GERAÇÃO DE UM FLUXOGRAMA COMPLETO

“THE MASTER PROBLEM”

EXEMPLO

Pretende-se

produzir

**850 tmol/a** de um produto **E** a partir das matérias primas **A e B** pelas reações **R1** e **R2** abaixo.

**R1: A + B 🡪 C + D**

**- reator de mistura termicamente isolado;**

- conversão por passe: **γ1= 0,40;**

- o reagente **A** deve estar com um excesso **e1 = 20%** na alimentação do reator;

- reação exotérmica: calor de reação: **λ1 = 0,8 kWh/kmol;**

- a alimentação do reator deve estar a **tar1 = 120 oC** e o seu efluente deve ser resfriado a   
**tas1 = 80oC** antes de chegar ao primeiro separador.

**R2: A + C 🡪 E + D**

**- reator de mistura termicamente isolado;**

- conversão por passe: **γ2= 0,5;**

- o reagente **A** deve estar com um excesso **e2= 50%** na alimentação do reator;  
- reação exotérmica: calor de reação: **λ2 = 0,60kWh/kmol;**

- a alimentação do reator deve estar a **tar2 = 100 oC** e o seu efluente deve ser resfriado a **tas2 = 80oC**antes de chegar ao primeiro separador.

Os reagentes **A** e **B** encontram-se a **25 oC**.

.

Os preços de mercado das substâncias envolvidas, são:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Substâncias** | **A** | **B** | **C** | **D** | **E** |
| **Preço $/kmol** | 2 | 1 | 4 | 0 | 6 |

Existe um mercado de **425 tmol/a** para o intermediário **C**. Logo, existe a possibilidade do primeiro processo produzir esta quantidade de **C** para venda, além do necessário para produzir **E**.

**1.** Desenvolva o **fluxograma embrião** para um processo que utilize as duas reações, adotando a versão que proporcionar a **maior Margem Bruta**: com ou sem a produção em excesso de **C**. As vazões dos componentes, nas correntes virtuais, devem ser expressas em **kmol/h.** O processo deverá operar **8.500 h/a.**

**CÁLCULO DA MARGEM BRUTA**

**COM PRODUÇÃO EM EXCESSO DE C**

**SEM PRODUÇÃO DE EXCESSO DE C**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **A** | **B** | **C** | **D** | **E** |  | **A** | **B** | **C** | **D** | **E** |
| -1 | -1 | 1 | 1 | 0 | **R1** | -1,5 | -1.5 | 1,5 | 1,5 | 0 |
| -1 | 0 | -1 | 1 | 1 | **R2** | -1 | 0 | -1 | 1 | 1 |
| **-2** | **-1** | **0** | **2** | **1** | **G** | **-2,5** | **-1,5** | **0,5** | **2,5** | **1** |
| 2 | 1 | 4 | 0 | 6 | **p$/kmol** | 2 | 1 | 4 | 0 | 6 |
| -4 | -1 | 0 | 0 | 6 |  | **-5** | **-1,5** | **2** | **0** | **6** |

**Margem Bruta = 1,0**  **Margem Bruta = 1,5**

**FLUXOGRAMA EMBRIÃO COM A PRODUÇÃO DE EXCESSO DE C**

150 D

300 A  
225 B  
150 C  
150 D

450A 375 B

150A  
150 B

300 A 225B

150C

#### 100 C

##### 100 E

300 A  
100 E  
100 C  
100 D

400 A

200 C

100 C

100 A

300 A 100 C

100 D

100 D

**50 C**



**2.** Detalhe os Sistemas de Separação por cada um dos métodos: heurístico, evolutivo (partindo da solução heurística) e Rodrigo&Seader, utilizando apenas torres de destilação. As Volatilidades Relativas Adjacentes se encontram nas tabelas abaixo, que devem ser completadas com as vazões provenientes do fluxograma embrião. As colunas passíveis de utilização e os seus custos, podem ser obtidos com o auxílio do programa SínteseSistemasSeparação. xls. Apresente o fluxograma completo com a solução ótima, como no exemplo abaixo.

**Exemplo**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Subst.** | **q (kmol/h)** | **αi,j** |  | **Subst.** | **q(kmol/h)** | **αi,j** |
| **A** | 300 | 1,7 |  | **A** | 300 | 2,0 |
| **B** | 225 | 1,2 |  | **E** | 100 | 1,4 |
| **C** | 150 | 2,5 |  | **C** | 100 | 2,5 |
| **D** | 150 |  |  | **D** | 100 |  |

**DETALHAMENTO DOS SISTEMAS DE SEPARAÇÃO**

**Custos do Sistema S1 usando SínteseSistemasSeparação.xls**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Componente** | **q** | **a** |  | **MISTURAS** | |  | **COLUNA** | | **CUSTO** |
| **A** | 300 | 1,7 |  | 1 | ABCD |  | 1 | A\*BCD | 1.179 |
| **B** | 225 | 1,4 |  | 2 | ABC |  | 2 | AB\*CD | 4.125 |
| **C** | 150 | 2 |  | 3 | BCD |  | 3 | ABC\*D | 825 |
| **D** | 150 |  |  | 4 | AB |  | 4 | A\*BC | 964 |
|  |  |  |  | 5 | BC |  | 5 | AB\*C | 3.375 |
|  |  |  |  | 6 | CD |  | 6 | B\*CD | 2.625 |
|  |  |  |  | 7 | A |  | 7 | BC\*D | 525 |
|  |  |  |  | 8 | B |  | 8 | A\*B | 750 |
|  |  |  |  | 9 | C |  | 9 | B\*C | 1.875 |
|  |  |  |  | 10 | D |  | 10 | C\*D | 300 |

**Síntese do Sistema S1 pelo Método de Rodrigo & Seader**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 3.ABC/D |  |  | 825 | 825 |  |
|  | 4.A/BC |  | 964 | 1789 |  |
|  |  | B/C | 1875 | 3664 | bound |
|  | 5.AB/C |  | 2500 | 3389 |  |
|  |  | A/B | 750 | 4139 | x |
| **1.A/BCD** |  |  | **1179** | **1179** |  |
|  | **BC/D** |  | **525** | **1704** |  |
|  |  | **B/C** | **1875** | **3579** | **bound** |
| 2. AB/CD |  |  | 4125 |  | x |

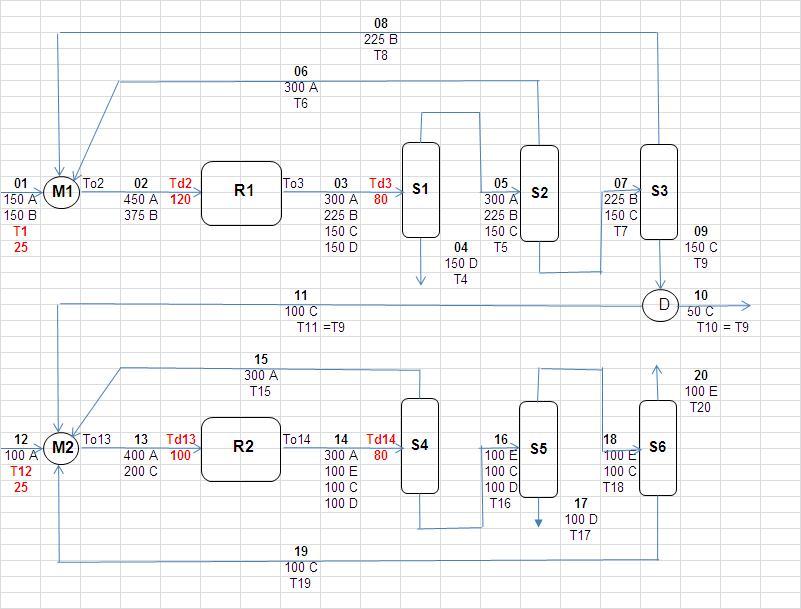
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Componente** | **q** | **a** |  | **MISTURAS** | |  | **COLUNA** | | **CUSTO** |
| **A** | 300 | 1,8 |  | 1 | AECD |  | 1 | A\*ECD | 750 |
| **E** | 100 | 1,4 |  | 2 | AEC |  | 2 | AE\*CD | 1.500 |
| **C** | 100 | 2 |  | 3 | ECD |  | 3 | AEC\*D | 600 |
| **D** | 100 |  |  | 4 | AE |  | 4 | A\*EC | 625 |
|  |  |  |  | 5 | EC |  | 5 | AE\*C | 1.250 |
|  |  |  |  | 6 | CD |  | 6 | E\*CD | 750 |
|  |  |  |  | 7 | A |  | 7 | EC\*D | 300 |
|  |  |  |  | 8 | E |  | 8 | A\*E | 500 |
|  |  |  |  | 9 | C |  | 9 | E\*C | 500 |
|  |  |  |  | 10 | D |  | 10 | C\*D | 200 |

**Custos do Sistema S2 usando SínteseSistemasSeparação.xls**

**Síntese do Sistema S2 pelo Método de Rodrigo & Seader**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 3.AEC/D |  |  | 600 | 600 |  |
|  | 4.A/EC |  | 625 | 1225 |  |
|  |  | E/C | 500 | 1725 | bound |
|  | 5.AE/C |  | 1250 | 1850 | x |
| **1.A/ECD** |  |  | **750** | **750** |  |
|  | **7.EC/D** |  | **300** | **1050** |  |
|  |  | **E/C** | **500** | **1550** | **bound** |
| 2.AE/CD |  |  | 1500 | 1500 |  |
|  | 8 A/E |  | 500 | 1550 |  |
|  | 10 C/D |  | 200 | 2250 | x |

**FLUXOGRAMA COM OS SISTEMAS DE SEPARAÇÃO DETALHADOS**

****

**3.** Determine a temperatura de cada corrente através de balanços de energia no entorno de cada equipamento, incluindo os divisores de correntes. **Os reatores são termicamente isolados**. Aos balanços de energia devem ser acrescentadas, **para cada coluna de destilação**, uma equação relacionando as temperaturas das correntes de topo e de fundo:

** (1)**

em que αké a volatilidade relativa adjacente dos componentes envolvidos no corte. A solução do sistema de equações resultante pode ser obtida com o auxílio do Algoritmo de Ordenação de Equações, que deve ser executado manualmente a título de exercício. O resultado pode ser conferido pelo programa AOE.xls.

Recomenda-se a incorporação da eq. (1) às equações aos balanços de energia. Com isso, evita-se o aparecimento dos ciclos na execução do A.O.E.No modelo abaixo, elas já se encontram incorporadas, sendo difXY a diferença de temperatura entre as correntes X e Y pela eq.(1). Exemplo: a eq 3 original era x3 **Td3** - x5 T5 - x4 T4 = 0. Ela assumiu a forma atual com a incorporaçãoda eq 4.Na sequência adiante, a eq 3 calcula T4 e, em seguida, a Eq 4 calcula T5, sem ciclo.

O WCp de uma corrente aparece na saída de um equipamento e na entrada do seguinte. Para simplificar o Modelo, é uilizada a notação compacta: **xj : WCp da corrente j; Ak = vazão de A corrente k.**

**BALANÇOS DE ENERGIA**

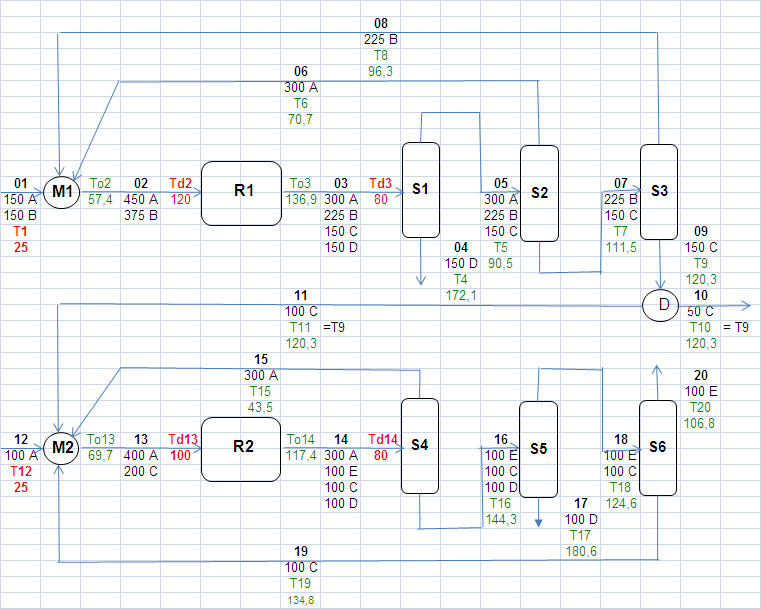
|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **WCp de Cada Corrente** |  | **MODELO** | | | |
| **xj: WCpda corrente j**  **Ak = vazão de A corrente k** |  |  |  |  |  | |  |  |  |
| x1 = A1 \* Cpa + B1 \* Cpb |  | **M1** | **1** | x1 T1 + x8 T8 + x6 T6 - x2 To2 = 0 | |
| x2 = A2 \* Cpa + B2 \* Cpb |  | **R1** | **2** | x2 Td2 + λ1 ξ1 - x3 To3 = 0 | |
| x3 = A3 \* Cpa + B3 \* Cpb + C3 \* Cpc + D3 \* Cpd |  | **S1** | **3** | x3 Td3 - x5 (T4 - dif45) - x4 T4 = 0 | |
| x4 = D4 Cpd |  |  | **4** | T4 - T5 - dif45 = 0 | |
| x5 = A5 Cpa + B5 Cpb + C5 Cpc |  | **S2** | **5** | x5 T5 - x6 T6 - x7 (T6 + dif76) = 0 | |
| x6 = A6 Cpa |  |  | **6** | T7 - T6 - dif76 = 0 | |
| x7 = B7 Cpb + C7 Cpc |  | **S3** | **7** | x7 T7 - x8 T8 - x9 (T8 + dif98) = 0 | |
| x8 = B8 Cpb |  |  | **8** | T9 - T8 - dif98 = 0 | |
| x9 = C9 Cpc |  | **M2** | **9** | x12 T12 + x9 T9 + x15 T15 + x19 T19 - x13 To13 = 0 | |
| x10 = C10 Cpc |  | **R2** | **10** | x13 Td13 + λ2 ξ2 - x14 To14 = 0 | |
| x11 = C11 Cpc |  | **S4** | **11** | x14 Td14 - x15 T15 - x16 (T15 + dif1615) = 0 | |
| x12 = A12 Cpa |  |  | **12** | T16 - T15 - dif1615 = 0 | |
| x13 = A13 Cpa + C13 Cpc |  | **S5** | **13** | x16 T16 - x17 T17 - x18 (T17 - dif1718) = 0 | |
| x14 = A14 Cpa + E14 Cpe + C14 Cpc + D14 Cpd |  |  | **14** | T17 - T18 - dif1718 = 0 | |
| x15 = A15 Cpa |  | **S6** | **15** | x18 T18 - x19 (T20 + dif1920) - x20 T20 = 0 | |
| x16 = E16 Cpe + C16 Cpc + D16 Cpd |  |  | **16** | T19 - T20- dif1920 = 0 | |
| x17 = D17 Cpd |  |  |  |  |  | |  |  |  |
| x18 = E18 Cpe + C18 Cpc |  |  |  |  |  | |  |  |  |
| x19 = C19 Cpc |  |  |  |  |  | |  |  |  |
| x20 = E20 Cpe |  |  |  |  |  | |  |  |  |

**ORDENAÇÃO DAS EQUAÇÕES**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Para AOE** | | | | |  | **Do AOE** | | **Equações Ordenadas** | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  | T10=T11=T9 |  |  |
| **1** | T8 | T6 | To2 |  |  | 2 | To3 | To3 = (x2 \* Td2 + L1 \* csi1) / x3 | | | |
| **2** | To3 |  |  |  |  | 3 | T4 | T4 = (x3 \* Td3 - x5 \* dif45) / (x4 + x5) | | | |
| **3** | T4 |  |  |  |  | 4 | T5 | T5 = T4 - dif45 | | | |
| **4** | T4 | T5 |  |  |  | 5 | T6 | T6 = (x5 \* T5 - x7 \* dif76) / (x6 + x7) | | | |
| **5** | T5 | T6 |  |  |  | 6 | T7 | T7 = T6 + dif76 | | | |
| **6** | T7 | T6 |  |  |  | 7 | T8 | T8 = (x7 \* T7 - x8 \* dif98) / (x8 + x9) | | | |
| **7** | T7 | T9 |  |  |  | 8 | T9 | T9 = T8 + dif98 (T10 = T11 = T9) | | | |
| **8** | T9 | T8 |  |  |  | 1 | To2 | To2 = (x1 \* T1 + x8 \* T8 + x6 \* T6) / x2 | | | |
| **9** | T9 | T15 | T19 | To13 |  | 10 | To14 | To14 = (x13 \* Td13 + L2 \* csi2) / x14 | | | |
| **10** | To14 |  |  |  |  | 11 | T15 | T15 = (x14 \* Td14 - x16 \* dif1615) / (x15 + x16) | | | |
| **11** | T16 |  |  |  |  | 12 | T16 | T16 = T15 + dif1615 | | | |
| **12** | T16 | T15 |  |  |  | 13 | T17 | T17 = (x16 \* T16 + x18 \* dif1718) / (x17 + x18) | | | |
| **13** | T16 | T18 |  |  |  | 14 | T18 | T18 = T17 - dif1718 | | | |
| **14** | T17 | T18 |  |  |  | 15 | T19 | T19 = (x18 \* T18 + x20 \* dif1920) / (x19 + x20) | | | |
| **15** | T18 | T20 |  |  |  | 16 | T20 | T20 = T19 - dif1920 | | | |
| **16** | T19 | T20 |  |  |  | 9 | To13 | To13 = (x12 \* T12 + x9 \* T9 + x15 \* T15 + x19 \* T19) / x13 | | | |

**FLUXOGRAMA COM AS TEMPERATURAS DAS CORRENTES**

A sequência obtida é direta e foi executada manualmente.

****

**4.** A partir das temperaturas calculadas:

**(a)** determine os consumos máximo e mínimo de utilidades;

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Cp** | **CpA** | **CpB** | **CpC** | **CpD** | **CpE** |
| **(kWh / kmol oC)** | 0,050 | 0,040 | 0,035 | 0,030 | 0,020 |

**DO FLUXOGRAMA**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Correntes** | | **WCp** | **To** | **Td** |
| F1 | 2 | 37,5 | 57,4 | 120 |
| F2 | 13 | 27,0 | 69,7 | 100 |
| Q1 | 3 | 33,8 | 136,9 | 80 |
| Q2 | 14 | 23,5 | 117,4 | 80 |

**DIAGRAMA DOS INTERVALOS DE TEMPERATURA**

57,4

67,4

127,2

136,9

117,4

80

70

120

130

110

40

**30 água**

107,4

1

1

2

2

3

3

4

4

5

5

**150**

**100**

**100**

**150**

**50**

**50**

**0**

**0**

**Q3**

**Q14**

**Q3**

**F2**

**F13**

**F3**

**Q2**

**Q14**

**Q3**

**F2**

**F13**

**F3**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Utilidade | **Consumo Máximo** | | **Consumo Mínimo** | |
|  | **kW** | **kg/h** | **kW** | **kg/h** |
| Vapor | 3.165 | 6.594 | 461 | 961 |
| **Água** | 2.802 | 120.776 | 0 | 0 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Máximo** | **Mínimo** |
| **Custo ($/a)** | 135.403 | 12.252 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Intervalo** | **Rk-1 kW** | **Oferta kW** | **Demanda kW** | **Saldo kW** |
| **1** | 0 | 233,2 | 0 | 233,2 |
| **2** | 233,2 | 425,9 | 472,5 | 186,6 |
| **3** | 186,6 | 424 | 277,5 | 333,1 |
| **4** | 333,1 | 1.719 | 1.935 | 117,1 |
| **5** | 117,1 | 0 | 461,2 | - 344,2(v) |

Ao se construir a rede com custo CT\*, abaixo, o Resíduo R4 se mostra desprezível, pois as temperaturas das quentes descem até 81 e 83. Pode-se assumi-las iguais a 80 e R4 = 0 levando o consumo mínimo de água prático a 461 kW.

**(b)**proponha duas redes de trocadores de calor utilizando o método heurístico: uma utilizando o critério **RPS** (QMTO x FMTO) e outra utilizando o critério **PD**para a seleção dos pares de correntes. As Capacidades Caloríficas (kWh / kmol oC) dos componentes encontram-se na tabela abaixo. Recomenda-se a solução de parte do problema manualmente como exercício. O problema pode ser resolvido com o auxílio do programa SHRTC. xls.

**REDE DE TROCADORES DE CALOR PELO CRITÉRIO RPS**

**Síntese usandoSHRTC.xls**

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **T** | **Q** | **A** | **Wa** | **Wv** |
|  | **kW** | **m2** | **kg/h** | **kg/h** |
| **1** | 818 | 27,4 |  |  |
| **7** | 879 | 40,4 |  |  |
| **12** | 740 | 89,7 |  |  |
| **13** | 365 | 10,8 | 15.734 |  |
| **17** | 728 | 5,2 |  | 1.517 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **CUSTO TOTAL** | | | |
|  |  |  |  |
| **Cutil ($/a)** | | **26.035** | |
| **Ccap ($/a)** | | **5.961** | |
| **CT ($/a)** | | **31.996** | |

**REDE DE TROCADORES DE CALOR PELO CRITÉRIO PD**

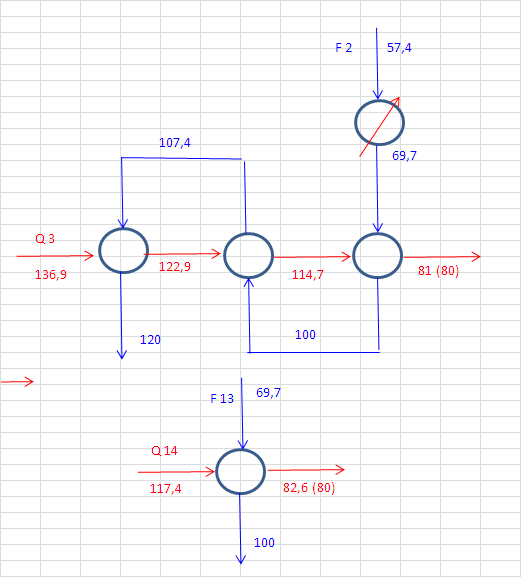
**Síntese usando SHRTC.xls**

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **T** | **Q** | **A** | **Wa** | **Wv** |
|  | **kW** | **m2** | **kg/h** | **kg/h** |
| **1** | 1.923 | 184,4 |  |  |
| **7** | 818 | 72,6 |  |  |
| **8** | 61 | 2,0 | 2.621 |  |
| **11** | 424 | 2,3 |  | 883 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **CUSTO TOTAL** | | | |
|  |  |  |  |
| **Cutil ($/a)** | | **12.370** | |
| **Ccap ($/a)** | | **6.392** | |
| **CT ($/a)** | | **18.762** | |

**(c)**proponha uma rede de trocadores de calor com o Custo CT\*.

****

Aglutinando os 3 trocadores, obtem-se a mesma rede gerada com o critério PD

**(d)** insira no fluxograma completo a rede de menor custo dentre as obtidas acima (opcional).