



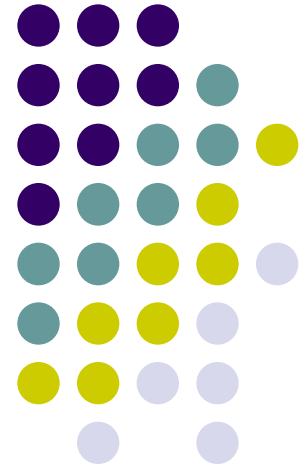
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA - EEL

BALANÇO DE MASSA E ENERGIA

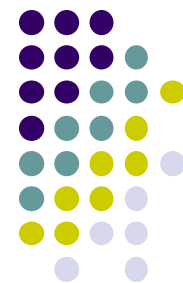
Professor : Gerônimo Virgínio Tagliaferro

E-mail: tagliaferro@dequi.eel.usp.br

Telefone: (12) 3159-5303

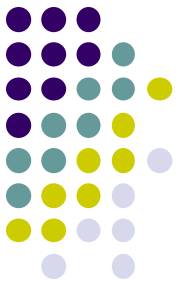


OBJETIVOS



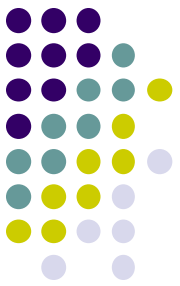
Introduzir e estabelecer aos alunos os princípios básicos a serem utilizados em todos os processos que envolvam a conservação de massa e energia. Esta disciplina propicia a realização de balanços globais de massa e energia em diferentes processos químicos evidenciando a importância da aplicação desta metodologia no projeto e otimização de processos químicos industriais.

PROGRAMA RESUMIDO



1. *Introdução aos cálculos em Engenharia Química;*
2. *Balanços materiais;*
3. *Balanços de energia;*
4. *Balanços material e energético combinados;*
5. *Balanços em processos no estado transiente.*

AVALIAÇÃO



Método:

Provas escritas;

Participação e conteúdo de trabalho e seminário.

Critério:

Média Final = (Prova1 + 2xProva2 + Nota de Trabalho) / 4

Média final mínima de aprovação = 5,0

Norma de Recuperação:

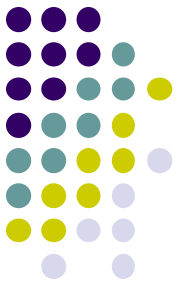
(Prova escrita + Média Final)/2

P1: 20/09 – Vista de Prova: 27/09

P2: 08 e 22/11 – Vista de Prova: 29/11

DATA DO EXAME: 18/12/2016* (poderá haver mudança)

EVENTOS IMPORTANTES EEL



Semana Acadêmica

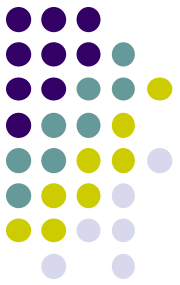
16 a 21 de outubro de 2016 (Previsão)

Maiores Informações – CAEQ EEL

CAPIRUSP

2 – 5 NOVEMBRO/2017. NÃO PODE APLICAR PROVA NOS DIA 6 – 10 NOVEMBRO/2017.

APRESENTAÇÃO DE TRABALHO



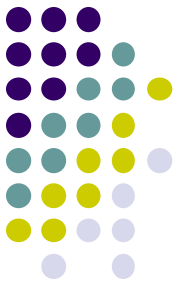
Data dia 27/09 – Escopo inicial do projeto.

Data da Apresentação: 08 e 22/11/2016

Os trabalhos deverão conter parte escrita de acordo com o modelo enviado sobre o processo e os principais balanços de massa e energia envolvidos e apresentação oral. No dia da apresentação toda a equipe deverá estar presente e apresentar um fluxograma com as partes mais importantes do trabalho.

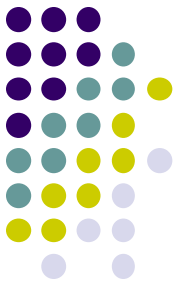
Grupos de no MÁXIMO 7 pessoas.

SUGESTÃO DE TEMAS



- Indústria do Açúcar;
- Indústria de Sabões e Detergentes;
- Indústrias de Vidro;
- Produtos Carboquímicos;
- Indústrias de Cimento;
- Indústrias da Borracha;
- Indústria de Carvão Industrial;
- Indústrias Eletrotérmicas;
- Indústria de Óleos, Gorduras e Ceras;
- Indústria Petroquímica;
- Indústria de Potássio;
- Produção de Biodiesel.

BIBLIOGRAFIA



FELDER, R.M; ROUSSEAU, R.W. Princípios elementares dos processos químicos. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2005.

BRASIL, N. I. Introdução à Engenharia Química. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência , 2004.

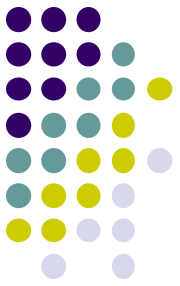
HIMMELBLAU, David M. Eng. Química princípios e cálculos. 7. ed. LTC Editora, 2006.

GOMIDE, R. Estequiometria Industrial. 3.ed. São Paulo: Ed. do Autor, 1984.

MOUYEN, O.A.; WATSON, K. M. AND RAGATZ, R.A. Princípios dos processos químicos. Lisboa: Lopes da Silva Editora, 2005. v. 1

CREMASCO, M. A. Fundamentos de transferência de massa. 1.ed. Campinas: Editora da UNICAMP, 1998.

INTRODUÇÃO



Desde que surgiu no mundo, o homem vive do que encontra na **natureza**: alimento e material para a produção de bens.

Em dado período da sua evolução, o homem começou a tomar consciência de algumas **leis naturais** e a criar **dispositivos primitivos** que funcionavam à luz dessas leis e lhe traziam certos benefícios.

Exemplos: fogo, alavanca, roldanas, rodas d'água, etc...

INTRODUÇÃO



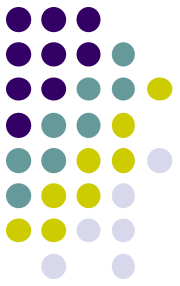
Com a evolução surgiram a **Ciência** e a **Tecnologia**

Ciência: estudo sistemático da natureza

Tecnologia: aplicação prática do conhecimento adquirido através da Ciência

O homem tornou-se capaz de criar **dispositivos** cada vez mais **sofisticados**, explorando os diversos **fenômenos naturais** que aprendeu a observar e compreender.

INTRODUÇÃO



Fenômenos de natureza **mecânica**, **química**, **biológica**, **eletro-eletrônica**, **nuclear** e suas aplicações práticas:

- **mecânicos**: veículos, grandes estruturas, máquinas complexas...
- **eletro-eletrônicos**: eletrodomésticos, computadores, sistemas de comunicação, geração e transmissão de energia, ...
- **químicos**: fábricas de produtos químicos, refinarias, ...
- **nucleares**: usinas nucleares

INTRODUÇÃO



O conhecimento começou a ser organizado e difundido através de **Cursos**, especializados segundo os fenômenos explorados

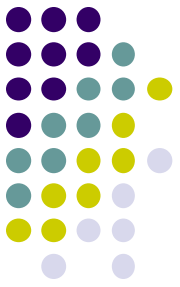
A Escola de Química oferece os seguintes Cursos

- Engenharia Química
- Engenharia de Alimentos
- Engenharia de Bioprocessos
- Química Industrial

Esses Cursos estão voltados para o aproveitamento prático de uma classe de fenômenos que lhes são comuns: **químicos, físico-químicos e bioquímicos.**

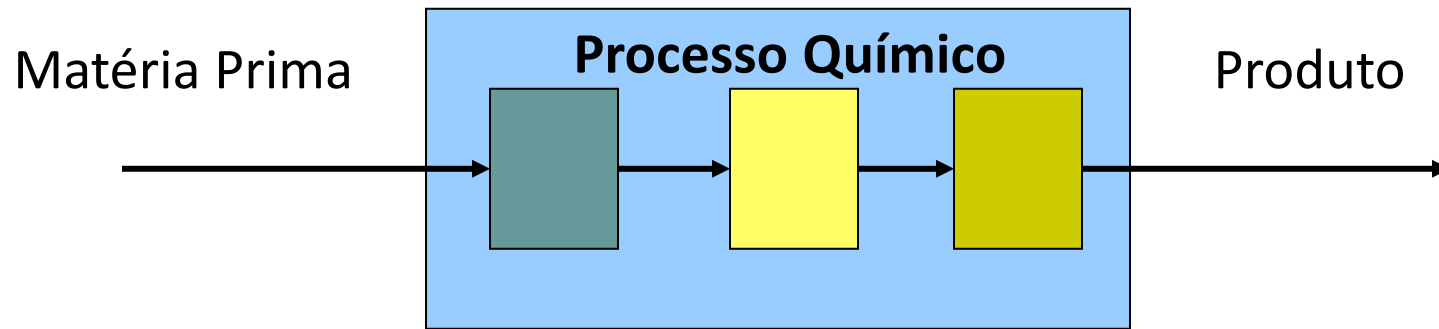
O resultado prático é a **transformação de matérias primas em produtos químicos** em escala industrial.

INTRODUÇÃO



Essa **transformação** exige diversas **etapas** (ex.: reação, separação, aquecimento, resfriamento, evaporação)

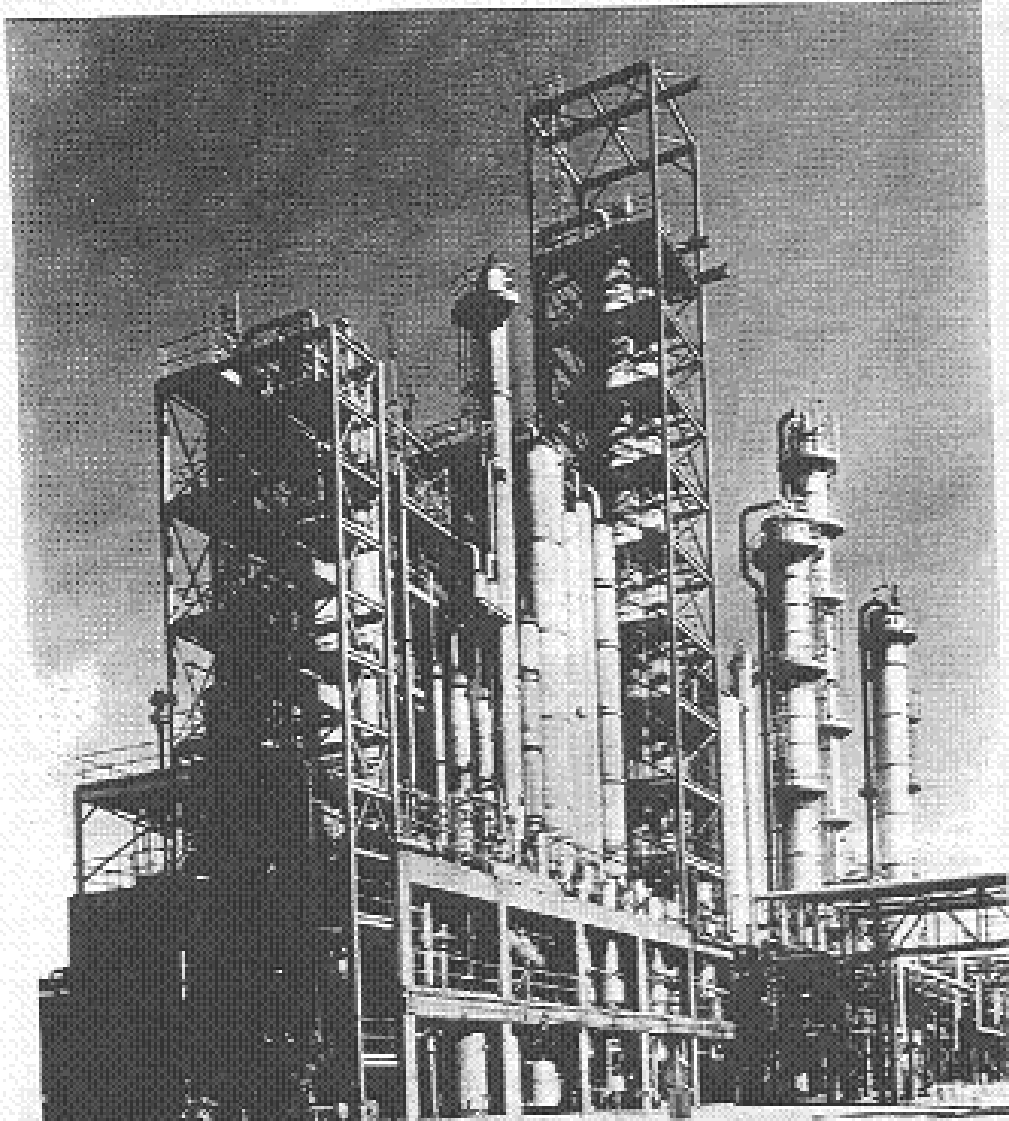
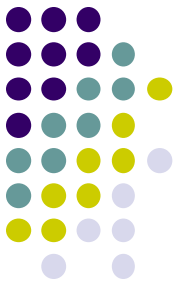
O **conjunto de etapas (seqüência)** constitui o **Processo Químico**.



As **etapas** ocorrem fisicamente no interior dos **equipamentos** (reatores, separadores, bombas, trocadores de calor)

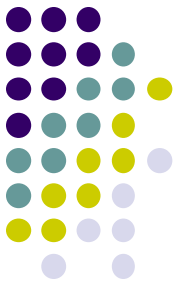
O conjunto dos **equipamentos interligados** constitui a **Planta Industrial**.

PLANTA INDUSTRIAL



Instalação física onde ocorre o **processo** de transformação da **matéria prima** no **produto**.

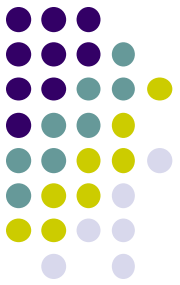
INTRODUÇÃO



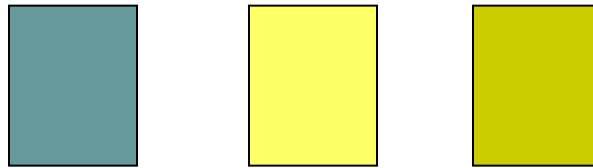
Processo Químico é um conceito abrangente

Inclui todas as transformações químicas, **espontâneas** ou resultantes da ação de **catalisadores** (processos catalíticos), **micro-organismos** (processos biotecnológicos)

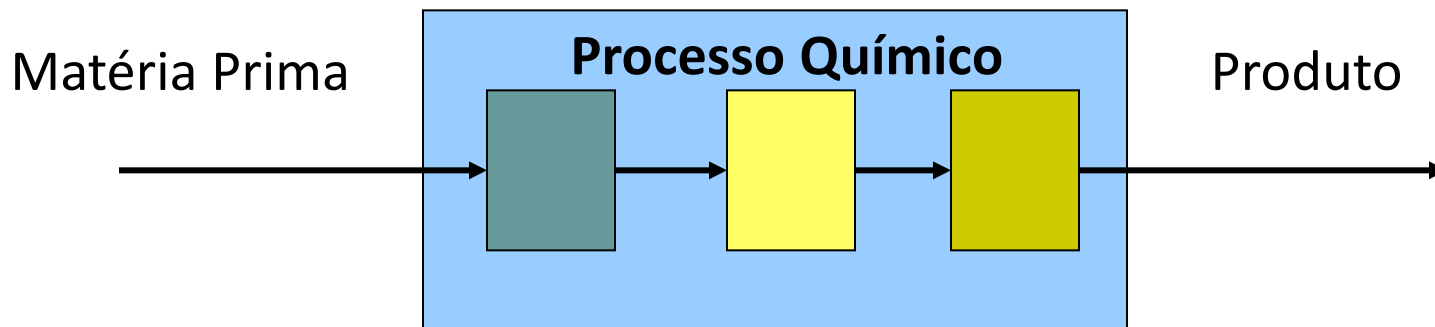
INTRODUÇÃO



O **Engenheiro Químico** é o profissional responsável pelo estudo dos fenômenos e do aproveitamento dos mesmos em **cada etapa** do processo

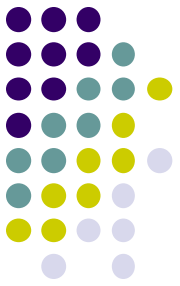


bem como da combinação das etapas formando o **processo completo**.



Ele é também o profissional responsável pela operação da **planta industrial** e pelo funcionamento rentável da Empresa.

INTRODUÇÃO

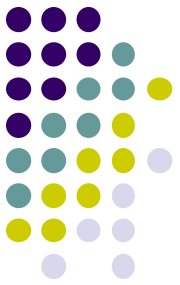


Como surgem um **Processo Químico** e uma **Planta Industrial**?

Através de um

PROJETO

PROJETO



É o conjunto de **ações** desenvolvidas

Desde

O desejo de se produzir um determinado produto químico



Até

A concretização de um plano bem definido para a construção e a operação da instalação industrial.

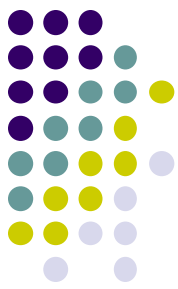


É um conjunto **numeroso e diversificado** de ações !!!

Investigar disponibilidade
de matéria prima

Calcular o consumo de
utilidades

Investigar mercado
para o produto



Estabelecer o número
e o tipo dos reatores

Definir o fluxograma
do processo

Estabelecer as
condições
da reação e sub-
produtos

Calcular a vazão das
correntes intermediárias

Investigar reagentes
plausíveis

Avaliar a
lucratividade
do processo

Definir o número e o
tipo de trocadores de calor

Definir o número e o tipo
dos separadores

Calcular as dimensões
dos equipamentos

Calcular o consumo de
insumos

Calcular o consumo de
matéria prima

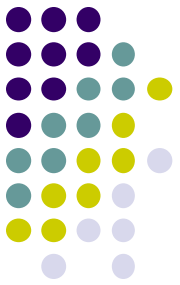
Estabelecer malhas
de controle

OBJETIVOS DESTA UNIDADE



Ao concluir esta unidade, espera-se que o aluno adquira as seguintes habilidades:

- Descrever o que é um processo químico;
- Identificar as principais variáveis envolvidas no processo;
- Descrever as principais unidades e dimensões do SI;
- Usar as unidades de base e derivadas, bem como suas correlações;
- Fazer análise dimensional.



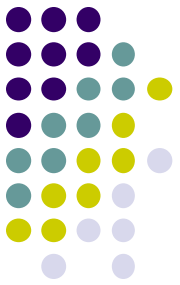
❑ Definição de processo químico

Define-se processo químico como qualquer operação ou conjunto de operações coordenadas que provocam transformações químicas e/ou físicas num material ou numa mistura de materiais.

❑ Objetivo dos processos químicos

O objetivo dos processos químicos é a obtenção de produtos de interesse a partir de matérias-primas selecionadas ou disponíveis para tal.

Por exemplo, pode-se obter etanol a partir de diferentes fontes de carbono:



Vista parcial de uma planta
para obtenção de etanol, a
partir da cana

<http://www.empat.com.br>



mandioca

<http://domescobar.blogspot.com.br>

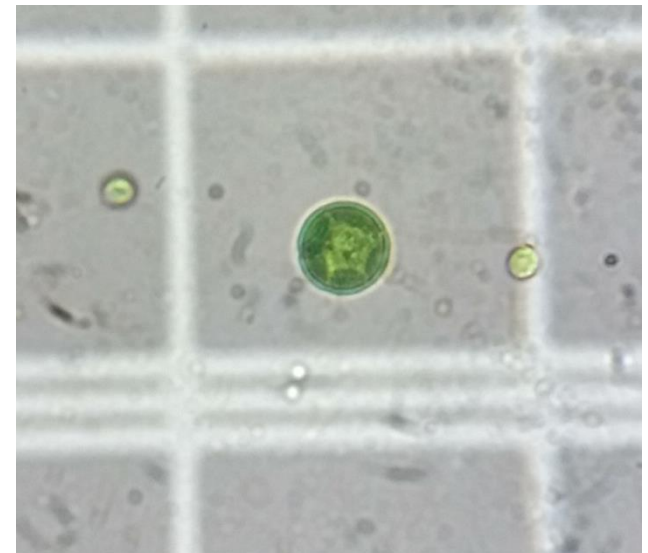
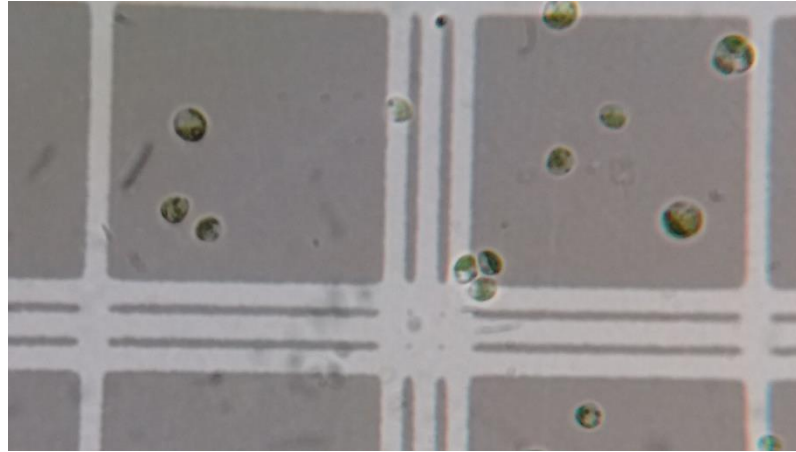
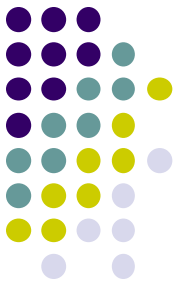


cana

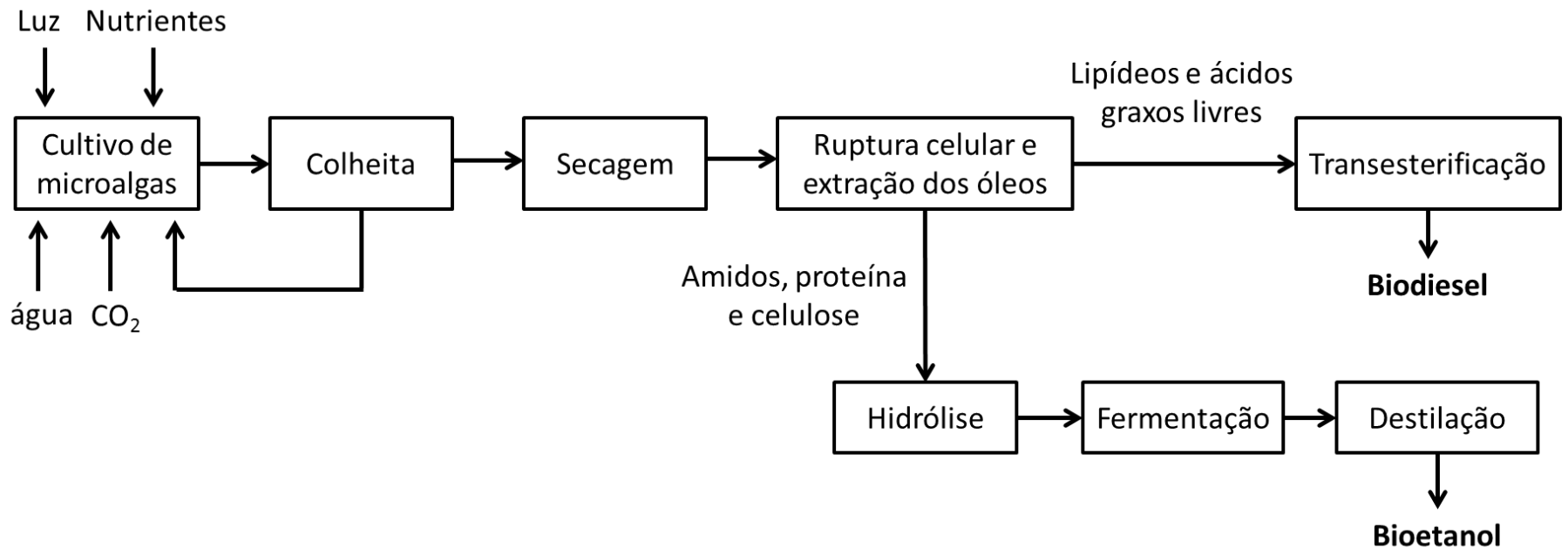
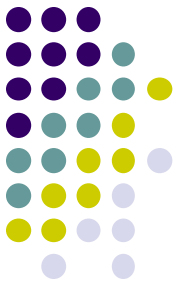
<http://cucanaga.blogspot.com.br>

Por exemplo, pode-se obter etanol a partir de diferentes fontes de carbono:

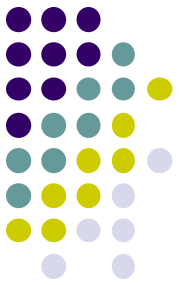
Microalgas



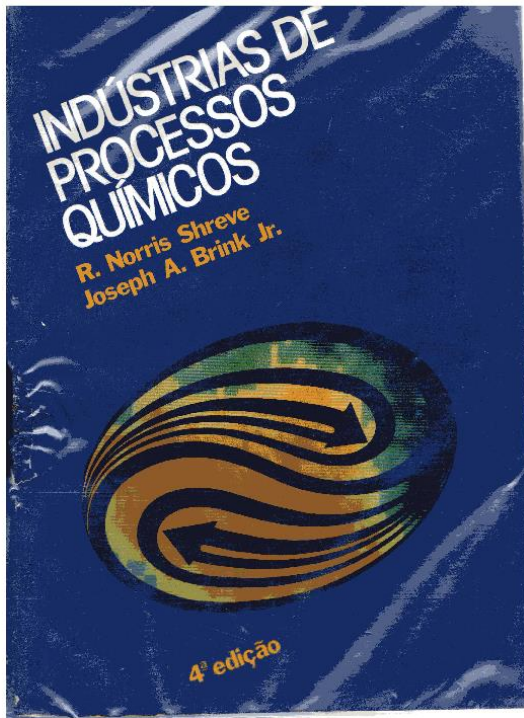
Por exemplo, pode-se obter etanol a partir de diferentes fontes de carbono:



Biocombustíveis “3G”



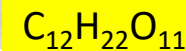
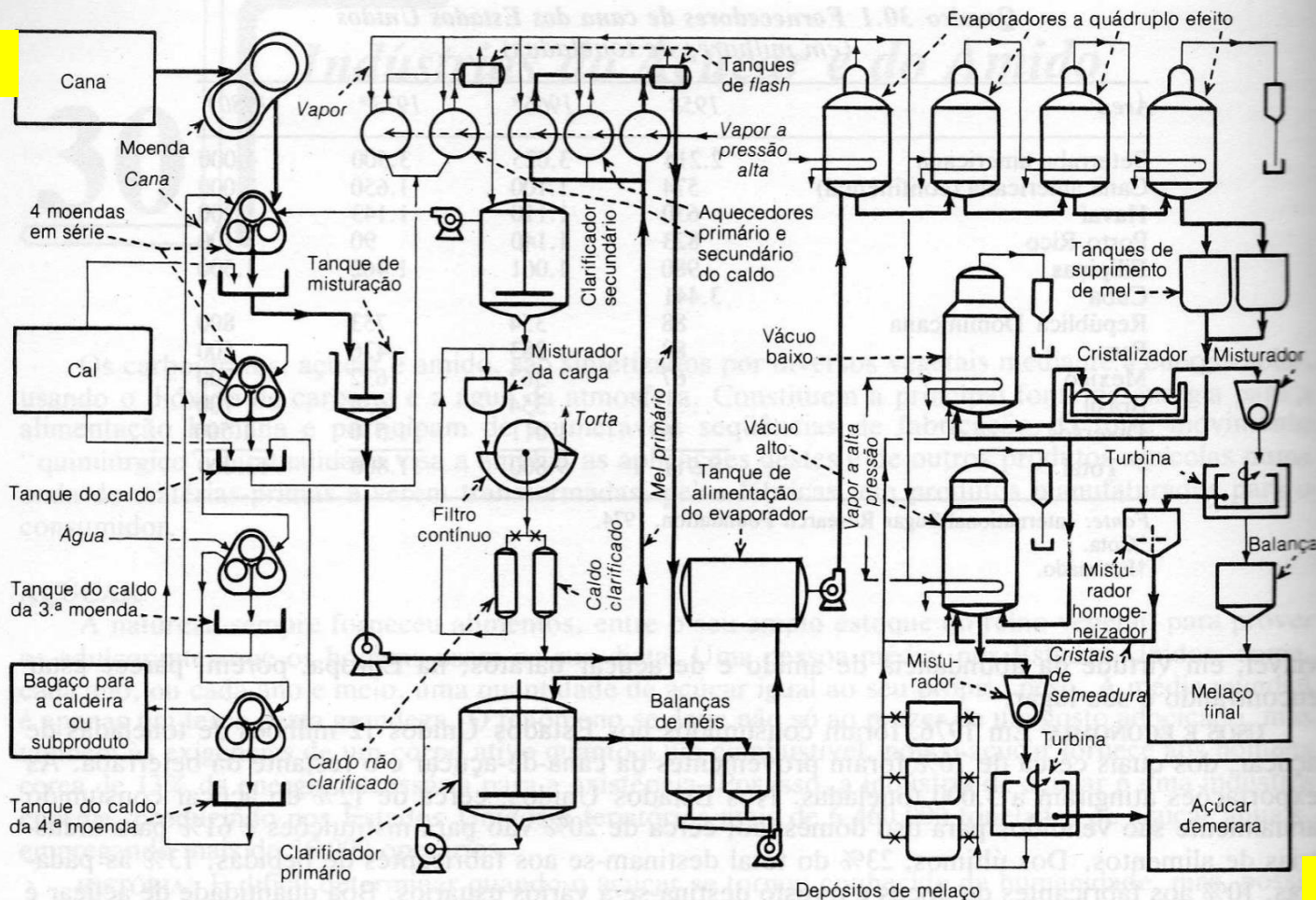
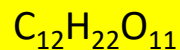
❑ Exemplos de processos químicos



Shreve; Brink jr. (1980) detalham 40 processos químicos, entre eles tem-se:

- ✓ Tratamento de água;
- ✓ Produtos carboquímicos;
- ✓ Indústria de cerâmica;
- ✓ Indústria do açúcar e do amido.

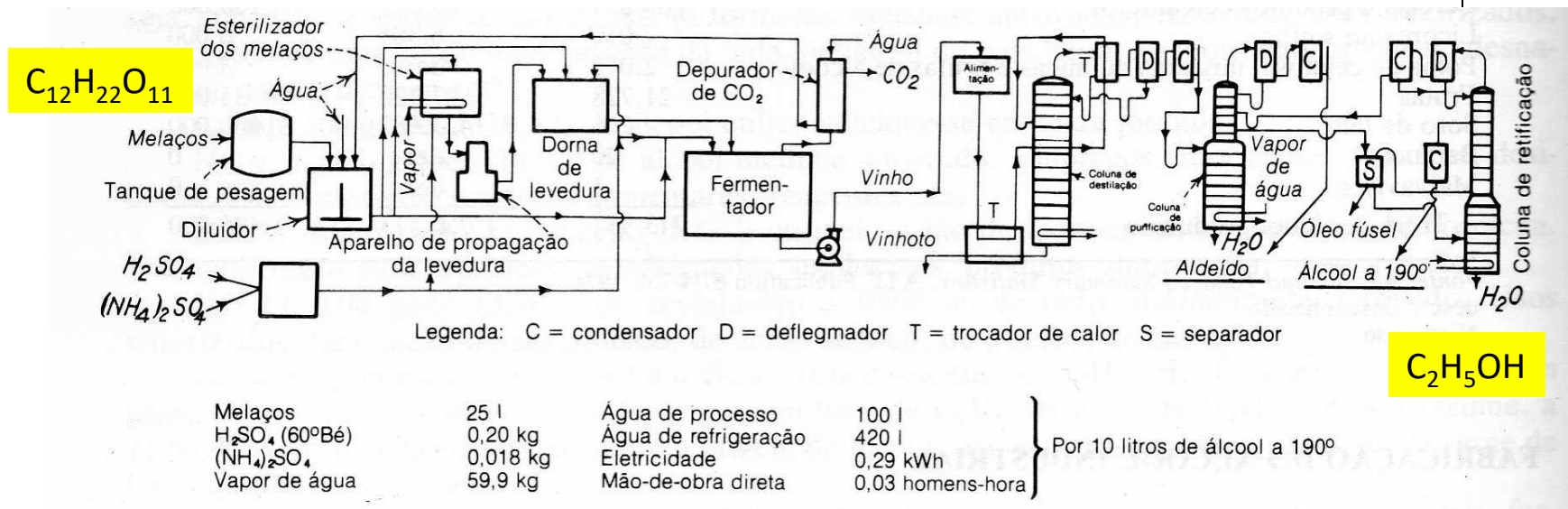
Exemplo de processos químicos



Fluxograma da produção de açúcar ($C_{12}H_{22}O_{11}$)

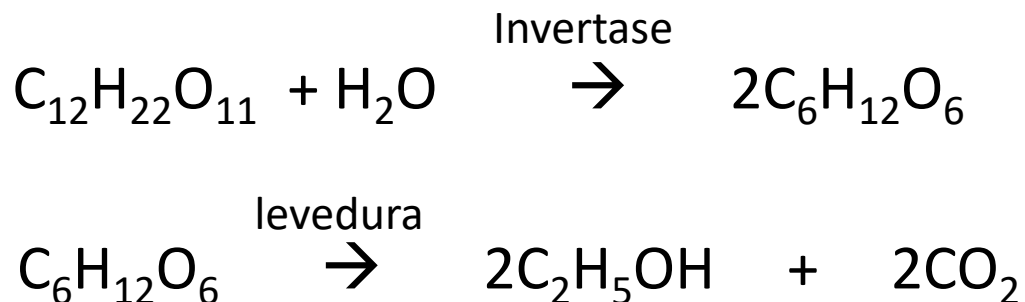
Fonte: Shreve; Brink jr. (1980)

Exemplo de processos químicos

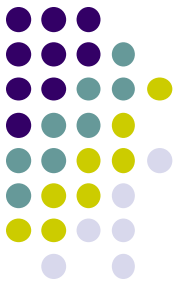


Fluxograma da produção de álcool (C_2H_5OH)

Fonte: Shreve; Brink jr. (1980)



☐ Análise de processos químicos



De acordo com os processos apresentados, as matérias-primas são transformadas em produtos através de uma sequência de etapas.

Essas etapas são denominadas **operações unitárias** da indústria química e são realizadas em equipamentos específicos, tais como moendas, evaporadores, centrífugas, secadores e colunas de destilação.



centrífuga

<http://www.brumazi.com.br>



colunas de destilação

<http://www.pulsarimagens.com.br>



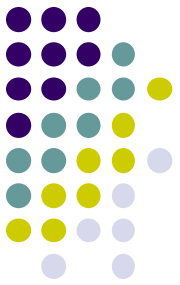
evaporador

<http://www.termopros.com.br>



moenda

<http://www.revistaalcoolbras.com.br>

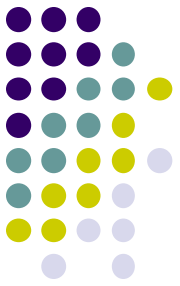


☐ Análise de processos químicos

A análise dos processos químicos tem como objetivo a obtenção das quantidades e propriedades das **correntes de produtos** a partir de quantidades apropriadas das **correntes de alimentação**, e vice-versa, nas etapas do processo.

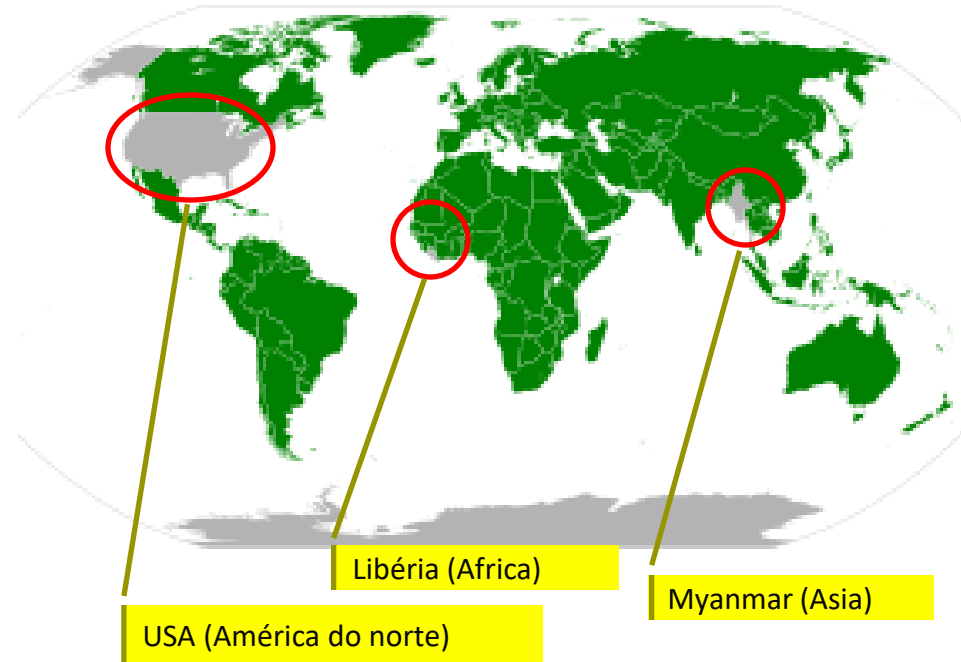
Assim, deve-se conhecer as principais variáveis envolvidas nos processos, tendo como base a lei de **conservação de massa e energia**.

UNIDADES E DIMENSÕES



Sistema Internacional de Unidades (sigla **SI** do francês *Systeme International d'unités*) foi desenvolvido em 1960. É o sistema mais usado do mundo de medição, tanto no comércio como na ciência. O SI é um conjunto sistematizado e padronizado de definições para unidades de medida, utilizado em quase todo o mundo moderno, que visa a uniformizar e facilitar as medições e as relações internacionais daí decorrentes.

Unidades SI



O **SI** é quase que universalmente adotado. As três principais exceções são a **Myanmar**, a **Libéria** e os **Estados Unidos**. O Reino Unido adotou oficialmente o Sistema Internacional de Unidades, mas não com a intenção de substituir totalmente seu sistema habitual (English System).

❑ Dimensões



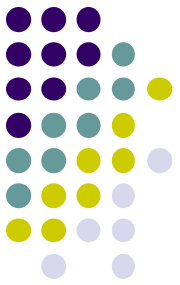
Uma **dimensão** pode ser uma grandeza qualquer ou mesmo uma variável de processo. Logo, reconhecer uma dimensão pelas suas unidades e saber convertê-las é uma habilidade de grande importância na análise de processos químicos.



Instrumentos de medida

<http://portuguese.alibaba.com>

□ Dimensões



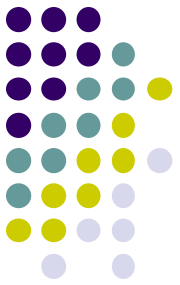
As **dimensões** são os conceitos elementares de medida que se conhece, tais como:

- ✓ Comprimento (L);
- ✓ Massa (M);
- ✓ Tempo (t);
- ✓ Temperatura (Θ)

Essas são as mais usuais no processos químicos, embora existam outras, como corrente elétrica e intensidade luminosa.

Uma dimensão é uma propriedade que pode ser medida ou calculada pela multiplicação e/ou divisão de dimensões básicas.

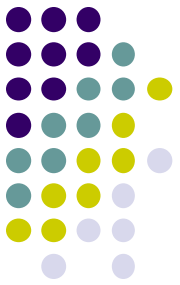
☐ Unidades



As **unidades** são valores específicos, definidos por convenção para expressar as dimensões, como metro (m) para comprimento, quilometro por hora (km/h) para velocidade ou centímetro cúbico (cm³) para volume.

Ao acrescentar **unidades** aos números que não são fundamentalmente adimensionais, obtém-se as seguintes vantagens:

- ✓ Redução da chance de cometer erros nos cálculos;
- ✓ Redução do volume de cálculos intermediários;
- ✓ Abordagem lógica do problema;
- ✓ Fácil interpretação do significado físico dos números utilizados.

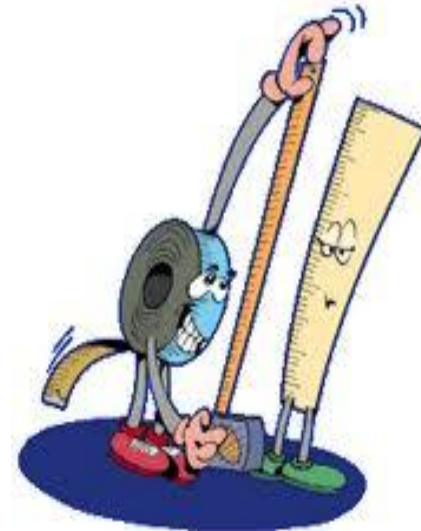


❑ Unidades SI

As definições oficiais de todas as unidades de base do **SI** foram aprovadas pela Conferência Geral. A primeira dessas definições foi aprovada em 1889, e a mais recente em 1983. Essas definições são modificadas periodicamente a fim de acompanhar a evolução das técnicas de medição e para permitir uma realização mais exata das unidades de base.

❑ Dividem-se em:

- **Unidades fundamentais** (ou básicas):
- **Unidades derivadas:**



<http://escolabasicadecomporta.blogspot.com.br>

- ❑ O sistema **SI** cita 7 (sete) unidades básicas, conforme apresentado na Tabela 1.

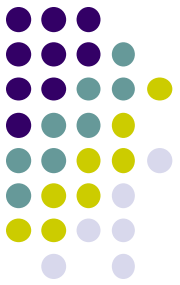
☐ Unidades SI



Tabela 1 – Unidades SI básicas

Dimensão	Unidade	Símbolo
Massa (M)	Quilograma	Kg
Comprimento (L)	Metro	m
Tempo (t)	Segundo	s
Temperatura (Θ)	Kelvin	K
Quantidade de matéria (N)	Mol	mol
Intensidade de corrente elétrica (I)	Ampère	A
Intensidade luminosa (J)	Candela	cd

Muitas outras unidades são derivadas das unidades básicas SI. Algumas dessas unidades são apresentadas na Tabela 2, e não apresentam nomes especiais.



☐ Unidades SI

Tabela 2– Unidades derivadas das unidades básicas SI		
Dimensão	Unidade	Símbolo
Área	Metro quadrado	m ²
Volume	Metro cúbico	m ³
Velocidade	Metro por segundo	m.s ⁻¹
Aceleração	Metro por segundo quadrado	m.s ⁻²
Densidade	Quilograma por metro cúbico	kg.m ⁻³

Outras unidades derivadas do SI apresentam nomes especiais. A Tabela 3 mostra algumas dessas unidades.

☐ Unidades SI



Tabela 3 – Unidades derivadas das unidades básicas SI

Dimensão	Unidade	Símbolo	Definição
Força	newton	N	kg.m.s^{-2}
Energia ou trabalho	joule	J	$\text{kg.m}^2.\text{s}^{-2}$
Pressão	pascal	Pa	$\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-2}$ (= N.m^{-2})
Carga elétrica	coulomb	C	A.s
Diferença de potencial elétrico	volt	V	$\text{J.A}^{-1}.\text{s}^{-1}$ (= J.C^{-1})
Frequência	hertz	Hz	s^{-1}

Muitas unidades antigas foram definidas em termos de SI e são conservadas por serem tradicionais e úteis. Algumas são apresentadas na Tabela 4.

❑ Unidades SI



Tabela 4 – Unidades derivadas das unidades básicas SI

Dimensão	Unidade	Símbolo	Definição
Tempo	minuto	min	60 s
	hora	h	3.600 s
	dia	d	86.400 s
Volume	litro	L	$10^{-3}\text{m}^3 = 1 \text{ dm}^3$
Temperatura	grau Celsius	°C	k – 273,15

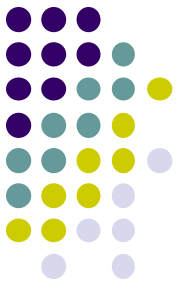
As potências de dez são utilizadas por conveniência com menores ou maiores unidades no SI, conforme apresentado na Tabela 5.

☐ Unidades SI



Tabela 5 – Alguns prefixos usados no sistema métrico

Prefixo	Símbolo	Significado	Exemplo
Giga	G	10^9	1 gigâmetro (Gm): 1×10^9 m
Mega	M	10^6	1 megâmetro (Mm): 1×10^6 m
Quilo	k	10^3	1 quilômetro (km): 1×10^3 m
Deci	d	10^{-1}	1 decímetro (dm): 0,1 m
Centi	c	10^{-2}	1 centímetro (cm): 0,01 m
Mili	m	10^{-3}	1 milímetro (mm): 0,001 m
Micro	μ	10^{-6}	1 micron (μm): 1×10^{-6} m
Nano	n	10^{-9}	1 nanômetro (nm): 1×10^{-9} m
Pico	p	10^{-12}	1 picômetro (pm): 1×10^{-12} m
Femto	f	10^{-15}	1 femtômetro (fm): 1×10^{-15} m



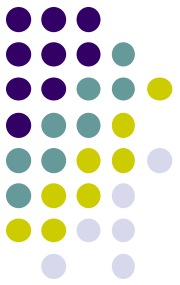
❑ Outros sistemas utilizados em processos químicos

Tabela 6 – Sistema CGS (cm-g-s)

Dimensão	Unidade	Símbolo
Massa (M)	grama	g
Comprimento (L)	centímetro	cm
Tempo (T)	segundo	s
Temperatura (Θ)	celsius	°C

Tabela 7 – Sistema Americano de Engenharia (SAE)

Dimensão	Unidade	Símbolo
Massa (M)	libra-massa	lb _m
Comprimento (L)	pé	ft
Tempo (T)	segundo	s
Temperatura (Θ)	rankine ou fahrenheit	°R ou °F



❑ Equação de dimensão

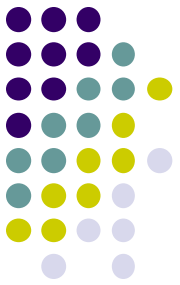
A equação algébrica que relaciona uma unidade derivada com as unidades de base pode ser encontrada com o auxílio da análise dimensional, estabelecendo-se inicialmente a equação de dimensões da grandeza, cuja forma genérica é:

$$\mathbf{dim\ Q = [Q] = L^a\ M^b\ T^c\ \Theta^d\ N^e\ I^f\ J^g}$$

Onde Q é o símbolo da grandeza e os expoentes são constantes reais

Desde modo, as unidades de Q no Sistema Internacional (SI) são:

$$m^a\ kg^b\ s^c\ K^d\ mol^e\ A^f\ cd^g$$



Considerando a grandeza derivada *velocidade* (símbolo aleatório: v), cuja definição é a razão do espaço percorrido (Δx) em um intervalo de tempo (Δt), cuja equação é:

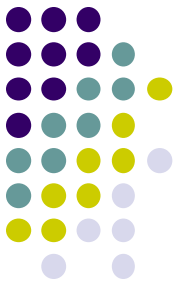
$$v = \Delta x / \Delta t$$

Daqui, estabelece-se então a equação de dimensão da grandeza.

$$v = [v] = L^1 M^0 T^{-1} \Theta^0 N^0 I^0 J^0$$

$$v = [v] = L^1 T^{-1}$$

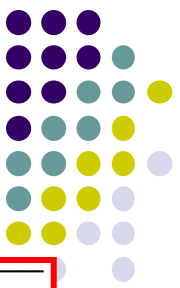
$$v = [v] = m^1 s^{-1}$$



A Tabela 8 apresenta as relações entre as unidades utilizadas para expressar as principais dimensões encontradas nos processos químicos.

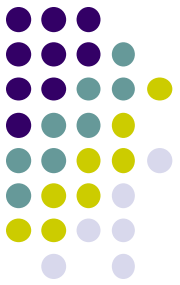
Tabela 8 – Relações entre as unidades

Massa	$1 \text{ kg} = 1.000 \text{ g} = 0,001 \text{ t} = 2,20462 \text{ lb}_m$ $1 \text{ lb}_m = 453,593 \text{ g}$
Comprimento	$1 \text{ m} = 100 \text{ cm} = 1.000 \text{ mm} = 10^6 \text{ microns } (\mu) = 10^{10} \text{ angstroms } (\text{\AA}) =$ $39,37 \text{ in} = 3,2808 \text{ ft} = 1,0936 \text{ jarda} = 0,0006214 \text{ milha} = 10^{-3} \text{ km}$
Volume	$1 \text{ m}^3 = 1.000 \text{ L} = 10^6 \text{ cm}^3 = 10^6 \text{ mL} = 35,3145 \text{ ft}^3 = 264,17 \text{ gal}$ $1 \text{ ft}^3 = 1.728 \text{ in}^3 = 7,4805 \text{ gal} = 0,028317 \text{ m}^3 = 28,317 \text{ L}$
Força	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2 = 10^5 \text{ dinas} = 10^5 \text{ g}\cdot\text{cm}/\text{s}^2 = 0,22481 \text{ lb}_f = 0,1019 \text{ kg}_f$ $1 \text{ lb}_f = 32,174\cdot\text{lb}_m\cdot\text{ft}/\text{s}^2 = 4,4482 \text{ N} = 4,4482 \cdot 10^5 \text{ dina}$



Continuação ...

Pressão	$1 \text{ atm} = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 (\text{Pa}) = 101,325 \text{ kPa} = 1,01325 \text{ bar} = 1,01325 \cdot 10^6 \text{ dina/cm}^2$ $= 1,033 \text{ kg}_f/\text{cm}^2 = 760 \text{ mmHg a } 0^\circ\text{C (torr)} = 10,333 \text{ m H}_2\text{O a } 4^\circ\text{C} = 14,696 \text{ lb}_f/\text{in}^2 (\text{psi})$ $= 33,9 \text{ ft H}_2\text{O a } 4^\circ\text{C} = 29,921 \text{ in Hg a } 0^\circ\text{C}$	
Energia	$1 \text{ J} = 1 \text{ N}\cdot\text{m} = 10^7 \text{ erg} = 10^7 \text{ dina}\cdot\text{cm} = 2,778 \cdot 10^{-7} \text{ KW}\cdot\text{h} = 0,23901 \text{ cal} = 0,7376 \text{ lb}_f\cdot\text{ft}$ $= 9,486 \cdot 10^{-4} \text{ BTU}$	
Potência	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 0,23901 \text{ cal/s} = 0,7376 \text{ lb}_f\cdot\text{ft/s} = 9,486 \cdot 10^{-4} \text{ BTU/s} = 1,341 \cdot 10^{-3} \text{ HP}$	
Temperatura	$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273,15$	$\Delta T(^{\circ}\text{C}) = \Delta T(\text{K})$
	$T(^{\circ}\text{R}) = T(^{\circ}\text{F}) + 459,67$	$\Delta T(^{\circ}\text{R}) = \Delta T(^{\circ}\text{F})$
	$T(^{\circ}\text{R}) = 1,8 \cdot T(\text{K})$	$\Delta T(\text{K}) = 1,8 \cdot \Delta T(^{\circ}\text{R})$
	$T(^{\circ}\text{F}) = 1,8 \cdot T(^{\circ}\text{C}) + 32$	$\Delta T(^{\circ}\text{C}) = 1,8 \cdot \Delta T(^{\circ}\text{F})$
Fator de Conversão da Lei de Newton	$g_c = \frac{1 \cdot \text{kg} \cdot \text{m/s}^2}{1 \cdot \text{N}} = \frac{1 \cdot \text{g} \cdot \text{cm/s}^2}{1 \cdot \text{dina}} = \frac{32,174 \cdot \text{lb}_m \cdot \text{ft/s}^2}{1 \cdot \text{lb}_f} = \frac{9,81 \cdot \text{kg} \cdot \text{m/s}^2}{1 \cdot \text{kg}}$	
Constante Universal dos Gases	$8,314 \text{ m}^3\cdot\text{Pa/gmol}\cdot\text{K} = 0,08314 \text{ L}\cdot\text{bar/gmol}\cdot\text{K} = 0,08206 \text{ L}\cdot\text{atm/gmol}\cdot\text{K} =$ $62,36 \text{ L}\cdot\text{mmHg/gmol}\cdot\text{K} = 0,7302 \text{ ft}^3\cdot\text{atm/lbmol}\cdot^{\circ}\text{R} = 10,73 \text{ ft}^3\cdot\text{psi/lbmol}\cdot^{\circ}\text{R} =$ $8,314 \text{ J/gmol}\cdot\text{K} = 1,987 \text{ cal/gmol}\cdot\text{K} = 1,987 \text{ BTU/lbmol}\cdot^{\circ}\text{R}$	



❑ Conversão de unidades e fatores de conversão

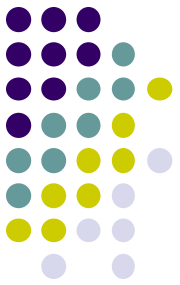
O procedimento de conversão de um conjunto de unidades em outro corresponde simplesmente em multiplicar os números e suas unidades associadas por razões, chamadas **fatores de conversão**, de modo a obter a unidade desejada.

$$\text{Fator de conversão (FC)} = \frac{\text{unidade nova}}{\text{Unidade velha}}$$

Exemplos:

$$1) \quad \frac{1.000 \text{ g}}{1.000 \text{ g}} \left| \frac{1 \text{ kg}}{1.000 \text{ g}} \right| = 1 \text{ kg}$$

$$2) \quad \frac{36 \text{ in}}{12 \text{ in}} \left| \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \right| = 3 \text{ ft}$$



$$3) \quad \frac{7.200 \text{ s}}{60 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ h}}{1 \text{ h}} = 2 \text{ h}$$

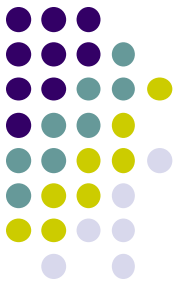
4) Se um avião se desloca com o dobro da velocidade do som, quanto rápido está indo em milhas por hora.

Dados:

- Velocidade do som: 1.100 ft/s
- 1 milha = 5.280 ft

Solução:

$$\frac{2 \times 1.100 \text{ ft}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ mi}}{5.280 \text{ ft}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 1.500 \frac{\text{mi}}{\text{h}}$$



❑ Homogeneidade dimensional

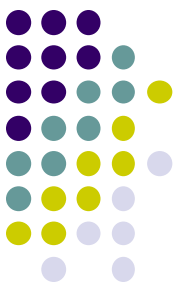
Toda equação válida é dimensionalmente homogênea, entretanto a recíproca não é verdadeira.

Equação dimensionalmente homogênea e válida:

$$v\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right) = v_o\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right) + a\left(\frac{\text{km}}{\text{h}^2}\right) \cdot t(\text{h})$$

Equação dimensionalmente homogênea, mas **não** válida:

$$A(\text{m}^2) = 3 \cdot A(\text{m}^2)$$



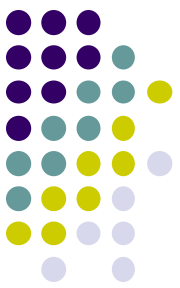
Em alguns casos, pode-se ter termos com as mesmas dimensões e diferentes unidades, como exemplo:

$$v\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right) = v_o\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right) + a\left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot t(\text{h})$$

Neste caso, há que fazer a transformação das unidade de “a”

$$v\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right) = v_o\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right) + a\left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot \left(\frac{10^{-3}\text{km}}{1\text{ m}}\right) \cdot \left(\frac{3.600\text{ s}}{1\text{ h}}\right)^2 \cdot t(\text{h})$$

$$v\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right) = v_o\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right) + a'\left(\frac{\text{km}}{\text{h}^2}\right) \cdot t(\text{h})$$



❑ Quantidades adimensionais

Uma quantidade adimensional pode ser um número puro (1, 2, 3, e, π) ou uma reunião de variáveis que resulta numa grandeza sem dimensão.

Exemplos:

Fração mássica:

$$x_i = \frac{m_i(\text{kg})}{m(\text{kg})}$$

Fração molar:

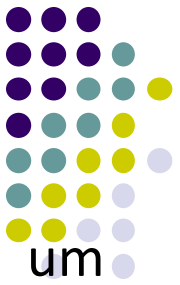
$$y_i = \frac{n_i(\text{mol})}{n(\text{mol})}$$

Número de Reynolds:

$$\text{Re} = \frac{\rho(\text{g.cm}^{-3}) \cdot V(\text{cm.s}^{-1}) \cdot D(\text{cm})}{\mu[\text{g.}(\text{cm.s})^{-1}]}$$

Ob.: número ou módulo de Reynolds (Re) é um número adimensional usado em mecânica dos fluidos para o cálculo do regime de escoamento de determinado fluido sobre uma superfície.

Praticando!!!



1. Seja uma tubulação de diâmetro (D) igual a 6 *in*, que escoar um fluido com massa específica (ρ) igual a 62,43 lb_m/ft^3 , com uma velocidade (v) igual a 3.000 cm/min e uma viscosidade (μ) igual a 10^{-3} Pa.s . Obtenha o número de Reynolds (Re) para essa condição.

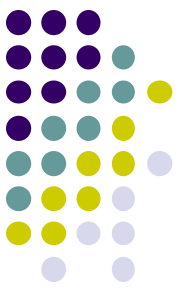
Solução:

Dados: $\rho = 62,43 \text{ lb}_m/\text{ft}^3$
 $v = 3.000 \text{ cm}/\text{min}$
 $\mu = 10^{-3} \text{ Pa.s}$
 $D = 6 \text{ in}$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

$1 \text{ m} = 3,2808 \text{ ft}$
 $1 \text{ kg} = 2,20462 \text{ lb}_m$
 $1 \text{ in} = 2,54 \text{ cm}$
 $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}/\text{m}^2$
 $1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m}/\text{s}^2$

$$Re = \frac{62,43 \frac{\text{lb}_m}{\text{ft}^3} \cdot 3.000 \frac{\text{cm}}{\text{min}} \cdot 6 \text{ in}}{10^{-3} \text{ Pa.s}}$$

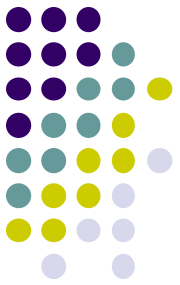


$$Re = \frac{62,43 \frac{lb_m}{ft^3} \cdot 3.000 \frac{cm}{min} \cdot 6 in}{10^{-3} Pa \cdot s}$$

$$Re = \frac{62,43 \frac{lb_m}{ft^3} \cdot \left| \frac{3,2808 ft}{1 m} \right|^3 \cdot \left| \frac{1 kg}{2,20462 lb_m} \right| \cdot 3.000 \frac{cm}{min} \cdot \left| \frac{1 m}{100 cm} \right| \cdot \left| \frac{1 min}{60 s} \right| \cdot 6 in \cdot \left| \frac{0,0254 m}{1 in} \right|}{10^{-3} Pa \cdot \left| \frac{1 \frac{N}{m^2}}{1 Pa} \right| \cdot \left| \frac{1 kg \frac{m}{s^2}}{1 N} \right| \cdot s}$$

$$Re = 76.200 \text{ (adimensional)}$$

Exercícios propostos



2. Resolva o exercício 1 com os seguintes dados:

Dados: $\rho = 31 \text{ lb}_m/\text{ft}^3$
 $u = 1.500 \text{ cm/min}$
 $\mu = 10^{-3} \text{ Pa.s}$
 $D = 6 \text{ in}$

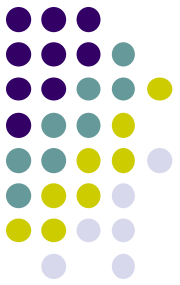
$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

3. Resolva o exercício 1 com os seguintes dados:

Dados: $\rho = 50,5 \text{ lb}_m/\text{ft}^3$
 $u = 4.000 \text{ cm/min}$
 $\mu = 10^{-3} \text{ Pa.s}$
 $D = 8 \text{ in}$

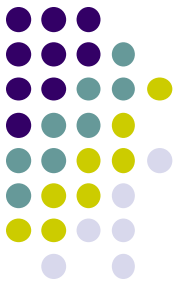
$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

PROCESSOS INDUSTRIAIS



- Complicados problemas industriais são resolvidos pela aplicação dos princípios da química, da física e da físico-química, e de sua aplicação depende o **SUCESSO** da solução obtida.
- As técnicas de aplicação dos princípios básicos para resolver problemas de processo, e de operações unitárias, constituem, em seu conjunto, a **ESTEQUIOMETRIA INDUSTRIAL**.
- A variedade de princípios colocados à disposição para resolução dos problemas de estequiometria industrial é muito grande, eles se dividem em:
 - balanços materiais;
 - balanços de energia;
 - reações de equilíbrio;
 - equações de velocidade de equilíbrio.

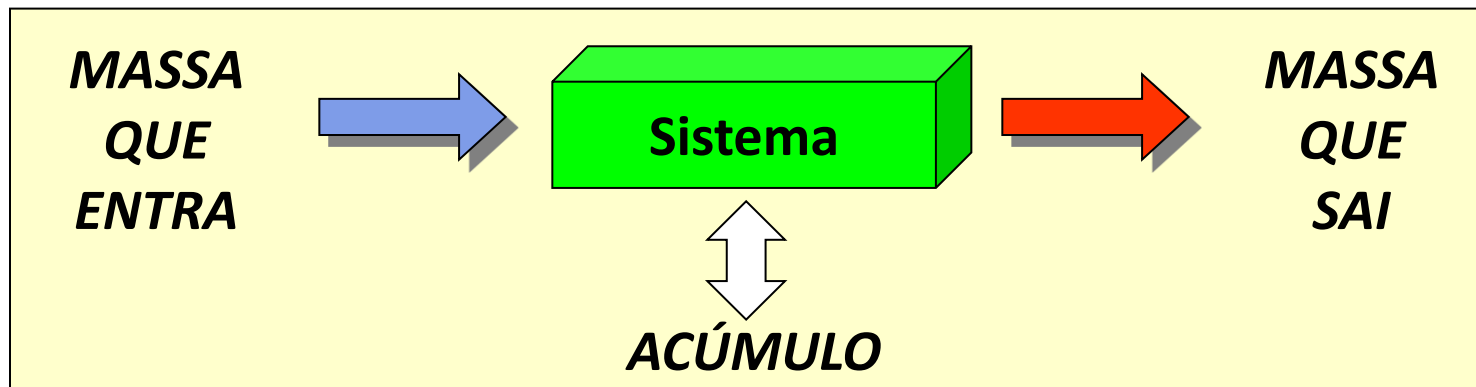
BALANÇOS MATERIAIS



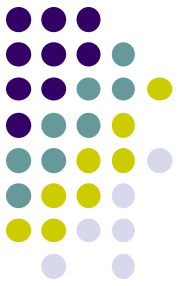
- Lei da conservação da massa:

“A massa de um sistema fechado permanece constante durante os processos que nele ocorrem.”

- Torna-se possível calcular a quantidade dos produtos obtidos, a partir das quantidades dos reagentes inicialmente adicionados ao sistema, desde que suas fórmulas químicas sejam conhecidas e bem como as reações que ocorrem durante o processo.



A TÉCNICA DOS BALANÇOS MATERIAIS

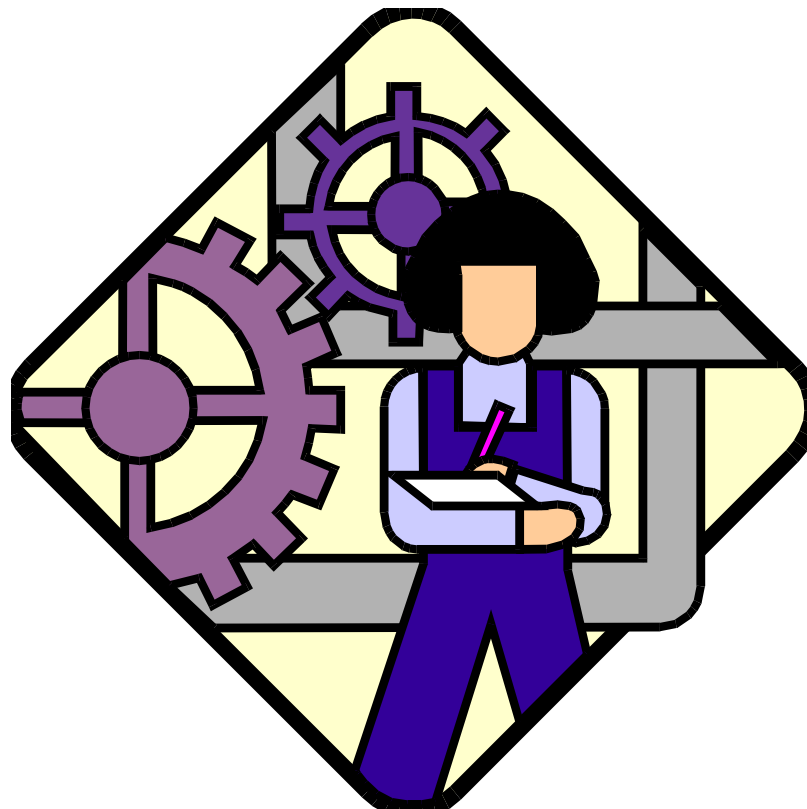


- Imaginar o que está ocorrendo no sistema, **CONHECER O PROCESSO**, é o primeiro passo para a resolução de um problema.
- Esquematizar o processos num **FLUXOGRAMA** simplificado, onde ilustre apenas as correntes que intervém no casos específico. Todos os os dados importantes disponíveis deverão ser colocados diretamente no fluxograma, dentre eles:vazões, composições, pressão, temperatura.
- **ESTUDAR O FLUXOGRAMA E OS DADOS** de modo a relacionar mentalmente as diversas correntes do processo e as quantidades das diversas substâncias que compõe estas correntes.

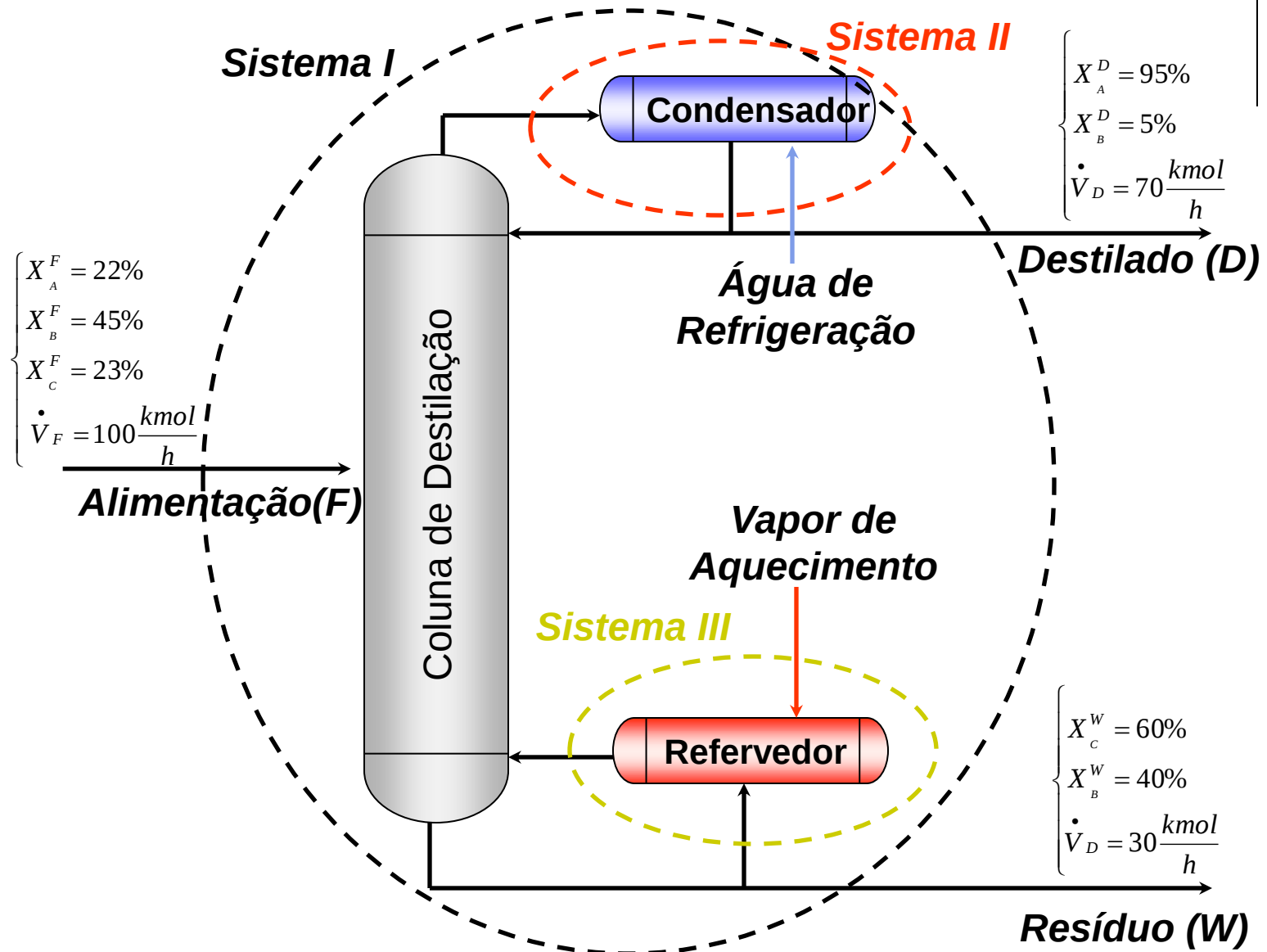
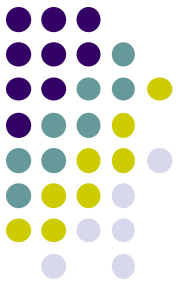
A TÉCNICA DOS BALANÇOS MATERIAIS



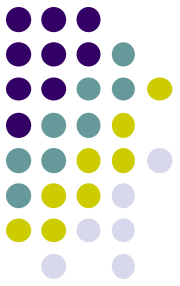
- Escolher a **BASE DE CÁLCULO** apropriada e indicá-la com clareza e destaque.
 - Base de cálculo é a quantidade arbitrária de reagentes ou produtos em relação à qual se referem todos os cálculos efetuados.
- Selecionar o **SISTEMA** em torno do qual serão feitos os balanços.
- Realizar os balanços, obtendo em resultado um número suficiente de equações que permita resolver o sistema, ou seja, o **Nº DE EQUAÇÕES SEJA IGUAL AO Nº DE INCÓGNITAS**.



FLUXOGRAMA

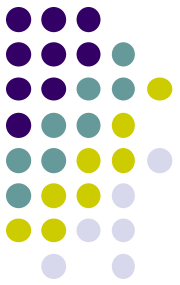


Estratégia para análise de problemas de balanço material



1. Leia o problema e esclareça o que é pedido;
2. Esquematize o processo, defina o sistema através de uma fronteira;
3. Rotule com símbolos a vazão de cada corrente e das composições associadas e outras informações desconhecidas;
4. Escreva os valores conhecidos das composições e vazões de corrente ao lado de cada corrente na figura, calcule as composições adicionais e vazões a partir da informações recebidas. Ou, pelo menos inicialmente, identifique, de algum modo, os parâmetros conhecidos;
5. Selecione uma base de cálculo;
6. Faça uma lista, através de símbolos, de cada valor desconhecido de vazões e composições de correntes ou, pelo menos, rotule-os de modo bem nítido, e então conte-os;

Estratégia para análise de problemas de balanço material



7. Escreva o nome de um conjunto apropriado de balanços a serem resolvidos; escreva os balanços, com o tipo de balanço listado para cada componente. Não esqueça os balanços implícitos para frações mássicas ou frações molares;
8. Conte o número de balanços independentes que podem ser escritos, certifique-se que uma única solução é possível. Caso contrário, procure mais informações ou verifique suas hipóteses;
9. Resolva as equações. Cada cálculo deve ser feito numa base de cálculo consistente;
10. Confira suas respostas introduzindo-as, todas ou parte delas, nos balanços materiais. As equações estão satisfeitas? As respostas são coerentes?

EXERCÍCIOS



1. Uma mistura contendo 45,0% de benzeno (B) e 55,0% de tolueno (T) em massa é alimentada em uma coluna de destilação. A corrente de saída do topo contém 95,0% de B em massa. A corrente de fundo contém 8,0% de benzeno alimentado. A taxa de alimentação é de 2000,0 kg/h. Determine a vazão da corrente de topo e fundo, além da composição mássica da corrente de fundo.

2. Alimenta-se uma coluna de destilação com 1000,0 kg/h de uma solução contendo 10,0% em massa de álcool, obtendo-se 100,0 kg/h de destilado com 80,0% em massa de álcool. Determine a vazão de vinhaça (produto de fundo), sua composição, e a quantidade percentual de álcool perdido no processo de recuperação do álcool.

3. Uma experiência de velocidade de crescimento de micro-organismos requer o estabelecimento de um ambiente de ar úmido enriquecido em oxigênio. Três correntes são alimentadas à câmara de evaporação para produzir uma corrente de saída com a composição desejada.

A) água líquida, alimentada a vazão de 20 cm³/min;

B) ar (21% O₂, 79% N₂ molar);

C) oxigênio puro, com vazão molar igual a um quinto da vazão molar da corrente B.

O gás de saída é analisado em um analisador de umidade e observa-se que ele contém 1,5% molar de água. Calcule as variáveis desconhecidas.

Referência Bibliográfica



BRASIL, Nilo Indio do. **Introdução à Engenharia Química**. Rio de Janeiro/RJ. Ed. Interciência. 2 ed. 2004.

FELDER, Richard. M; ROUSSEAU, Ronald. W. **Princípios Elementares dos Processos Químicos**. Rio de Janeiro/RJ. Ed. LTC. 3 ed. 2008

HIMMELBLAU, David Maunter; RIGGS, James B. **Engenharia Química Princípios e Cálculos**. Rio de Janeiro/RJ. ed. LTC, 7 ed. 2006.

BALDINO JUNIOR, Alberto Coli; CRUZ, Antonio José Gonçalves. **Fundamentos de Balanço de Massa e Energia**. São Carlos/SP. Ed Universidade de São Carlos. 2010.

GOMIDE, Reynaldo. **Estequiometria Industrial**. São Paulo/SP. Edição do Autor. 3.ed. 1984.

MOUYEN, O.A.; WATSON, K. M. AND RAGATZ, R.A. **Princípios dos Processos Químicos**. Lisboa: Lopes da Silva Editora, 2005. v. 1

CREMASCO, Marco Aurélio. **Fundamentos de Transferência de Massa**. Campinas/SP Ed. UNICAMP. 2 ed. 3 reimpressão 2011.