
Índice Geral

RESUMO

CAPÍTULO 1

Introdução Geral

1. O problema multicritério-----	1
2. O problema multiobjectivo-----	3
3. Métodos para resolver problemas multiobjectivo-----	5
4. Sistema de apoio à decisão-----	6
5. Problemas com estrutura de rede-----	8
6. Objectivos do trabalho-----	10
7. Organização da tese-----	11

CAPÍTULO 2

Grafos e Redes

1. Introdução-----	13
2. Conceitos fundamentais de grafos-----	14
3. Conceitos fundamentais de redes-----	15
4. Representação computacional de redes-----	16
4.1. Matriz de adjacência-----	16
4.2. Matriz de incidência-----	17
4.3. Listas de adjacência de arestas-----	18
4.4. Vectores simulando listas múltiplas-----	18
4.5. Comparação entre as várias representações-----	20

CAPÍTULO 3

O Problema do Caminho Mais Curto com um só Objectivo

1. Definição e formulação do problema-----	21
2. Algoritmos para resolver problemas de caminho mais curto-----	23
2.1. Algoritmo de Dijkstra-----	23
2.2. Outras versões (mais eficientes) do algoritmo de Dijkstra-----	25

2.3. Algoritmo de Dijkstra Inverso -----	26
2.4. Algoritmo de Ford -----	26
2.5. Outras versões (mais eficientes) do algoritmo de Ford -----	28
2.6. Algoritmo de Floyd -----	28
3. Árvore dos caminhos mais curtos -----	30
4. O problema de determinar os k caminhos mais curtos -----	30
4.1. Algoritmo de Dreyfus -----	31
4.2. Algoritmo baseado no aumento da rede -----	33
4.3. Algoritmo baseado na determinação de nós desvios -----	35

CAPÍTULO 4

O Problema do Caminho Mais Curto com Múltiplos Objectivos

1. Formulação do problema -----	37
2. Tipo de soluções do problema -----	38
3. Um problema real de caminho mais curto com múltiplos objectivos -----	40
4. O método NISE -----	40
5. O problema de caminho mais curto bi-objectivo -----	44
5.1. Formulação do problema -----	44
5.2. Representação do espaço dos objectivos -----	45
5.3. Métodos para determinar soluções não dominadas -----	46
5.3.1. Métodos para determinar soluções não dominadas suportadas extremas ----	46
5.3.1.1. Método de Henig adaptado a partir de Shin e Hartley -----	47
5.3.1.2. Método de Henig semelhante ao de Denardo -----	48
5.3.1.3. Método de Henig que utiliza a operação Ext -----	48
5.3.1.4. Versão do método NISE apresentada por Cohon -----	49
5.3.2. Métodos para determinar soluções não dominadas não suportadas -----	49
5.3.2.1. Método NISE com restrições adicionais -----	49
5.3.2.2. Utilizando algoritmos dos k caminhos mais curtos -----	52
5.4. Algoritmos interactivos para determinar a “melhor” solução de compromisso ----	53
5.4.1. Algoritmo de Current, ReVelle e Cohon -----	54
5.4.2. Algoritmo de Clímaco e Rodrigues -----	56

CAPÍTULO 5

Abordagem Interactiva ao Problema de Caminho Mais Curto Multiobjectivo

1. Introdução -----	59
2. Definição dos problemas -----	61
3. As soluções dos problemas -----	63
3.1. Problema bi-objectivo -----	63
3.2. Problema tri-objectivo -----	65
4. Método de procura de soluções em todo o espaço dos objectivos -----	68
5. Método de procura no Contorno Convexo -----	70
5.1. Problema bi-objectivo -----	72
5.2. Problema tri-objectivo -----	74
6. Método de procura em Zonas de Desníveis de Dualidade -----	75
6.1. Problema bi-objectivo -----	76
6.2. Problema tri-objectivo -----	79
7. Métodos interactivos para encontrar uma solução final -----	80
7.1. Problema bi-objectivo -----	80
7.1.1. Procura em todo o espaço dos objectivos -----	81
7.1.2. Procura no Contorno Convexo e em Zonas de Desníveis de Dualidade -----	83
7.2. Problema tri-objectivo -----	89
7.2.1. Procura em todo o espaço dos objectivos -----	89
7.2.2. Procura no Contorno Convexo e em Zonas de Desníveis de Dualidade -----	95

CAPÍTULO 6

Aplicação ao Problema de Encaminhamento em Redes Integradas de Comunicações

1. Introdução -----	103
2. Tecnologias de encaminhamento -----	105
3. Restrições de qualidade de serviço -----	106
4. Arquitectura de uma chamada -----	108
5. Gestão da ligação -----	109
6. Encaminhamento sujeito a restrições de QoS -----	111
7. Estruturas de encaminhamento -----	112

8. Encaminhamento chamada a chamada na origem baseado em regras -----	116
8.1. Encaminhamento com “fallback” baseado em regras-----	116
8.2. Regras de “fallback” dependente do estado-----	118
9. Análise como problema multiobjectivo-----	118
10. Uma abordagem multiobjectivo ao problema do encaminhamento -----	119
10.1. As métricas para os requisitos de QoS -----	119
10.2. O algoritmo proposto-----	122
10.3. A largura de banda como métrica -----	125
10.4. Problema com duas funções objectivo -----	125
10.5. Problema com três funções objectivo -----	128
10.6. Exemplo ilustrativo -----	130
10.7. Aplicação prática -----	132
10.7.1. Caso bi-objectivo-----	132
10.7.2. Caso tri-objectivo -----	133

CAPÍTULO 7

Conclusões e Desenvolvimentos futuros

1. Conclusões -----	135
2. Desenvolvimentos futuros -----	137

REFERÊNCIAS

ANEXO

Índice de Figuras

Fig. 1 – Tipo de soluções não dominadas : suportadas e não suportadas.	39
Fig. 2 – Método NISE : zona de pesquisa de soluções não dominadas (vértices).....	42
Fig. 3 – Método NISE : determinação de um vértice a partir de dois outros.....	43
Fig. 4 – Bi-objectivo : representação das soluções no espaço dos objectivos.	46
Fig. 5 – Bi-objectivo : representação de uma Zona de Desnível de Dualidade.	50
Fig. 6 – Bi-objectivo : actualização de uma Zona de Desnível de Dualidade.	51
Fig. 7 – Bi-objectivo : utilização dos k caminhos mais curtos.	52
Fig. 8 – Bi-objectivo : redução de uma Zona de Desnível de Dualidade.....	55
Fig. 9 – Bi-objectivo : actualização de uma Zona de Desnível de Dualidade.	56
Fig. 10 – Bi-objectivo : soluções de uma Zona de Desnível de Dualidade.	58
Fig. 11 – Gráficos para representar as soluções nos problemas (a) bi e (b) tri-objectivo.	60
Fig. 12 – Bi-objectivo : tipos de soluções.	64
Fig. 13 – Tri-objectivo : representação duma Zona de Desnível de Dualidade.....	66
Fig. 14 – Tri-objectivo : tipo de soluções.	66
Fig. 15 – Tri-objectivo : gráfico das soluções do Contorno Convexo.	67
Fig. 16 – Tri-objectivo : soluções de uma Zona de Desnível de Dualidade.	67
Fig. 17 – Bi-objectivo : definição dos pesos associados à função escalar.....	73
Fig. 18 – Bi-objectivo : pesquisa numa Zona de Desnível de Dualidade.	77
Fig. 19 – Bi-objectivo : definição da região de interesse.....	78
Fig. 20 – Bi-objectivo : primeira pesquisa no Espaço Total.	81
Fig. 21 – Bi-objectivo : segunda pesquisa no Espaço Total.....	82
Fig. 22 – Bi-objectivo : terceira pesquisa no Espaço Total.	82
Fig. 23 – Bi-objectivo : quarta pesquisa no Espaço Total.	83
Fig. 24 – Bi-objectivo : primeira pesquisa no Contorno Convexo.	84
Fig. 25 – Bi-objectivo : primeira pesquisa no Contorno Convexo.	84
Fig. 26 – Bi-objectivo : segunda pesquisa no Contorno Convexo.....	85
Fig. 27 – Bi-objectivo : quarta pesquisa no Contorno Convexo.	86
Fig. 28 – Bi-objectivo : primeira pesquisa numa Zona de Desnível de Dualidade.	86

Fig. 29 – Bi-objectivo : segunda pesquisa numa Zona de Desnível de Dualidade.	87
Fig. 30 – Bi-objectivo : terceira pesquisa numa Zona de Desnível de Dualidade.	88
Fig. 31 – Bi-objectivo : (a) gráfico e (b) tabela com todas as soluções.	89
Fig. 32 – Tri-objectivo : primeira pesquisa no Espaço Total.	90
Fig. 33 – Tri-objectivo : segunda pesquisa no Espaço Total.	91
Fig. 34 – Tri-objectivo : terceira pesquisa no Espaço Total.	91
Fig. 35 – Tri-objectivo : quarta pesquisa no Espaço Total.	92
Fig. 36 – Tri-objectivo : quinta pesquisa no Espaço Total.	92
Fig. 37 – Tri-objectivo : (a) gráfico e (b) tabela com todas as soluções.	93
Fig. 38 – Tri-objectivo : projecção em (a) $F1 \times F2$, (b) $F1 \times F3$ e (c) $F2 \times F3$	94
Fig. 39 – Tri-objectivo : sexta pesquisa no Espaço Total.	95
Fig. 40 – Tri-objectivo : primeira pesquisa no Contorno Convexo.	96
Fig. 41 – Tri-objectivo : segunda pesquisa no Contorno Convexo.	96
Fig. 42 – Tri-objectivo : terceira pesquisa no Contorno Convexo.	97
Fig. 43 – Tri-objectivo : (a) gráfico e (b) tabela com todos os vértices.	98
Fig. 44 – Tri-objectivo : projecção dos vértices no plano $F2 = 0$	99
Fig. 45 – Tri-objectivo : primeira pesquisa numa Zona de Desnível de Dualidade.	99
Fig. 46 – Tri-objectivo : segunda pesquisa numa Zona de Desnível de Dualidade.	100
Fig. 47 – Tri-objectivo : primeira pesquisa numa Zona de Desnível de Dualidade.	100
Fig. 48 – Tri-objectivo : (a) gráfico e (b) tabela com todas as soluções.	101
Fig. 49 – Tri-objectivo : projecção em (a) $F1 \times F2$, (b) $F1 \times F3$ e (c) $F2 \times F3$	102
Fig. 50 – Arquitectura de uma chamada [16].	108
Fig. 51 – Estados de uma ligação [16].	110
Fig. 52 – Encaminhamento com “fallback” [16].	115
Fig. 53 – Os requisitos de QoS utilizados para definir as zonas de prioridade.	123
Fig. 54 – Encaminhamento (bi-objectivo) : construção das zonas de prioridade.	126
Fig. 55 – Encaminhamento (tri-objectivo) : zonas de primeira e quarta prioridade.	128
Fig. 56 – Encaminhamento (tri-objectivo) : zonas de segunda prioridade.	128
Fig. 57 – Encaminhamento (tri-objectivo) : zonas de terceira prioridade.	129
Fig. 58 – Determinação de soluções não dominadas nas várias zonas de prioridade.	130
Fig. 59 – Problema de encaminhamento (bi-objectivo) : exemplo.	133
Fig. 60 – Problema de encaminhamento (tri-objectivo) : exemplo.	134

Índice de Algoritmos

Algoritmo 1. Caminho mais curto : Dijkstra.....	24
Algoritmo 2. Caminho mais curto : Ford.....	27
Algoritmo 3. Caminho mais curto : Floyd.....	29
Algoritmo 4. Determinar os k trajectos mais curtos : Dreyfus.	32
Algoritmo 5. Determinar os k trajectos mais curtos : baseado no aumento da rede (MS).	34
Algoritmo 6. k caminhos mais curtos : baseado no cálculo de nós desvios (MPS).	36
Algoritmo 7. Determinar soluções em todo o espaço dos objectivos.	70
Algoritmo 8. Bi-objectivo : determinar soluções do Contorno Convexo.	73
Algoritmo 9. Tri-objectivo : determinar soluções do Contorno Convexo.....	75
Algoritmo 10. Bi-objectivo : pesquisa numa Zona de Desnível de Dualidade.....	76
Algoritmo 11. Tri-objectivo : pesquisa numa Zona de Desnível de Dualidade.....	79
Algoritmo 12. Problema de encaminhamento : determinação da melhor solução.....	124
