

# DETERMINAÇÃO DA VISCOSIDADE DE MISTURAS LÍQUIDAS BINÁRIAS ATRAVÉS DO VISCOSÍMETRO CAPILAR DE CANNON-FENSKÉ

Daniel Tostes Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

**RESUMO:** A viscosidade dos líquidos vem do atrito interno, isto é, das forças de coesão entre moléculas relativamente juntas. O conhecimento da viscosidade é indispensável no desenvolvimento de projeto de equipamentos importantes em várias Operações Unitárias da Indústria Química e Alimentícia. Neste trabalho foi determinada a viscosidade de misturas líquidas binárias utilizando o viscosímetro capilar de Cannon-Fenske. Os valores experimentais obtidos foram comparados com aos resultados provenientes de correlações de ampla aceitação na literatura, particularmente aquelas que levam em conta a contribuição de grupos. Os desvios encontrados e a rapidez da determinação experimental demonstram a boa eficácia do viscosímetro capilar e a validade das correlações.

**ABSTRACT:** The viscosity of the liquid comes from the internal friction, this is, the cohesive forces between molecules on together. The knowledge of viscosity is essential in developing the design of equipment important in various Unit Operations of Chemical and Food Industry. In this work we determined the viscosity of binary liquid mixtures using the viscometer capillary Cannon-Fenske. The experimental values obtained were compared with results from the widely accepted correlations in the literature, particularly those that take into account the contribution of groups. The deviations found and the speed of the experimental determination demonstrates the good effectiveness of the capillary viscometer and the validity of the correlations.

**PALAVRAS-CHAVE:**  
viscosidade; misturas líquidas;  
viscosímetro capilar.

**KEYWORDS:**  
Quality, Process Mapping and  
Study Case.

*Artigo Original*  
Recebido em: 03/11/2011  
Avaliado em: 14/02/2012  
Publicado em: 23/05/2014

*Publicação*  
Anhanguera Educacional Ltda.

*Coordenação*  
Instituto de Pesquisas Aplicadas e  
Desenvolvimento Educacional - IPADE

*Correspondência*  
Sistema Anhanguera de  
Revistas Eletrônicas - SARE  
rc.ipade@anhanguera.com

## 1. REVISÃO DA LITERATURA

A viscosidade representa uma variável de transporte que relaciona a resistência que sofre uma camada do líquido para mover-se em relação a uma outra camada vizinha.

Podemos imaginar uma coluna de líquido, num tubo circular, como sendo constituída de camadas concêntricas cilíndricas. Ao se mover ao longo do tubo, a camada mais próxima das paredes permanece estacionária, enquanto as camadas seguintes movem-se a uma velocidade que aumenta a medida que ficam mais próximas do

eixo do cilindro. No tratamento teórico desse tipo de fluxo, admite-se que o líquido tenha um *atrito interno*, que se opõe ao movimento das camadas cilíndricas. Esse atrito é a viscosidade do líquido.

A viscosidade de líquidos puros e/ou de misturas líquidas é uma propriedade química freqüentemente encontrada nas correlações de uso em engenharia química, particularmente nas operações unitárias da Indústria Química e Alimentícia. Seu valor pode influenciar de forma decisiva o projeto de equipamentos que envolvem fluxo de fluidos ou escoamento através de meios porosos. .

A descrição teórica da viscosidade em fase líquida é dificultada pelo fato da transferência de *momentum* ser dominada por campos de forças de colisão e de interação entre moléculas densamente empacotadas. Devido a isto e ainda em função da ação das forças intermoleculares não existe um método teórico largamente aceito no cálculo da viscosidade de líquidos puros..

Numerosos métodos empíricos têm sido propostos para calcular a viscosidade de líquidos com uma base intuitiva, devido a complexidade das teorias.

No caso de misturas líquidas, é necessário o conhecimento da dependência da viscosidade destas com a composição para a solução de muitos problemas da engenharia. Os modelos existentes para estimar a viscosidade de misturas podem ser classificados dentro de duas categorias: modelos semiteóricos e modelos empíricos.

McAllister (1960) utilizando teoria do "buraco" de Eyring desenvolveu uma equação cúbica para a viscosidade cinemática de misturas líquidas binárias. A equação verificada por McAllister ([6]) é considerada por muitos pesquisadores como a melhor técnica disponível para a análise de sistemas binários e ternários

$$\eta = \left( \frac{\rho h N}{M} \right) \exp\left( \frac{\Delta F^*}{RT} \right) \quad (1)$$

onde  $\Delta F^*$  representa a energia livre de ativação de fluxo.

Outra possibilidade é obter o volume molar  $V$  e a viscosidade  $\eta$  a partir das expressões:

$$V = (x_1 M_1 + x_2 M_2) / \rho \quad (2) \quad e$$

$$\eta = \rho \left( at - bt/t \right) \quad (3)$$

onde  $M_1$  e  $M_2$  representam os pesos moleculares dos componentes 1 e 2 e  $x_1$  e  $x_2$  são suas frações molares respectivamente.,  $t$  é o tempo do fluxo ,  $a$  e  $b$  são as constantes do viscosímetro e  $\rho$  é a densidade da mistura.

Outro modelo empírico ([6]) utilizado para determinação da viscosidade de misturas líquidas binárias é proposta pela fórmula abaixo:

$$\eta = \eta_1 \cdot x_1 + \eta_2 \cdot x_2 + x_1 \cdot x_2 \left[ a + b(x_1 - x_2) + c(x_1 - x_2)^2 + \dots \right] \quad (4)$$

onde  $a$ ,  $b$  e  $c$  são coeficientes que devem ser analisados de acordo com a mistura proposta.

Em temperaturas moderadas Lobe ([9]) , propôs :

$$vm = \phi_1 \cdot v_1 \cdot e(\phi_2 \cdot \alpha_2) + \phi_2 \cdot v_2 \cdot e(\phi_1 \cdot \alpha_1) \quad (5)$$

$$\alpha_1 = -1,7 \cdot \ln(v_2 / v_1) \quad (6)$$

$$\alpha_2 = 0,027 \cdot \ln(v_2 / v_1) + (1,3 \cdot \ln(v_2 / v_1))^{0,5} \quad (7)$$

$$\phi_i = x_i \cdot v_i / (x_1 \cdot v_1 + x_2 \cdot v_2) \quad (8)$$

onde  $\phi$  é a fração volumétrica

Kendall e Monroe ([11]) propuseram a seguinte relação para a viscosidade de uma mistura:

$$\eta_m^{\frac{1}{3}} = x_1 \cdot \eta_1^{\left(\frac{1}{3}\right)} + x_2 \cdot \eta_2^{\left(\frac{1}{3}\right)} \quad (9)$$

Onde  $x_1$  e  $x_2$  são as frações molares dos componentes 1 e 2.

Arrhenius ([10]) sugeriu e seguinte correlação para a obtenção da viscosidade de uma mistura binária:

$$\log \eta_m = x_1 \cdot \log \eta_1 + x_2 \cdot \log \eta_2 \quad (10)$$

A medida da viscosidade de líquidos em geral é bastante simples, e os métodos mais comuns são: (i) medidas baseadas na resistência à fluência através de um capilar, (ii) medidas baseadas na rotação de um cilindro concêntrico imerso no líquido e (iii) medidas baseadas na retenção do tempo de queda de uma esfera através de um líquido viscoso.

Com relação às medidas baseadas na resistência à fluência através de um capilar, a equação de Hagen-Poiseuille ([1]) permite estabelecer uma relação entre o tempo de fluência e a viscosidade de um líquido através de um capilar:

$$\eta = \frac{\pi.R^4.\Delta P}{8.L.Q} = \frac{\pi.R^4.\Delta P.t}{8.L.V} \quad (11)$$

Onde R é o raio do capilar,  $\Delta P$  é a diferença de pressão entre as extremidades do capilar, L é o comprimento do capilar, Q ( $Q = V/t$ ) é a vazão volumétrica, V é o volume do líquido e t é o tempo de fluência. Normalmente a diferença de pressão nas extremidades do capilar é dada pela diferença de alturas dos níveis das mesmas extremidades quando a fluência é induzida pela força da gravidade, portanto depende da densidade da solução.

As principais fontes de erro de medidas de viscosidade capilar são:

A. fatores cinéticos

B. comportamento não-newtoniano do fluido .

Na equação acima, as variáveis R , L e V são relativas ao viscosímetro , e  $\Delta P$  depende da densidade do líquido. Em medidas de viscosidade relativa, os termos se cancelam se as soluções forem bem diluídas, quando a variação da concentração com a densidade das soluções é desprezível. No entanto, medidas únicas de viscosidade necessitam do conhecimento acurado de tais variáveis. Estes termos podem ser englobados pôr uma única constante, necessitando apenas a calibração do viscosímetro com um líquido de viscosidade definida.

## 2. TERMOS VISCOSIMÉTRICOS

Como a viscosimetria pode fornecer informações importantes a respeito da morfologia da partícula hidrodinâmica, os termos viscosimétricos concernem principalmente à contribuição do soluto no incremento de viscosidade do solvente.

**Viscosidade Cinemática:**  $\nu = K(t-B)$  (12)

onde B é um termo de correção cinemática.

$\eta = \nu . \rho$  (13) onde  $\rho$  é a densidade da solução.

## 3. MEDIDAS DE VISCOSIDADE DE LÍQUIDOS PUROS E DE MISTURAS LÍQUIDAS- VISCOSÍMETRO DE CANNON - FENSKE.

Nesse viscosímetro, mede-se o tempo de escoamento de um volume pré-determinado de líquido ou mistura líquida (com características newtonianas) através de um capilar.

Medindo-se esse tempo para um líquido com viscosidade conhecida (líquido padrão) pode-se calibrar o aparelho e a seguir realizar a medida da viscosidade dinâmica para outros líquidos e suas misturas.



Figura 1 – Viscosímetro de Cannon - Fenske

## 4. OBJETIVOS DO TRABALHO E JUSTIFICATIVAS

São objetivos desse trabalho:

- Medir a viscosidade de vários líquidos puros e de misturas líquidas binárias, em concentrações diversas, utilizando o Viscosímetro
- Capilar de Cannon - Fenske.
- Obter o valor dessas viscosidades por correlações existentes na literatura.
- Analisar o desvio obtido entre o valor experimental e o valor calculado visando discriminar qual correlação melhor ajusta os valores obtidos.

Justifica-se o trabalho a ser realizado uma vez que, dados experimentais para viscosidades apesar de existirem em quantidade na literatura, não suprem a necessidade de informações requeridas na Engenharia Química. Por outro lado, engenheiros frequentemente preferem usar valores medidos de viscosidades que usar valores obtidos de correlações próprias, como aquelas que se baseiam nas estruturas moleculares das substâncias

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1. MATERIAIS

- Viscosímetro de Cannon-Fenske
- Picnômetros
- Amostras de líquidos puros e de suas misturas

### 5.2. PROCEDIMENTO

Inicialmente eram preparadas as diversas misturas de dois líquidos com concentrações (V/V) variando de 10% a 100 %.

Utilizando-se do viscosímetro capilar de Cannon-Fenske determina-se a viscosidade

dinâmica das misturas assim preparadas.

Posteriormente eram medidas, via picnometria, as densidades das misturas utilizadas.

## 6. RESULTADOS OBTIDOS

Temos abaixo e nos Anexos I e II uma análise dos resultados obtidos.

Tabela 1 – Comparação entre os valores experimentais e teóricos (eq. Lobe)

xA	xE	hEXP (cP)	hTEOR (cP)	Desvio (%)
			Eq. Lobe	
1,00	0,00	0,3184	0,3100	2,50
0,90	0,10	0,3546	0,3383	4,60
0,80	0,20	0,3777	0,3689	2,27
0,70	0,30	0,4144	0,4761	1,27
0,50	0,50	0,5452	0,5714	2,62
0,40	0,60	0,6510	0,6383	14,8
0,30	0,70	0,7260	0,7425	2,32
0,10	0,90	0,9867	0,9712	4,60
0,00	1,00	1,1350	1,0562	6,90

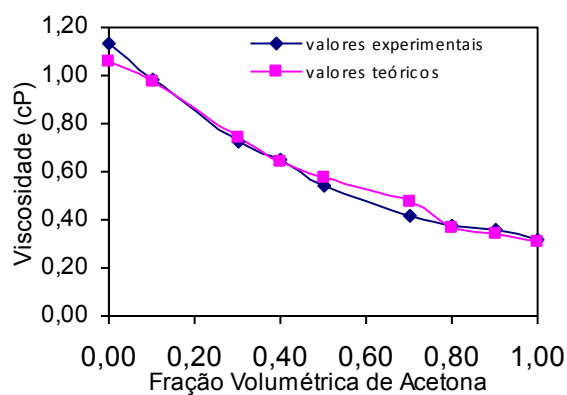


Fig 2 – Viscosidade da mistura etanol – acetona

Tabela 2 – Comparação entre os valores experimentais e teóricos ( eq. Lobe)

xAC	xC	hEXP (cP)	hTEOR (cP)	Desvio (%)
			Eq. Lobe	
1,00	0,00	0,4450	0,4368	1,84%
0,90	0,10	0,4521	0,4504	0,36%
0,80	0,20	0,4682	0,4689	0,19%
0,70	0,30	0,5000	0,4904	1,92%
0,50	0,50	0,5442	0,5418	0,40%
0,40	0,60	0,5491	0,5751	4,75%
0,30	0,70	0,6110	0,6208	1,60%
0,10	0,90	0,7323	0,7883	7,76%
0,00	1,00	1,0340	0,9400	9,09%

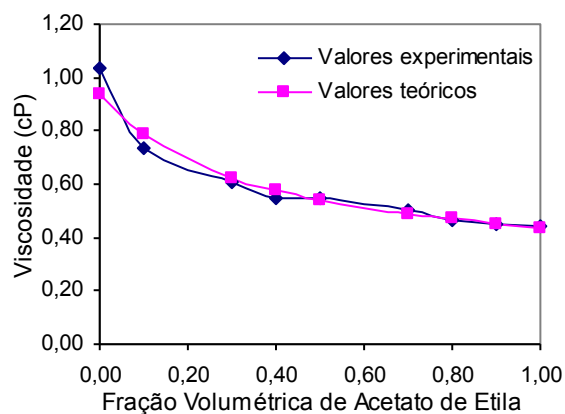


Fig 3 – Viscosidade da mistura acetato de etila - ciclohexano

As comparações dos valores experimentais com valores teóricos, obtidos a partir da equação de Arrhenius e da equação de Kendall e Monroe se encontram nos Anexos I e II .

## 7. CONCLUSÕES

- Os dados experimentais foram bem ajustados pelas correlações de Lobe, de Kendall e Monroe e de Arrhenius.
- O viscosímetro de Cannon-Fenske se mostrou adequado e prático na determinação da viscosidade de misturas líquidas que tenham comportamento de fluido newtoniano.

## REFERÊNCIAS

- [1] Bird R. B. , Stewart W. E. and Lightfoot E. N. – Fenômenos de Transporte , Editorial Reverté S.A 1982
- [2] Monnery W. D. et alii – “Viscosity : a critical review of practical predictive and correlative methods”, Canadian J. Chem.Eng., 73, 3-50, 1995.
- [3] Thomas L. H. – “The dependence of the viscosities of liquids on reduced temperature, and a relation between viscosity, density and chemical constitution”, J.Chem.Soc., (1946) 573-579
- [4] Suzuki T. et alii – “Computer-assisted approach to develop a new prediction method of liquid viscosity of organic compounds”, Computers Chem, Eng., 20 , 161-173, 1996
- [6] Viswanath, D.S., et al. - Viscosity of Liquids Theory, Estimation, Experiment and Data, Springer, 2007
- [5] Huggins, M. L. , J. Am. Chem. Soc. , 64 , pp.2716 , 1942 .
- [6] Kraemer, E. O. , Ind. Eng. Chem. , 30 , pp.1200 , 1938 .
- [7] Schulz, G. V. & Blaschke, F. , J. Prakt. Chem. , 158 , pp. 130, 1941
- [8] R. C. Reid, J. M. Prausnitz, and T. K. Sherwood, The Properties of Gases and Liquids, McGraw-Hill, New York, 3rd Ed. (1977)
- [9] B. E. Poling , J. M. Prausnitz and J. P. O’Connell, The Properties of Gases and Liquids, 6th Ed., Mc Graw Hill, New York (2001).
- [10] J. Kendall and K. P. Monroe, Viscosity of liquids. III. Ideal solutions of solids in

liquids, J. Am. Chem. Soc. 39, 1802-1806 (1917)

[11] S. A. Arrhenius, Uber die Dissociation der in Wasser gelosten Stoffe, Z. Phys. Chem. 1,631-648 (1887)

[12] W. Hayduk, V. Malik, J.Chem.Eng.Data 16 (1971) 143-146

[13] P. Gonzalez-Tello , F. Camacho, G. Blázquez, J.Chem.Eng.Data 39 (1994)

## ANEXO I

Tabela 3 – Comparação entre os valores experimentais e teóricos ( eq. Arrhenius) com os desvios respectivos

xA	xE	hEXP (cP)	hTEOR	Desvio (%)
			(cP) Eq. Arrhenius	
1,00	0,00	0,3184	0,3012	5,71
0,90	0,10	0,3546	0,3421	3,52
0,80	0,20	0,3777	0,3885	2,86
0,70	0,30	0,4144	0,4412	6,47
0,50	0,50	0,5452	0,5690	4,36
0,40	0,60	0,6510	0,6462	0,70
0,30	0,70	0,7260	0,7339	1,08
0,10	0,90	0,9867	0,9468	2,09
0,00	1,00	1,1350	1,0750	5,58



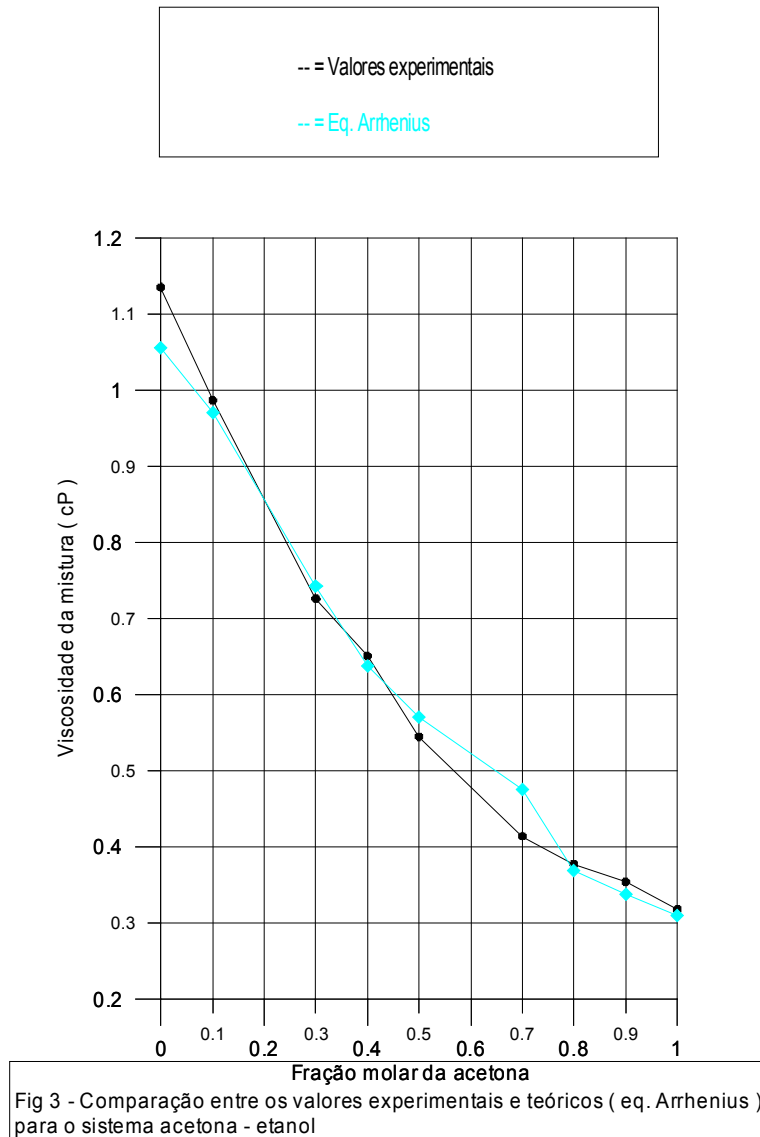
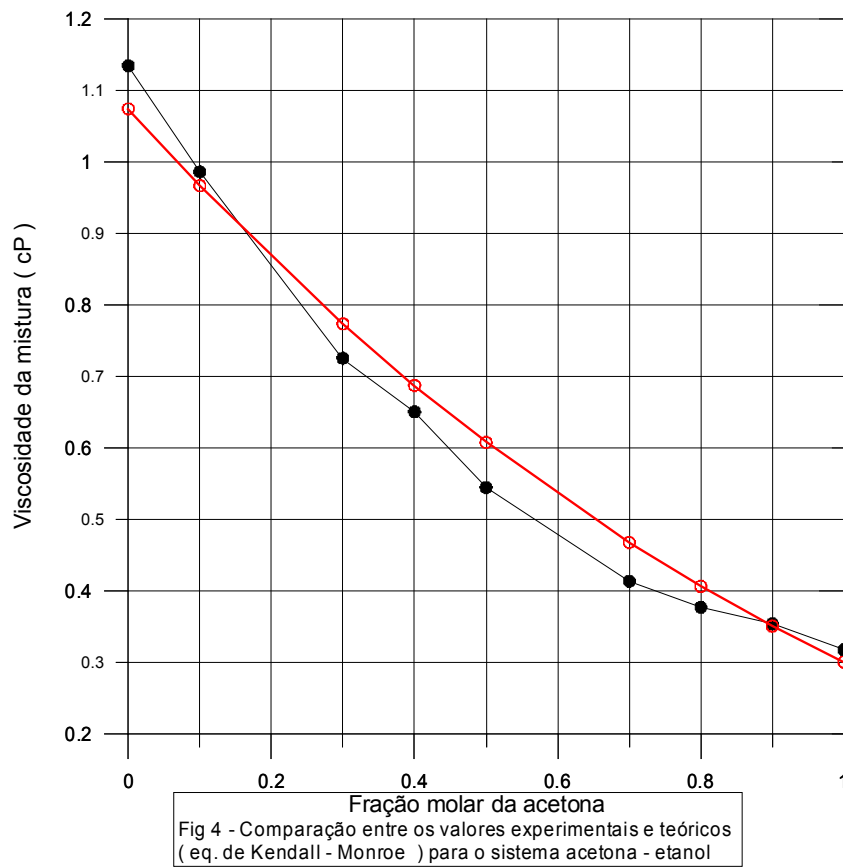


Tabela 4 – Comparação entre os valores experimentais e teóricos (Kendall e Monroe) com os desvios respectivos

x <sub>A</sub>	x <sub>E</sub>	h <sub>EXP</sub> (cP)	hTEOR	
			(cP) Eq. Kendall-Monroe	Desvio (%)
1,00	0,00	0,3184	0,3012	5,71
0,90	0,10	0,3546	0,3515	0,87
0,80	0,20	0,3777	0,4071	7,78
0,70	0,30	0,4144	0,4683	13,0
0,50	0,50	0,5452	0,6084	10,4
0,40	0,60	0,6510	0,6879	5,36
0,30	0,70	0,7260	0,7741	6,62
0,10	0,90	0,9867	0,9673	1,97
0,00	1,00	1,1350	1,0750	5,58

-- = Valores experimentais  
 -- = Valores teóricos ( eq. Kendall - Monroe )



## ANEXO II

Tabela 5 – Comparação entre os valores experimentais e teóricos (eq. Arrhenius) com os respectivos desvios

x <sub>AC</sub>	x <sub>C</sub>	h <sub>EXP</sub> (cP)	h <sub>TEOR</sub> (cP)		Desvio (%)
				Eq. Arrh	
1,00	0,00	0,4450		0,4230	4,94
0,90	0,10	0,4521		0,4543	0,49
0,80	0,20	0,4682		0,4879	4,21
0,70	0,30	0,5000		0,5240	4,80
0,50	0,50	0,5442		0,6043	11,0
0,40	0,60	0,5691		0,6490	14,0
0,30	0,70	0,6410		0,6970	8,70
0,10	0,90	0,7323		0,8079	10,3
0,00	1,00	0,9340		0,8634	7,56

-- = Valores experimentais  
 -- = Valores teóricos ( eq. Arrhenius )

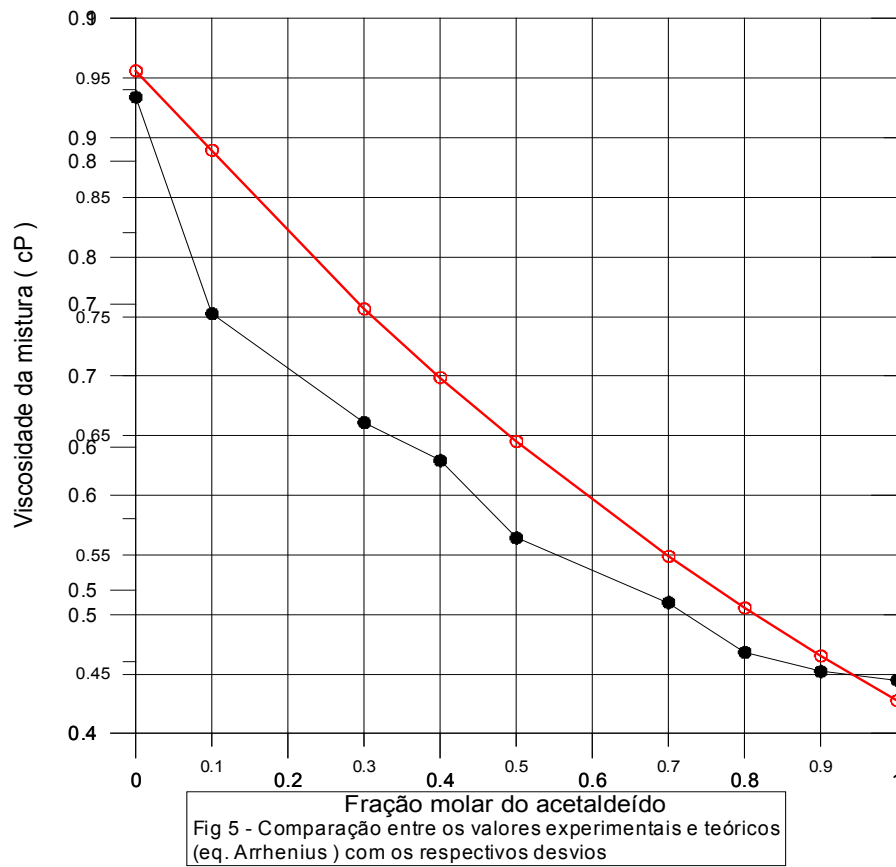


Tabela 6 – Comparação entre os valores experimentais e teóricos ( eq. Kendall e Monroe ) com os respectivos desvios

x <sub>AC</sub>	x <sub>C</sub>	h <sub>EXP</sub> (cP)	h <sub>TEOR</sub> (cP)		Desvio (%)
				Eq. Arrh	
1,00	0,00	0,4450		0,4230	4,94
0,90	0,10	0,4521		0,4580	1,31
0,80	0,20	0,4682		0,4949	5,70
0,70	0,30	0,5000		0,5337	6,74
0,50	0,50	0,5442		0,6173	13,4
0,40	0,60	0,5691		0,6621	16,3
0,30	0,70	0,6410		0,7091	10,6
0,10	0,90	0,7323		0,8097	10,6
0,00	1,00	0,9340		0,8634	7,56

-- = Valores experimentais  
 -- = Valores teóricos ( eq. Kendall - Monroe )

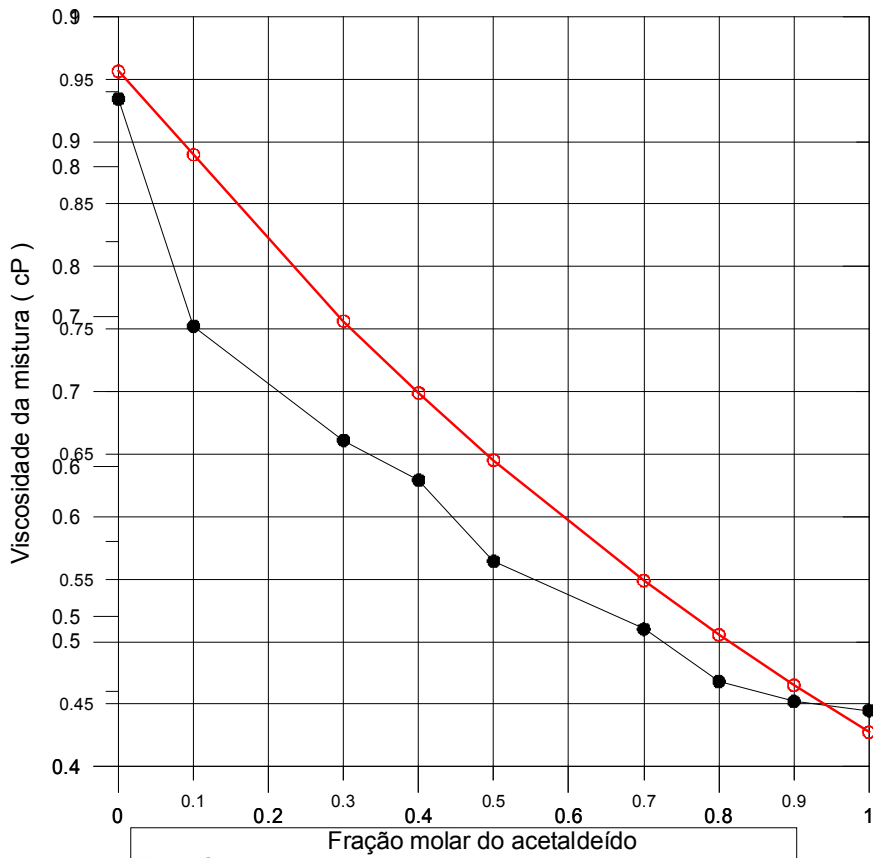


Fig 6 - Comparação entre os valores experimentais e teóricos ( eq. de Kendall e Monroe ) para o sistema acetaldéido - ciclohexano