
Sumário

<i>Prefácio</i>	IX
Capítulo 1	
<i>Introdução</i>	1
1.1 ESTRUTURA DO LIVRO.	2
1.2 PLANEJAMENTO URBANO DE TRANSPORTES.	4
1.2.1 O Processo de Planejamento.	8
1.2.2 Modelo de 4 Etapas	12
1.3 DEFINIÇÕES DE EQUILÍBRIO EM REDES DE TRANSPORTE.	31
1.4 OTIMIZAÇÃO DE REDES DE TRANSPORTE.	32
Capítulo 2	
<i>Redes de Transporte</i>	37
2.1 CONJUNTOS E ESPAÇOS VETORIAIS	38
2.2 TEORIA DA COMPLEXIDADE.	38
2.3 TEORIA DE GRAFOS	39
2.3.1 Definições	39
2.3.2 Caminhos e Passeios	40
2.3.3 Árvores	41
2.4 MODELAGEM DE REDES DE TRANSPORTE.	42
2.4.1 Distância e Grafos Ponderados	45
2.4.2 Fluxo, Capacidade e Tempo de Viagem.	46
2.4.3 Fontes de Incerteza em Redes de Transporte.	50

2.5	ESCOLHA DE ROTAS	51
2.6	IDENTIFICAÇÃO DE <i>LINKS</i> CRÍTICOS EM UMA REDE	56
2.7	MODELOS POPULARES DE ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO	57

Capítulo 3

<i>Problemas de Otimização</i>	65	
3.1	NOTAÇÕES E FORMULAÇÕES MATEMÁTICAS	65
3.2	CONDIÇÕES DE OTIMIZAÇÃO DE PRIMEIRA ORDEM	67
3.3	ALGORITMO DE FRANK-WOLFE	69
3.4	OTIMIZAÇÃO COMBINATÓRIA	72
3.5	O PROBLEMA DO CAMINHO MAIS CURTO (SP)	73
3.5.1	Introdução	74
3.5.2	Busca Unidirecional	76
3.5.3	Busca Bidirecional	83
3.6	K CAMINHOS MAIS CURTOS	87
3.6.1	Abordagem de Rotulagem	90
3.6.2	Abordagem de Remoção de Caminhos	92
3.6.3	Abordagem de Desvio de Caminho	96
3.7	DESIGUALDADE VARIACIONAL	98

Capítulo 4

<i>Equilíbrio Estático de Redes</i>	101	
4.1	EQUILÍBRIO DO USUÁRIO (UE)	103
4.1.1	Formulação Matemática do Problema de Alocação de Tráfego	109
4.1.2	Condições de Equivalência	114
4.1.3	Condições de Singularidade	117
4.2	SISTEMA ÓTIMO (SO)	120
4.2.1	Formulação do Sistema Ótimo (SO)	121
4.3	EQUILÍBRIO DO USUÁRIO (UE) X SISTEMA ÓTIMO (SO)	125
4.4	PREÇO DA ANARQUIA	129
4.5	PARADOXO DE BRAESS	130
4.6	EQUILÍBRIO POR MEIO DO ALGORITMO DE FRANK-WOLFE	131
4.7	PROBLEMA DE DESIGUALDADE VARIACIONAL	137

4.7.1	Formulação de Problemas de Equivalência e de Equilíbrio do Usuário.	139
4.8	LIMITAÇÕES DOS MÉTODOS ESTÁTICOS	145
Capítulo 5		
	<i>Equilíbrio Estocástico de Redes</i>	<i>151</i>
5.1	MODELOS DE ESCOLHA DISCRETA	152
5.2	MODELOS DE ESCOLHA DE ROTA	154
5.2.1	Modelo Logit Multinomial	154
5.2.2	Modelo Probit Multinomial	159
5.3	MODELOS ESTOCÁSTICOS DE CARREGAMENTO DE REDE	161
5.3.1	Modelos Logit de Carregamento	162
5.3.2	Modelos Probit de Carregamento	176
5.3.3	Outros Métodos.	181
5.3.4	Comparação dos Modelos de Carregamento (Logit x Probit)	182
5.4	EQUILÍBRIO ESTOCÁSTICO DO USUÁRIO	186
5.4.1	Minimização Equivalente do SUE	189
Capítulo 6		
	<i>Incertezas na Demanda, na Capacidade e no Tempo de Viagem</i>	<i>211</i>
6.1	EQUILÍBRIO ESTRATÉGICO DO USUÁRIO	215
6.2	EQUILÍBRIO ESTRATÉGICO DO USUÁRIO INCORPORANDO INCERTEZAS NA DEMANDA E NA CAPACIDADE	217
6.2.1	Formulação do Problema.	218
6.2.2	Exemplo Numérico	224
6.3	EXCESSO MÉDIO DO EQUILÍBRIO DE TRÁFEGO (METE)	229
6.3.1	Definição do Tempo Médio de Viagem em Excesso (METT)	231
6.3.2	Condições de Equilíbrio e Formulação da Desigualdade Variacional.	236
6.3.3	METT e Tempos de Viagem Independentes	238
6.3.4	Algoritmo de Solução.	239

Capítulo 7

<i>Interações entre Links</i>	243
7.1 INTERAÇÕES EM VIAS DE MÃO DUPLA	244
7.1.1 Condições de Equivalência.	245
7.1.2 Condições de Singularidade	248
7.2 MODELOS ESTÁTICOS QUE CONSIDERAM LIMITAÇÕES DE CAPACIDADE E/OU EFEITOS DE <i>SPILLBACK</i>	248
7.2.1 Alocação de Tráfego Estático Tradicional com Restrições de Capacidade.	249
7.2.2 Modelos de Alocação de Tráfego Estático mais Realistas.	255
7.3 <i>LINK TRANSMISSION MODEL</i> – LTM	261
7.3.1 Diagrama Fundamental	262
7.3.2 Teoria das Ondas Cinemáticas.	264
7.3.3 Ondas de Choque	266
7.4 TEORIA DAS ONDAS CINEMÁTICAS SIMPLIFICADA DE NEWELL.	268
7.5 FORMULAÇÃO DO <i>LINK TRANSMISSION MODEL</i>	273
7.6 <i>LINK TRANSMISSION MODEL</i> ESTACIONÁRIO USANDO TAXAS DE FLUXO	278
7.6.1 Algoritmo para o <i>Link Transmission Model</i> Estacionário.	285
7.7 ALOCAÇÃO DE TRÁFEGO ESTÁTICO COM FILA (STAQ)	291
7.7.1 Fase t_0	293
7.7.2 Fase t_1	300
7.7.3 <i>Travel Time</i>	313
7.7.4 Preocupações quanto à Matriz O-D Estacionária.	317

Capítulo 8

<i>Equilíbrio entre Modos de Viagem</i>	319
8.1 ALOCAÇÃO MULTIMODAL COM DIVISÃO DAS VIAGENS USANDO A FUNÇÃO LOGIT.	321
8.1.1 Formulação para Excesso de Demanda.	321
8.1.2 Equilíbrio entre Modos.	324
8.2 TEORIA DE SUPER-REDES	332

8.2.1	Divisão Modal em Redes de Tráfego Mistas	333
8.2.2	Divisão Modal com Modos Interdependentes	338
8.3	ALOCAÇÃO MULTIMODAL COM TEMPOS DE VIAGEM ESTOCÁSTICOS.	344
8.3.1	Equilíbrio de Rede Multimodal	345
8.3.2	Condições de Equilíbrio na Rede Multimodal	349
8.3.3	Algoritmo de Solução.	351
Capítulo 9		
	<i>Equilíbrio Dinâmico de Redes.</i>	353
9.1	MODELAGEM DINÂMICA DE REDES	358
9.1.1	Modelos de Carregamento Dinâmico de Rede (DNL) (lado da oferta)	359
9.1.2	Modelos de Escolha (lado da demanda)	363
9.2	FORMULAÇÃO DO EQUILÍBRIO DINÂMICO DO USUÁRIO (DUE)	364
9.2.1	Formulação de Desigualdade Variacional para DUE	367
9.2.2	Formulação de Complementaridade não Linear do DUE	368
9.2.3	Formulação da Desigualdade Variacional Diferencial do DUE.	368
9.2.4	Formulação do Ponto Fixo do DUE	370
9.3	CARREGAMENTO DINÂMICO DA REDE (DNL)	371
9.3.1	Modelo de <i>Links</i> de Lighthill-Whitham-Richards (LWR)	371
9.3.2	Oferta e Demanda do <i>Link</i>	372
9.3.3	Dinâmica Variacional do <i>Link</i>	373
9.3.4	Dinâmica da Junção	374
9.3.5	Dinâmica nos <i>Nós</i> de Origem	375
9.3.6	Cálculo do Tempo de Viagem do Caminho	376
9.3.7	Formulação do Sistema de Equações Algébricas Diferenciais do DNL.	377
9.4	ALGORITMO DE PONTO FIXO PARA COMPUTAÇÃO DO DUE.	379
	<i>Referências</i>	383