

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE QUÍMICA DE SÃO CARLOS



*Introdução aos Processos Químicos - 7500089*

## **Apresentação da disciplina**

**Profa. Dra. Bianca Chierogato Maniglia**

[biancamaniglia@usp.br](mailto:biancamaniglia@usp.br)

[biancamaniglia@iqsc.usp.br](mailto:biancamaniglia@iqsc.usp.br)

# AGOSTO

D	S	T	Q	Q	S	S	
		13. Dia dos Pais	1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12	
13	14	15	16	17	18	19	
20	21	22	23	24	25	26	
27	28	29	30	31			
01 CHEIA	08 MING	16 NOVA	24 CRESC	30 CHEIA			

# SETEMBRO

D	S	T	Q	Q	S	S
					1	2
		07. Independência do Brasil				
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
06 MING	14 NOVA	22 CRESC	29 CHEIA			

-  Sem aula
-  Com aula
-  Seminários
-  Prova

# OUTUBRO

D	S	T	Q	Q	S	S
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	12. N. Sra. Aparecida / Dia das Crianças	15. Dia dos Professores		
06 MING	14 NOVA	22 CRESC	28 CHEIA			

# NOVEMBRO

D	S	T	Q	Q	S	S	
				1	2	3	4
		02. Finados					
		15. Proclamação da República					
5	6	7	8	9	10	11	
12	13	14	15	16	17	18	
19	20	21	22	23	24	25	
26	27	28	29	30	20. Consciência Negra		
05 MING	13 NOVA	20 CRESC	27 CHEIA				

# DEZEMBRO

D	S	T	Q	Q	S	S	
					1	2	
					25. Natal		
3	4	5	6	7	8	9	
10	11	12	13	14	15	16	
17	18	19	20	21	22	23	
24	31	25	26	27	28	29	30
05 MING	12 NOVA	19 CRESC	26 CHEIA				

# ***Programa da disciplina***

1. Conceito e caracterização de operações industriais e processos químicos correlacionados;
2. Fluxograma dos processos; Definição de processos em batelada, contínuo e semi-contínuo;
3. Balanço material e energético em processos de batelada e contínuo;
4. Principais operações unitárias da indústria química: características operacionais;
5. Destinação de produtos, subprodutos e efluentes industriais;
6. Descrição de alguns processos químicos orgânicos e inorgânicos representativos da indústria química brasileira;
7. Exemplos de processos químicos: (i) produção de plásticos;  
(ii) produção de catalisadores nanoestruturados. <sup>3</sup>

## Método

Aulas expositivas e seminários

## Critério

A critério do docente (provas, seminários, exercícios, etc).

$$NF = (P+S)/2$$

## Norma de Recuperação

70% de presença e média menor do que 5,0 e maior ou igual a 3,0.

# ***Bibliografia***

- J.A. Moulin, M. Makkee, A. Van Diepen, Chemical Process Technology, Wiley, 2001.
- B.N. Shreve, J.A. Brink, Jr., Chemical Process Industries (4th Ed.), MacGraw-Hill, New York, 1977.
- D. Pletcher, Industrial Electrochemistry, Chapman and Hall, New York, 1982.
- MCABE, W.L.; SMITH, J.C.; HARNOTT, P. Unit Operation of Chemical Engineering. 4. Ed. - Madrid, McGraw Hill, 1985; FOST, A.S.; WENGEL, L.A... OU FOST, A.S. ET AL. Princípios das operações unitárias. Trad. H. Macedo, Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1982.
- HIMMELBLAU, D. M. Engenharia Química - Princípios e Cálculos, 4ed., Prentice/Hall do Brasil, 1982

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE QUÍMICA DE SÃO CARLOS



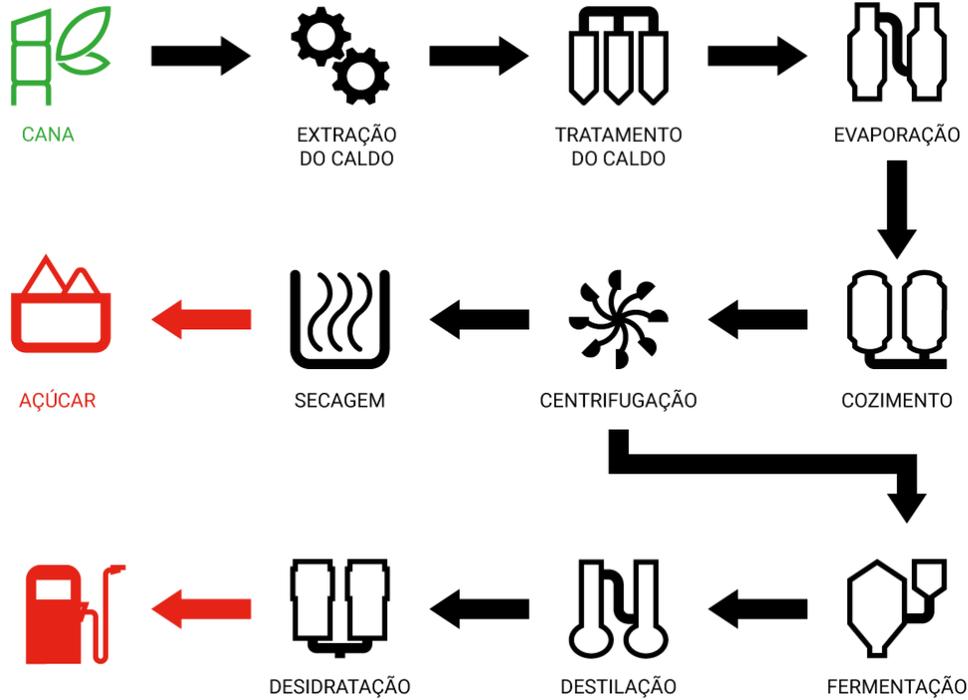
*Introdução aos Processos Químicos - 7500089*  
**Conceito e caracterização de operações industriais  
e processos químicos correlacionados**

**Profa. Dra. Bianca Chierregato Maniglia**

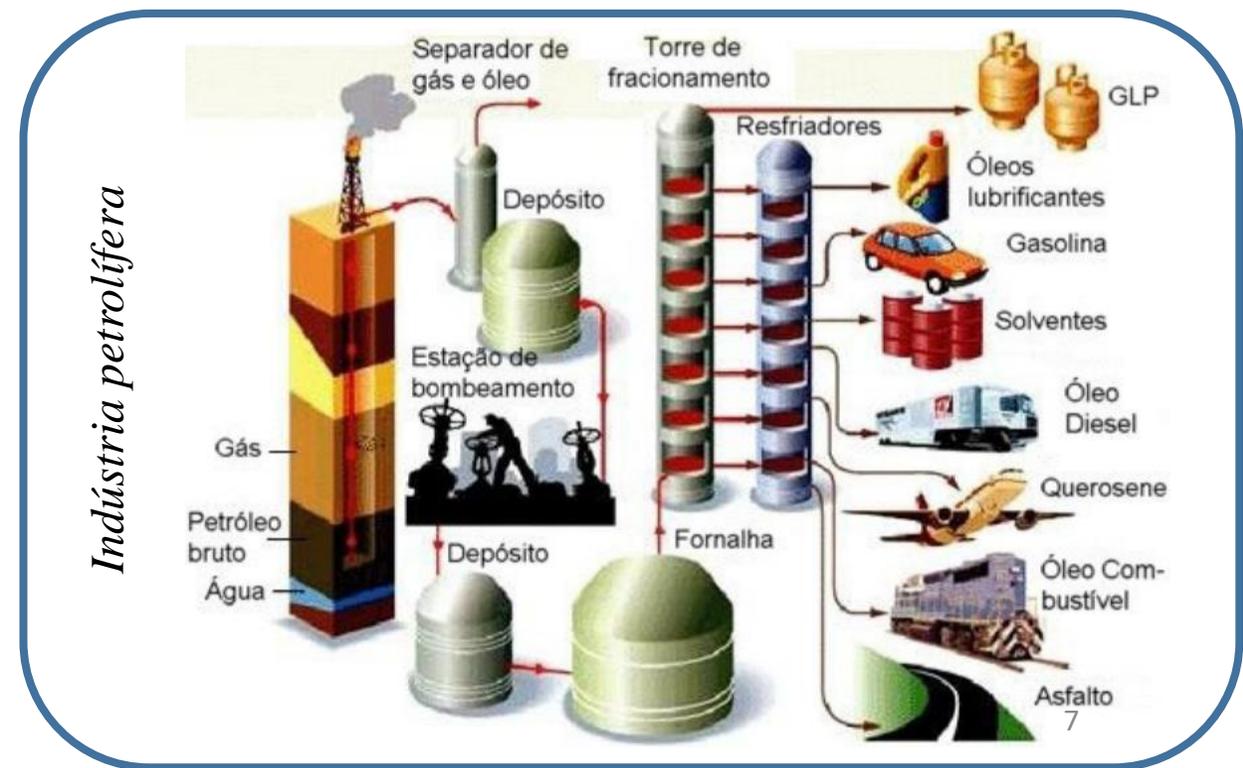
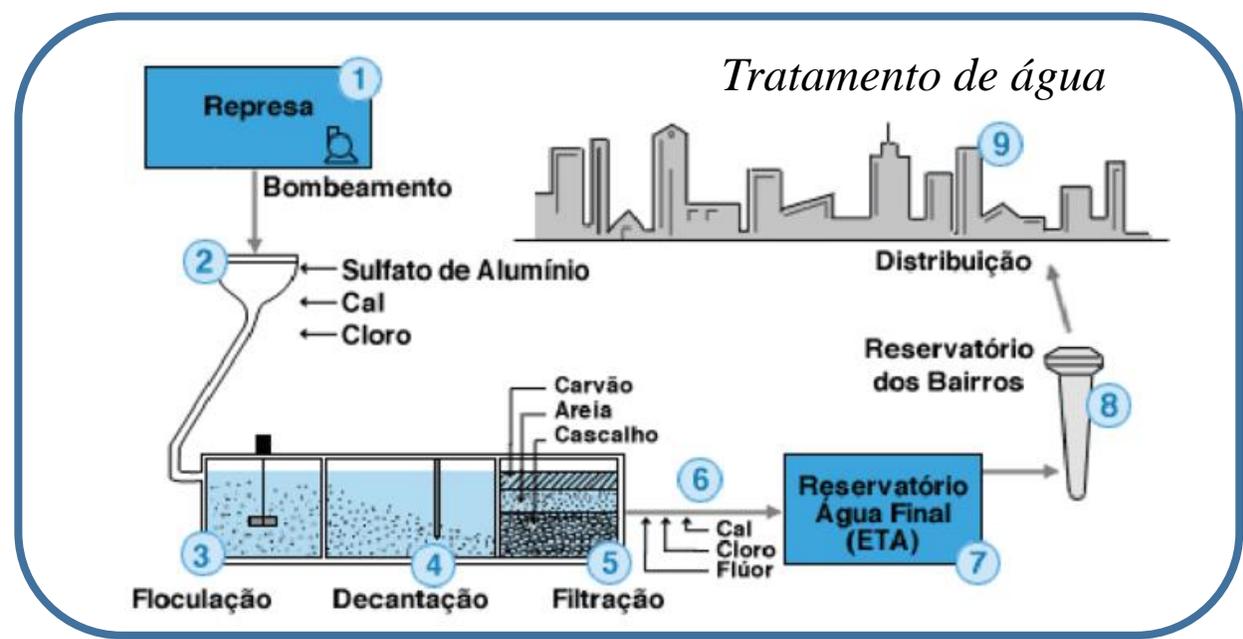
[biancamaniglia@usp.br](mailto:biancamaniglia@usp.br)

[biancamaniglia@iqsc.usp.br](mailto:biancamaniglia@iqsc.usp.br)

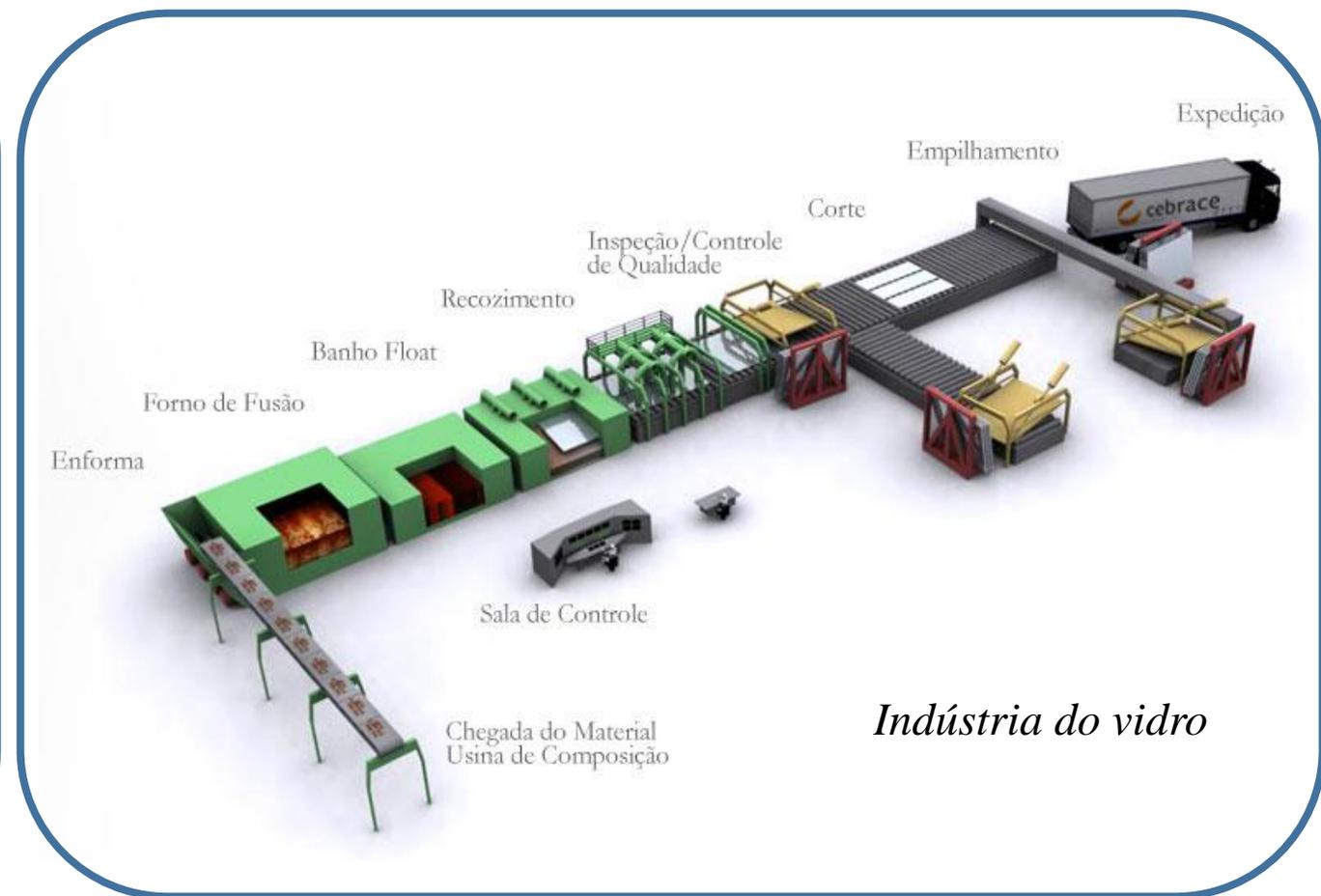
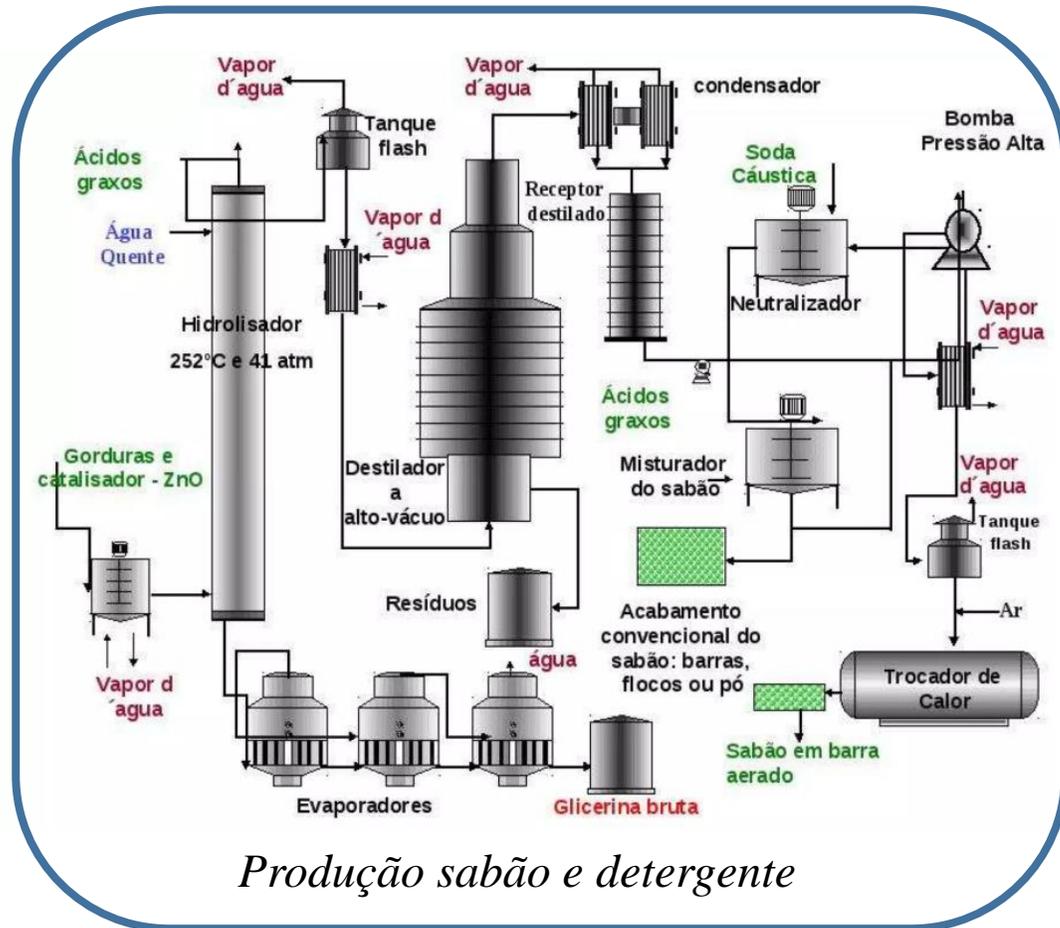
# Processos químicos



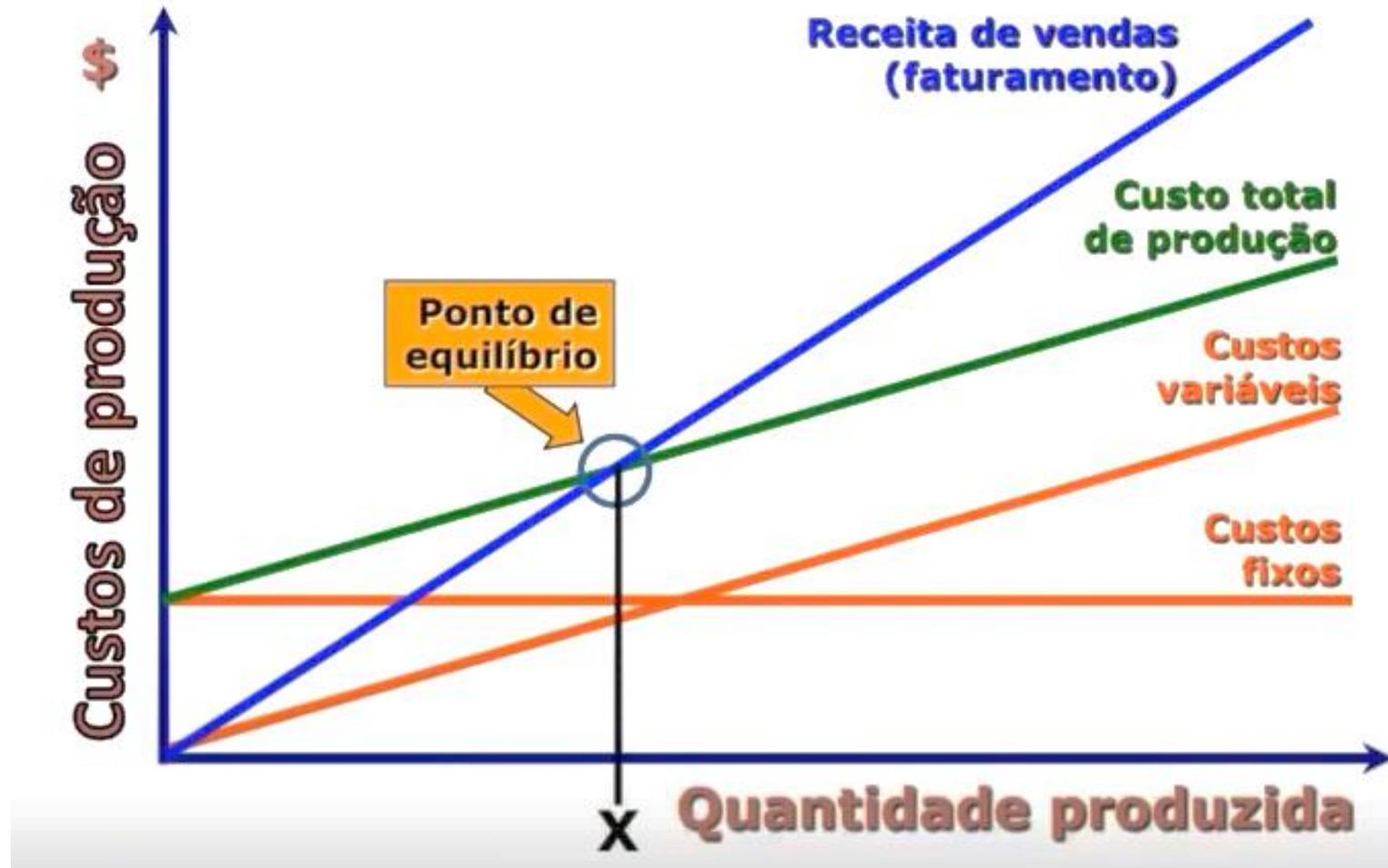
*Produção de açúcar e álcool*

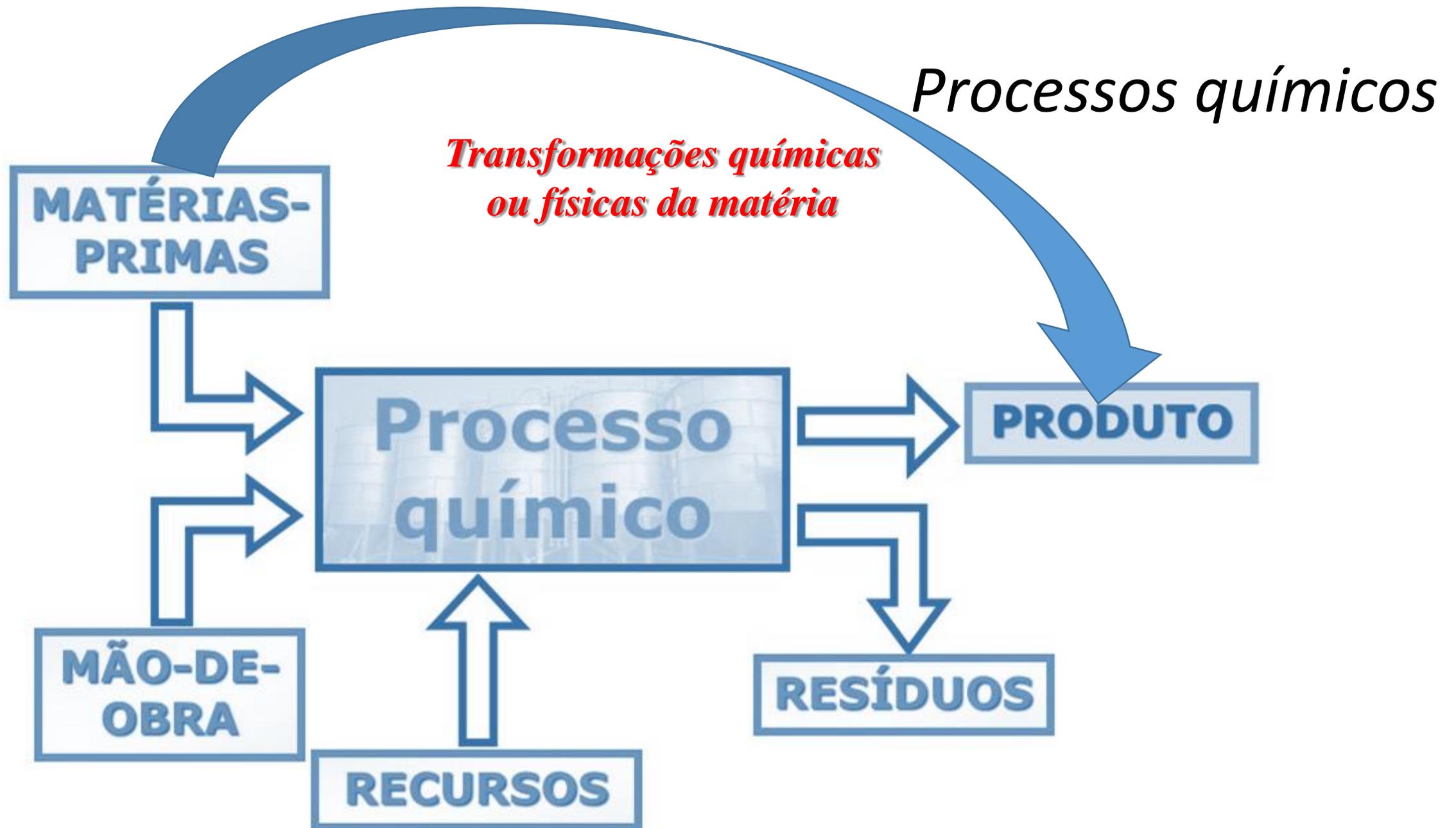


# Processos químicos



# Por que estudar processos?





## PROCESSO

- É o estudo e acompanhamento das variáveis que agem na OPERAÇÃO (especificação da matéria prima e equipamentos para realizar as diversas funções).

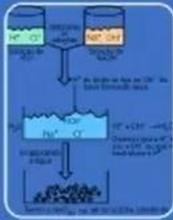
## OPERAÇÃO

- É a ação direta do homem e equipamentos sobre a matéria prima e seus produtos (funções que devem ser executadas).

Quando a matéria prima não sofre transformação química para a obtenção de produtos, dizemos que ela foi submetida às OPERAÇÕES UNITÁRIAS; quando a matéria prima sofre transformação química, temos a chamada CONVERSÃO QUÍMICA ou PROCESSO UNITÁRIO.

# Processos unitários

- Conversões químicas



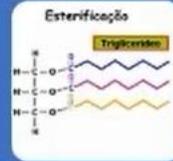
Neutralização



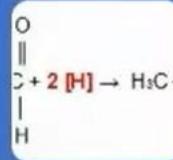
Combustão



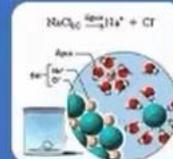
Polimerização



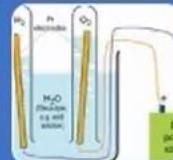
Esterificação



Redução



Hidratação



Eletrólise

# Operações unitárias

- Processos de separação
- Transferência de massa
- Transferência de calor

## Transferência de calor



Condensação



Ebulição



Evaporação

## Transferência de massa



Destilação



Extração



Absorção



Adsorção



Secagem

# Operações unitárias

## Classificações

Operações envolvendo sólidos



Fragmentação



Peneiramento



Transporte



Armazenamento

Operações envolvendo fluidos



Bombeamento



Mistura



Compressão



Agitação

Operações envolvendo separações

Filtração

Peneiração

Sublimação

Cristalização

Exemplo



# Representação => FLUXOGRAMA



# FLUXOGRAMA

Obtenção de ácido fosfórico => processo via úmida

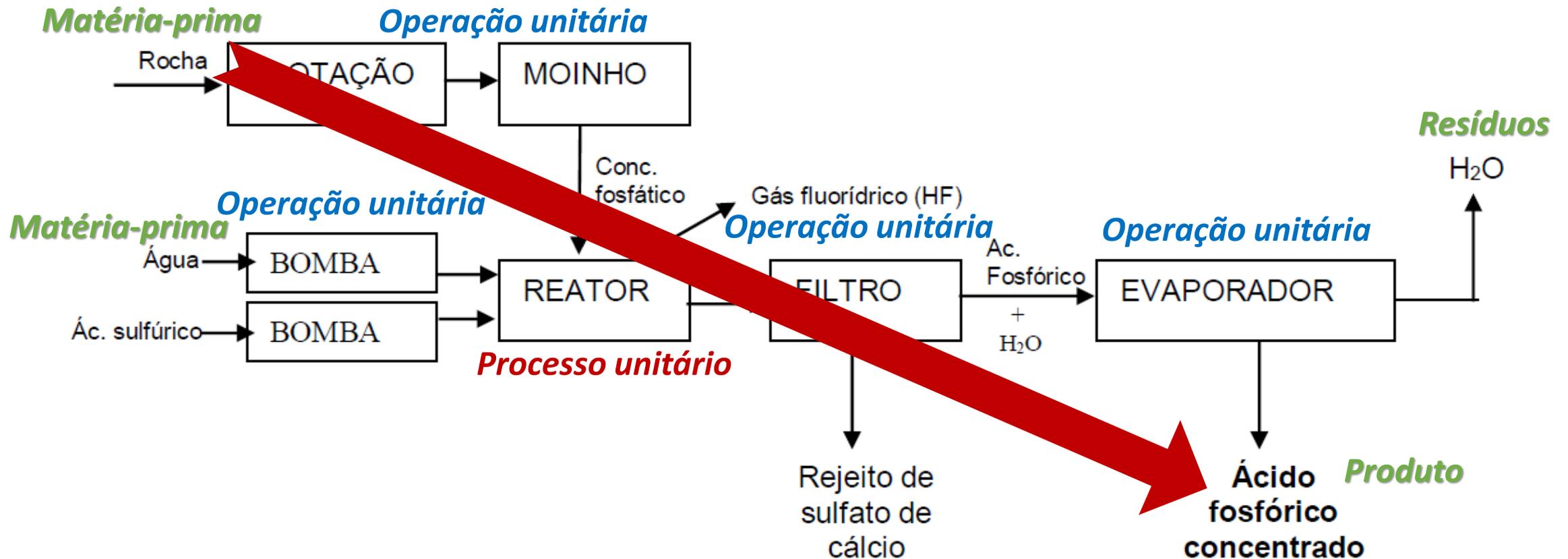
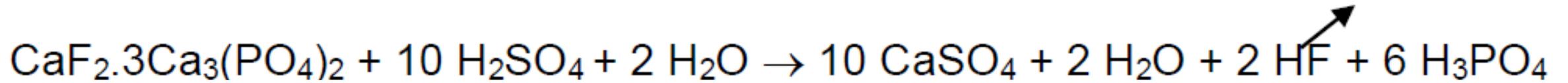
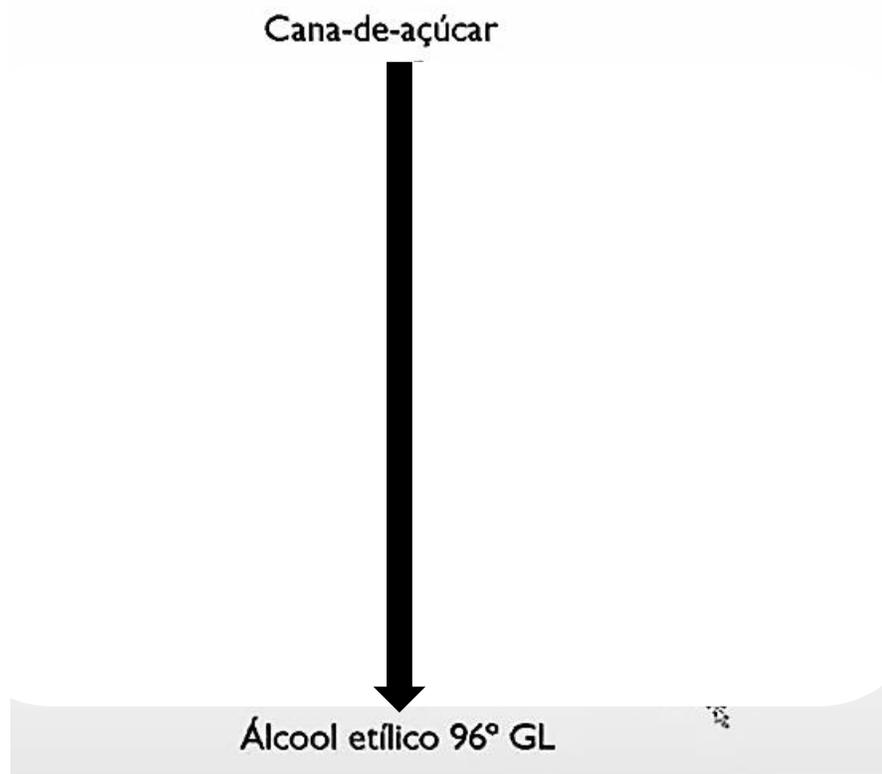


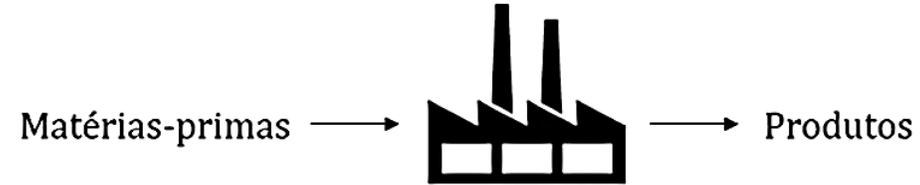
Figura 1. Diagrama de blocos do processo de fabricação de ácido fosfórico por via úmida.

# Exercício

Partindo-se da CANA, quais deveriam ser as operações e processos unitários necessários até a produção de ETANOL. Descreva o processo através de diagrama de blocos.



# Revisando Conceitos



# Análise dos Processos químicos

## ➤ Unidades e dimensões

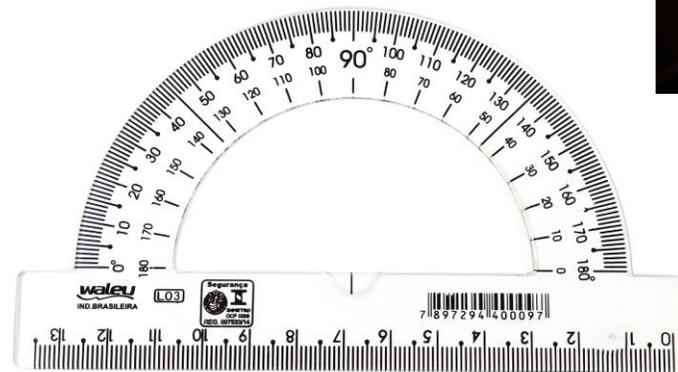
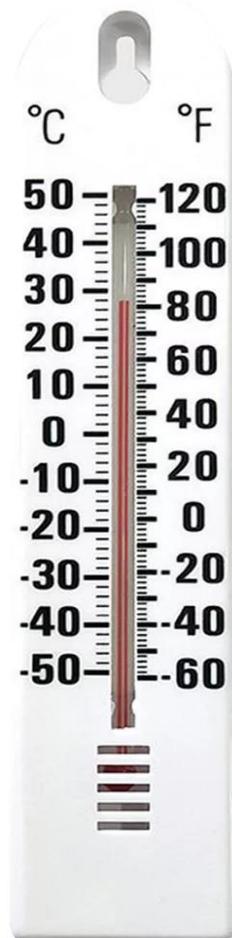
### Valor unitário e unidade

**Massa,  
Volume,  
Temperatura**

*Conservação da massa e energia*

*Informações termodinâmicas*

**INDÚSTRIA QUÍMICA**



# Unidade e dimensões

$$5 \text{ kg} - 4 \text{ kg} = 1 \text{ kg}$$

$$5 \text{ kg} - 10 \text{ L} = ??$$



$$5 \text{ kg} - 4 \text{ kg} = 1 \text{ kg}$$

$$5 \text{ kg} - 4 \text{ g} = ??$$



**ATENÇÃO**

## CONVERSÃO DE UNIDADES

$$\begin{aligned} 1 \text{ kg} & \text{-----} 1000 \text{ g} \\ X \text{ kg} & \text{-----} 4 \text{ g} \\ X & = 0.004 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ kg} & \text{-----} 1000 \text{ g} \\ 5 \text{ kg} & \text{-----} X \text{ g} \\ X & = 5000 \text{ g} \end{aligned}$$

$$5 \text{ kg} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} = 5000 \text{ g}$$

# *Unidade e dimensões*

- **Multiplicação ou divisão**

$$\frac{4 \text{ cm}}{2 \text{ s}} = 2 \text{ cm/s}$$

$$\frac{2 \text{ cm}}{1 \text{ s}} \times 1 \text{ s} = 2 \text{ cm}$$

$$2 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 2 \text{ m}^2$$

$$\frac{\cancel{2 \text{ cm}}}{\cancel{1 \text{ cm}}} = 2$$

# Sistemas de unidades

## Unidades múltiplas

## Unidades básicas

QUANTIDADE	UNIDADE	SIMBOLO
Comprimento	metro	m
Massa	kilograma	kg
Tempo	segundo	s
Temperatura	Kelvin	K
Corrente elétrica	ampére	A
Intensidade luminosa	candela	Cd
Moles	grama-mol	g-mol ou mol

Mega (M)	= $10^6$
kilo (k)	= $10^3$
centi (c)	= $10^{-2}$
mili (m)	= $10^{-3}$
micro ( $\mu$ )	= $10^{-6}$
nano (n)	= $10^{-9}$

## Unidades derivadas

QUANTIDADE	UNIDADE	SÍMBOLO	EQUIVALENTE EM TERMOS DE UNIDADES BÁSICAS
Volume	litro	L	0,001 m <sup>3</sup>
Força	Newton	N	1 kg.m/s <sup>2</sup>
Pressão	Pascal	Pa	1 N/m <sup>2</sup>
Energia	Joule	J	1 N.m=1 kg.m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
Trabalho	grama-caloria	cal	4,184 J
Potência	Watt	W	1 J/s = 1 kg.m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup>

# Sistemas de unidades

**Tabela I.4.** Unidades do CGS.

massa	grama	g
comprimento	centímetro	cm
força	dina	1 g.cm/s <sup>2</sup>
pressão	dina/cm <sup>2</sup>	
energia	erg	1 dina.cm = g cm <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>

**Tabela I.5.** Unidades do SAE.

Comprimento	foot (pé)	ft
Massa	libra-massa	lbm
Tempo	segundo	s

SAE: Sistema Americano de Engenharia

Grandeza	Unidade	Símbolo	Valor em outras unidades
Tempo	minuto	min	1 min = 60 s
	hora	h	1 h = 60 min = 3600 s
	dia	dia	1 dia = 24 h = 1440 min = 86400 s
	ano	ano	1 ano = 365 dias = 8760 h = 525 600 min = 31 536 000 s

## *Sistemas de unidades - conversão*

Grandeza	Unidade		Símbolo	Valor em unidade fundamental do SI
Comprimento	Múltiplos	Quilômetro	km	1 km = 1000 m = $10^3$ m
		Hectômetro	hm	1 hm = 100 m = $10^2$ m
		Decâmetro	dam	1 dam = 10 m = $10^1$ m
	Submúltiplos	Decímetro	dm	1 dm = 0,1 m = $10^{-1}$ m
		Centímetro	cm	1 cm = 0,01 m = $10^{-2}$ m
		Milímetro	mm	1 mm = 0,001 m = $10^{-3}$ m

Múltiplos			Base	Submúltiplos		
Quilograma	Hectograma	Decagrama	Gramas	Decigrama	Centigrama	Miligrama
kg	hg	dag	g	dg	cg	mg
1000 g	100 g	10 g	1 g	0,1 g	0,01 g	0,001 g

# Sistemas de unidades - conversão

$F \sim m \cdot a$ , onde  $F$  = força;  $m$  = massa;  $a$  = aceleração da gravidade

SISTEMA	Unidade natural	Unidade derivada
SI	$\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	1 N
CGS	$\text{g} \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$	1 dina
AES	$\text{lbm} \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}$	?

“O produto de uma unidade de massa (lbm) pela aceleração da gravidade ao nível do mar e 45 ° de latitude, que é 32,174 ft/s<sup>2</sup>”.

$$1 \text{ lbf} = 32,174 \text{ lbm.ft/s}^2$$

RELAÇÃO ENTRE AS UNIDADES

$$g_c = \frac{1 \frac{\text{kg.m}}{\text{s}^2}}{1 \text{ N}} = \frac{1 \frac{\text{g.cm}}{\text{s}^2}}{1 \text{ dina}} = \frac{32,174 \frac{\text{lbm.ft}}{\text{s}^2}}{1 \text{ lbf}}$$

Fator de conversão

# Sistemas de unidades - conversão

## RELAÇÃO ENTRE AS UNIDADES

$$g_c = \frac{1 \frac{\text{kg.m}}{\text{s}^2}}{1 \text{ N}} = \frac{1 \frac{\text{g.cm}}{\text{s}^2}}{1 \text{ dina}} = \frac{32,174 \frac{\text{lbm.ft}}{\text{s}^2}}{1 \text{ lbf}}$$

Fator de conversão

Então, para o nível do mar e 45° de latitude, teremos:

$$F = \frac{m \cdot a}{g_c}$$

$g = 9,8066 \text{ m/s}^2$	$g/g_c = 9,8066 \text{ N/kg}$
$g = 980,66 \text{ cm/s}^2$	$g/g_c = 980,66 \text{ dina/g}$
$g = 32,174 \text{ ft/s}^2$	$g/g_c = 1 \text{ lbf/lbm}$

Notar que:  $g$  = aceleração da gravidade

$g_c$  = fator de conversão

# Sistemas de unidades

libra-massa (lb <sub>m</sub> )	slug	quilograma (kg)	unidade técnica de massa (utm)
1	0,03108	0,4536	0,0463
32,1740	1	14,5939	1,4882
2,2046	0,06852	1	0,1020
21,6170	0,67197	9,80665	1

**Massa**

**Comprimento**

metro (m)	centímetro (cm)	pé (ft)	polegada (in)	milha (mi)
1	100	3,2808	39,3696	$6,214 \times 10^{-4}$
$10^{-2}$	1	0,0328	0,3937	$6,214 \times 10^{-6}$
0,3048	30,48	1	12,0000	$1,894 \times 10^{-4}$
0,0254	2,54	0,0833	1	$1,578 \times 10^{-5}$
1609	160900	5280	63360	1

# Sistemas de unidades

TABELA DE FATORES PARA CONVERSÃO DE ALGUMAS UNIDADES  
(Felder, M.R.; Rousseau, R.C. "Elementary Principles of Chemical Process")

Massa	1 kg = 1000 g = 0,001 ton.métrica = 2,20462 lbm 1 lbm = 453,593 g	
Comprimento	1 m = 100 cm = 1000 mm = 10 <sup>6</sup> micra (μ) = 10 <sup>10</sup> angstroms (Å) = = 39,37 in = 3,2808 ft = 1,0936 jardas = 0,0006214 milhas 1 ft = 12 inch = 30,48 cm 1 jarda = 3 pés 1 pol. = 2,54 cm	
Volume	1 m <sup>3</sup> = 1000 L = 10 <sup>6</sup> cm <sup>3</sup> = 10 <sup>6</sup> mL = 35,3145 ft <sup>3</sup> = 264,17 gal. 1 ft <sup>3</sup> = 1728 in <sup>3</sup> = 7,4805 gal. = 0,028317 m <sup>3</sup> = 28,317 L 1 gal. = 3,785 L	
Força	1 N = 1 kg.m/s <sup>2</sup> = 10 <sup>5</sup> dinas = 10 <sup>5</sup> g.cm/s <sup>2</sup> = 0,22481 lbf 1 lbf = 32,174 lbm.ft/s <sup>2</sup> = 4,4482 N = 4,4482x10 <sup>5</sup> dinas 1 kgf = 9,8 N	
Pressão	1 atm = 1,01325x10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup> (Pa) = 1,01325 báreas = 1,01325x10 <sup>6</sup> dinas/cm <sup>2</sup> = 760 mmHg a 0°C (torr) = 10,333 m H <sub>2</sub> O a 4 °C = 14,696 lbf/in <sup>2</sup> (psi) = 33,9 ft H <sub>2</sub> O a 4°C = 29,921 in Hg a 0°C	
Energia	1 J = 1 N.m = 10 <sup>7</sup> ergs = 10 <sup>7</sup> dina.cm = 2,778x10 <sup>7</sup> kW.h = 0,23901 cal = 0,7376 ft.lbf = 9,486x10 <sup>-4</sup> BTU	
Potência	1 W = 1 J/s = 0,23901 cal/s = 0,7376 ft.lbf/s = 9,486x10 <sup>-4</sup> BTU/s = 1,341x10 <sup>-3</sup> HP	
Temperatura	T (K) = T(°C) + 273,15                      ΔT (°C) = ΔT (K) T (°R) = T(°F) + 459,67                    ΔT (°R) = ΔT (°F) T (°R) = 1,8 T (K)                            ΔT (K) = 1,8 ΔT (°R) T (°F) = 1,8 T (°C) + 32                    ΔT (°C) = 1,8 ΔT (°F)	
Fator de conversão da Lei de Newton	$g_c = 1 \frac{\text{kg.m/s}^2}{\text{N}} = 1 \frac{\text{g.cm/s}^2}{\text{dina}} = 32,174 \frac{\text{lbm.ft}}{\text{s}^2.\text{lbf}}$	
Constante dos gases	8,314 m <sup>3</sup> .Pa/mol.K 0,08314 L.bar/mol.K 0,08206 L.atm/mol.K 62,36 L.mmHg/mol.K 0,7302 ft <sup>3</sup> .atm/lb.mol.°R	10,73 ft <sup>3</sup> .psia/lb.mol.°R 8,314 J/mol.K 1,987 cal/mol.K 1,987 BTU/lb.mol.°R

# EXEMPLOS

metro (m)	centímetro (cm)	pé (ft)	polegada (in)	milha (mi)
1	100	3,2808	39,3696	$6,214 \times 10^{-4}$
$10^{-2}$	1	0,0328	0,3937	$6,214 \times 10^{-6}$
0,3048	30,48	1	12,0000	$1,894 \times 10^{-4}$
0,0254	2,54	0,0833	1	$1,578 \times 10^{-5}$
1609	160900	5280	63360	1

- **Exemplo I.1)** Converter 36 in para seu equivalente em ft.

Grandeza	Unidade	Símbolo	Valor em outras unidades
Tempo	minuto	min	1 min = 60 s
	hora	h	1 h = 60 min = 3600 s
	dia	dia	1 dia = 24 h = 1440 min = 86400 s
	ano	ano	1 ano = 365 dias = 8760 h = 525 600 min = 31 536 000 s

- **Exemplo I.2)** Converter a aceleração de  $1 \text{ cm/s}^2$  para seu equivalente em  $\text{km/ano}^2$ .

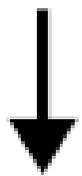
**Exercício I.3)** Água tem densidade  $62,4 \text{ lbm/ft}^3$ . Quanto pesam  $2 \text{ ft}^3$  de água:

- a) ao nível do mar, latitude  $45^\circ$  (ou seja  $g = 32,174 \text{ ft/s}^2$ )?
- b) no pico de uma montanha onde a aceleração da gravidade é  $30,139 \text{ ft/s}^2$ ?

metro (m)	centímetro (cm)	pé (ft)	polegada (in)	milha (mi)
1	100	3,2808	39,3696	$6,214 \times 10^{-4}$
$10^{-2}$	1	0,0328	0,3937	$6,214 \times 10^{-6}$
0,3048	30,48	1	12,0000	$1,894 \times 10^{-4}$
0,0254	2,54	0,0833	1	$1,578 \times 10^{-5}$
1609	160900	5280	63360	1

# Homogeneidade Dimensional e Quantidades Adimensionais

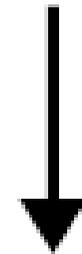
$$V \text{ (m/s)} = V_0 \text{ (m/s)} + g \text{ (m/s}^2\text{)} \times t \text{ (s)}$$



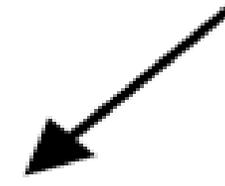
$$\frac{\text{m}}{\text{s}}$$



$$\frac{\text{m}}{\text{s}}$$



$$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



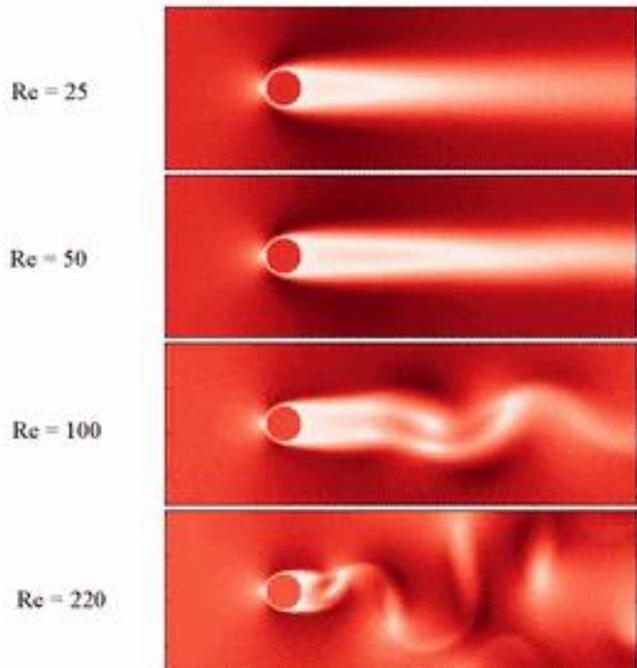
· s

$$= \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

# Quantidades Adimensionais

$$\frac{2 \cancel{\text{cm}}}{1 \cancel{\text{cm}}} = 2$$

$$\text{Re} = \frac{\rho(\text{g/cm}^3) \cdot v(\text{cm/s}) \cdot d(\text{cm})}{\mu(\text{g/cm.s})} \text{ Adimensional}$$



- ✓  $\rho$  = densidade do fluido
- ✓  $\mu$  = viscosidade do fluido
- ✓  $d$  = diâmetro da tubulação
- ✓  $v$  = velocidade do fluido

# Cálculos aritméticos: notação científica, algarismos significativos e precisão

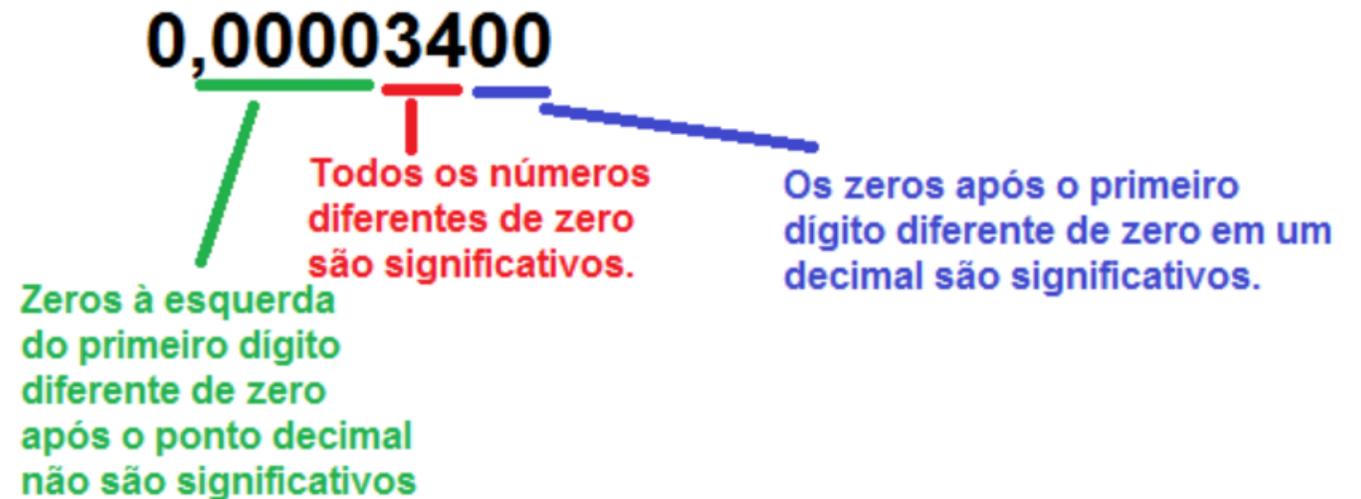
**NOTAÇÃO CIENTÍFICA => 0.1 e 10, potência de 10**

$$123.000.000 = 1,23 \times 10^8$$

$$0.0000028 = 2,8 \times 10^{-6}$$

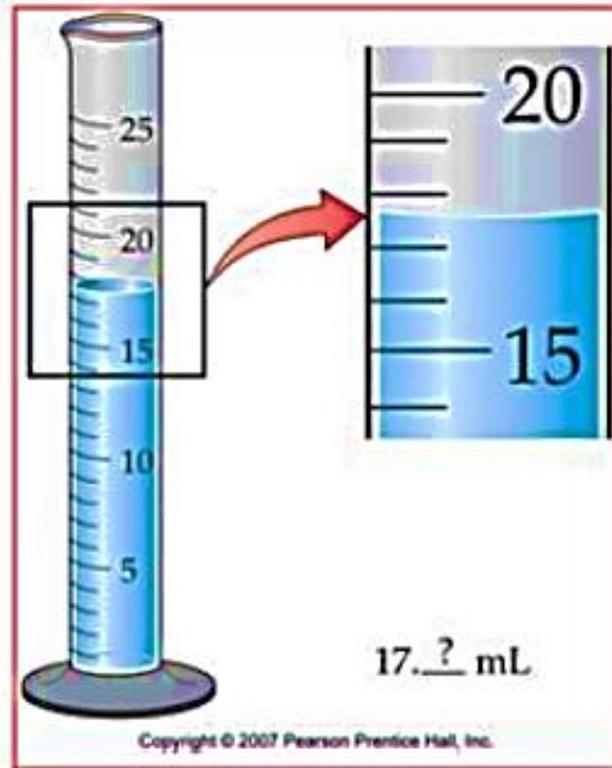
# Cálculos aritméticos: notação científica, Algarismos significativos e precisão

## ALGARISMOS SIGNIFICATIVOS



- ✓ Há um ponto decimal => ÚLTIMO DÍGITO (0 ou não 0) da direita  
**2300,0**    **5 algarismos significativos**
- ✓ Não há ponto decimal => ÚLTIMO DÍGITO não 0  
**2300**    **2 algarismos significativos**

- Realização da leitura em uma proveta

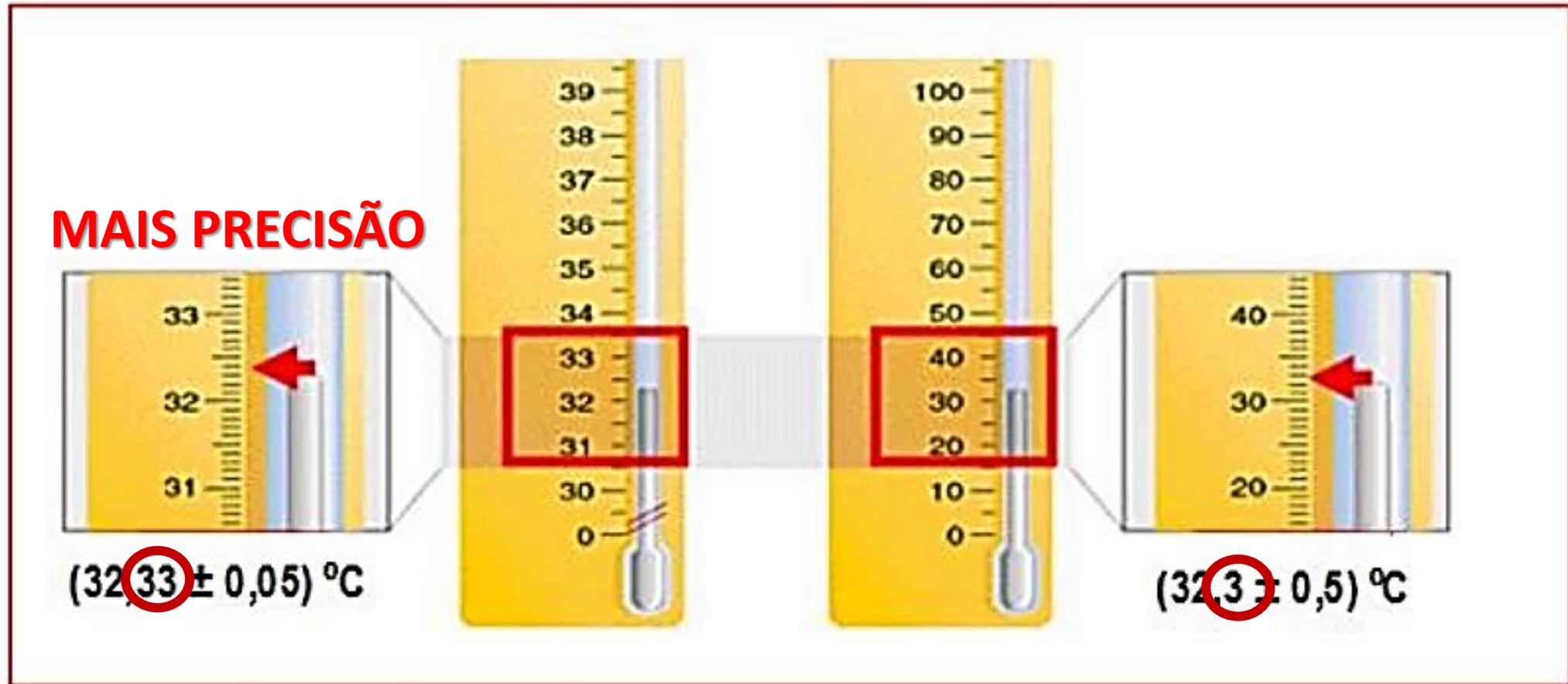


$$V = (17,7 \pm 0,5) \text{ mL}$$

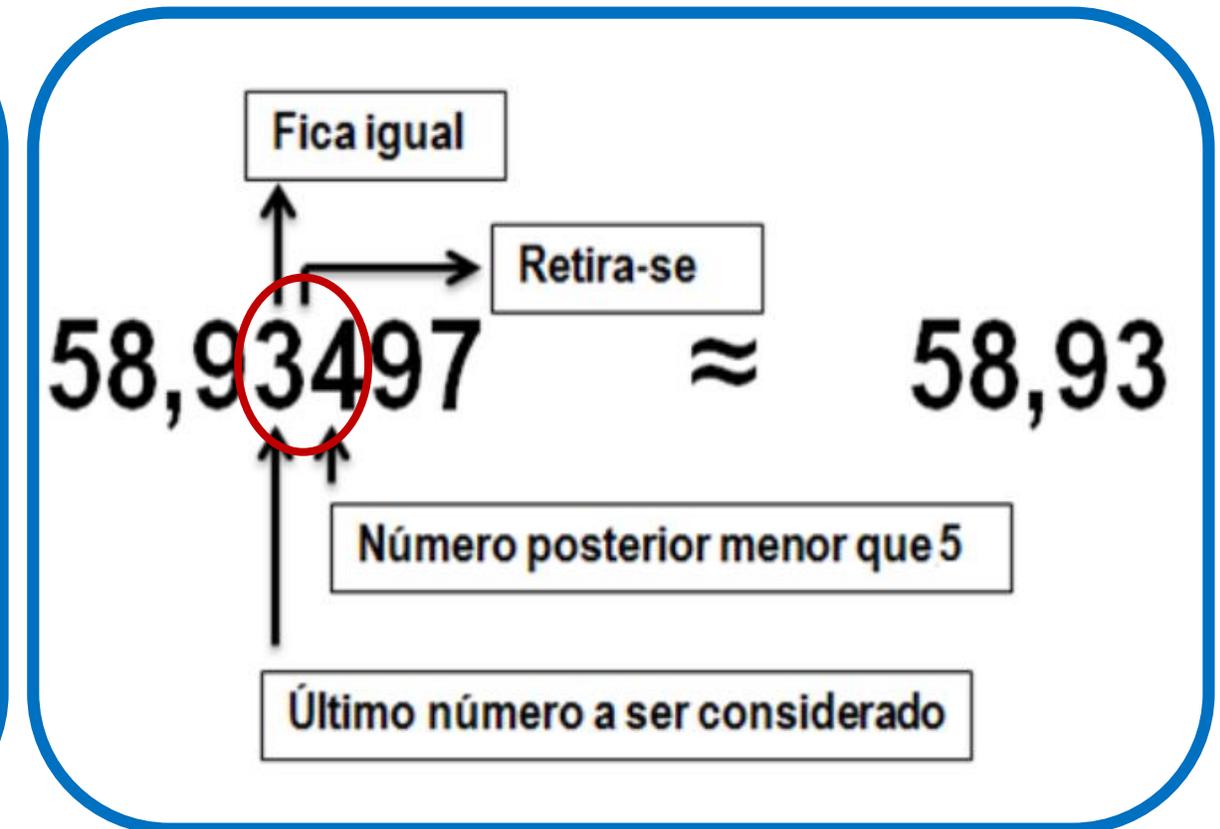
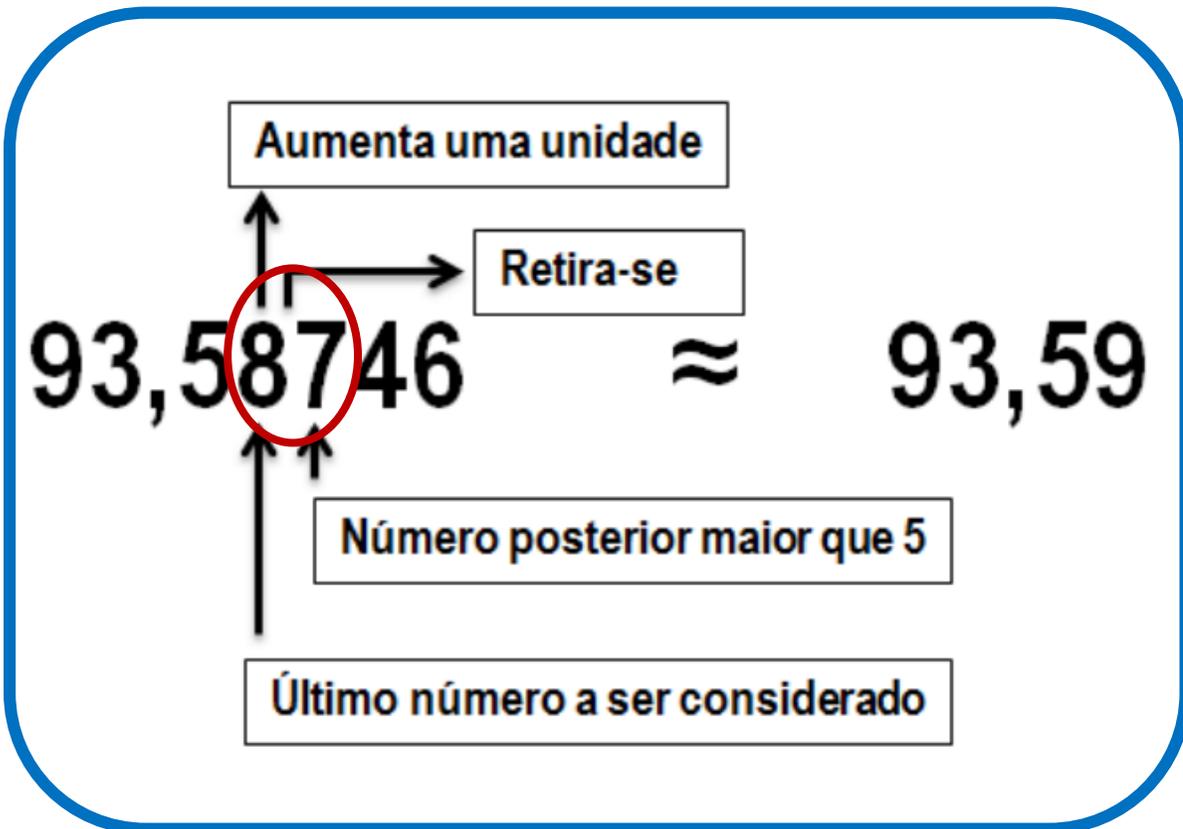
Limite do erro

Algarismo duvidoso

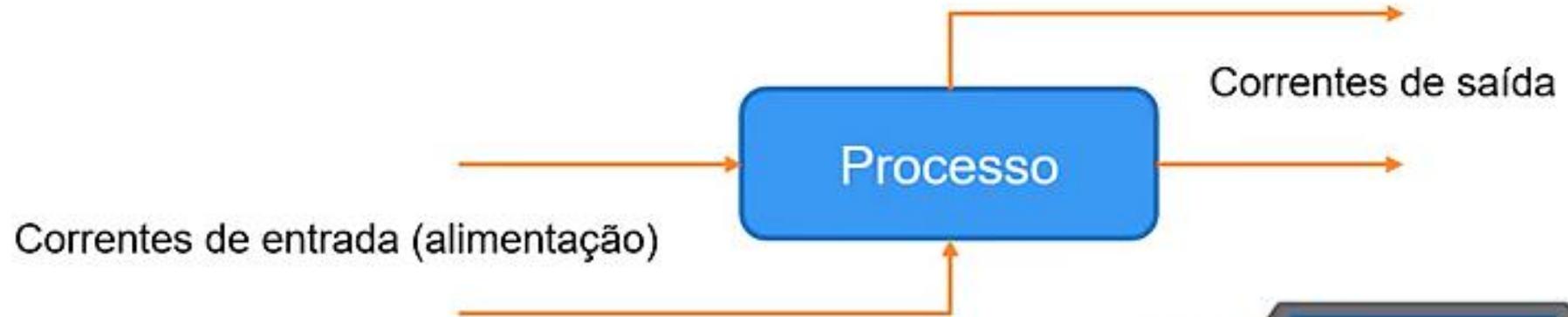
➤ Realização da leitura em um termômetro



# Regras para arredondamento: Norma ABNT NBR 5891



# Variáveis de processo



✓ **Projetar**

✓ **Supervisionar**

✓ **Modificar**



Figura 1 – Misturador.

Fonte: HIMMELBLAU, D. M.; RIGGS, J.B. **Engenharia Química: Princípios e Cálculos** (Problemas Suplementares). Tradução de Verônica Calado e Evaristo C. Biscaia Jr.. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014. p. 20 (Problema 3.2)

# Variáveis de processo

## 1) Massa, volume e densidade

### 1.1 Massa específica ou densidade aparente ( $\rho$ )

✓  $\rho_s$  e  $\rho_L$   
Referências padrões

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \frac{kg}{m^3}, \frac{g}{cm^3}, \frac{lbm}{ft^3}$$

Unidade

### 1.2 Volume específico ( $\hat{V}$ )

$$\hat{V} = \frac{V}{m} \quad \frac{m^3}{kg}, \frac{cm^3}{g}, \frac{lft^3}{lbm}$$

Unidade

## 1.3 Densidade específica ou relativa ( $\rho_{esp.}$ ou $DE$ )

$$\rho_{esp.} = DE = \frac{\rho_{substância}}{\rho_{preferência}}$$

*Condições específicas*

*Preferência* => Água

$\rho_{pref} (H_2O, 4^{\circ}C) =$	1,000 g/cm <sup>3</sup>
	1000 kg/m <sup>3</sup>
	62,43 lbm/ft <sup>3</sup>

**Notação**

$$DE = 0,6 \frac{20^{\circ}}{4^{\circ}}$$

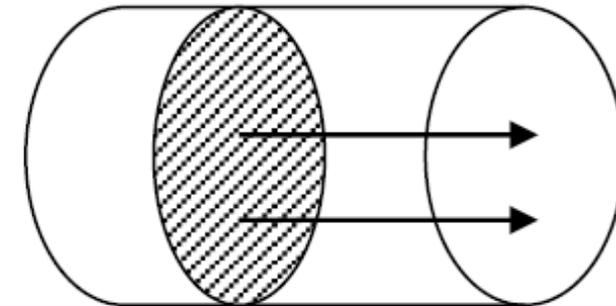
# Variáveis de processo

## 2) Vazão (*flow rate*)

### 2.1) Vazão mássica e volumétrica



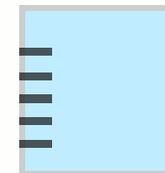
**Vazão Mássica**



$m$  (kg/s)

$V$  (m<sup>3</sup>/s)

**Vazão Volumétrica**



## 2) Vazão (*flow rate*)

**Vazão Mássica**

$$\dot{m} \left( \frac{\text{massa de fluido}}{\text{tempo}} \right)$$

(4)

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

**Vazão Volumétrica**

$$\dot{V} \left( \frac{\text{volume de fluido}}{\text{tempo}} \right)$$

(5)

$$= \frac{n}{V} = \frac{\dot{n}}{\dot{V}}$$

**Vazão Molar**

$$\dot{n} \left( \frac{\text{n}^\circ \text{ de mols de fluido}}{\text{tempo}} \right)$$

(6)

$$M = \frac{m}{n} = \frac{\dot{m}}{\dot{n}}$$

# Como medimos a vazão de fluidos?

- MEDIÇÃO DIRETA

$$Q = \frac{V}{\Delta t}$$



\* NECESSÁRIO  
INTERROMPER  
O FLUXO

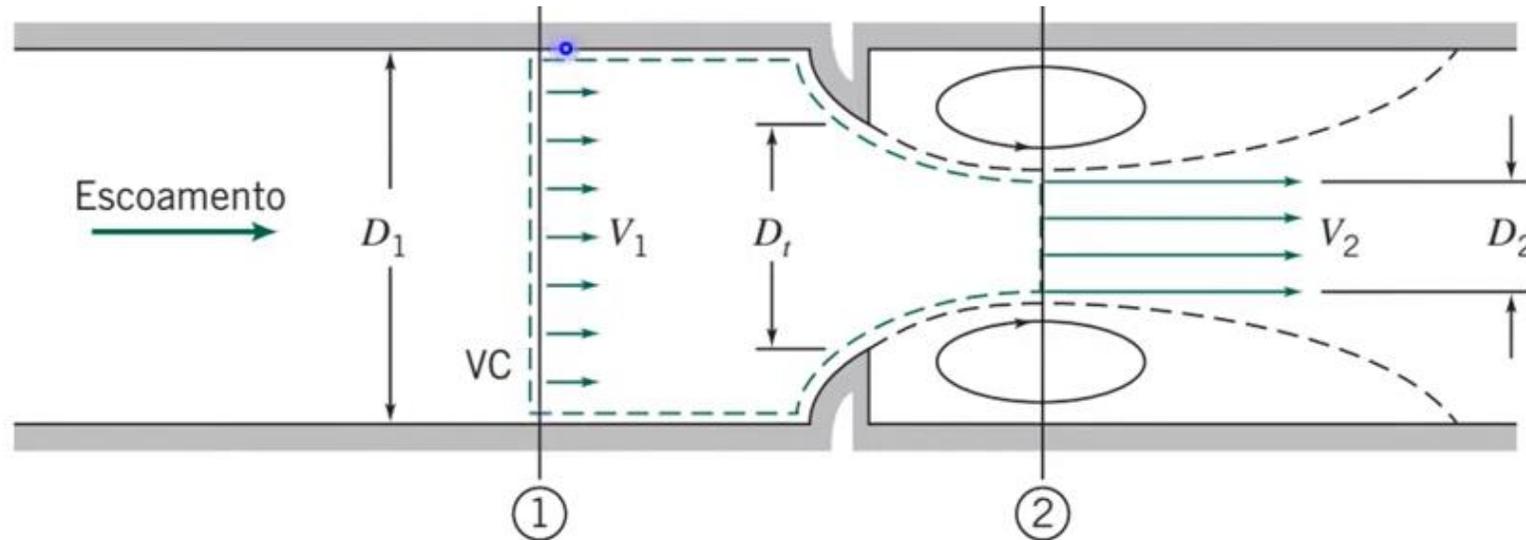


# Como medimos a vazão de fluidos?

- **MÉTODOS DE RESTRIÇÃO**

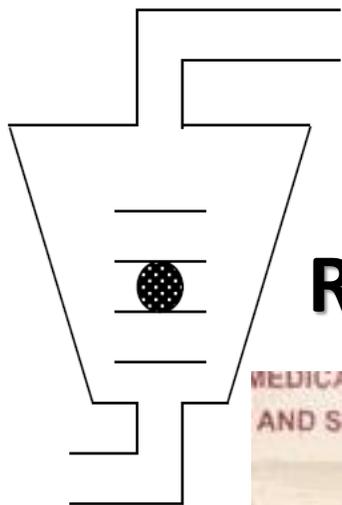
A variação da velocidade leva a uma **variação de pressão**.

O  $\Delta P$  pode ser obtido por um medidor de pressão diferencial ou manômetro.

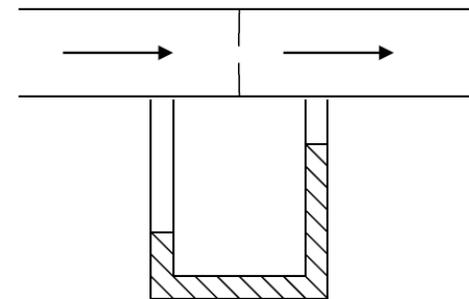
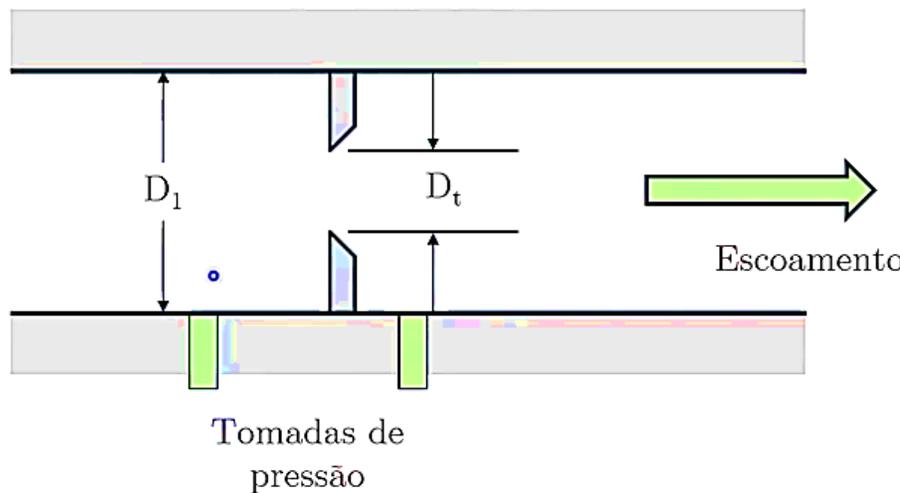


**Fig. 8.18** Escoamento interno através de um bocal genérico, mostrando o volume de controle usado para análise.

# • MÉTODOS DE RESTRIÇÃO



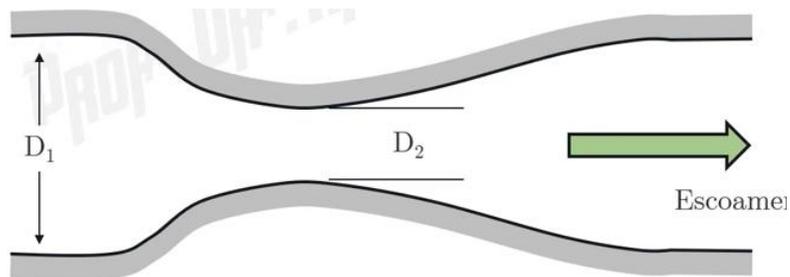
**Rotâmetro**



**Placa de orifício**



**Tubo de Venturi**



Fonte