

D.D.S.R

Relatório nº5 - Traffic engineering and network design optimization

Curso:METI

Turno: 3ª feira 15:00 - 16:30)

Grupo: 8

Trabalho realizado por:

Ruben Condesso, nº 81969

André Mendes, nº78079

Exercício 1:

(1.1) A topologia da rede do exercício em causa é a seguinte:

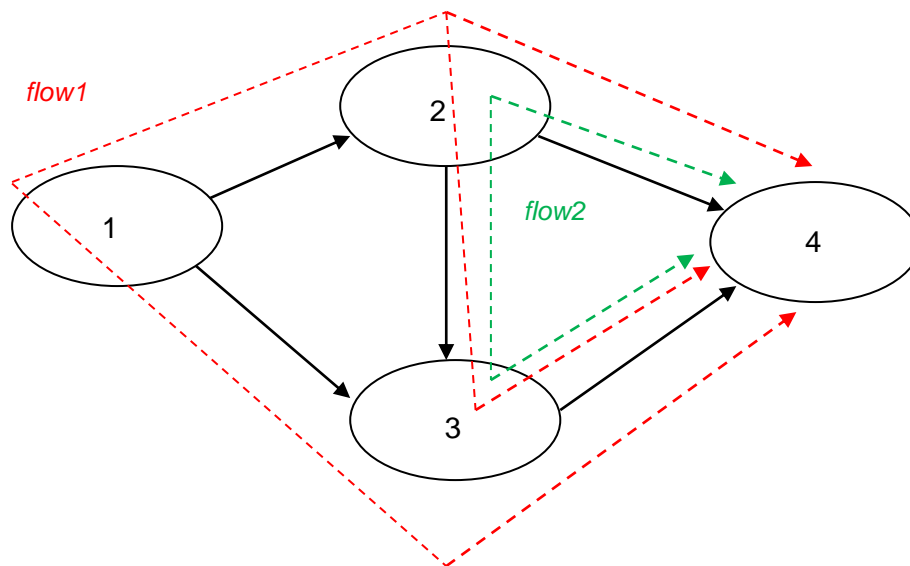


Figura 1: Topologia da rede, com bifurcação

Segundo o enunciado do exercício 1, sabemos as seguintes características da rede:

- O *flow1*, entre os nós 1 e 4, com 5 Mb/s;
- O *flow2*, entre os nós 2 e 5, com 5 Mb/s;
- O *link* 3-4 tem 20 Mb/s de capacidade;
- Restantes *links* tem 10 Mb/s de capacidade.

Esta alínea é referente a tráfego com bifurcação, para determinar a solução usamos a formulação *link-path*, e consideramos as restrições presentes na figura 2:

```
1  /* Objective function */
2  min: r;
3
4  /* Variable bounds */
5
6  5=x134+x124+x1234;
7  5=x24+x234;
8
9  x124+x1234 <= 10*r;
10 x134 <= 10*r;
11 x1234 + x234 <= 10*r;
12 x124 + x24 <= 10*r;
13 x134 + x1234 + x234 <= 20*r;
14
15 0 <= r <= 1;
16
17 x124 >= 0;
18 x1234 >= 0;
19 x134 >= 0;
20 x234 >= 0;
```

Figura 2: Restrições para o exercício 1.1

Os resultados obtidos para solução de encaminhamento que minimiza o atraso no *link* estão descritos na seguinte figura:

Variables	result
	0,333...
r	0,333...
x134	3,333...
x124	1,666...
x1234	0
x24	1,666...
x234	3,333...

Figura 3: Resultados *Link Path*

Analisando a figura 3 podemos verificar que referente à bifurcação do *flow* 1 existem apenas dois caminhos utilizados: caminho 1-2-4, com 1,66(7) Mb/s, e caminho 1-3-4, com 3,3(3) Mb/s; e em relação ao *flow* 2 existem também apenas dois caminhos utilizados: caminho 2-4, com 1,66(7) Mb/s, e caminho 2-3-4, com 3,3(3) Mb/s. A taxa de ocupação dos *links* é igual a 33,3(3)%. A utilização, em cada *link* da rede, está descrita na seguinte figura:

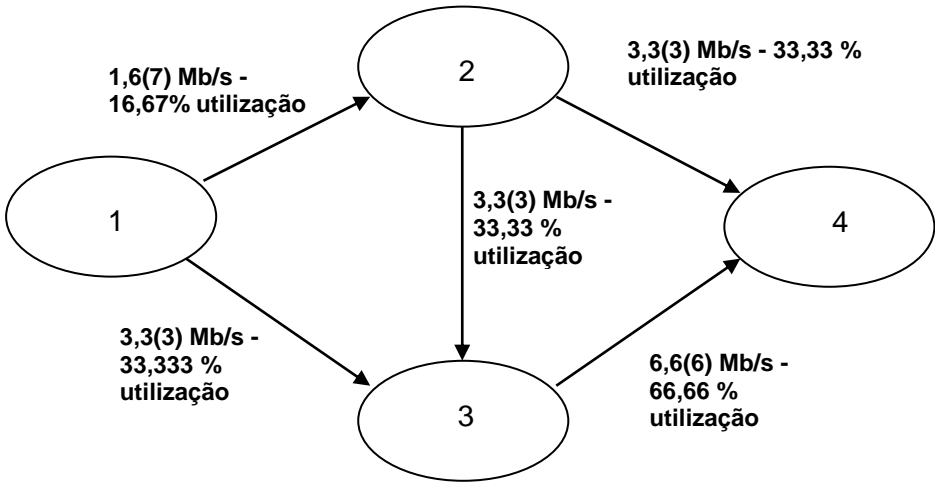


Figura 4: Taxa de ocupação em cada *link*

(1.2) Ao contrário do que acontece na alínea anterior, agora não existe bifurcação de tráfego. Usamos a formulação *link-path*, as restrições em causa estão ilustradas na figura 5:

```

1  /* Objective function */
2  min: r;
3
4  /* Variable bounds */
5
6  x134+x124+x1234=1;
7  x24+x234 =1;
8
9  5*x124+5*x1234 <= 10*r;
10 5*x134 <= 10*r;
11 5*x1234 + 5*x234 <= 10*r;
12 5*x124 + 5*x24 <= 10*r;
13 5*x134 + 5*x1234 + 5*x234<= 20*r;
14
15 0 <= r <= 1;
16
17 bin x124, x1234, x24, x134, x234;

```

Figura 5: Restrições para o exercício 1.2

Os resultados obtidos para solução de encaminhamento que minimiza o atraso no *link*, sem haver qualquer bifurcação de tráfego, estão descritos na figura 6:

Variables	MILP ...	result
	0,5	0,5
r	0,5	0,5
x134	1	1
x124	0	0
x1234	0	0
x24	1	1
x234	0	0

Figura 6: Resultados *Link Path*, sem haver bifurcação

Podemos concluir que o caminho obtido pelo *flow 1* é o caminho 1-3-4, enquanto que o *flow 2* toma o caminho 2-4, ou seja, a sua ligação direta, ambos os caminhos com 50% de utilização (*Links* 1-3, 3-4, 2-4). A taxa de utilização é, analogamente, de 50%.

Se colocarmos um olhar crítico sobre estes resultados, podemos ver que fazem sentido, dado as características da rede e do facto de não haver bifurcação de tráfego. Claro está, que só num caso de haver uma topologia simples como está, é que podemos fazer uma análise a "olho".

Exercício 2:

(2.1) A primeira alínea do exercício 2 é referente a tráfego com bifurcação, de maneira que foi utilizado a formulação *link-path*, cujas as restrições estão ilustradas na figura abaixo:

```

1  /* Objective function */
2  min: y12+y13+y24+y23+y34 ;
3  /* Variable bounds */
4  5 = x124 + x134 +x1234;
5  5 = x24 + x234;
6  x124+x1234 = 10*p12;
7  x1234 + x134 + x234 = 20*p34;
8  x134 = 10*p13;
9  x1234 + x234 = 10*p23;
10 x24 + x124 = 10*p24;
11
12 y12 >= 1.5*p12;
13 y12 >= 4.5*p12-1;
14 y12 >= 15*p12-8;
15 y12 >= 50*p12-36;
16 y12 >= 200*p12-171;
17 y12 >= 4000*p12-3781;
18
19 y13 >= 1.5*p13;
20 y13 >= 4.5*p13-1;
21 y13 >= 15*p13-8;
22 y13 >= 50*p13-36;
23 y13 >= 200*p13-171;
24 y13 >= 4000*p13-3781;
25
26 y23 >= 1.5*p23;
27 y23 >= 4.5*p23-1;
28 y23 >= 15*p23-8;
29 y23 >= 50*p23-36;
30 y23 >= 200*p23-171;
31 y23 >= 4000*p23-3781;
32
33 y24 >= 1.5*p13;
34 y24 >= 4.5*p24-1;
35 y24 >= 15*p24-8;
36 y24 >= 50*p24-36;
37 y24 >= 200*p24-171;
38 y24 >= 4000*p24-3781;
39
40 y34 = 1.5*p34;
41 y34 >= 4.5*p34-1;
42 y34 >= 15*p34-8;
43 y34 >= 50*p34-36;
44 y34 >= 200*p34-171;
45 y34 >= 4000*p34-3781;
46
47 x124 >=0;
48 x1234 >=0;
49 x134 >=0;
50 x234 >=0;
51 x24 >=0;
52 y12 >=0;
53 y13 >=0;
54 y24 >=0;
55 y23 >=1.5*p23;
56 y34 >=0;
57 0 <= p12 <=1;
58 0 <= p13 <=1;
59 0 <= p23 <=1;
60 0 <= p24 <=1;
61 0 <= p34 <=1;

```

Figura 7: Restrições do exercício 2.1

Os resultados obtidos, de forma a minimizar o custo na rede, e usando as restrições descritas na figura 7, foram os seguintes:

Variables	result
	2,25
y12	0,25
y13	0,5
y24	0,5
y23	0,5
y34	0,5
x124	1,666...
x134	3,333...
x1234	0
x24	1,666...
x234	3,333...
p12	0,166...
p34	0,333...
p13	0,333...
p23	0,333...
p24	0,333...

Figura 9: Resultados obtidos para a minimização do custo da rede, com bifurcação

Dado os resultados ilustrados na figura 8, podemos inferir que para os *flows* 1 e 2 apenas 2 caminhos são utilizados, para cada um. O *flow* 1 utiliza os caminhos 1-2-4 e 1-3-4, com 1,6(6) Mb/s e 3,3(3) Mb/s, respetivamente, enquanto que o *flow* 2 utiliza 2-4 e 2-3-4 como caminhos a percorrer, com 1,6(6) Mb/s e 3,3(3) Mb/s, respetivamente. Podemos ainda verificar que o atraso nos *links* 1-3, 2-4, 2-3 e 3-4 é igual a 0.25, e o atraso no *link* 1-2 é de 0.25. O custo mínimo calculado foi igual a 2.25.

(2.2) Na segunda alínea do exercício 2 já não existe bifurcação de tráfego. As restrições a reter para o problema em causa foram as seguintes:

```

1  /* Objective function */
2  min: y12+y13+y24+y23+y34 ;
3  /* Variable bounds */
4  1 = x124 + x134 +x1234;
5  1 = x24 + x234;
6
7  5*x124 + 5*x1234 <= 10*p12;
8  5*x1234 + 5*x134 + 5*x234 <= 20*p34;
9  5*x134 <= 10*p13;
10 5*x1234 + 5*x234 <= 10*p23;
11 5*x24 + 5*x124 <= 10*p24;
12
13 y12 >= 1.5*p12;
14 y12 >= 4.5*p12-1;
15 y12 >= 15*p12-8;
16 y12 >= 50*p12-36;
17 y12 >= 200*p12-171;
18 y12 >= 4000*p12-3781;
19
20 y13 >= 1.5*p13;
21 y13 >= 4.5*p13-1;
22 y13 >= 15*p13-8;
23 y13 >= 50*p13-36;
24 y13 >= 200*p13-171;
25 y13 >= 4000*p13-3781;
26
27 y23 >= 1.5*p23;
28 y23 >= 4.5*p23-1;
29 y23 >= 15*p23-8;
30 y23 >= 50*p23-36;
31 y23 >= 200*p23-171;
32 y23 >= 4000*p23-3781;
33
34 y24 >= 1.5*p13;
35 y24 >= 4.5*p24-1;
36 y24 >= 15*p24-8;
37 y24 >= 50*p24-36;
38 y24 >= 200*p24-171;
39 y24 >= 4000*p24-3781;
40
41 y34 = 1.5*p34;
42 y34 >= 4.5*p34-1;
43 y34 >= 15*p34-8;
44 y34 >= 50*p34-36;
45 y34 >= 200*p34-171;
46 y34 >= 4000*p34-3781;
47
48 y12 >=0;
49 y13 >=0;
50 y24 >=0;
51 y23 >=0;
52 y34 >=0;
53 0 <= p12 <=1;
54 0 <= p13 <=1;
55 0 <= p23 <=1;
56 0 <= p24 <=1;
57 0 <= p34 <=1;
58
59 bin x134, x24, x234, x:

```

Figura 9: Restrições para o 2.2

Os resultados obtidos para minimizar o custo da rede, desta vez sem haver qualquer bifurcação por parte dos *flows*, foram os seguintes:

Variables	MILP ...	result
	2,875	2,875
y12	0	0
y13	1,25	1,25
y24	1,25	1,25
y23	0	0
y34	0,375	0,375
x124	0	0
x134	1	1
x1234	0	0
x24	1	1
x234	0	0
p12	0	0
p34	0,25	0,25
p13	0,5	0,5
p23	0	0
p24	0,5	0,5

Figura 10: Resultados obtidos para a minimização do custo da rede, sem haver bifurcação

As conclusões a retirar da figura 10 são as seguintes: existe apenas um caminho utilizado para cada *flow*, o *flow 1* utiliza o caminho 1-3-4 com 5 Mb/s e o *flow 2* utiliza o caminho 2-4, igualmente com 5 Mb/s; o atraso nos *links* 2-3 e 1-2 é igual a 0, o atraso nos *links* 1-3 e 2-4 é de 0.5 e finalmente no *link* 3-4 é de 0.25. É fácil verificar que apenas nos *links* onde passam os *flows* é que existe atraso, pelas razões óbvias, igual a 0.5 em todos, à exceção do *link* 3-4 onde é igual a 0.25, sendo que este possui o dobro da capacidade dos demais, e assim terá metade do atraso relativamente aos *links* 1-3 e 2-4. O valor do custo mínimo é igual a 2.875, que comparativamente à alínea a) é mais elevado, o que era de todo esperado pois na alínea anterior havia bifurcação do tráfego, o que aumenta a fluidez do mesmo, e por conseguinte diminui os atrasos e o valor do custo mínimo.