

**CAPÍTULO 4 - BALANÇOS MATERIAIS.**  
**Terceira Parte**

**4.3 Procedimentos para os Cálculos de Balanços Materiais**

O primeiro passo em cálculos é o de entender o problema.

(I) Desenhe um diagrama do processo, mostrando todas as informações relevantes. **Escolha uma notação. Colete as informações disponíveis e as expresse com o auxílio da notação escolhida.**

(II) Selecione um conjunto de unidades e indique-o claramente.

(III) Escolha uma base de cálculo e indique-a claramente.

(IV) Supor o que não foi especificado.

(V) Identificar que componentes do sistema, estão envolvidos na reação caso esta exista.

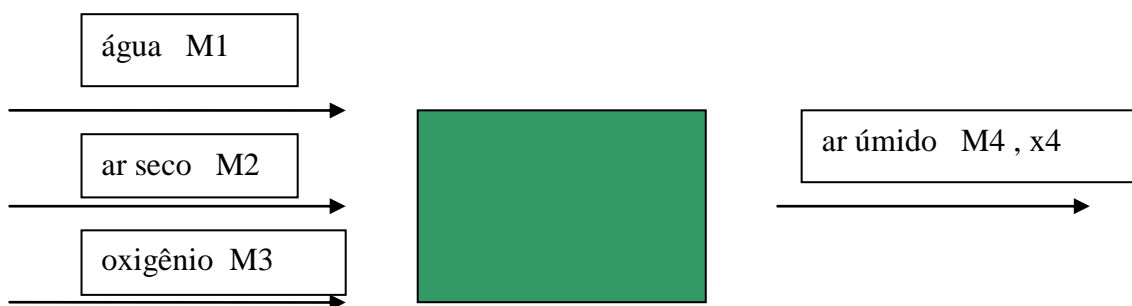
**Exemplo 4.2 Estabelecendo um Diagrama de Fluxo**

Ar úmido enriquecido com oxigênio é preparado para uma fermentação de ácido glucônico. O ar é preparado numa câmara especial de umidificação. 1,5 litros/hora de água entram na câmara, ao mesmo tempo que ar seco e 15 gmol/minuto de oxigênio. Toda a água evapora. O gás efluente contem 1% de água (peso/peso). Trace e rotule o diagrama de fluxo para este processo. **Faça as conversões necessárias para um sistema de unidades consistente.**

Final da aula de 17/09/13

\*\*\*\*\*

Início da aula de 24/09/13



$M1 = 1,5 \text{ litros/h}$

$M3 = 15 \text{ gmol/minuto}$

$x4 = 1 \% \text{ de água (peso/peso)}$

Em qual sistema de unidades desejamos trabalhar? Que tal gramas e minutos?

# DISCIPLINA DE TERMODINÂMICA APLICADA À BIOTECNOLOGIA. BiopCap4Parte30214

Professor Paul Fernand Milcent.

Base bibliográfica: DORAN, P. M. (University of New South Wales, Sydney, Austrália.) Bioprocess Engineering Principles. Academic Press. Primeira edição em 1995.

Para converter volume em massa, necessitamos de densidade (massa/volume) ou volume específico (volume/massa)

$$\rho = 1 / v$$

A densidade da água pode ser considerada aproximadamente 1000 Kg / m<sup>3</sup> ou 1 Kg / litro ou 1000 gramas / litro.

Uma hora = 60 minutos

$$M'1 = M1 \cdot \rho = 1,5 \text{ litros / hora} \cdot 1000 \text{ gramas / litro} \cdot 1 \text{ hora / 60 minutos} = 25 \text{ g / min}$$

Para passar uma informação de base molar para base mássica, necessitamos das massas moleculares. A massa atômica do oxigênio é 16 g / gmol (ou 16 Kg / Kgmol). A massa molecular da molécula de oxigênio ( O<sub>2</sub> ) é de 16 x 2 = 32 g / gmol ( ou 32 Kg / kgmol).

$$M'3 = M3 \cdot MM = 15 \text{ gmol / min} \cdot 32 \text{ g / gmol} = 480 \text{ g / min}$$

M2 e M4 são as vazões mássicas desconhecidas.

Observe que neste exemplo não há nem acúmulo nem reação química (produção).

## 4.4 Exemplos Trabalhados de Balanços Materiais

Os cálculos referentes a balanços materiais podem ser divididos em quatro etapas: montar, analisar, calcular e finalizar.

Recapitulando.....

### Exemplo 4.3 Filtração Contínua

Um lodo oriundo de um processo de fermentação contendo células de *Streptomyces kanamyceticus* é filtrado usando um filtro contínuo rotativo a vácuo. 120 kg h<sup>-1</sup> de pasta é alimentada ao filtro. 1 kg de lodo contém 60 g de células. Para melhorar as taxas de filtração, terra diatomácea é adicionada a uma taxa de 10 kg h<sup>-1</sup>. A concentração de kanamycina na pasta é de 0,05% em peso. O filtrado líquido é coletado a uma taxa de 112 kg h<sup>-1</sup>; a concentração de kanamycina no filtrado é de 0,045% (w / w). A torta de filtração contendo células e o material auxiliar (terra de diatomáceas) é continuamente removido do meio filtrante (pano de filtro).

(A) Qual o percentual de líquido está presente na torta de filtração?

(B) Removi .....

O sistema é o filtro. (Op. Unit. Que separa sólido de líquido)

Entra:

Lodo com células e kanamicina e água e etc... ||| Auxiliar de filtração

Sai:

Filtrado com Kanamicina e água. |||

**DISCIPLINA DE TERMODINÂMICA APLICADA À BIOTECNOLOGIA. BiopCap4Parte30214**  
Professor Paul Fernand Milcent.

Base bibliográfica: DORAN, P. M. (University of New South Wales, Sydney, Austrália.) Bioprocess Engineering Principles. Academic Press. Primeira edição em 1995.

torta com células e auxiliar ||| etc

Solução:

Leia e entenda o problema.

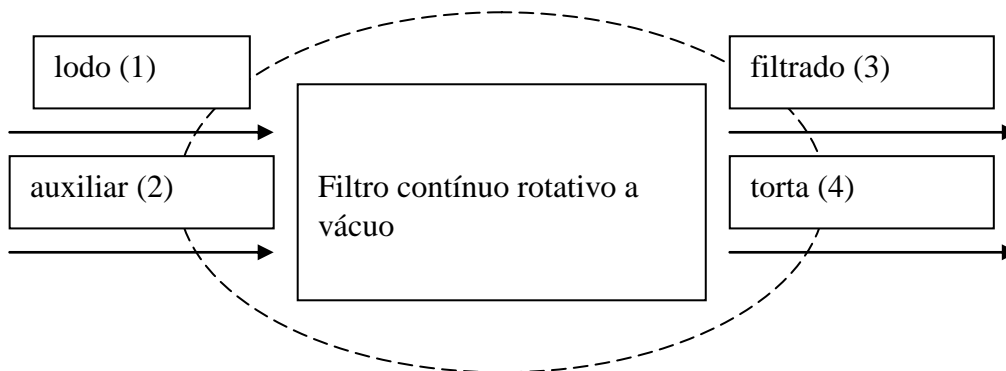
! ☺ !

1. Montar

(1.I) Desenhe o fluxograma (mostrando todos os dados).

(1.II) Defina a fronteira do sistema.

! ☺ !



células = c  
Kanamicina = k  
auxiliar (diatomácea) = d  
água = a

Estabeleça uma notação (1,2,3,4,c,k,d,a) (x, m). Recolha as informações do enunciado conforme a notação escolhida.

! ☺ !

$m_1 = 120 \text{ kg/h}$  de lodo  
 $x_{1c} = 60 \text{ g/kg} \cdot 1 \text{ kg}/1000 \text{ g} = 0,06 \text{ kg}$  de células / kg de lodo  
 $m_2 = 10 \text{ kg/h}$  de auxiliar  
 $x_{1k} = 0,05 \% = 0,05 \text{ kg}$  de kanamicina / 100 kg de lodo  
 $m_3 = 112 \text{ kg/h}$  de filtrado  
 $x_{3k} = 0,045\% = 0,045 \text{ kg}$  de kanamicina / 100 kg de filtrado  
 $x_{4a} = ?$

2. Analisar

# DISCIPLINA DE TERMODINÂMICA APLICADA À BIOTECNOLOGIA. BiopCap4Parte30214

Professor Paul Fernand Milcent.

Base bibliográfica: DORAN, P. M. (University of New South Wales, Sydney, Austrália.) Bioprocess Engineering Principles. Academic Press. Primeira edição em 1995.

(2.I) Suposições.

- + O processo está em funcionamento no estado estacionário. (razoável)
- + O sistema não apresenta vazamentos. (razoável)
- + O filtrado não contém sólidos. (uma simplificação razoável)
- + As células não absorvem ou liberam kanamycina durante a filtração. (a filtração contínua é rápida)
- + O auxiliar de filtração entra completamente seco no sistema (simplificação)
- + A fase líquida da lama, excluindo Kanamycina, pode ser considerada de água. (simplificação razoável, tendo em vista o que se pretende calcular)

(2.II) Recolher e indicar quaisquer dados adicionais necessários.  
Não há dados adicionais necessários.

(2. III) Selecione e estabeleça uma base de cálculo.

**Que tal ?** O cálculo baseia-se 120 kg lama que entram no filtro; 120 Kg/h; ou 1 hora.

(2.IV) Liste os compostos, se houver, que estão envolvidos na reação.  
Nesta operação unitária analisada, nenhum composto está envolvido em reação.

(2.V) Escreva a equação de balanço de massa geral conveniente.

O sistema está em estado estacionário e não ocorre reação química. **Não há acúmulo ou produção**, portanto:

**ENTRADAS = SAÍDAS**

3. Calcular

(3.I) **Que tal?** Estabelecer uma tabela de cálculo mostrando todos os componentes de todas as correntes que passam através das fronteiras do sistema. Indicar as unidades usadas para a tabela. Escreva todas as quantidades conhecidas. **Para a solução de problemas complexos, tabelas ajudam muito. Tabelas feitas a mão são bons pontos de partida para a elaboração de planilhas eletrônicas (tipo excel) para a solução de todos os balanços de massa presentes no dia a dia de uma instalação industrial.**

! ☺ !

ENTRADAS. BASE = 1 HORA UNIDADE = KG					
	Células (c)	Kanamycina (k)	Diatomácea (d)	Água (a)	Total
Lodo (1)			0		120
Auxiliar (2)	0	0	10	0	10
Filtrado (3)	0	0	0	0	0
Torta (4)	0	0	0	0	0
Total					

# DISCIPLINA DE TERMODINÂMICA APLICADA À BIOTECNOLOGIA. BiopCap4Parte30214

Professor Paul Fernand Milcent.

Base bibliográfica: DORAN, P. M. (University of New South Wales, Sydney, Austrália.) Bioprocess Engineering Principles. Academic Press. Primeira edição em 1995.

O lodo não contém diatomáceas.

$$m1d = 0 \quad x1d = 0$$

O auxiliar está completamente seco

$$m2 = m2d \quad x2d = 1,0$$

SAÍDAS. BASE = 1 HORA UNIDADE = KG					
	Células (c)	Kanamicina (k)	Diatomácea (d)	Água (a)	Total
Lodo (1)	0	0	0	0	0
Auxiliar (2)	0	0	0	0	0
Filtrado (3)	0		0		112
Torta (4)					
Total					

O filtrado não contém sólidos.

$$m3c = 0 \quad m3d = 0 \quad x3c = 0 \quad x3d = 0$$

Como mostrado na Figura, quatro correntes atravessam as fronteiras do sistema: pasta de fermentação, auxiliar de filtração, filtrado, e torta de filtração.

Os componentes de interesse das correntes também são em número de quatro: células, kanamycina, auxiliar de filtração e a água. A tabela está dividida em duas seções principais: Entrada e Saída. As Massas que entram ou saem do sistema a cada hora são apresentadas na tabela, as unidades usadas são kg.

Porque filtrado e torta de filtração são apenas saídas do sistema, não há entradas para estas correntes.

Não há saídas de lodo de fermentação ou de auxiliar de filtração puro. Estas correntes são apenas de entrada.

A massa total de cada corrente é indicada última coluna da tabela. A quantidade total de cada componente fluindo para dentro ou para fora do sistema é mostrada na última linha.

Várias massas permanecem desconhecidas.

**Que tal tentar calcular as informações que faltam ?**

(3.II) Calcule quantidades desconhecidas, aplique as equações de balanço de massa.

Conhecemos a concentração de células no lodo. ( $x1c$ )

Conhecemos a concentração de kanamicina no lodo ( $x1k$ )

Conhecemos a concentração de kanamicina no filtrado ( $x3k$ )

Calcular as massas e introduzir na tabela....

! ☺ !

$$m1 \cdot x1c = m1c = 120 \cdot 0,06 = 7,2 \text{ kg / h de células}$$

$$m1 \cdot x1k = m1k = 120 \cdot 0,05/100 = 0,06 \text{ kg / h de kanamicina no lodo}$$

$$m3 \cdot x3k = m3k = 112 \cdot 0,045/100 = 0,0504 \text{ kg / h de kanamicina no filtrado}$$

**DISCIPLINA DE TERMODINÂMICA APLICADA À BIOTECNOLOGIA. BiopCap4Parte30214**  
 Professor Paul Fernand Milcent.

Base bibliográfica: DORAN, P. M. (University of New South Wales, Sydney, Austrália.) Bioprocess Engineering Principles. Academic Press. Primeira edição em 1995.

ENTRADAS. BASE = 1 HORA UNIDADE = KG					
	Células (c)	Kanamicina (k)	Diatomácea (d)	Água (a)	Total
Lodo (1)	7,2	0,06	0		120
Auxiliar (2)	0	0	10	0	10
Filtrado (3)	0	0	0	0	0
Torta (4)	0	0	0	0	0
Total					

SAÍDAS. BASE = 1 HORA UNIDADE = KG					
	Células (c)	Kanamicina (k)	Diatomácea (d)	Água (a)	Total
Lodo (1)	0	0	0	0	0
Auxiliar (2)	0	0	0	0	0
Filtrado (3)	0	0,0504	0		112
Torta (4)					
Total					

Observe a entrada de lodo. Conhecemos o total alimentado e o alimentado de todos os seu componentes, exceto a água. Determine esta quantidade. Faça o mesmo para o filtrado. (O negócio é completar a tabela... ☺)

! ☺ !

$$m1 = m1c + m1k + m1d + m1a \quad m1a = m1 - m1c - m1k - m1d = 112,74 \text{ kg/h}$$

$$m3 = m3c + m3k + m3d + m3a \quad m3a = m3 - m3c - m3k - m3d = 111,95 \text{ kg/h}$$

Façamos o balanço material total.

Tudo que entra = Tudo que sai

! ☺ !

$$m1 + m2 = (m1 + m2) = (m3 + m4) = m3 + m4$$

$$120 + 10 = 130 = 112 + m4$$

$$m4 = 18 \text{ kg/h de torta}$$

Completando um pouco mais a tabela com estas informações:

ENTRADAS. BASE = 1 HORA UNIDADE = KG					
	Células (c)	Kanamicina (k)	Diatomácea (d)	Água (a)	Total
Lodo (1)	7,2	0,06	0	112,74	120
Auxiliar (2)	0	0	10	0	10
Filtrado (3)	0	0	0	0	0
Torta (4)	0	0	0	0	0

**DISCIPLINA DE TERMODINÂMICA APLICADA À BIOTECNOLOGIA. BiopCap4Parte30214**  
 Professor Paul Fernand Milcent.

Base bibliográfica: DORAN, P. M. (University of New South Wales, Sydney, Austrália.) Bioprocess Engineering Principles. Academic Press. Primeira edição em 1995.

Total					130
-------	--	--	--	--	-----

SAÍDAS. BASE = 1 HORA UNIDADE = KG					
	Células (c)	Kanamicina (k)	Diatomácea (d)	Água (a)	Total
Lodo (1)	0	0	0	0	0
Auxiliar (2)	0	0	0	0	0
Filtrado (3)	0	0,0504	0	111,95	112
Torta (4)					18
Total					130

Façamos os balanços materiais parciais. As massa que entra de células por todas as correntes é igual a massa que sai de células por todas as correntes. O mesmo para a água, a kanamicina e a diatomácea.

! ☺ !

$$m1c + m2c = m3c + m4c$$

$$7,2 + 0 = 0 + m4c \quad m4c = 7,2$$

$$m1k + m2k = m3k + m4k$$

$$0,06 + 0 = 0,0504 + m4k \quad m4k = 0,01$$

$$m1d + m2d = m3d + m4d$$

$$0 + 10 = 0 + m4d \quad m4d = 10$$

$$m1a + m2a = m3a + m4a$$

$$112,74 + 0 = 111,95 + m4a \quad m4a = 0,79$$

Com isto é possível completar a tabela.

! ☺ !

ENTRADAS. BASE = 1 HORA UNIDADE = KG					
	Células (c)	Kanamicina (k)	Diatomácea (d)	Água (a)	Total
Lodo (1)	7,2	0,06	0	112,74	120
Auxiliar (2)	0	0	10	0	10
Filtrado (3)	0	0	0	0	0
Torta (4)	0	0	0	0	0
Total	7,2	0,06	10	112,74	130

**DISCIPLINA DE TERMODINÂMICA APLICADA À BIOTECNOLOGIA. BiopCap4Parte30214**  
Professor Paul Fernand Milcent.

Base bibliográfica: DORAN, P. M. (University of New South Wales, Sydney, Austrália.) Bioprocess Engineering Principles. Academic Press. Primeira edição em 1995.

SAÍDAS. BASE = 1 HORA UNIDADE = KG					
	Células (c)	Kanamicina (k)	Diatomácea (d)	Água (a)	Total
Lodo (1)	0	0	0	0	0
Auxiliar (2)	0	0	0	0	0
Filtrado (3)	0	0,0504	0	111,95	112
Torta (4)	7,2	0,01	10	0,79	18
Total	7,2	0,06	10	112,74	130

(3.III) Verificar se os resultados são razoáveis e fazem sentido.

Os cálculos de balanço de massa devem ser verificados. Certifique-se de que todas as colunas e linhas da tabela somam os totais calculados de forma consistente.

4. Finalizar

(4. I) Responda às perguntas específicas feitas no problema.

Qual foi a pergunta mesmo? 😊

A)  $x_{4a} = ?$

! 😊 !

A)  $x_{4a} = m_{4a} / m_4 = 0,79 / 18 = 0,0439$  ou 4,39 %

(4. II) Indicar as respostas de forma clara e inequívoca, verificando algarismos significativos.

(A) O teor de líquido do bolo de filtração é de 4,4%.

Observe que neste Exemplo 4.3 a composição completa do lodo de fermentação não foi fornecida. A lama continha uma variedade de outros componentes tais como hidratos de carbono residual, minerais, vitaminas, aminoácidos e outros produtos da fermentação. Estes componentes foram ignorados no balanço de massa. A fase líquida da lama foi considerada ser apenas água. Essa suposição é razoável pois a concentração das substâncias dissolvidas em caldos de fermentação é geralmente muito pequena, a água no caldo geralmente é responsável por mais de 90% da fase líquida.

Note-se também no presente problema as massas de alguns dos componentes eram diferentes em várias ordens de magnitude. Por exemplo, a massa de kanamicina no filtrado era da ordem de  $10^{-2}$ , considerando que a massa total desse fluxo era da ordem de  $10^2$ .

O cálculo da massa de água, por conseguinte, foi realizado subtraindo um número muito pequeno de um grande e transportando muitos algarismos significativos. Esta é uma característica inevitável da maioria dos balanços de massa para processos biológicos, que se caracterizam por soluções diluídas e grandes quantidades de água. No entanto, embora termos usado muitos algarismos, estes eram significativos. As respostas finais foram relatadas com o devido respeito à precisão dos dados.

O exemplo acima ilustra os procedimentos de balanço de massa para um processo simples em estado estacionário sem reação.



### Exemplo 4.4 Mistura em batelada

Um xarope de milho contém 2,5% de açúcares invertidos e 50% de água, e o resto pode ser considerado sólidos. Melaço de beterraba, contendo 50% de sacarose, 1% de açúcares invertidos, 18% de água e sólidos é misturado com o xarope de milho em um tanque de mistura. Adiciona-se água para produzir uma mistura diluída de açúcar contendo 2% (w / w), açúcares invertidos. Além da água, 125 kg do xarope de milho e 45 kg do melaço de beterraba são alimentados para dentro do tanque.

(A) Quanta água é necessária?

(B) Qual é a concentração de sacarose na mistura final?

O sistema é um tanque de mistura.

Entra: Melaço com sacarose, açúcar invertido, água e sólidos. ||| Xarope de milho que é açúcar invertido e água. ||| água.

Sai: Mistura com sacarose, açúcar invertido, água e sólidos.  
(o que sai é o que entra pois não há reação)

Solução:

1. Montar

(1.I) Desenhe o fluxograma (mostrando todos os dados).

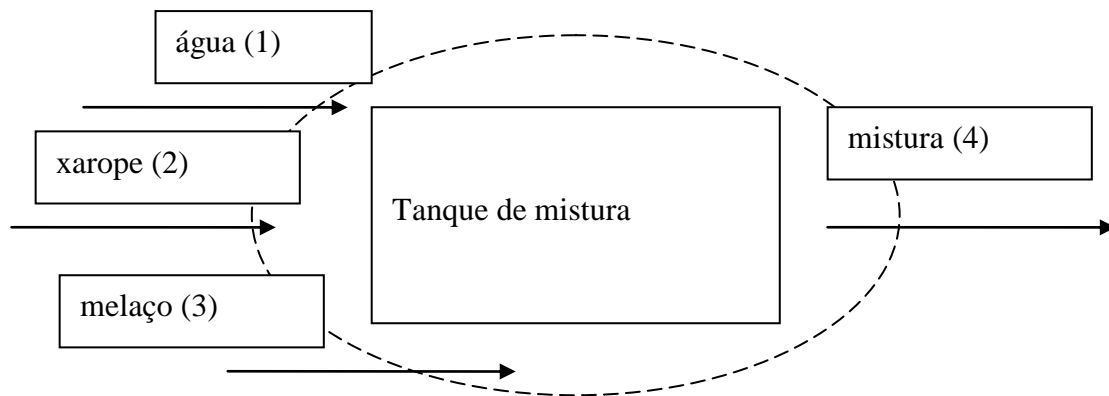
No fluxograma para este processo descontínuo, ao contrário do exemplo anterior, onde as correntes de entrada e saída representam fluxos contínuos, os fluxos representam massas adicionadas e removidas no início e no final do processo de mistura, respectivamente.

(1.II) Defina a fronteira do sistema.

! ☺ !

**DISCIPLINA DE TERMODINÂMICA APLICADA À BIOTECNOLOGIA. BiopCap4Parte30214**  
Professor Paul Fernand Milcent.

Base bibliográfica: DORAN, P. M. (University of New South Wales, Sydney, Austrália.) Bioprocess Engineering Principles. Academic Press. Primeira edição em 1995.



Identifique os componentes envolvidos:

Estabeleça uma notação:

Recolha as informações do enunciado conforme a notação escolhida:

! ☺ !

água (a), sólidos (s), açúcar invertido (i), sacarose (r)

(1,2,3,4,a,s,i,r) (x, m).

$$x_{2i} = 0,025$$

$$x_{2a} = 0,5$$

$$x_{2s} = 1,0 - 0,5 - 0,025 = 0,475$$

$$x_{3r} = 0,5$$

$$x_{3i} = 0,01$$

$$x_{3a} = 0,18$$

$$x_{3s} = 1,0 - 0,5 - 0,01 - 0,18 = 0,31$$

$$x_{1a} = 1,0$$

$$x_{4i} = 0,02$$

$$m_2 = 125 \text{ kg}$$

$$m_3 = 45 \text{ kg}$$

$$\text{A) } m_1 = ?$$

$$\text{B) } x_{4r} = ?$$

2. Analisar

(2.I) Suposições.

Não há vazamentos.

Não há inversão de sacarose ou qualquer outra reação.

(2.II) Dados extra.

Nenhum dado adicional é necessário. (Na escola a gente sabe disto porque confia que o professor está fornecendo um problema solucionável. Na prática, à medida que conseguimos resolver o problema, ou gradualmente quando da sua solução. Eventualmente contando o número de equações que podemos montar e o número de incógnitas.)

# DISCIPLINA DE TERMODINÂMICA APLICADA À BIOTECNOLOGIA. BiopCap4Parte30214

Professor Paul Fernand Milcent.

Base bibliográfica: DORAN, P. M. (University of New South Wales, Sydney, Austrália.) Bioprocess Engineering Principles. Academic Press. Primeira edição em 1995.

(2.III) Base.

Que tal? 125 kg de xarope de milho? (Quando massas ou vazões são conhecidas, e não somente as relações entre elas, boa estratégia é usar como base de cálculo as quantidades conhecidas.)

(2.IV) Compostos envolvidos na reação.

Não há compostos envolvidos em reação.

(2.V) Equação de balanço de massa.

Não há reação. Não há produção ou consumo de nada.

O tanque é totalmente esvaziado entre os ciclos. Não há acúmulo ou decréscimo.

! ☺ !

ENTRADAS = SAÍDAS

3. Calcular

Que tal tentar solucionar?

(3.I) Tabela de cálculo. Introduza as informações diretamente oriundas do enunciado.

! ☺ !

$$x_{2i} = 0,025$$

$$x_{2a} = 0,5$$

$$x_{2s} = 1,0 - 0,5 - 0,025 = 0,475$$

$$x_{3r} = 0,5$$

$$x_{3i} = 0,01$$

$$x_{3a} = 0,18$$

$$x_{3s} = 1,0 - 0,5 - 0,01 - 0,18 =$$

$$0,31$$

$$x_{1a} = 1,0$$

$$x_{4i} = 0,02$$

$$m_2 = 125 \text{ kg}$$

$$m_3 = 45 \text{ kg}$$

$$m_{2i} = m_2 \cdot x_{2i} = 3,125$$

$$m_{2a} = m_2 \cdot x_{2a} = 62,5$$

$$m_{2s} = m_2 \cdot x_{2s} = 59,375$$

$$x_{2r} = 0$$

$$m_{2r} = m_2 \cdot x_{2r} = 0$$

$$m_{3i} = m_3 \cdot x_{3i} = 0,45$$

$$m_{3a} = m_3 \cdot x_{3a} = 8,1$$

$$m_{3s} = m_3 \cdot x_{3s} = 13,95$$

$$m_{3r} = m_3 \cdot x_{3r} = 22,5$$

$$x_{1i} = 0$$

$$x_{1s} = 0$$

$$x_{1r} = 0$$

$$m_{1i} = m_1 \cdot x_{1i} = 0$$

$$m_{1s} = m_1 \cdot x_{1s} = 0$$

$$m_{1r} = m_1 \cdot x_{1r} = 0$$

ENTRADAS (KG)					
	água (a)	sólidos (s)	açúcar invert. (i)	sacarose (r)	Total
Água (1)		0	0	0	
Xarope (2)	62,5	59,375	3,125	0	125
Melaço (3)	8,1	13,95	0,45	22,5	45
Total					
SAÍDAS (KG)					
	água (a)	sólidos (s)	açúcar invert. (i)	sacarose (r)	Total
Mistura (4)					
Total					

**DISCIPLINA DE TERMODINÂMICA APLICADA À BIOTECNOLOGIA. BiopCap4Parte30214**  
 Professor Paul Fernand Milcent.

Base bibliográfica: DORAN, P. M. (University of New South Wales, Sydney, Austrália.) Bioprocess Engineering Principles. Academic Press. Primeira edição em 1995.

(3.II) Cálculos. Escreva os balanços de massa total e parciais para cada componente e introduza na tabela os valores diretamente obtidos disto.

! ☺ !

Balanço de massa total .

$$m_1 + m_2 + m_3 = m_4 \qquad m_1 + 125 + 45 = m_4 \quad (\text{eq.1})$$

Balanço de massa para a água

$$m_{1a} + m_{2a} + m_{3a} = m_{4a} \qquad m_{1a} + 62,5 + 8,1 = m_{4a} \quad (\text{eq.2})$$

Balanço de massa para a sacarose

$$m_{1r} + m_{2r} + m_{3r} = m_{4r} \qquad 0 + 0 + 22,5 = m_{4r} \quad (\text{eq.3}) \qquad m_{4r} = 22,5$$

Balanço de massa para o açúcar invertido

$$m_{1i} + m_{2i} + m_{3i} = m_{4i} \qquad 0 + 3,125 + 0,45 = m_{4i} \quad (\text{eq.4}) \qquad m_{4i} = 3,575$$

Balanço de massa para os sólidos.

$$m_{1s} + m_{2s} + m_{3s} = m_{4s} \qquad 0 + 59,375 + 13,95 = m_{4s} \quad (\text{eq.5}) \qquad m_{4s} = 73,325$$

ENTRADAS (KG)					
	água (a)	sólidos (s)	açúcar invert. (i)	sacarose (r)	Total
Água (1)		0	0	0	
Xarope (2)	62,5	59,375	3,125	0	125
Melaço (3)	8,1	13,95	0,45	22,5	45
Total					
SAÍDAS (KG)					
	água (a)	sólidos (s)	açúcar invert. (i)	sacarose (r)	Total
Mistura (4)		73,325	3,575	22,5	
Total					

Associe as equações disponíveis e complete a tabela.

! ☺ !

**DISCIPLINA DE TERMODINÂMICA APLICADA À BIOTECNOLOGIA. BiopCap4Parte30214**  
 Professor Paul Fernand Milcent.

Base bibliográfica: DORAN, P. M. (University of New South Wales, Sydney, Austrália.) Bioprocess Engineering Principles. Academic Press. Primeira edição em 1995.

Mas o problema informa que  $x_{4i} = 0,02$  e sabemos que  $m_4 \cdot x_{4i} = m_{4i}$   $m_4 \cdot 0,02 = 3,575$

Assim  $m_4 = 178,75$  kg

Pela equação 1:  $m_1 + 125 + 45 = m_4$   $m_1 = 8,75$  kg e  $m_1 = m_{1a}$

E também  $m_4 = m_{4a} + m_{4s} + m_{4i} + m_{4s}$   $178,5 = m_{4a} + 73,325 + 3,575 + 22,5$   $m_{4a} = 79,35$  kg

E dá para usar, dentre outras a equação 2 para conferir:  $m_{1a} + 62,5 + 8,1 = m_{4a}$  (eq.2)

ENTRADAS (KG)					
	água (a)	sólidos (s)	açúcar invert. (i)	sacarose (r)	Total
Água (1)	8,75	0	0	0	8,75
Xarope (2)	62,5	59,375	3,125	0	125
Melaço (3)	8,1	13,95	0,45	22,5	45
Total					
SAÍDAS (KG)					
	água (a)	sólidos (s)	açúcar invert. (i)	sacarose (r)	Total
Mistura (4)	79,35	73,325	3,575	22,5	178,75
Total					

Confira as somatórias

! ☺ !

ENTRADAS (KG)					
	água (a)	sólidos (s)	açúcar invert. (i)	sacarose (r)	Total
Água (1)	8,75	0	0	0	8,75
Xarope (2)	62,5	59,375	3,125	0	125
Melaço (3)	8,1	13,95	0,45	22,5	45
Total	79,35	73,325	3,575	22,5	178,75
SAÍDAS (KG)					
	água (a)	sólidos (s)	açúcar invert. (i)	sacarose (r)	Total
Mistura (4)	79,35	73,325	3,575	22,5	178,75
Total	79,35	73,325	3,575	22,5	178,75

(3.III) Verificar os resultados.

Todas as colunas e linhas da tabela apresentam somatórias corretas.

4. Finalizar

(4.I) As questões específicas. (4.II) As respostas.

A água necessária é  $m_1 = 8,75$  kg.

A concentração de sacarose na mistura é:  $x_{4r} = m_{4r} / m_4 = 22,5 / 178,75 = 0,126$  ou 12,6 %

Balanços em sistemas com reação química são um pouco mais complicados. Para resolver problemas com reação, relações estequiométricas devem ser usadas em junção com as equações de balanço de massa. Estes procedimentos são ilustrados nos Exemplos 4.5 e 4.6.

Para que haja maior aproveitamento, tente em casa resolver tais problemas.

Fim da aula de 24/09/13

---

### Exemplo 4.5 Fermentação Contínua de Ácido Acético

Bactérias de *acetobacter aceti* convertem etanol para ácido acético sob condições aeróbias. Um processo de fermentação contínua para produção de vinagre é proposto usando células de *A. Aceti* imobilizadas na superfície dos grânulos de gelatina. A meta de produção é de 2 kg /h de ácido acético. No entanto, a concentração máxima de ácido acético tolerada pelas células é de 12%. O ar é bombeado para dentro do fermentador numa taxa de 200 gmol /h.

- (A) Qual é a quantidade mínima de etanol necessária?
  - (B) Qual quantidade mínima de água deve ser usada para diluir o etanol, para evitar a inibição?
  - (C) Qual é a composição do gás efluente do fermentador?
- 

### Exemplo 4.6 Produção de Goma Xantana

A goma de xantana é produzida utilizando *Xanthomonas campestris* em cultura em batch. Experimentos de laboratório mostraram que, para cada grama de glicose utilizada pelas bactérias, 0,23 g de oxigênio e 0,01 g de amônia são consumidos, enquanto 0,75 g de goma, 0,09 g de células, 0,27 g de CO<sub>2</sub> e 0,13 g de H<sub>2</sub>O são formados. Outros componentes do sistema, tais como o fosfato podem ser desconsiderados. O meio contendo glicose e amônia dissolvido em 20.000 litros de água é bombeado para um fermentador agitado e inoculado com *X. campestris*. Ar é alimentado ao fermentador. O montante total de gás recuperado durante a cultura em batelada é 1.250 kg. Por causa da elevada viscosidade e da dificuldade em lidar com as soluções de goma-xantana, a concentração final da goma não deve exceder 3,5% em peso.

- (a) Quanto é necessário de glicose e amônia?
  - (b) Qual a percentagem de ar em excesso é fornecido?
-