
Exploração de Minas em Céu Aberto

TRABALHO REALIZADO POR:

JOÃO FIGUEIREDO MARTINS PEIXE DOS SANTOS

FRANCISCO ALVES ANDRADE

LUÍS FILIPE CRUZ SOBRAL

PAULO SILVA SOUSA

MERIEM KHAMMASSI



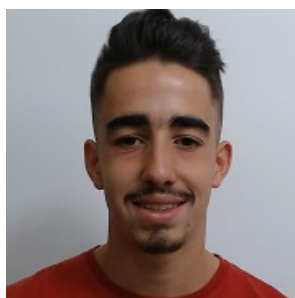
A89520
João Santos



A89474
Luís Sobral



A85829
Meriem Khammassi



A89465
Paulo Sousa



A89513
Francisco Andrade

Conteúdo

1	Problema	1
2	Objetivo	1
3	Adaptação dos dados ao grupo	1
4	Rede do Problema de Fluxo Máximo	2
5	Ficheiro Input	3
6	Ficheiro Output	4
7	Interpretação da Solução Ótima e Planeamento de Escavação da Mina	5
7.1	Validação do Modelo	7
7.1.1	Verificação da Conservação de Fluxo	7
7.1.2	Verificação das Restrições de Capacidade	8
8	Conclusão	9

1 Problema

O problema que pretendemos solucionar é uma versão simplificada do problema de exploração de minas em céu aberto. Assim, vamos ter um corte da mina segundo uma certa direção, que corresponde a um quadriculado bidimensional. Para se criar este quadriculado é feita uma estimativa dos recursos existentes no subsolo, sendo assim, possível fazer uma prospeção dos minérios existentes.

Para extrair um bloco, devido a várias restrições, como por exemplo, segurança ou estabilidade do terreno, é necessário extrair três blocos no nível de profundidade acima (o que está imediatamente acima e os dois que lhe estão adjacentes). Além disso, não é possível escavar abaixo do nível indicado no quadro (nível 5).

2 Objetivo

O objetivo usar software de otimização de redes para determinar os blocos que devem ser extraídos de uma mina a céu aberto para maximizar o lucro, sendo que cada bloco corresponde a um vértice.

3 Adaptação dos dados ao grupo

Sendo que o nosso número de aluno mais alto é A89520, os nossos quadros com o valor de inventário de cada minério em cada bloco, o lucro do minério e o número do vértice são os seguintes:

valor minério											
						10	8				
—					12	14	15	40			—
—	—			16				20		—	—
—	—	—	3	18	9			5	—	—	—
—	—	—	—	20	2			—	—	—	—
											192

Figura 1 - Quadro com o valor de cada minério

lucro = valor minério - custo											
1	-1	-1	-1	-1	-1	9	7	-1	-1	-1	-1
2	—	-2	-2	-2	-2	10	12	13	38	-2	-2
3	—	—	-3	-3	13	-3	-3	-3	17	-3	—
4	—	—	—	-1	14	5	-4	-4	1	—	—
5	—	—	—	—	15	-3	-5	-5	—	—	—
											92

Figura 2 - Quadro com o lucro de cada minério

número do vértice											
29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
—	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	—
—	—	11	12	13	14	15	16	17	18	—	—
—	—	—	5	6	7	8	9	10	—	—	—
—	—	—	—	1	2	3	4	—	—	—	—

Figura 3 - Quadro com o número de cada vértice

4 Rede do Problema de Fluxo Máximo

Nesta secção apresentamos o grafo correspondente à rede relativa ao problema de escavação de uma mina a céu aberto.

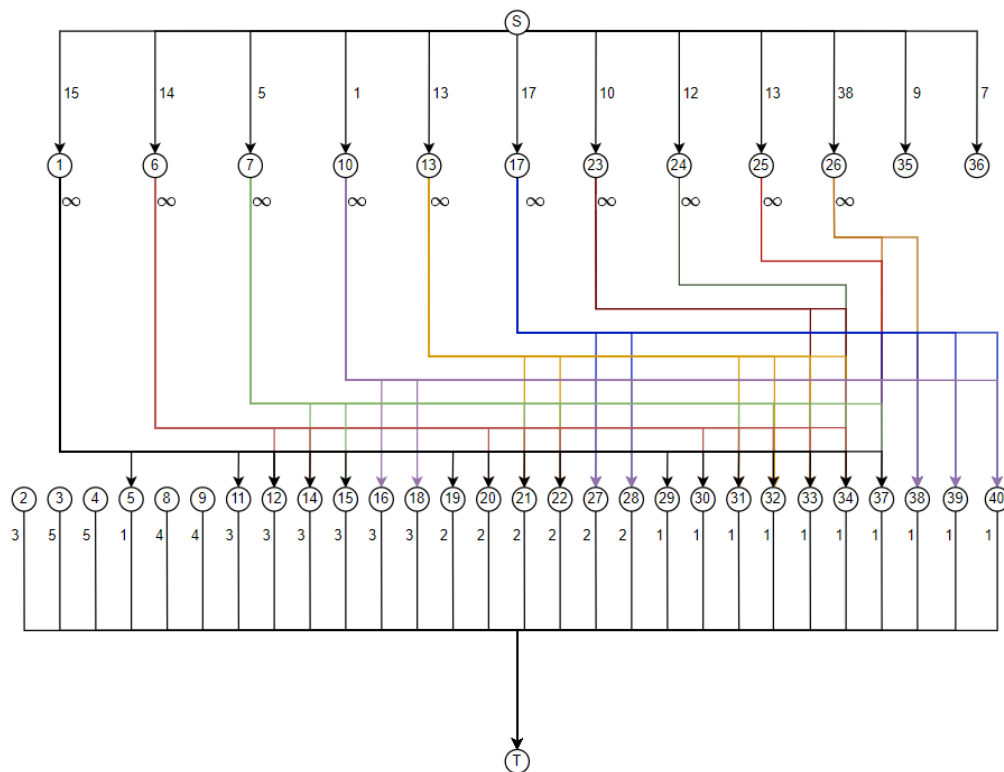


Figura 4 - Grafo não otimizado

No ficheiro input do software utilizado para obter a solução ótima introduzimos os dados presentes na figura seguinte, onde as primeiras duas linhas representam o número de vértices e o número de arestas. As seguintes linhas representam as ligações entre os vértices do grafo da rede. Nessas linhas a primeira coluna é referente ao vértice origem, a segunda ao vértice destino, a terceira ao custo da ligação e a quarta à capacidade. A última linha com quatro colunas corresponde a ligação de retorno. As linhas seguintes representam as ofertas e as procuras, no entanto devido à inexistência destas são representadas por 0.

42		1 5 0 1000
103		1 11 0 1000
41 1 0 15		1 12 0 1000
41 6 0 14		1 14 0 1000
41 7 0 5		1 15 0 1000
41 10 0 1		1 19 0 1000
41 13 0 13		1 20 0 1000
41 17 0 17		1 21 0 1000
41 23 0 10		1 22 0 1000
41 24 0 12		1 29 0 1000
41 25 0 13		1 30 0 1000
41 26 0 38		1 31 0 1000
41 35 0 9		1 32 0 1000
41 36 0 7		1 33 0 1000
2 42 0 3		1 34 0 1000
3 42 0 5		1 37 0 1000
4 42 0 5		6 12 0 1000
5 42 0 1		6 14 0 1000
6 42 0 4		6 20 0 1000
9 42 0 4		6 21 0 1000
11 42 0 3		6 22 0 1000
12 42 0 3		6 30 0 1000
14 42 0 3		6 31 0 1000
15 42 0 3		6 32 0 1000
16 42 0 3		6 33 0 1000
18 42 0 3		6 34 0 1000
19 42 0 2		7 14 0 1000
20 42 0 2		7 15 0 1000
21 42 0 2		7 21 0 1000
22 42 0 2		7 22 0 1000
27 42 0 2		7 31 0 1000
28 42 0 2		7 32 0 1000
29 42 0 1		7 33 0 1000
30 42 0 1		7 34 0 1000
31 42 0 1		7 37 0 1000
32 42 0 1		10 16 0 1000
33 42 0 1		10 18 0 1000
34 42 0 1		10 27 0 1000
37 42 0 1		10 28 0 1000
38 42 0 1		10 34 0 1000
39 42 0 1		10 37 0 1000
40 42 0 1		10 38 0 1000

Figura 6 - Ficheiro Input)
(Parte 2)

[illegible][illegible]

Figura 8 - Ficheiro Input)
(Parte 4)

6 Ficheiro Output

No ficheiro output estão representadas as ligações pertencentes à solução ótima, as novas capacidades associadas a essas ligações, o custo ótimo, entre outros. A primeira coluna representa o vértice origem da ligação, a segunda coluna o vértice destino e a terceira a nova capacidade.

Através da análise deste ficheiro output, verificamos que o custo ótimo seria 36.

```
END OF READING
NUMBER OF NODES = 42, NUMBER OF ARCS = 103
CONSTRUCT LINKED LISTS FOR THE PROBLEM
CALLING RELAX4 TO SOLVE THE PROBLEM
*****
```

```
TOTAL SOLUTION TIME = 0. SECS.
TIME IN INITIALIZATION = 0. SECS.
```

41 1 8.	1 5 1.
41 6 6.	1 11 3.
41 7 5.	1 15 1.
41 10 1.	1 19 2.
41 13 6.	1 29 1.
41 17 6.	6 12 3.
41 23 2.	6 20 2.
41 25 1.	6 30 1.
41 26 1.	7 14 3.
5 42 1.	7 15 2.
11 42 3.	10 16 1.
12 42 3.	13 21 2.
14 42 3.	13 22 2.
15 42 3.	13 31 1.
16 42 1.	13 32 1.
19 42 2.	17 27 2.
20 42 2.	17 28 2.
21 42 2.	17 39 1.
22 42 2.	17 40 1.
27 42 2.	23 33 1.
28 42 2.	23 34 1.
29 42 1.	25 37 1.
30 42 1.	26 38 1.
31 42 1.	42 41 36.
32 42 1.	
33 42 1.	
34 42 1.	
37 42 1.	
38 42 1.	
39 42 1.	
40 42 1.	

Figura 9 - Ficheiro Output
(Parte 1)

```
OPTIMAL COST = -36.
NUMBER OF AUCTION/SHORTEST PATH ITERATIONS = 53
NUMBER OF ITERATIONS = 92
NUMBER OF MULTINODE ITERATIONS = 9
NUMBER OF MULTINODE ASCENT STEPS = 2
NUMBER OF REGULAR AUGMENTATIONS = 14
*****
```

Figura 10 - Ficheiro Output
(Parte 2)

7 Interpretação da Solução Ótima e Planeamento de Escavação da Mina

A solução ótima gerada pelo software está representada nas figuras 11 e 12, onde os vértices cujos valores de entrada e saída eram nulos estão representado através do fluxo 0 (figura 11) ou preenchimento da célula a branco (figura 12).

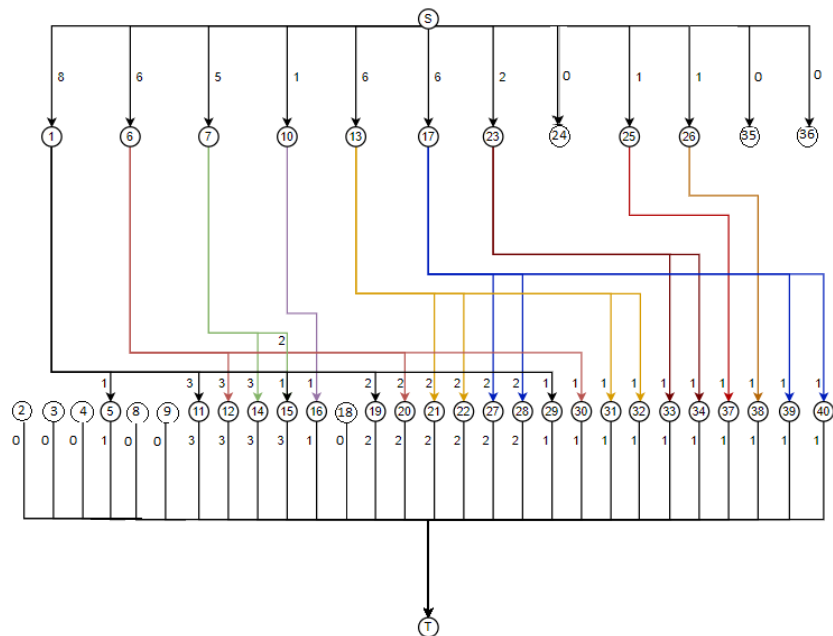


Figura 11 - Grafo otimizado

29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
—	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	—
—	—	11	12	13	14	15	16	17	18	—	—
—	—	—	5	6	7	8	9	10	—	—	—
—	—	—	—	1	2	3	4	—	—	—	—

Figura 12 - Solução Ótima gerada

No entanto, ao observar a tabela da solução ótima verificamos que o vértice 10 seria inalcançável, uma vez que o bloco 18 não pertence à solução ótima, ou seja, não seria escavado. Como a escavação do bloco 18 não seria suportada pelo bloco 10, a integração deste último bloco no plano de escavação seria impossível. Como tal, decidimos removê-lo do planeamento.

Ao remover o bloco 10 do plano, resolvemos retirar também do plano os blocos desnecessários pertencentes ao cone de escavação do bloco 10, isto é, os blocos que apenas trouxessem prejuízo e que não seriam necessários para escavar outros blocos localizados em níveis inferiores. Assim, removemos os blocos 16, 28 e 40 do plano de escavação da mina.

Noutra vertente da análise à solução ótima gerada pelo software, verificamos que os blocos 24, 35 e 36 não estavam presentes no plano de escavação da mina. No entanto, pertencem ao cone de desbaste de vários blocos presentes no plano. Como se tratam de blocos cujo valor do minério supera o custo de operação, tomámos a iniciativa de acrescentá-los ao plano de escavação.

Obtivemos desta forma o plano de escavação da mina representado na tabela seguinte, onde os blocos com preenchimento verde transitam do primeiro plano para o formulado por nós, os blocos com preenchimento vermelho são os removidos e o blocos com preenchimento azul os adicionados ao plano.

número do vértice											
29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
—	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	—
—	—	11	12	13	14	15	16	17	18	—	—
—	—	—	5	6	7	8	9	10	—	—	—
—	—	—	—	1	2	3	4	—	—	—	—

Figura 13 - Plano de Escavação da mina

Proveito - Novo Plano $\rightarrow 15 + 14 + 5 + 13 + 17 + 10 + 12 + 13 + 38 + 9 + 7 = 153$

Custo - Novo Plano $\rightarrow |9 \times (-1) + 5 \times (-2) + 4 \times (-3) + 1 \times (-4)| = 35$

Lucro - Novo Plano $\rightarrow 153 - 35 = 118$

Desta forma, verificamos que o custo do plano de escavação da mina por nós formulado garante um custo menor que o apresentado pelo software, ou seja, o custo ótimo do software (36) é um custo virtual e o custo ótimo do nosso plano de escavação é o custo real.

7.1 Validação do Modelo

7.1.1 Verificação da Conservação de Fluxo

Nodo	Fluxo Entrada = Fluxo Saída	Resultado	Valor Lógico
1	$8 = 1 + 3 + 1 + 2 + 1$	$8 = 8$	Verdadeiro
2	$0 = 0$	$0 = 0$	Verdadeiro
3	$0 = 0$	$0 = 0$	Verdadeiro
4	$0 = 0$	$0 = 0$	Verdadeiro
5	$1 = 1$	$1 = 1$	Verdadeiro
6	$6 = 3 + 2 + 1$	$6 = 6$	Verdadeiro
7	$5 = 3 + 2$	$5 = 5$	Verdadeiro
8	$0 = 0$	$0 = 0$	Verdadeiro
9	$0 = 0$	$0 = 0$	Verdadeiro
10	$1 = 1$	$1 = 1$	Verdadeiro
11	$3 = 3$	$3 = 3$	Verdadeiro
12	$3 = 3$	$3 = 3$	Verdadeiro
13	$6 = 2 + 2 + 1 + 1$	$6 = 6$	Verdadeiro
14	$3 = 3$	$3 = 3$	Verdadeiro
15	$1 + 2 = 3$	$3 = 3$	Verdadeiro
16	$1 = 1$	$1 = 1$	Verdadeiro
17	$6 = 2 + 2 + 1 + 1$	$6 = 6$	Verdadeiro
18	$0 = 0$	$0 = 0$	Verdadeiro
19	$2 = 2$	$2 = 2$	Verdadeiro
20	$2 = 2$	$2 = 2$	Verdadeiro
21	$2 = 2$	$2 = 2$	Verdadeiro
22	$2 = 2$	$2 = 2$	Verdadeiro
23	$2 = 1 + 1$	$2 = 2$	Verdadeiro
24	$0 = 0$	$0 = 0$	Verdadeiro
25	$1 = 1$	$1 = 1$	Verdadeiro
26	$1 = 1$	$1 = 1$	Verdadeiro
27	$2 = 2$	$2 = 2$	Verdadeiro
28	$2 = 2$	$2 = 2$	Verdadeiro
29	$1 = 1$	$1 = 1$	Verdadeiro
30	$1 = 1$	$1 = 1$	Verdadeiro
31	$1 = 1$	$1 = 1$	Verdadeiro
32	$1 = 1$	$1 = 1$	Verdadeiro
33	$1 = 1$	$1 = 1$	Verdadeiro
34	$1 = 1$	$1 = 1$	Verdadeiro
35	$0 = 0$	$0 = 0$	Verdadeiro
36	$0 = 0$	$0 = 0$	Verdadeiro
37	$1 = 1$	$1 = 1$	Verdadeiro
38	$1 = 1$	$1 = 1$	Verdadeiro
39	$1 = 1$	$1 = 1$	Verdadeiro
40	$1 = 1$	$1 = 1$	Verdadeiro

Tabela 1: Verificação da conservação de fluxo

7.1.2 Verificação das Restrições de Capacidade

Nodo	Capacidade (Ótima \leq Original)	Valor lógico
1	$8 \leq 15$	Verdadeiro
2	$0 \leq 3$	Verdadeiro
3	$0 \leq 5$	Verdadeiro
4	$0 \leq 5$	Verdadeiro
5	$1 \leq 1$	Verdadeiro
6	$6 \leq 14$	Verdadeiro
7	$5 \leq 5$	Verdadeiro
8	$0 \leq 4$	Verdadeiro
9	$0 \leq 4$	Verdadeiro
10	$1 \leq 1$	Verdadeiro
11	$3 \leq 3$	Verdadeiro
12	$3 \leq 3$	Verdadeiro
13	$6 \leq 13$	Verdadeiro
14	$3 \leq 3$	Verdadeiro
15	$3 \leq 3$	Verdadeiro
16	$1 \leq 3$	Verdadeiro
17	$6 \leq 17$	Verdadeiro
18	$0 \leq 3$	Verdadeiro
19	$2 \leq 2$	Verdadeiro
20	$2 \leq 2$	Verdadeiro
21	$2 \leq 2$	Verdadeiro
22	$2 \leq 2$	Verdadeiro
23	$2 \leq 10$	Verdadeiro
24	$0 \leq 12$	Verdadeiro
25	$1 \leq 13$	Verdadeiro
26	$1 \leq 38$	Verdadeiro
27	$2 \leq 2$	Verdadeiro
28	$2 \leq 2$	Verdadeiro
29	$1 \leq 1$	Verdadeiro
30	$1 \leq 1$	Verdadeiro
31	$1 \leq 1$	Verdadeiro
32	$1 \leq 1$	Verdadeiro
33	$1 \leq 1$	Verdadeiro
34	$1 \leq 1$	Verdadeiro
35	$0 \leq 9$	Verdadeiro
36	$0 \leq 7$	Verdadeiro
37	$1 \leq 1$	Verdadeiro
38	$1 \leq 1$	Verdadeiro
39	$1 \leq 1$	Verdadeiro
40	$1 \leq 1$	Verdadeiro

Tabela 2: Verificação das Restrições de Capacidade

8 Conclusão

Face ao cenário proposto pelo enunciado, tivemos como objetivo encontrar as soluções adequadas que permitam maximizar o lucro usando um software de optimização de redes para determinar os blocos que devem ser extraídos de uma mina a céu aberto.

Assim, neste trabalho prático foi-nos possível aprofundar e consolidar o nosso conhecimento acerca dos temas abordados na Unidade Curricular de Modelos Determinísticos de Investigação Operacional identificados neste relatório.