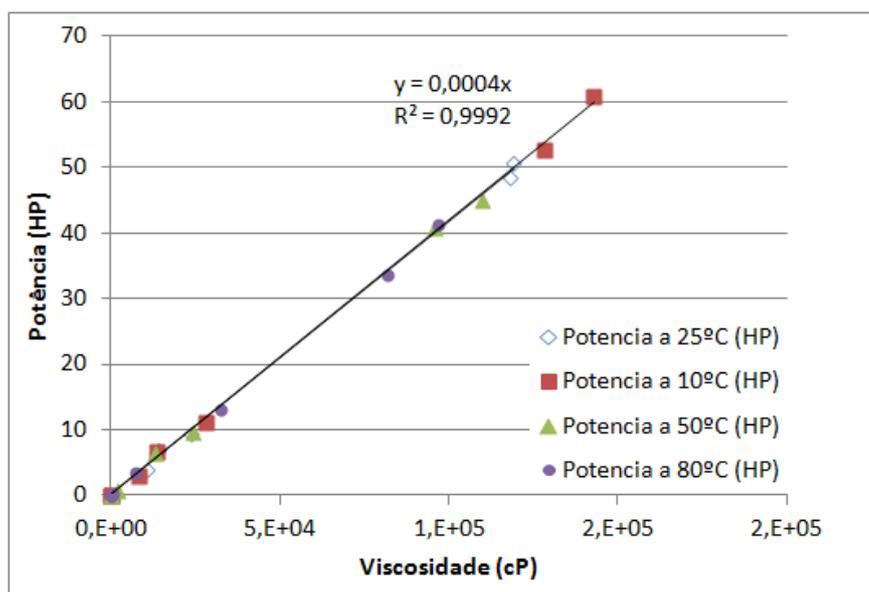


Figura 1. Potência (HP) versus Viscosidade (cP) para todos os produtos.

#### 4 Conclusões

O trabalho objetivou avaliar a influência do comportamento reológico do fluido no requerimento energético para impulsioná-lo sob as mesmas condições de processamento. O estudo mostrou que nas condições avaliadas a potência requerida aumenta linearmente com a viscosidade numa proporção de 0,0004 HP/cP. Observou-se também que uma mesma bomba com uma potência única pode ser suficiente para impulsionar fluidos com uma ampla faixa de viscosidade, por ex: 1HP é requerido para impulsionar fluidos de até 2200 cP, 6HP para fluidos de até 14000 cP. Esta constatação é importante visto que variações de viscosidade devido a mudanças de comportamento do produto durante o processamento ou decorrente de dimensionamento utilizando valores aproximados dos parâmetros reológicos podem ser absorvidas pelo sistema, não prejudicando as condições de bombeamento requeridas.



## 5 Agradecimentos

Os autores agradecem a bolsa concedida pelo programa CNPq/PIBIC, a oportunidade de estágio no GEPC/ITAL e a colaboração do Dr. Alfredo Vitali.

## 6 Referências Bibliográficas

- Berto, M. I. **Avaliação experimental do controle da pasteurização contínua de um fluido modelo de suco de laranja**. Campinas, 2004. 271p. Tese (Doutor em Engenharia de Alimentos). Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- Fellows, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Prática**. 2.ed. Artmed - Bookman, 2006. 608p.
- Instituto-Adolfo-Lutz. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3.ed. São Paulo: IMESP, 1985. v.1,
- Kreith, F. **Princípios da Transmissão de Calor**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.
- Rao, M. A. **Rheology of fluid and semisolid foods: principles and applications**. Gaithersburg, Maryland: Aspen Publication, 1999. 433p.
- Rao, M. A. e Rizvi, S. S. H. **Engineering Properties of Foods**. 2.ed. New York: Marcel Dekker Inc., 1995. 531p.
- Roma, W. N. L. **Fenômenos de transporte para engenharia**. São Carlos: RiMa, 2006. 288p.
- Steffe, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. 2nd.ed. East Lansing, Michigan: Freeman Press, 1996. 418p.
- Steffe, J. F. e Daubert, C. R. **Bioprocessing pipelines: rheology and analysis**. Freeman Press., 2006.
- Toledo, R. T. **Fundamentals of food process engineering**. 2.ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 602p.
- Torreira, R. P. **Bombas, válvulas e acessórios**. São Paulo: Grafica Palas Athena/ Editoração MCT - Produções Gráficas, 1996. 724p.
- Vitali, A. A. **Comportamento reológico de suco de laranja concentrado congelado a baixas temperaturas**. São Paulo, 1983. 216p. Doutorado. Departamento de Engenharia Química - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.