



MINICURSO DE PLANILHAS ELETRÔNICAS

MÓDULO I

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PET ENGENHARIA QUÍMICA





UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PET – PROGRAMA DE EDUCAÇÃO TUTORIAL



MINICURSO DE PLANILHAS ELETRÔNICAS MÓDULO I 2025/02

GRUPO PET ENGENHARIA QUÍMICA

Arthur Demio Padilha	Lara Ventrini
Carolina Basso Osinski	Larissa Bassani Bonato
Eduardo de Oliveira Santos	Luiza de Oliveira Witcel
Evangelos Thalys Raftopoulos	Maria Luiza Gassner
Fernando Henrique Nakajo Pereira	Mariana Canizella Terluk
Gabriel da Silva Pereira de Souza	Rafael Gobetti
Gabriel Seiji Takehata	Raul Bertin de Oliveira
Gabriella Charneski	Victor de Oliveira Rocha Almeida
Isabelle Tetu de Oliveira	Vinícius Dantas Yassumoto
Júlia Guimarães Mafioletti	

TUTOR

Prof. Vitor Renan

Curitiba
2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
GRUPO PET ENGENHARIA QUÍMICA

1ª Edição - 2013/02

Fillemon Edillyn

Emili Emilha Lucht

Edições posteriores

Alisson Graciano Rezzadori

Ana Julia Moloni Garcia

Ana Carla Corrêa Machado

Andreas Schwambach

Beatriz Pacheco de Carvalho Brasil

Bruna Derlan

Bruna da Rosa Meller

Caroline Inacio da Silva

Daniela Yuri Mori

Edson Yuji Suzuki

Eloisa dos Santos

Enzo Sennhauser

Ezequias David

Felipe Silva Narvas

Fillemon Edillyn

Flávia Batistão Cavalheiro

Guilherme Frasato Bastos

Guilherme Tupan

Henrique Thomaz Saravia

Isabela Alves

João Vitor Ramires Luz

José Carlos Cordeiro Junior

Júlia Azevedo Bratfisch

Julia de Oliveira Kuchiniski

Lorrane Sthephane

Luana Aparecida Pereira

Luana Medeiros do Amaral

Lucas Godinho Casseiro Correa

Ludmylla Weber Kienen Muller Simon

Luís Felipe Bavati Medri

Marcelo Luis Hostins Filho

Marco Andrey Salle Filho

Maria Luiza Lobato dos Santos

Mariana Vila Real Destefani

Marianna Carlesso

Maryna Bornemann da Silva

Mateus de Oliveira Nespolo

Matheus Mendes

Mayara Constatin

Naiury da Silva Marcondes

Pablo Magarinos Rossari Filho

Patricia Cristina Pagnoncelli

Paulo Vitor de Lima Carvalho

Rafael Schwambach

Rafael Teruo

Victor Matheus Mahl

Vinicius Guzzo

Thomas Gabriel Balduino Reckelberg

William Roberto Tangi

Revisão final

Carolina Basso Osinski

Lara Ventrini

Sumário

CAPÍTULO 1	6
1.1.NOÇÕES BÁSICAS DO LIBREOFFICE	6
1.1 A PLANILHA	6
1.2.FRISOS	7
1.3.O BOTÃO ARQUIVO	9
1.4. BARRA DE FÓRMULAS	9
1.5. BARRA DE STATUS	9
1.6. ÁREA DE TRABALHO	10
1.7. O CURSOR	10
1.8. OPERADOR ARITMÉTICOS	12
1.9. OPERADOR LÓGICOS	13
1.10. FIXAR	14
1.11. FUNÇÕES	16
1.12. FORMATAÇÃO CONDICIONAL	18
1.13. NOMEANDO CÉLULAS	19
1.14. GRÁFICOS	21
CAPÍTULO 2	27
2.1. BALANÇO DE MASSA E OPERAÇÕES UNITÁRIAS	27
2.1.BALANÇO DE MASSA	27
2.2. FRAÇÕES MOLAR E MÁSSICA	27
2.2.1. Fração molar (x)	27
2.2.2. Fração mássica (y)	28
2.3. OPERAÇÕES UNITÁRIAS	28
2.4. OPERAÇÕES DE MISTURA	28
2.5. OPERAÇÕES DE SEPARAÇÃO	28
2.5.1. Decantação e Centrifugação	29
2.5.2. Filtração	29
2.5.3. Evaporação	29
2.5.4. Cristalização	29
2.5.5. Extração	29
2.5.6. Secagem	30
2.5.7. Base úmida e base seca	30
2.5.8. Destilação	30
2.5.9. Absorção	30
2.6 OUTRAS OPERAÇÕES	31
2.6.1 Aquecimento e Resfriamento	31
2.6.2. Moagem	31
2.7. BALANÇO DE MASSA EM PROCESSOS	31
Volumes de controle	31
2.8. DICAS PARA BALANÇO DE MASSA NO LIBREOFFICE	32
2.9. EXERCÍCIOS	33
RESPOSTAS DOS EXERCÍCIOS	38
CAPÍTULO 3	52
3.1BALANÇO DE MASSA COM REAÇÃO QUÍMICA	52
3.1.CONCEITOS	52

3.1.1. Balanço de massa em base molar	52
3.1.2. Reagente limitante e reagente em excesso	52
3.1.3.Excesso	52
Conversão	53
3.1.5.Reação principal e reação secundária	54
3.1.6. Seletividade	54
3.1.7. Rendimento	55
3.2. EXERCÍCIOS	55
3.3. RESPOSTAS DOS EXERCÍCIOS	59
CAPÍTULO 4	67
4.BALANÇO DE MASSA COM CÁLCULO ITERATIVO	67
4.1. ATINGIR METAS	67
4.2. EXERCÍCIOS	70
4.3. RESPOSTAS DOS EXERCÍCIOS	72

CAPÍTULO 1

1. NOÇÕES BÁSICAS DO LIBREOFFICE

1.1. A PLANILHA

Para iniciar o LibreOffice, clique sobre o ícone do programa, localizado na seção com todos os programas do computador no menu Iniciar. O LibreOffice exibe então uma pasta de trabalho em branco, mostrada na figura abaixo:

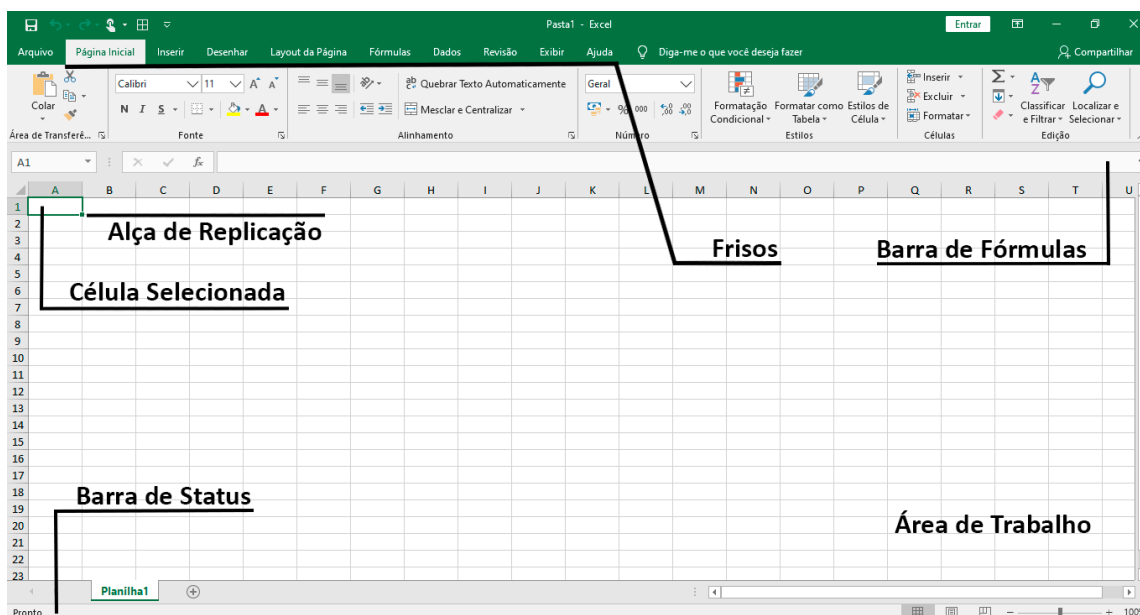


Figura 1 - Detalhes de uma planilha.

A pasta de trabalho que o programa exibe é denominada “Sem título 1”. Se você abrir uma nova pasta de trabalho durante a mesma sessão, o LibreOffice a nomeia “Sem título 2”.

Uma planilha é dividida numa grade de colunas e linhas que apresenta 17.179.869.184 (mais de 17 bilhões) de células distribuídas em colunas nomeadas de **A** a **XFD** e linhas numeradas de **1** a **1048576**. Cada célula é referenciada pela letra da coluna, seguida pelo número da linha. Por exemplo, a célula no canto esquerdo superior é a **A1**, e a célula no canto direito inferior é a **XFD1048576**. Para percorrer uma planilha vazia basta apertar as flechas de direção do teclado com a tecla **Ctrl** pressionada.

A célula atualmente selecionada é citada como célula ativa. A referência para a célula ativa aparece na extremidade esquerda da barra de fórmulas, na Caixa de Nomes. A seleção de células é feita clicando-se sobre a célula desejada. Para selecionar mais de uma célula ao mesmo tempo, pressiona-se a tecla **Ctrl** e clica-se sobre as células desejadas. Para selecionar um conjunto de células delimitando o início e o fim, escolhe-se uma célula de início e pressiona-se a tecla **Shift**, mantém, e escolhe-se a célula final.

1.2. FRISOS

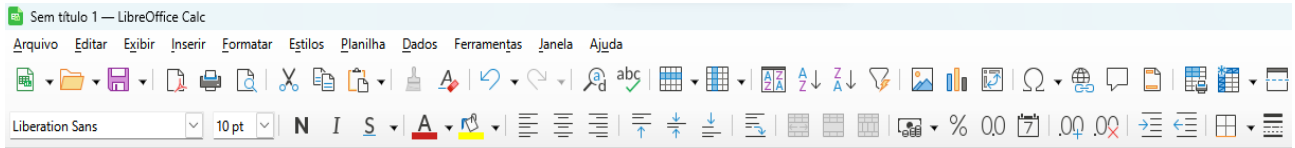


Figura 2 – Friso de Fórmulas.

Ao alto da área de trabalho do LibreOffice encontram-se os frisos. O friso possui comandos e ícones de diferentes tamanhos, de acordo com a sua importância. O programa detecta automaticamente o que pretendemos fazer num dado momento e passa para primeiro plano o friso respectivo.

Há dez frisos no LibreOffice são: Editar, Exibir, Inserir, Formatar, Estilos, Planilha, Dados, Ferramentas, Janela e Ajuda.

O friso, qualquer que seja o separador que esteja ativo, está dividido em menus que agrupam funcionalidades semelhantes de forma lógica, para facilitar o seu acesso. Cada uma dessas seções tem um nome, inscrito numa barra, na sua base. Em alguns casos, do lado direito dessa barra, existe uma pequena área que pode ser clicada de forma a expandir a funcionalidade.

A seguir é mostrada uma lista com algumas ferramentas organizadas por frisos:

Editar	Copiar – <i>Ctrl + C</i>	Copia o conteúdo selecionado para a área de transferência.
	Recortar – <i>Ctrl + X</i>	Transfere o conteúdo selecionado para a área de transferência.
	Colar – <i>Ctrl + V</i>	Transfere o conteúdo da área de transferência para a área de trabalho.
Exibir	Gerencia modos de exibição, zoom e janela.	
Inserir	Insere gráficos, figuras e tabelas	
Formatar	Configura páginas, temas, dimensionamento, texto, opções de planilha e organização.	
Estilos	Cria estilos da planilha como a cor e a fonte.	
Planilha	Permite o controle completo das colunas, linhas, células	
Dados	Obter dados externos	Importa dados de outras fontes para o LibreOffice.
	Conexões	Gerencia as conexões com dados provenientes de outras fontes fora da pasta atual.
	Classificar e Filtrar	Classifica, filtra e ordena os dados da planilha com base em diversos critérios personalizáveis.
Ferramentas	Contém as ferramentas como Solver, Atingir metas e correção ortográfica.	
Janela	Fechar e abrir outra janela.	
Ajuda	Permite a elucidação de dúvidas e a realização de comentários sobre o software.	

Tabela 1 - Algumas das ferramentas dos principais frisos.

1.3. O BOTÃO ARQUIVO

No canto superior esquerdo localiza-se um botão denominado “Arquivo”. Esse botão agrupa as seguintes funcionalidades:

Botão Arquivo	Abrir – <i>Ctrl + O</i>	Abre uma caixa para abrir outro arquivo
	Salvar – <i>Crtl + S</i>	Salva as alterações em disco.
	Salvar Como – <i>Crtl + Shift + S</i>	Seleciona um local e um nome para salvar uma cópia da planilha.
	Imprimir = <i>Crtl + P</i>	Permite configuração da impressão do documento.
	Fechar	Fecha uma planilha.

Tabela 2 - Ferramentas do botão “Arquivo”.

1.4. BARRA DE FÓRMULAS



Figura 3 - Barra de Fórmulas.

Você pode introduzir informações diretamente numa célula da planilha ou por meio da barra de fórmulas. À esquerda, são exibidos a referência da célula ativa e o tamanho de uma seleção, e é possível acessar qualquer célula da planilha, digitando-se suas coordenadas. Na caixa à direita são exibidos os objetos selecionados e podem ser inseridas informações. Quando algo é digitado em uma célula ou na barra de fórmulas, surgem nela dois botões: o botão contendo o “X” é denominado botão Cancelar, e o botão contendo a marca de “verificação” é denominado botão Inserir. Para incluir dados, selecione uma célula, digite os dados e clique no botão Inserir, pressione a tecla *Enter* ou pressione a tecla *Tab*. Para editar dados, selecione a barra de fórmulas com o mouse ou pressione a tecla *F2*. Em seguida, digite as alterações e proceda da mesma forma que para incluir dados. Para cancelar as alterações, pressione o botão do mouse sobre o botão Cancelar, ou pressione a tecla *Esc*.

1.5. BARRA DE STATUS

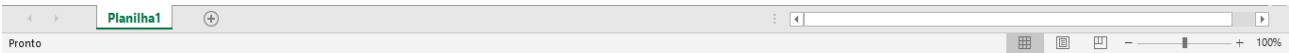


Figura 4 - Barras de Status.

A barra de status está localizada na parte de baixo da tela do LibreOffice. Ela exibe informações sobre a atividade ou modo atual. No canto direito da barra de status é possível mudar o zoom e o modo de visualização.

1.6. ÁREA DE TRABALHO

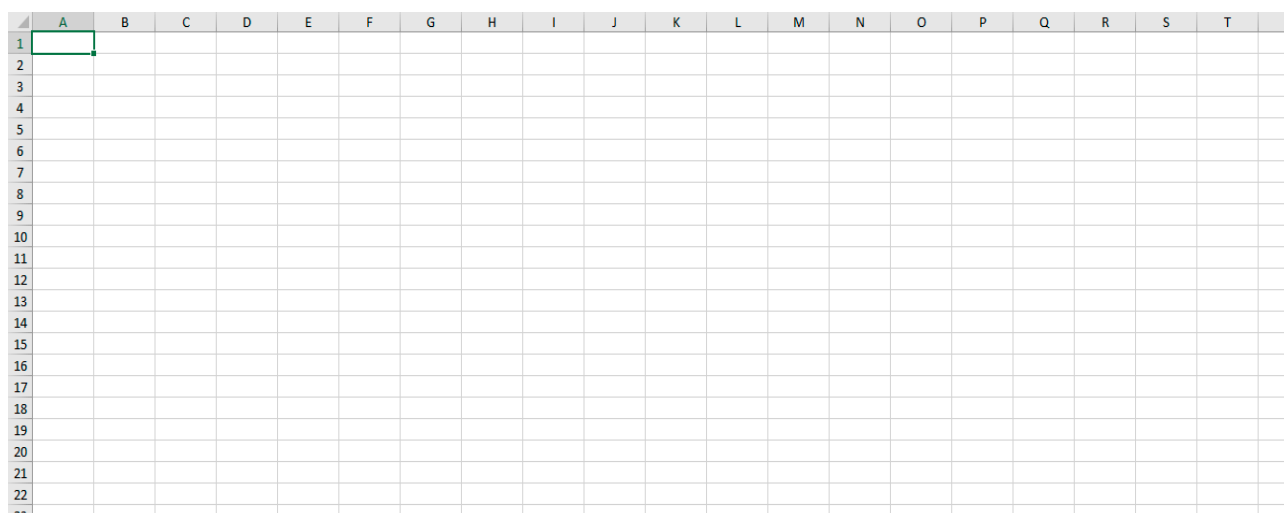


Figura 5 - Área de trabalho.

1.7. O CURSOR

O cursor do mouse assume quatro formas principais diferentes no LibreOffice. O cursor de borda (↖) tem a forma clássica do ponteiro do mouse e, no LibreOffice, serve para tudo, diferentemente do Excel. O cursor de alça (✚) é responsável pela replicação do conteúdo da célula, junto com a alça de replicação, e é representado por uma cruz fina e preta no canto inferior direito da célula selecionada. A quarta forma do cursor é uma cruz preta com setas nas pontas (⛶), e é responsável por movimentar o conteúdo de uma célula para outra.

A alça de replicação é bastante útil, uma vez que minimiza esforços na confecção de uma planilha e economiza tempo do usuário. Para entender melhor seu funcionamento vamos fazer um exercício:

Exercício 1.1. Utilize a alça de replicação para resolver as seguintes questões:

- Repita o número **1** por **10** linhas.
- Escreva uma sequência de **1** a **10**, de forma que cada número ocupe uma linha diferente da coluna.
- Repita o exercício anterior, mas de forma que cada número seja precedido pela palavra **Amostra**.
- Repita as palavras **Ácido** e **Básico** por 10 linhas.
- Crie um padrão formado por duas sequências independentes e intercaladas que vão de **1** a **5**, em que a primeira sequência é precedida pela palavra **Ácido**, enquanto a segunda é precedida pela palavra **Básico**.
- Escreva uma sequência na qual o primeiro termo é o número **1** e a sequência aumenta de 2 em 2 (passo = 2).
- Escreva uma sequência na qual o primeiro termo é o número **100** e a sequência diminui com um passo igual a -5.
- Escreva os **dias da semana**, em sequência, de domingo até sábado.

Resolução Exercício 1.1.

- a)

1. Digitar **1** na célula **B18**.
2. Selecionar a célula e “puxá-la” pela alça até a linha **27**.
3. Resultado: o valor **1** foi replicado até a linha **27**.

- b)

1. Digitar **1** na célula **C18** e **2** na célula **C19**.
2. Selecionar as células **C18** e **C19**.
3. “Puxar” a seleção até a linha **27**.
4. Resultado: os valores foram incrementados de **1** em **1** até a linha **27**.

- c)

1. Digitar “**Amostra 1**” na célula **D18** e “**Amostra 2**” na célula **D19**.
2. Selecionar as células **D18** e **D19** e “puxá-las” pela alça até a linha **27**.
3. Resultado: O texto das células foi replicado, enquanto os valores foram incrementados de **1** em **1** até a linha **27**.

- d)

4. Digitar “**Ácido**” na célula **E18** e “**Básico**” na célula **E19**.
5. Selecionar **E18** e **E19** e “puxá-las” pela alça até a linha **27**.
6. Resultado: O texto das células foi alternando, de um em um, até a linha **27**.

- e)

7. Digitar “**Ácido 1**” na célula **F18** e “**Básico 1**” na célula **F19**.
8. Selecionar **F18** e **F19** e “puxá-las” pela alça até a linha **27**.
9. Resultado: O texto das células foi se alternando, de um em um, até a linha **27**, enquanto os valores foram incrementados de **1** em **1** independentemente, de acordo com o texto que acompanhava o valor.

- f)

1. Digitar **1** na célula **I18** e **3** na célula **I19**.
2. Selecionar as células **I18** e **I19**.
3. “Puxar” a seleção até a linha **27**.
4. Resultado: os valores foram incrementados, seguindo o passo igual a 2 (diferença de valor entre as células selecionadas), até a linha **27**.

- g)

5. Digitar **100** na célula **J18** e **95** na célula **J19**.

6. Selecionar as células **J18** e **J19**.
7. “Puxar” a seleção até a linha **27**.
8. Resultado: os valores foram reduzidos, seguindo o passo igual a -5, até a linha **27**.

• h)

1. Digitar **domingo** na célula **M18**.
2. Selecionar a célula **M18** e “puxar” a seleção até a linha **24**.
3. Resultado: os dias da semana foram escritos em sequência até a linha **24**.

Ficou fácil entender o uso dessa alça, mas seu verdadeiro potencial será visto com o uso de fórmulas mais adiante.

1.8. OPERADOR ARITMÉTICOS

Para efetuar qualquer tipo de conta no LibreOffice, é necessário que, na célula selecionada, coloque-se antes da operação o sinal de “=”, pois é o sinal que indica uma operação matemática e não um texto qualquer.

Exercício 1.2. Realize as operações aritméticas abaixo, com os respectivos valores, utilizando as ferramentas do LibreOffice.

	D	E	F	G
5	Valor 1	Valor 2	Operação	Instrução
6	2	1		D6 + E6
7	2	2		D7 - E7
8	2	3		D8 * E8
9	2	4		D9 / E9
10	2	5		D10 ^ E10
11				F6 / F8 * F7
12				F6 / (F8 * F7)

Figura 6 - Operadores aritméticos.

Resolução Exercício 1.2.

1. Nas células correspondentes da coluna **F**, introduza as fórmulas contendo os operadores algébricos. A introdução de fórmulas acontece ao digitar a tecla = em uma célula. Após isso, para selecionar os valores a serem operados, basta clicar nas células que os contêm. Portanto, para a primeira operação, digite “=D6+E6”.

	D	E	F	G
5	Valor 1	Valor 2	Operação	Instrução
6	2	1	3	D6 + E6
7	2	2	0	D7 - E7
8	2	3	6	D8 * E8
9	2	4	0,5	D9 / E9
10	2	5	32	D10 ^ E10
11			0	F6 / F8 * F7
12			#DIV/0!	F6 / (F8 * F7)

Figura 7 - Resolução operadores aritméticos.

Perceba aqui que existe diferença entre as operações realizadas nas linhas 11 e 12. A célula F12 indica que a operação não pôde ser realizada, visto que não é possível realizar a divisão de quaisquer números quando o denominador é 0. O motivo de o denominador da operação realizada na célula F12 ser 0 ocorre em razão da ordem de precedência, explicada abaixo.

Os operadores “+”, “-”, “*” e “/” são os operadores aritméticos de soma, subtração, multiplicação e divisão, respectivamente. O operador “^” é o responsável pela exponenciação. Em todas as linguagens, os operadores aritméticos têm uma ordem de precedência. Por exemplo, “=2+3^2” resulta 11, pois a exponenciação tem precedência sobre a soma. Para mudar a precedência, deve-se usar parênteses. Se o usuário desejava obter 25, a operação seria “=(2+3)^2”. A figura a seguir traz um resumo da precedência, sendo que as operações listadas mais à direita são realizadas antes das que estão mais à esquerda:

Prioridade			
“+” e “-”	“*” e “/”	“^”	()

Figura 8 - Ordem de precedência dos operadores aritméticos.

1.9. OPERADOR LÓGICOS

Nem todos os operadores servem para “fazer contas”. Os operadores de comparação são lógicos, isto é, retornam apenas os valores **FALSO** ou **VERDADEIRO**. Todas as linguagens de programação possuem operadores desse tipo, que comparam os valores de células.

Exercício 1.3. Utilize dos operadores lógicos do LibreOffice para comparar os valores 2 e 3, conforme a figura abaixo:

	D	E	F	G
5	Valor 1	Valor 2	Operação	Instrução
6	2	3		D6 < E6
7	2	3		D7 > E7
8	2	3		D8 <= E8
9	2	3		D9 >= E9
10	2	3		D10 = E10
11	2	3		D11 <> E11

Figura 9 - Operadores lógicos.

Resolução Exercício 1.3.

1. Aplique nas células F6 a F11 as fórmulas de comparação, conforme as instruções da próxima figura. Para a célula F6 escreva “=D6<E6”, e assim por diante.

	D	E	F	G
5	Valor 1	Valor 2	Operação	Instrução
6	2	3	VERDADEIRO	D6 < E6
7	2	3	FALSO	D7 > E7
8	2	3	VERDADEIRO	D8 <= E8
9	2	3	FALSO	D9 >= E9
10	2	3	FALSO	D10 = E10
11	2	3	VERDADEIRO	D11 <> E11

Figura 10 - Resolução operadores lógicos.

As operações lógicas realizadas foram, respectivamente, “menor que”, “maior que”, “menor ou igual que”, “maior ou igual que”, “igual a” e “diferente de”.

1.10. FIXAR

Uma função simples e importante do LibreOffice é a fixação de células. Esse recurso pode ser necessário em situações em que se usa a alça de replicação para replicar fórmulas. Caso a fórmula a ser replicada contenha um valor fixo, a célula que contém esse valor deve ser fixada ao se escrever a fórmula. No próximo exercício, entender-se-á a importância da fixação de células.

Abaixo estão contidos o exercício, uma resolução equivocada e, posteriormente, a resolução correta do exercício.

Exercício 1.4. Utilizando a ferramenta de Fixar do LibreOffice, calcule os pesos de diversos corpos, sabendo as suas respectivas massas.

Observação: Utilize $F = m \cdot g$ para calcular a Força Peso.

	C	D	E
7	Tabela de Peso		
8	Gravidade (m/s ²)	Massa (kg)	Força Peso (N)
9	9,81	5	
10		10	
11		15	
12		20	
13		25	
14		30	
15		35	
16		40	
17		45	
18		50	

Figura 11 - Tabela de Peso para fixar células.

Resolução equivocada do Exercício 1.4.

1. Na célula **E9** digite a fórmula “=C9*D9”;
2. Com a célula **E9** selecionada, replique a alça até a célula **E18**;
3. Observe que o intervalo de células abaixo da célula **E9** resultou no valor **0**, conforme a próxima figura:

	C	D	E
7	Tabela de Peso		
8	Gravidade (m/s ²)	Massa (kg)	Força Peso (N)
9	9,81	5	49,05
10		10	0
11		15	0
12		20	0
13		25	0
14		30	0
15		35	0
16		40	0
17		45	0
18		50	0

Figura 12 - Resolução equivocada da Tabela de Peso.

Isso acontece porque ao usar a alça de replicação, o LibreOffice interpretou a fórmula como uma operação que deveria multiplicar as células de uma mesma linha. Por exemplo, após a replicação, a operação realizada na célula **E10** foi “=C10*D10”, na célula **E11**, a operação foi “=C11*D11”, e assim por diante. Isso implica em um resultado nulo, porque as células da coluna **C** que estão sendo multiplicadas não têm nenhum valor, ou seja, são iguais a **0**.

Para resolver esse problema, ao escrevermos a fórmula na célula **E9**, devemos FIXAR a célula **C9**, que contém o valor da aceleração da gravidade. Isso se faz apertando a tecla **F4** do teclado, após digitarmos a célula que contém esse valor. O símbolo **\$** aparece ao se fixar alguma célula.

Resolução correta do Exercício 1.4.

1. Apague todos os valores das forças peso da coluna **E**, para realizarmos novamente as operações;
2. Na célula **E9**, após digitar a célula **C9** na fórmula, aperte a tecla **F4**. Depois, prossiga com a operação de multiplicação. A fórmula na célula deve estar assim “=C\$9*D9”. (Note que somente a célula **C9** está fixada, visto que é o único valor fixo a ser repetido nas operações);
3. Com a célula **E9** selecionada, replique a alça até a célula **E18**.

	C	D	E
7	Tabela de Peso		
8	Gravidade (m/s ²)	Massa (kg)	Força Peso (N)
9	9,81	5	49,05
10		10	98,10
11		15	147,15
12		20	196,20
13		25	245,25
14		30	294,30
15		35	343,35
16		40	392,40
17		45	441,45
18		50	490,50

Figura 13 - Resolução correta da Tabela de Peso.

1.11. FUNÇÕES

Boa parte da funcionalidade do LibreOffice reside em sua enorme biblioteca de funções, a qual pode ser aumentada indefinidamente com funções do usuário. Existem funções para se calcular o logaritmo de um número em qualquer base, bem como o logaritmo neperiano de qualquer valor. Além disso, as funções trigonométricas também podem ser calculadas, como o seno, o seno hiperbólico, o arco seno, o cosseno, entre outros. Outra interessante é a função SE, que retorna resultados de teste lógicos que devem ser especificados. As funções estatísticas também estão presentes, e com elas podemos calcular, por exemplo, os coeficientes angular, linear e de correlação de um conjunto de dados.

Essas são só algumas das diversas funções presentes no LibreOffice. Para entender como usá-las, faremos alguns exercícios, descritos abaixo.

Exercício 1.5. Na Tabela 1, resolva as operações matemáticas contidas nela, tomando como valor o número 2, ao lado de cada linha.

	B	C	D	E
7		Tabela 1: Funções Matemáticas e Trigonômicas		
8	2		Logaritmo Neperiano	LN(B8)
9	2		Logaritmo na Base 8	LOG(B9;8)
10	2		Logaritmo na Base 10	LOG10(B10)
11	2		Raiz Quadrada	RAIZ(B11)
12	2		Exponencial	EXP(B12)
13	2		Seno (em Radianos)	SEN(B13)
14	2		Seno (em Graus)	SEN(RADIANOS(B14))
15			Soma	SOMA(C8:C14)

Figura 14 - Funções matemáticas e trigonométricas.

Na Tabela 2, suponha que você deseja usar o LibreOffice para te mostrar em quais matérias você está aprovada/o, em quais você está de exame final e em quais você está reprovada/o. A média para passar sem exame final, bem como a média para conseguir fazer o exame final estão expostas na tabela. Para resolver, utilize a função SE. OBS: atente-se para a necessidade de fixar alguma célula.

	O	P
2	Tabela 2: Função SE	
3	Média	7,0
4	Final	4,0
5	Nota	Situação
6	7,2	
7	4,3	
8	0,7	
9	4,1	
10	2,8	
11	1,3	
12	5,4	
13	9,9	
14	6,6	
15	3,6	
16	8,5	
17	7,0	
18	5,8	

Figura 15 - Notas para utilização da função SE.

Exercício 1.8. Na Tabela 3, com base nos valores de x e y, calcule o coeficiente angular, o coeficiente linear e o coeficiente de correlação dos valores apresentados.

	S	T
8	Tabela 3: Funções Estatísticas	
9		
10	x	y
11	0	2,1
12	1	3,2
13	2	3,8
14	3	5,4
15	4	5,9
16		
17	Coef. Angular	
18	Coef. Linear	
19	Coef. de Correlação	

Figura 16 - Dados para funções estatísticas.

Resolução Exercício 1.5.

1. Para o cálculo do logaritmo neperiano, digite na célula **C8** a fórmula “=LN(B8)”. Perceba que após digitar a primeira letra após o igual, o LibreOffice mostra uma lista com as funções que se iniciam com essa letra. Você pode continuar a escrever a função por conta própria ou selecionar com as setas do teclado a função que aparece na lista, apertando a tecla **Tab** e depois selecionando a célula com o valor a ser calculado.
2. A tabela abaixo mostra as instruções para as funções da Tabela 1 desse exercício.

	E
8	LN(B8)
9	LOG(B9;8)
10	LOG10(B10)
11	RAIZ(B11)
12	EXP(B12)
13	SEN(B13)
14	SEN(RADIANOS(B14))
15	SOMA(C8:C14)

Figura 17 - Instruções para as funções matemáticas e trigonométricas.

Resolução Exercício 1.6.

1. Na célula **P6**, escreva “=SE(O6>=\$P\$3;"Aprovada/o";SE(O6>=\$P\$4;"Exame Final";"Reprovada/o"))”. As células **P3** e **P4** foram fixadas, porque são valores em células fixas do exercício. Essa função é composta por 3 argumentos: teste lógico; valor se o teste for verdadeiro; valor se o teste for falso. Como queremos que a célula nos revele um texto após o teste lógico ser realizado, deve-se escrevê-lo dentro de aspas.

Resolução Exercício 1.8.

1. Para o coeficiente angular, digite a seguinte função na célula **T17** “=INCLINAÇÃO(T11:T15;S11:S15)”. O primeiro argumento são os valores de y, e o segundo são os valores de x;
2. Para o coeficiente linear, digite a seguinte função na célula **T18**: “=INTERCEPÇÃO(T11:T15;S11:S15)”;

3. Para o coeficiente de correlação, digite a seguinte função na célula **T19** “=CORREL(T11:T15;S11:S15)”. Nessa função, não importa a ordem dos argumentos, já que poderiam ser escritos primeiro os valores de x, depois os valores de y, e o resultado seria o mesmo.

	B	C	D	E	F	O	P	Q	S	T
2						Tabela 2: Função SE				
3						Média	7,0			
4						Final	4,0			
5						Nota	Situação			
6						7,2	Aprovada/o			
7						4,3	Exame Final			
8						0,7	Reprovada/o			
9						4,1	Exame Final			
10						2,8	Reprovada/o			
11						1,3	Reprovada/o			
12						5,4	Exame Final			
13						9,9	Aprovada/o			
14						6,6	Exame Final			
15						3,6	Reprovada/o			
16						8,5	Aprovada/o			
17						7,0	Aprovada/o			
18						5,8	Exame Final			
19										

Tabela 1: Funções Matemáticas e Trigonômicas			
2	0,693	Logaritmo Neperiano	LN(B8)
3	0,333	Logaritmo na Base 8	LOG(B9;8)
4	0,301	Logaritmo na Base 10	LOG10(B10)
5	1,414	Raiz Quadrada	RAIZ(B11)
6	7,389	Exponencial	EXP(B12)
7	0,909	Seno (em Radianos)	SEN(B13)
8	0,035	Seno (em Graus)	SEN(RADIANS(B14))
9	11,0749771	Soma	SOMA(C8:C14)

Tabela 3: Funções Estatísticas	
x	y
0	2,1
1	3,2
2	3,8
3	5,4
4	5,9

Coef. Angular	0,98
Coef. Linear	2,12
Coef. de Correlação	0,99

Figura 18 - Resolução exercícios de funções.

Observação: Você pode aumentar ou diminuir o número de casas decimais exibidas em números inseridos na planilha utilizando os botões Aumentar Casas Decimais e Diminuir Casas Decimais conforme assinalado na próxima figura:



Figura 19 - Localização dos botões Aumentar e Diminuir Casas Decimais.

1.12. FORMATAÇÃO CONDICIONAL

É frequente em Engenharia a necessidade de ressaltar algum aspecto que tenha ocorrido ao longo dos cálculos. Nas planilhas, isso pode ser feito por meio da formatação condicional. Para entender como utilizar a formatação condicional, faremos um exercício baseado no **Exercício 1.6.** realizado anteriormente.

Exercício 1.7. Ainda na Tabela 2, utilize a Formatação Condicional para melhorar a visualização da sua situação em cada matéria. Utilize a cor **verde** para as aprovações, a cor **amarela** para as em que você poderá fazer o exame final e a cor **vermelha** para as reprovações.

Resolução Exercício 1.7.

1. Selecione a coluna que contém a sua situação em cada matéria;
2. Selecione no friso Formatar, o ícone da Formatação condicional, Condição, Contém e você deve escrever o texto EXATAMENTE da forma como está na tabela;
3. O primeiro caso são as aprovações, então você escolhe a cor que você gostaria criando um Novo estilo, Plano de fundo, Cor e confirmando.

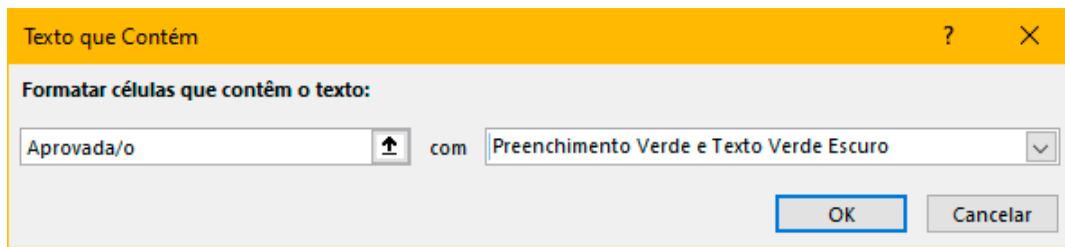


Figura 20 - Formatação condicional.

4. Faça o mesmo para os textos **Exame Final** e **Reprovada/o**, com as cores exigidas no enunciado.

Tabela 2: Função SE	
Média	7,0
Final	4,0
Nota	Situação
7,2	Aprovada/o
4,3	Exame Final
0,7	Reprovada/o
4,1	Exame Final
2,8	Reprovada/o
1,3	Reprovada/o
5,4	Exame Final
9,9	Aprovada/o
6,6	Exame Final
3,6	Reprovada/o
8,5	Aprovada/o
7,0	Aprovada/o
5,8	Exame Final

Figura 21 - Resolução formatação condicional.

1.13. NOMEANDO CÉLULAS

Cada célula da planilha trabalhada apresenta um nome próprio, previamente dado pelo programa. Dizemos que a célula apresenta uma referência absoluta, isto é, pela concatenação da letra da coluna com o número da linha, como em **A1**, por exemplo. Existem casos em Engenharia, porém, em que mesmo a referência absoluta pode ser muito complexa ou pouco explicativa.

A equação a seguir é conhecida como *Swamee-Jain* e ela relaciona o fator de atrito **f** de um fluido escoando dentro de um tubo cilíndrico com sua rugosidade **ε**, seu diâmetro **D** e o número de Reynolds **Re**, adimensional, bastante utilizado nos estudos de Mecânica dos Fluidos.

$$f = \frac{0,25}{\left(\log \left(\frac{\varepsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right)^2}$$

Figura 22 – Equação de Swamee-Jain.

Suponha que o valor da rugosidade esteja na célula **C8**, o diâmetro, na célula **B12** e o número de Reynolds, na célula **C9**. O cálculo do fator de atrito ficaria algo como:

$$= 0,25/(\text{LOG10}(\text{C8}/(3,7*\text{B12})+5,74/\text{C9}^{0,9}))^2$$

Considerando que a equação é complicada, até que não é tão difícil. No entanto, quando houver uma planilha com dezenas de células contendo dezenas de fórmulas, será bastante difícil associar o conteúdo

dessa célula com a equação de *Swamee-Jain*. Talvez fosse melhor usar algo mais associável, como, por exemplo:

$$= 0,25/(\text{LOG}(\text{rug}/(3,7*D)+5,74/\text{Re}^{0,9}))^2$$

Essas variáveis são denominadas como nomeadas. Elas ajudam a reduzir consideravelmente o nosso esforço e fazem com que trabalhar com as células seja mais agradável, além de facilitar o entendimento de terceiras/os. Faz-se importante ressaltar que ao fazer operações com células nomeadas, não é necessário fixá-las, como visto anteriormente. Para nomear, veja como é simples: selecione a(s) célula(s) que se quer nomear e, na Caixa de Nomes, escreva seu nome desejado (sem espaços).

A nomeação de células pode se estender na vertical, na horizontal ou em ambas, permitindo que se trabalhe com um conjunto de células, como se fossem vetores ou matrizes.

Exercício 1.9. A partir o valor do número de Reynolds **Re** e o valor da rugosidade de um tubo cilíndrico **rug** (ϵ) indicados na tabela, calcule o fator de atrito **f** de um fluido que escoar por esse cilindro, para um conjunto de diâmetros **D** abaixo (utilize a nomeação de células).

Resolução Exercício 1.9.

1. Na célula **B11** e **C11** escreva **D** e **f**, respectivamente;
2. Selecione as células **B11:B17**;
3. Pressione as teclas *Ctrl*, *Shift* e *F3* e clique em **OK**;
4. Digite **rug** e **Re** nas células **B8** e **B9**, respectivamente;
5. Selecione o conjunto de células **B8:C9** e repita o procedimento 3;
6. Adote no problema os valores fornecidos de **D**, **rug** e **Re**, conforme a figura abaixo:

	B	C
8	rug	0,3
9	Re	2800
10		
11	D	f
12	8	
13	15	
14	47	
15	79	
16	101	
17	164	

Figura 23 - Nomeando células.

7. Na célula **C12**, digite a equação de *Swamee-Jain* da seguinte forma:

$$=0,25/(\text{LOG}(\text{rug}/(3,7*D)+5,74/\text{Re}^{0,9}))^2$$

8. Clique com o cursor na célula **C12** até virar alça de replicação e arraste-a até a célula **C17**.

Neste exemplo foi utilizado o vetor **D**, correspondente às células **B12:B17**. A novidade aqui foi o uso do atalho da Caixa de Nomes, pressionando simultaneamente as teclas *Ctrl*, *Shift* e *F3*

Exercício 1.10. Dada a equação abaixo, determine os valores de y substituindo os valores da tabela em x .

$$y = x^2 + 8 \cdot x + 124$$

1. Nas células **O10** e **P10**, escreva **x** e **y**, respectivamente;
2. Adote como valores para **x** os apresentados na tabela abaixo:

	O	P
10	x	y
11	10	
12	25	
13	65	
14	87	
15	93	
16	127	
17	256	

Figura 24 - Nomeando x e y.

3. Selecione as células **O11** a **O17** e, na Caixa de Nomes, digite **x**;
4. Na célula **P11**, digite a equação “**=x^2+8*x+124**”;
5. Clique no cursor na célula **P11** até virar alça de replicação e arraste-a até a célula **P17**.

	B	C	D	O	P
8	rug	0,3			
9	Re	2800			
10				x	y
11	D	f		10	304
12	8	0,074		25	949
13	15	0,062		65	4869
14	47	0,051		87	8389
15	79	0,049		93	9517
16	101	0,048		127	17269
17	164	0,047		256	67708

Figura 25 - Resolução exercícios de nomeação.

1.14. GRÁFICOS

Atualmente, é quase inconcebível pensar em um sistema operacional sem interface gráfica. Uma orientação comum aos alunos é que engenheiras/os são pagas/os para resolver problemas, e, para resolvê-los, elas/es precisam analisar alternativas. Ora, convenhamos, é muito mais fácil analisar opções em um gráfico colorido do que em uma tabela.

O LibreOffice tem uma capacidade gráfica bastante ampla, mas o que particularmente atrai é sua sensibilidade ao contexto, já que os gráficos vão se alterando automaticamente à medida que as células vão mudando seus valores. Isso permite até uma sensação de movimento, que é muito importante em problemas dinâmicos.

Para construir um gráfico, selecione os dados da planilha que deseja exibir no gráfico e clique no friso Inserir. Em seguida, escolha o tipo de gráfico e ele será criado na mesma planilha.

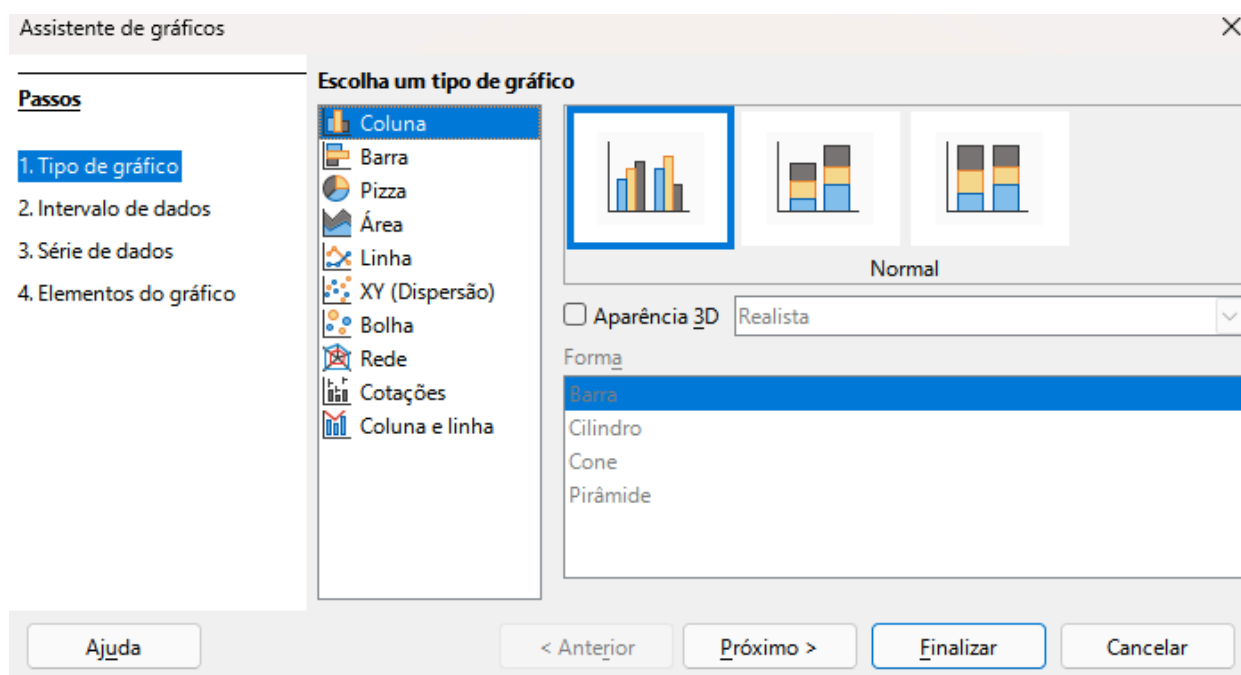


Figura 26 – Inserir gráfico.

Uma vez que o gráfico foi plotado, pode-se alterar qualquer coisa desejada por meio dos menus/frisos já mencionados. Ao clicarmos duas vezes no gráfico da planilha, todos os menus/frisos mudam para alterar somente o gráfico.

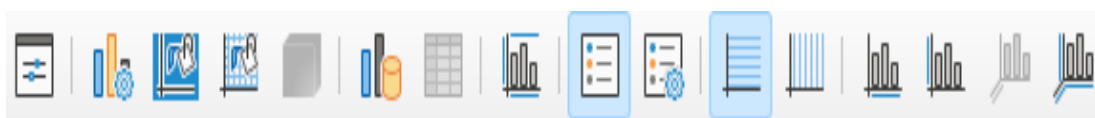


Figura 27 - Ferramentas de Gráfico – Design.

Exercício 1.11. Construa um gráfico de dispersão, baseados nos dados abaixo. Adicione uma linha de tendência e mostre a equação que resulta da sua regressão linear, e também o valor do R^2 .

	B	C
8	Tempo	Posição
9	0,0	10
10	0,4	14
11	0,8	20
12	1,2	25
13	1,6	28
14	2,0	30
15	2,4	37
16	2,8	41
17	3,2	46

Figura 28 - Conjunto de dados para regressão linear.

Resolução Exercício 1.11.

1. Selecione as células com os valores dos pontos e clique no friso Inserir > Gráficos. Na seção Gráficos, selecione a opção Dispersão e escolha o modelo Dispersão somente com marcadores;

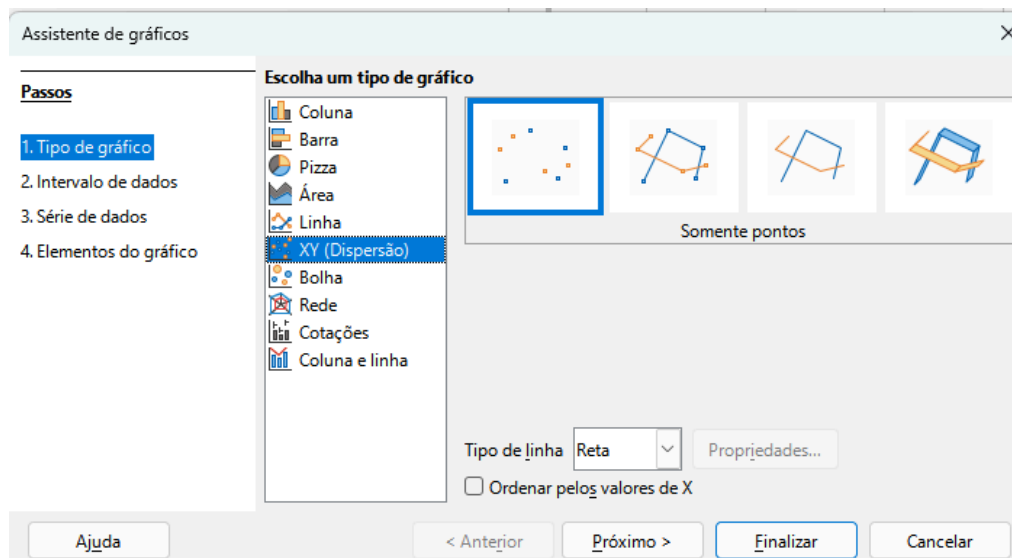


Figura 29 - Inserir gráfico.

2. Com o gráfico pronto, é necessário adicionar a sua linha de tendência. Para isso, clique com o botão direito do mouse em um dos pontos do gráfico e selecione a opção “Adicionar Linha de Tendência”. Na aba que abrir ao lado direito, selecione as opções “Exibir Equação no gráfico” e “Exibir valor de R-quadrado no gráfico”;

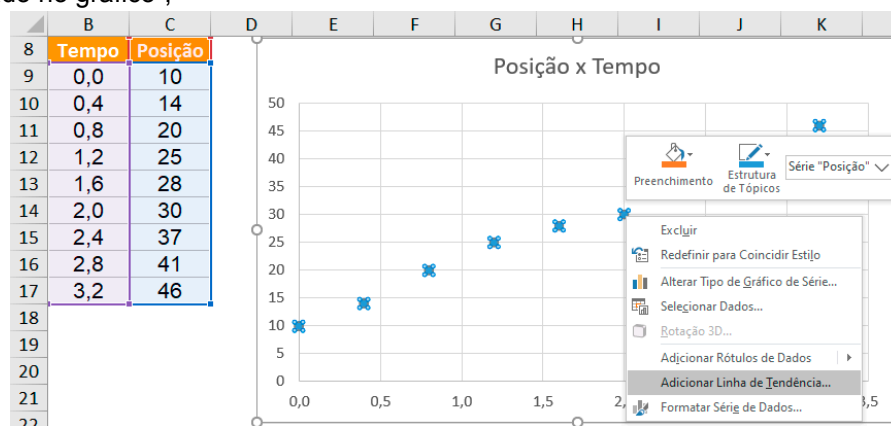


Figura 30 - Pontos da regressão.

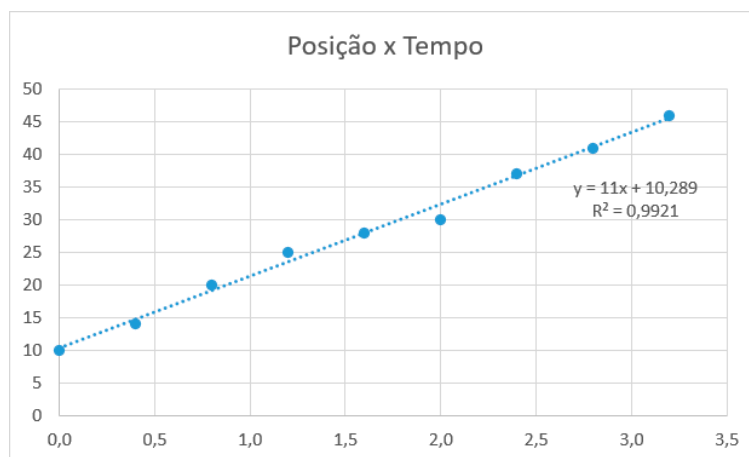


Figura 31 - Gráfico já com a linha de tendência.

3. Agora, é só formatar o design e os eixos como desejado.

Exercício 1.12. Construa um gráfico de dispersão para observar o efeito da pressão **P** no volume de um gás ideal que varia isotermicamente. Utilize os valores de Pressão e Temperatura abaixo. **OBS:** $R = 0,082057 \text{ atm.L.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

	M	N	O	P
8	R (atm.L.mol ⁻¹ .K ⁻¹)		0,082057	
9				
10		T		
11	P	300 K	400 K	500 K
12	0,5			
13	1,0			
14	1,5			
15	2,0			
16	2,5			
17	3,0			
18	3,5			
19	4,0			
20	4,5			
21	5,0			

Figura 32 - Planilha do exercício 1.12.

Resolução Exercício 1.12.

1. Nomear a faixa **N11:P11**, como **T**; e **M12:M21**, como **P**. A célula **O8**, que contém o valor da constante universal dos gases perfeitos **R**, será nomeada como **cteR**, já que o LibreOffice não permite nomear células pelo nome **R**, visto que se trata de outro atalho do sistema;
2. Introduzir a fórmula “=cteR*ESQUERDA(T;3)/P” na célula **N12**;
3. Puxar o conteúdo de **N12** até **N21**, e depois de **N12:N21** até a coluna **P**;
4. Selecionar a região **M11:P21** e selecione no friso Inserir > Gráfico e nas opções Dispersão e Dispersão Somente Linhas, como mostrado na figura abaixo.

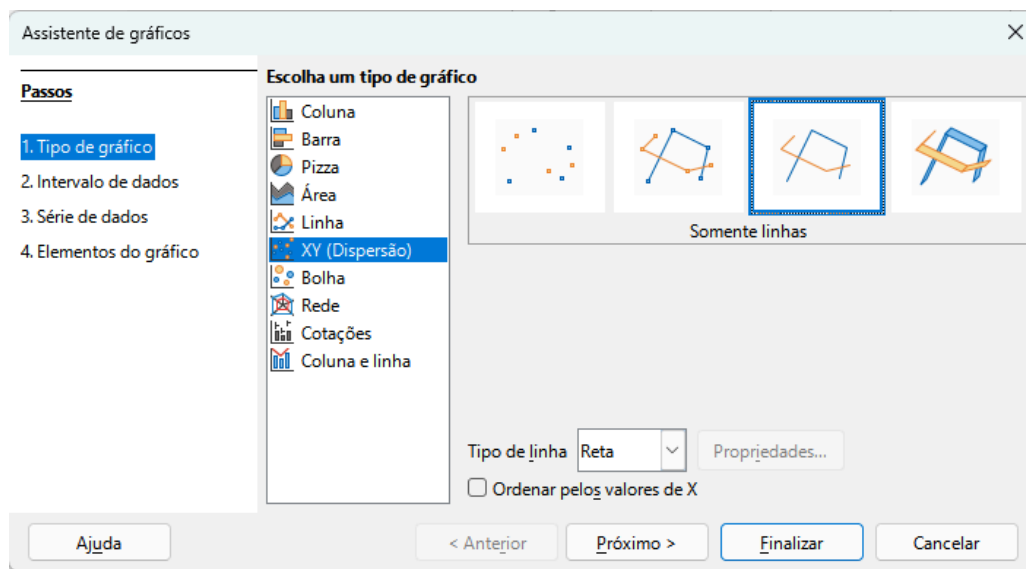


Figura 33 - Inserir gráfico.

O gráfico deve ficar como está ilustrado na imagem a seguir:

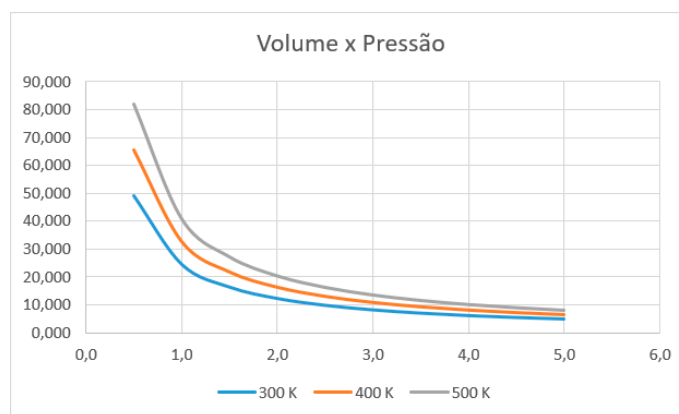


Figura 34 - Isotermas do efeito da pressão no volume de um gás ideal.

A novidade aqui é a função **ESQUERDA(Cel,n)**. Ela seleciona os **n** primeiros caracteres do conteúdo da célula **Cel**. Foi preciso usá-la porque necessitava-se da letra “K” para compor a legenda de cada série de temperatura, mas não era possível utilizá-la na operação algébrica. Portanto, na célula **N12**, em que foi digitada a fórmula, em vez de digitarmos apenas **T**, utilizamos essa nova função, uma vez que o LibreOffice entenderia a célula como texto e não efetuariá o cálculo caso contrário. Experimente substituir a função por apenas **T**.

A análise que poderia ser feita é a de que o volume do gás diminui com sua compressão e seu resfriamento. Isso é bastante óbvio, mas é importante que você perceba como fica mais fácil analisar os dados na forma de um gráfico, ao invés de uma tabela. Outro aspecto importante é como o gráfico responde automaticamente às mudanças nas células. Tente mudar o valor de **500 K** para **1000 K**, mas não se esqueça de corrigir a fórmula para “=cteR*ESQUERDA(T;4)/P”, uma vez que agora são quatro dígitos antes da unidade.

Exercício 1.13. Um experimento foi realizado para determinar a densidade de um material sólido. Para isso, foram medidos os volumes e massas de cinco amostras do material. Os resultados obtidos estão na Tabela 1. A partir disso, calcule o que se pede pelo do método dos mínimos quadrados.

- Calcule δx_i , δy_i , $\delta(x_i)^2$, $\delta x_i * y_i$, $\sum \delta x_i * y_i$, $\sum \delta(x_i)^2$;
- Calcule os coeficientes da reta(**a** e **b**);
- Defina a equação da reta;
- Plote um gráfico com a reta e os pontos referentes a Tabela 1.

K10							
	B	C	D	E	F	G	H
1		Ponto	x_i (cm ³)	y_i (g)	δx_i	δy_i	$\delta(x_i)^2$
2		1	47	10			
3		2	100	22			
4		3	145	32			
5		4	185	42			
6		5	245	50			
7	Média	-			-	Σ	

Figura 32 - Planilha do exercício 1.13.

FORMULÁRIO

$\delta x_i = x_i - \bar{x}$

$\delta y_i = y_i - \bar{y}$

$a = \frac{(\sum \delta x_i * \delta y_i)}{(\sum \delta(x_i)^2)}$

$\delta(x_i)^2 = x_i^2$

$\delta x_i * y_i = \delta x_i * \delta y_i$

$b = \bar{y} - a\bar{x}$

$Y = ax + b$

Resolução Exercício 1.13.

1. Faça a média da coluna x_i ; Pode usar a função MÉDIA, ou como no exemplo abaixo:

Ponto	x_i (cm ³)
1	47
2	100
3	145
4	185
5	245
Média	=SOMA(T6:T10)/S10

2. Faça a média da coluna y_i ; Pode usar a função MÉDIA, ou como no exemplo abaixo:

Ponto	x_i (cm ³)	y_i (g)
1	47	10
2	100	22
3	145	32
4	185	42
5	245	50
Média	-	=SOMA(U6:U10)/S10

3. Na coluna do δx_i , faça o primeiro elemento de $x_i - \bar{x}$ (fixado). Arraste.

x_i (cm ³)	y_i (g)	δx_i
47		=T6-\$T\$11
100	22	
145	32	
185	42	
245	50	
144,4	31,2	-

δx_i
-97,4
-44,4
0,6
40,6
100,6
-

4. Na coluna do δy_i , faça a mesma coisa que na anterior, mas com a relação: $y_i - \bar{y}$ (fixado). Arraste.

y_i (g)	δx_i	δy_i
10	-97,4	=U6-\$U\$11
22	-44,4	
32	0,6	
42	40,6	
50	100,6	
31,2	-	Σ

δy_i
-21,2
-9,2
0,8
10,8
18,8
Σ

5. Na coluna, $\delta(x_i)^2$: Selecionar o primeiro termo da coluna $\delta(x_i)$ e ^2. Arraste até a penúltima célula. Na última célula de somatório, use **ALT + =**

δx_i	δy_i	$\delta(x_i)^2$
-97,4	-21,2	=V6^2
-44,4	-9,2	
0,6	0,8	
40,6	10,8	
100,6	18,8	
-	Σ	

$\delta(x_i)^2$
9486,7600
1971,3600
0,3600
1648,3600
10120,3600
23227,2000

6. Na coluna δx_i * δy_i . Realizar a multiplicação do 1º termo da coluna δx_i com o 1º termo da coluna δy_i . Arrastar até a penúltima célula. Na última célula, **ALT + =**.

δx_i	δy_i	$\delta(x_i)^2$	$\delta x_i * \delta y_i$	$\delta x_i * \delta y_i$
-97,4	-21,2	9486,76	=V6*W6	2064,88
-44,4	-9,2	1971,36		408,48
0,6	0,8	0,36		0,48
40,6	10,8	1648,36		438,48
100,6	18,8	10120,36		1891,28
-	Σ	23227,2		4803,6

7. Utilizar o formulário para calcular os coeficientes **a** e **b**.

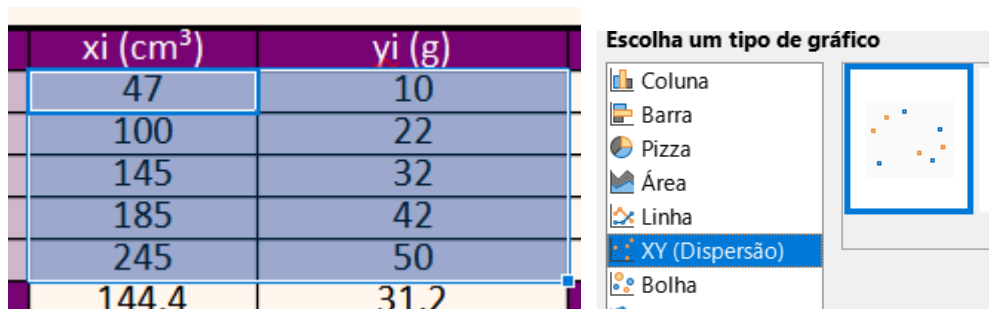
Coef A	Coef. B	Coef A	Coef. B
=Y11/X11	=U11-(S16*T11)	0,20680925811	1,336743129

8. A equação da reta, basta substituir os coeficientes na fórmula:

Equação da reta $Y=0,2068X - 29,2265$

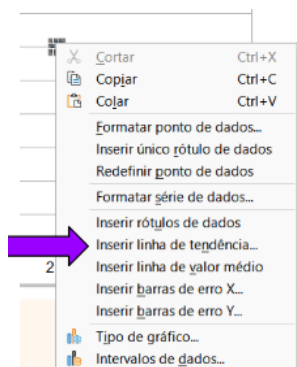
9. Para plotar o gráfico, selecione a coluna de x_i e y_i , simultaneamente:

Clicar em inserir > gráfico > dispersão.



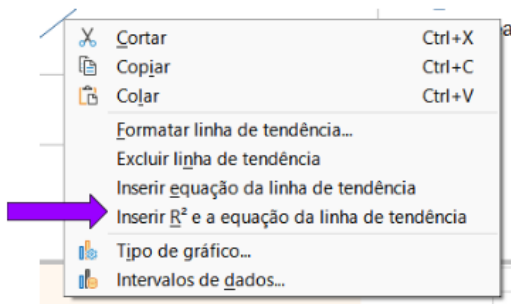
10. Clicar nos quadradinhos do gráfico **com botão direito do mouse**;

11. INSERIR LINHA DE TENDÊNCIA:



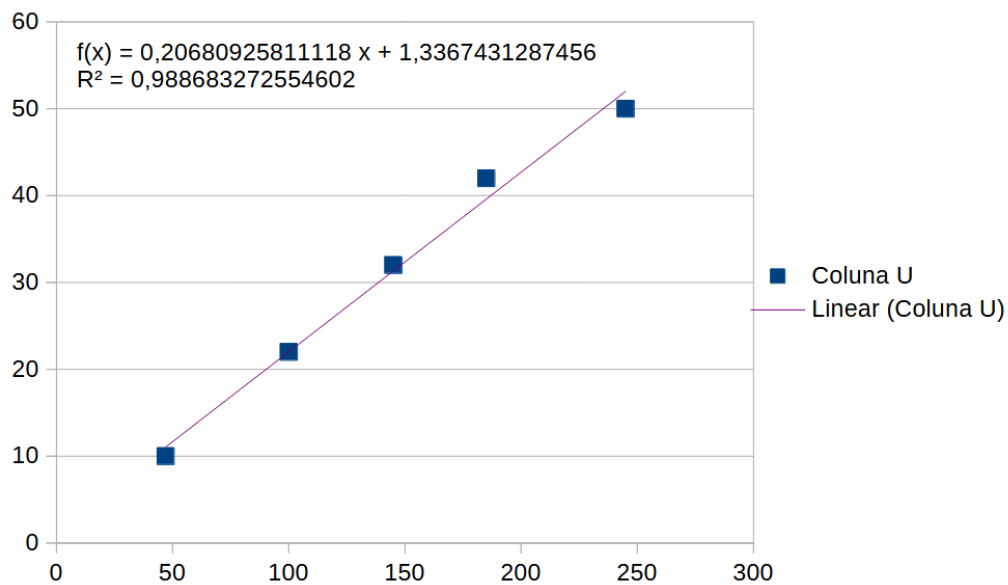
12. Clicar na linha de tendência, **botão direito do mouse**;

13. INSERIR R^2 E EQUAÇÃO DA RETA:



Inserir R^2 e a equação da linha de tendência

14. Resultado do gráfico:



CAPÍTULO 2

2. BALANÇO DE MASSA E OPERAÇÕES UNITÁRIAS

2.1. BALANÇO DE MASSA

O balanço de massa é uma das mais importantes etapas no projeto de um processo industrial. É baseado no princípio de que a massa se conserva em um sistema físico ou químico, desde que nele não aconteçam reações nucleares. Ou seja, a mesma quantidade de massa que entrou no sistema analisado terá que sair dele. Matematicamente, isso significa que:

$$\text{massa que entra} = \text{massa que sai}$$

Esse é o caso mais simples e dos mais comuns na Engenharia Química com o qual você terá bastante contato nos primeiros períodos do curso. Ele está intimamente ligado com a condição de estabilidade no processo, a qual é chamada de processo em regime estacionário (ou permanente), em que as propriedades

do sistema se mantêm constantes com o tempo. Entretanto, nem tudo na indústria é sempre estável! Situações delicadas como a partida e parada de uma fábrica, processos de fabricação em batelada (nas quais a produção é feita em lotes) e de interrupção do funcionamento de algum equipamento para limpeza ou manutenção, bem como qualquer outro evento relacionado ao controle do processo, lidam com outros termos na equação do balanço de massa:

$$\text{massa que entra} = \text{massa que sai} + \text{acúmulo}$$

Situações como essas acontecem, geralmente, em processos em regime transiente, ou seja, em que as propriedades do sistema variam com o tempo. Um exemplo fácil de imaginar é o esvaziamento de um reservatório de água.

Para sistemas com reações químicas, se quisermos deixar explícita a diferença entre entrada de massa e produção de massa de uma determinada substância, assim como a saída e o consumo de massa de uma determinada substância, fica fácil entender matematicamente a equação abaixo:

$$\text{massa que entra} + \text{massa gerada} = \text{massa que sai} + \text{massa consumida} + \text{acúmulo}$$

Escrever dessa forma o balanço de massa para sistemas reativos torna mais fácil entender alguns conceitos que serão abordados na penúltima aula deste minicurso! Ainda que tenhamos considerado o termo de acúmulo, como a disciplina de Introdução à Engenharia Química trabalha apenas com processos em regime permanente, não o incluiremos nos exercícios desta apostila.

2.2. FRAÇÕES MOLAR E MÁSSICA

Em muitos dos problemas em Engenharia Química, precisamos analisar processos que trazem em suas linhas misturas de duas ou mais substâncias. Nesses problemas, é comum termos informação somente sobre o que acontece com uma das substâncias ou componentes de uma mistura e, por isso, é fundamental compreendermos conceitos relacionados à concentração desses componentes em cada corrente da planta.

Você deve saber bem do que se trata a expressão concentração, mas vamos refrescar um pouco sua memória: falamos que a concentração é a razão entre uma parte e o todo. Como assim? Imagine que você queira expressar a significância de uma substância em uma mistura ou em um sistema qualquer. Se tivermos 20g de sal e 80g de água, juntos teremos 100g no total, sendo que 20% em massa desse sistema são compostos por sal e o restante, 80%, é composto por água.

Dependendo do problema, será necessário trabalhar com o balanço usando base mássica, assim como existem problemas que exigem que trabalhemos em base molar. Por isso, precisamos deixar nítido como expressar a fração molar e a fração mássica de uma substância em uma corrente.

2.2.1. Fração molar (x)

A fração molar pode ser definida como:

$$x_{\text{componente } i}^{\text{corrente } n} = \frac{n_{\text{componente } i}^{\text{corrente } n}}{N_{\text{corrente } n}}$$

ou a razão entre a vazão molar de um componente i em uma corrente n e a vazão molar total dessa corrente n .

2.2.2. Fração mássica (y)

A fração mássica pode ser definida como:

$$y_{\text{componente } i}^{\text{corrente } n} = \frac{m_{\text{componente } i}^{\text{corrente } n}}{W_{\text{corrente } n}}$$

ou a razão entre a vazão mássica de um componente i em uma corrente n e a vazão mássica total dessa corrente n .

2.3. OPERAÇÕES UNITÁRIAS

Chamamos de operações unitárias toda e qualquer etapa básica de um processo. Geralmente, envolve alguma alteração física, como aquecimento ou resfriamento, mudança de estado físico, mistura ou separação. As reações químicas também estão dentro das operações unitárias e são chamadas de processos unitários. Quanto ao estudo de operações unitárias, no curso de Engenharia Química da UFPR você aplicará conceitos estudados nas disciplinas de Fenômenos de Transporte, que se divide em três.

A primeira trata do transporte de quantidade de movimento e seu estudo é aplicado em Operações Unitárias I, disciplina que trata das operações que consistem nas etapas de transporte de material dentro de uma fábrica, como o transporte de fluidos por bombas e compressores, e também de separação, como filtração e centrifugação, por exemplo. Em Fenômenos de Transporte II, você estudará mecanismos de transporte de calor, os quais serão aplicados na disciplina de Operações Unitárias II, esses conceitos serão aplicados para trocadores de calor, cristalização, secagem e geração de vapor, por exemplo. Por fim, em Fenômenos de Transporte III, serão estudados mecanismos de transporte de massa, os quais são aplicados em Operações Unitárias III (e em algumas das operações estudadas em Operações Unitárias II), em operações como absorção, destilação, adsorção e extração. Assim, é importante adquirir noções básicas dessas operações, como é feito na disciplina de Introdução à Engenharia Química e neste minicurso.

Deixaremos as operações envolvendo reações químicas para a penúltima aula do minicurso. Assim, restam as operações que podemos agrupar em dois grandes grupos: mistura e separação.

2.4. OPERAÇÕES DE MISTURA

A preparação de misturas é uma parte essencial dentro da maioria dos processos nas indústrias químicas. Ela está envolvida na preparação de reagentes, na mistura final dos produtos gerados e outras tantas etapas. Dependendo das substâncias que serão misturadas, temos diferentes tipos de tanques de mistura e formas de executar essa operação.

Para o balanço de massa em tanques de mistura, teremos duas ou mais correntes de entrada e uma única corrente de saída. São comuns problemas para determinar as frações dos componentes na saída do tanque ou quanto de um determinado componente deve ser alimentado, a fim de preparar uma mistura desejada.

2.5. OPERAÇÕES DE SEPARAÇÃO

Separar componentes é uma das etapas cruciais em um processo. Geralmente usamos essas operações quando queremos um produto final puro, livre das outras substâncias presentes no processo, ou quando, numa etapa intermediária, certo componente não possa participar da próxima, por prejudicá-la ou por quisermos dar outro destino a esse componente. De forma geral, em problemas de balanço de massa para operações de separação, teremos pelo menos uma corrente de alimentação e duas ou mais correntes de saída. Cada problema poderá variar de equipamento para equipamento, como você poderá ver nos exercícios ao longo do minicurso e da disciplina de Introdução à Engenharia Química. Na sequência, abordaremos um pouco sobre as operações mais comuns de separação.

2.5.1. Decantação e Centrifugação

Operações usadas na separação entre misturas heterogêneas, como líquidos e sólidos, por exemplo. A decantação é uma operação lenta que emprega a aceleração gravitacional e o princípio de diferença de densidades como agentes na separação, que fazem com que as partículas sólidas dispersas em um líquido precipitem lentamente em direção ao fundo do decantador, enquanto o líquido é coletado, geralmente por vertedouros nas bordas do equipamento. A centrifugação, por sua vez, aplica a força centrífuga em vez da gravitacional e, como essa força é muito maior que a gravitacional, essa operação é muito mais rápida, porém mais custosa, já que é preciso fornecer energia para gerar essa força. Em problemas desse tipo,

teremos, então, uma corrente de alimentação com líquido e sólido e duas saídas do equipamento, uma rica em sólidos e outra em líquido.

2.5.2. Filtração

A filtração também tem como objetivo separar sólidos de um líquido. Nesta operação, a suspensão, termo utilizado para um líquido em que partículas sólidas estão presentes, atravessa um meio poroso, que chamamos de meio filtrante. Ao atravessar esse meio, a maior parte das partículas fica retida, formando a torta de filtro. Problemas de balanço de massa envolvendo filtração são bastante semelhantes ao exemplo do tópico anterior, em que uma corrente de líquido + partículas é a entrada do equipamento e temos duas saídas: uma para o filtrado, formada pelo líquido mais límpido, e outra para a torta, onde está a maior parte dos sólidos.

2.5.3. Evaporação

A operação de evaporação tem como objetivo aumentar a concentração de um sólido em uma solução líquida. Isso porque, na indústria, a questão do transporte do produto leva em conta a massa do que se deseja transportar. Por exemplo, se você quiser vender seu suco integral de laranja, será mais barato evaporar parte da água, concentrando o suco. A operação tem como princípio aquecer a mistura, fazendo com que apenas o solvente evapore. Em problemas de balanço de massa para esse tipo de equipamento, encontraremos uma corrente de alimentação contendo uma fração líquida e outra sólida. Na saída, teremos duas correntes, uma com o vapor do líquido e outra com a mistura com maior concentração de sólidos em relação à entrada.

2.5.4. Cristalização

A cristalização é uma operação de separação de sólidos e líquidos. Seu princípio fundamental é a da supersaturação de uma solução, atingida por diversas formas, sendo a mais comum por diminuição da temperatura de uma solução saturada. Falamos “supersaturação” o estado em que a quantidade de sólido dissolvida em um solvente é maior que a máxima suportada por ele em uma determinada temperatura. Nessa condição, a mistura fica bastante instável e, dependendo das condições de operação, temos a formação de cristais pequenos ou grandes. Em problemas de balanço de massa, encontraremos uma corrente de alimentação contendo sólido e líquido. Na saída, também teremos sólido e líquido, mas dividimos em duas correntes, uma com a solução saturada a uma temperatura inferior à de entrada e outra com os cristais formados. Outra característica nesse tipo de problema é tratar da concentração de saturação ou solubilidade. Geralmente desconhecemos a solubilidade na temperatura desejada, sendo necessário uma interpolação linear.

2.5.5. Extração

A extração é uma operação usada na separação de um componente de uma mistura, empregando um solvente seletivo que irá extrair o componente desejado. Um exemplo clássico na Engenharia Química é o emprego do hexano como solvente na extração do óleo do germe de trigo. Problemas de balanço de massa com essa operação trarão duas entradas, uma sendo a mistura com o componente que deverá ser separado e a outra com o solvente utilizado. E também teremos duas saídas, uma com a mistura exausta, com menor concentração daquele componente com relação à entrada, e o solvente com o componente extraído.

2.5.6. Secagem

Operação que ocorre geralmente no final de um processo. Consiste basicamente na remoção de água de um material sólido, com o objetivo de reduzir o custo do transporte, da mesma forma que a evaporação faz ao concentrar um material, e preservar as características do mesmo, sendo muito importante, por exemplo, para a conservação de madeira que, quando úmida, sofre com fungos e outros problemas que reduzem sua vida útil. Em problemas de balanço de massa, encontraremos duas entradas: uma para o material úmido e outra para o ar quente. Na saída, temos duas correntes: uma para o ar com a umidade removida e outra para o material secado. Para facilitar os cálculos, geralmente, não se inclui o ar nos cálculos, tornando desnecessária a presença da corrente de ar seco no balanço de massa.

2.5.7. Base úmida e base seca

A secagem pode ser caracterizada pela quantidade de água que é removida com relação à quantidade de material que foi secado. Para isso, utilizamos uma razão entre massas, que pode estar em base úmida ou seca. A base úmida consiste na razão entre a massa de água presente na corrente de ar úmido e a massa de material úmido (entrada). Já a base seca consiste na razão entre a massa de água removida e a massa de material secado (saída).

2.5.8. Destilação

Operação bastante conhecida e importante na Engenharia Química. É empregada na separação de líquidos em solução. Seu princípio é a diferença de volatilidade dos componentes misturados. Em uma coluna de destilação, onde a mistura é fervida em diferentes estágios de separação (pratos), a composição da mistura vai mudando de um para o outro, onde a concentração do componente mais volátil é maior no topo e a concentração dos componentes menos voláteis é maior no fundo da coluna. A corrente de fundo é alimentada a um refeedor, que vaporiza o material alimentado e o devolve à coluna, fornecendo toda a energia que é utilizada pela coluna. No topo, o vapor produzido passa pelo condensador de topo, que devolve parte do condensado à torre, para que possa evaporar novamente, garantindo maior pureza do componente que se deseja separar.

Em problemas de balanço de massa envolvendo colunas de destilação, teremos uma alimentação com dois ou mais líquidos e duas saídas: uma de topo, contendo pelo menos o componente mais volátil ou este em maior quantidade, e a corrente de fundo, contendo os componentes menos voláteis da alimentação em maior quantidade. Um conceito que aparece bastante nesses problemas é o de recuperação:

$$\text{Recuperação} = \frac{\text{quantidade que sai no topo}}{\text{quantidade alimentada}}$$

Por exemplo, se, em uma mistura de álcool e água, você tivesse 10 kg de álcool e a sua recuperação fosse de 90%, significa que você terá na corrente de topo 9 kg de álcool, enquanto que na corrente de fundo, 1 kg de álcool estará presente na água.

2.5.9. Absorção

Enquanto a destilação busca separar a mistura entre líquidos, também temos uma operação destinada à separação de uma mistura de gases: a absorção. Em uma coluna de absorção, alimentamos uma mistura gasosa por baixo, que irá subir. Em contracorrente, um solvente líquido desce pela coluna, absorvendo pelo menos um dos componentes da mistura que se deseja separar. Para maximizar a área de contato entre o líquido e os gases, bem como manter esse contato por mais tempo, a fim de aumentar a eficiência da operação, preenchemos a coluna com material sólido que chamamos de recheio. Em problemas de balanço de massa com colunas de absorção, encontraremos duas entradas: uma para a mistura gasosa e outra para o solvente líquido. Assim como as entradas, teremos duas saídas: uma para os gases que não se misturaram com o líquido e outra para o solvente com o componente absorvido.

2.6. OUTRAS OPERAÇÕES

2.6.1. Aquecimento e Resfriamento

É comum a necessidade de aquecer ou resfriar uma corrente de material em um processo da indústria química. Para esse fim, dependendo do que você queira esquentar ou esfriar e da forma como se deseja fazer isso, usam-se diferentes tipos de trocadores de calor. Esses equipamentos não entram nos cálculos de balanço de massa, pois havendo apenas mudança de temperatura, as concentrações e vazões mássicas permanecerão as mesmas antes e após essa etapa. É importante, no entanto, saber da existência e da importância dessa operação, pois, com os conhecimentos de Termodinâmica que você irá adquirir no terceiro período, fará cálculos de balanço de energia no quarto período, nas disciplinas de Processos Químicos e de Integração II.

2.6.2. Moagem

Moinhos (também chamados de britadores) são utilizados, basicamente, para reduzir a granulometria de sólidos, ou seja, processar partículas de tamanho grande para que elas sejam reduzidas ao tamanho que o processo exigir. Esses equipamentos estão presentes na indústria de cimento, metalurgia extrativa e alimentos, por exemplo. Porém, é uma operação de eficiência muito baixa, o que significa consumir muita energia em comparação ao baixo rendimento produzido.

2.7. BALANÇO DE MASSA EM PROCESSOS

Ao lidar com o balanço de massa em processos, você terá que fazer cálculos para mais de um equipamento. Mesmo assim, o raciocínio permanece o mesmo. Assim como é feito no papel, você deve identificar todas as informações úteis disponíveis sobre o processo e resolver sequencialmente o balanço de massa para cada equipamento, até que o tenha concluído para toda a planta.

2.7.1. Volumes de controle

O conceito matemático da lei de conservação de massa apresentado no item 2.1 deste capítulo é válido para qualquer volume de controle. Um volume de controle é uma região delimitada tomada como sistema ao qual se aplicam leis de conservação para encontrar equações que descrevem seu comportamento ou que permitam que sejam determinadas respostas para diversos problemas. Dentro do assunto que estamos estudando, essa ideia é bastante útil quando aplicada para definir um equipamento como volume de controle, vários equipamentos ou até mesmo todo o processo, por exemplo. Feito isso, deve-se proceder de tal forma que para o volume de controle definido existam informações suficientes para determinar a vazão de uma determinada corrente ou sua composição, por exemplo.

Quando tratamos do balanço de massa em equipamentos isolados, fizemos nossas planilhas com tabelas simplificadas destacando as correntes que entravam e saíam, assim como suas composições e vazões. No caso de um volume de controle, usamos a mesma ideia, mas em termos mais adequados, ao delimitarmos um volume de controle, teremos que suas fronteiras são denominadas superfície de controle. Assim, no caso de um equipamento isolado, as correntes que dele saem e as que entram nele são correntes que estão atravessando sua superfície de controle. No caso de um volume de controle que envolva o processo inteiro, essas correntes seriam todas as matérias-primas utilizadas e todos os produtos e efluentes gerados. Esta situação é interessante, pois é sempre necessário que, ao final, você verifique se o balanço de massa está “fechando”.

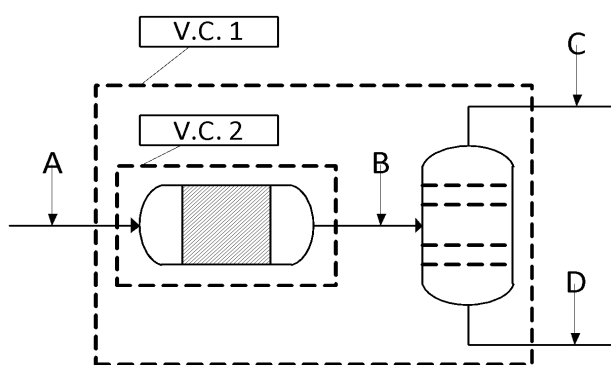


Figura 35 - Representação de volumes de controle em um fluxograma de processo

Na figura acima, representamos dois volumes de controle. Podemos aplicar o balanço de massa ao equipamento envolvido no volume de controle 2 (com as correntes A e B) ou ao processo inteiro (com as correntes A, C e D).

2.8. DICAS PARA BALANÇO DE MASSA NO LIBREOFFICE

O uso da fixação de células e alça de replicação são ferramentas importantes pois facilitam e agilizam os cálculos em nossos processos.

Por exemplo, caso seja conhecida a massa total de uma corrente, bem como as frações dos compostos que são parte dela, é possível obter rapidamente a vazão de cada composto. Para isso, basta calcular a vazão do primeiro (multiplicando a massa total pela fração do composto) com a célula da massa total fixada. Assim, utilizando a alça de replicação o processo será repetido para todos os compostos da corrente. A figura abaixo demonstra o que foi enunciado:

	A	B	C	D
1	Evaporador			
2	kg/h	Alimentação		
3	Componente	Vazão	Fração	
4	Água	=D4*\$C\$7	0,588235	
5	Ácido		0,294118	
6	Base		0,117647	
7	Total	170	1	

Figura 36 - Uso da fixação e replicação nas massas

De maneira semelhante, supondo que se tenha todas as vazões mássicas de uma corrente, é possível utilizar a fixação de célula para se calcular as frações correspondentes de cada composto na corrente. Para isso, bastaria fazer o cálculo da primeira fração (dividindo a massa de um dado composto pela massa total) com a célula da massa total fixada. Assim, usando a alça de replicação é possível repetir o experimento para obtenção de todas as frações. A figura a seguir ilustra tal processo.

	A	B	C	D
1	Evaporador			
2	kg/h	Alimentação		
3	Componente	Vazão	Fração	
4	Água	100	=C4/\$C\$7	
5	Ácido	20		
6	Base	50		
7	Total	170		

Figura 37 - Uso da fixação e replicação nas frações

Também é importante lembrar que a soma de todas as frações de uma corrente corresponde ao seu total (100% ou 1 para quando não se usa porcentagem). Para facilitar o processo de somar todas as células de uma dada coluna, pode-se utilizar o atalho **ALT + =** que fornecerá o demonstrado na imagem a seguir:

	A	B	C	D	E
1	Evaporador				
2	kg/h	Alimentação			Saída
3	Componente	Vazão	Fração		
4	Água	100	0,588235		
5	Ácido	20	0,117647		
6	Base	50	0,294118		
7	Total	=SOMA(D4:D6)			
8		SOMA(núm1; [núm2]; ...)			

Figura 38 - Aplicação do atalho de soma

Por fim, também é importante comentar que conhecendo uma dada concentração fixa, como por exemplo, 36 gramas de sal para 100 gramas de água, é possível estabelecer as frações mássicas de água e sal da solução. Para isto basta assumir uma base de cálculo de 136 gramas totais, sendo 36 destes de sal e os outros 100 de água.

2.9. EXERCÍCIOS

Exercício 2.1. Uma solução aquosa de soda cáustica a 12% deve ser concentrada até 31%. Para isso, é empregado um evaporador cujo único componente na corrente de vapor é a água. Sabendo-se que o evaporador produzirá 300 kg/h de solução concentrada, desenvolva o balanço de massa para essa operação.

Exercício 2.2. Suco de laranja é concentrado em um evaporador de 35% em massa de sólidos até 65% em massa de sólidos. Desenvolva o balanço de massa para uma produção de 1750 kg/h de suco de laranja concentrado e determine a quantidade de água removida no evaporador.

Exercício 2.3. Uma coluna de destilação é alimentada com 500 kmol/h de uma solução água/ácido acético 20% molar em ácido. Sabendo-se que a corrente de topo recupera 90% do ácido alimentado, e que a corrente de fundo é de 2,46% molar em ácido, desenvolva o balanço material do sistema.

Exercício 2.4. Deseja-se extrair os açúcares da cana-de-açúcar previamente triturada. Para isso, é empregado um extrator por onde entra a cana e, em contracorrente, usa-se a água como solvente para a extração. Considera-se que a cana possui 65,0% de sua composição como água, 20,0% de açúcares e o restante, fibras. A água consegue extrair 90% de todos os açúcares, enquanto as fibras permanecem na cana, que sai do extrator como bagaço úmido, com 92,0% de umidade. A água empregada sai como solução rica em açúcares, com concentração de 15,0% de sólidos. Calcule a vazão mássica de água necessária para a extração nessas condições e as vazões mássicas das saídas para uma entrada de 1000 kg/h de cana triturada.

Exercício 2.5. Após um processo de cristalização, os cristais foram separados da solução mãe, porém o custo de seu transporte será elevado, por estarem bastante úmidos. Desta forma, é necessário que esses cristais passem por um processo de secagem, para reduzir sua umidade de 85,0% para 8,00%. Calcule a quantidade de água removida na operação, sabendo que entram no secador 120 kg/h de alimentação. Calcule também, a massa de água removida por quilograma de produto em base seca e por quilograma de alimentação.

Exercício 2.6. A uma destiladora, alimentam-se 1000 kmol/h de uma mistura líquida de hexano, tolueno e benzeno. As frações molares nessa corrente são, respectivamente, 34%, 41% e 25%. A coluna consegue recuperar 86% do hexano alimentado. A corrente de fundo possui 68% de tolueno e a vazão de benzeno é três vezes a de hexano nesta corrente. Desenvolva o balanço de massa para essa operação.

Exercício 2.7. Deseja-se reduzir o teor de água de 100 kg/h de um produto alimentício de 80% para 10% em massa, utilizando um secador tipo tambor rotativo. Com base nessas informações, calcule:

- a) a quantidade de água removida;
- b) massa de água removida por kg de produto seco;
- c) massa de água removida por kg de material úmido alimentado.

Exercício 2.8. Uma solução saturada de $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ a 100°C é resfriada até 5°C em um cristalizador para obtenção de cristais anidro. Qual a quantidade de cristais formados para 100 kg/h de solução alimentada?

Dados:

Solubilidade do sal a 100°C : 34 kg de sal/100 kg de água;

Solubilidade do sal a 5°C : 5 kg de sal/100 kg de água.

Exercício 2.9. Em um processo de produção de alumina, obtida a partir do minério do alumínio bauxita, deseja-se obter cristais desse material pelo processo Bayer: 200 kg/h de bauxita moída contendo 54% de alumínio e o restante de impurezas, como óxidos de metais, são alimentados a um digestor, onde ocorre a mistura com 1000 kg/h de uma solução de soda cáustica 26%. O alumínio da bauxita é dissolvido em NaOH e as impurezas sólidas permanecem na mistura. Em um posterior processo de clarificação, envolvendo decantação e filtração, a mistura é espessada e as impurezas decantam na forma de lama vermelha, totalmente retiradas nesta etapa, restando parte da água da solução. As impurezas nessa corrente representam 21% de sua composição. O licor (fase líquida) destina-se a um cristalizador onde será feita a precipitação do alumínio na forma de alumina. A eficiência desta operação é de 89%. A partir desses dados, construa o balanço de massa para esse processo.

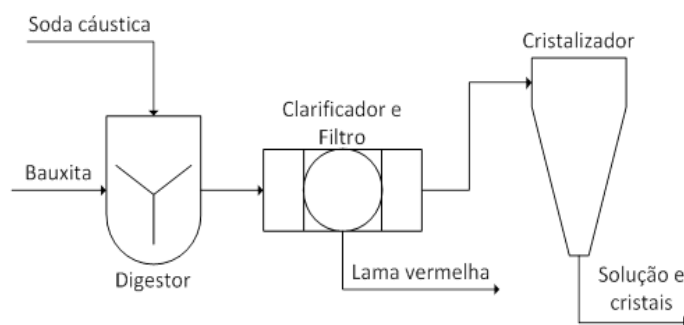


Figura 39 - Esquema do exercício 2.9.

Exercício 2.10. Deseja-se obter o óleo de um determinado grão em um processo industrial. Nesse processo, 500 kg/h de sólidos são transportados por uma esteira na qual os grãos são lavados com água, retirando folhas, cascas e outras impurezas da colheita dos grãos. Da carga, 85% são de grãos úteis e o restante, sujeiras a serem removidas. Após a lavagem, os sólidos são destinados à extratora, onde hexano será utilizado para extrair o óleo dos grãos, que se encontra em porcentagem mássica de 23% e é totalmente removido nesta etapa do processo. A mistura de óleo e hexano, passa por uma destiladora com recuperação de 98%. No produto destilado, 3% em massa dessa corrente é óleo. Sabendo-se que 800 kg/h de hexano são utilizados para a extração e que 1 kg/h de água remove 0,2 kg/h de sujeiras encontradas nos grãos, construa o balanço de massa para esses três equipamentos.

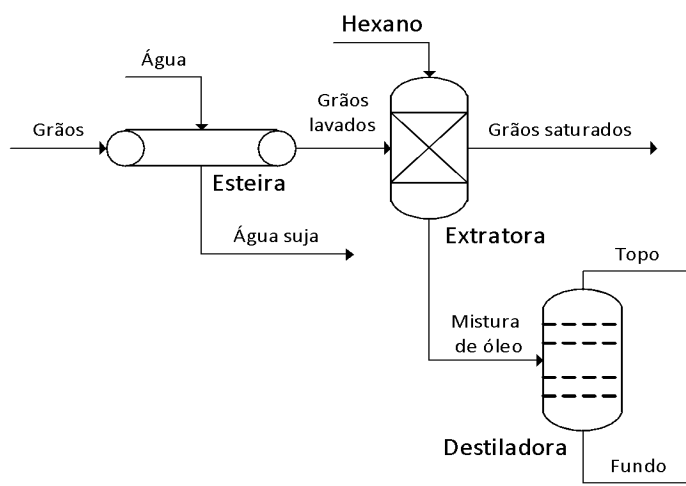


Figura 40 - Fluxograma do exercício 2.10.

Exercício 2.11. A solubilidade do sal de cozinha, NaCl, a 25,0 °C é de 36,0g/100g de água. Então, se quisermos preparar uma solução saturada, ou seja, em que a quantidade de sal dissolvido estivesse no máximo da solubilidade da água, partindo de 100g de água, teríamos que usar 36,0 g de sal. No total, a mistura teria 136 g. Ao fazermos uma rápida pesquisa, também podemos descobrir que a massa molar do NaCl é 58,4 g/mol e a da água, 18,0 g/mol. Sabendo de tudo isso, calcule a fração molar e a mássica do sal nessa mistura.

Exercício 2.12. Deseja-se preparar uma solução aquosa de 45,0% em massa de ácido sulfúrico. Se a um tanque de mistura são alimentados 200 kmol/h de água, qual deverá ser a vazão mássica de ácido sulfúrico para que se obtenha a mistura desejada?

Exercício 2.13. Em uma estação de tratamento de água, sulfato de alumínio é usado como agente floculante, que reage com as partículas em suspensão na água, formando certa lama, a qual será chamada de lodo. A água, com 6,00% em massa de lodo, é destinada a um decantador. Os raspadores no fundo do decantador recolhem o lodo pastoso com 53,0% em massa de sólidos, enquanto a água é coletada por vertedouros com concentração desprezível de sólidos. Sabendo que o decantador recebe 2000 kg/h de água floculada, calcular a massa de água pura coletada pelos vertedouros.

Exercício 2.14. Na produção de sal a partir da água salgada do mar, uma das etapas importantes é a concentração do sal a partir da evaporação da água, a fim de produzir salmoura (solução saturada de sal e água), para que o sal possa ser produzido na etapa de cristalização. Sabendo-se que a salmoura deve ter 26,5% em massa de sal e que 1000 kg/h de água salina (3,54% em massa de sal) passam por essa etapa, calcule a massa de água evaporada e a massa de salmoura produzida.

Exercício 2.15. Em uma planta de produção de nitrato de sódio, pretende-se obter cristais desse sal resfriando uma solução saturada de NaNO₃, que sai de outra etapa do processo a 100 °C, até a temperatura de 32 °C. Sabendo que a vazão da solução quente é de 1000 kg/h, determinar a vazão de cristais e a composição da solução na entrada e na saída do cristalizador, bem como o rendimento da operação. Dica: obtenha a solubilidade do nitrato de sódio a 32°C por interpolação linear. Os dados para a solubilidade do sal estão dispostos na tabela a seguir.

Exercício 2.16. Etanol 40,0% é destinado a uma torre de destilação com vazão de 1500 kg/h. Sabe-se que a recuperação de etanol é de 85,0% e que a corrente de topo apresenta apenas 4,00%

da sua composição mássica de água. Desenvolver o balanço de massa para a coluna de destilação, incluindo a composição das correntes de topo e de fundo.

Exercício 2.17. Pretende-se separar acetona de uma mistura gasosa, em que 70,0% desta são compostos por ar atmosférico e o restante por acetona. O solvente utilizado na absorção será a água, a qual será alimentada em contracorrente. Sabendo-se que 90,0% da acetona são absorvidos pela água, desenvolva o balanço de massa para a coluna de absorção para que a solução aquosa de acetona tenha concentração de 10,0% em quantidade de matéria, com capacidade para receber 500 kmol/h da mistura gasosa.

Exercício 2.18. Um cristalizador deve ser utilizado para produzir 915 kg/h de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ pelo resfriamento de uma solução saturada desse sal alimentado ao cristalizador a 50°C. A suspensão de cristais na solução saturada deverá sair do cristalizador a 25°C. Desenvolva o balanço de massa para essa operação, sabendo que a eficiência da cristalização é de 51,4%.

Solubilidade:

50°C → 48kg FeSO_4 /100kg H_2O ($x_{\text{FeSO}_4} = 0,324$; $x_{\text{H}_2\text{O}} = 0,676$)

Massa Molecular:

$\text{FeSO}_4 = 152 \text{ g/gmol}$

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 278 \text{ g/gmol}$ ($x_{\text{FeSO}_4} = 0,547$; $x_{\text{H}_2\text{O}} = 0,453$)

Exercício 2.19. Uma coluna de destilação recebe 2000 kg/h de uma solução de ácido acético em água, a 15% em massa de ácido. Deseja-se um produto de topo com 95% em massa de ácido, com recuperação de 85% do ácido alimentado. Desenvolver o balanço de massa na coluna.

Exercício 2.20. Deseja-se concentrar, em um evaporador, suco de uva contendo 15% em massa de sólidos até 40% em massa de sólidos. Desenvolva o balanço de massa no evaporador retirando-se 250 kg/h de água.

Exercício 2.21. Um cristalizador que opera a 20°C é alimentado com 100 kg/h de uma solução saturada de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, a qual é resfriada até 5°C. Desenvolva o balanço de massa no cristalizador e calcule o rendimento do processo.

Solubilidade do sal a 20°C: 35,5 kg de sal/100 kg de água;

Solubilidade do sal a 5°C: 6,5 kg de sal/100 kg de água.

Exercício 2.22. Pretende-se destilar 200 mol/h de uma mistura binária, líquida saturada, formada por 60% de benzeno e 40% de tolueno em base molar. Deve-se produzir um destilado com 95% molar de benzeno e um produto de fundo com 5% molar de benzeno. Quais são as vazões de produto de topo e de fundo?

Exercício 2.23. Um determinado sólido contendo água 20% em massa de água necessita ser secado para produzir um sólido que contenha no máximo 4,0% de água. Calcule o percentual de remoção de água do sólido original.

Exercício 2.24. Na fabricação de amido a partir de mandioca sabe-se que 10000 kg/h de mandioca com 5% de impurezas chegam a um moinho com 75% de eficiência, gerando mandioca moída (o resto da mandioca é conhecida como bagaço). A seguir é adicionada uma corrente de 3000 kg/h de água para lavagem. A água faz com que haja separação das fibras e do amido da mandioca. Sabe-se que o amido, correspondente a 85% da mandioca moída, é praticamente insolúvel em água e por isso fica em suspensão na mesma, enquanto as fibras possuem uma solubilidade muito elevada. A corrente passa por uma série de peneiras que retiram totalmente o bagaço (considera-se que a umidade presente é desprezível). As impurezas só são retiradas com a utilização de uma centrífuga, onde além de 100% de impurezas retiradas, também há uma perda de 3% de amido. A corrente restante passa por um filtro rotativo a vácuo para a separação da solução água-fibras e

amido. O filtro possui uma eficiência de 94% em relação à solução e as fibras não são capazes de passar pelo meio filtrante, retidas com 62% de umidade. Antes do empacotamento do produto, há uma etapa de secagem onde uma corrente de 500 kg/h de ar 100% seco faz com que o material perca 93% de água presente antes de entrar no secador. Desenvolva o balanço de massa do projeto e responda se o produto obtido apresenta uma boa qualidade.

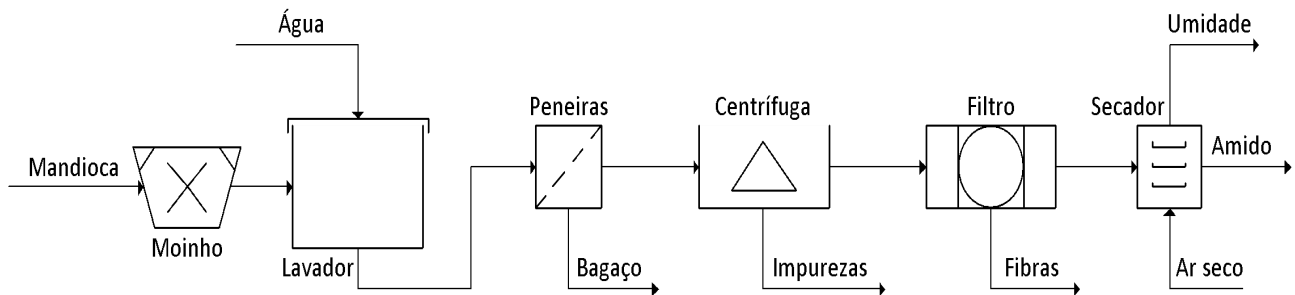


Figura 41 - Fluxograma do exercício 2.22.

Exercício 2.25. Na seção de preparo de carga de uma indústria de fabricação de gasolina natural, o isopentano é removido da gasolina livre de butano. Para simplificar, suponha que o processo e seus componentes sejam aqueles mostrados na figura abaixo. É importante salientar que uma corrente que se divide em outras sem equipamentos faz com que todas as correntes derivadas tenham suas mesmas frações mássicas e molares. Desenvolva o balanço de massa na planta.

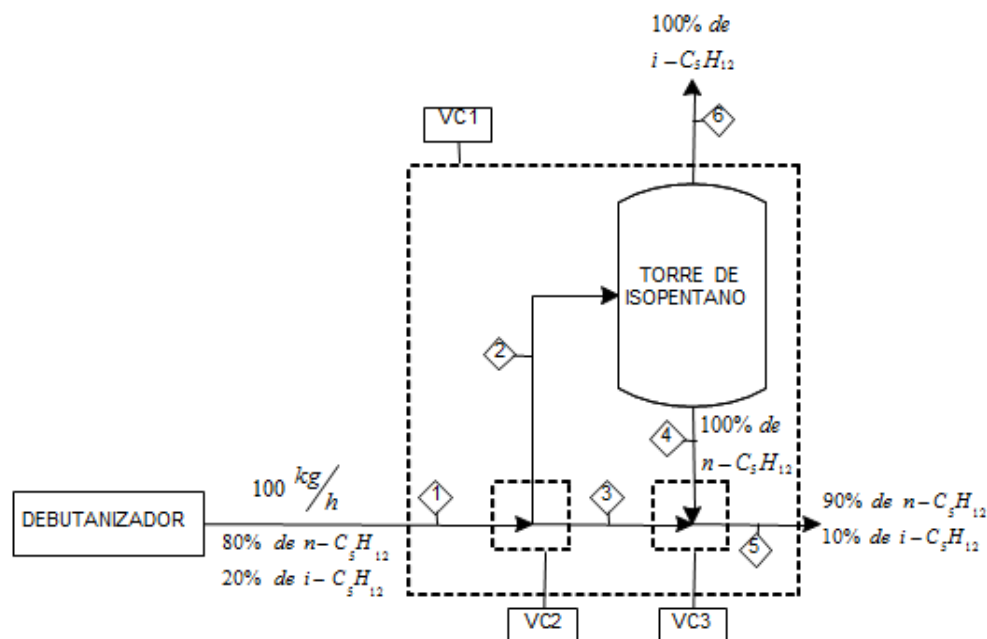


Figura 42 - Esquema do exercício 2.23.

2.10. RESPOSTAS DOS EXERCÍCIOS

Exercício 2.1.

Dados		
Concentração Inicial	0,12	
Concentração Final	0,31	
Produção	300,0 0	kg/h

Evaporador						
kg/h	Alimentação		Água evaporada		Saída	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	682,0 0	0,88	475,0 0	1,00	207,0 0	0,69
NaOH	93,00	0,12	0,00	0,00	93,00	0,31
Total	775,0 0	1,00	475,0 0	1,00	300,0 0	1,00

Exercício 2.2.

Evaporador						
kg/h	Alimentação		Topo		Fundo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	2112,5 0	0,65	1500,0 0	1,00	612,50	0,35
Sólidos	1137,5 0	0,35	0,00	0,00	1137,5 0	0,65
Total	3250,0 0	1,00	1500,0 0	1,00	1750,0 0	1,00

Resultado		
Água removida:	1500,0 0	kg/h

Exercício 2.3.

Dados		
Concentração da Solução	0,20	
Recuperação	0,90	
Concentração do fundo	0,024 6	
Alimentação	500,0 0	kmol/h

Coluna de Destilação						
kmol/h	Alimentação		Topo		Fundo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	400,00	0,80	3,50	0,04	396,50	0,9754
Ácido Acético	100,00	0,20	90,00	0,96	10,00	0,0246
Total	500,00	1,00	93,50	1,00	406,50	1,0000

Exercício 2.4.

Dados		
Eficiência	0,90	
Umidade do bagaço	0,92	
Concentração da solução	0,15	
Alimentação	1000,00	kg/h

Extrator								
kg/h	Cana moída		Água		Bagaço úmido		Solução doce	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Açúcares	200,00	0,20	0,00	0,00	20,00	0,01	180,00	0,15
Fibras	150,00	0,15	0,00	0,00	150,00	0,07	0,00	0,00
Água	650,00	0,65	2325,00	1,00	1955,00	0,92	1020,00	0,85
Total	1000,00	1,00	2325,00	1,00	2125,00	1,00	1200,00	1,00

Exercício 2.5.

Dados		
Umidade antes	0,85	
Umidade depois	0,08	
Alimentação	120,00	kg/h

Secador						
kg/h	Alimentação		Umidade removida		Saída	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Cristais	18,00	0,15	0,00	0,00	18,00	0,92
Água	102,00	0,85	100,43	1,00	1,57	0,08
Total	120,00	1,00	100,43	1,00	19,57	1,00

Eficiência de secagem		
Base úmida	0,84	kg água por kg de material úmido
Base seca	5,58	kg água por kg de material seco

Exercício 2.6.

Dados		
Recuperação de hexano	0,86	x Hexano
Tolueno no fundo	0,68	
Benzeno no fundo	3,00	

Destiladora						
kmol/h	Alimentação		Topo		Fundo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Hexano	340,00	0,34	292,40	0,72	47,60	0,08
Tolueno	410,00	0,41	5,40	0,01	404,60	0,68
Benzeno	250,00	0,25	107,20	0,26	142,80	0,24
Total	1000,00	1,00	405,00	1,00	595,00	1,00

Exercício 2.7.

Secador						
kg/h	Alimentação		Topo		Fundo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	80,00	0,80	77,78	1,00	2,22	0,10
Sólidos	20,00	0,20	0,00	0,00	20,00	0,90
Total	100,00	1,00	77,78	1,00	22,22	1,00

Respostas		
a)	77,78	kg/h
b)	3,89	
c)	0,78	

Exercício 2.8.

Frações mássicas em Sol. Saturada		
Temperatura	Sal	Água
100°C	0,25	0,75

5°C	0,05	0,95
-----	------	------

Cristalizador						
kg/h	Alimentação		Fundo			
	Sol. Sat. a 100°C		Cristais		Sol. Sat. a 5°C	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	74,63	0,75	0,00	0,00	74,63	0,95
Sólidos	25,37	0,25	21,64	1,00	3,73	0,05
Total	100,00	1,00	21,64	122,64	78,36	1,00

Exercício 2.9.

Dados				
Alimentação	200,00	kg/h	Conc. NaOH na soda	0,26
Teor de Alumínio	0,54		Conc. Lama vermelha	0,21
Alimentação de soda	1000,00	kg/h	Eficiência cristalização	0,89

Digestor						
kg/h	Bauxita		Soda cáustica		Saída	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Alumínio	108,00	0,54	0,00	0,00	108,00	0,09
NaOH	0,00	0,00	260,00	0,26	260,00	0,22
Impurezas	92,00	0,46	0,00	0,00	92,00	0,08
Água	0,00	0,00	740,00	0,74	740,00	0,62
Total	200,00	1,00	1000,00	1,00	1200,00	1,00

Clarificação e Filtração						
kg/h	Alimentação		Lama vermelha		Licor	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Alumínio	108,00	0,09	0,00	0,00	108,00	0,14
NaOH	260,00	0,22	0,00	0,00	260,00	0,34
Impurezas	92,00	0,08	92,00	0,21	0,00	0,00
Água	740,00	0,62	346,10	0,79	393,90	0,52
Total	1200,00	1,00	438,10	1,00	761,90	1,00

Cristalização						
kg/h	Alimentação		Solução		Cristais	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Alumínio	108,00	0,14	11,88	0,02	96,12	1,00
NaOH	260,00	0,34	260,00	0,39	0,00	0,00
Água	393,90	0,52	393,90	0,59	0,00	0,00
Total	761,90	1,00	665,78	1,00	96,12	1,00

Dados						
Alimentação	500	kg/h	Hexano Empregado (kg/h)	800	Recuperação	0,98
% de Grãos na Alimentação	0,85		Teor de óleo	0,23	Óleo no topo	0,03
Proporção de água	5					

Esteira lavadora								
kg/h	Carga		Água de lavagem		Água suja		Grãos lavados	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Grãos	425,00	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	425,00	1,00
Sujeiras	75,00	0,15	0,00	0,00	75,00	0,17	0,00	0,00
Água	0,00	0,00	375,00	1,00	375,00	0,83	0,00	0,00
Total	500,00	1,00	375,00	1,00	450,00	1,00	425,00	1,00

Extratora de óleo								
kg/h	Grãos lavados		Hexano		Grãos saturados		Mistura de óleo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Grãos secos	327,25	0,77	0,00	0,00	327,25	1,00	0,00	0,00
Hexano	0,00	0,00	800,00	1,00	0,00	0,00	800,00	0,89
Óleo	97,75	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	97,75	0,11
Total	425,00	1,00	800,00	1,00	327,25	1,00	897,75	1,00

Destiladora						
kg/h	Mistura de óleo		Topo		Fundo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Hexano	800,00	0,89	784,00	0,97	16,00	0,18

Óleo	97,75	0,11	24,25	0,03	73,5 0	0,82
Total	897,7 5	1,00	808,2 5	1,00	89,5 0	1,00

Exercício 2.10.

Dados		
Componente	NaCl	H₂O
Massa molar (g/mol)	58,4 0	18,0 0
Solubilidade (g/100g)	36,0 0	

Solução		
	NaCl	Água
Massa (g)	36,00	100,00
Nº de mols	0,62	5,56
Fração mássica	0,26	0,74
Fração molar	0,10	0,90

Exercício 2.11.

Dados		
Concentração desejada	0,45	
Água alimentada	200,0 0	kmol/h
Massa molar (água)	18,00	kg/kmol

Mistura		
kg/h	Vazão	Fração
Água	3600,0 0	0,55
Ácido	2945,4 5	0,45
Total	6545,4 5	1,00

Exercício 2.12.

Dados		
Conc. Lodo na água alimentada	0,06	
Conc. Lodo na lama	0,53	
Conc. Lodo na água coletada	0,00	
Alimentação	2000,0 0	kg/h

Decantador						
kg/h	Alimentação		Clarificado		Decantado	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	1880,0	0,94	1773,5	1,00	106,4	0,47

	0		8		2	
Lodo	120,00	0,06	0,00	0,00	120,00	0,53
Total	2000,00	1,00	1773,58	1,00	226,42	1,00

Exercício 2.13.

Dados		
Concentração da salmoura	0,265	
Concentração da água salina	0,0354	
Alimentação	1000,00	kg/h

Evaporador						
kg/h	Alimentação		Água Evaporada		Salmoura	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	964,60	0,9646	866,42	1,00	98,18	0,735
Sal	35,40	0,0354	0,00	0,00	35,40	0,265
Total	1000,00	1,0000	866,42	1,00	133,58	1,000

Exercício 2.14.

Dados de solubilidade do nitrato de sódio	
Temperatura	Solubilidade (g em 100g de H ₂ O)
20	88,00
32	95,20
40	100,00
100	176,00

Frações mássicas em Sol. Saturada		
Temperatura	Sal	Água
100°C	0,64	0,36
32°C	0,49	0,51

Cristalizador						
kg/h	Alimentação		Solução Fria		Cristais	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	362,32	0,36	362,32	0,51	0,00	0,00
Nitrato	637,68	0,64	344,93	0,49	292,75	1,00
Total	1000,00	1,00	707,25	1,00	292,75	1,00

Resultado	
Rendimento	0,46

Exercício 2.15.

Dados		
Conc. Etanol	0,40	
Recuperação	0,85	
Conc. Água no topo	0,04	
Alimentação	1500,00	kg/h

Torre de Destilação						
kg/h	Alimentação		Topo		Fundo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Etanol	600,00	0,40	510,00	0,96	90,00	0,09
Água	900,00	0,60	21,25	0,04	878,75	0,91
Total	1500,00	1,00	531,25	1,00	968,75	1,00

Exercício 2.16.

Dados		
Conc. Ar Alimentação	0,70	
Eficiência	0,90	
Conc. Solução	0,10	
Alimentação	500,00	kmol/h

Coluna de Absorção								
kmol/h	Mistura gasosa		Água		Saída gases		Solução	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Ar	350,00	0,70	0,00	0,00	350,00	0,96	0,00	0,00
Água	0,00	0,00	1215,00	1,00	0,00	0,00	1215,00	0,90
Acetona	150,00	0,30	0,00	0,00	15,00	0,04	135,00	0,10
Total	500,00	1,00	1215,00	1,00	365,00	1,00	1350,00	1,00

Exercício 2.17.

Dados		
Componente	Massa molecular (g/gmol)	Concentração em FeSO ₄ .7H ₂ O
FeSO ₄	152,00	0,55

H ₂ O	18,00	0,45	
FeSO ₄ .7H ₂ O	278,00	Eficiência	0,514

Solubilidades		
Temperatura	Solubilidade (kg/100kg água)	Concentração de sólidos
50°C	48,00	0,32

Cristalizador						
kg/h	Alimentação		Fundo			
	Sol. Sat. a 50°C		Cristais (aqua-sal)		Sol. Sat. a 25°C	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	2027,76	0,68	414,71	0,45	1613,04	0,77
Sulfato de Ferro II	973,32	0,32	500,29	0,55	473,03	0,23
Total	3001,08	1,00	915,00	1,00	2086,08	1,00

Exercício 2.18.

Dados				
Conc. Alimentação	0,15	Recuperação	0,85	
Conc. Topo	0,95	Alimentação	2000,00	kg/h

Coluna de Destilação						
kg/h	Alimentação		Fundo		Topo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	1700,00	0,85	1686,58	0,97	13,42	0,05
Ácido Acético	300,00	0,15	45,00	0,03	255,00	0,95
Total	2000,00	1,00	1731,58	1,00	268,42	1,00

Exercício 2.19.

Evaporador						
kg/h	Alimentação		Topo		Fundo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	340,00	0,85	250,00	1,00	90,00	0,60
Sólidos	60,00	0,15	0,00	0,00	60,00	0,40
Total	400,00	1,00	250,00	1,00	150,00	1,00

Exercício 2.20.

Solubilidade e Concentração		
Temperatura	Solubilidade (kg/100kg de água)	Concentração de sólidos
20°C	35,50	0,26
5°C	6,50	0,06

Cristalizador						
kg/h	Alimentação		Fundo			
	Sol. Sat. a 20°C		Cristais		Sol. Sat. a 5°C	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	73,80	0,74	0,00	0,00	73,80	0,94
Sólidos	26,20	0,26	21,40	1,00	4,80	0,06
Total	100,00	1,00	21,40	1,00	78,60	1,00

Resposta	
Rendimento:	0,82

Exercício 2.21.

Dados			
Alimentação (kg/h)	10000,00	Eficiência da centrífuga	1,00
% de Impurezas na alimentação	0,05	Perda de amido	0,03
Eficiência da moagem	0,75	Eficiência da filtração	0,94
Água para lavagem (kg/h)	3000,00	Umidade da torta	0,62
% de Amido na Mandioca	0,85	Eficiência da secagem	0,93

Moinho				
kg/h	Alimentação		Saída	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Mandioca	9500,00	0,95	7125,00	0,71

Impurezas	500,00	0,05	500,00	0,05
Bagaço	0,00	0,00	2375,00	0,24
Total	10000,00	1,00	10000,00	1,00

Lavagem						
kg/h	Alimentação		Água		Saída	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Mandioca	7125,00	0,71	0,00	0,00	7125,00	0,55
Impurezas	500,00	0,05	0,00	0,00	500,00	0,04
Bagaço	2375,00	0,24	0,00	0,00	2375,00	0,18
Água	0,00	0,00	3000,00	1,00	3000,00	0,23
Total	10000,00	1,00	3000,00	1,00	13000,00	1,00

Peneira						
kg/h	Alimentação		Torta		Saída	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Mandioca	7125,00	0,55	0,00	0,00	7125,00	0,67
Impurezas	500,00	0,04	0,00	0,00	500,00	0,05
Bagaço	2375,00	0,18	2375,00	1,00	0,00	0,00
Água	3000,00	0,23	0,00	0,00	3000,00	0,28
Total	13000,00	1,00	2375,00	1,00	10625,00	1,00

Centrífuga						
kg/h	Alimentação		Depositado		Saída	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Amido	6056,25	0,57	181,69	0,27	5874,56	0,59
Fibras	1068,75	0,10	0,00	0,00	1068,75	0,11
Impurezas	500,00	0,05	500,00	0,73	0,00	0,00
Água	3000,00	0,28	0,00	0,00	3000,00	0,30
Total	10625,00	1,00	681,69	1,00	9943,31	1,00

Filtro						
kg/h	Alimentação		Filtrado		Saída	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Amido	5874,56	0,59	0,00	0,00	5874,56	0,80
Fibras	1068,75	0,11	1004,63	0,38	64,13	0,01

kg/h	Corrente 3		Corrente 4		Corrente 5	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
n-C5H12	35,56	0,80	44,44	1,00	80,00	0,90
i-C5H12	8,89	0,20	0,00	0,00	8,89	0,10
Total	44,44	1,00	44,44	1,00	88,89	1,00

VC2						
kg/h	Corrente 1		Corrente 2		Corrente 3	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
n-C5H12	80,00	0,80	44,44	0,80	35,56	0,80
i-C5H12	20,00	0,20	11,11	0,20	8,89	0,20
Total	100,00	1,00	55,56	1,00	44,44	1,00

CAPÍTULO 3

3. BALANÇO DE MASSA COM REAÇÃO QUÍMICA

3.1. CONCEITOS

Para resolvermos problemas de balanço de massa que envolvam reações químicas, é preciso introduzir alguns conceitos aplicáveis a essas situações.

3.1.1. Balanço de massa em base molar

Realizar os cálculos de balanço de massa em base molar facilita a resolução dos problemas que envolvem reações químicas, pois nesses casos o balanço obedece sempre os coeficientes estequiométricos da reação, de forma que as quantidades molares de reagentes que são consumidos e de produtos que são formados são diretamente proporcionais entre si, de acordo com seus respectivos coeficientes. A relação mássica segue a proporção molar, considerando a massa molar de cada componente e multiplicando este valor pelo respectivo coeficiente estequiométrico. É possível perceber isso na prática observando, por exemplo, a reação de combustão completa do metano:

Componente	$CH_4(g)$	+	$2 O_2(g)$	→	$CO_2(g)$	+	$2 H_2O(g)$
Coeficiente	1	+	2	→	1	+	2
Massa molar (g/mol)	16	+	32	→	44	+	18
Coeficiente × Massa molar	1×16	+	2×32	→	1×44	+	2×18
Massa (g)	16	+	64	→	44	+	36

Tabela 3 – Balanço de massa da reação de combustão completa do metano.

Portanto, a análise molar leva a resultados imediatos que podem ser facilmente convertidos para a base mássica ao final do balanço por meio da multiplicação do valor em mols pela massa molar do componente. Ou seja, a partir da vazão molar de um componente i em uma corrente n , pode-se obter a vazão mássica desse mesmo componente nessa corrente multiplicando o valor da sua vazão molar pela massa molar do componente i .

$$n_{\text{componente } i}^{\text{corrente } n} \times MM_{\text{componente } i} = m_{\text{componente } i}^{\text{corrente } n}$$

Da mesma forma, caso seja necessário obter a vazão molar do componente, pode-se dividir a sua vazão mássica pela sua massa molar.

$$n_{\text{componente } i}^{\text{corrente } n} = \frac{m_{\text{componente } i}^{\text{corrente } n}}{MM_{\text{componente } i}}$$

3.1.2. Reagente limitante e reagente em excesso

Diferentemente de estudos teóricos, na prática não é comum seguir estritamente a relação estequiométrica reacional. Tanto em escala laboratorial como industrial, a formação de produto sofre a influência das condições dos ambientes e da pureza dos reagentes, por exemplo. Geralmente, para garantir que a reação ocorra de maneira desejada e que a quantidade de produto desejado efetivamente se forme, adiciona-se um dos reagentes em uma quantidade maior que a necessária pela estequiometria da reação. Este reagente é chamado de **reagente em excesso**. Um exemplo prático é o uso de oxigênio em excesso em reações de combustão. O **reagente limitante**, por sua vez, determina a quantidade máxima de produtos

formados, uma vez que está presente em menor quantidade. Assim, havendo apenas dois reagentes que não tenham sido adicionados nas suas respectivas proporções estequiométricas, um deles estará em excesso e o outro será o limitante.

3.1.3. Excesso

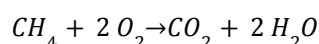
O **excesso (E)** mede o quanto de reagente em excesso foi adicionado a mais do que seria necessário. Portanto, ele é dado pela razão entre a quantidade de matéria de reagente em excesso que foi adicionada e a quantidade de matéria desse componente que seria necessária com base na quantidade de reagente limitante alimentada e na estequiometria da reação química. Em seguida, efetua-se a subtração desse valor por 1. Equacionando, tem-se:

$$E = \left(\frac{\text{quantidade de matéria alimentada}}{\text{quantidade de matéria estequiométrica}} \right) - 1$$

É importante ressaltar que o cálculo do excesso é feito sempre levando em conta o reagente em excesso e, portanto, o seu valor nunca será um número negativo.

De modo a exemplificar o cálculo do excesso, suponha que em um reator, o metano reage com oxigênio em excesso numa reação de combustão completa. Sabendo que, para que essa reação ocorra, uma corrente de ar é alimentada e a sua composição é de 96 g de oxigênio e 1 mol de metano, qual será o excesso de oxigênio? Considere a massa molar do oxigênio como 32 g/mol.

Primeiramente, é preciso escrever a equação da reação de combustão:



A partir da equação de reação, percebe-se que para cada mol de metano, 2 mols de oxigênio são necessários. Calculando a quantidade de matéria de oxigênio presente na corrente alimentada:

$$\frac{96 \text{ g}}{32 \text{ g/mol}} = 3 \text{ mol}$$

Dessa forma, 3 mols de oxigênio foram alimentados ao reator. Aplicando esse valor na equação de definição do excesso:

$$E = \left(\frac{3 \text{ mol}}{2 \text{ mol}} \right) - 1 = 0,5$$

Portanto, o oxigênio foi adicionado com um excesso de 50%.

3.1.4. Conversão

Devido a uma série de fatores, na prática não ocorre a transformação completa dos reagentes em produtos nas reações químicas. Isso significa que a conversão de uma reação química nunca é de 100%. Definimos **conversão** como a medida da quantidade de reagente que de fato é usada em uma determinada reação. Dessa forma, a conversão pode ser calculada pela razão entre a quantidade de reagente que é consumida em uma reação química e a quantidade desse mesmo componente que foi alimentada no processo. Equacionando essa grandeza, obtemos a seguinte relação:

$$\text{conversão} = \frac{\text{quantidade consumida}}{\text{quantidade alimentada}}$$

É válido ressaltar que a conversão pode ser calculada tanto para quantidades em base mássica quanto em base molar, resultando no mesmo valor. Entretanto, é preciso se certificar que a quantidade consumida e a quantidade alimentada adotadas no cálculo estejam na mesma base para que o valor obtido seja o correto. Além disso, ela é usualmente calculada para o reagente limitante, a não ser que seja especificado o contrário.

Para exemplificar como a conversão pode ser usada em um problema de balanço de massa, considere a reação de combustão completa de metano. Calcule a quantidade de matéria de metano seria consumido na reação caso 12 g do reagente fossem alimentados e a sua conversão corresponde-se a 75%, supondo que há oxigênio suficiente para que a reação ocorra. Dado: Adote a massa molar do metano como 16 g/mol.

Como a conversão de metano equivale à razão entre a quantidade de reagente que é consumida na reação e a quantidade de componente que foi alimentada, pode-se calcular a quantidade consumida por meio da multiplicação entre a quantidade alimentada e a conversão.

Primeiramente, realizaremos o cálculo usando o valor da quantidade alimentada em base mássica, de modo a obter a massa de metano que é consumida na reação:

$$12\text{ g} \times 0,75 = 9\text{ g}$$

Em seguida, uma vez que se deseja obter a quantidade de matéria de metano que é consumido, realiza-se a conversão do valor obtido para a base molar por meio da divisão pela massa molar do metano:

$$\frac{9\text{ g}}{16\text{ g/mol}} = 0,5625\text{ mol}$$

Dessa forma, descobriu-se que 0,5625 mols de metano foram consumidos.

Esse mesmo valor poderia ser obtido caso o cálculo da conversão fosse realizado considerando as quantidades de metano em base molar. Para tanto, primeiramente é necessário calcular a quantidade de matéria de metano que foi acionado dividindo o valor em base mássica pela massa molar do composto:

$$\frac{12\text{ g}}{16\text{ g/mol}} = 0,75\text{ mol}$$

Agora, multiplica-se a quantidade de matéria de metano que é adicionada pela conversão de modo a se calcular a quantidade de metano que efetivamente é consumido na combustão:

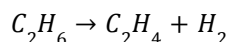
$$0,75\text{ mol} \times 0,75 = 0,5625\text{ mol}$$

Assim, percebe-se que ambos os métodos resultam no mesmo valor para a quantidade de matéria de metano que é consumida, correspondente a 0,5625 mol.

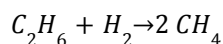
3.1.5. Reações múltiplas

Na maior parte dos processos, os reagentes são combinados com o objetivo de produzir um determinado produto em uma única reação química. Porém, é possível que os reagentes se combinem em mais de uma forma, gerando produtos diferentes. Além disso, o produto formado pode reagir para transformar-se em outro produto, não tão pertinente industrialmente quanto o primeiro para uma dada quantidade de reagente. Nesses casos, dizemos que ocorrem **reações múltiplas**.

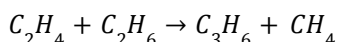
Por exemplo, o etileno pode ser produzido pela desidrogenação do etano, dada pela seguinte reação:



Uma vez que o hidrogênio é produzido, ele pode reagir com o etano de modo a produzir metano de acordo com a reação a seguir:



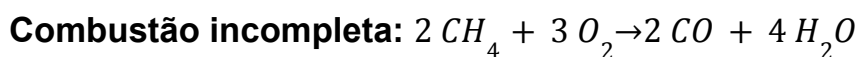
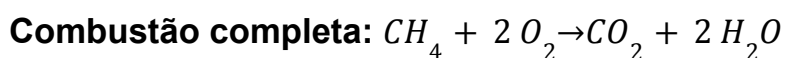
Além disso, o etileno pode reagir com o etano, formando propileno e metano por meio da reação abaixo:



3.1.5. Reação principal e reação secundária

Quando existem duas possibilidades de reações químicas que podem ocorrer em uma determinada situação, dá-se o nome de reação principal para aquela que fornece o produto de interesse, enquanto a que gera o produto indesejado, também conhecido como subproduto, é chamada de reação secundária. Dessa forma, podem ser necessários processos posteriores de separação para isolar o produto de interesse.

Essa problemática pode ser observada na combustão do metano, que pode ser completa, gerando dióxido de carbono e água, ou pode ser incompleta, formando monóxido de carbono e água. Ambas as reações, dadas pelas reações apresentadas abaixo, podem acontecer ao mesmo tempo na prática.



3.1.6. Seletividade

Devido à possibilidade da ocorrência simultânea de mais de uma reação, define-se uma grandeza chamada **seletividade (S)**. Ela é usada para expressar o grau em que uma determinada reação prevalece sobre as demais. Assim, ela pode ser calculada pela razão entre a quantidade de matéria de reagente que é consumido na reação principal, e que portanto é utilizado de modo a gerar o produto de interesse, e a quantidade de matéria de reagente que é consumido em todas as reações que ocorrem em um determinado processo. Equacionando esse percentual, tem-se que a seletividade é dada pela seguinte fórmula:

$$S = \frac{\text{quantidade de matéria consumida na reação principal}}{\text{quantidade de matéria consumida no processo}}$$

É importante notar que a seletividade sempre é calculada em função do reagente limitante e que é preciso levar em conta a conversão desse componente antes de efetuar o cálculo dado pela equação acima.

3.1.7. Rendimento

Para se identificar se um determinado processo é de fato vantajoso para obter um produto de interesse em questão, é interessante levar em consideração o **rendimento** da reação química adotada para a sua produção. O rendimento é dado pela razão entre a quantidade real de produto que é formada pela reação, ou seja, a quantidade que é obtida na prática, e a quantidade teórica de produto que seria gerado considerando a quantidade de reagente limitante adicionado ao processo e a estequiometria da reação. Assim, a equação para calcular o rendimento é a seguinte:

$$\text{rendimento} = \frac{\text{quantidade real de produto}}{\text{quantidade teórica de produto}}$$

De acordo com o que foi visto anteriormente, é muito difícil obter uma reação com um rendimento de 100%, uma vez que esse valor é influenciado por fatores que impedem a transformação completa dos reagentes no produto de interesse, como a conversão e a seletividade.

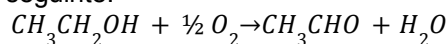
3.2. EXERCÍCIOS

Exercício 3.1. Em um processo de oxidação do etanol para produção de acetaldeído, foi obtida a composição da corrente de saída do reator, que está apresentada na tabela:

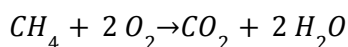
Componente	Vazão (kmol/h)
CH ₃ CH ₂ OH	1,0
O ₂	2,5
CH ₃ CHO	9,0
H ₂ O	9,0

Tabela 4 – Dados do exercício 3.1.

Desenvolva o balanço molar para o reator e calcule a conversão do reagente limitante a partir dos dados e sabendo que a reação é a seguinte:



Exercício 3.2. Em um reator são alimentados 100 kmol/h de metano (CH₄). O metano é queimado com um excesso de oxigênio de 50%, gerando CO₂ e água conforme a reação abaixo:

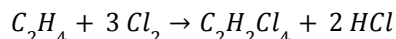


Sabendo que 97% do metano alimentado é queimado, calcule a vazão e a composição da corrente de gases que sai do reator.

Exercício 3.3. Um reator produz tetracloreto de etano (C₂H₂Cl₄) a partir da reação de etileno (C₂H₄) com gás cloro. Com base na conversão de 85% do etileno alimentado, emprega-se um

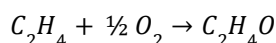
excesso de 40% de cloro. Desenvolva o balanço no reator para uma produção de 2000 kg/h de tetracloreto de etano.

Dados: $MM(C_2H_4) = 28 \text{ g/mol}$; $MM(Cl_2) = 70,9 \text{ g/mol}$; $MM(C_2H_2Cl_4) = 167,8 \text{ g/mol}$; $MM(HCl) = 36,45 \text{ g/mol}$.



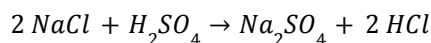
Exercício 3.4. Etileno (C_2H_4) é alimentado a um reator de oxidação para produzir óxido de etileno. Determine o balanço de massa do reator para a produção de 1000 kg/h de óxido de etileno, sabendo-se que a conversão do oxigênio alimentado é de 90% e que o etileno entra no reator com excesso de 40%. Calcule também o rendimento do processo.

Dados: $MM(C_2H_4) = 28 \text{ g/mol}$; $MM(O_2) = 32 \text{ g/mol}$; $MM(C_2H_4O) = 44 \text{ g/mol}$.



Exercício 3.5. Sulfato de sódio é produzido em um reator a partir do cloreto de sódio e do ácido sulfúrico. Considerando que a alimentação é estequiométrica e que a conversão do NaCl é de 85%, desenvolva o balanço de massa no reator para uma produção de 100 kg/h de sulfato de sódio.

Dados: $MM(NaCl) = 58,45 \text{ g/mol}$; $MM(H_2SO_4) = 98 \text{ g/mol}$; $MM(Na_2SO_4) = 142 \text{ g/mol}$; $MM(HCl) = 36,45 \text{ g/mol}$.



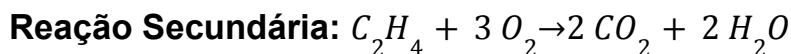
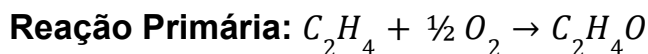
Exercício 3.6. Em um reator são alimentados 100 kmol/h de uma mistura gasosa composta por 85% molar de etano (C_2H_6) e o restante de inertes. O reator também recebe uma corrente composta somente de gás hidrogênio (H_2). O etano participa de duas reações, com seletividade de 87% em relação à principal. Faça o balanço molar do reator e determine o rendimento da reação principal. Ademais, a conversão do etano alimentado é de 79%.



Exercício 3.7. O gás etileno (C_2H_4) é alimentado num reator de oxidação para produzir óxido de etileno (C_2H_4O). O reator opera com uma reação secundária, que oxida completamente o etileno.

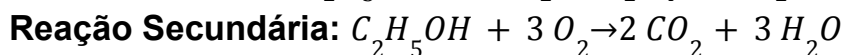
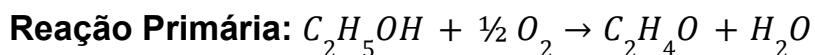
Para uma alimentação contendo 20% de excesso de etileno em relação ao estequiométrico da reação principal, obtém-se uma conversão de 80% do O_2 com seletividade de 90% na reação principal. Desenvolva o balanço de massa no reator para uma produção de 200 kmol/h de óxido de etileno.

Dados: $MM(C_2H_4) = 28 \text{ g/mol}$; $MM(O_2) = 32 \text{ g/mol}$; $MM(C_2H_4O) = 44 \text{ g/mol}$; $MM(CO_2) = 44 \text{ g/mol}$; $MM(H_2O) = 18 \text{ g/mol}$.



Exercício 3.8. Em uma planta de produção de aldeído acético, são enviados 100 kmol/h de etanol para sofrer, em um reator, uma oxidação. Para isso, é empregado o ar atmosférico, com vazão de 800 kmol/h. Entretanto, devido às condições utilizadas para esse processo unitário, a conversão do etanol é de 86% e a seletividade obtida é de 78%, pois ocorre uma reação indesejada, onde o etanol sofre combustão completa. A partir desses dados e das massas molares fornecidas, construa um balanço de massa para essa operação:

Dados: $MM(C_2H_5OH) = 46 \text{ g/mol}$; $MM(O_2) = 32 \text{ g/mol}$; $MM(C_2H_4O) = 44 \text{ g/mol}$; $MM(H_2O) = 18 \text{ g/mol}$; $MM(CO_2) = 44 \text{ g/mol}$.



Exercício 3.9. A corrente 01 (C-01) composta por 60% molar de benzeno e 40% molar de tolueno entra na coluna de destilação 01 (D-01) que tem como objetivo separar esses dois compostos. A recuperação do benzeno na corrente de topo da coluna de destilação é de 96% e a corrente de fundo é de 94% molar de tolueno. Então, a corrente de fundo (C-03) segue para o reator (R-01) que também é alimentado pela corrente 04 (C-04), composta por hidrogênio.

No reator (R-01) ocorre a reação descrita a seguir, cuja finalidade é converter o tolueno em benzeno por meio de uma reação de hidrodesalquilação. Na reação mencionada a conversão do tolueno é de 80%, e o hidrogênio está com excesso de 40%. A corrente efluente do reator segue para o vaso de separação (V-01) cuja eficiência é 100%, ou seja, todo o metano e o hidrogênio são separados dos compostos aromáticos presente na corrente efluente do reator (R-01).

Os compostos aromáticos saem pela corrente de fundo do vaso de separação e são encaminhados para a coluna de destilação (D-02). Nessa coluna de destilação, 99% do benzeno é recuperado na corrente de topo e a corrente de fundo é 95% molar de tolueno.

Com base nas informações mencionadas, desenvolva um balanço de massa da planta para uma alimentação de 400 kmol/h na coluna de destilação 1 (D-01).

Dados: MM(benzeno) = 78 g/mol; MM(tolueno) = 92 g/mol.

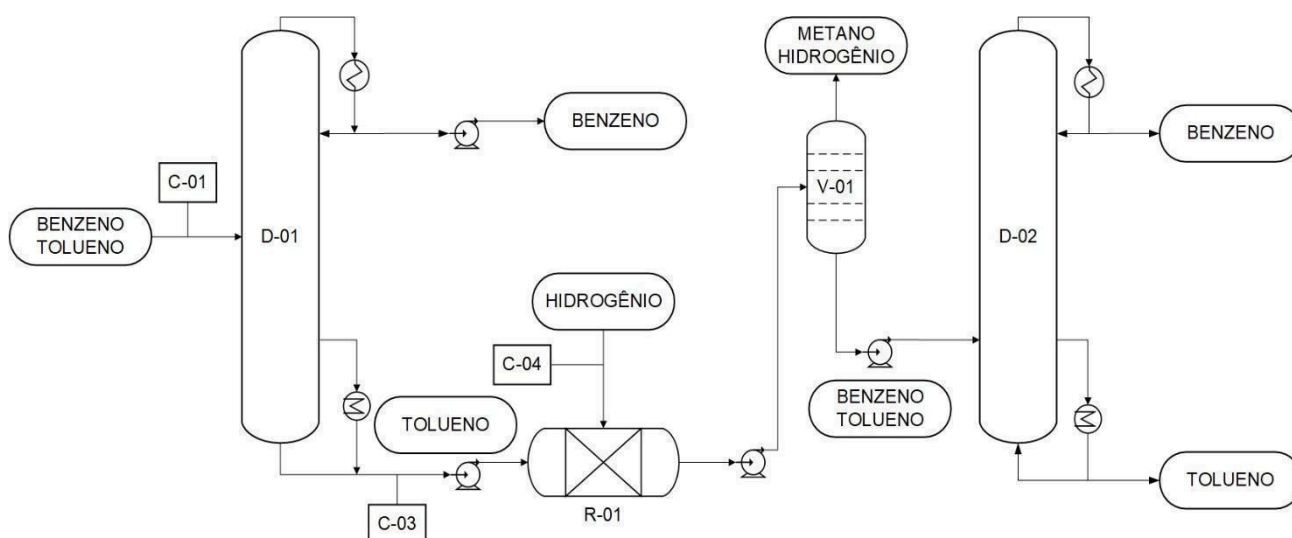


Figura 43 - Planta do exercício 3.9.

Reação:

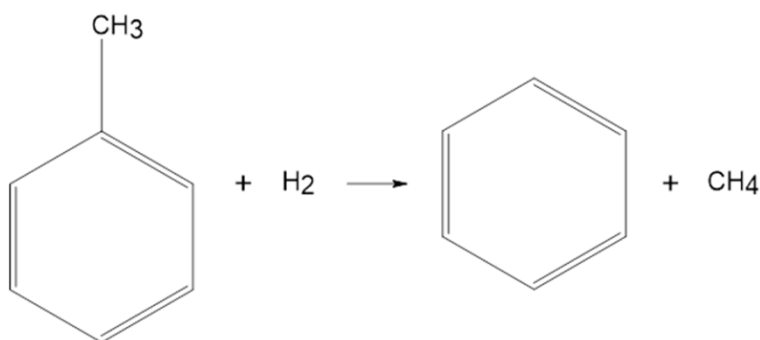


Figura 44 - Reação do exercício 3.9.

Exercício 3.10. Uma empresa deseja produzir biodiesel através da transesterificação do óleo de soja segundo a reação abaixo:

Reação:

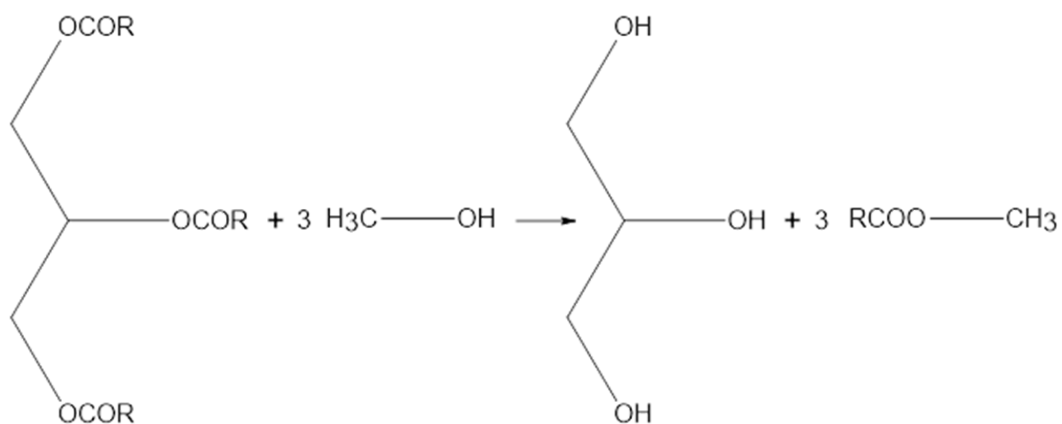


Figura 45 - Reação do exercício 3.10.

Em um reator, são adicionados o óleo de soja e o metanol. Após a reação, os compostos vão para uma destiladora, onde o metanol é separado e é retirado pela corrente de topo para posterior reutilização. A solução é então mandada para um decantador onde o biodiesel é separado do resto da mistura.

Supondo que no reator, o metanol é adicionado com excesso de 80% molar e a reação tem o rendimento de 100%; na destiladora todo o metanol e 4% do biodiesel alimentados saem pela corrente de topo; na decantação, 86% do biodiesel é separado do restante pela corrente de topo e todo o glicerol sai pela corrente de fundo. Calcule a vazão de biodiesel produzido na reação. Desenvolva o balanço molar para uma produção de 230 kmol/h.

3.3. RESPOSTAS DOS EXERCÍCIOS

Exercício 3.1.

Balanço molar				
	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ H	O_2	CH_3CHO	H_2O
Coefficientes	1	0,5	1	1
Inicial	10,0	7,0	0,0	0,0
Reage	9,0	4,5	0,0	0,0
Forma	0,0	0,0	9,0	9,0
Final	1,0	2,5	9,0	9,0

Reagente limitante: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$
Conversão: 90%

Exercício 3.2

Dados	
Entrada de CH_4	100,0
Excesso de O_2	50%
Conversão de CH_4	97%

Balanço Molar (kmol/h)				
	CH_4	O_2	CO_2	H_2O
Coef.	1	2	1	2
Entrada	100,0	300,0	0,0	0,0
Reage	97,0	194,0	0,0	0,0
Forma	0,0	0,0	97,0	194,0
Saída	3,0	106,0	97,0	194,0

Exercício 3.3.

Dados	
Componente	MM (g/mol)
C_2H_4	28,0
Cl_2	70,9
$\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_4$	167,8
HCl	36,5
Dados reacionais	
Conversão (C_2H_4)	85%
Excesso (Cl_2)	40%
Produção ($\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_4$, kg/h)	2000,00

Balanço molar				
kg/h	C_2H_4	Cl_2	$C_2H_2Cl_4$	HCl
Coeficientes	1	3	1	2
Inicial	14,02	58,89	0,00	0,00
Reage	11,92	35,76	0,00	0,00
Forma	0,00	0,00	11,92	23,84
Final	2,10	23,14	11,92	23,84

Balanço de massa				
kg/h	Entrada	Fração	Saída	Fração
C_2H_4	392,62	0,0859	58,89	0,0129
Cl_2	4175,56	0,9141	1640,40	0,3591
$C_2H_2Cl_4$	0,00	0,0000	2000,00	0,4378
HCl	0,00	0,0000	868,89	0,1902
Final	4568,18	1,0000	4568,18	1,0000

Exercício 3.4.

Dados	
Componente	MM (g/mol)
C_2H_4	28,0
O_2	32,0
C_2H_4O	44,0
Dados reacionais	
Produção (C_2H_4O , kg/h)	1000,00
Conversão (O_2)	90%
Excesso (C_2H_4)	40%

Balanço molar			
	C_2H_4	O_2	C_2H_4O
Coeficientes	1	0,5	1
Inicial	35,35	12,63	0,00
Reage	22,73	11,36	0,00
Forma	0,00	0,00	22,73
Final	12,63	1,26	22,73

Balanço de massa				
	Entrada	Fração	Saída	Fração
C_2H_4	989,90	0,7101	353,54	0,2536
O_2	404,04	0,2899	40,40	0,0290
C_2H_4O	0,00	0,0000	1000,00	0,7174
Final	1393,94	1,0000	1393,94	1,0000

Rendimento: 90,00%

Exercício 3.5.

Dados	
Componente	MM (g/mol)
NaCl	58,45
H ₂ SO ₄	98,00
Na ₂ SO ₄	142,00
HCl	36,45
Dados	
Conversão (NaCl)	85%
Produção (Na ₂ SO ₄ , kg)	100,00

Balanço molar				
	NaCl	H ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄	HCl
Coefficientes	2	1	1	2
Inicial	1,657	0,829	0,000	0,000
Reage	1,408	0,704	0,000	0,000
Forma	0,000	0,000	0,704	1,408
Final	0,249	0,124	0,704	1,408

Balanço de massa				
	Entrada	Fração	Saída	Fração
NaCl	96,85	0,5440	14,53	0,0816
H₂SO₄	81,19	0,4560	12,18	0,0684
Na₂SO₄	0,00	0,0000	100,00	0,5617
HCl	0,00	0,0000	51,34	0,2883
Final	178,04	1,0000	178,04	1,0000

Exercício 3.6.

Dados	
Alimentação (gases, kmol/h)	100,00
Fração (etano, molar)	85%
Seletividade	87%
Conversão (etano)	79%

Balanço molar					
		C_2H_6	H_2	C_2H_4	CH_4
Coeficientes	Primária	1	1	0	2
	Secundária	1	1	1	0
Inicial		85,00	85,00	0,00	0,00
Reage	Primária	58,42	58,42	0,00	0,00
	Secundária	8,73	0,00	0,00	0,00
Forma	Primária	0,00	0,00	0,00	116,84
	Secundária	0,00	8,73	8,73	0,00
Final		17,85	35,31	8,73	116,84

Rendimento: 68,73%

Exercício 3.7.

Dados	
Componente	MM (g/mol)
C_2H_4	28,0
O_2	32,0
C_2H_4O	44,0
CO_2	44,0
H_2O	18,0
Dados reacionais	
Excesso (C_2H_4)	20%
Conversão (O_2)	80%
Seletividade	90%
Produção (C_2H_4O , kmol/h)	200,00

Balanço molar						
		C_2H_4	O_2	C_2H_4O	CO_2	H_2O
Coeficientes	Primária	1	0,5	1	0	0
	Secundária	1	3	0	2	2
Inicial		333,33	138,89	0,00	0,00	0,00
Reage	Primária	200,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	Secundária	3,70	11,11	0,00	0,00	0,00
Forma	Primária	0,00	0,00	200,00	0,00	0,00
	Secundária	0,00	0,00	0,00	7,41	7,41
Final		129,63	27,78	200,00	7,41	7,41

Balanço de massa				
	Entrada	Fração	Saída	Fração
C_2H_4	9333,33	0,6774	3629,63	0,2634
O_2	4444,44	0,3226	888,89	0,0645
C_2H_4O	0,00	0,0000	8800,00	0,6387
CO_2	0,00	0,0000	325,93	0,0237
H_2O	0,00	0,0000	133,33	0,0097
Total	13777,78	1,0000	13777,78	1,0000

Exercício 3.8

Dados	
Componente	MM (g/mol)
C_2H_5OH	46,0
O_2	32,0
C_2H_4O	44,0
H_2O	18,0
CO_2	44,0
Dados reacionais	
Alimentação (C_2H_5OH , kmol/h)	100,00
Alimentação (ar, kmol/h)	800,00
Conversão (C_2H_5OH)	86%
Seletividade	78%
Fração molar O_2 atm	21%
Fração molar CO_2 atm	0,04%

Balanço molar						
		C_2H_5OH	O_2	C_2H_4O	H_2O	CO_2
Coeficientes	Primária	2	1	2	2	0
	Secundária	1	3	0	3	2
Inicial		100,00	168,00	0,00	0,00	0,32
Reage	Primária	67,08	33,54	0,00	0,00	0,00
	Secundária	18,92	56,76	0,00	0,00	0,00
Forma	Primária	0,00	0,00	67,08	67,08	0,00
	Secundária	0,00	0,00	0,00	56,76	37,84
Final		14,00	77,70	67,08	123,84	38,16

Balanço de massa				
	Entrada	Fração	Saída	Fração
C_2H_5OH	4600,00	0,4605	644,00	0,0645
O_2	5376,00	0,5381	2486,40	0,2489
C_2H_4O	0,00	0,0000	2951,52	0,2954
H_2O	0,00	0,0000	2229,12	0,2231

CO₂	14,08	0,0014	1679,04	0,1681
Total	9990,08	1,0000	9990,08	1,0000

Dados	
Componente	MM (g/mol)
Benzeno	78,0
Tolueno	92,0
Dados reacionais	
Fração (Benzeno, C-01)	60%
Fração (Tolueno, C-01)	40%
Recuperação (Benzeno, C-02)	96%
Fração (Tolueno, C-03)	94%
Conversão (Tolueno, R-01)	80%
Excesso (Hidrogênio, R-01)	40%
Recuperação (Benzeno, topo)	99%
Fração (Tolueno, fundo)	95%
Alimentação C-01 (kmol/h)	400,00

Balanço molar D-01						
Corrente	C-01		C-02		C-03	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Benzeno	240,00	0,6000	230,40	0,9600	9,60	0,0600
Tolueno	160,00	0,4000	9,60	0,0400	150,40	0,9400
Total	400,00	1,0000	240,00	1,0000	160,00	1,0000

Balanço de massa D-01						
Corrente	C-01		C-02		C-03	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Benzeno	18720,00	0,5598	17971,20	0,9532	748,80	0,0513
Tolueno	14720,00	0,4402	883,20	0,0468	13836,80	0,9487
Total	33440,00	1,0000	18854,40	1,0000	14585,60	1,0000

Balanço molar R-01				
Componente	Tolueno	Hidrogênio	Benzeno	Metano
Coefficientes	1,0	1,0	1,0	1,0
Inicial	150,40	210,56	9,60	0,00
Reage	120,32	120,32	0,00	0,00
Forma	0,00	0,00	120,32	120,32
Final	30,08	90,24	129,92	120,32

Balanço molar D-02			
Corrente	Entrada	Topo	Fundo

Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Benzeno	129,92	0,8120	128,62	0,9597	1,30	0,0500
Tolueno	30,08	0,1880	5,40	0,0403	24,68	0,9500
Total	160,00	1,0000	134,02	1,0000	25,98	1,0000
Balanço de massa D-02						
Corrente	Entrada		Topo		Fundo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Benzeno	10133,76	0,7855	10032,42	0,9529	101,34	0,0427
Tolueno	2767,36	0,2145	496,36	0,0471	2271,00	0,9573
Total	12901,12	1,0000	10528,78	1,0000	2372,34	1,0000

Exercício 3.9.

Dados reacionais	
Excesso (metanol, reator)	80%
Rendimento	100%
Recuperação (metanol, topo)	100%
Recuperação (biodiesel, topo)	4%
Separação (biodiesel, topo)	86%
Separação (glicerol, fundo)	100%
Produção (biodiesel, kmol/h)	230,00

Reator				
Componente	Óleo de soja	Metanol	Glicero l	Biodiesel
Coeficientes	1	3	1	3
Inicial	92,86	501,45	0,00	0,00
Reage	92,86	278,59	0,00	0,00
Forma	0,00	0,00	92,86	278,59
Final	0,00	222,87	92,86	278,59

Destiladora						
Corrente	Entrada		Topo		Fundo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Metanol	222,87	0,3750	222,87	0,9524	0,00	0,0000
Glicerol	92,86	0,1563	0,00	0,0000	92,86	0,2577
Biodiesel	278,59	0,4688	11,14	0,0476	267,44	0,7423
Total	594,32	1,0000	234,01	1,0000	360,30	1,0000

Decantadora						
Corrente	Entrada		Topo		Fundo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Glicerol	92,86	0,2577	0,00	0,0000	92,86	0,7127
Biodiesel	267,44	0,7423	230,00	1,0000	37,44	0,2873

Total	360,30	1,0000	230,00	1,0000	130,30	1,0000
--------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Biodiesel produzido na reação: 278,59

CAPÍTULO 4

4. BALANÇO DE MASSA COM CÁLCULO ITERATIVO

4.1. ATINGIR METAS

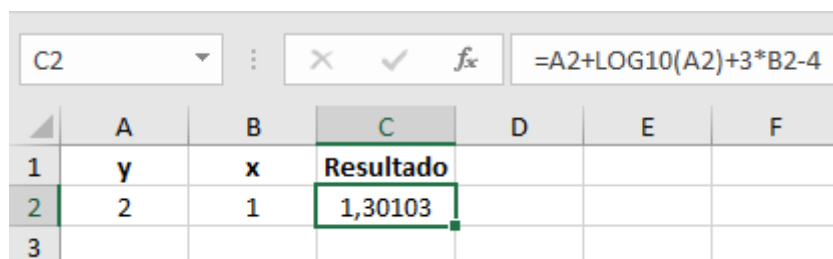
Cálculo iterativo é muito presente no nosso cotidiano, o utilizamos de diversas maneiras, desde assar um bolo em que não temos as informações do tempo que deve ficar no forno, até a disciplina de Métodos Numéricos (matéria introdutória sobre cálculo iterativo). O cálculo iterativo tem vários métodos de ser aplicado, assim obtendo um resultado que é a aproximação da raiz da equação. Ele é utilizado amplamente durante o curso de Engenharia Química.

Se você conhece o resultado que deseja obter de uma fórmula, mas não tem certeza sobre o valor de entrada necessário para chegar a esse resultado, use o recurso “Atingir meta” (ou “Goal seek” para as versões em inglês). Com esta ferramenta, o Microsoft LibreOffice varia o valor de uma célula específica até a célula dependente retornar o resultado desejado utilizando-se de processos iterativos.

Consideremos a seguinte equação implícita:

$$y + \log y + 3 \cdot x - 4 = 0$$

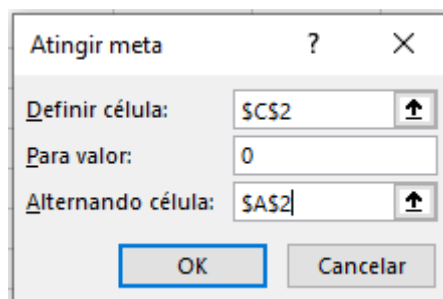
Desejamos saber o valor de **y** sendo **x** um valor já conhecido. Uma das formas de resolver este problema é encontrar o valor de **y** quando a equação é zerada utilizando a ferramenta “Atingir meta”. A planilha para a resolução pode ser preenchida da seguinte forma:



	A	B	C	D	E	F
1	y	x	Resultado			
2	2	1	1,30103			
3						

Figura 46 - Atingir meta.

Foi considerado o valor de **x** como 1 e para **y** foi inserido um valor aleatório, sendo este, essencial para o procedimento pois a ferramenta utiliza-o para iniciar o processo iterativo. Para encontrar o valor real de **y** a equação precisa ser zerada, para isso, basta clicar na aba **Dados > Teste de hipóteses > Atingir meta** e preencher o quadro como mostra a figura:



Atingir meta

Definir célula: \$C\$2

Para valor: 0

Alternando célula: \$A\$2

OK Cancelar

Figura 47 - Formulário para atingir metas.

Assim, o LibreOffice irá alterar o valor da célula A2 (contendo o valor de y) até que a célula C2 (contendo o valor da equação) atinja o valor de 0. Nessa hora é preciso ter cuidado para que a célula que deverá atingir o valor determinado seja dependente da célula que será alterada, caso contrário o LibreOffice mudará indefinidamente a célula A2 sem que o valor da célula C2 mude.

Quando o problema tiver mais de uma solução, os métodos numéricos encontram uma delas de cada vez. Além disso, a solução encontrada depende muito da estimativa inicial do valor da variável. Ao lado é apresentada a figura de uma função parabólica. Fica evidente que, se a estimativa inicial for menor que a menor raiz, o método converge para esta, e vice-versa.

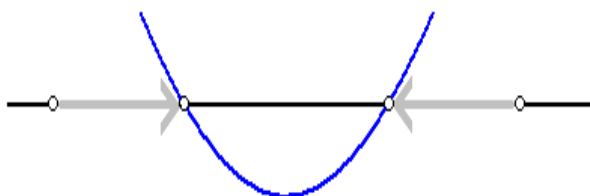


Figura 48- Efeito da estimativa inicial.

Observação: Como é um método iterativo, nem sempre uma solução exata será encontrada (o LibreOffice chega ao valor 0,9987 ou 1,02 quando desejamos atingir o valor 1). Assim, é possível fazer mais iterações para ter um resultado com um erro menor. Para isso, é preciso ir ao **Botão Office > Opções do LibreOffice > Fórmulas**.

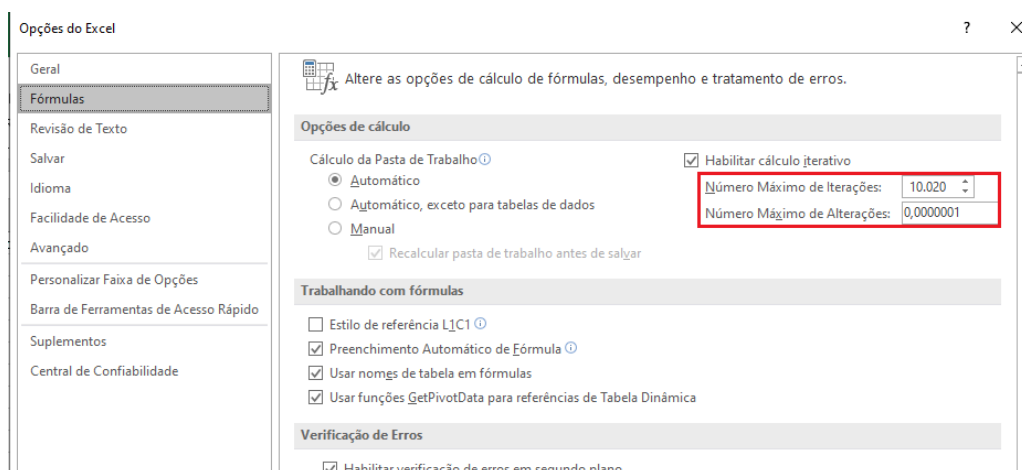


Figura 49- Definindo configurações das iterações.

Assim é possível definir o número máximo de iterações ou qual o menor erro estabelecido (o LibreOffice irá parar o comando quando qualquer uma das definições for alcançada).

Sistemas de equações de uma variável relativamente complexos também podem ser resolvidos com o Atingir Meta. A seguir, um exemplo onde o apoio gráfico é fundamental: encontrar os valores de x nas interseções das funções:

$$f_1 = \sqrt{x} - \ln(x) - 0,8$$

$$f_2 = 0,03 \cdot x^{\frac{5}{x}} - 0,04$$

Construa um gráfico contendo as duas funções. Para isso, faça uma tabela com três colunas: uma contendo os valores de x , outra contendo os valores de f_1 e a terceira, os valores de f_2 . Utilize um domínio de x entre 0,75 e 12, com um passo de 0,25. Plote o gráfico e perceba em quais intervalos acontecem as interseções.

A face do gráfico é a seguinte:

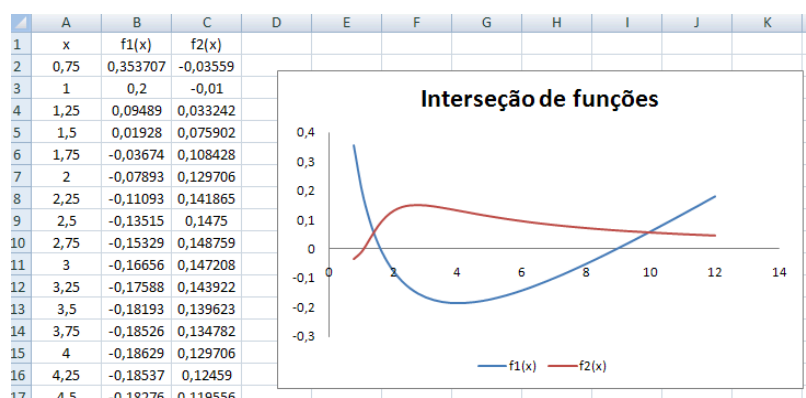


Figura 50- Gráfico das funções f1 e f2.

1. Construir uma tabela como a seguinte:

	A	B	C	D	E
1					
2					
3		x	f1	f2	f3
4		1,00			
5		10,00			

Figura 51- Estimativa das interações entre duas funções.

2. Nomear **B4** como **xMenor** e **B5** como **xMaior**;
3. Nomear **C4** como **f1Menor** e **C5** como **f1Maior**;
4. Nomear **D4** como **f2Menor** e **D5** como **f2Maior**;
5. Nomear **E4** como **f3Menor** e **E5** como **f3Maior**;
6. Introduzir a fórmula “=RAIZ(xMenor)-LN(xMenor)-0,8” em **C4**;
7. Introduzir a fórmula “=RAIZ(xMaior)-LN(xMaior)-0,8” em **C5**;
8. Introduzir a fórmula “=0,03*xMenor^(5/xMenor)-0,04” em **D4**;
9. Introduzir a fórmula “=0,03*xMaior^(5/xMaior)-0,04” em **D5**;
10. Introduzir a fórmula “=f2Menor-f1Menor” em **E4**;
11. Introduzir a fórmula “=f2Maior-f1Maior” em **E5**;
12. **Ferramentas > Atingir Meta** para **f3Menor** e depois para **f3Maior**:

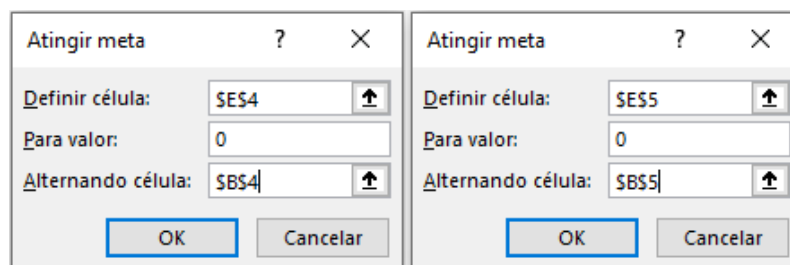


Figura 52- Atingir meta f3Menor e f3Maior.

13. Resultarão os valores $x = 1,37$ e $x = 9,92$.

Com esse exemplo, é possível perceber que o chute inicial não pode ser qualquer. Definir bem o chute inicial é importante, uma vez que dependendo do seu valor, a ferramenta **Atingir Meta** converge para a raiz mais próxima. Neste caso, fizemos um gráfico para podermos visualizar quais eram os pontos que estavam próximos da raiz desejada e, com isso, convergiu-se, coerentemente para a raiz cujo chute estava mais próximo.

O atingir meta é uma ferramenta extremamente importante, mediante sua utilização é possível chegar em resultados precisos em balanços de massas complexos, otimização de cálculos em equações termodinâmicas e até mesmo cálculos financeiros, como apresentado no exemplo: você é um comerciante e necessita saber de forma rápida qual o desconto necessário para que preço da CALOI 10 seja apenas 900 reais. Para resolver tal problema, o comerciante utilizou o atingir meta em sua planilha de preços.

	A	B	C	D	E
1					
10		Produto	Valor inicial	Desconto	Preço Final
11		Caloi 10	\$1.250,00	10,00%	\$1.125,00
12		Monark 1	\$600,00	7,00%	\$558,00
13		Prince v12	\$350,00	15,00%	\$297,50
14		Specialized Sport	\$3.499,00	6,00%	\$3.289,06

Figura 53- Planilha de descontos.

Figura 54- Formulário atingir meta para desconto.

O comerciante terá que fornecer um desconto de 28% aos seus clientes. Conforme a relação a seguir:

	A	B	C	D	E
1					
10		Produto	Valor inicial	Desconto	Preço Final
11		Caloi 10	\$1.250,00	28,00%	\$900,00
12		Monark 1	\$600,00	7,00%	\$558,00
13		Prince v12	\$350,00	15,00%	\$297,50
14		Specialized Sport	\$3.499,00	6,00%	\$3.289,06

Figura 55- Formulário final dos preços.

4.2. EXERCÍCIOS

Exercício 4.1. Uma mistura etanol/água contendo 40% molar de etanol é enviada a uma coluna de destilação para retificação do etanol. O etanol é obtido com uma concentração de 96% molar. A corrente de fundo contém 5% molar de etanol. Desenvolva o balanço material unidade para uma alimentação de 100 kmol/h da mistura e determine qual a recuperação de etanol obtida no equipamento.

Exercício 4.2. 10000 kg/h de uma mistura de água e óleo vegetal, com 20% em massa de óleo é alimentada a um decantador para o reaproveitamento do óleo. Desenvolva o balanço de massa no equipamento, sabendo que a corrente de topo contém 20% em massa de água e a de fundo 2% em massa de óleo.

Exercício 4.3. Em um processo de nitratação, 2000 kg/h de solução ácida são separados de um composto. A solução apresenta a seguinte composição mássica: 23% de HNO_3 , 57% de H_2SO_4 e 20% de água. Para a recuperação da solução, a mesma deverá ser concentrada até 27% em massa de HNO_3 e 60% em massa de H_2SO_4 , por adição de ácidos concentrados: HNO_3 a 90% em massa e H_2SO_4 a 93% em massa. Calcular a massa de ácidos concentrados adicionados.

Exercício 4.4. Deseja-se concentrar, em um evaporador, suco de uva contendo 15% em massa de sólidos até 40% em massa de sólidos. Desenvolva o balanço de massa no evaporador retirando-se 250 kg/h de água.

Exercício 4.5. Uma coluna de absorção recebe 500 kg/h de uma mistura de gases contendo 20% em massa de metano, 70% em massa de N_2 e 10% em massa de CO_2 . Para absorver o metano empregar-se-á, como solvente, uma corrente contendo 98% em massa de hexano e 2% em massa de metano. Sabendo-se que a eficiência da absorção é de 100% e que CO_2 e N_2 não são absorvidos, calcular a quantidade de solvente a ser empregada para que a solução que deixa a coluna apresenta 60% em massa de metano.

Exercício 4.6. Açúcar úmido contendo 20% em massa de água entra em um secador, em que 75% da água é removida. Desenvolva o balanço de massa para uma saída de 250 kg/h na corrente de fundo.

Exercício 4.7. Em um processo resultam 7000 kg/h de uma mistura de água e areia, contendo 40% em massa de areia. Visando o reaproveitamento da areia, a mistura é encaminhada até um decantador. Desenvolva o balanço de massa, sabendo-se que a corrente de fundo contém 35% em massa de água e a de topo 7% em massa de areia.

Exercício 4.8. Para a produção de nitrato de sódio em uma indústria são empregados duas correntes, a C-01 de ácido nítrico (100%) e a C-02 de hidróxido de sódio (50% molar). Sabendo que a reação é processada em um reator (R-01) que opera à 100 °C e que são alimentados 1000 kg/h de ácido, cuja conversão é de 98%, calcule a vazão mássica de soda cáustica (C-02) necessária para que a corrente de saída (C-03) esteja com sal supostamente em seu ponto de saturação. Determine também o excesso.

4.3. RESPOSTAS DOS EXERCÍCIOS

Exercício 4.1.

kmol/h	Entrada		Saída			
	Alimentação		Topo		Fundo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	60,000	0,600	0,800	0,040	59,200	0,740
Etanol	40,000	0,400	19,200	0,960	20,800	0,26
Total	100,000	1,000	20,000	1,000	80,000	1,000

Atingir meta

Definir célula:

Para valor:

Alternando célula:

OK Cancelar

Após Atingir Meta:

kmol/h	Entrada		Saída			
	Alimentação		Topo		Fundo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	60,000	0,600	1,538	0,040	58,462	0,950
Etanol	40,000	0,400	36,923	0,960	3,077	0,05
Total	100,000	1,000	38,462	1,000	61,538	1,000

Recuperação	92,31%
-------------	--------

Exercício 4.2.

	Entrada		Saída			
kg/h	Alimentação		Topo		Fundo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	8000,00	0,80	400,00	0,20	7600,00	0,95
Óleo Vegetal	2000,00	0,20	1600,00	0,80	400,00	0,05
Total	10000,00	1	2000,000	1	8000,00	1

Atingir meta ? X

Definir célula: \$I\$14

Para valor: 0,02

Alternando célula: \$F\$15

OK Cancelar

Após Atingir Meta:

	Entrada		Saída			
kg/h	Alimentação		Topo		Fundo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	8000,00	0,80	461,54	0,20	7538,46	0,98
Óleo Vegetal	2000,00	0,20	1846,15	0,80	153,85	0,02
Total	10000,00	1	2307,692	1	7692,31	1

Exercício 4.3.

	Entrada				Saída			
kg/h	Solução Ácida		H2SO4 a 93%		HNO3 a 90%		Solução Recuperada	
Componentes	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	400,00	0,20	210,00	0,07	241,50	0,16	851,50	0,13
H2SO4	1140,00	0,57	2790,00	0,93	0,00	0,00	3930,00	0,60
HNO3	460,00	0,23	0,00	0,00	1308,50	0,84	1768,50	0,27
Total	2000,00	1	3000,00	1	1550,00	1	6550,00	1

Atingir meta ? X

Definir célula: \$I\$17

Para valor: 0,9

Alternando célula: \$F\$18

OK Cancelar

Após Atingir Meta:

	Entrada				Saída			
kg/h	Solução Ácida		H2SO4 a 93%		HNO3 a 90%		Solução Recuperada	
Componentes	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	400,00	0,20	130,85	0,07	92,81	0,10	623,66	0,13
H2SO4	1140,00	0,57	1738,43	0,93	0,00	0,00	2878,43	0,60
HNO3	460,00	0,23	0,00	0,00	835,29	0,90	1295,29	0,27
Total	2000,00	1	1869,28	1	928,10	1	4797,39	1

Exercício 4.4.

	Entrada		Saída			
kg/h	Alimentação		Topo		Fundo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	255,00	0,85	250,00	1	5,00	0,10
Sólidos	45,00	0,15	0,00	0,00	45,00	0,90
Total	300,00	1,00	250,00	1	50,00	1,00

Atingir meta

Definir célula:

Para valor:

Alternando célula:

OK Cancelar

Após Atingir Meta:

	Entrada		Saída			
kg/h	Alimentação		Topo		Fundo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	340,00	0,85	250,00	1	90,00	0,60
Sólidos	60,00	0,15	0,00	0,00	60,00	0,40
Total	400,00	1,00	250,00	1	150,00	1,00

Exercício 4.5.

	Alimentação				Saída			
kg/h	Mistura de gases		Solvente		Topo		Fundo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
CH4	100,000	0,20	3,000	0,02	0,00	0,00	103,000	0,41
N2	350,000	0,70	0,00	0,00	350,000	0,875	0,00	0,00
CO2	50,000	0,10	0,00	0,00	50,000	0,125	0,00	0,00
C6H14	0,00	0,00	147,000	0,98	0,00	0,00	147,000	0,59
Total	500,00	1,00	150,000	1,00	400,000	1,00	250,000	1,00

Atingir meta

Definir célula:

Para valor:

Alternando célula:

OK Cancelar

Após Atingir Meta:

	Alimentação				Saída			
kg/h	Mistura de gases		Solvente		Topo		Fundo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
CH4	100,000	0,20	1,379	0,02	0,00	0,00	101,379	0,60
N2	350,000	0,70	0,00	0,00	350,000	0,875	0,00	0,00
CO2	50,000	0,10	0,00	0,00	50,000	0,125	0,00	0,00
C6H14	0,00	0,00	67,586	0,98	0,00	0,00	67,586	0,40
Total	500,00	1,00	68,966	1,00	400,000	1,00	168,966	1,00

Exercício 4.6.

	Entrada		Saída			
kg/h	Alimentação		Topo		Fundo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	20,00	0,20	15,00	1,00	5,00	0,06
Açúcar	80,00	0,80	0,00	0,00	80,00	0,94
Total	100,00	1,00	15,00	1,00	85,00	1,00

Atingir meta ? X

Definir célula: SH\$18

Para valor: 250

Alternando célula: SD\$16

OK Cancelar

Após Atingir Meta:

	Entrada		Saída			
kg/h	Alimentação		Topo		Fundo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	58,824	0,20	44,12	1,00	14,71	0,06
Açúcar	235,29	0,80	0,00	0,00	235,29	0,94
Total	294,12	1,00	44,12	1,00	250,00	1,00

Exercício 4.7.

	Entrada		Saída			
kg/h	Alimentação		Topo		Fundo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	4200	0,60	664	0,93	3536	0,56
Areia	2800	0,40	50	0,07	2750	0,44
Total	7000,00	1,00	714	1,00	6286	1,00

Atingir meta ? X

Definir célula: \$I\$13 1

Para valor: 0,35

Alternando célula: \$F\$14 ↑

OK Cancelar

Após Atingir Meta:

	Entrada		Saída			
kg/h	Alimentação		Topo		Fundo	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
Água	4200	0,60	2806	0,93	1394	0,35
Areia	2800	0,40	211	0,07	2589	0,65
Total	7000,00	1,00	3017	1,00	3983	1,00

Exercício 4.8.

Reator R-01 - Balanço Molar				
kmol/h	HNO ₃	NaOH	NaNO ₃	H ₂ O
Coef.	1	1	1	1
Entrada	15,87	20,00	0,00	20,00
Reage	15,56	15,56	0,00	0,00
Forma	0,00	0,00	15,56	15,56
Saída	0,32	4,44	15,56	35,56

Objetivo	
Concentração de sólidos	0,6377 $=176/(176+100)$

Excesso	
NaOH	26,00% $=(D15-C15)/(C15)$

Reator R-01 - Balanço Mássico						
kg/h	C-01		C-02		C-03	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
HNO ₃	1000,00	1,00	0,00	0,00	20,00	0,0093
NaOH	0,00	0,00	800,00	0,69	177,78	0,0823
NaNO ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	1322,22	0,6121
H ₂ O	0,00	0,00	360,00	0,31	640,00	0,2963
Total	1000,00	1,00	1160,00	1,00	2160,00	1,0000

Atingir meta

Definir célula:

Para valor:

Alternando célula:

OK Cancelar

Após Atingir Meta

Reator R-01 - Balanço Molar				
kmol/h	HNO ₃	NaOH	NaNO ₃	H ₂ O
Coef.	1	1	1	1
Entrada	15,87	18,51	0,00	18,51
Reage	15,56	15,56	0,00	0,00
Forma	0,00	0,00	15,56	15,56
Saída	0,32	2,95	15,56	34,06

Objetivo	
Concentração de sólidos	0,6377

Excesso	
NaOH	16,60%

Reator R-01 - Balanço Mássico						
kg/h	C-01		C-02		C-03	
Componente	Vazão	Fração	Vazão	Fração	Vazão	Fração
HNO ₃	1000,00	1,00	0,00	0,00	20,00	0,0096
NaOH	0,00	0,00	740,29	0,69	118,07	0,0569
NaNO ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	1322,22	0,6377
H ₂ O	0,00	0,00	333,13	0,31	613,13	0,2957
Total	1000,00	1,00	1073,42	1,00	2073,42	1,0000