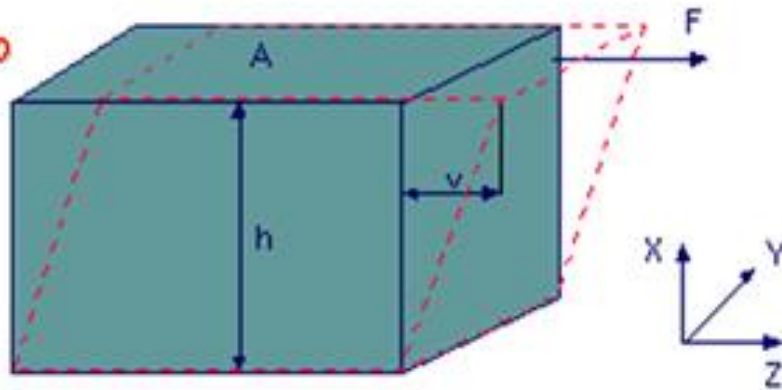


PROPRIEDADES DOS LÍQUIDOS (SOLVENTES)  
VISCOSIDADE E TENSÃO SUPERFICIAL

DEFINIÇÃO DE VISCOSIDADE  
RESISTÊNCIA AO MOVIMENTO OU FLUXO



*Tensão de  
Cisalhamento*



$$\text{Tensão de Cisalhamento} = \frac{\text{Força}}{\text{Área}} \quad \text{Taxa de Cisalhamento} = \frac{\text{Velocidade}}{\text{Altura}}$$

$$\text{Viscosidade} = \frac{\text{Tensão de Cisalhamento}}{\text{Taxa de Cisalhamento}}$$

# Unidades da viscosidade

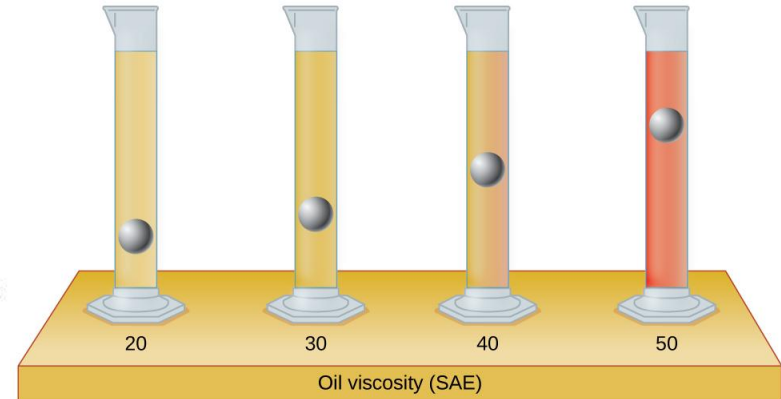
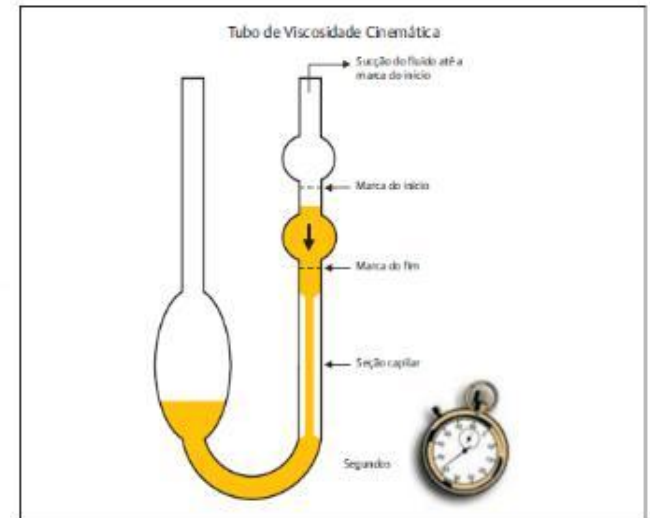
No SI  $\eta = \left[ \frac{Ns}{m^2} \right]$  ou [Pa.s] (Pascal segundo)

Na prática  $\eta = \left[ \frac{g}{cm.s} \right]$  ou [P] (Poise)

**Viscosidade cinemática**  $\nu = \frac{\eta}{\rho}$

No SI  $\nu = \left[ \frac{m^2}{s} \right]$

Muito utilizado  $\nu = [St] = \left[ 10^{-4} \frac{m^2}{s} \right]$  (Stokes)



**TABELA 11.4** Viscosidades de uma série de hidrocarbonetos a 20 °C

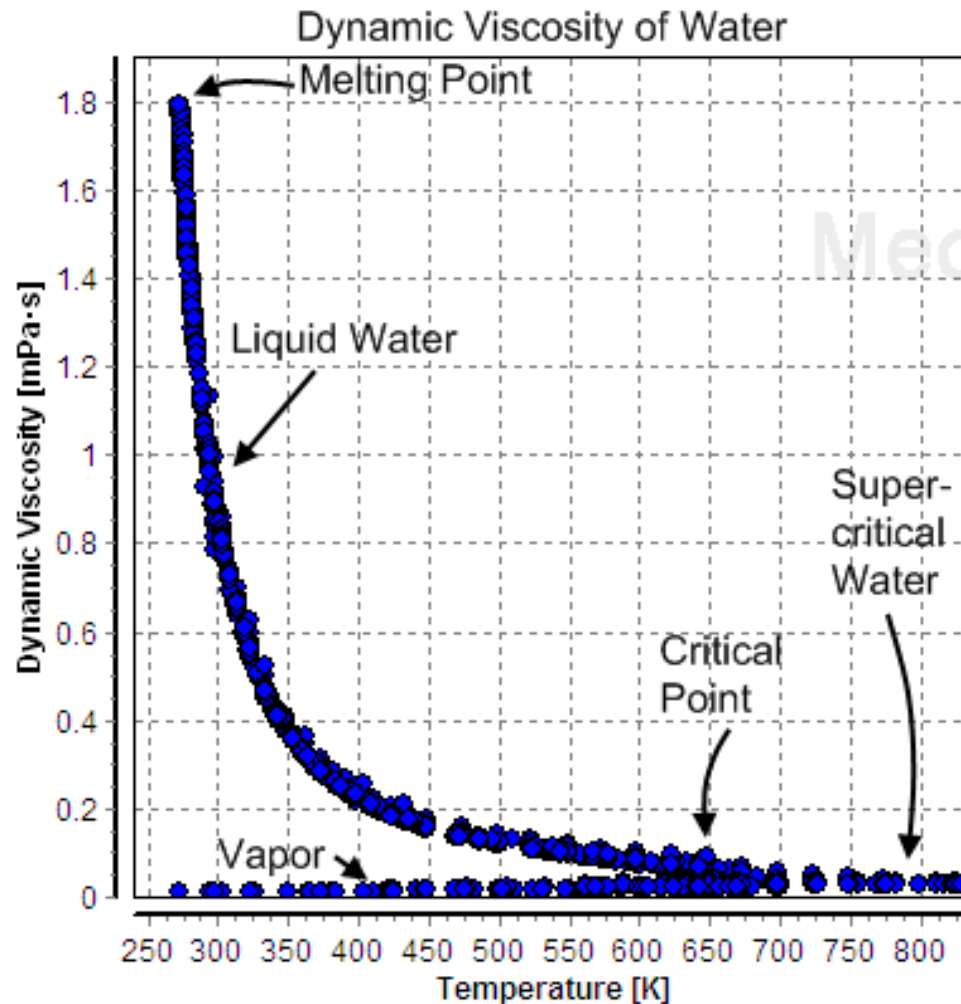
Substância	Fórmula	Viscosidade (cP)
Hexano	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	0,326
Heptano	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	0,409
Octano	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	0,542
Nonano	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	0,711
Decano	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	1,42

## Variação da viscosidade com a temperatura

Coeficiente de viscosidade - Líquidos e Gases					
Líquidos	T (°C)	μ (cP)	Gases	T (°C)	μ (cP)
água	0	1,80	Ar	0	0,01733
água	20	1,002	Ar	100	0,0202
água	100	0,2821	H <sub>2</sub>	0	0,0085
Éter sulfúrico	20	0,24	He	0	0,0189
Mercúrio	20	1,55	O <sub>2</sub>	0	0,0192
Glicerina anidra	20	1390	CO <sub>2</sub>	0	0,01370
Óleo de oliva	30	1200	CO <sub>2</sub>	100	0,01828

# COMPARANDO A VARIAÇÃO DA VISCOSIDADE DE LÍQUIDOS E GASES COM A TEMPERATURA

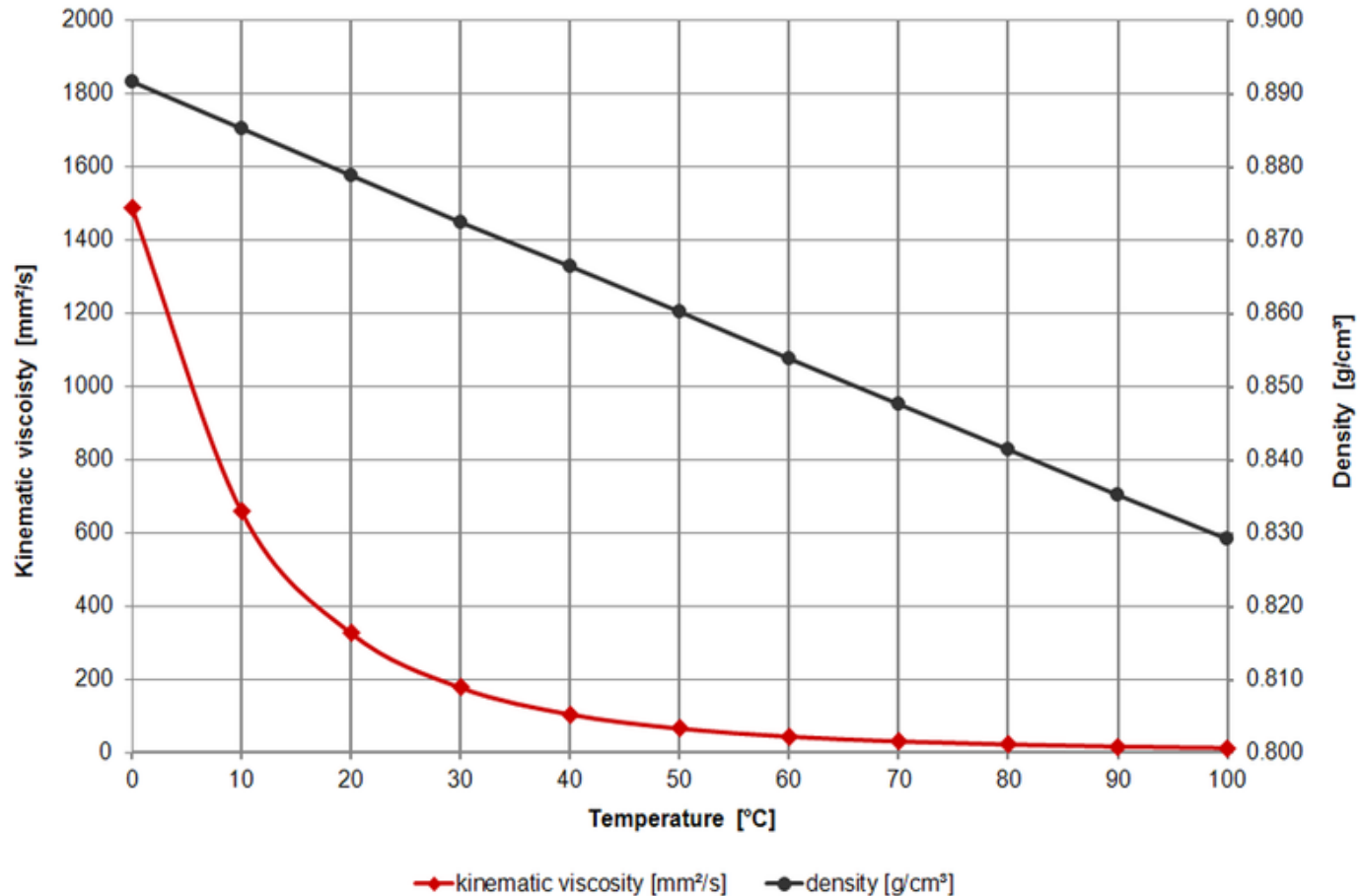
Experimental Data Points from Dortmund Data Bank



Obs: Acima do ponto crítico, o fluido supercrítico é formado (viscosidades se igualam!!)

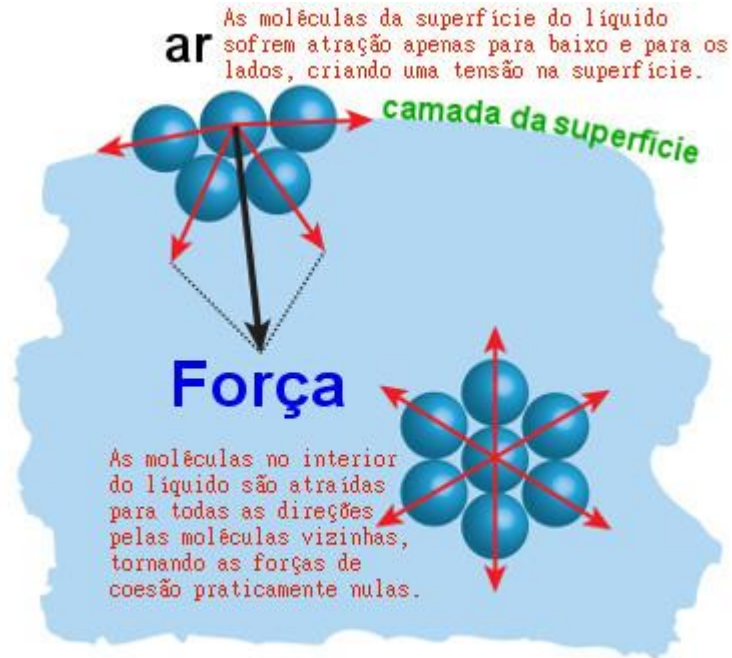
Em geral, viscosidade dos líquidos diminui bastante e dos gases aumenta um pouco com a temperatura. Como podemos explicar este fenômeno

## VARIAÇÃO DA VISCOSIDADE E DA DENSIDADE DE UM ÓLEO DE MOTOR (SAE 15W-40) COM A TEMPERATURA



Qual poderia ser a explicação molecular para tais efeitos

# TENSÃO SUPERFICIAL EM LÍQUIDOS



**Definição** – Trabalho externo necessário para aumentar a área da interface do líquido

$$\text{Tensão superficial} = W/\text{Área}$$

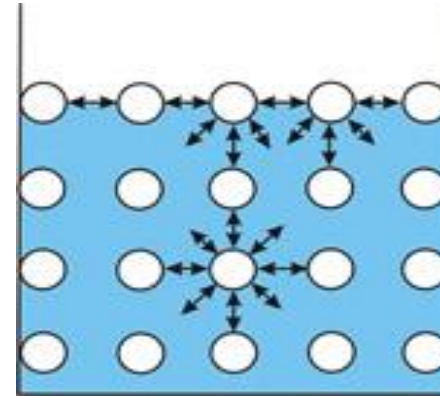
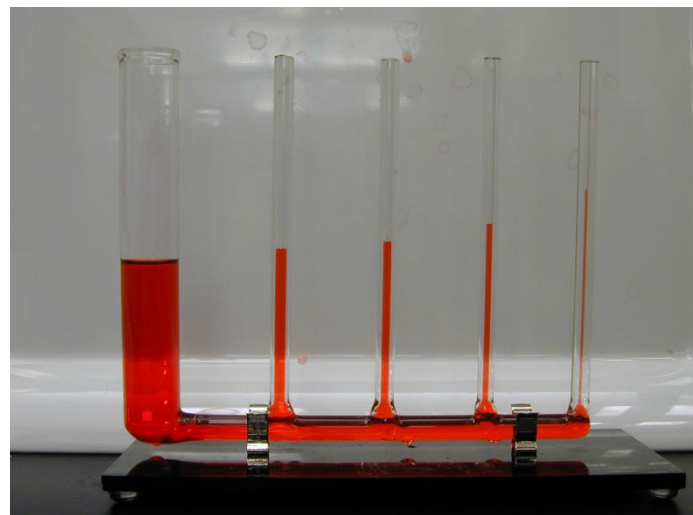


Tabela 3. Tensão superficial de alguns solventes

Solvente	Tensão superficial (d cm <sup>-1</sup> )
n-Hexano	18,8
Etanol	26,8
1-Heptanol	27,6
Etileno glicol	43,0
Água ultrapura	71,5



## Sistemas e fenômenos relacionados com tensão superficial



Capilaridade de líquidos

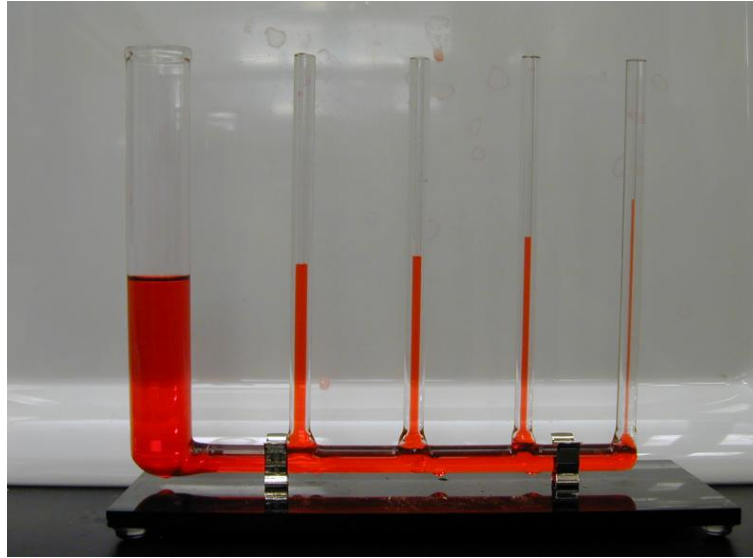


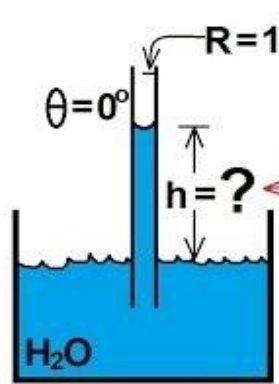
Formação de bolhas e aeração



Gotas e molhamento

## Equilíbrio de forças na Capilaridade





$R = 1\text{mm}$   
 $\theta = 0^\circ$   
 $h = ?$   
 $\text{H}_2\text{O}$

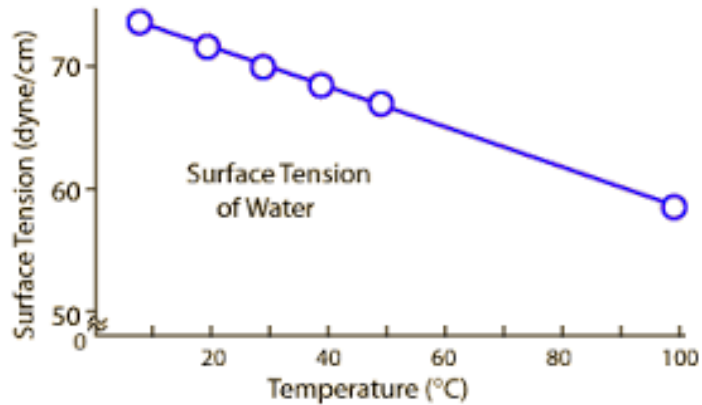
$$F_{\text{ST}} = mg$$
$$\gamma L \cos\theta = mg$$
$$\gamma L \cos\theta = \rho V g$$
$$\gamma (2\pi R) \cos\theta = \rho (\pi R^2 h) g$$
$$h = \frac{2\gamma \cos\theta}{\rho g R}$$

$\rho = \frac{m}{V}$   
 $m = \rho V$

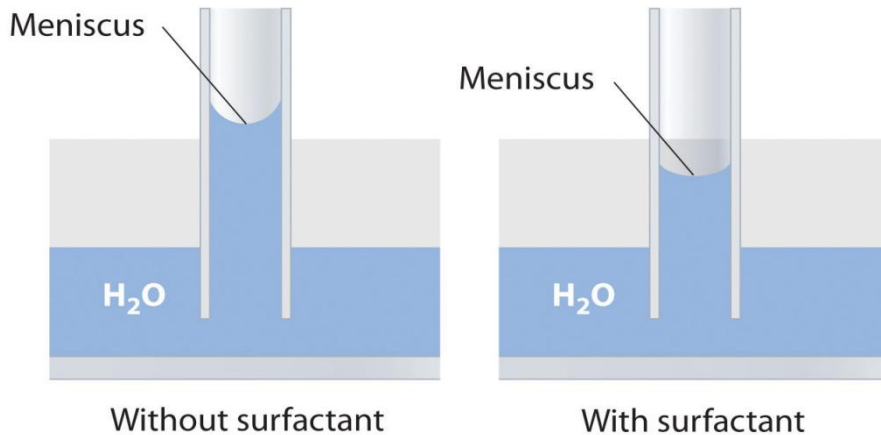
$$\gamma_{\text{H}_2\text{O}} = 0.072 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$



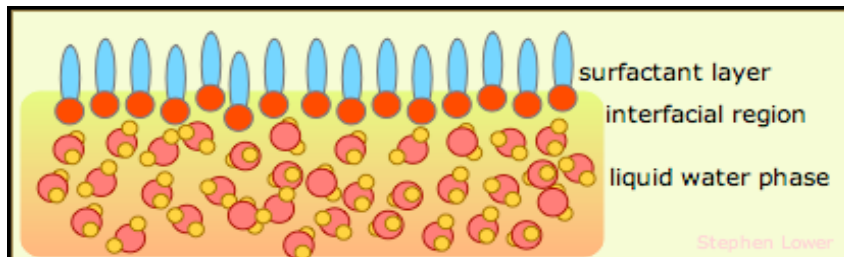
# EFEITOS DE TEMPERATURA E ADITIVOS (DETERGENTES – SURFACTANTES NA TENSÃO SUPERFICIAL DA ÁGUA



Aumento da temperatura resulta em diminuição da tensão superficial

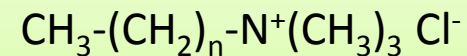


Adição de detergente /surfactante diminui a tensão superficial



**Surfactantes:** moléculas anfifílicas (parte polar e parte apolar)

Ex (n > 11):



## CONCLUSÃO GERAL SOBRE GASES, LÍQUIDOS E SÓLIDOS

Propriedades de gases, líquidos e sólidos dependem do grau em que ocorrem as interações atômicas e moleculares individuais (entre duas moléculas) e também das interações coletivas entre diversas moléculas que ocorrem principalmente nas fases condensadas (líquido e sólido).

