

DNIT

Publicação IPR - 723

MANUAL DE ESTUDOS DE TRÁFEGO

2006

**MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA
COORDENAÇÃO-GERAL DE ESTUDOS E PESQUISA
INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS**

**MANUAL DE
ESTUDOS DE TRÁFEGO**

EQUIPE TÉCNICA:

Engesur Consultoria e Estudos Técnicos Ltda

Eng° Albino Pereira Martins
(Responsável Técnico)

Eng° Francisco Robalinho de Barros
(Responsável Técnico)

Eng° José Luis Mattos de Britto Pereira
(Coordenador)

Eng° Zomar Antonio Trinta
(Supervisor)

Eng° Amarílio Carvalho de Oliveira
(Consultor)

Eng° Annibal Espinola Rodrigues Coelho
(Consultor)

Téc° Alexandre Martins Ramos
(Técnico em Informática)

Técª Célia de Lima Moraes Rosa
(Técnica em Informática)

Téc° Felipe de Oliveira Martins
(Técnico em Informática)

COMISSÃO DE SUPERVISÃO:

Eng° Gabriel de Lucena Stuckert
(DNIT / DPP / IPR)

Eng° Mirandir Dias da Silva
(DNIT / DPP / IPR)

Eng° José Carlos Martins Barbosa
(DNIT / DPP / IPR)

Eng° Elias Salomão Nigri
(DNIT / DPP / IPR)

COLABORADORES TÉCNICOS

Eng° Antônio Máximo da Silva Filho
(Superintendência Regional / MA / DNIT)

Eng° MSc Eduardo de Souza Costa
(Coordenador de Projetos / DPP / DNIT)

Eng° Diego de Almeida Pereira
(Coordenador de Projetos / DPP / DNIT)

Brasil. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de
Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa.
Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa.
Instituto de Pesquisas Rodoviárias.

Manual de estudos de tráfego. - Rio de Janeiro, 2006.
384 p. (IPR. Publ., 723).

1. Engenharia de tráfego – Manuais. I. Série. II. Título.

**MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA
COORDENAÇÃO GERAL DE ESTUDOS E PESQUISA
INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS**

Publicação IPR - 723

**MANUAL DE
ESTUDOS DE TRÁFEGO**

Rio de Janeiro
2006

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA
COORDENAÇÃO GERAL DE ESTUDOS E PESQUISA
INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS

Rodovia Presidente Dutra, Km 163, Vigário Geral
Rio de Janeiro, 21240-000, RJ

Tel/Fax.: (21) 3371-5888

E-mail.: ipr@dnit.gov.br

TÍTULO: MANUAL DE ESTUDOS DE TRÁFEGO

Contrato: DNIT / Engesur PG – 157/2001-00

Aprovado pela Diretoria Colegiada do DNIT em 15/08/2006.

APRESENTAÇÃO

O Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT), dando prosseguimento ao Programa de Revisão e Atualização de Normas e Manuais Técnicos, vem oferecer à comunidade rodoviária brasileira o seu novo “Manual de Estudos de Tráfego”, que reúne as informações gerais necessárias para determinação dos dados de tráfego que são utilizados em projetos rodoviários.

Os elementos apresentados cobrem, atualizam e complementam os que constam do *Manual de Projeto de Engenharia Rodoviária – Estudos de Tráfego*, feito pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR/DNER há mais de três décadas, em 1974. Com base na experiência dos consultores na execução de estudos de tráfego para órgãos rodoviários, procedeu-se à padronização dos valores e critérios ora estabelecidos, consultando publicações nacionais e estrangeiras, especialmente as da Companhia de Engenharia de Tráfego – CET de São Paulo, da American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO, do Institute of Transportation Engineers – ITE, do Transportation Research Board – TRB (notadamente o *Highway Capacity Manual – HCM – 2000*), do Banco Mundial – BIRD (*Highway Development and Management - HDM-4*), e da Forschungsgesellschaft für Strassen und Verkehrswesen – FGSV (*Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen – HSB 2001*), que, em seu conjunto, cobrem de forma completa os assuntos tratados.

O trabalho foi dividido nos seguintes capítulos:

01. *Introdução*
02. *Definições*
03. *Veículos Representativos*
04. *Características do Tráfego*
05. *Procedimentos Básicos*
06. *Pesquisas de Tráfego*
07. *Determinação do Tráfego Atual*
08. *Determinação do Tráfego Futuro*
09. *Determinação do Número “N”*
10. *Capacidade e Níveis de Serviço*

O *Capítulo 1* é constituído pela introdução. O *Capítulo 2* contém definições dos principais termos e expressões empregados nos estudos de tráfego. O *Capítulo 3* apresenta as características dos veículos considerados nos estudos e a legislação pertinente. O *Capítulo 4* conceitua os principais elementos que compõem os estudos de tráfego. O *Capítulo 5* apresenta os procedimentos básicos a serem adotados nos estudos de tráfego. O *Capítulo 6* trata das pesquisas a serem realizadas para determinação dos elementos de tráfego. O *Capítulo 7* descreve os processos utilizados na determinação do tráfego atual.

O *Capítulo 8* refere-se aos diversos modelos de processamento que tratam da geração, distribuição, divisão modal e alocação de viagens, para determinação do tráfego futuro.

O *Capítulo 9* apresenta os processos de cálculo referentes à determinação do número “N” e outros elementos relativos ao dimensionamento de pavimentos. O *Capítulo 10* descreve os métodos de determinação da capacidade e níveis de serviço dos trechos contínuos das rodovias.

Devido ao seu caráter didático, o *Manual* inclui também um apêndice em duas partes contendo: *Apêndice A* – fundamentos para análise estatística, dimensionamento de amostras, análise de regressão e estudo específico da distribuição de “Poisson”; *Apêndice B* – exemplos de aplicação compreendendo: fluxogramas necessários ao projeto de interseções, detalhamento da determinação do VMD de rodovias, geração de viagens com aplicação de regressão linear, distribuição de viagens pelo método de “Fratat” e determinação de velocidades em acidentes.

A bibliografia consultada é apresentada ao final do trabalho.

Eng° Chequer Jabour Chequer
Coordenador do Instituto de Pesquisas Rodoviárias

Endereço para correspondência:

Instituto de Pesquisas Rodoviárias
A/C Divisão de Capacitação Tecnológica
Rodovia Presidente Dutra, Km 163,
Centro Rodoviário, Vigário Geral, Rio de Janeiro
CEP – 21240-000, RJ

Tel/Fax: (21) 3371-5888

E-mail: ipr@dnit.gov.br

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Dimensões e pesos de veículos até 45 t	34
Figura 2	Dimensões e pesos de veículos até 74 t	34
Figura 3	Configurações dos eixos	35
Figura 4	Configurações das suspensões.....	35
Figura 5	Configurações dos eixos de semi-reboques.....	36
Figura 6	Capacidade legal, veículo com 2 eixos.....	36
Figura 7	Capacidade legal, veículo com 3 eixos.....	37
Figura 8	Capacidade legal, veículo com 4 eixos.....	37
Figura 9	Capacidade legal, veículo com 5 eixos.....	38
Figura 10	Capacidade legal, (Resumo)	38
Figura 11	Dimensões (Resumo).....	39
Figura 12	Carga máxima (Resumo).....	39
Figura 13	Veículos adotados na classificação do DNIT.....	51
Figura 14	Relação entre a hora e o volume horário de tráfego em rodovias norte-americanas.....	65
Figura 15	Variações horárias típicas em vias americanas.....	68
Figura 16	Flutuações do volume dentro da hora	69
Figura 17	Variação semanal por tipo de rodovia	70
Figura 18	Variação mensal em rodovia rurais e urbanas	71
Figura 19	Relação entre as velocidades médias no tempo e no espaço.....	81
Figura 20	Relação entre velocidade e volume.....	84
Figura 21	Relação entre velocidade e densidade.....	84
Figura 22	Relação entre volume e densidade	85
Figura 23	Relação entre velocidade, volume e densidade	85
Figura 24	Rede viária	97
Figura 25	Contador manual eletrônico.....	103
Figura 26	Ficha de contagem volumétrica I.....	104
Figura 27	Ficha de contagem volumétrica II.....	105
Figura 28	Contador automático portátil “Hi-Star”	107
Figura 29	Formulário para contagem de tráfego em interseções	105
Figura 30	Sumário dos fluxos	125
Figura 31	Identificação da hora de pico da interseção e respectivos volumes	126
Figura 32	Modelo de fluxograma de tráfego em UCP.....	127
Figura 33	Ficha de pesquisa de origem/destino (veículos de passageiros)	136
Figura 34	Ficha de pesquisa de origem/destino (veículos de carga).....	137
Figura 35	Enoscópio.....	141
Figura 36	Posicionamento do observador e do Enoscópio.....	142

Figura 37	Ficha de pesquisa de velocidade pontual.....	145
Figura 38	Autoscope.....	148
Figura 39	Radar Manual	149
Figura 40	Ângulo de incidência entre a trajetória e o raio visual.....	149
Figura 41	Histograma de velocidades pontuais	156
Figura 42	Curva de frequência acumulada	157
Figura 43	Pesquisa de velocidade por placa	161
Figura 44	Ficha de pesquisa de velocidade e retardamento (Método de veículo teste)	163
Figura 45	Ficha de pesquisa de velocidade e tempo de viagem (Método do observador móvel).....	165
Figura 46	Esquema do método do observador móvel	166
Figura 47	Variação ao longo do tempo	174
Figura 48	Variação ao longo da rota (espaço x tempo)	174
Figura 49	Variação ao longo da rota (espaço x velocidade).....	175
Figura 50	Curvas isócronas	176
Figura 51	Ficha para pesquisa de ocupação de autos	181
Figura 52	Ficha para pesquisa externa de ocupação de ônibus.....	182
Figura 53	Ficha para pesquisa interna de ocupação de ônibus.....	183
Figura 54	Funções	216
Figura 55	Modelo simplificado de divisão modal	223
Figura 56	Escolha modal ônibus versus automóvel.....	228
Figura 57	Curva de desvio baseada na razão do tempo de viagem.....	230
Figura 58	Curva logística	237
Figura 59	Níveis de serviço	265
Figura 60	Níveis de serviço para rodovias Classe I (Critério gráfico)	268
Figura 61	Determinação do nível de serviço.....	291
Figura 62	Determinação do nível de serviço.....	295
Figura 63	Curvas de variação do fluxo com a velocidade	298
Figura 64	Determinação do nível de serviço.....	307
Figura 65	Determinação do nível de serviço.....	309
Figura 66	Áreas sob a curva normal.....	318
Figura 67	Rota de regressão	329
Figura 68	Fluxograma da hora de pico	344
Figura 69	Fluxograma reduzido da hora de pico	345
Figura 70	Soluções obtidas com o emprego de regressão linear simples.....	363

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Evolução da frota de veículos.....	41
Tabela 2	Distribuição de automóveis e veículos comerciais leves (ano 2002).....	42
Tabela 3	Evolução da frota de caminhões por tipo de veículo	43
Tabela 4	Distribuição da frota por idade.....	44
Tabela 5	Evolução da frota por tipo de combustível.....	45
Tabela 6	Participação de veículos importados	45
Tabela 7	Principais dimensões básicas dos veículos de projeto.....	47
Tabela 8	Correspondência de valores de tarifas de pedágio pelas diversas categorias de veículos	49
Tabela 9	Fator de equivalência em carros de passeio	56
Tabela 10	Porcentagem do tráfego diário durante o dia.....	67
Tabela 11	Distribuição por sentido de tráfego	72
Tabela 12	Fatores K nas rodovias rurais.....	74
Tabela 13	Fatores K típicos nas vias norte-americanas.....	74
Tabela 14	Volumes máximos em vias rurais de pista simples.....	76
Tabela 15	Volumes máximos em vias de faixas múltiplas.....	77
Tabela 16	Volumes máximos em vias expressas.....	78
Tabela 17	Estatísticas sobre veículos de vários países	86
Tabela 18	Extensão e densidade das redes viárias de vários países	87
Tabela 19	Seleção do nível de serviço no projeto de rodovias rurais.....	114
Tabela 20	Qualidade de estimativas de contagem.....	119
Tabela 21	Métodos manuais de contagem de volume	120
Tabela 22	Métodos automáticos de contagem de volume	121
Tabela 23	Tamanho de amostra recomendada para estudos com entrevistas domiciliares.....	130
Tabela 24	Comprimentos recomendados para o trecho.....	143
Tabela 25	Valores da constante “k” para vários níveis de confiança.....	150
Tabela 26	Desvio padrão de velocidades pontuais para diferentes tipos de vias.....	151
Tabela 27	Velocidades medidas com radar em uma rodovia em trecho montanhoso (km/h)	152
Tabela 28	Velocidades agrupadas em intervalos e parâmetros estatísticos	153
Tabela 29	Contagem para o método do observador móvel.....	168
Tabela 30	Amostra mínima para estudos de tempos de percurso com um nível de confiança de 95%	171
Tabela 31	Ocupação de carros de passeio, táxis e ônibus na cidade de São Paulo .	178
Tabela 32	Número de ocupantes de veículos (Quadro resumo)	186
Tabela 33	Amostra requerida ($p = q = 0,5$).....	193
Tabela 34	Obediência ao controle de tráfego.....	194
Tabela 35	Resultados da pesquisa	195

Tabela 36	Limites do intervalo de confiança (δ)	195
Tabela 37	Viagens por modo de transporte	224
Tabela 38	Série histórica	235
Tabela 39	Coeficiente da equação de regressão	236
Tabela 40	VMD calculados	237
Tabela 41	Fatores de equivalência de carga da AASHTO	244
Tabela 42	Fatores de equivalência de carga do USACE	244
Tabela 43	Percentuais de veículos comerciais na faixa de projeto	246
Tabela 44	Dados de pesagens do trecho	247
Tabela 45	Fatores de equivalência e fatores de veículos	248
Tabela 46	Taxas de crescimento de tráfego	249
Tabela 47	Fatores de veículos médios por classe de veículo	249
Tabela 48	Determinação do número N (Método USACE)	250
Tabela 49	Dados de pesagens no trecho	252
Tabela 50	Cargas por intervalo de 1t	252
Tabela 51	Cargas por intervalo de 1t em 2001	254
Tabela 52	Taxas de crescimento	255
Tabela 53	Intervalos de 1t – VMD 2001 a VMD 2004	256
Tabela 54	Valores de ESALF para diferentes eixos	257
Tabela 55	Valores acumulados – VMD 2001 a 2004	258
Tabela 56	Fatores de veículos (Carregamentos máximos)	259
Tabela 57	Enquadramento em níveis de serviço (Rodovias de Classe I)	267
Tabela 58	Enquadramento em níveis de serviço por rodovias de Classe II	268
Tabela 59	Ajustamento de larguras de faixa e de acostamento (f_{fa})	269
Tabela 60	Ajustamento devido à densidade de acessos (f_A)	269
Tabela 61	Valores recomendados para densidade de acessos	270
Tabela 62	Fator de ajustamento de greide para determinação de velocidades em rodovias de pista simples para dois e um sentido separadamente (f_g)	271
Tabela 63	Fator de ajustamento de greide para determinação de percentual de tempo seguindo em rodovias de pista simples para dois e um sentido separadamente (f_g)	271
Tabela 64	Equivalentes em carros de passeio para determinação de velocidades para dois e um sentido separadamente (E_C e E_{VR})	271
Tabela 65	Equivalentes em carros de passeio para determinação de percentual de tempo para dois e um sentido separadamente (E_C e V_R)	272
Tabela 66	Fator de ajustamento para zonas de ultrapassagem proibida em rodovias de pista simples (f_{up})	273
Tabela 67	Fator de ajustamento para o efeito combinado de distribuição de tráfego por sentido e de percentagem das zonas de ultrapassagem proibida, na percentagem do tempo gasto seguindo, em rodovias de pista simples ($f_{d/up}$)	274

Tabela 68	Fator de ajustamento de greide para estimar velocidade média de viagem em greides específicos (f_G).....	279
Tabela 69	Fator de ajustamento de greide para estimar a percentagem de tempo gasto seguindo em greides específicos (f_G)	280
Tabela 70	Equivalentes em carros de passeio de caminhões para estimar velocidade média em subidas específicas (E_c).....	281
Tabela 71	Equivalente em carros de passeio de caminhões e veículos de recreio para estimar tempo gasto seguindo em subidas específicas (E_c / E_{VR}).....	282
Tabela 72	Equivalente em carros de passeio de veículos de recreio para estimar velocidade média de viagem em subidas específicas	283
Tabela 73	Equivalentes em carros de passeio para estimar o efeito na velocidade média de caminhões que operam com velocidade de arrasto em longas descidas	284
Tabela 74	Fator de ajustamento da velocidade média de viagem por ação das zonas de ultrapassagem proibida em segmentos analisados por sentido de tráfego (f_{up})	285
Tabela 75	Fator de ajustamento da percentagem de tempo gasto seguindo por ação das zonas de ultrapassagem proibida em segmentos analisados por sentido de tráfego (f_{up})	287
Tabela 76	Valores dos coeficientes usados na estimativa da percentagem de tempo gasto seguindo para segmentos analisados por sentido	288
Tabela 77	Critérios para determinação dos níveis de serviço em rodovias com quatro ou mais faixas de tráfego.....	297
Tabela 78	Ajustamento para largura de faixa (f_f).....	299
Tabela 79	Ajustamento para espaço livre lateral (f_{el})	300
Tabela 80	Ajustamento para o tipo de canteiro central (f_{cc}).....	300
Tabela 81	Ajustamento devido à densidade de acessos (f_A).....	300
Tabela 82	Equivalentes em carros de passeio em trechos extensos de rodovia	301
Tabela 83	Equivalentes em carros de passeio para caminhões e ônibus em subidas uniformes.....	303
Tabela 84	Equivalentes em carros de passeio veículos de recreio em subidas uniformes.....	304
Tabela 85	Equivalentes em carros de passeio para caminhões em descidas	304
Tabela 86	Áreas sob curva normal – Distribuição z	318
Tabela 87	Valores da distribuição “t”	327
Tabela 88	Dados de pesquisa	333
Tabela 89	Distribuição de Poisson (Quadro resumo).....	334
Tabela 90	Cálculo das probabilidades.....	335
Tabela 91	Distribuição de Poisson (Sumário para Qui-quadrado).....	337
Tabela 92	Valores máximos da distribuição Qui-quadrado (χ^2).....	337
Tabela 93	Fluxos na hora de pico de contagem – UCP	339
Tabela 94	Fluxos na hora de pico de interseção – UCP no período do ano de maior fluxo	340
Tabela 95	Fluxo na hora de pico de interseção – UCP no ano de abertura	340

Tabela 96	Fluxos na hora de pico de interseção – UCP no ano de abertura, incluindo fluxos desviados	340
Tabela 97	Fluxos na hora de pico de interseção – UCP no ano de projeto, incluindo fluxos desviados	341
Tabela 98	VMD anual no ano de contagem – UCP	341
Tabela 99	VMD anual no ano de abertura – UCP	342
Tabela 100	VMD anual no ano de abertura – UCP incluindo fluxos desviados.....	342
Tabela 101	VMD anual no ano de projeto – UCP incluindo fluxos desviados	342
Tabela 102	8,5% do VMD anual no ano de projeto – UCP incluindo fluxos desviados	343
Tabela 103	Fluxos reduzidos na hora de pico da interseção – UCP no ano de projeto incluído fluxos desviados.....	343
Tabela 104	Contagem volumétrica classificatória	347
Tabela 105	Contagem volumétrica classificatória (2ª feira).....	348
Tabela 106	Contagem volumétrica classificatória (Volume horário semanal – sentido B).....	349
Tabela 107	Contagem volumétrica classificatória (Volume horário semanal – sentido A+B).....	349
Tabela 108	Equivalência em carros de passeio	350
Tabela 109	Contagem volumétrica classificatória (Volume horário).....	351
Tabela 110	Volume médio diário	352
Tabela 111	Coeficientes de expansão semanal do posto P 15.....	354
Tabela 122	Coeficientes de expansão semanal posto P 17.....	355
Tabela 113	VMD _s ajustados – Valores médios	356
Tabela 114	VMD _s ajustados para a média semanal	357
Tabela 115	Correção sazonal.....	358
Tabela 116	Volumes médios diários anuais ajustados com o mesmo coeficiente de sazonalidade (Posto1).....	358
Tabela 117	Volumes médios diários anuais ajustados com o mesmo coeficiente de sazonalidade (Posto 2).....	358
Tabela 118	Volumes médios diários (contagens).....	359
Tabela 119	Volumes médios diários (calculados)	360
Tabela 120	Valores da variável “z”	362
Tabela 121	Valores do VMD _t	362
Tabela 122	Viagens produzidas e atraídas	363
Tabela 123	Variáveis sócio-econômicas	364
Tabela 124	Variáveis produzidas e variáveis de interesse.....	364
Tabela 125	Viagens produzidas calculadas e erros obtidos.....	365
Tabela 126	Resultados de regressão linear múltipla.....	366
Tabela 127	Viagens produzidas e variáveis de interesse.....	367
Tabela 128	Acréscimo de uma zona	367
Tabela 129	Resultados finais da regressão linear múltipla	368
Tabela 130	Matriz de O/D – Ano 2005	368

Tabela 131	Valores das variáveis sócio-econômicas – Ano 2005.....	369
Tabela 132	Taxas de crescimento anuais das variáveis sócio-econômica (%).....	369
Tabela 133	Valores das variáveis sócio-econômicas – Ano 2015.....	369
Tabela 134	Viagens produzidas – 2005	370
Tabela 135	Viagens produzidas “y” em 2015	370
Tabela 136	Viagens atraídas – 2005.....	371
Tabela 137	Viagens atraídas “Y” em 2015	371
Tabela 138	Matriz de O/D ano 2015.....	372
Tabela 139	Matriz de O/D equilibrada	372
Tabela 140	Viagens Futuras.....	374
Tabela 141	Viagens Futuras.....	375
Tabela 142	Viagens Futuras.....	376

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	3
1. INTRODUÇÃO	17
2. DEFINIÇÕES	21
3. VEÍCULOS REPRESENTATIVOS	27
3.1. Legislação Relativa às Dimensões e Pesos dos Veículos	29
3.2. Veículos em Trânsito no País.....	41
3.3. Veículos de Projeto	46
3.4. Veículos Adotados na Classificação do DNIT	47
3.5. Veículos Definidos para Estudos de Capacidade.....	56
3.6. Veículos Previstos no Sistema HDM-4.....	56
4. CARACTERÍSTICAS DO TRÁFEGO	61
4.1. Volume de Tráfego.....	63
4.2. Velocidade.....	78
4.3. Densidade	81
4.4. Relação entre Volume, Velocidade e Densidade	82
4.5. Estatísticas Viárias	85
5. PROCEDIMENTOS BÁSICOS	89
5.1. Definição da Área de Estudo.....	91
5.2. Estabelecimento das Zonas de Tráfego	91
5.3. Informações Básicas	92
5.4. Preparação da Rede Básica de Transportes.....	94
6. PESQUISAS DE TRÁFEGO	99
6.1. Contagens Volumétricas	101
6.2. Pesquisas de Origem e Destino	128
6.3. Pesquisa de Velocidade Pontual.....	139
6.4. Pesquisa de Velocidade e Retardamento	158
6.5. Pesquisa de Ocupação de Veículos.....	177
6.6. Pesagens de Veículos.....	187
6.7. Verificação da Obediência às Leis de Trânsito	191

7.	DETERMINAÇÃO DO TRÁFEGO ATUAL	197
7.1.	Volume Médio Diário (VMD).....	199
7.2.	Matrizes de Origem/Destino Atuais	201
7.3.	Alocação do Tráfego Atual	202
7.4.	Calibragem da Rede Atual	203
8.	DETERMINAÇÃO DO TRÁFEGO FUTURO	205
8.1.	Considerações Gerais.....	207
8.2.	Determinação do Período de Análise	208
8.3.	Caracterização da Natureza da Demanda	208
8.4.	Identificação das Variáveis Socioeconômicas Relevantes	209
8.5.	Formulação dos Modelos de Projeção	211
8.6.	Projeção do Tráfego com Base em Séries Históricas	233
9.	DETERMINAÇÃO DO NÚMERO “N”	239
9.1.	Volume Médio Diário Anual (VMDA)	241
9.2.	Classificação da Frota.....	242
9.3.	Carregamento da Frota	242
9.4.	Fatores de Equivalência de Carga por Eixo (FC).....	243
9.5.	Pavimentos Flexíveis	245
9.6.	Pavimentos Rígidos	251
9.7.	Efeitos das Cargas por Eixo no Modelo HDM	257
9.8.	Valores Máximos de Fatores de Veículos e ESALF	259
10.	CAPACIDADE E NÍVEIS DE SERVIÇO	261
10.1.	Rodovias de Pista Simples.....	264
10.2.	Rodovias de Quatro ou Mais Faixas	295
	APÊNDICE	311
	APÊNDICE A - ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	313
1.	Objetivo	313
2.	Medidas de Posição	313
3.	Medidas de Dispersão.....	315
4.	Amostragem	319
5.	Teste de Significância	322
6.	Métodos de Regressão	326
7.	Distribuição de “Poisson”	332

APÊNDICE B - EXEMPLOS DE APLICAÇÃO	339
1. Objetivo	339
2. Fluxogramas Necessários ao Projeto de Interseções	339
3. Volume Médio Diário de Rodovias (VMD).....	345
4. Geração de Viagens pelo Método de Regressão Linear.....	359
5. Distribuição de Viagens pelo Método de Fratar.....	368
6. Velocidade em Acidentes	377
BIBLIOGRAFIA.....	379

1 - INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

O objetivo dos *estudos de tráfego* é obter, através de métodos sistemáticos de coleta, dados relativos aos cinco elementos fundamentais do tráfego (motorista, pedestre, veículo, via e meio ambiente) e seu interrelacionamento.

Por meio dos estudos de tráfego é possível conhecer o número de veículos que circula por uma via em um determinado período, suas velocidades, suas ações mútuas, os locais onde seus condutores desejam estacioná-los, os locais onde se concentram os acidentes de trânsito, etc. Permitem a determinação quantitativa da capacidade das vias e, em conseqüência, o estabelecimento dos meios construtivos necessários à melhoria da circulação ou das características de seu projeto.

Através de pesquisas se podem conhecer as zonas de onde se originam os veículos e para onde se destinam, tornando possível a fixação das linhas de desejo de passageiros e de mercadorias. Em conjunto com essas pesquisas, que fornecem os dados sobre o tráfego atual, e através do conhecimento da forma de geração e distribuição desse tráfego obtém-se o prognóstico das necessidades de circulação no futuro, dado essencial para o planejamento da rede.

Em resumo, os estudos de tráfego se constituem no instrumento de que se serve a Engenharia de Tráfego para atender às suas finalidades, definidas como sendo o planejamento de vias e da circulação do trânsito nas mesmas, com vistas ao seu emprego para transportar pessoas e mercadorias de forma eficiente, econômica e segura.

Os dados de tráfego são geralmente obtidos nas fases de Planos Diretores e Estudos de Viabilidade, em vista da necessidade de sua utilização nas análises econômicas ali desenvolvidas. Nos casos em que o Projeto Final de Engenharia não tiver sido precedido do Estudo de Viabilidade e o prazo para sua elaboração for curto, a obtenção e aplicação dos dados de tráfego poderá se restringir a:

- Elaboração de fluxogramas das interseções para seu dimensionamento;
- Determinação do número equivalente “N” e/ou outros elementos necessários para fins de dimensionamento do pavimento;
- Verificação, através de Estudos de Capacidade, da suficiência e compatibilidade das características projetadas com o nível de serviço estabelecido.

Existindo Estudo de Viabilidade, sua aplicação na fase de projeto poderá ser necessária apenas para fins de atualização ou confirmação dos dados levantados na fase anterior. Nos casos de projetos de melhoramentos de rodovias existentes que visem o aumento de sua capacidade, os estudos de tráfego deverão ser semelhantes àqueles feitos nos Estudos de Viabilidade.

Os estudos de tráfego que serão expostos neste *Manual* são voltados principalmente para aqueles desenvolvidos nas fases de estudos e de projeto de vias rurais. Pela sua grande conotação com os aspectos econômicos considerados nos Planos Diretores e Estudos de

Viabilidade alguns tópicos aqui descritos caberiam melhor num manual que abordasse aqueles aspectos.

Considerando, no entanto, o seu desenvolvimento em paralelo com os aspectos de engenharia e que alguns de seus resultados são de aplicação direta para o dimensionamento dos projetos, são aqui apresentados os aspectos metodológicos mais relevantes desses estudos. Eles não devem ser considerados como uma orientação rígida a ser adotada nos estudos nem trazem as soluções para os problemas que possam surgir na sua execução, mas fornecem uma conceituação e seqüência metodológica, podendo servir de base para o estabelecimento de procedimentos mais adequados a serem adotados nos vários estudos particulares.

2 - DEFINIÇÕES

2 DEFINIÇÕES

Algumas expressões empregadas em estudos de tráfego carecem de uma definição uniforme ou precisa de conceito. Com o objetivo de uniformizar a terminologia existente sobre a matéria, são fornecidos alguns conceitos gerais. As definições foram elaboradas apenas para os principais termos ou expressões de significado particular mencionadas no presente Manual e não pretendem constituir um glossário completo. Em alguns casos, para algumas expressões com conceituação mais ampla, foi apresentado apenas o conceito de interesse para os estudos de tráfego. Em outros, a explanação dos conceitos encontra-se no próprio texto.

Capacidade – número máximo de veículos que poderá passar por um determinado trecho de uma faixa ou pista durante um período de tempo determinado, sob as condições reais predominantes na via e no tráfego.

Capacidade Máxima de Tração (CMT) - máximo peso que a unidade de tração é capaz de tracionar, indicado pelo fabricante, baseado em condições sobre suas limitações de geração e multiplicação de momento de força e resistência dos elementos que compõem a transmissão.

Densidade - número de veículos por unidade de comprimento da via.

Espaçamento - distância entre dois veículos sucessivos, medida entre pontos de referência comuns.

Fator Horário de Pico (FHP) - é o volume da hora de pico do período de tempo considerado, dividido pelo quádruplo do volume do período de quinze minutos da Hora de Pico com maior fluxo de tráfego.

Intervalo de Tempo ou Headway - tempo transcorrido entre a passagem de dois veículos sucessivos por um determinado ponto.

Lotação - carga útil máxima incluindo o condutor e os passageiros que o veículo pode transportar, expressa em quilogramas ou toneladas para os veículos de carga; ou número de pessoas para os veículos de transportes coletivo de passageiros.

Peso Bruto Total (PBT) - peso máximo que o veículo pode transmitir ao pavimento, constituído da soma da tara mais a lotação.

Tandem - dois ou mais eixos de um veículo que constituam um conjunto integrado de suspensão, podendo quaisquer deles ser ou não motriz.

Tara - peso próprio do veículo, acrescido dos pesos da carroçaria e equipamento, do combustível, das ferramentas e dos acessórios, da roda sobressalente, do extintor de incêndio e do fluido de arrefecimento, expresso em quilogramas ou toneladas.

Tempo de Viagem - período de tempo durante o qual o veículo percorre um determinado trecho de via, incluindo os tempos de parada.

Velocidade - relação entre o espaço percorrido por um veículo (d) e o tempo gasto em percorrê-lo (t). Se chamamos de V a velocidade, então $V = d/t$.

Velocidade Diretriz ou Velocidade de Projeto - velocidade selecionada para fins de projeto, da qual se derivam os valores mínimos de determinadas características físicas diretamente vinculadas à operação e ao movimento dos veículos. Normalmente é a maior velocidade com que um trecho viário pode ser percorrido com segurança, quando o veículo estiver submetido apenas às limitações impostas pelas características geométricas.

Velocidade de Fluxo Livre - velocidade média dos veículos de uma determinada via, quando apresenta volumes baixos de tráfego e não há imposição de restrições quanto às suas velocidades, nem por interação veicular nem por regulamentação do trânsito.

Velocidade Instantânea - velocidade de um veículo em um instante determinado, correspondente a um trecho cujo comprimento tende para zero.

Velocidade Média de Percurso - velocidade em um trecho de uma via, determinada pela razão do comprimento do trecho pelo tempo médio gasto em percorrê-lo, incluindo apenas os tempos em que os veículos estão em movimento.

Velocidade Média no Tempo - média aritmética das velocidades pontuais de todos os veículos que passam por um determinado ponto ou seção da via, durante intervalos de tempo finitos, ainda que sejam muito pequenos.

Velocidade Média de Viagem (Velocidade Média no Espaço) - velocidade em um trecho de uma via, determinada pela razão do comprimento do trecho pelo tempo médio gasto em percorrê-lo, incluindo os tempos em que, eventualmente, os veículos estejam parados.

Velocidade de Operação - mais alta velocidade com que o veículo pode percorrer uma dada via atendendo às limitações impostas pelo tráfego, sob condições favoráveis de tempo. Não pode exceder a velocidade de projeto.

Velocidade Percentual N% (VPN%) - velocidade abaixo da qual trafegam N% dos veículos. É comum utilizar VP85% como valor razoável para fins de determinação da “velocidade máxima permitida” a ser regulamentada pela sinalização.

Velocidade Pontual - velocidade instantânea de um veículo quando passa por um determinado ponto ou seção da via.

Volume Horário de Projeto (VHP) – Fluxo de veículos (número de veículos por hora) que deve ser atendido em condições adequadas de segurança e conforto pelo projeto da via em questão.

Volume Médio Diário (VMD) - número médio de veículos que percorre uma seção ou trecho de uma rodovia, por dia, durante um certo período de tempo. Quando não se especifica o período considerado, pressupõe-se que se trata de um ano.

Volume de Tráfego - número de veículos que passam por uma seção de uma via, ou de uma determinada faixa, durante uma unidade de tempo.

3 - VEÍCULOS REPRESENTATIVOS

3 VEÍCULOS REPRESENTATIVOS

Há diversos aspectos a serem considerados no que diz respeito aos veículos que trafegam nas rodovias, dependendo da natureza dos estudos em análise e de sua finalidade.

3.1 LEGISLAÇÃO RELATIVA ÀS DIMENSÕES E PESOS DOS VEÍCULOS

Neste item serão apresentadas informações relativas a pesos e dimensões de veículos utilizadas com mais frequência nos estudos de tráfego. Maiores detalhes constam do manual *Quadro de Fabricantes de Veículos*, elaborado pelo DNIT e disponibilizado em seu site na internet. Desse manual foram extraídas outras informações consideradas adequadas para inclusão em vários itens do presente trabalho.

3.1.1 RESOLUÇÃO N.º 12, DE 6 DE FEVEREIRO DE 1998

O *Conselho Nacional de Trânsito* – CONTRAN, usando da competência que lhe confere o inciso I, do art. 12, da Lei 9.503, de 23 de setembro de 1997, que instituiu o *Código de Trânsito Brasileiro* – CTB, estabeleceu, limites de dimensões e peso para veículos em trânsito livre. Transcreve-se a seguir o que se considerou de interesse para a elaboração de estudos de tráfego.

Art. 1º. As dimensões autorizadas para veículos, com ou sem carga, são as seguintes:

- I – largura máxima: 2,60m;
- II – altura máxima: 4,40m;
- III – comprimento total:
 - a) veículos simples: 14,00m;
 - b) veículos articulados: 18,15m;
 - c) veículos com reboques: 19,80m.

§ 1º. Os limites para o comprimento do balanço traseiro de veículos de transporte de passageiros e de cargas são os seguintes:

- I – nos veículos simples de transporte de carga, até 60% (sessenta por cento) da distância entre os dois eixos, não podendo exceder a 3,50m (três metros e cinquenta centímetros);
- II – nos veículos simples de transporte de passageiros:
 - a) com motor traseiro: até 62% (sessenta e dois por cento) da distância entre eixos;
 - b) com motor central: até 66% (sessenta e seis por cento) da distância entre eixos;
 - c) com motor dianteiro: até 71% (setenta e um por cento) da distância entre eixos.

§ 2º. A distância entre eixos, prevista no parágrafo anterior, será medida de centro a centro das rodas dos eixos dos extremos do veículo.

Art. 2º. Os limites máximos de peso bruto total e peso bruto transmitido por eixo de veículo, nas superfícies das vias públicas, são os seguintes:

I – peso bruto total por unidade ou combinações de veículos: 45t;

II – peso bruto por eixo isolado: 10t;

III – peso bruto por conjunto de dois eixos em *tandem*, quando a distância entre os dois planos verticais, que contenham os centros das rodas, for superior a 1,20m e inferior ou igual a 2,40m: 17t;

IV – peso bruto por conjunto de dois eixos não em *tandem*, quando a distância entre os dois planos verticais, que contenham os centros das rodas, for superior a 1,20m e inferior ou igual a 2,40m: 15t;

V – peso bruto por conjunto de três eixos em *tandem*, aplicável somente a semi-reboque, quando a distância entre os três planos verticais, que contenham os centros das rodas, for superior a 1,20m e inferior ou igual a 2,40m: 25t;

VI – peso bruto por conjunto de dois eixos, sendo um dotado de quatro pneumáticos e outro de dois pneumáticos interligados por suspensão especial, quando a distância entre os dois planos verticais que contenham os centros das rodas for:

- a) inferior ou igual a 1,20m: 9t;
- b) superior a 1,20m e inferior ou igual a 2,40m: 13,5t.

§ 1º. Considerar-se-ão eixos em *tandem* dois ou mais eixos que constituam um conjunto integral de suspensão, podendo quaisquer deles ser ou não motriz.

§ 2º. Quando, em um conjunto de dois eixos, a distância entre os dois planos verticais paralelos, que contenham os centros das rodas, for superior a 2,40m, cada eixo será considerado como se fosse isolado.

§ 3º. Em qualquer par de eixos ou conjunto de três eixos em *tandem*, com quatro pneumáticos em cada, com os respectivos limites legais de 17t e 25,5t, a diferença de peso bruto total entre os eixos mais próximos não deverá exceder a 1.700kg.

§ 5º. As configurações de eixos duplos com distância dos dois planos verticais, que contenham os centros das rodas inferior a 1,20m, serão regulamentadas por este Conselho, especificando os tipos de planos e peso por eixo, após ouvir o órgão rodoviário específico do Ministério dos Transportes.

Art. 3º. Os limites máximos de peso bruto por eixo e por conjunto de eixos, estabelecidos no artigo anterior, só prevalecem:

I – se todos os eixos forem dotados de, no mínimo, quatro pneumáticos cada um;

II – se todos os pneumáticos, de um mesmo conjunto de eixos, forem da mesma rodagem e calçarem rodas no mesmo diâmetro.

§ 1º. Nos eixos isolados, dotados de dois pneumáticos, o limite máximo de peso bruto por eixo será de seis toneladas, observada a capacidade e os limites de peso indicados pelo fabricante dos pneumáticos.

§ 2º. No conjunto de dois eixos, dotados de dois pneumáticos cada, desde que direcionais, o limite máximo de peso será de doze toneladas.

3.1.2 RESOLUÇÕES RELATIVAS À CIRCULAÇÃO DE COMBINAÇÕES DE VEÍCULOS DE CARGA (CVC)

De um modo geral, veículos com mais de duas unidades, incluída a unidade tratora, exigem autorização especial para trafegar. O comprimento máximo dos rodotrens e treminhões está limitado pelas autoridades de trânsito a 30 m. A *Resolução nº 68, de 23 de setembro de 1998*, e alterações introduzidas pelas *Resoluções 76/98 e 164/04* estabelecem as normas regulamentares para circulação desses veículos. Transcreve-se a seguir o que se considerou de interesse para a elaboração de estudos de tráfego.

Art. 1º. As combinações de Veículos de Carga – CVC com mais de duas unidades, incluídas a unidade tratora, só deverão circular portando Autorização Especial de Trânsito – AET.

§ único. Ficam dispensadas da AET as Combinações de Veículos de Carga –CVC, com Peso Bruto Total Combinado – PBTC, superior a 45 toneladas e até 57 toneladas, desde que atendam aos seguintes requisitos:

- I. incisos II a VI do art. 2º desta resolução;
- II. máximo de 7 (sete) eixos;
- III. comprimento máximo de 19,80 metros e mínimo de 17,50 metros;
- IV. unidade tratora do tipo cavalo mecânico;
- V. acoplamento com pino rei e quinta roda.

(Alteração introduzida pela Resolução 164/04).

Art. 2º. Para concessão de Autorização Especial de Trânsito – AET, o Órgão Executivo Rodoviário da União, dos Estados, dos Municípios ou do Distrito Federal, deverá observar os seguintes requisitos mínimos:

- I – a Combinação de Veículos de Carga – CVC não poderá possuir Peso Bruto Total Combinado – PBTC superior a 74 toneladas e seu comprimento não poderá ultrapassar a 30 metros, respeitados os tipos de Combinações previstos no *Anexo I*;

II – os limites legais de Peso por Eixo previstos no Decreto 2.069/96 e na Resolução n.º 12/98 – CONTRAN;

§ 2º. Nas Combinações com Peso Bruto Total Combinado – PBTC de no máximo 57t, o cavalo mecânico poderá ser de tração simples e equipado com 3º eixo, respeitados os outros limites previstos no § 1º e, a Autorização Especial de Trânsito – AET expedida pelos Órgãos Executivos Rodoviários terá validade em todas as vias de suas respectivas circunscrições. *(Alteração introduzida pela Resolução 76/98).*

§ 4º. A critério do Órgão Executivo Rodoviário responsável pela concessão da Autorização Especial de Trânsito – AET, nas vias de duplo sentido de direção, poderá ser exigida a existência de faixa adicional para veículos lentos nos segmentos em rampa com acive e comprimentos superiores a 5% e 500m, respectivamente.

Art. 3º. O trânsito de Combinações de Veículos de que trata esta Resolução será do amanhecer ao pôr do sol e sua velocidade máxima de 80 km/h.

§ 1º. Para Combinações cujo comprimento seja de no máximo 19,80 m, o trânsito será diurno.

§ 2º. Nas vias com pista dupla e duplo sentido de circulação, dotadas de separadores físicos e que possuam duas ou mais faixas de circulação no mesmo sentido, poderá ser autorizado o trânsito noturno das Combinações que excedam o comprimento previsto no parágrafo anterior.

§ 3º. Em casos especiais, devidamente justificados, poderá ser autorizado o trânsito noturno de comprimento das Combinações que excedam 19,80 m, nas vias de pista simples com duplo sentido de circulação, observados os seguintes requisitos:

I – volume de tráfego no horário noturno de no máximo 2.500 veículos;

II – traçado de vias e suas condições de segurança, especialmente no que se refere à ultrapassagem dos demais veículos;

III – distância a ser percorrida;

IV – colocação de placas de sinalização em todo o trecho da via, advertindo os usuários sobre a presença de veículos longos;

3.1.3 RESOLUÇÕES RELATIVAS A CARGAS EXCEPCIONAIS

O transporte de cargas excepcionais e o trânsito de veículos especiais devem atender além do disposto no Código de Trânsito Brasileiro, às Instruções para o Transporte de Cargas Indivisíveis e Excedentes em Peso e/ou Dimensões e para o Trânsito de Veículos Especiais constantes da *Resolução 2264/81* do Conselho de Administração do DNIT na sessão 40 de 07/12/1981 e alterada pela *Resolução 2471/89*, sessão 39 de 08/12/1989.

Nestas Instruções são apresentadas no Art. 4 as definições de carga indivisível e veículos especiais, bem como outras necessárias, as quais deverão ser observadas quando da aplicação dos limites de peso por eixo para veículos trafegando com Autorização Especial de Trânsito - AET.

I - *Carga Indivisível*: a carga unitária, representada por uma única peça estrutural ou por um conjunto de peças fixadas por rebiteagem, solda ou outro processo, para fins de utilização direta como peça acabada ou, ainda, como parte integrante de conjuntos estruturais de montagem ou de máquinas ou equipamentos, e que pela sua complexidade, só possa ser montada em instalações apropriadas;

II - *Conjunto*: a composição de veículo transportador mais carga;

III - *Combinação de Veículos*: a composição de 1 (um) ou 2 (dois) veículos tratores, com semi-reboque(s) e/ou reboque(s);

IV - *Veículo Especial*: aquele construído com características especiais e destinado ao transporte de carga indivisível e excedente em peso e/ou dimensão, incluindo-se entre esses os semi-reboques dotados de mais de 3 (três) eixos com suspensão mecânica, assim como aquele dotado de equipamentos para a prestação de serviços especializados, que se configurem como carga permanente;

V - *Comboio*: o grupo constituído de 2 (dois) ou mais veículos transportadores, independentes, realizando transporte simultâneo e no mesmo sentido, separados entre si por distância mínima de 30 m (trinta metros) e máxima de 100 m (cem metros);

Embora estudos específicos de tráfego tenham que considerar a realidade do país, em eventuais recomendações a serem feitas deverão sempre ser levadas em conta as limitações legais apresentadas.

Cabe observar ainda, que a lei 7.408/85 determinou que fosse atribuída uma tolerância de 5% ao limite de 45.000 kg para o PBT, passando o limite para a autuação para 47.250 kg.

Através da Resolução n.º 104 de 21/12/99, o CONTRAN alterou a tolerância para o excesso de peso por eixo de 5% para 7,5%.

As Figuras 1 a 12 a seguir, ilustram através de desenhos, os limites de dimensões e pesos dos veículos estabelecidos pela legislação.

Figura 1 - Dimensões e pesos de veículos até 45t

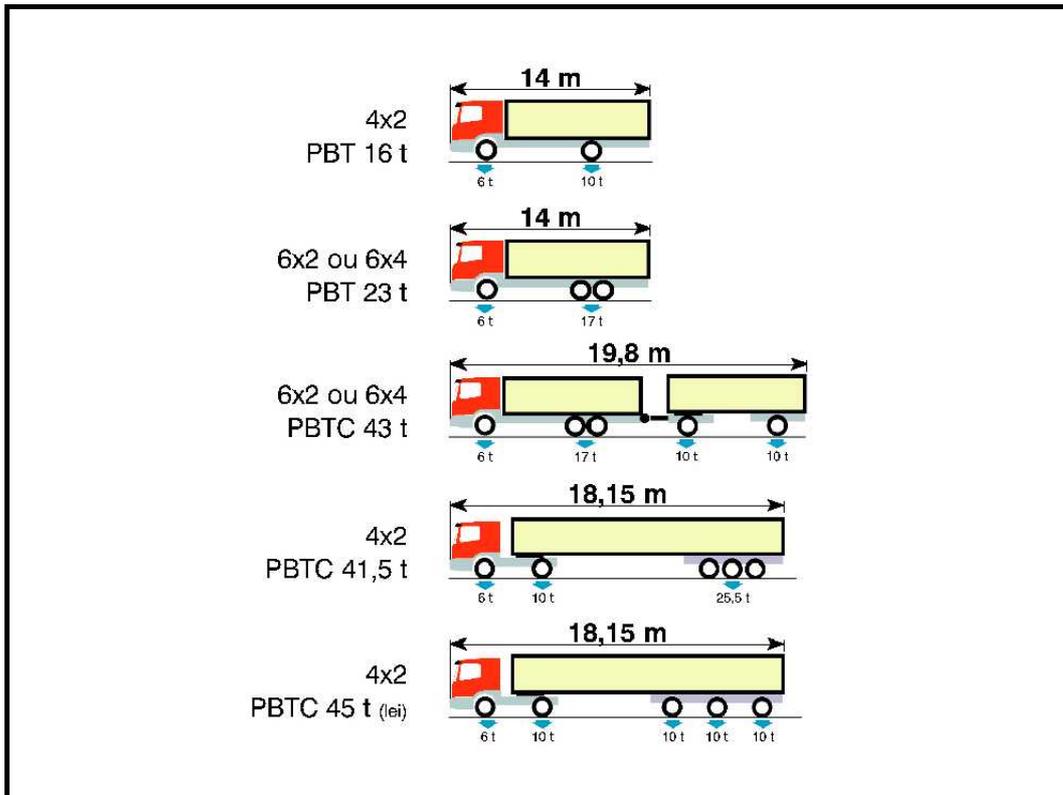


Figura 2 - Dimensões e pesos de veículos até 74t

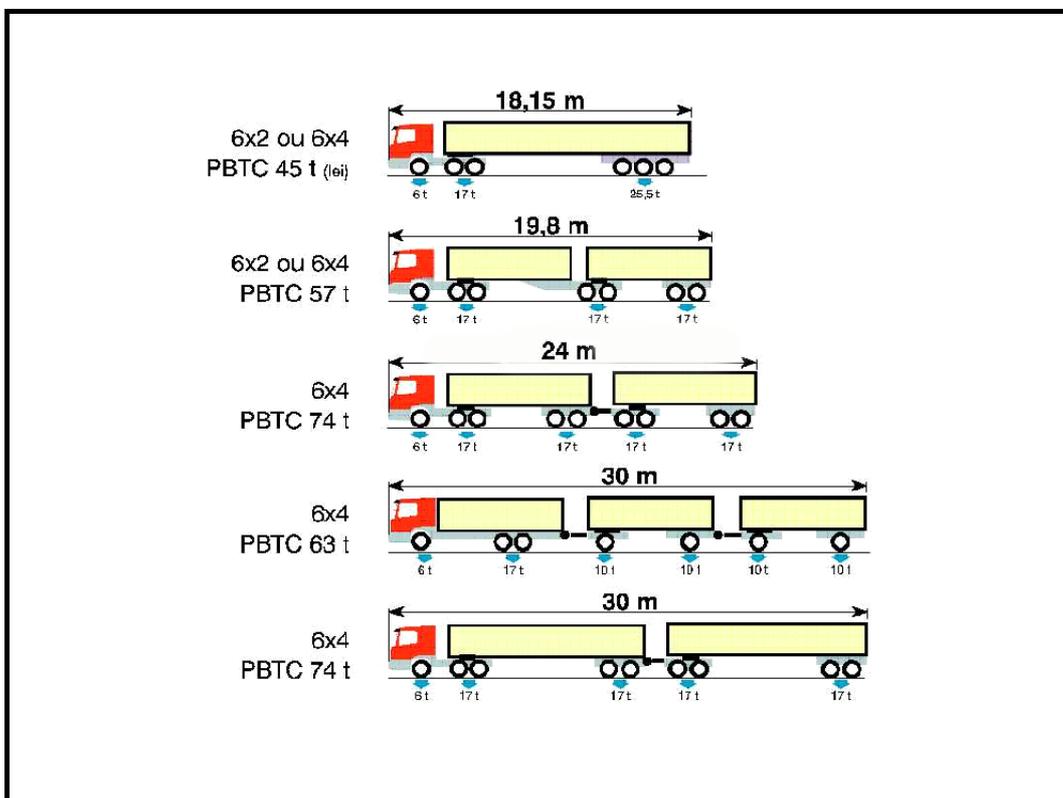


Figura 3 - Configurações dos eixos

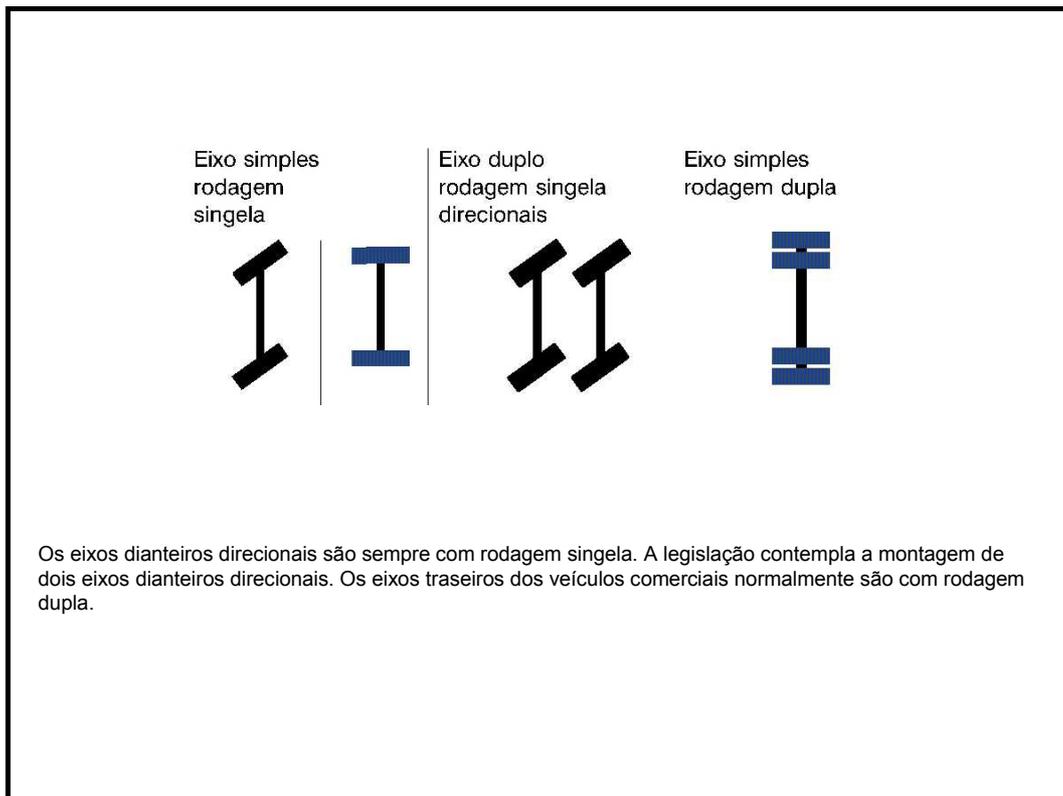


Figura 4 - Configurações das suspensões

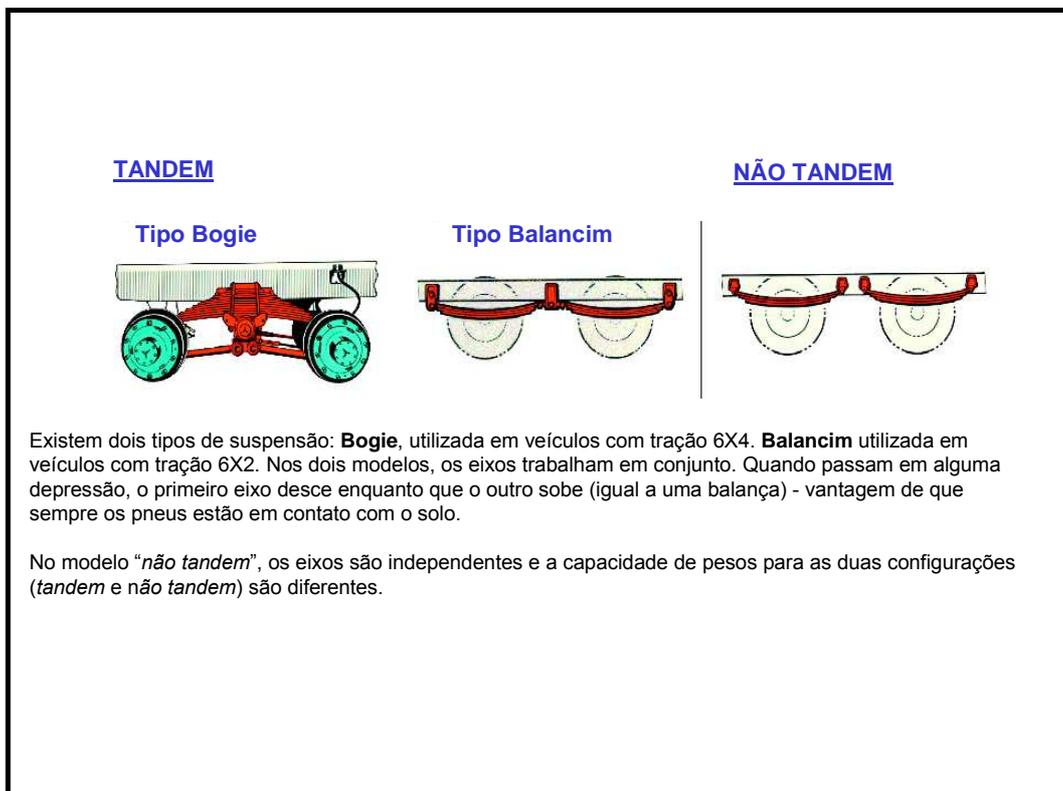


Figura 5 - Configurações dos eixos de semi-reboques

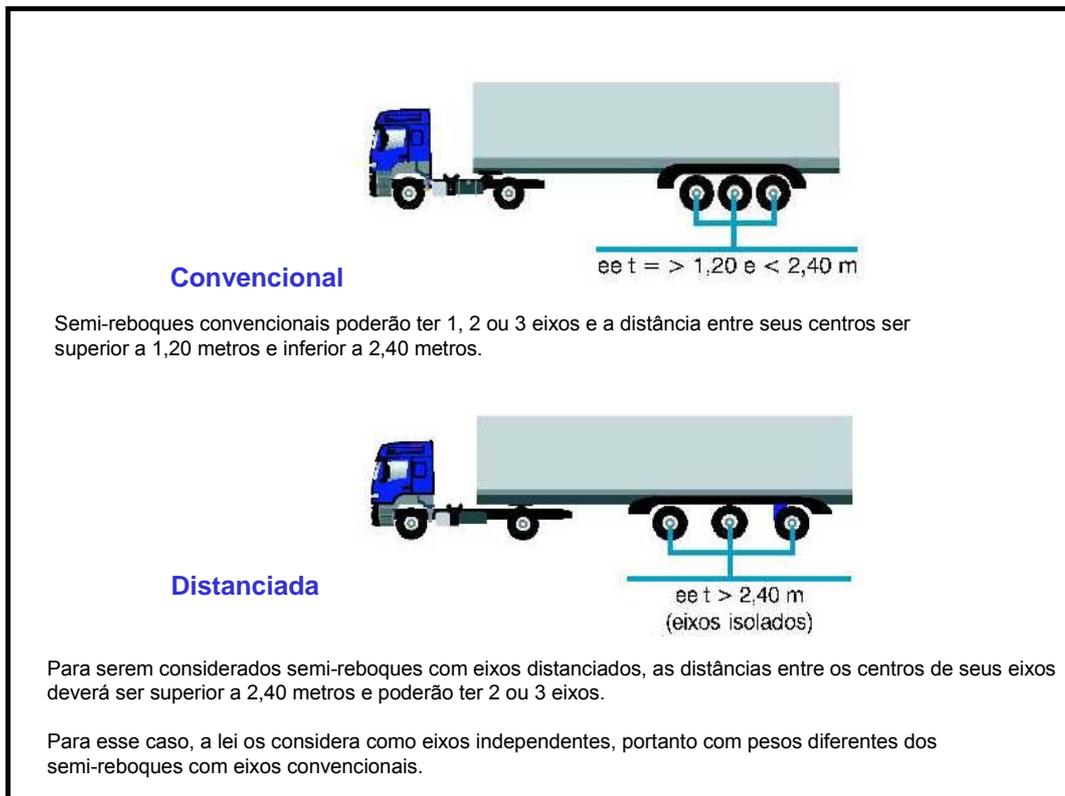


Figura 6 - Capacidade legal, veículos com 2 eixos

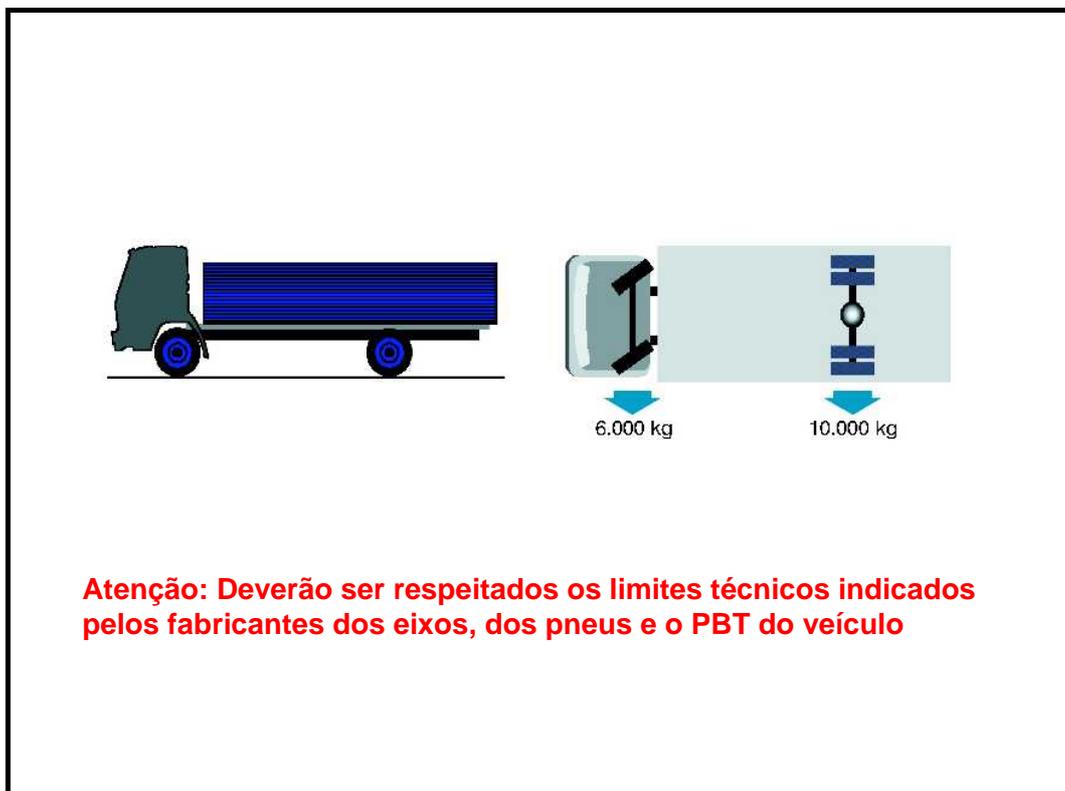


Figura 7 - Capacidade legal, veículos com 3 eixos

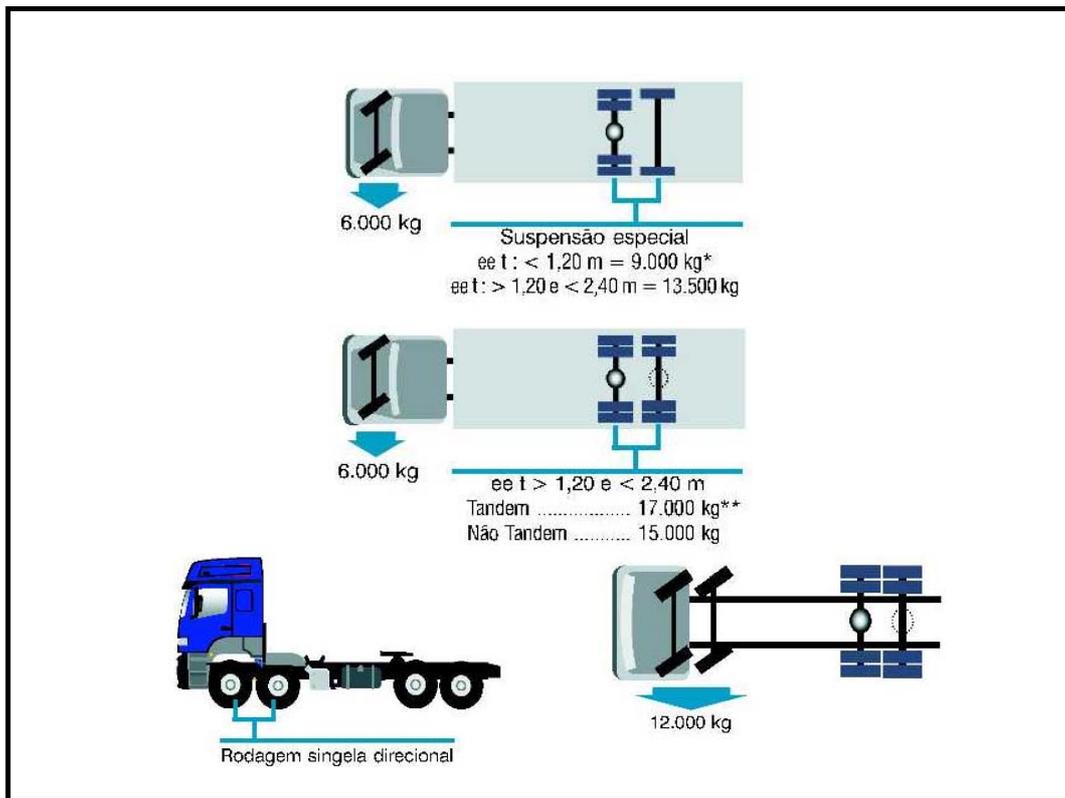


Figura 8 - Capacidade legal, veículos com 4 eixos

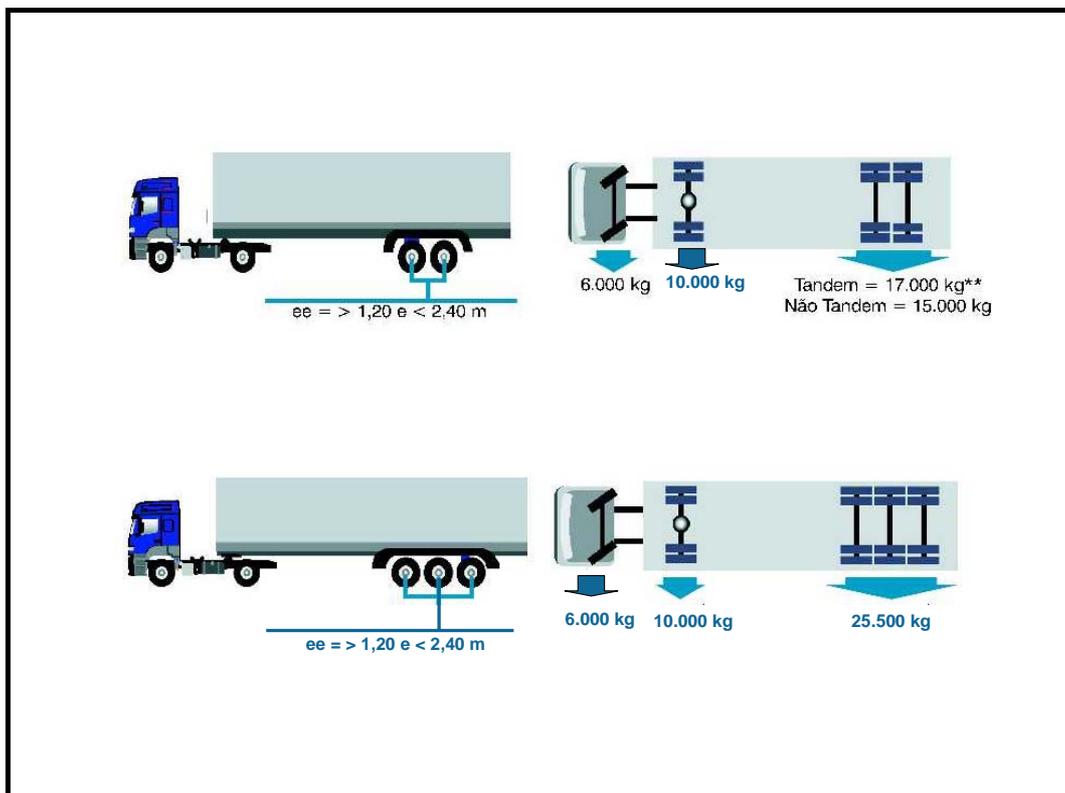


Figura 9 - Capacidade legal, veículos com 5 eixos

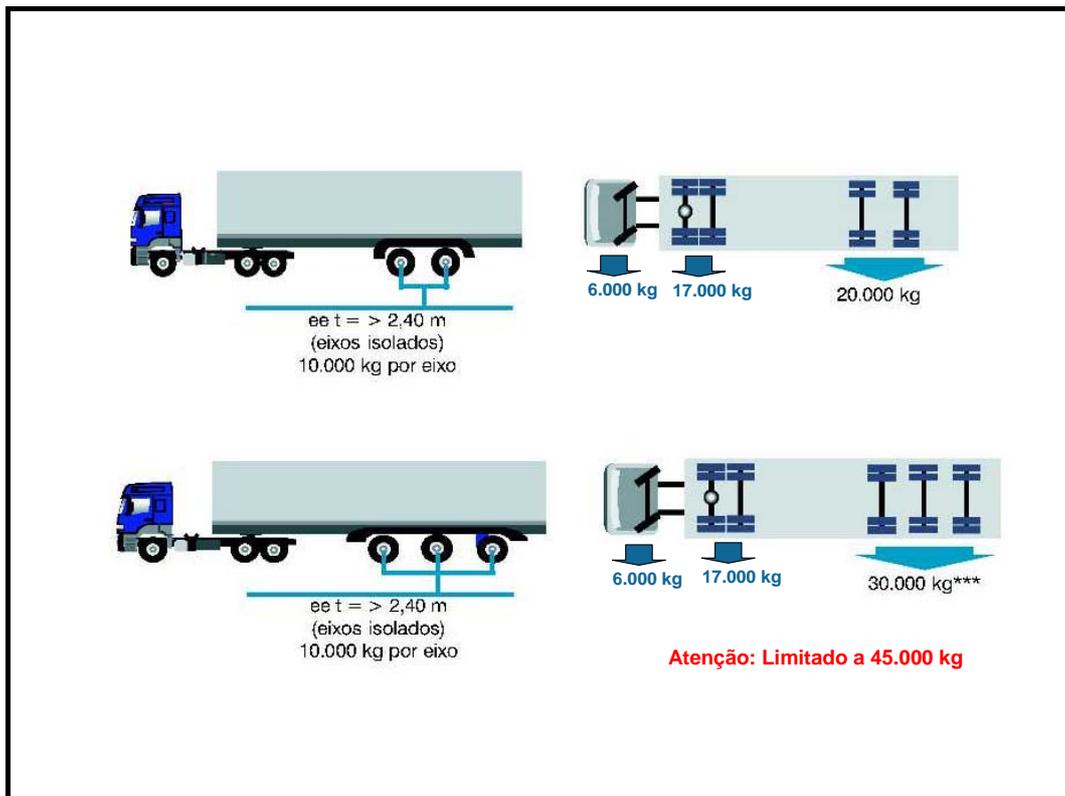


Figura 10 - Capacidade Legal (Resumo)



Figura 11 - Dimensões (Resumo)

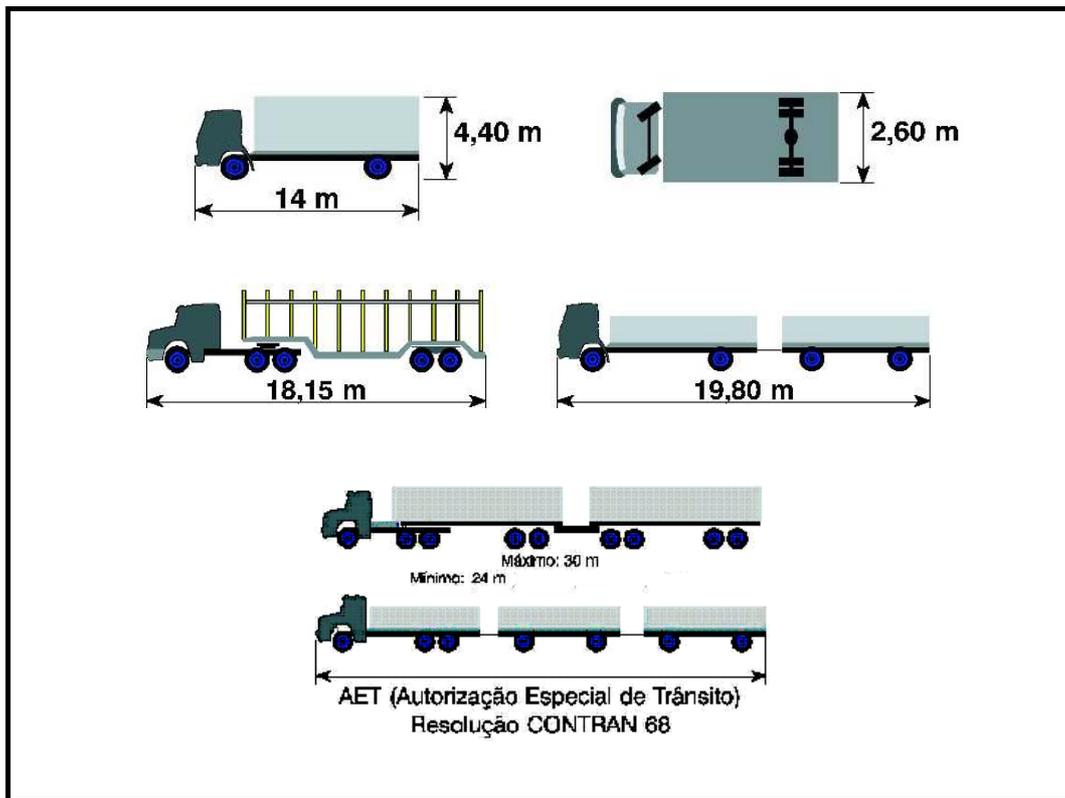


Figura 12 - Carga máxima (Resumo)



Configuração	Distância entre eixos (ee)	Qtde. de Eixos	Qtde. de Pneus	Suspensão	Carga máxima autorizada
	-----	1	2	-----	6
	-----	1	4	-----	10
	-----	2	4	-----	12
	Menor que 1,20m	2	6	Especial	9
	De 1,20 a 2,40m	2	6	Especial	13,5
	Maior que 1,20 e menor que 2,40 m	2	8	Tandem	17
				Não Tandem	15
	Maior que 1,20 e menor que 2,40 m	3	12	Tandem	25,5
	Maior que 2,40 m	2	8	-----	20
	Maior que 2,40 m	3	12	-----	30

3.1.4 LIMITES LEGAIS PARA VEÍCULOS LICENCIADOS EM PAÍSES DO MERCOSUL

Na II Reunião Quatripartite do Subgrupo Técnico nº 5 - Transporte Terrestre do MERCOSUL, realizada em 20 de junho de 1991, decidiu-se adotar e por em vigência os "Acordos sobre Pesos e Dimensões", firmados nas II e III Reuniões do Subgrupo do Mercado Comum Brasil/Argentina. Neste acordo, foram definidos limites de peso e dimensões para configurações específicas.

Na III Reunião Quatripartite do Subgrupo Técnico nº 5 realizada nos dias 28 e 29 de agosto de 1991, decidiu-se que se deveria trabalhar somente com parâmetros básicos de pesos e dimensões.

Na V Reunião do Grupo Mercado Comum - GMC do MERCOSUL, realizada nos dias 30 de março e 1 de abril de 1992, o GMC exortou os países ao cumprimento dos acordos em matéria de "Pesos e Dimensões". Assim sendo, e objetivando atender aos acordos por parte do Brasil, apresentamos a seguir, os limites de pesos acordados para os veículos licenciados em países membros do MERCOSUL. Estes valores quando regulamentados pelo CONTRAN deverão ser observados para efeito de fiscalização.

- eixo simples com rodagem simples 2 pneus: 6,0 t
- eixo simples com rodagem dupla 4 pneus: 10,5 t
- eixo duplo com rodagem simples 4 pneus: 10,0 t
- eixo duplo com rodagem simples/dupla 6 pneus tandem: 14,0 t
- eixo duplo com rodagem dupla 8 pneus tandem: 18,0 t
- eixo triplo c/1 rodagem simples e 2 duplas 10 pneus tandem: 21,0 t
- eixo triplo com 3 rodagens duplas 12 pneus tandem: 25,5 t

O limite para PBT por unidade ou combinação de veículos é de 45 (quarenta e cinco) toneladas.

Tolerâncias:

- para veículos simples: 500 kg/eixo ou conjunto de eixos sem exceder o peso máximo total para o veículo;
- para caminhão trator + semi-reboque ou caminhão trator + reboque: 500 kg/eixo ou conjunto de eixos, e 1.000 kg para o total de eixos.

Convém observar que:

- exceto para eixo simples com rodagem simples e eixo triplo com rodagem dupla, todos os demais limites são maiores que os adotados no Brasil;
- a configuração de eixo duplo com rodagem simples no Brasil só é utilizada como eixo direcional e está limitada a 12 t.;
- a configuração de eixo triplo com uma rodagem simples e duas duplas com 10 pneumáticos no total, não é utilizada no Brasil.

3.2 VEÍCULOS EM TRÂNSITO NO PAÍS

O conhecimento da natureza dos veículos em circulação é fundamental para estudos econômicos, para a definição dos veículos tipo a serem considerados na determinação das características geométricas, dimensionamento do pavimento das vias em fase de projeto e determinação da capacidade e níveis de serviço, bem como no estabelecimento de classificação adequada da composição do tráfego para fixação de valores diferenciados de pedágio nas rodovias sob regime de concessão.

Da consulta aos levantamentos realizados pela “Comissão de Forecast” do *Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores - SINDIPEÇAS*, foram preparados diversos quadros com as características gerais dos veículos do país.

a) Evolução da Frota

Na Tabela 1 – *Evolução da Frota de Veículos* são apresentadas por categoria e total de veículos as seguintes informações:

- Números de veículos em 1985, 1995, 2000 e 2002;
- Taxas de crescimento anual nos intervalos considerados, e no período de 1985 a 2002;
- Participação percentual da categoria na frota de 2002.

Tabela 1 - Evolução da frota de veículos

Categoria	1985	Taxa do intervalo	1995	Taxa do intervalo	2000	Taxa do intervalo	2002	Taxa no período 1985-2002	Particip. por categ. em 2002
Automóveis	9.329	3,5%	13.174	3,9%	15.962	3,2%	17.004	3,6%	80%
Comer. Leves	1.486	3,5%	2.103	5,8%	2.785	3,0%	2.953	4,1%	14%
Caminhões	1.146	0,6%	1.222	-1,2%	1.153	-0,4%	1.143	0,0%	5%
Ônibus	164	2,9%	218	1,3%	233	2,3%	244	2,4%	1%
Total	12.125	3,3%	16.717	3,8%	20.133	3,0%	21.344	3,4%	100%

Fonte: SINDIPEÇAS

Verifica-se que a frota nacional de veículos no ano de 2002 era constituída por 80% de carros de passeio, 14% de veículos comerciais leves, 1% de ônibus e 5% de caminhões. No que se refere aos veículos em tráfego nas rodovias rurais, as contagens permanentes realizadas no Plano Nacional de Contagem de Trânsito de 1996 (PNTC) mostraram que os automóveis representavam cerca de 56,2% dos veículos, os ônibus 7,6% e os caminhões 36,2%. Esses valores podem ainda ser considerados como representativos, já que as mudanças na composição do tráfego são relativamente lentas. Observa-se que esses dados vêm comprovar a natureza mista do tráfego rodoviário no Brasil, ao contrário do que sucede nas rodovias

americanas, em que é bem inferior a percentagem de veículos comerciais pesados (ônibus e caminhões).

Cabe salientar que o volume de veículos tem crescido nos últimos 18 anos a uma taxa média anual de 3,4%, com estabilização do número de veículos de carga. Espera-se, todavia, que a recuperação da malha rodoviária aliada ao desenvolvimento da agropecuária traga uma maior participação dos caminhões na frota nacional.

b) Distribuição dos Automóveis e Veículos Comerciais Leves

Na Tabela 2 – *Distribuição dos Automóveis e Veículos Comerciais Leves* são apresentadas por categoria e tipo de veículos as seguintes informações:

- Participação percentual do tipo de veículo dentro da categoria;
- Modelos que compõem os diversos tipos de veículos.

Tabela 2 - Distribuição de automóveis e veículos comerciais leves (Ano 2002)

Categoria de veículo	Tipo de veículo	Modelos	Distribuição percentual
Automóveis	Pequenos	Hatch (Popular, Pequeno), Sedan (Popular, Pequeno), SW-Popular, Conversível	59,2%
	Médios	Hatch Médio, Sedan Médio, Cupê, Minivan, Utilitário Esportivo	25,4%
	Grandes	Sedan Grande, SW	15,4%
	Total		100,0%
Comerciais Leves	Pequenos	Pickup (Popular, Pequeno), Furgão (Popular, Pequeno), Jeep	45,6%
	Médios	Pickup, Utilitário Esportivo, Furgão Médio	18,7%
	Grande	Pickup Grande, Furgão Grande	19,0%
	Van	Van	16,7%
	Total		100,0%

Fonte: SINDIPEÇAS

Os dados obtidos mostram a predominância dos veículos de pequeno porte na frota em circulação.

c) Frota de Caminhões

Na Tabela 3 – *Evolução da Frota de Caminhões por Tipo de Veículo*, são apresentados por tipo de caminhão as seguintes informações:

- Classificação em função do número e tipo de eixos, ou enquadramento em veículo articulado;
- Peso Bruto Total correspondente (PBT = tara + carga);
- Participação dos vários tipos na composição da frota de caminhões no período de 1985 a 2002.

Tabela 3 - Evolução da frota de caminhões por tipo de veículo

Tipo de caminhão	Classificação	Participação na frota de caminhões					
		1985	1990	1995	2000	2001	2002
Semileves/Leves	Dois eixos simples com rodagem simples (3,5t < PBT < 10,0t)	42,5%	42,6%	40,0%	37,2%	36,6%	37,4%
Médios	Eixo simples com rodagem simples e eixo simples com rodagem dupla (10,0t < PBT < 15,0t)	45,0%	44,1%	42,7%	41,4%	41,1%	39,3%
Semipesados/ Pesados	Eixo simples com rodagem simples e eixo em tandem duplo ou triplo (15,0t < PBT < 40,0t),	7,6%	9,0%	13,2%	19,1%	20,5%	21,9%
Articulados	Semi-reboques e reboques (15,0t < PBT < 45,0t)						
Diversos	-	4,9%	4,3%	4,1%	2,3%	1,8%	1,4%
Total		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Fonte: SINDIPEÇAS

Verifica-se que os caminhões leves e médios vêm sendo substituídos por caminhões de maior porte, provocando estabilização do número global de veículos de carga, conforme se observa na Tabela 1. Informações da indústria automobilística confirmam a tendência de aumentar a participação dos caminhões articulados, de maior capacidade de carga.

d) Frota por Faixa de Idade

Na Tabela 4 – *Distribuição da Frota por Idade* são apresentados:

- Números de veículos por idade;
- Participação percentual por idade.

Tabela 4 - Distribuição da frota por idade

Idade	Ano	Frota	Percentual (%)
1	2002	1.458.138	6,8
2	2001	1.558.037	7,3
3	2000	1.421.610	6,7
4	1999	1.184.335	5,5
5	1998	1.418.199	6,6
6	1997	1.755.740	8,2
7	1996	1.555.589	7,3
8	1995	1.541.353	7,2
9	1994	1.227.801	5,8
10	1993	976.578	4,6
11	1992	655.869	3,1
12	1991	662.287	3,1
13	1990	588.589	2,8
14	1989	620.002	2,9
15	1988	600.563	2,8
16	1987	443.716	2,1
17	1986	643.117	3,0
18	1985	544.872	2,6
19	1984	458.862	2,1
20	1983	497.768	2,3
>21	-	1.531.078	7,2

Fonte: SINDIPEÇAS

Verifica-se que a idade média da frota em 2002 era de 9 anos e que a aquisição anual de veículos nesses últimos 9 anos pouco varia. Os veículos novos, de idades de 1 a 3 anos representavam 21% da frota nacional.

e) Frota por Tipo de Combustível

Na Tabela 5 – *Evolução da Frota por Tipo de Combustível* são apresentados :

- Distribuição quantitativa de veículos por tipo de combustível de 1985 a 2002;
- Distribuição percentual de veículos por tipo de combustível de 1985 a 2002.

Tabela 5 - Evolução da frota por tipo de combustível

Combustível	1985	1990	1995	2000	2001	2002
Álcool	2.253.672	4.189.740	4.639.088	4.267.476	4.139.086	4.024.189
Diesel	1.394.721	1.635.683	1.851.030	2.073.859	2.141.840	2.185.635
Gás	0	0	0	115	153	151
Gasolina	8.476.015	8.082.720	10.227.595	13.790.374	14.506.411	15.134.128
Total	12.124.408	13.908.143	16.717.713	20.131.824	20.787.490	21.344.103

Combustível	1985	1990	1995	2000	2001	2002
Álcool	19%	30%	28%	21%	20%	19%
Diesel	12%	12%	11%	10%	10%	10%
Gás	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Gasolina	70%	58%	61%	69%	70%	71%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: SINDIPEÇAS

Os veículos a álcool atingiram seu pico de participação em 1990, caindo para dois terços no ano 2000 e aí se estabilizando até 2002, não se prevendo alterações sensíveis no futuro imediato.

Os veículos a gasolina e diesel apresentam participação estável.

Os veículos a gás, que apresentavam até 2002 participação pouco expressiva, tiveram aumento crescente nos três anos subseqüentes, devido ao custo muito inferior deste combustível, o que é significativo para as frotas de táxi.

f) Veículos Importados

Embora os veículos de fabricação nacional constituam a imensa maioria da frota existente no país, a participação de veículos importados tem crescido nos últimos anos, passando de 4% da frota nacional em 1995 para 9% em 2002. Destes, 84% possuem montadora no Brasil e 52% são provenientes da Argentina (Tabela 6).

Tabela 6 - Participação de veículos importados

País	1985	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Brasil	16.044	16.773	17.585	17.884	18.008	18.371	18.889	19.387
Argentina	279	366	520	713	797	871	974	1.019
Outros Países	394	515	624	754	820	891	924	938
Importados	673	881	1.144	1.467	1.617	1.762	1.898	1.957
Total	16.717	17.654	18.729	19.351	19.625	20.133	20.787	21.344
Importados	4%	5%	6%	8%	8%	9%	9%	9%

Fonte: SINDIPEÇAS

g) Vida Útil

Pela sua grande importância em estudos econômicos são apresentados os resultados obtidos para a vida útil dos diversos tipos de veículos no ano de 2002:

- Automóveis 20 anos
- Comerciais leves..... 15 anos
- Ônibus 17 anos
- Caminhões leves/médios/médios pesados 20 anos
- Caminhões pesados/extra pesados 25 anos

Cabe observar que durante a sua vida útil os veículos somente são sucateados por acidentes com perda total.

3.3 VEÍCULOS DE PROJETO

Para fins de projeto é necessário examinar todos os tipos de veículos em circulação, selecionando-os em classes e estabelecendo a representatividade dos tamanhos dos veículos dentro de cada classe. A grande variedade de veículos existentes conduz à escolha, para fins práticos, de tipos representativos, que em dimensões e limitações de manobra, excedam a maioria dos de sua classe. A estes veículos é dada a designação de *veículos de projeto*, os quais são definidos como veículos cujo peso, dimensões e características de operação servirão de base para estabelecer os controles do projeto de rodovias e suas interseções.

O *Manual de Projeto de Interseções*, DNIT, 2005, classifica os veículos usuais em cinco categorias, a serem adotadas em cada caso conforme as características predominantes do tráfego:

VP - Representa os veículos leves, física e operacionalmente assimiláveis ao automóvel, incluindo minivans, vans, utilitários, pick-ups e similares.

CO - Representa os veículos comerciais rígidos, não articulados. Abrangem os caminhões e ônibus convencionais, normalmente de dois eixos e quatro a seis rodas.

O - Representa os veículos comerciais rígidos de maiores dimensões. Entre estes incluem-se os ônibus urbanos longos, ônibus de longo percurso e de turismo, bem como caminhões longos, freqüentemente com três eixos (tracção), de maiores dimensões que o veículo CO básico. Seu comprimento aproxima-se do limite máximo legal admissível para veículos rígidos.

SR - Representa os veículos comerciais articulados, compostos de uma unidade tratora simples (cavalo mecânico) e um semi-reboque. Seu comprimento aproxima-se do limite máximo legal para veículos dessa categoria.

RE - Representa os veículos comerciais com reboque. É composto de uma unidade tratora simples, um semi-reboque e um reboque, freqüentemente conhecido como bitrem. Seu comprimento é o máximo permitido pela legislação.

A Tabela 7 resume as principais dimensões básicas dos veículos de projeto recomendados para utilização nos projetos de rodovias, interseções e instalações correlatas.

Tabela 7 - Principais dimensões básicas dos veículos de projeto

Designação do veículo tipo Características	Veículos leves (VP)	Caminhões e ônibus convencionais (CO)	Caminhões e ônibus longos (O)	Semi-reboques (SR)	Reboques (RE)
Largura total	2,1	2,6	2,6	2,6	2,6
Comprimento total	5,8	9,1	12,2	16,8	19,8
Raio min. da roda externa dianteira	7,3	12,8	12,8	13,7	13,7
Raio min. da roda interna traseira	4,7	8,7	7,1	6,0	6,9

3.4 VEÍCULOS ADOTADOS NA CLASSIFICAÇÃO DO DNIT

O DNIT apresenta no manual Quadro de Fabricantes de Veículos, uma classificação dos veículos comerciais que circulam no país e as características específicas dos veículos dos diversos fabricantes instalados no Brasil. O site www1.dnit.gov.br/rodovias/pesagem/ dá acesso à página *Pesagem*, que apresenta duas opções: *Peso Máximo por Veículo* e *Postos de Pesagem*; a primeira opção leva ao manual Quadro de Fabricantes de Veículos e a segunda à relação dos postos de pesagem existentes.

A classificação dos veículos adotada pelo DNIT constante da Figura 13 apresenta as configurações básicas de cada veículo ou combinação de veículos, bem como número de eixos, seu PBT máximo e sua classe.

Entende-se por configuração básica a quantidade de unidades que compõem o veículo, os números de eixos e grupos de eixos, independentemente da rodagem, apresentados sob a forma de silhueta.

A rodagem é definida pela quantidade de pneumáticos por eixo. Assim sendo, rodagem simples indica que cada eixo possui apenas 1 (um) pneumático em cada extremidade e rodagem dupla, cada eixo possui 2 (dois) pneumáticos em cada extremidade.

Os eixos equipados com pneus extralargos (single) na medida 385/65R22.5 são considerados como eixos com rodagem dupla e só podem ser utilizados em reboques e semi-reboques conforme a Resolução n.º 62, de 22 de maio de 1998, do CONTRAN.

As diversas classes são representadas por um código alfanumérico, por exemplo 2S3. No código adotado, o primeiro algarismo representa o número de eixos do veículo simples ou da unidade tratora, enquanto que o segundo algarismo, caso exista, indica a quantidade de eixos da(s) unidade(s) rebocada(s).

As letras significam:

C = veículo simples (caminhão ou ônibus) ou veículo trator + reboque;

S = veículo trator (cavalo mecânico) + semi-reboque;

I = veículo trator + semi-reboque com distância entre-eixos > 2,40 m (eixos isolados);

J = veículo trator + semi reboque com um eixo isolado e um eixo em tandem;

D = combinação dotada de 2 (duas) articulações;

T = combinação dotada de 3 (três) articulações;

Q = combinação dotada de 4 (quatro) articulações;

X = veículos especiais;

B = ônibus.

Exemplos:

3C = caminhão simples com 3 eixos

3C3 = caminhão simples com 3 eixos + 1 reboque com 3 eixos

2S3 = caminhão trator (cavalo mecânico) com 2 eixos + semi-reboque com 3 eixos

2I2 = caminhão trator com 2 eixos + semi-reboque com 2 eixos isolados

3D3 = caminhão simples com 3 eixos + reboque especial com 3 eixos

3Q4 = caminhão simples com 3 eixos + 2 reboques com 4 eixos - treminhão

3T6 = caminhão trator com 3 eixos + 2 ou 3 semi-reboques com 6 eixos - rodotrem ou tri-trem

3X6 = caminhão trator com 3 eixos + reboque com 6 eixos - carga excepcional

Para os veículos simples existem as classes:

2CB – exclusiva para ônibus dotado de 2 (dois) eixos, sendo o traseiro de rodagem dupla.

3CB - exclusiva para ônibus dotados de conjunto de eixos traseiro duplo, um com 4 (quatro) e outro com 2 (dois) pneumáticos;

4CB - exclusiva para ônibus dotados de 2 (dois) eixos direcionais;

4CD - exclusiva para caminhões dotados de 2 (dois) eixos direcionais.

A classe X é composta por combinações de veículos para carga especializada, com mais de 9 (nove) eixos, para o transporte de cargas excepcionais em peso ou dimensões, trafegando com AET.

Além dessas classes de veículos comerciais são incluídas as definições usuais para veículos leves, necessárias para estudos de tráfego e de capacidade.

P – Carro de Passeio, com dois eixos com rodagem simples, incluindo jeeps e kombis.

U – Veículo Utilitário, com dois eixos com rodagem simples, compreendendo caminhões leves (2 eixos com rodagem simples), pick-ups, furgões, vans e microônibus.

M – Motocicletas, motonetas e bicicletas a motor.

B – Bicicletas.

Convém observar que nos mais recentes editais de concessão rodoviária do DNIT, para fins de definição de tarifas é considerado os valores da Tabela 8, em que se verifica que a tarifa é função do número de eixos e da rodagem dos veículos.

Tabela 8 - Correspondência dos valores das tarifas de pedágio pelas diversas categorias de veículos

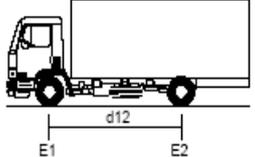
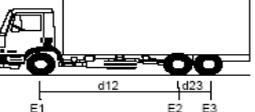
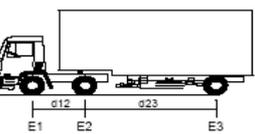
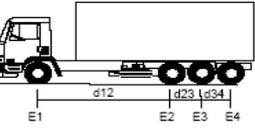
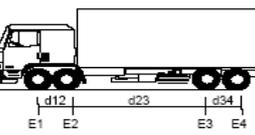
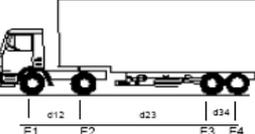
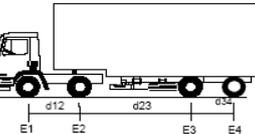
Categoria	Tipo de veículos	N.º de eixos	Rodagem	Multiplicador da tarifa
1	Automóvel, caminhoneta e furgão	2	simples	1,00
2	Caminhão leve, ônibus, Caminhão- trator e furgão	2	dupla	2,00
3	Automóvel com semi-reboque e caminhoneta com semi-reboque	3	simples	3,00
4	Caminhão, caminhão- trator, Caminhão- trator com semi-reboque e ônibus	3	dupla	3,00
5	Automóvel com reboque e Caminhoneta com reboque	4	simples	4,00
6	Caminhão com reboque e Caminhão- trator com semi-reboque	4	dupla	4,00
7	Caminhão com reboque e Caminhão- trator com semi-reboque	5	dupla	5,00
8	Caminhão com reboque e Caminhão- trator com semi-reboque	6	dupla	6,00
9	Motocicletas, motonetas e Bicicletas a motor	2	simples	0,50

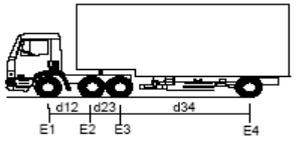
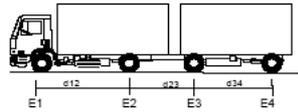
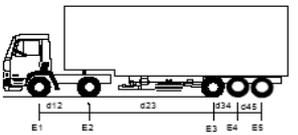
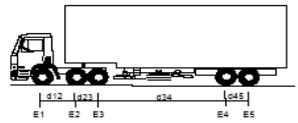
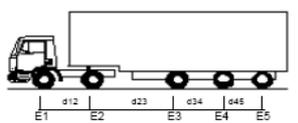
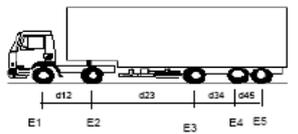
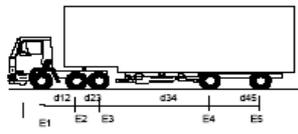
NOTA: A rodagem traseira com pneus do tipo "single" ou "supersingle" é equivalente à "dupla", para os fins da estrutura tarifária.

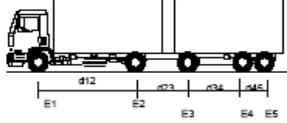
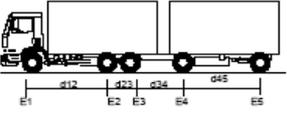
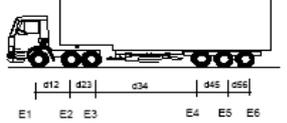
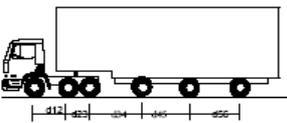
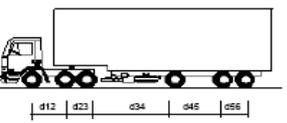
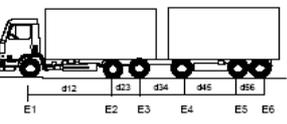
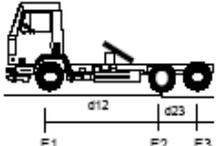
Essa classificação é de grande utilidade para os levantamentos de tráfego a serem executados, já que permitem a estimativa de:

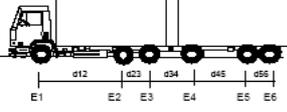
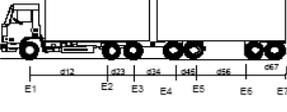
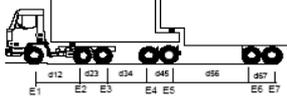
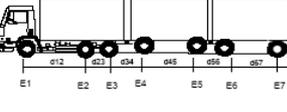
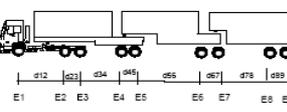
-
- números “N” utilizados nos projetos de pavimentos flexíveis;
 - intervalos de carga dos diferentes eixos utilizados no projeto de pavimentos rígidos;
 - valores ESALF utilizados nos estudos de avaliação econômica feita com os sistemas HDM (*Highway Development and Management*);
 - receitas das praças de pedágio nas concessões rodoviárias.

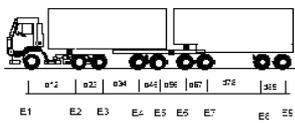
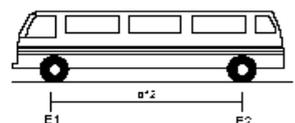
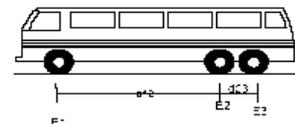
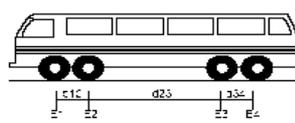
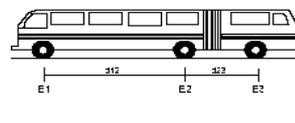
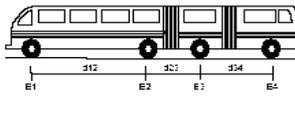
Figura 13 - Veículos adotados na classificação do DNIT

SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	2	16(16,8)	CAMINHÃO E1 = eixo simples (ES), rodagem simples (RS), carga máxima (CM) = 6t ou capacidade declarada pelo fabricante do pneumático E2 = ES, rodagem dupla (RD), CM = 10t $d12 \leq 3,50m$	2C
	3	23(24,2)	CAMINHÃO TRUCADO E1 = ES, RS, CM = 6t E2E3 = ES, conjunto de eixos em tandem duplo TD, CM = 17t $d12 > 2,40m$ $1,20m < d23 \leq 2,40m$	3C
	3	26(27,3)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM = 6t E2 = ED, RD, CM = 10t E3 = ED, RD, CM = 10t $d12, d23 > 2,40m$	2S1
	4	31,5(33,1)	CAMINHÃO SIMPLES E1 = ES, RS, CM 6t E2E3E4 = conjunto de eixos em tandem triplo TT; CM = 25,5t $d12 > 2,40$ $1,20m < d23, d34 \leq 2,40m$	4C
	4	29(30,5)	CAMINHÃO DUPLO DIRECIONAL TRUCADO E1E2 = conjunto de eixos direcionais CED, CM = 12t E3E4 = TD, CM = 17t $1,20m < d34 \leq 2,40m$	4CD
	4	33(34,7)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3E4 = TD, CM = 17t $d12, d23 > 2,40m$ $1,20m < d34 \leq 2,40m$	2S2
	4	36(37,8)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10t $d12, d23, d34 > 2,40m$	2I2

SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	4	33(34,7)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t d12, d34 > 2,40m 1,20 < d23 ≤ 2,40	3S1
	4	36(37,8)	CAMINHÃO + REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10m d12, d23, d34 > 2,40m	2C2
	5	41,5(43,6)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD CM10t E3E4E5 = TT, CM 25,5t d12, d23 > 2,40m 1,20m d34, d45 ≤ 2,40m	2S3
	5	40(42)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM17t E4E5 = TD, CM 17t d12, d34 > 2,40m 1,20m < d23, d45 ≤ 2,40m	3S2
	5	45(47,3)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t d12, d23, d34, d45 > 2,40m	2I3
	5	43(45,2)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4E5 = TD, CM 17t d12, d23, d34 > 2,40m 1,20m < d45 ≤ 2,40m	2J3
	5	43(45,2)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3I2

SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	5	43(45,2)	CAMINHÃO + REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4E5 = TD, CM 17t d12, d23, d34 > 2,40m 1,20m < d45 ≤ 2,40m	2C3
	5	43(45,2)	CAMINHÃO TRUCADO + REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3C2
	6	45(47,3)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5E6 = TT, CM 25,5t d12, d34, > 2,40m 1,20m < d23, d45, d56 ≤ 2,40m	3S3
	6	45(47,3)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t E6 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d45, d56 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3I3
	6	45(47,3)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3J3
	6	45(47,3)	CAMINHÃO TRUCADO + REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3C3
	6	19,5(20,5)	CAMINHÃO TRATOR E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD(6 pneus), CM 13,5t 1,20m < d23 ≤ 2,40m A CMT do conjunto vai variar conforme a capacidade do semi-reboque, no mínimo 10 ton até, no máximo o limite legal de 4r ton.	X

SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	6	50(52,5)	ROMEU E JULIETA(caminhão trucado + reboque) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = T0, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5E6 = TD, CM 17t d12, d34, d45 > 2,40m 1,20m < d23, d56 ≤ 2,40m	3D3
	7	57(59,9)	ROMEU E JULIETA(caminhão trucado + reboque) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = T0, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t d12, d34, d56 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67 ≤ 2,40m	3D4
	7	57(59,9)	BI TREM ARTICULADO(caminhão trator trucado + dois semi reboques) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = T0, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t d12, d34, d56 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67 ≤ 2,40m	3D4
	7	63(66,2)	TREMINHAO(caminhão trucado + dois reboques) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t E5 = ED, RD, CM 10t E6 = ED, RD, CM 10t E7 = ED, RD, CM 10t d12, d34, d56, d67 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3Q4
	9	74(77,7)	TRI TREM(caminhão trator trucado + três semi reboques) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t E8E9 = TD, CM 17t d12, d34, d56, d78 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67, d89 ≤ 2,40m	3T6

SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	9	74(77,7)	RODOTREM (caminhão trator trucado + dois semi reboques dom dolly) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t E8E9 = TD, CM 17t d12, d34, d56, d78 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67, d89 ≤ 2,40m	3T6
	2	16(16,8)	ÔNIBUS E1 = ES, RS, CM 6t ou a capacidade declarada pelo fabricante do pneumático E2 = ED, RD, CM 10t d12 ≤ 3,50m	2CB
	3	19,5(20,5)	ÔNIBUS TRUCADO E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos, carga máxima 13,5t d12 > 2,40m 1,20 < d23 ≤ 2,40m	3CB
	4	25,5(26,8)	ÔNIBUS DUPLO DIRECIONAL TRUCADO E1E2 = conjunto de eixos direcionais, carga máxima 12 ton E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos, carga máxima 13,5t 1,20 < d34 ≤ 2,40m	4CB
	3	26(27,3)	ÔNIBUS URBANO ARTICULADO E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t d12, d23 > 2,40m	2SB1
	4	36(37,8)	ÔNIBUS URBANO BI-ARTICULADO E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10t d12, d23, d34 > 2,40m	2IB2

3.5 VEÍCULOS DEFINIDOS PARA ESTUDOS DE CAPACIDADE

Vias de características geométricas idênticas podem apresentar diferentes capacidades, pois são influenciadas também pela composição do tráfego que as utiliza. Para estudos de capacidade pode ser conveniente representar cada tipo de veículo em unidades de carro de passeio (UCP), ou seja, número equivalente de carros de passeio que exerce os mesmos efeitos na capacidade da rodovia que o veículo referido.

HCM

O *Highway Capacity Manual - HCM*, ano 2000, analisa a influência dos diferentes tipos de veículos (caminhões, ônibus e veículos de recreio) de várias maneiras, em função do tipo de via, da extensão do trecho, do tipo de terreno, dos greides, do número de faixas da via, e das faixas de tráfego em estudo. Para alguns casos define equivalentes dos diversos tipos de veículos em unidades de carros de passeio, em outros utiliza a proporção desses veículos no fluxo de tráfego, ou a percentagem representada pelos veículos pesados dentro do volume total, ou ainda considera que os resultados independem dos tipos de veículos, etc.

Em face à variedade e complexidade dos problemas analisados detalhadamente pelo HCM 2000, não se pode resumir de forma prática as diferentes maneiras de considerar a composição do tráfego nos estudos de capacidade.

HBS

Nos estudos alemães, o Manual para a Determinação da Capacidade de Rodovias (*Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen - HBS*, ano 2000), contém uma tabela de equivalência de veículos motorizados, bicicleta, e veículos não classificados, em carros de passeio, para aplicação em estudos de capacidade de interseções. Essa tabela é compatível com valores apresentados pelo *Highway Capacity Manual*, edição de 1994. Por se tratar de dados atuais e necessários para utilizar o método alemão de determinação de capacidade é adotada neste *Manual* para transformar um volume de veículos de tráfego misto em Unidades de Carro de Passeio (UCP), conforme Tabela 9.

Tabela 9 - Fator de equivalência em carros de passeio

Tipo de Veículo	VP	CO	SR/RE	M	B	SI
Fator de Equivalência	1	1,5	2	1	0,5	1,1

3.6 VEÍCULOS PREVISTOS NO SISTEMA HDM-4

Por ser freqüentemente utilizado em estudos econômicos é necessário que se leve em conta a possibilidade de enquadrar os veículos dentro dos tipos constantes do sistema HDM-4 (*Highway Development and Management*). As características desses veículos

constam dos manuais do sistema e aqui será apresentada apenas a relação de tipos de veículos de maior interesse para os estudos de tráfego.

Veículos motorizados

Ônibus Pesado, Ônibus Médio, Ônibus Leve, Carro Grande, Carro Médio, Carro Pequeno, Utilitário, Microônibus, Motocicleta, Pickup, Reboque/Semi-reboque, Caminhão Pesado, Caminhão Médio, Caminhão Leve.

Veículos não motorizados

Bicicleta.

No HDM, o efeito das cargas exercidas pelos veículos sobre os pavimentos é medido com a introdução do conceito de ESALF (Equivalent Standard Axle Load Factor). Dado um eixo de um veículo, submetido a uma determinada carga, denomina-se Fator de Equivalência desse eixo o número de aplicações de um eixo padrão (simples de rodagem dupla), submetido à carga de 80kN (8,16 toneladas força) que cause o mesmo dano em uma rodovia que uma aplicação do eixo considerado.

Convém ressaltar que quando se planeja utilizar o sistema HDM-4, os estudos de tráfego devem prever o levantamento das seguintes informações relativas aos veículos mais representativos da frota que utiliza a rodovia:

a) Características Gerais de Cada Tipo de Veículo

Veículos motorizados

- Quilometragem média percorrida por ano.
- Número de horas de percurso por ano.
- Idade média em anos.
- Características dos eixos dos veículos necessárias ao cálculo do ESALF.
- Percentagens de viagens usadas para uso privado.
- Número médio de passageiros por veículo (excluído o motorista e ajudantes dos veículos comerciais).
- Percentagens de viagens a trabalho.
- Peso total do veículo (tara mais carga).
- Número de pneus do veículo.
- Número de eixos do veículo.
- Tipo de pneu.
- Número médio de recapeamentos passíveis de ser efetuados por pneu.
- Custo do recapeamento como percentagem do preço de aquisição do pneu.

Veículos não motorizados

- Tipo de roda (pneu, aço, madeira).
- Número de rodas.
- Diâmetro das rodas.
- Peso total do veículo (tara mais carga).
- Peso da carga.
- Idade média em anos.
- Número de horas de percurso por ano.
- Quilometragem média percorrida por ano.
- Número médio de passageiros por veículo.

b) Custos Econômicos Relativos a Cada Tipo de Veículo

Veículos motorizados

- Custo do veículo novo.
- Custo do pneu novo.
- Custos de combustíveis e lubrificantes (gasolina, diesel, óleo lubrificante).
- Custo horário dos trabalhos de manutenção.
- Custo horário da equipe de trabalho do veículo.
- Overhead anual.
- Juros anuais na compra de um veículo.
- Valor horário médio do tempo de um passageiro viajando a trabalho.
- Valor horário médio do tempo de um passageiro viajando a passeio.
- Custo horário da demora da carga.

Veículos não motorizados

- Custo da energia (em joule).
- Custo do veículo novo.
- Custo horário da equipe de trabalho (motorista/ajudantes).
- Valor horário médio do tempo de um passageiro.
- Custo horário da demora da carga.
- Juros anuais na compra de um veículo.

Cabe ainda observar que é necessário identificar os fabricantes (marcas) e tipos dos veículos representativos das várias classes e tipos de veículos adotados. Isso permitirá que se possa conseguir em publicações especializadas, ou junto aos fabricantes, as informações necessárias para calibrar os veículos padronizados fornecidos pelo HDM-4, de modo que se obtenha, no processamento do sistema, resultados correspondentes aos veículos reais captados nas pesquisas.

Esse processo de calibração é descrito em detalhes nos manuais do sistema, mas convém apresentar uma visão sucinta dos elementos específicos a que se referem.

Para cada veículo são apresentadas informações relativas à calibração do veículo: forças, velocidade, combustíveis e lubrificantes, aceleração, pneus, manutenção, emissões de gases e consumo de energia.

Sobre cada um desses parâmetros podem ser feitas as seguintes observações:

- Forças
 - Forças atuando no veículo: resistência do ar, resistência ao rolamento;
 - Potência do motor;
 - Potência de frenagem.
- Velocidade
 - Velocidade desejada em pavimentos betuminosos ou de concreto ou não pavimentadas.
- Combustíveis e lubrificantes
 - Consumo de combustíveis e lubrificantes.
 - Aceleração
- Pneus
 - Características dos pneus: diâmetro, desgastes.
- Manutenção
 - Índices relativos à manutenção.
- Emissões de gases
 - Informações relativas à emissão de gases.
- Consumo de energia
 - Informações relativas a consumo de energia, ao peso dos pneus e ao peso próprio do veículo.

Informações Geradas pelo HDM-4

As informações geradas pelo Sistema HDM-4 incluem:

- Custos: implantação, manutenção, tempo de viagem, operação de veículos, exógenos.
- Benefícios econômicos
- Análise econômica:
 - Acréscimos de custos para a agência responsável pela rodovia;
 - Decréscimos de custos para os usuários;
 - Valor presente líquido (net present value) NPV;
 - Razão NPV/custos;

- Taxa interna de retorno dos investimentos.
- Tráfego no período de análise:
 - Volume Médio Diário anual, por tipo de veículo e total;
 - Volume Médio Horário;
 - Volume Médio Diário Normal, Desviado, Gerado, Total.
- Capacidade: fração da capacidade utilizada por período.
- Pavimento: estado do pavimento ano a ano, durante o período de análise, para pavimentos betuminosos, de concreto e não pavimentados.
- Custos para o usuário: custos de tempo, operacional, total, por veículo km, por tipo de veículo.
- Velocidade: velocidade livre e de operação por tipo de veículo, ano a ano, durante o período de projeto.

4 - CARACTERÍSTICAS DO TRÁFEGO

4 CARACTERÍSTICAS DO TRÁFEGO

O volume, a velocidade e a densidade são três características fundamentais dos aspectos dinâmicos do tráfego. A análise destes três elementos permite a avaliação global da fluidez do movimento geral de veículos.

4.1 VOLUME DE TRÁFEGO

4.1.1 CONCEITOS GERAIS

Define-se *Volume de Tráfego* (ou Fluxo de Tráfego) como o número de veículos que passam por uma seção de uma via, ou de uma determinada faixa, durante uma unidade de tempo. É expresso normalmente em veículos/dia (vpd) ou veículos/hora (vph).

a) Volume Médio Diário

À média dos volumes de veículos que circulam durante 24 horas em um trecho de via é dada a designação de "*Volume Médio Diário*" (VMD). Ele é computado para um período de tempo representativo, o qual, salvo indicação em contrário, é de um ano. Esse volume, que melhor representa a utilização ou serviço prestado pela via, é usado para indicar a necessidade de novas vias ou melhorias das existentes, estimar benefícios esperados de uma obra viária, determinar as prioridades de investimentos, calcular taxas de acidentes, prever as receitas dos postos de pedágio, etc.

São de uso corrente os seguintes conceitos de volume médio diário:

- *Volume Médio Diário Anual* (VMDa): número total de veículos trafegando em um ano dividido por 365.
- *Volume Médio Diário Mensal* (VMDm): número total de veículos trafegando em um mês dividido pelo número de dias do mês. É sempre acompanhado pelo nome do mês a que se refere.
- *Volume Médio Diário Semanal* (VMDs): número total de veículos trafegando em uma semana dividido por 7. É sempre acompanhado pelo nome do mês a que se refere. É utilizado como uma amostra do VMDm.
- *Volume Médio Diário em um Dia de Semana* (VMDd): número total de veículos trafegando em um dia de semana. Deve ser sempre acompanhado pela indicação do dia de semana e do mês correspondente.

Para todos esses casos a unidade é veículos/dia (vpd). O VMDa, ou simplesmente VMD, é o de maior importância. Os demais são geralmente utilizados como amostras a serem ajustadas e expandidas para determinação do VMD.

O volume de tráfego inclui todos os veículos que circulam pela via em um só sentido ou em ambos, ou ainda, os que circulam por uma só faixa. Quando o volume for representado pela soma dos veículos, independentemente de suas categorias, ele

será expresso em “*Unidades de Tráfego Misto*”, abreviado pela sigla UTM. Por outro lado, se os veículos componentes daquela soma forem convertidos em números equivalentes de carros de passeio, o volume será então expresso em “*Unidades de Carro de Passeio*”, abreviado por UCP. Essa conversão é feita através de fatores de equivalência, cujos detalhes são apresentados mais adiante no item 3.5.

b) Volume Horário

Para analisar as variações do fluxo de tráfego durante o dia, adota-se a hora para unidade de tempo, chegando-se ao conceito de *Volume Horário* (VH): número total de veículos trafegando em uma determinada hora. A Figura 14 apresenta para diversos tipos de rodovias os valores dos volumes horários expressos como percentagem do volume médio diário anual, dispostos em ordem decrescente. A abscissa 1 corresponde ao maior volume horário do ano; a abscissa 30 corresponde ao 30º valor, designado como Volume da 30ª Hora. Na figura são indicados os volumes da 30ª (VH30) e 50ª (VH50) Horas, geralmente recomendados para servirem de base para o projeto e operação da rodovia.

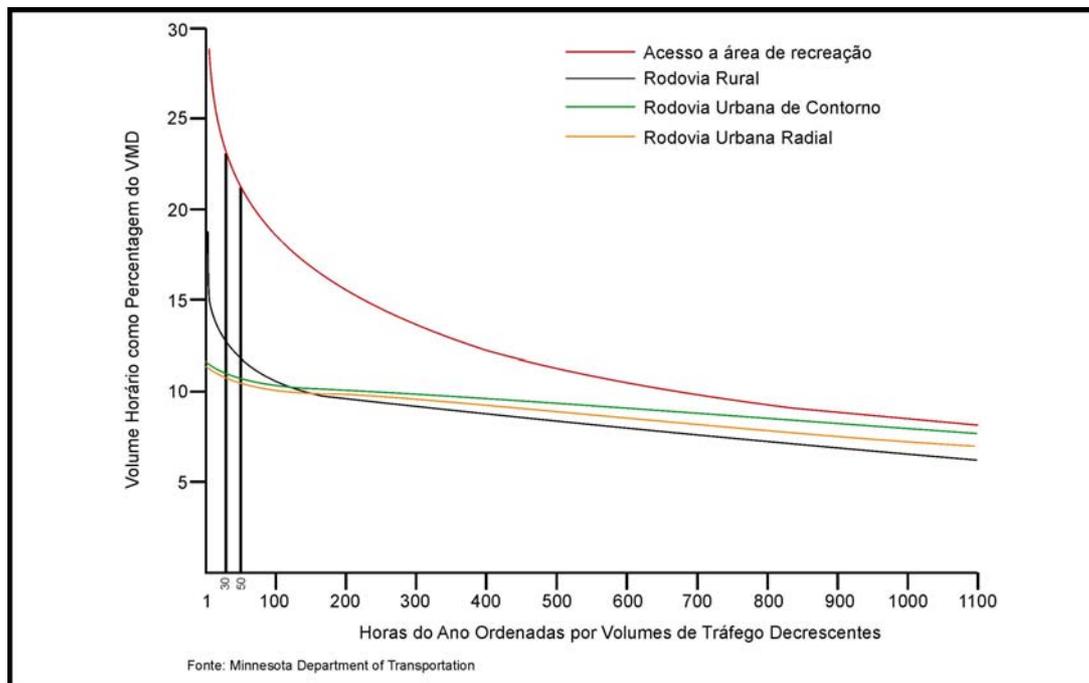
Tradicionalmente o volume da 30ª Hora tem sido usado nos Estados Unidos para base de projeto de muitas rodovias rurais. Estudos feitos no Brasil, citados no *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais* – DNER, 1999, mostram que o volume da 50ª Hora, da ordem de 8,5% do VMD, vem sendo utilizado para projeto de rodovias rurais. Considera-se que não se justifica economicamente investir em melhorias para atender umas poucas horas do ano em que se tem volumes mais elevados. O volume adotado para dimensionamento dos detalhes geométricos das vias e interseções, determinação de níveis de serviço, planejamento da operação da via, sinalização, e regulamentação do trânsito é designado como *Volume Horário de Projeto* (VHP).

c) Composição do Tráfego

A corrente de tráfego é composta por veículos que diferem entre si quanto ao tamanho, peso e velocidade. O conhecimento da composição dos volumes é essencial pelas seguintes razões:

- Os efeitos que exercem os veículos entre si dependem de suas características. A composição da corrente de veículos que passa por uma via influi em sua capacidade;
- As percentagens de veículos de grandes dimensões determinam as características geométricas que devem ter as vias, e os seus pesos as características estruturais;
- Os recursos que podem ser obtidos dos usuários de uma via, dependem entre outros fatores, da composição do seu tráfego.

Figura 14 - Relação entre a hora e o volume horário de tráfego em rodovias norte-americanas



Nos Estados Unidos os caminhões representam aproximadamente 12% dos volumes de tráfego em vias rurais e 6% nas vias urbanas. Os ônibus são menos de 3% (*Highway Statistics*, U.S.Department of Transportation, 1999). Nos países menos desenvolvidos, como o Brasil, a proporção de veículos pesados é bem maior, da ordem de 36% de caminhões e 8% de ônibus nas vias rurais.

4.1.2 VARIAÇÕES DOS VOLUMES DE TRÁFEGO

Uma das características mais importantes do fluxo de tráfego é sua variação generalizada: varia dentro da hora, do dia, da semana, do mês e do ano, além de, no mesmo local, variar segundo a faixa de tráfego analisada.

a) Variação ao Longo do Dia

Os volumes horários variam ao longo do dia, apresentando pontos máximos acentuados, designados por *picos*. A compreensão destas variações é de fundamental importância, uma vez que é no horário de pico que necessariamente deverão ocorrer os eventos mais relevantes. Na expansão de contagens de algumas horas para o dia todo, a precisão da estimativa dependerá sempre do conhecimento dos padrões de flutuação dos volumes.

Horas de pico

As Horas de Pico, contendo os maiores volumes de veículos de uma via em um determinado dia, variam de local para local, mas tendem a se manter estáveis em um mesmo local, no mesmo dia da semana. Enquanto a hora de pico em um determinado local tende a se manter estável, o seu volume varia dentro da semana e ao longo do ano.

A Tabela 10, cujos valores foram utilizados para desenhar as curvas da Figura 15, apresentam o resultado de levantamentos feitos nos Estados Unidos para rodovias rurais, vias de acesso a áreas de recreação e vias locais. Observe-se que para vias locais, na quarta - feira, que representa um dia normal de trabalho, as horas de pico se concentram na ida e volta do trabalho, nas vizinhanças das 9 e 18 horas, situação semelhante à que ocorre no Brasil. Nas vias de acesso a locais de recreação e rodovias rurais a hora de pico da semana como um todo se situa perto das 17 horas, variando o dia de semana em que ocorre.

O conhecimento dos períodos de pico é de grande importância, porque o mais comum é não se dispor de contagens durante todo o ano para determinar os volumes da hora de projeto escolhida, VH30 ou VH50, tendo-se que efetuar contagens em uma única época do ano para poder estimar o volume da hora de projeto. Considerando que o ano tem 365 dias, cada um com o seu período de pico, o volume horário de projeto é fatalmente muito próximo de um dos volumes de pico do ano. Efetuando-se uma contagem de uma semana, por exemplo, pode-se determinar os volumes do período de pico nessa semana e, utilizando a variação de postos de pesquisa permanentes eventualmente disponíveis, estimar o provável volume da hora de pico do ano, e a partir daí passar à determinação do *Volume Horário de Projeto* (VHP), como está detalhado no item 4.1.3.

Variações dentro da hora de pico

O volume de veículos que passa por uma seção de uma via não é uniforme no tempo. A comparação de contagens de quatro períodos consecutivos de quinze minutos, mostra que são diferentes entre si. Essa variação leva ao estabelecimento do “Fator Horário de Pico” (FHP), que mede justamente esta flutuação e mostra o grau de uniformidade do fluxo.

$$FHP = \frac{V_{hp}}{4V_{15max}}$$

onde:

FHP = fator horário de pico

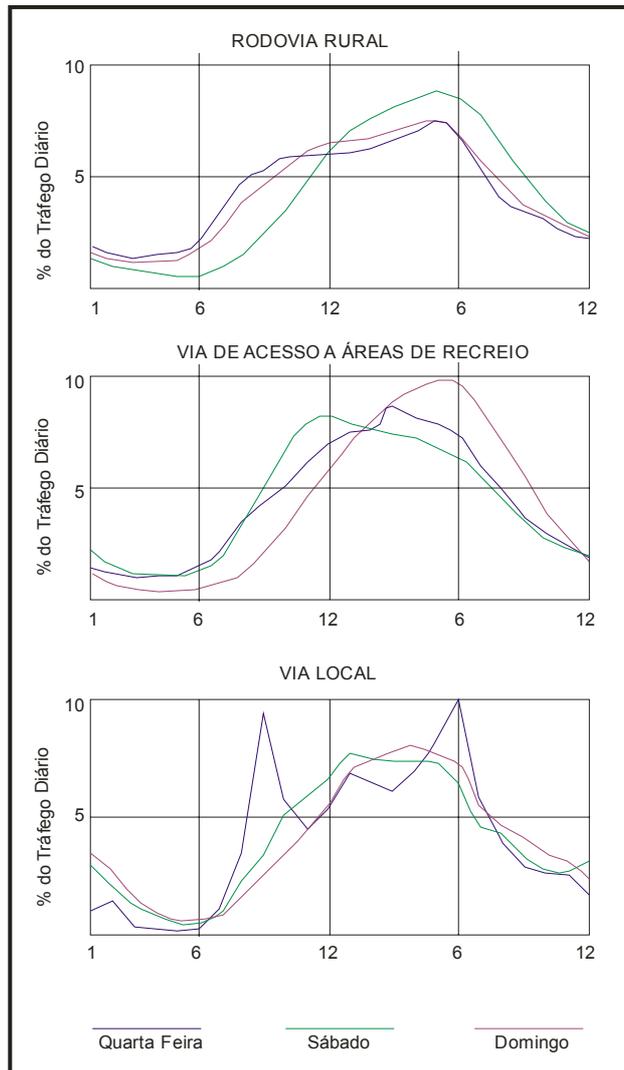
V_{hp} = volume da hora de pico

V_{15max} = volume do período de quinze minutos com maior fluxo de tráfego dentro da hora de pico

Tabela 10 - Percentagem do tráfego diário durante o dia

Hora do Dia	VIA LOCAL			RODOVI A RURAL			ACESSO A ÁREA DE RECREIO		
	4ª Feira	Sábado	Domingo	4ª Feira	Sábado	Domingo	4ª Feira	Sábado	Domingo
24/01	1,0	3,0	3,7	1,5	1,2	1,6	1,2	2,0	1,1
01/02	1,5	2,0	2,8	1,3	0,9	1,2	1,0	1,3	0,7
02/03	0,3	1,2	1,7	1,2	0,7	1,1	0,9	1,0	0,5
03/04	0,1	0,6	0,9	1,3	0,6	1,1	1,0	0,9	0,4
04/05	0,1	0,3	0,4	1,4	0,5	1,2	1,0	0,9	0,4
05/06	0,2	0,3	0,3	2,0	0,6	1,7	1,3	1,1	0,4
06/07	1,0	0,8	0,8	3,4	0,9	2,7	2,0	1,7	0,6
07/08	3,7	2,1	1,7	4,8	1,5	3,8	3,3	3,0	1,0
08/09	9,9	3,5	2,6	5,2	2,3	4,5	4,1	4,7	1,9
09/10	6,0	5,3	3,6	5,8	3,5	5,3	4,9	6,5	3,0
10/11	4,7	6,1	4,6	6,0	4,9	6,0	6,0	7,6	4,4
11/12	5,5	6,8	5,8	6,0	6,1	6,3	6,8	8,0	5,7
12/13	7,2	8,0	7,1	6,0	7,0	6,4	7,2	7,6	6,8
13/14	6,7	7,7	7,7	6,3	7,7	6,7	7,4	7,4	7,7
14/15	6,4	7,7	8,1	6,7	8,1	7,0	8,7	7,1	8,6
15/16	7,2	7,8	8,3	7,0	8,5	7,2	8,0	7,0	9,4
16/17	8,5	7,6	8,0	7,4	8,8	7,4	7,7	6,6	9,6
17/18	10,6	6,8	7,6	6,7	8,3	6,8	7,2	6,1	9,4
18/19	6,0	4,9	5,8	5,1	7,7	5,7	5,8	5,3	8,3
19/20	4,1	4,6	4,8	3,9	6,3	4,6	4,8	4,3	6,9
20/21	3,1	3,3	4,3	3,3	5,1	3,8	3,6	3,3	5,4
21/22	2,8	2,9	3,7	3,0	3,9	3,2	2,9	2,7	3,8
22/23	2,8	3,1	3,4	2,0	2,9	2,6	2,3	2,1	2,5
23/24	1,7	3,3	2,5	2,1	2,1	2,0	1,8	1,7	1,6

Fonte: Traffic and Transportation Engineering Handbook ITE

Figura 15 - Variações horárias típicas em vias americanas

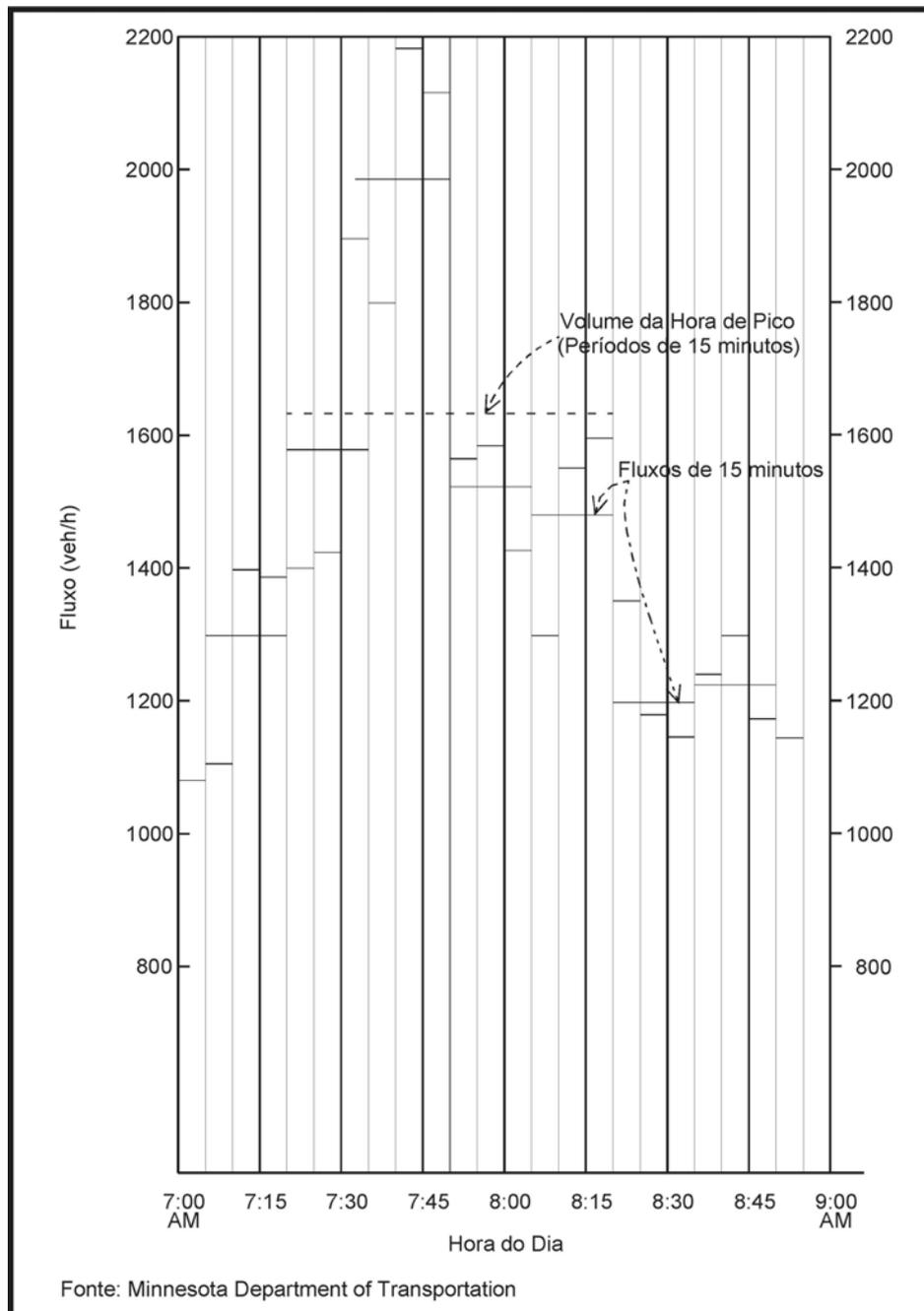
O valor FHP é sempre utilizado nos estudos de capacidade das vias. Adota-se normalmente o intervalo de 15 minutos, porque a adoção de intervalos menores podem resultar em superdimensionamento da via e excesso de capacidade em grande parte do período de pico. Por outro lado, intervalos maiores podem resultar em subdimensionamento e períodos substanciais de saturação.

O FHP varia, teoricamente, entre 0,25 (fluxo totalmente concentrado em um dos períodos de 15 minutos) e 1,00 (fluxo completamente uniforme), ambos os casos praticamente impossíveis de se verificar. Os casos mais comuns são de FHP na faixa de 0,75 a 0,90. Os valores de FHP nas áreas urbanas se situam geralmente no intervalo de 0,80 a 0,98. Valores acima de 0,95 são indicativos de grandes volumes de tráfego, algumas vezes com restrições de capacidade durante a hora de pico.

Convém salientar que contagens de quinze minutos, se multiplicadas por quatro para simular o volume horário, levarão a erros consideráveis de estimativa. Naturalmente, expansões baseadas em contagens observadas de 30 ou 45 minutos produzirão erros menores.

Na Figura 16 é apresentada a variação do fluxo dentro do período de pico, por intervalos de 5 minutos.

Figura 16 - Flutuação do volume dentro da hora

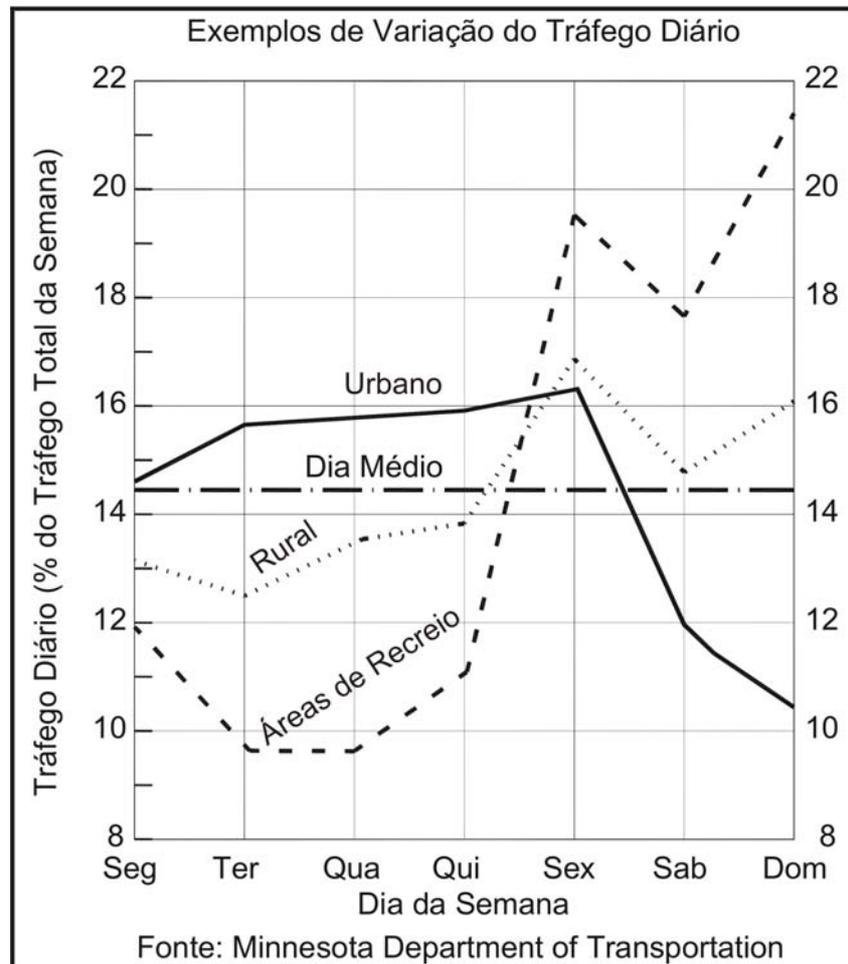


b) Variação Semanal

Como se observa na Figura 17 as rodovias de acesso a áreas de recreio apresentam seus volumes de pico nos fins de semana, de sexta-feira a domingo. As rodovias rurais mais importantes apresentam variação semelhante, mas menos acentuadas. Já nas vias urbanas a predominância das idas e voltas aos locais de trabalho faz com que os picos de tráfego se concentrem nos dias de semana, de segunda a sexta-feira,

que apresentam variações entre si da ordem de 5%. Normalmente os fluxos de tráfego de terça, quarta e quinta-feira são aproximadamente iguais, enquanto o de segunda-feira é ligeiramente inferior à sua média e o de sexta-feira ligeiramente superior.

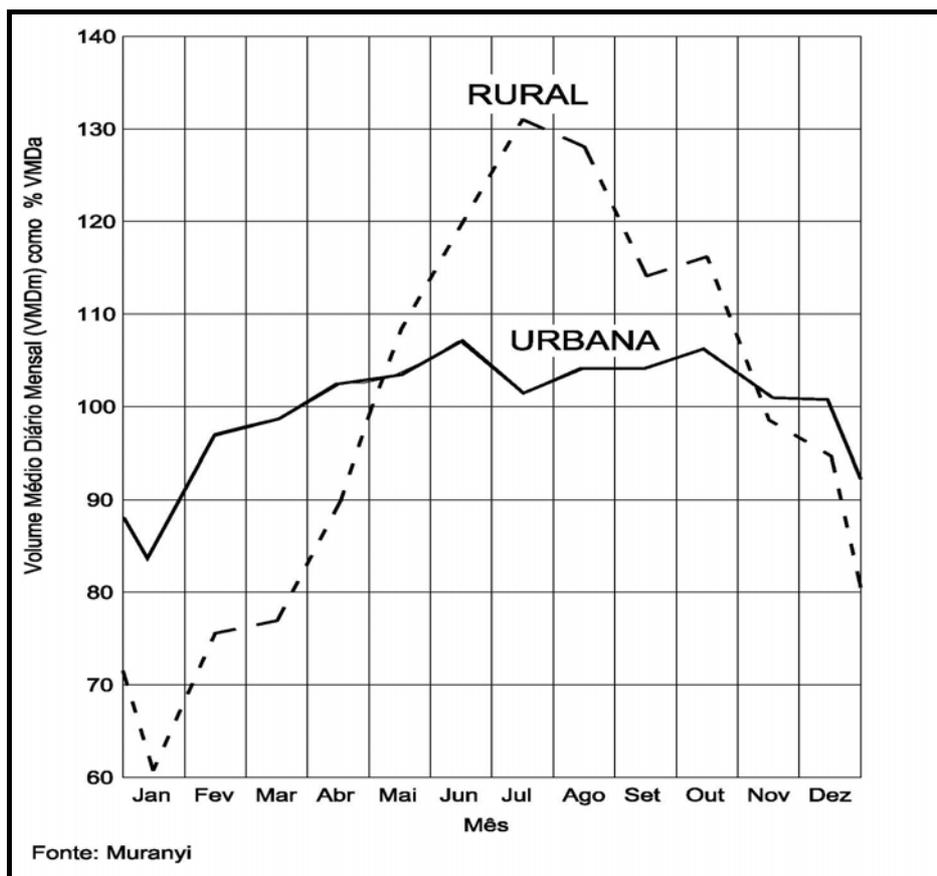
Figura 17 - Variação semanal por tipo de rodovia



c) Variação Mensal

A variação do tráfego ao longo do ano, também conhecida como variação sazonal, é função do tipo de via e das atividades a que ela serve. As rodovias rurais, principalmente se atendem a áreas turísticas e de recreação, apresentam variação muito superior às das vias urbanas. Os volumes são muito maiores nos períodos de férias escolares, que coincidem com as épocas mais procuradas para passeios e férias em geral. As vias urbanas, servindo ao deslocamento para o trabalho diário, apresentam fluxo mais permanente. A Figura 18 apresenta a variação do tráfego para rodovias urbanas e rurais americanas, onde o período de verão é no meio do ano.

Figura 18 - Variação mensal em rodovias rurais e urbanas



d) Variação Anual

Como reflexo das mudanças na economia do país, o fluxo de tráfego normalmente se altera de ano a ano. Este efeito faz com que seja necessário um cuidado especial na utilização de dados antigos, uma vez que podem levar a uma avaliação errônea da importância da rodovia. As variações anuais costumam ser mais acentuadas nas vias rurais, principalmente nas de acesso a áreas de recreio.

e) Variação por Sentido de Tráfego

A distribuição por sentido é uma característica importante do volume. Normalmente o sentido principal se inverte nos picos da manhã e da tarde. Em uma rodovia de uma pista com dois sentidos de tráfego a distribuição por sentido tem um impacto importante na operação. A operação de passagem à frente de um veículo é feita usando a faixa de sentido contrário, sendo as oportunidades de ultrapassagem limitadas pelo tráfego contrário.

A distribuição por sentido de tráfego é menos sujeita a variações, conhecendo-se razoavelmente bem as suas tendências, conforme mostra a Tabela 11, elaborado com base em dados de vias urbanas e rurais norte-americanas. Normalmente o sentido principal se inverte nos picos da manhã e da tarde.

Tabela 11 - Distribuição por sentido de tráfego

Hora do Ano	Porcentagem do Tráfego no Sentido de Pico		
	Via urbana de contorno	Via urbana radial	Via rural
1ª	53	66	57
10ª	53	66	53
50ª	53	65	55
100ª	50	65	52

Fonte: HCM (2000)

f) Variação por Faixa de Tráfego

A variação dos volumes de tráfego entre as faixas de uma rodovia apresenta pouca uniformidade, dependendo do tipo de rodovia e da sua localização. A distribuição do tráfego em uma via expressa, por exemplo, é afetada pelo número de faixas, pelas eventuais restrições relativas a circulação de veículos pesados em certas faixas, localização de ramos de acesso e hábitos locais.

Quando há mais de uma faixa de tráfego, a distribuição dos veículos dos diversos tipos depende de vários fatores. Por exemplo, em vias urbanas os carros tendem a evitar a faixa em que há muitas paradas de coletivos e de táxis, que agravam as interferências provocadas por movimentos de giros nas travessias e acessos à mesma. Se há duas faixas tendem a usar a da esquerda; se há três, preferem a do meio.

g) Variações Especiais

Sempre ocorrem eventos especiais, como jogos de futebol, Semana Santa, Natal, feriados, etc. que provocam alterações previsíveis, permitindo que o engenheiro de tráfego determine e aplique as medidas cabíveis para solução ou minimização dos problemas. Acidentes, incêndios, inundações, alterações da ordem pública, embora estatisticamente previsíveis, não têm dia certo para ocorrer, mas podem ser estudados de antemão, para se dispor de medidas para adaptação e aplicação a esses casos.

4.1.3 VOLUME HORÁRIO DE PROJETO (VHP)

Projetar uma rodovia em condições ideais consiste em planejá-la com características para atender à máxima demanda horária prevista para o ano de projeto, geralmente considerado como décimo ano após a conclusão das obras programadas. Em tal situação, em nenhuma hora do ano ocorreria congestionamento. Em contrapartida, o empreendimento seria antieconômico, pois a rodovia ficaria superdimensionada durante as demais horas do ano.

Assim, o dimensionamento da rodovia deve prever um certo número de horas congestionadas e a decisão de qual número é aceitável para a adoção do *Volume Horário de Projeto* (VHP).

Quando se dispõe de contagens horárias contínuas de uma rodovia, que abranjam um período de um ano inteiro, pode-se determinar o volume horário a ser usado no projeto através do critério denominado “curva da enésima hora”. Esta curva consiste na ordenação decrescente de todos os volumes horários anuais, expressos em percentagem do Volume Médio Diário (VMD), designado como *fator K*.

A Figura 14, já apresentada, mostra a relação entre o Volume Horário de Tráfego medido como percentagem do VMD e o Número de Horas no Ano em que esse volume é excedido. Essa relação foi determinada para rodovias rurais norte-americanas e, apesar de não corresponder exatamente às condições brasileiras, permite avaliar a grande uniformidade do comportamento do tráfego, já que vem se mantendo através dos anos com muito pequenas alterações.

A figura permite concluir que a curva de ordenação horária tem uma peculiaridade importante, qual seja, sofre uma mudança rápida de declividade (joelho) por volta da 30ª Hora. O volume correspondente a esta hora tem fortes razões para ser escolhido como Volume Horário de Projeto, já que um aumento substancial de seu valor implicará em que poucas horas mais sejam atendidas adequadamente pelo projeto e uma redução relativamente pequena resultará na exclusão de um número significativo de horas.

Por conseguinte, o critério da “enésima hora” sugere que se escolha como valor de *K* a se usar no projeto, aquele fornecido pelo trecho onde a curva muda rapidamente de declividade. Cabe observar que esta mudança de direção não é precisa, permitindo uma certa variação na escolha da hora de projeto, o que possibilita ao técnico melhor adequar seu estudo. Admite-se a utilização para o tráfego futuro de um *fator K* determinado com base em dados disponíveis por ocasião dos levantamentos, o que significa aceitar que a forma da curva em questão não se altera com o passar do tempo.

A prática habitual nos Estados Unidos determina, como base de projeto, um volume entre a 30ª e a 100ª Hora. Para rodovias rurais, freqüentemente utiliza-se o volume da 30ª Hora, mas tal utilização não deve ser interpretada como uma recomendação para a sua adoção rígida, mas antes como um exemplo das correlações típicas da hora de pico e sua evolução. No Brasil tem-se sido mais tolerante na escolha do Volume Horário de Projeto, chegando-se a adotar o Volume da 50ª Hora, nos locais em que se dispõe de contagens mecanizadas permanentes. O valor de $K = 8,5\%$ do VMD, tem sido adotado como representativo da 50ª Hora para rodovias rurais em que não se dispõe de informações mais precisas do comportamento do tráfego, conforme resultados apresentados no Tabela 12, transcrito do *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais*. Os mesmos critérios se aplicam também a áreas urbanas. Contudo, onde as flutuações do tráfego forem claramente diferentes das correspondentes às rodovias rurais, outras horas do ano devem ser consideradas como base para o projeto.

Tabela 12 - Fatores K nas rodovias rurais

Região	Fator K		Nº de postos
	K30	K50	
Norte	8,2%	8,0%	3
Nordeste	9,0%	8,5%	42
Centro	9,0%	8,6%	29
Sudeste	9,3%	8,8%	73
Sul	9,6%	9,1%	55
Media Ponderada	9,3%	8,8%	202

Fonte: PNTC – (1996)

Investigações recentes feitas nos Estados Unidos indicam que os valores típicos de K são dependentes diretamente do grau de desenvolvimento e urbanização da área em que se situa a via, decrescendo para volumes crescentes do VMD (Tabela 13).

Tabela 13 - Fatores de K típicos nas vias norte-americanas

Tipo de Área	Fator K
Urbana	9,1%
Suburbana	9,3%
Rural em Transição para Urbana	9,3%
Rural Desenvolvida	9,5%
Rural Subdesenvolvida	10,0%

Fonte: Florida Department of Transportation, (1995).

Portanto, a grandeza da variação da 50ª Hora ou de outro nível escolhido, dependerá de vários fatores e deve ser determinada para cada estado, zona ou, se possível, para cada rodovia. Por sua vez, a escolha de um apropriado Volume Horário de Projeto transforma-se num problema de equilíbrio econômico entre os benefícios previstos e o custo de construção, envolvendo, muitas vezes, decisões administrativas que saem do âmbito deste *Manual*.

Cabe observar que nas rodovias de grande variação sazonal (turísticas, recreacionais, etc.), ou com variações de fluxo incomuns (festas religiosas, eventos esportivos, etc), elevados volumes de tráfego são concentrados durante períodos específicos, podendo exceder de muito os valores da 50ª Hora. Nestes casos deve-se efetuar estudos mais detalhados para determinar o Volume Horário de Projeto. Os usuários geralmente aceitam um projeto que seja menos satisfatório durante os picos sazonais do que no caso em que se tem variações menos acentuadas de fluxo. Por outro lado, o projeto não pode ser tão econômico que se tenha congestionamento severo de tráfego durante as horas de pico. Pode ser mais recomendável, portanto, escolher um volume horário de projeto em torno de 50% dos volumes esperados em umas poucas horas mais carregadas no ano de projeto, independente de se tratar da 50ª hora. Algum congestionamento poderá surgir nas horas de pico, mas a capacidade, desejavelmente, não deverá ser excedida.

Nas interseções, por razões econômicas, costuma-se efetuar contagens de tráfego nos períodos de pico durante um número limitado de dias. Um critério para determinação do VHP consiste na expansão e ajustamento das contagens feitas, com base nas variações horárias, semanais e sazonais da rodovia principal, para estimar o VMD anual de cada ramo da interseção. Sobre esses VMDs se aplica então o valor K adotado para a rodovia principal (ver item 6.1.5.4).

Quando se tratar da interseção de duas vias de importância considerável pode haver a conveniência de utilizar dados das duas vias nos ajustamentos e projeções dos volumes dos ramos da interseção.

Quando não se dispuser de dados confiáveis da rodovia principal para efetuar os ajustamentos, deve-se utilizar os dados de rodovias da mesma região operando em condições semelhantes.

A fim de evitar a ociosidade por longo período de um investimento de grande vulto e a transgressão da sinalização devida ao superdimensionamento, o ano de projeto a ser considerado nas interseções não deve ultrapassar o 10º ano de vida útil. Além disso, deve ser levada em conta a dificuldade de projetar o tráfego com grau de confiabilidade razoável além de 15 anos (5 anos para o planejamento, projeto de engenharia e construção, mais 10 anos de operação). Esta medida permitirá a utilização de cada interseção, com segurança, nos seus primeiros anos de funcionamento, enquanto sua adequação é analisada através de estatísticas e estudos especiais. Caso deficiências sejam constatadas até aquele ano, ou previstas para depois de seu término, executar-se-á, oportunamente, outro projeto, ampliando o existente e aproveitando parte do investimento inicial.

Os dados levantados através das contagens e suas projeções para os anos de projeto deverão ser representados por meio de fluxogramas onde estejam bem discriminados: os sentidos e movimentos de tráfego, o ano de projeto, as unidades adotadas (carros de passeio equivalentes ou misto) e os volumes por unidade de tempo (veículos por dia e veículos por hora).

4.1.4 VOLUMES MÁXIMOS OBSERVADOS

A capacidade de uma via é definida em termos do fluxo máximo que pode acomodar nas condições em que ela se apresenta. O valor do fluxo máximo é difícil de determinar, já que, por maior que seja o fluxo observado, não se pode ter certeza de que um valor um pouco maior não possa ser acomodado na via. São a seguir apresentados os resultados obtidos em diversas rodovias dos Estados Unidos, Canadá, Europa e Japão, como exemplos reais do que se pode esperar para diversos tipos de vias. Para cada caso são apresentados apenas os valores extremos levantados.

a) Vias rurais de Pista Simples

A Tabela 14 mostra valores máximos observados nos Estados Unidos para rodovias rurais de duas faixas e dois sentidos de tráfego. Volumes de mais de 2.400 veículos por hora têm sido observados na Dinamarca, mais que 2.800 na França, mais que 3.000 no Japão e mais que 2.450 na Noruega. Alguns desses volumes incluem parcela significativa de veículos de carga, chegando a 30% do total.

Tabela 14 - Volumes máximos em vias rurais de pista simples

Volumes em Vias Rurais de 2 Faixas – 2 Sentidos						
Rodovias Rurais de 2 Faixas – 2 Sentidos						
Número de Observações	Volume Total (veic/h)		Volume da Faixa Mais Carregada (veic/h)		Volume da Faixa Menos Carregada (veic/h)	
6	3.350	1.714	1.920	1.445	1.430	269
Pontes e Túneis em Rodovias Rurais de 2 Faixas – 2 Sentidos						
4	2.920	1.919	1.827	971	1.093	948

b) Vias de Faixas Múltiplas

A observação de rodovias de múltiplas faixas operando no limite da capacidade é difícil, por que raramente ocorrem. A Tabela 15 contém alguns valores levantados para vias suburbanas de quatro, seis e oito faixas, operando com fluxo contínuo.

Tabela 15 - Volumes máximos em vias de faixas múltiplas

Volumes em Vias de Faixas Múltiplas					
Rodovias de Faixas Múltiplas em 1990					
Número de Faixas da Rodovia	Volume Médio Diário (veic/dia)		Volume Médio Diário/Faixa (veic/dia)		Número de Observações
	14	328.500	270.400	23.464	
12	304.000	208.768	25.333	17.379	8
10	330.600	209.158	33.060	20.916	9
8	280.700	208.590	35.088	26.074	8
6	223.200	210.000	37.200	35.000	3
Faixas Múltiplas – Volumes Horários em Um Sentido					
Número de Faixas da Rodovia	Volume Médio Diário (veic/dia)		Volume Médio Diário/Faixa (veic/dia)		Número de Observações
	4	4.124	3.304	2.062	
6	5.596	4.776	1.865	1.592	
8	5.428		1.357		
Túneis – Volumes Horários em Um Sentido					
Número de Faixas da Rodovia	Volume Médio Diário (veic/dia)		Volume Médio Diário/Faixa (veic/dia)		Número de Observações
	4	4.278	3.166	2.139	
8	5.840		1.460		1

c) Vias Expressas

O HCM – 2000 considera para Vias Expressas que a capacidade varia de 2.400 UCP/h/faixa em vias com velocidade de fluxo livre de 120 km/h a 2.300 UCP/h/faixa para velocidade de 110 km/h. A Tabela 16 mostra os valores extremos observados em vias de quatro, seis, e oito faixas.

Tabela 16 - Volumes máximos em vias expressas

Volumes em Vias Expressas					
Vias Expressas – Volumes Horários em Um Sentido					
Número de Faixas da Rodovia	Volume Médio Diário (veic/dia)		Volume Médio Diário/Faixa (veic/dia)		Número de Observações
4	5.301	3.804	2.660	1.902	18
6	7.495	5.610	2.498	1.870	18
8	9.090	6.682	2.272	1.670	12
Vias Expressas – Volumes Horários Máximos por Faixa					
Número de Faixas da Rodovia	Volume Médio Diário (veic/dia)		Volume Médio Diário/Faixa (veic/dia)		Número de Observações
4	2.218	2.229	2.542	2.466	2
6	2.035	2.093	2.664	2.500	3
8	2.073	1.670	2.596	2.088	2

4.2 VELOCIDADE

A *Velocidade* é, dentre as características essenciais do tráfego, uma das mais complexas para definir. Assume várias formas, de acordo com o tipo de tempo que é utilizado (em movimento, total etc.) e a base espacial sobre a qual é calculada. Os principais conceitos de velocidade utilizados são:

- *Velocidade*: é a relação entre o espaço percorrido por um veículo (d) e o tempo gasto em percorrê-lo (t). Se chamamos de V a velocidade, então $V = d/t$. Em estudos de tráfego a velocidade é usualmente determinada em km/h.
- *Velocidade Instantânea*: é a velocidade de um veículo em um instante determinado, correspondente a um trecho cujo comprimento tende para zero.
- *Velocidade Pontual*: é a velocidade instantânea de um veículo quando passa por um determinado ponto ou seção da via (ver item 6.3).
- *Velocidade Média no Tempo*: é a média aritmética das velocidades pontuais de todos os veículos que passam por um determinado ponto ou seção da via, durante intervalos de tempo finitos, ainda que sejam muito pequenos.
- *Velocidade Média de Viagem (Velocidade Média no Espaço)*: é a velocidade em um trecho de uma via, determinada pela razão do comprimento do trecho pelo tempo médio gasto em percorrê-lo, incluindo os tempos em que, eventualmente, os veículos estejam *parados*. (ver item 6.4).

Se os tempos de viagem $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ (em horas) são observados para n veículos que percorrem um segmento L , a velocidade média de viagem pode ser obtida pela expressão:

$$V_{mv} = \frac{L}{\left((1/n) \sum_{i=1}^n t_i \right)}$$

onde:

V_{mv} = velocidade média de viagem (km/h)

L = comprimento do trecho (km)

t_i = tempo de viagem do veículo i (h)

n = número de veículos observados

Deve ser indicado o período de tempo em que foi realizada a pesquisa a que se refere essa velocidade, já que pode variar de um período de tempo para outro.

Tempo de Viagem - é o período de tempo durante o qual o veículo percorre um determinado trecho de via, incluindo os tempos de parada.

- *Velocidade Média de Percurso*: é a velocidade em um trecho de uma via, determinada pela razão do comprimento do trecho pelo tempo médio gasto em percorrê-lo, incluindo apenas os tempos em que os veículos estão em *movimento*.

$$V_{mp} = \frac{L}{\left((1/n) \sum_{j=1}^n t_j \right)}$$

onde:

V_{mp} = velocidade média de percurso (km/h)

L = comprimento do trecho (km)

t_j = tempo de percurso do veículo j (h)

n = número de veículos observados

Deve ser indicado o período de tempo em que foi realizada a pesquisa a que se refere essa velocidade, já que pode variar de um período de tempo para outro.

Para fluxos contínuos não operando no nível de serviço F, a velocidade média de viagem é igual à velocidade média de percurso.

Tempo de Percurso é o período de tempo durante o qual o veículo se encontra em movimento.

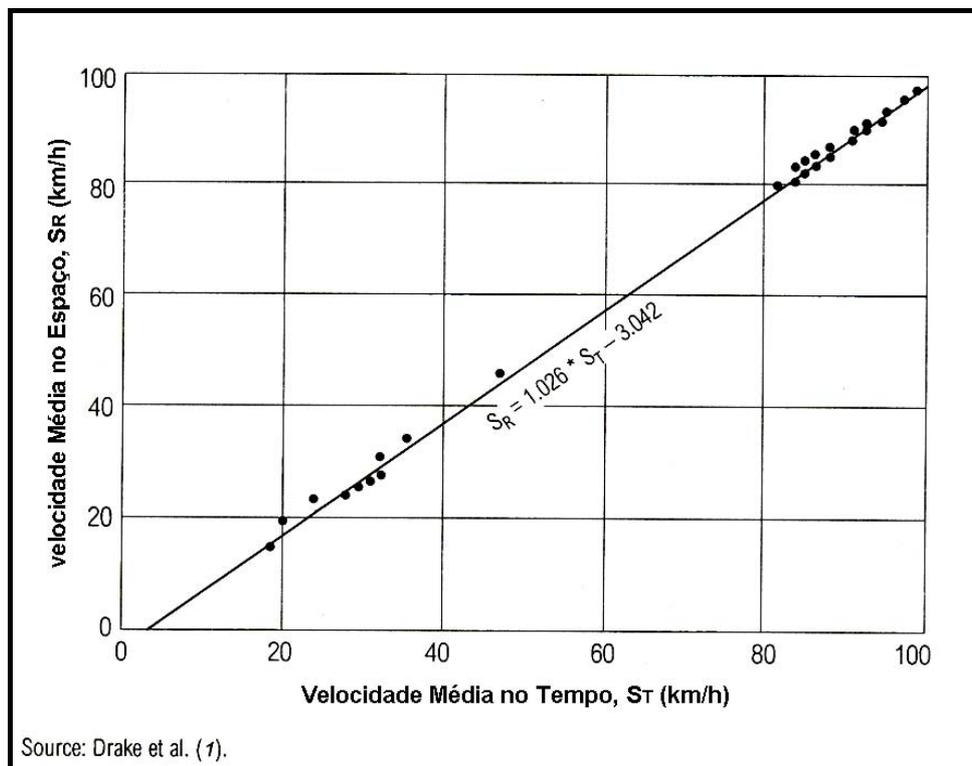
- *Velocidade Percentual N% (VPN%)*: é a velocidade abaixo da qual trafegam N% dos veículos. É comum utilizar VP85% como valor razoável para fins de determinação da “velocidade máxima permitida” a ser regulamentada pela sinalização. Em alguns casos, problemas de segurança podem recomendar a regulamentação de “velocidade mínima permitida”, utilizando, por exemplo VP15%.

- *Velocidade de Fluxo Livre*: é a velocidade média dos veículos de uma determinada via, quando apresenta volumes baixos de tráfego e não há imposição de restrições quanto às suas velocidades, nem por interação veicular nem por regulamentação do trânsito. Reflete, portanto, a tendência do motorista dirigir na velocidade que deseja.
- *Velocidade Diretriz ou Velocidade de Projeto*: é a velocidade selecionada para fins de projeto, da qual se derivam os valores mínimos de determinadas características físicas diretamente vinculadas à operação e ao movimento dos veículos. Normalmente é a maior velocidade com que um trecho viário pode ser percorrido com segurança, quando o veículo estiver submetido apenas às limitações impostas pelas características geométricas.
- *Velocidade de Operação*: é a mais alta velocidade com que o veículo pode percorrer uma dada via atendendo às limitações impostas pelo tráfego, sob condições favoráveis de tempo. Não pode exceder a velocidade de projeto.

A Figura 19 mostra a relação entre a velocidade média no tempo e a velocidade média no espaço. A velocidade média no espaço é sempre menor que a velocidade média no tempo, mas a diferença decresce à medida que as velocidades crescem.

É possível determinar as velocidades médias no espaço e no tempo a partir de uma amostra de velocidades individuais de um grupo de veículos. Por exemplo, três veículos fornecem as velocidades 40, 60 e 80 km/h . Os tempos de percurso de 1km são 1,5 min (0,025 h), 1,0 min (0,0167 h) e 0,75 min (0,0125 h), respectivamente. A *velocidade média no tempo* é 60 km/h, calculada por $(40 + 60 + 80)/3$. A *velocidade média no espaço* é 55,35 km/h, calculada por $1/[1/3(0,025+0,0167+0,0125)]$.

Figura 19 - Relação entre as velocidades médias no tempo e no espaço



4.3 DENSIDADE

Define-se como *Densidade* o número de veículos por unidade de comprimento da via. Pode ser medida experimentalmente, ou pela relação:

$$D_t = \frac{F_{mt}}{V_{mt}}$$

onde:

D_t = densidade (veic/km)

F_{mt} = fluxo médio no trecho em (veic/h)

V_{mt} = velocidade média no trecho (km/h)

A equação acima é usada para fluxos não saturados. A densidade é um parâmetro crítico dos fluxos contínuos, porque caracteriza a proximidade dos veículos, refletindo o grau de liberdade de manobra do tráfego.

Espaçamento e Intervalo

Os estudos de capacidade de interseções, entrelaçamentos, terminais e outras análises das características das vias requerem dados quanto ao espaçamento e intervalo de tempo entre veículos. Estas duas grandezas descrevem a disposição longitudinal dos veículos no fluxo de tráfego de uma via.

Denomina-se *Espaçamento* a distância entre dois veículos sucessivos, medida entre pontos de referência comuns (por exemplo pára-choque dianteiro).

Denomina-se *Intervalo de Tempo* ou “*Headway*” o tempo transcorrido entre a passagem de dois veículos sucessivos por um determinado ponto.

Embora o volume seja a característica mais significativa do tráfego e forneça uma medida clara do nível de congestionamento de uma via, o espaçamento e o headway afetam os motoristas individualmente, porque indicam a liberdade de movimento e segurança relativa, influenciando a escolha das velocidades e distâncias entre veículos.

Existem as seguintes relações envolvendo os valores mencionados:

$$D_t = \frac{1.000}{e_{mt}}$$

$$h_{mt} = \frac{e_{mt}}{V_{mt}}$$

$$F_{mt} = \frac{3.600}{h_{mt}}$$

onde:

V_{mt} = velocidade média (m/s)

F_{mt} = fluxo médio (veíc/h)

D_t = densidade (veic/km)

e_{mt} = espaçamento médio (m/veic)

h_{mt} = headway médio (s/veic)

Cabe observar que em caso de tráfego misto pode haver necessidade de considerar separadamente os diferentes tipos de veículos na determinação dos seus espaçamentos e headways.

4.4 RELAÇÃO ENTRE VOLUME, VELOCIDADE E DENSIDADE

As expressões gráficas típicas do inter-relacionamento das variáveis fundamentais estão mostradas nas Figuras 20 a 23. Observa-se que para condições de fluxo contínuo o comportamento do tráfego permite a construção de gráficos “típicos”, razoavelmente fiéis aos comportamentos observados. No caso de fluxo interrompido ou descontínuo, a atuação dos semáforos e de outras interrupções impossibilita a construção de gráficos “típicos”.

4.4.1 RELAÇÃO ENTRE VELOCIDADE E VOLUME

Partindo da velocidade de fluxo livre (V_f), aumentando o valor do fluxo, reduz-se a velocidade média até chegar a um ponto de densidade ótima (D_o), que corresponde ao

fluxo máximo que a via pode carregar, chamado *Capacidade*. A partir deste ponto, a entrada de mais veículos na corrente provoca turbulência, e tanto a velocidade como o volume diminuem. (Figura 20).

Os diversos estudos já realizados indicaram que a curva em questão varia de seção para seção de uma via, pois mostrou ser sensível a inúmeros fatores, tais como: atritos laterais, frequências de entradas e saídas, condições do tempo, número de acidentes, etc. Portanto, para vias diferentes obter-se-á curvas distintas.

4.4.2 RELAÇÃO ENTRE VELOCIDADE E DENSIDADE

A densidade de uma via aumenta com a diminuição da velocidade. Uma vez atingida a densidade ótima (D_o), a densidade continua aumentando, enquanto a velocidade decresce (Figura 21).

A relação velocidade x densidade pode ser representada na forma linear com um grau de correlação aceitável para vias com acessos controlados; em vias sem controles de acessos se ajusta melhor uma curva com alguma concavidade.

4.4.3 RELAÇÃO ENTRE VOLUME E DENSIDADE

A relação entre o volume de circulação e a densidade tem forma aproximada de parábola de eixo vertical, com a densidade representada no eixo das abcissas, com o vértice na parte superior (Figura 22).

Um aumento na densidade acarreta um aumento no volume, até atingir a densidade ótima, a partir da qual o fluxo diminui com o aumento da densidade. A densidade ótima varia com o tipo de via.

As variáveis Velocidade, Volume e Densidade definem uma curva em três dimensões. Para mostrar com mais clareza o inter-relacionamento dessas variáveis, é apresentado na Figura 23 o desenho em perspectiva da curva de três dimensões correspondente.

Figura 20 - Relação entre velocidade e volume

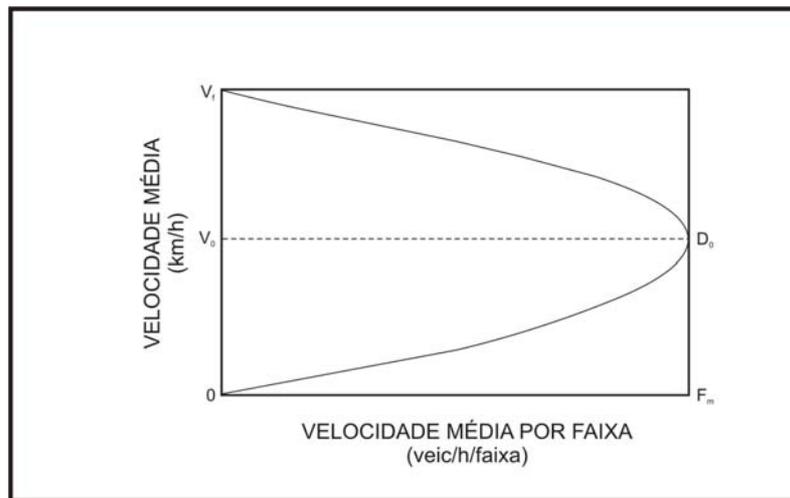


Figura 21 - Relação entre velocidade e densidade

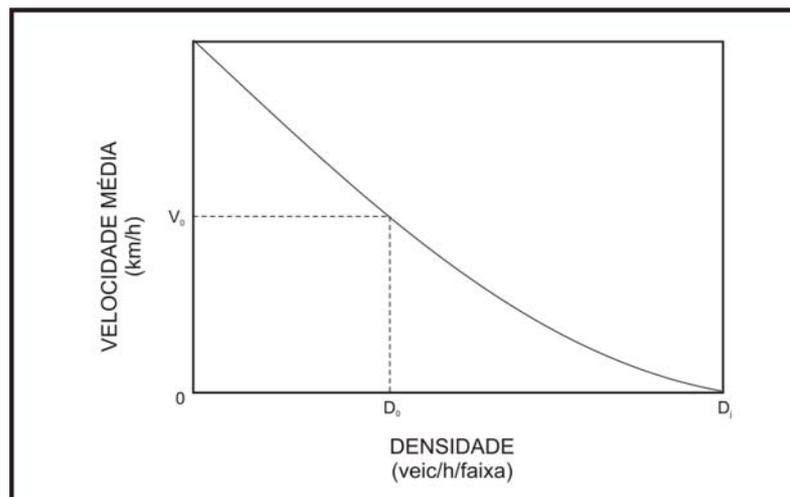


Figura 22 - Relação entre volume e densidade

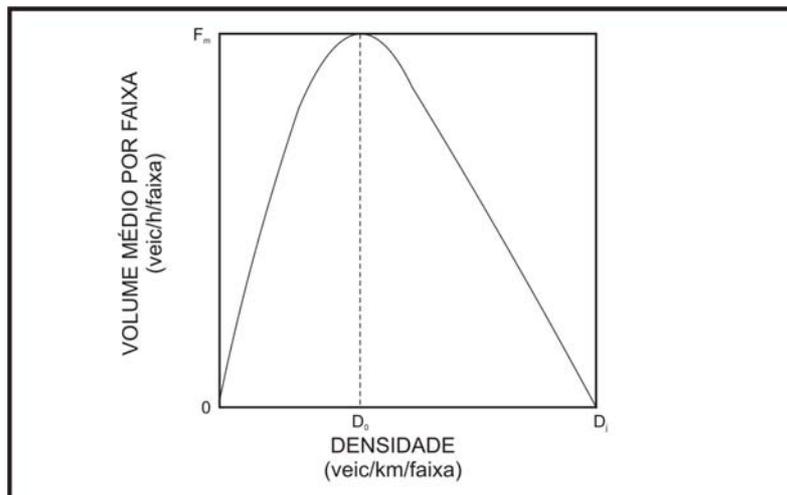
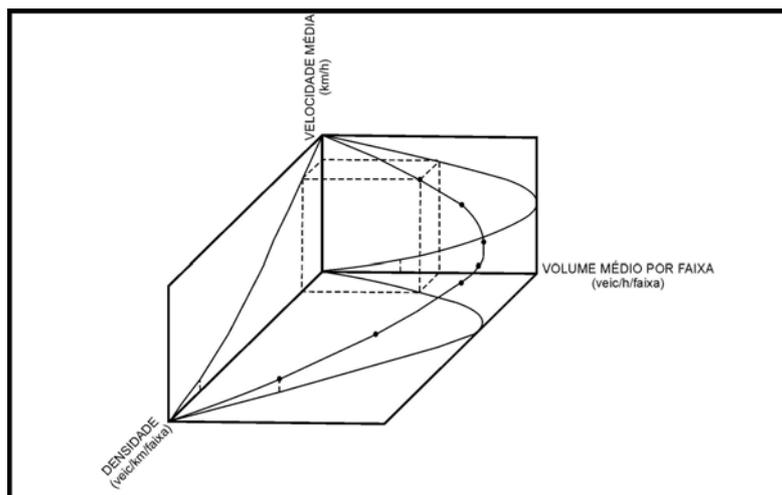


Figura 23 - Relação entre velocidade, volume e densidade



4.5 ESTATÍSTICAS VIÁRIAS

É de grande interesse conhecer a posição do Brasil entre os principais países do mundo ocidental no que se refere à oferta de rodovias rurais. A título ilustrativo apresentamos quadros adaptados do *International Road Federation* - IRF, que incluem números de automóveis, veículos automotores em geral, extensões de rodovias, habitantes por veículo, percentuais de rodovias pavimentadas, e densidades espaciais, por país e ano indicados (Tabelas 17 e 18).

Tabela 17 - Estatísticas sobre veículos de vários países

País	Ano	Automóveis	Veículos automotores	Habitantes por veículo
Alemanha	1999	42.323.672	44.879.894	1,7
Argentina	1998	5.047.690	6.544.197	5,5
Bolívia	2000	181.409	437.337	19,0
Brasil	2000	23.241.966	28.975.309	5,7
Canadá	1998	13.887.270	17.581.395	1,7
Colômbia	1999	1.803.201	2.122.495	19,6
Costa Rica	2000	341.990	519.865	7,3
Cuba	1997	172.574	357.569	31,0
Chile	2000	1.320.519	2.018.405	7,5
Equador	1999	532.170	593.773	20,8
El Salvador	1997	177.488	362.347	16,3
Espanha	1998	16.100.000	19.544.860	2,0
Estados Unidos	1999	132.432.044	214.774.912	1,3
França	2000	28.060.000	33.627.000	1,7
Guatemala	1999	578.783	531.969	19,8
Honduras	1999	326.541	385.863	16,5
Inglaterra	1999	22.785.000	23.153.900	2,6
Itália	1999	31.416.686	35.142.828	1,6
México	2000	10.443.439	15.488.835	6,3
Nicarágua	2000	61.857	152.371	38,3
Panamá	1998	228.722	312.742	9,1
Paraguai	1999	267.587	475.689	12,1
Peru	1999	684.533	1.088.185	23,3
Portugal	1998	3.200.000	4.297.000	2,3
Porto Rico	1996	878.000	1.068.000	3,6
República Dominicana	1996	224.000	375.000	22,2
Uruguai	1997	516.889	567.153	5,9
Venezuela	1996	1.520.000	1.954.000	11,2

Fonte: International Road Federation, World Road Statistics, 1999

Tabela 18 - Extensão e densidade das redes viárias de vários países

País	Ano	Total de rodovias (km)	Rodovias pavimentadas (%)	Densidade de rodovias (km/km ²)
Alemanha	1999	730.739	99,1	0,62
Argentina	1999	215.471	29,4	0,08
Bolívia	2000	53.790	6,5	0,04
Brasil	2000	1.724.929	5,5	0,20
Canadá	1999	901.903	-	0,10
Colômbia	2000	112.988	14,4	0,10
Costa Rica	2000	35.892	17,0	0,70
Cuba	1999	60.858	49,0	0,55
Chile	2000	79.814	19,4	0,10
Equador	2000	43.197	18,9	0,17
El Salvador	1997	10.029	19,8	0,48
Espanha	1999	489.693	99,0	1,31
Estados Unidos	1999	6.304.193	58,8	0,65
França	2000	894.000	100,0	1,62
Guatemala	1999	14.118	34,5	0,13
Honduras	1999	13.603	20,4	0,12
Inglaterra	1999	371.913	100,0	1,62
Itália	1999	479.688	100,0	1,59
México	1999	218.994	32,9	0,17
Nicarágua	2000	19.032	11,0	0,16
Panamá	1999	11.400	34,6	0,15
Paraguai	1999	29.500	50,8	0,08
Peru	1998	72.999	12,9	0,06
Portugal	1999	68.732	86,0	0,77
Porto Rico	2000	14.400	100,0	1,55
República Dominicana	1999	12.600	49,4	0,26
Uruguai	1997	8.983	90,0	4,90
Venezuela	1997	96.155	33,6	0,11

Fonte: International Road Federation, World Road Statistics, 1999

5 - PROCEDIMIENTOS BÁSICOS

5 PROCEDIMENTOS BÁSICOS

5.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Área de Estudo de um projeto viário compreende o espaço geográfico ocupado pelas vias do projeto e as áreas que direta ou indiretamente o afetam.

Praticamente não existem regras precisas para definição da área de estudo. De forma resumida, essa área está condicionada a três variáveis:

- Origem e Destino dos veículos;
- Opções de rotas na rede existente;
- Interferência dos fluxos de longa distância.

A origem e destino, a que se refere o primeiro item, já implica numa referência no espaço, ou seja, uma delimitação territorial preliminar, que poderá ser ampliada ou reduzida quando forem consideradas as demais variáveis mencionadas. Não há, pois, como evitar um processo metodológico iterativo ou de aproximações sucessivas na delimitação da área.

Em primeira aproximação, ela deve ser delimitada com base no conhecimento dos indicadores econômicos disponíveis, no comportamento do tráfego e nos objetivos da análise a ser procedida.

A área de estudo pode ser tratada a dois níveis distintos:

- *Área de Influência Direta*: é a área servida pelos trechos viários objeto do estudo e por trechos das vias de acesso de maior influência. Nessa área serão realizadas as pesquisas de tráfego necessárias, envolvendo contagens volumétricas, pesquisas de origem e destino, medições de velocidades, etc. Sua delimitação é feita por uma linha (cordão externo), que passará por pontos que se prestem à coleta de informações do padrão de viagens entre a área de influência direta e a área exterior ao cordão; poderá incluir trechos de ferrovias ou rodovias, rios, cumes de morros, etc. que delimitem de forma adequada a área.
- *Área de Influência Indireta*: é a área fora do cordão externo com influência sensível na geração de viagens que utilizem trechos viários objeto do estudo.

Na definição precisa dessas áreas deve-se considerar os limites políticos, administrativos e censitários, já que as informações socioeconômicas disponíveis referem-se normalmente a esses limites.

5.2 ESTABELECIMENTO DAS ZONAS DE TRÁFEGO

A fim de facilitar a obtenção e posterior análise das informações a respeito do tráfego, a área de estudo deverá ser dividida em zonas. Cada zona deverá ser definida de modo que qualquer viagem com origem ou destino nessa zona possa ser considerada como

partindo ou chegando a um ponto determinado da mesma (*centróide*). O centróide é a representação pontual da zona. É como se todos os dados pesquisados e analisados estivessem concentrados nesse ponto. Corresponde ao centro de gravidade das viagens geradas.

A delimitação das zonas de tráfego é feita por aproximações sucessivas. Em princípio, os pólos de geração e de atração de viagens devem ser identificados com os municípios e o seu conjunto ser enquadrado, quando possível, dentro dos limites das microregiões homogêneas do IBGE (limites políticos, administrativos e censitários). Esse procedimento é particularmente adequado para os estudos de tráfego, pelo alto grau de correlação freqüentemente encontrado entre os dados correspondentes às microregiões e à geração do tráfego.

O tamanho da zona é função da precisão desejada nos estudos; quanto menores maior a precisão. Para sistemas de rodovias rurais o zoneamento pode ser a nível de município e/ou distrito; em estudos urbanos, a nível de bairros com características homogêneas. Barreiras físicas tais como rios, canais, ferrovias, etc., podem levar à subdivisão de áreas em mais de uma zona. As zonas externas são geralmente de dimensões bem maiores que as internas, e seu tamanho vai aumentando à medida que se afastam da área de influência direta. Servem geralmente para reunir todas as viagens que passam em um mesmo ponto do cordão externo, com origem ou destino fora do cordão.

As viagens com origem e destino em uma mesma zona constituem o tráfego local e seu volume cresce com as dimensões da zona. Recomenda-se que o tráfego local não exceda 15% do total das viagens; caso contrário a área da zona deve ser reduzida.

A divisão da área de estudo em zonas visa atender às seguintes finalidades:

- Agrupar os dados de viagens com origem (destino) próximos, de modo a reduzir os números de origens e destinos a serem considerados, simplificando desta forma a distribuição do tráfego e a sua alocação nos trechos viários do sistema;
- Fornecer a base para a determinação das viagens atuais e futuras, necessária à estimativa dos fluxos de tráfego e ao cálculo de suas taxas de crescimento;
- Permitir o tratamento estatístico dos fatores de geração de tráfego em termos de regiões homogêneas.

Os estudos econômicos e de tráfego que servirão para alimentar os modelos de projeção da demanda de transportes serão realizados com base nessas zonas.

5.3 INFORMAÇÕES BÁSICAS

Deve-se coletar dados sobre as características e padrão das viagens atuais na área de estudos, com vistas a conhecer os desejos de deslocamento. Procuram-se então estabelecer relações entre os números de viagens realizadas e variáveis sócio econômicas que possam explicá-las, de modo a possibilitar a determinação dos desejos de deslocamentos no futuro. Para tanto, três tipos de informações são necessárias:

a) Padrão de Viagens

Pesquisas de Origem e Destino associadas a Contagens de Volume permitem chegar a uma compreensão geral da atual estrutura de movimentos. São coletadas informações sobre número e tipo de deslocamentos, incluindo: movimentos de veículos de passageiros ou carga, tipos de cargas transportadas, origens e destinos das viagens, motivos de viagem, tempos e distâncias percorridas, modos de transporte, natureza dos locais de origem e destino, distribuição durante o dia etc. Eventualmente há necessidade de planejar as pesquisas em diferentes épocas do ano, para identificar variações sazonais.

Pesquisas feitas no Cordão Externo permitem cobrir as viagens com origem e/ou destino na área de influência indireta. Para viagens com origem e destino na área de influência direta são feitas pesquisas dentro dessa área.

b) Sistemas de Transportes

O levantamento dos sistemas de transportes é de fundamental importância para as fases de distribuição e alocação de tráfego. Deverá incluir dados tão completos quanto necessário relativos a localização e características físicas das vias, transportes públicos existentes, volumes de tráfego, capacidade do sistema, velocidades médias dos fluxos, tempos de percurso, etc.

c) Dados Sócio-econômicos

Visa coletar dados relacionados com aspectos socioeconômicos, tais como:

- População rural e urbana;
- Densidade demográfica;
- Distribuição etária;
- População economicamente ativa;
- Renda do setor primário (lavoura, produção animal e derivados, extração vegetal);
- Renda do setor secundário (valor da transformação industrial – censo industrial);
- Renda do setor terciário (renda do comércio atacadista e varejista);
- Renda “per capita”;
- Frota;
- Consumo de energia elétrica;
- Número de estabelecimentos por setor.

Estes dados podem ser obtidos junto ao IBGE, FGV e Planos Diretores Rodoviários. Muitas vezes as variáveis mencionadas não são encontradas a nível dos zoneamentos de tráfego adotados, surgindo a necessidade de se efetuar pesquisas complementares, tais

como pesquisas de uso do solo, pesquisas de origem e destino e pesquisas socioeconômicas.

5.4 PREPARAÇÃO DA REDE BÁSICA DE TRANSPORTES

a) Objetivo

Trata-se da criação de um modelo representativo da rede básica do sistema viário e de transportes coletivos em estudo, estabelecido de modo a permitir a análise do comportamento do tráfego nos diversos trechos.

b) Tipos de Rede

Do ponto de vista prático costuma-se adotar os seguintes tipos de rede:

Áreas rurais

Para as áreas rurais, normalmente são utilizados dois tipos de rede:

- *Rede viária*: constituída pelas rodovias, ferrovias, linhas de transporte fluvial e marítimo, e linhas de transporte aéreo.
- *Rede rodoviária*: constituída pelo sistema de vias que compõem a malha rodoviária de interesse ao estudo (rodovias federais, estaduais, municipais, estradas vicinais, etc).

Áreas urbanas

Para as áreas urbanas, devido às grandes diferenças nas características de operação dos automóveis, os quais têm grande escolha de rotas, e dos transportes coletivos, que operam em rotas fixas, geralmente são utilizados dois tipos de rede:

- *Rede viária urbana*: constituída pelo sistema de vias oferecidas aos que se utilizam de automóveis particulares, táxis e caminhões e pelas vias de pedestres. Esta rede se caracteriza pelas rotas variáveis, onde a escolha do percurso obedece a diferentes fatores como distância, tempo ou custo.
- *Rede de transportes coletivos*: constituída pelas linhas de metrô, linhas ferroviárias, linhas de ônibus, linhas de transporte fluvial e marítimo, e linhas de transporte aéreo, que operam em rotas fixas.

c) Representação Gráfica

Em uma rede é importante representar todos os elementos que a constituem, num detalhamento coerente com o estabelecido no zoneamento.

A rede consiste de ligações (*links*), centróides e nós.

Denomina-se *ligação* ou *link* a representação gráfica de trechos de ruas, rodovias, vias férreas, fluviais, marítimas e aéreas entre dois nós consecutivos.

Denomina-se *nó* um ponto comum a duas ou mais ligações. Portanto, uma via qualquer será representada por uma seqüência de ligações e nós, sendo esses nós as interseções das vias.

As ligações dos *centróides* com as vias representam os percursos feitos dentro da própria zona, até atingir a rede.

Cada *nó* é caracterizado por um número, e cada ligação pelos seus nós extremos. A cada ligação podem ser atribuídos: velocidades de veículos, capacidade, comprimento, custos operacionais, etc. O comprimento pode ser obtido diretamente na planta ou por levantamentos de campo, enquanto que a velocidade e a capacidade exigem estudos específicos.

Na Figura 24 apresenta-se um exemplo de rede viária.

No que se refere à representação gráfica de uma rede de transportes coletivos, cabem as seguintes convenções:

- *Rota*: caminho físico percorrido pelo modo de transporte considerado.
- *Linha*: representação da rota na rede.

Uma rede de coletivos é constituída de modo análogo a uma rede viária, diferindo apenas quanto ao mapa base, que na rede de coletivos apresenta as rotas dos diversos meios de transportes existentes, tais como: metrô, barca, trem, ônibus urbanos, ônibus interurbanos, etc.

As ligações a pé dos centróides com a rede são chamadas de *percursos a pé* ou *walk-links*.

Nesta configuração de rede os nós são colocados:

- no início e no fim de cada linha.
- no cruzamento de duas ou mais linhas.
- na junção ou separação de duas ou mais linhas.

As linhas são numeradas e esses números colocados na rede de maneira a possibilitar que sejam identificadas de seu início até o fim.

Devem ser criadas ligações de transferência, de modo a permitir os movimentos entre os sistemas considerados.

d) Dados Necessários para Simulação do Tráfego

Para efeito de simulação do tráfego são necessárias informações que forneçam uma completa descrição das vias que irão compor a referida rede. Para cada trecho, são definidas características de desempenho, tais como distância, velocidades, custos operacionais, custos de tempo de viagem, etc, fatores esses obtidos em função do cadastro rodoviário do trecho e dos custos unitários de transporte estabelecidos para cada tipo de veículo considerado.

Para cada via da rede básica deve-se obter uma descrição completa dos seguintes dados:

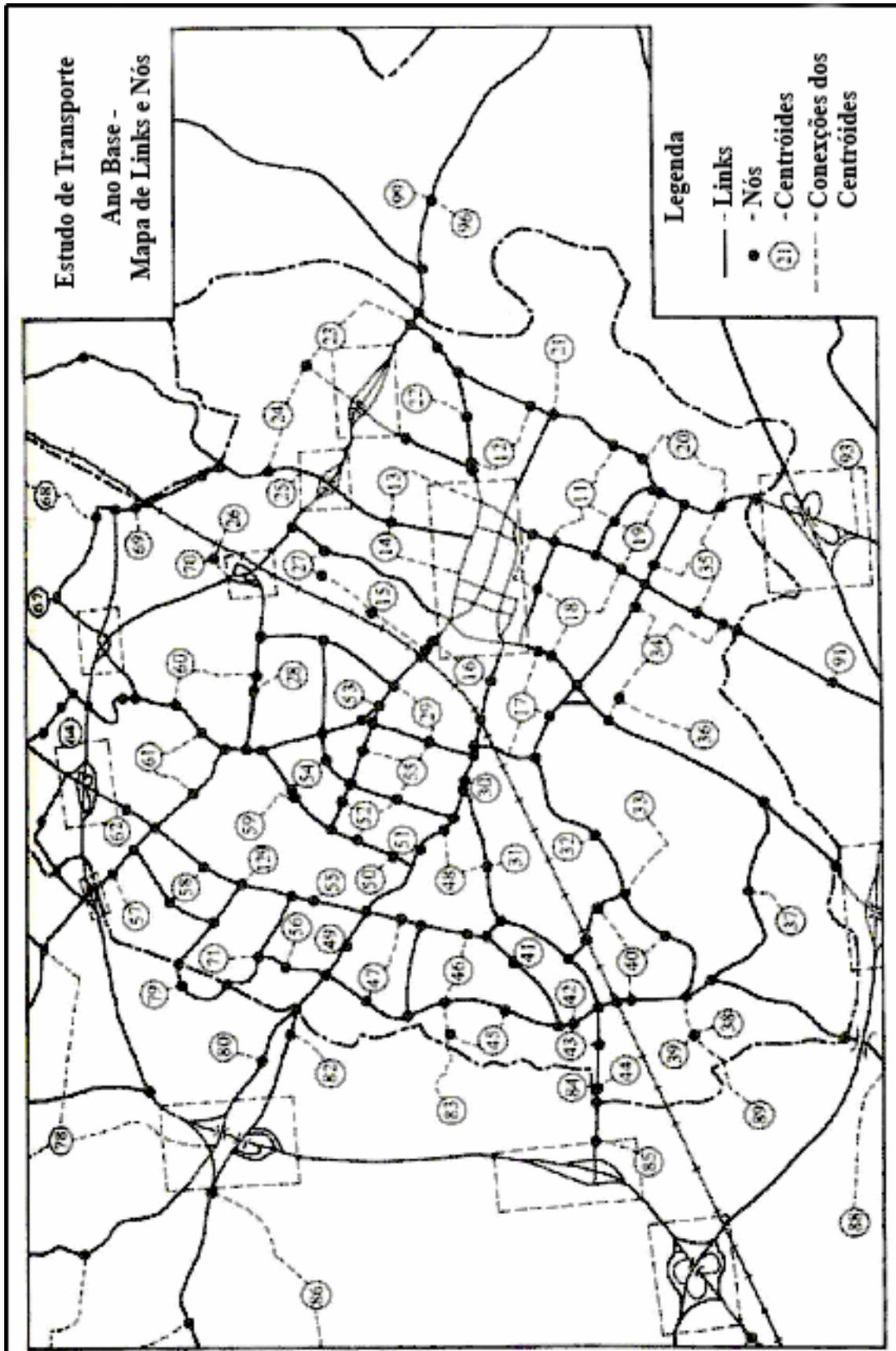
- *Local*: situação na área de estudo, ressaltando sua importância, categoria e principais interseções.
- *Dimensões Físicas*: caracterização de cada via: comprimento, largura, número de faixas de tráfego, tipo de via, controles de acesso, etc.
- *Características do Tráfego*: velocidade média de viagem nas horas de pico e fora dela, volumes de tráfego existentes, composição modal do tráfego, etc.
- *Regulamentação do Tráfego*: sinalização das vias, mãos de direção, possibilidades de estacionamento, conversões proibidas, etc.

Para a rede de transportes coletivos é necessário além dos dados levantados para a rede viária, um inventário geral do sistema de transportes coletivos, a saber:

- Mapa das rotas;
- Intervalos médios entre veículos consecutivos de cada rota (“headway”);
- Comprimento e tempo médio de percurso de cada rota;
- Períodos de operação;
- Frotas de veículos;
- Custos de operação.

De posse dos elementos descritos, pode-se determinar velocidades, tempos de viagem e capacidades, e testar a consistência da rede, para verificar se está representando realmente os sistemas viários e de transportes coletivos existentes.

Figura 24 - Rede viária



6 – PESQUISAS DE TRÁFEGO

6 PESQUISAS DE TRÁFEGO

Os procedimentos normalmente utilizados na engenharia de tráfego para levantamentos de dados de campo são as pesquisas, que podem ser feitas mediante entrevistas ou por observação direta.

Nas entrevistas, o processo consiste em obter a informação formulando perguntas orais ou escritas ao usuário, classificando suas respostas de acordo com certos padrões estabelecidos. Na observação direta, trata-se de registrar os fenômenos de trânsito tal como são, sem perturbá-los.

As pesquisas e as técnicas de levantamento mais empregadas nos estudos de tráfego são descritas a seguir. Da bibliografia consultada, cabe mencionar as publicações *Pesquisa e Levantamentos de Tráfego*, da Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET – SP) e *Principios de Ingeniería de Tránsito*, do Institute of Transportation Engineers, ITE, 2003, das quais foram extraídos exemplos e importantes informações.

6.1 CONTAGENS VOLUMÉTRICAS

6.1.1 OBJETIVO

As *Contagens Volumétricas* visam determinar a quantidade, o sentido e a composição do fluxo de veículos que passam por um ou vários pontos selecionados do sistema viário, numa determinada unidade de tempo. Essas informações serão usadas na análise de capacidade, na avaliação das causas de congestionamento e de elevados índices de acidentes, no dimensionamento do pavimento, nos projetos de canalização do tráfego e outras melhorias.

Existem dois locais básicos para realização das contagens: nos trechos entre interseções e nas interseções. As contagens entre interseções têm como objetivo identificar os fluxos de uma determinada via e as contagens em interseções levantar fluxos das vias que se interceptam e dos seus ramos de ligação.

6.1.2 CLASSIFICAÇÃO

As contagens volumétricas para estudos em áreas rurais classificam-se em:

a) Contagens Globais

São aquelas em que é registrado o número de veículos que circulam por um trecho de via, independentemente de seu sentido, grupando-os geralmente pelas suas diversas classes. São empregadas para o cálculo de volumes diários, preparação de mapas de fluxo e determinação de tendências do tráfego.

b) Contagens Direcionais

São aquelas em que é registrado o número de veículos por sentido do fluxo e são empregadas para cálculos de capacidade, determinação de intervalos de sinais, justificação de controles de trânsito, estudos de acidentes, previsão de faixas adicionais em rampas ascendentes, etc.

c) Contagens Classificatórias

Nessas contagens são registrados os volumes para os vários tipos ou classes de veículos. São empregadas para o dimensionamento estrutural e projeto geométrico de rodovias e interseções, cálculo de capacidade, cálculo de benefícios aos usuários e determinação dos fatores de correção para as contagens mecânicas.

6.1.3 MÉTODOS DE CONTAGEM

As contagens volumétricas podem ser realizadas das seguintes formas:

6.1.3.1 CONTAGENS MANUAIS

São contagens feitas por pesquisadores, com auxílio de fichas e contadores manuais. São ideais para a classificação de veículos, análise de movimentos em interseções e contagens em rodovias com muitas faixas. Para contagens em vias urbanas é comum adotar um critério de agrupamento de veículos com base em características semelhantes de operação (automóveis, ônibus e caminhões).

O processo normal de coleta consiste em utilizar contadores manuais mecânicos presos em uma prancheta, na qual está também a ficha para transcrição dos dados. As instruções básicas para a realização das contagens volumétricas manuais estão consubstanciadas na publicação do DNER, "*Metodologia de Contagem Volumétrica de Tráfego*". Em anexo são apresentados dois modelos de fichas de contagem volumétrica: I e II (Figuras 26 e 27).

A ficha I é mais adequada para trechos com baixo volume de tráfego, e deverá incluir os tipos de veículos previstos no trecho. Prevê-se contagem manual, que poderá ser feita com traços a lápis para cada veículo e totalizada por sentido, para cada intervalo de tempo escolhido.

A ficha II prevê a utilização de contadores manuais mecânicos, escrevendo-se os totais de cada intervalo horário, para cada tipo de veículo e preenchendo uma ficha para cada sentido. Esta ficha costuma também ser preparada trocando as posições dos veículos com os períodos de contagem.

Pode-se utilizar também contadores manuais eletrônicos que gravam em uma memória interna os resultados das contagens e que podem ser transferidos diretamente para computadores ou por linhas telefônicas através de um modem (Figura 25). As principais

vantagens desses contadores são: dispensar anotações periódicas de dados durante o levantamento; efetuar os cálculos necessários com uso de programação própria, reduzindo o número de erros, pela eliminação de transcrições manuais para posterior processamento.

É fundamental a anotação de quaisquer fatores que dificultem ou possam falsear os resultados das contagens. Interrupções podem ser causadas por acidentes, obras, afundamento de pista, etc., e, se não forem devidamente anotadas, poderão fazer com que o fluxo medido seja inferior ao real em condições normais.

Este método tem a vantagem de ser de fácil operação, com custos baixos e alta flexibilidade quanto à mudança de locais para a cobertura de uma área num período curto de tempo.

Figura 25 - Contador manual eletrônico

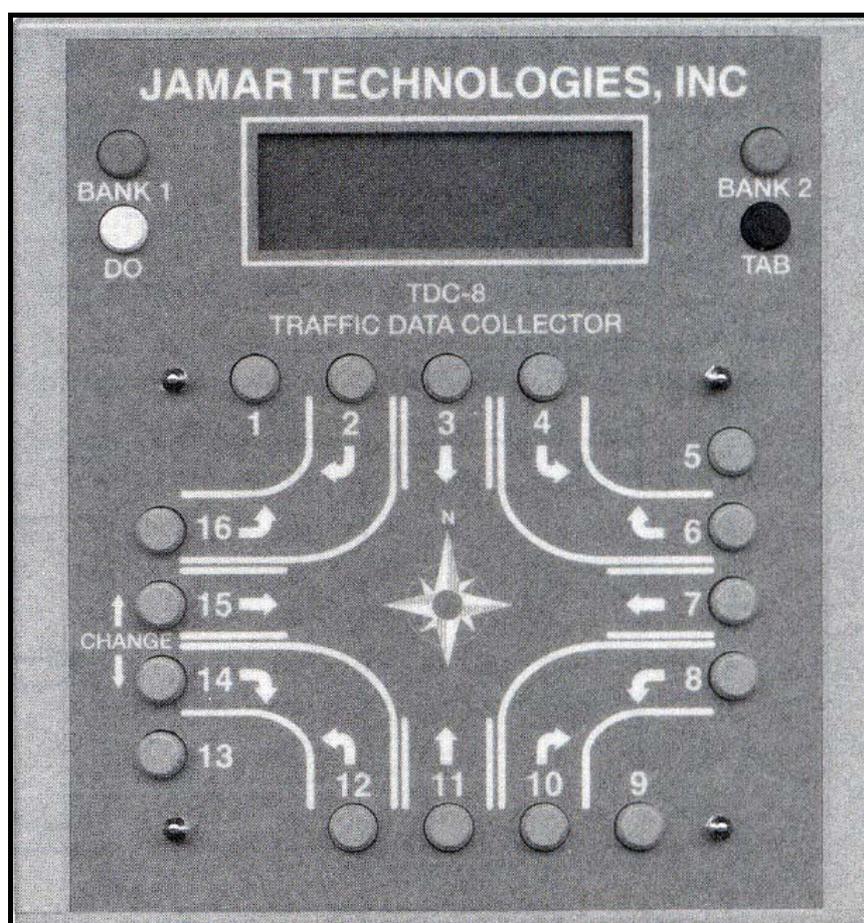


Figura 27 - Ficha de contagem volumétrica II

CONTAGEM VOLUMÉTRICA

ESTADO		RODOVIA		CÓD. PIN		TRECHO		A		B	
POSTO		LOCAL DA CONTAGEM MARCO OULOMÉTRICO		DIRADACONTAGEM		HORANÍCIO		HORATÉRMINO		SENTIDO A → B B → A	
HORÁRIO		0-1		1-2		2-3		3-4		4-5	
CARROS DE PASSEIO		5-6		6-7		7-8		8-9		9-10	
CAMIONETAS		11-12		12-13		13-14		14-15		15-16	
ÔNIBUS		16-17		17-18		18-19		19-20		20-21	
C		21-22		22-23		23-24		TOTAL			
A											
M											
I											
II											
H											
Ô											
E											
S											
2C											
2C3											
3C2											
3C3											
OUTROS											
TOTAL											

6.1.3.2 CONTAGENS AUTOMÁTICAS

São contagens feitas através de contadores automáticos de diversos tipos, em que os veículos são detectados através de tubos pneumáticos ou dispositivos magnéticos, sonoros, radar, células fotoelétricas, etc. Atualmente são usados contadores registradores acoplados a computadores, que fornecem um registro permanente dos volumes e podem ser programados para outros objetivos específicos.

Apresentam a desvantagem do custo elevado e de sua exposição a roubos e vandalismo. Entretanto, seu constante aperfeiçoamento tecnológico tem reduzido continuamente seus custos e dimensões, e tornado cada vez mais fácil ocultar os equipamentos.

Os contadores automáticos têm dois componentes básicos: uma unidade captadora para detectar a passagem dos veículos e uma unidade acumuladora de dados. Podem ser *portáteis* ou *permanentes*, dependendo de sua finalidade.

Contadores automáticos portáteis

São utilizados normalmente para pesquisas de tempo limitado, de 24 horas, mas que podem se estender por algumas semanas. São úteis também em situações que, por razões de segurança, se deseja evitar a presença de observadores (em túneis, pontes, mau tempo, etc.).

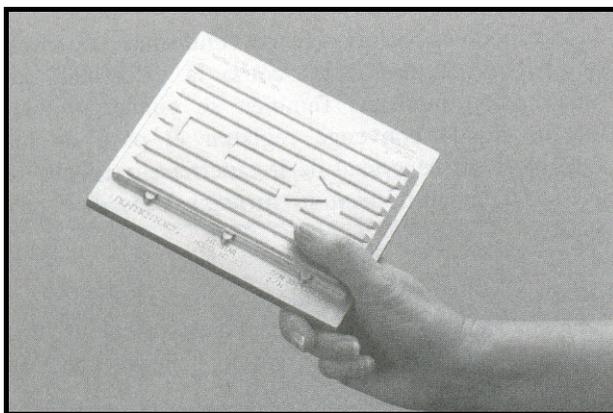
Os contadores portáteis mais comuns usam tubos pneumáticos que, estendidos transversalmente ao pavimento, registram a passagem de eixos sucessivos, possibilitando determinar as quantidades de eixos que passam em um período qualquer. Alguns tipos registram a passagem de um veículo para cada segundo eixo que passa, o que é uma simplificação excessiva. Não permitem classificar os veículos por categoria, exigindo que se façam contagens manuais complementares para esse fim. Com base na classificação feita podem então ser obtidos os números de veículos. Não são eliminados alguns problemas de menor importância, como a sub-contagem, causada pela passagem simultânea de dois eixos em faixas paralelas e a super-contagem, resultante da passagem de eixos não perpendiculares ao tubo pneumático. Apresentam ainda a desvantagem da dificuldade de seu uso em rodovias não pavimentadas.

Contadores mais sofisticados, do tipo *Marksman 400*, utilizam tubos pneumáticos, mas permitem determinar diretamente: tipo de veículo, velocidade, comprimento e número de eixos por veículo. Podem ser conectados a computadores portáteis ou não, e utilizar sistemas já existentes para classificação de veículos por velocidade, número de eixos, comprimento, etc.

Existe um outro tipo de contador portátil (*Hi-Star*), com sensor magnético, que permite detectar a passagem dos veículos e não de seus eixos. As unidades captadora e acumuladora são incluídas em uma placa muito pequena que se fixa no pavimento (Figura 28). Velocidade, tipo e comprimento de cada veículo que passa sobre ou junto à placa são obtidos com base na tecnologia IMV (Imagem Magnética do Veículo), que determina a interferência que a massa do veículo exerce no campo magnético terrestre.

Os dados captados são transferidos para computadores, onde são processados. Esses novos contadores permitem dispensar, na maioria dos casos, contagens classificatórias complementares.

Figura 28 - Contador automático portátil “Hi-Star”



Contadores automáticos permanentes

Os órgãos responsáveis pela administração dos sistemas viários muitas vezes instalam postos permanentes nos locais em que desejam efetuar contagens contínuas, de longa duração (por exemplo 24 horas por dia, durante todo o ano). Os dados levantados nesses postos são normalmente parte de um programa de estudo das características e tendências do tráfego de uma determinada área (município, estado, região, etc.).

As unidades acumuladoras são as mesmas usadas em contadores portáteis. A captação entretanto, costuma ser feita por sensores de natureza mais estável. Entre os mais utilizados atualmente, pode-se citar os *indutores em "loop"*, que são instalados de forma permanente no pavimento. Outros tipos de unidades captadoras usam dispositivos magnéticos, sonoros, radar, microondas, luz infravermelha, células fotoelétricas, etc.

6.1.3.3 VIDEOTEIPE

O procedimento de filmagem com câmaras de vídeo pode também ser utilizado para determinar volumes de tráfego. Entretanto, muitas vezes se gasta mais tempo em sua instalação do que em levantar os dados manualmente. Oferece algumas vantagens:

- Todos os movimentos direcionais que ocorrem simultaneamente, por maiores que sejam, podem ser levantados por um só observador;
- Maior confiança nos levantamentos, pois se podem comprovar os dados;
- Trabalha-se com mais conforto, ao abrigo do tempo;
- Pode-se obter outros dados de interesse.

Uma câmara de vídeo pode ser particularmente útil para levantar todos os movimentos dos veículos em uma interseção típica. Um relógio digital na imagem, ou observações verbais do operador da câmara, permitem identificar os intervalos de tempo de interesse.

Para simples contagem de veículos outros métodos são mais vantajosos, pelo menor custo, porém estudos mais detalhados, incluindo giros, oportunidades de uso de intervalos entre veículos sucessivos, classificação detalhada da frota, determinação de velocidades, etc., podem justificar seu emprego.

Estão sendo desenvolvidos sistemas de processamento que permitem extração automática de dados de tráfego de veículos e de pedestres diretamente das imagens de vídeo, aumentando as vantagens de seu uso.

6.1.3.4 MÉTODO DO OBSERVADOR MÓVEL

Esse método é usado para obtenção do número de veículos, não em um ponto da via, mas sim num determinado trecho da mesma. Serve ainda para determinar tempos e velocidades de percurso médias, tendo sua maior utilização em vias urbanas.

Para sua aplicação se emprega um veículo-teste que percorre várias vezes o trecho em estudo, sendo anotadas as seguintes informações:

- número de veículos E_s que percorrem a via em sentido contrário;
- número de veículos U_n que o ultrapassam;
- número de veículos P_n ultrapassados pelo veículo-teste;
- tempo de percurso T_n no sentido norte (min);
- tempo de percurso T_s no sentido sul (min).

A seguinte fórmula dará uma estimativa do volume de tráfego V_n :

$$V_n = 60 \left(\frac{E_s + U_n - P_n}{T_n + T_s} \right)$$

Esta metodologia encontra-se detalhadamente exposta no item 6.4.3.4

6.1.4 CONTAGENS NOS TRECHOS CONTÍNUOS

O ponto onde se procede o registro do número de veículos que por ele passam durante um determinado período, é denominado *Posto de Contagem*. Para estudos em sistemas de vias rurais são usados três tipos distintos de postos: postos permanentes, postos sazonais e postos de cobertura. Para estudos especiais, ou em sistemas de vias urbanas, normalmente são utilizados dois tipos de postos: postos no cordão externo e postos no cordão interno.

6.1.4.1 POSTOS PERMANENTES

São instalados em todos os pontos onde se necessite uma série contínua de dados para a determinação de volumes horários, tendências dos volumes de tráfego, ajustamento de

contagens curtas em outros locais, etc. Sua localização deve ser distribuída de tal modo que sejam representativos de cada tipo de via do sistema, de acordo com:

- Sua função (rodovia interurbana, vicinal, turística, etc.);
- Situação geográfica;
- Relação com zonas urbanas ou industriais;
- Volume de tráfego.

Os postos permanentes funcionam 24 horas por dia, durante os 365 dias do ano. Neles devem ser instalados contadores que registrem os volumes que passam em cada hora e a cada 15 minutos.

6.1.4.2 POSTOS SAZONAIS

Destinados a determinar a variação dos volumes de tráfego durante o ano. Sua localização deve obedecer os mesmos critérios mencionados para os postos permanentes. Estes postos se classificam em:

- *Postos Principais*: onde se realiza uma contagem horária contínua de uma semana em cada mês. Em alguns locais pode ser executada cada dois meses, durante um mínimo de três dias da semana, um sábado e um domingo consecutivos.
- *Postos Secundários*: onde se realizam contagens a cada dois ou três meses, durante dois a cinco dias consecutivos da semana.

O número de postos secundários é normalmente o dobro dos principais. As contagens podem ser feitas manualmente com ou sem o auxílio de registradores mecânicos.

6.1.4.3 POSTOS DE COBERTURA

Nestes postos se realizam contagens uma vez no ano durante 48 horas consecutivas em dois dias úteis da semana. O número de postos deve ser suficiente para completar a cobertura de todos os trechos do sistema. Não é necessário fazer contagem nesses postos todos os anos, à exceção daqueles necessários para comprovar variações previstas.

Para Estudos de Viabilidade e Projetos de Engenharia os postos serão de natureza diferente dos mencionados anteriormente, em vista da curta duração desses serviços. Nesse caso, cada trecho deverá ser dividido em segmentos homogêneos quanto ao fluxo, ou seja, cada posto deverá corresponder a um subtrecho em que a composição e o volume de veículos não sofra variações significativas. Os postos deverão estar afastados das extremidades do trecho, a fim de evitar distorções.

A duração das contagens nesses postos será função do grau de confiabilidade desejado na determinação do VMD, podendo ser de 7, 3 ou 1 dia, de 24 ou 16 horas. O período deve ser suficiente para a determinação de fatores de correção a serem introduzidos nas contagens de duração menor. Oferecem, ainda, um subsídio valioso na determinação da

hora de projeto. Em casos de contagens especiais (movimentos em interseções, cálculos de capacidade etc.) essa duração poderá variar sensivelmente.

6.1.4.4 POSTOS NO CORDÃO EXTERNO (CORDON LINE)

O cordão externo define os limites da área de influência direta dos estudos. Os postos de contagem devem ser localizados de modo a cobrir pelo menos 95% do tráfego que cruza o cordão. Em todos os postos em que se realizarem pesquisas de origem e destino (O/D) serão feitas contagens, pelo menos durante o período de seu funcionamento.

De um modo geral, os postos de contagem operarão durante 16 horas por dia, de 6:00 às 22:00 horas, podendo ser necessário, nas principais vias, estender o período para cobrir as 24 horas do dia. Essas contagens têm também o objetivo de expansão dos resultados das pesquisas de O/D.

6.1.4.5 POSTOS NO CORDÃO INTERNO (SCREEN LINE)

Um cordão interno tem como objetivo dividir a área de influência direta, de modo a possibilitar uma comparação entre os fluxos reais de tráfego que cruzam o cordão, com os obtidos a partir das pesquisas de origem e destino, para verificar seu grau de precisão e proceder ao seu ajustamento. O cordão interno geralmente utiliza uma barreira natural ou artificial, que tenha um número limitado de pontos de cruzamento, tais como um rio, uma via férrea ou uma via expressa.

Nestes pontos de cruzamento normalmente são feitas contagens volumétricas do tráfego cruzando o cordão interno ou linha de controle, durante períodos de 12 a 24 horas, em um dia de semana, com totalização por hora. O número de dias de contagens e sua duração deverá garantir uma precisão de resultados superior ou no mínimo igual ao das pesquisas de O/D que pretende ajustar. O ideal é fazer algumas contagens com intervalos de mais de uma semana, em diferentes dias da semana, para eliminar quaisquer condições peculiares.

6.1.4.6 RECURSOS HUMANOS

Os recursos humanos e materiais necessários à execução das contagens volumétricas descritas são basicamente função dos movimentos a serem pesquisados e suas características: número, período de ocorrência, sentido, classificação dos veículos, magnitude dos fluxos que representam, etc.

Para contagens manuais em rodovias rurais de uma pista com duas faixas e dois sentidos de tráfego pode-se admitir que:

- a) Um pesquisador experimentado pode contar e classificar por tipo de veículo e por sentido de tráfego, todos os veículos até o volume da ordem de 350 veículos por hora, ou cerca de 2.300 veículos por dia, admitindo-se que a hora de volume máximo não passe de 15% do tráfego diário.

- b) Para volumes superiores se utilizarão pelo menos 2 pesquisadores, cada um contando e classificando os veículos de uma mesma faixa e sentido de tráfego. Um pesquisador pode ser responsável por até 450 veículos por hora, ou cerca de 5.000 veículos por dia, considerando que na hora de maior volume se tenha uma distribuição por sentido de 60/40, e 15% do volume diário .

Para o caso de rodovias de quatro ou mais faixas, o dimensionamento será feito com base na capacidade de um pesquisador contando e classificando os veículos de uma mesma faixa e sentido de tráfego.

Esses valores são aproximados, pois há muitos fatores a serem considerados, tais como a experiência dos pesquisadores e a distribuição horária dos veículos, mas servem para uma orientação preliminar quanto ao pessoal necessário.

No caso de contagens automáticas, os recursos humanos serão dimensionados em função das necessidades de manutenção dos equipamentos instalados e da frequência com que se deseja colher dados já registrados, tendo como principal controle a representatividade dos volumes contados.

6.1.5 CONTAGENS EM INTERSEÇÕES

6.1.5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A definição da solução a adotar para uma determinada interseção e o dimensionamento de seus ramos dependem necessariamente do volume e das características do tráfego que circulará no ano de projeto.

As contagens em interseções são realizadas visando a obtenção de dados necessários à elaboração de seus fluxogramas, projetos de canalização, identificação dos movimentos permitidos, cálculos de capacidade e análise de acidentes.

Os dados de tráfego deverão incluir os *Volumes Médios Diários* (VMD) e os *Volumes Horários de Projeto* (VHP). Deverão ser representados em fluxogramas indicativos das diversas correntes de veículos, classificados de acordo com as finalidades do estudo, pelo menos em carros de passeio, ônibus e veículos de carga, mais comumente designados como automóveis ou carros, ônibus e caminhões. Os fluxogramas serão preparados para o ano de projeto e, eventualmente, para uma interseção a ser implantada por etapas, para o ano da abertura ao tráfego e os de ampliação. Recomenda-se sempre que possível, que o Volume Horário de Projeto (VHP) seja expresso também em unidades de carro de passeio por hora (UCP/hora).

No caso de interseções existentes, esses dados serão obtidos a partir de contagens, em pontos apropriados. Em trechos virgens, serão obtidos por meio de pesquisas de O/D complementadas por contagens de volume. Os locais dos postos de pesquisa serão identificados na malha existente, de modo a cobrir as alternativas de acesso das correntes da interseção futura.

O ano de projeto é geralmente considerado como o décimo ano após a conclusão das obras programadas. Para esse ano deve ser projetado o tráfego obtido nos levantamentos efetuados. No caso de rodovias exploradas por regime de Concessão, pode haver conveniência em executar a projeção também para o seu final.

6.1.5.2 INFORMAÇÕES BÁSICAS

Para obtenção dos dados necessários ao estudo das interseções deverão ser levantadas as seguintes informações:

- a) Determinação preliminar dos períodos de pico de tráfego, através do exame de contagens de tráfego eventualmente existentes ou de observação específica do local, complementada com consultas a autoridades locais em condições de prestar informações confiáveis. Nessa pesquisa se procurará identificar os dias de semana e períodos horários em que ocorrem os picos de tráfego.
- b) Identificação das características dos veículos de maiores dimensões que ocorrem normalmente na interseção.
- c) Identificação de elementos existentes que permitam determinar fatores de sazonalidade para ajustamento dos resultados das contagens ao período do ano de maior fluxo de tráfego, tais como:
 - postos de contagens permanentes ou que levantem informações de diversas épocas do ano;
 - contagens existentes em períodos específicos do ano, conhecidos como de maior volume de tráfego no local;
 - outros indicadores da flutuação sazonal do tráfego.
- d) Identificação de elementos existentes que permitam determinar os fatores de expansão necessários à determinação do Volume Médio Diário (VMD) das diversas correntes da interseção.
- e) Levantamento de valores de taxas de crescimento a aplicar aos volumes determinados nas contagens, obtidos de estudos socioeconômicos ou estudos de tráfego existentes.

6.1.5.3 PLANEJAMENTO DAS CONTAGENS

A finalidade dos dados a serem levantados é fator preponderante para o seu planejamento. Os procedimentos descritos a seguir assumem que se está obtendo dados para identificar o horário de pico e determinar a variação do volume de tráfego durante o período de pico.

As contagens deverão ser executadas pelo menos durante três dias, escolhidos de forma a incluir o provável pico horário semanal. Normalmente, serão realizadas nos dias úteis, exceto onde predominarem problemas relacionados com o tráfego de fim-de-semana. Nessas contagens serão determinados separadamente os volumes dos veículos da classificação adotada. Para o caso de interseções e acessos com volume horário da via

principal inferior a 300 UCP ou da via secundária inferior a 50 UCP a contagem deverá ser feita pelo menos durante um dia da semana em que se tenha na rodovia principal maior movimento.

Como já observado, para os casos onde não existir uma interseção, deverão ser realizadas pesquisas de origem e destino, complementadas por contagens de volume, em locais que cubram as alternativas das futuras correntes de tráfego da interseção.

No caso de contagens em várias interseções pode surgir a necessidade de economizar recursos humanos e materiais. Embora cada uma das interseções possa ser pesquisada pelos períodos completos estipulados para a pesquisa, isto torna-se freqüentemente inviável dado o alto dispêndio de recursos que acarreta. Utilizando-se dos conhecimentos a respeito das flutuações de fluxos, pode-se propor um esquema diferente de contagens realizando a pesquisa em um período menor em algumas interseções e expandindo os dados, de modo a minimizar os recursos.

A expansão sempre incorrerá em algum erro, pois jamais refletirá com exatidão os valores reais do posto, que seriam obtidos se ele fosse observado pelo período completo. No entanto, a prática tem mostrado que este erro está dentro de limites aceitáveis na maioria dos casos e que a economia de recursos é plenamente justificada. Naturalmente, as dimensões do erro, e a decisão dos seus limites de aceitabilidade, serão sempre função da precisão da pesquisa e dos critérios estabelecidos.

Os horários mais comuns para a pesquisa são aqueles em que ocorrem os maiores fluxos, chamados “horas de pico”, pois é nestes momentos que a interseção está sob solicitação máxima. A pesquisa deve abranger no mínimo estes horários, tomando-se o cuidado de colher dados num período suficiente para visualizar a ocorrência do pico. Se não houver dados disponíveis deve-se proceder a uma contagem preliminar para esse fim. Normalmente, sabendo-se de antemão o horário aproximado do pico, a contagem de duas a quatro horas no seu entorno é suficiente para caracterizar e conhecer o volume de pico. Esta pesquisa deve ser realizada nos períodos da manhã e da tarde, obtendo-se os chamados “pico da manhã” e “pico da tarde”. Havendo interesse e recursos pode-se obter fluxos característicos de outros horários; pico do almoço, por exemplo, se existir, ou período fora de pico ou mesmo do dia todo.

Em geral, estas contagens devem ser feitas durante oito horas: três horas que incluam o pico da manhã, três horas incluído o pico da tarde e duas horas fora do pico. Em algumas áreas, a hora do almoço pode apresentar problemas específicos. Em tal caso, deverá ser feita também uma contagem nesse horário. A incidência dos picos pode ser estabelecida a partir das contagens de fluxo de tráfego de 24 horas, descritas anteriormente. As contagens deverão ser divididas em intervalos de 15 minutos, para determinar as variações dentro da própria hora de pico.

Dependendo da precisão e finalidade dos estudos, as contagens poderão ser feitas sem considerar os tipos de veículos ou grupando-os em classes. É muito comum considerar as classes Carros de Passeio (P), Ônibus (O) e Veículos de Carga (C). Um exemplo de

formulário para registrar os movimentos de conversão é apresentado na Figura 29. Para cada origem e para cada tipo de veículo se usa uma ficha de contagem.

6.1.5.4 DETERMINAÇÃO DO FLUXOGRAMA DE PROJETO

a) Vias com Flutuação Normal de Tráfego

Conforme consta do *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais – DNER – 1999*, o nível de serviço recomendado para o projeto de rodovias rurais é apresentado na Tabela 19 (Quadro 4.3.2.1 do Manual citado).

Tabela 19 - Seleção do nível de serviço no projeto de rodovias rurais

Tipo de rodovia	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Via Expressa	B	B	C
Via Arterial	B	B	C
Coletora	C	C	D
Local	D	D	D

NOTA: Condições gerais de operação para níveis de serviço

A - fluxo livre, com baixos volumes e altas velocidades.

B - fluxo razoavelmente livre, porém com velocidade começando a diminuir devido às condições do tráfego.

C - zona de fluxo estável, porém com restrições quanto à liberdade dos motoristas de escolher sua própria velocidade.

D - aproximando-se de fluxo instável, os motoristas têm pouca liberdade de manobra.

E - fluxo instável, possíveis paradas breves.

Dado o caráter localizado de uma interseção e à maior dificuldade de se atender níveis de serviço elevados, sem custos excessivos, deve-se considerar, para qualquer tipo de rodovia, os níveis *B* e *C* como desejados, e o nível *D* como necessário. A adoção dos níveis desejados pode depender, em alguns casos, de estudos de viabilidade técnico-econômica.

Figura 29 - Formulário para contagem de tráfego em interseções

CONTAGEM EM INTERSEÇÕES

A FOLHA Nº _____		B POSTO Nº _____		C TEMPO <input type="checkbox"/> SOL <input type="checkbox"/> CHUVA <input type="checkbox"/> NUBLADO		D DIA DA SEMANA <input type="checkbox"/> DOM <input type="checkbox"/> QUI <input type="checkbox"/> SEG <input type="checkbox"/> SEX <input type="checkbox"/> TER <input type="checkbox"/> SAB <input type="checkbox"/> QUA		E DATA / /		F ESQUEMA DE LOCALIZAÇÃO		G PESQUISADOR _____	
HORA DE [][] ATÉ [][]		DE SENTIDO PARA		DE SENTIDO PARA		DE SENTIDO PARA		DE SENTIDO PARA		DE SENTIDO PARA		DE SENTIDO PARA	
		MOVIMENTO		MOVIMENTO		MOVIMENTO		MOVIMENTO		MOVIMENTO		MOVIMENTO	
DE [][] ATÉ [][]		AUTO	ÔNIBUS	CAMINHÃO	AUTO	ÔNIBUS	CAMINHÃO	AUTO	ÔNIBUS	CAMINHÃO	AUTO	ÔNIBUS	CAMINHÃO
DE [][] ATÉ [][]		[][]	[][]	[][]	[][]	[][]	[][]	[][]	[][]	[][]	[][]	[][]	[][]
DE [][] ATÉ [][]		[][]	[][]	[][]	[][]	[][]	[][]	[][]	[][]	[][]	[][]	[][]	[][]
DE [][] ATÉ [][]		[][]	[][]	[][]	[][]	[][]	[][]	[][]	[][]	[][]	[][]	[][]	[][]

Para determinar os níveis de serviço de uma interseção pode-se utilizar um fluxograma dos volumes na Hora de Projeto em Unidades de Carros de Passeio, (UCP) empregando os equivalentes em carros de passeio dos vários tipos de veículos considerados nas Normas Alemãs, constantes da Tabela 9.

Para obter os fluxogramas necessários ao projeto, a partir das contagens e pesquisas de O/D eventualmente efetuadas, devem-se executar as seguintes tarefas:

- Determinação dos volumes horários das diversas correntes de tráfego da interseção, na Hora de Pico, corrigidos por expansão sazonal, para que representem o período de maior tráfego no ano das pesquisas; obtém-se o *Fluxograma da Hora de Pico no Ano das Pesquisas*.
- Projeção do fluxograma feito para o ano de abertura ao tráfego do projeto: obtém-se o *Fluxograma da Hora de Pico no Ano de Abertura*.
- Projeção do fluxograma feito para o ano de projeto (10º ano a contar da abertura ao tráfego): obtém-se o *Fluxograma da Hora de Pico do Projeto*.

O projeto elaborado para a interseção deverá oferecer o nível de serviço recomendado na Tabela 19 e observações complementares, para o tráfego do *Fluxograma da Hora de Pico do Projeto*.

Considerando que normalmente se tem taxas de crescimento de tráfego diferentes para tráfego de passageiros e de carga pode ser necessário preparar fluxogramas em UCP separadamente para essas diferentes categorias. Os fluxogramas de projeto reunirão os eventuais fluxogramas componentes, para que se possa determinar os níveis de serviço da interseção.

A escolha do método de determinação de níveis de serviço poderá ser o das *Normas Alemãs* - HSB, em que se procederá exatamente da forma descrita, ou do *Highway Capacity Manual* - HCM, em que serão necessárias algumas adaptações, no que se refere a equivalentes em carros de passeio.

É importante observar:

- No caso em que as obras previstas no projeto possam resultar em desvios de tráfego de ou para a interseção projetada, devem ser considerados nos diversos fluxogramas os efeitos desses desvios.
- É possível que se tenha que considerar mais de um período de pico, resultando em aumento do número de fluxogramas a serem feitos e níveis de serviço a serem calculados.

É fato comum que dificuldades locais, ou custos elevados, possam impossibilitar a adoção do nível recomendado, mas esse é um problema que terá de ser enfrentado caso a caso, não se podendo criar regras gerais para sua solução.

b) Vias com Grande Flutuação de Tráfego

No caso de rodovias de grande variação sazonal (turísticas, recreacionais, etc), ou com variações de fluxos incomuns (festas religiosas, eventos esportivos, etc), os volumes de tráfego são concentrados durante períodos específicos, resultando em períodos de pico com valores excessivos, praticamente impossíveis de atender sem custos desproporcionais à importância da rodovia. Recomenda-se que desejavelmente a capacidade não seja excedida. Para atender esses casos pode ser adotada a seguinte metodologia:

Conforme consta do *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais* – DNER – 1999, tem sido utilizado para representar o Volume Horário de Projeto (VHP), onde não se dispõe de contagens específicas para esse fim, o valor de 8,5% do VMD anual, que corresponde aproximadamente ao volume da 50ª Hora. Esse percentual poderá ser então adotado, com o mesmo objetivo, para os diversos ramos de uma interseção em que não se dispuser de valores confiáveis para a 50ª Hora. Esses valores representam os volumes máximos a atender no projeto de cada ramo. Como consequência, na determinação do conjunto de volumes dos vários ramos na hora de projeto de uma interseção, em nenhum deles haverá obrigatoriedade de atender eventuais valores maiores.

Para obter os fluxogramas necessários ao projeto, a partir das contagens e pesquisas de O/D eventualmente efetuadas, devem-se executar as seguintes tarefas:

- Determinação, por expansão das contagens feitas, do VMD anual de cada fluxo da interseção, no ano de execução das contagens.
- Preparação de um fluxograma com os VMDs determinados.
- Determinação dos volumes horários das diversas correntes de tráfego da interseção, na Hora de Pico, corrigidos por expansão sazonal, para que representem o período de maior tráfego no ano das pesquisas; obtém-se o *Fluxograma da Hora de Pico no Ano das Pesquisas*.
- Projeção do fluxograma feito para o ano de abertura ao tráfego do projeto: obtém-se o *Fluxograma da Hora de Pico no Ano de Abertura*.
- Preparação de um fluxograma com 8,5% do VMD anual de cada corrente de tráfego, para o ano de abertura ao tráfego do projeto; obtém-se o *Fluxograma da 50ª Hora no Ano de Abertura*.
- Preparação de um fluxograma com os menores valores dos dois fluxogramas anteriores (Fluxograma da Hora de Pico no Ano de Abertura x Fluxograma da 50ª Hora no Ano de Abertura); obtém-se o *Fluxograma Reduzido na Hora de Pico no Ano de Abertura*.
- Determinação das projeções dos Fluxogramas: *Fluxograma da Hora de Pico no Ano de Abertura* e *Fluxograma Reduzido na Hora de Pico no Ano de Abertura*. Para o Ano de Projeto (10º ano a contar da abertura ao tráfego); obtém-se os fluxogramas: *Fluxograma na Hora de Pico do Projeto* e *Fluxograma Reduzido na Hora de Pico do Projeto*.

O projeto elaborado para a interseção deverá oferecer o nível de serviço recomendado na Tabela 19 e observações complementares, para o tráfego do *Fluxograma Reduzido da Hora de Pico do Projeto*, sendo desejável que não ultrapasse o *Nível de Serviço E* para o *Fluxograma da Hora de Pico do Projeto*. Veja os exemplos do Apêndice B.2 - Fluxogramas Necessários ao Projeto de Interseções.

6.1.6 CONTAGENS DE PEDESTRES

Em trechos selecionados, onde a influência dos pedestres pode contribuir para causar problemas de capacidade e segurança, seus movimentos devem ser registrados, visando uma análise posterior da necessidade da construção de passarelas ou, no caso de interseções sinalizadas por semáforos, uma fase especial para pedestres. A localização dos pontos críticos ou perigosos será estabelecida a partir de inspeção do trecho e de informações complementares de autoridades locais.

Em geral, as contagens de pedestres deverão ser realizadas durante as horas de pico do tráfego de veículos. Mas, em casos especiais, como nas proximidades de uma escola, hospital ou fábricas, as contagens deverão ser feitas em horas de maior movimento de pedestres, que podem não corresponder ao pico do tráfego de veículos.

Onde existir uma passarela para pedestres que não esteja sendo aproveitada ao máximo, é importante tentar estabelecer durante as contagens as razões porque os pedestres preferem arriscar uma travessia em nível. De um modo geral deverá ser verificado porque certos locais, selecionados para maior segurança de travessia de pedestres, não são utilizados pelos mesmos.

A contagem manual só será possível para baixos volumes de pedestres e em locais em que o deslocamento deles é definido e previsível. Nos casos de grandes concentrações e/ou de circulação muito esparsa, a programação de contagens manuais é praticamente impossível e o método utilizado passa a ser a filmagem ou a fotografia que, embora registrem todos os dados, requerem muito trabalho de tabulação.

6.1.7 AMOSTRA

A rigor qualquer amostra deve ser dimensionada a partir de análise estatística (ver Apêndice A - Análise Estatística). No entanto, razões de caráter prático, baseadas na experiência pregressa dos órgãos rodoviários, levam à necessidade de tecer algumas considerações.

Para medir a utilização média de uma via, o índice adequado é o Volume Médio Diário (VMD). Há conveniência, entretanto, em determinar o Volume Horário de Projeto (VHP), que guarda relação com a capacidade da via e é de especial importância no seu dimensionamento.

No caso do volume médio diário, sua estimativa a partir de contagens rápidas sempre incorrerá em erro. A questão é saber qual é o erro e o que se admite como "tolerável". As Tabelas 20 a 22, adaptados de estudos feitos pelo *Road Research Laboratory* (Research

on Road Traffic, Her Majesty Stationery Office, London, 1965), fornecem uma orientação para o planejamento das pesquisas, relacionando os períodos de contagem a utilizar para os casos de contagens manuais e automáticas.

Tabela 20 - Qualidade de estimativas de contagem

Nível de precisão	90% de probabilidade do erro não ultrapassar	Interpretação da estimativa
A	5%	Excelente
B	5% a 10%	Satisfatória para todas as necessidades normais
C	10 % a 25%	Suficiente com estimativa grosseira
D	25 a 50%	Insatisfatória
E	mais de 50%	Inútil

FONTE: Research on Road Traffic, Transport and Road Research Laboratory, 1965

Para qualquer contagem é necessário decidir preliminarmente qual o nível de precisão requerido e então selecionar o método a ser adotado.

No que tange à aplicação dos métodos indicados é conveniente fazer as seguintes recomendações:

- a) De um modo geral pode-se dizer que, para qualquer nível de confiança, a precisão dos resultados é praticamente proporcional à raiz quadrada do número de observações. A grosso modo, para duplicar a precisão é necessário quadruplicar o número de observações, ou o custo dos estudos.
- b) Em uma rodovia com pouco tráfego a flutuação do volume é maior que em uma com tráfego elevado. Uma mesma amostra resulta em erro maior para tráfego menor, o que na prática é compensado por se precisar de menor precisão nos volumes baixos.
- c) O engenheiro de tráfego normalmente não tem os recursos nem o tempo necessários para conseguir a precisão que deseja. Tem que se conformar com a precisão possível e aproveitar a experiência acumulada nos órgãos rodoviários, para dimensionar de forma adequada as suas pesquisas.

Os órgãos responsáveis pelos sistemas de transporte rodoviário deverão planejar as contagens nas áreas de sua responsabilidade de modo a construir uma base de apoio para as contagens eventuais que se realizam para atender aos planos de expansão e manutenção do sistema. Isso se consegue classificando a rede viária, para fins de contagem, em três tipos: principal, secundária e terciária, em que se executarão contagens dos níveis de precisão A, B e C respectivamente.

Tabela 21 - Métodos manuais de contagem de volume

I – Usando Contadores Manuais			
Método	Nível de Precisão	Variações aceitáveis	Observações
(1) - Contagem durante 1 hora, em um dia de semana, entre 9 a.m. e 6 p.m.	D	A contagem pode ser estendida	
(2) - Contagem em um dia de semana, de 6 a.m. até 10 p.m.	C ou D		
(3) - Contagem entre 6 a.m. e 10 p.m. de 5ª Feira até Domingo	C	Pode ser estendida para dias incluindo 2ª Feira	Para a semana use 5 x 5ª + Sábado + Domingo
(4) - Contagem entre 6 a.m. e 10 p.m. em 7 dias consecutivos	C		
(5) - Métodos (1) a (4) em 4 vezes (6) - em intervalos de 3 meses (7) - (usando para (1) e (2) diferentes horas (8) - e dias)	C C B B	O número de vezes pode ser 2,3 ou 6 em vez de 4, alterando de forma semelhante o espaçamento	Calcule os totais de cada semana e então a média das 4 semanas
(9) - Contagem das 6 am às 10 pm de 52 em 52 dias durante 1 ano (7 contagens)	B		Estes métodos são de grande utilidade quando se tem que contar em vários pontos de uma mesma área. Podem ser feitas variações para atender a condições especiais
(10) - Contagem das 6 am às 10 pm de 26 em 26 dias durante 1 ano (14 contagens)	A ou B		
(11) - Contagem das 6 am às 10 pm de 13 em 13 dias durante 1 ano (28 contagens)	A		
(12) - Como em (9), mas divida o trecho do dia de interesse em 7 partes iguais (p. ex 2 horas. Em cada uma das 7 contagens conte uma parte, na ordem 1,4,7,3,6,2,5	C	Pode variar a parte em que inicia a contagem, mantendo a ordem, como 4,7,3,6,6,5,1, ou 3,6,2,5,1,4,7	
(13) - Como em (10) mas divida o trecho do dia de interesse em 14 partes iguais (por ex. 14 partes de 1 hora) e conte sucessivamente as partes 1,4,7,10,13,2,5,8,11,14,3,6,9,12	C		
(14) - Como em (11) divida o trecho do dia de interesse em 14 partes iguais e conte sucessivamente as partes 1,6,11,2,7,12,3,8,13,4,9,14, e então repita este ciclo	B		

Tabela 22 - Métodos automáticos de contagem de volume

II – Usando Contadores Automáticas			
Método	Nível de Precisão	Variações aceitáveis	Observações
(1) - Contagem contínua durante uma semana	C		
(2) - 4 contagens contínuas de uma semana em intervalos de 3 meses	B	Substitua 4 contagens por 2, 3, ou 6, em intervalos adequados	
(3) - Contagem contínua durante um ano	A		

As rodovias principais e secundárias devem ser suficientes para caracterizar as variações semanais e sazonais de toda a área. A rede terciária, de caráter local, não terá função de apoio a outras rodovias.

Os resultados obtidos nas redes viárias em geral pelos órgãos oficiais, além de atenderem às necessidades específicas da manutenção e administração do sistema, servirão de apoio aos estudos feitos para atender projetos específicos, a saber:

- projetos de novos trechos de implantação de rodovias;
- projetos de reabilitação de rodovias;
- projetos específicos de interseções;
- projetos de concessões de rodovias

Em um projeto de implantação ou de reabilitação de rodovia fazem-se normalmente:

- a) Uma ou duas contagens manuais classificatórias de sete dias, 24 horas por dia, em cada um de seus segmentos homogêneos em termos de tráfego. Trata-se de contagens manuais do método 4, de nível C. Considerando que existam contagens da rede viária do nível A/B nas proximidades do trecho em questão, com tráfego de mesmo tipo, pode-se utilizar as variações sazonais desses postos para corrigir os valores das contagens feitas, elevando o seu nível de precisão, possivelmente atingindo o nível B. Do ponto de vista prático têm sido consideradas aceitáveis pelos órgãos rodoviários.
- b) Nas áreas rurais, contagens nas interseções de maior importância durante três dias, entre 6 e 10 horas e 16 e 20 horas. Trata-se de contagem manual de método situado entre 2 e 3, de nível entre C e D. A expansão dos valores obtidos com auxílio das contagens de sete dias feitas para o trecho e a utilização das variações sazonais dos postos da rede, elevam muito o nível de confiabilidade dos resultados obtidos, tendo sido aceitos pelos órgãos rodoviários.
- c) Nas áreas urbanas, contagens nas interseções de maior importância durante três dias, 8 horas por dia: três horas que incluam o pico da manhã, três horas incluindo o pico da tarde e duas horas fora do pico. Em algumas áreas, a hora do almoço pode apresentar problemas específicos. Em tal caso, deverá ser feita também uma

contagem nesse horário. A incidência dos picos pode ser estabelecida a partir das contagens de fluxo de tráfego de 24 horas, descritas anteriormente.

- d) Contagens nas interseções de menor importância durante um dia, entre 6 e 10 horas ou entre 16 e 20 horas. Trata-se de contagem manual de método comparável ao 1, de nível D. Por razões semelhantes às do item anterior os resultados têm sido aceitos pelos órgãos rodoviários, já que essas interseções, consideradas secundárias, são de menor relevância para o projeto.
- e) Quando se faz um projeto específico de uma interseção isolada de maior importância deve-se utilizar o método manual 4, com contagens de sete dias, cobrindo todos os fluxos entre 6 e 22 horas. Os resultados devem ainda ser complementados com as informações sazonais dos postos do sistema rodoviário.
- f) Projetos de concessões de rodovias têm exigido, além da utilização das informações sazonais, maior número de contagens de sete dias, cobrindo todos os trechos objeto da concessão. No que se refere apenas à determinação dos volumes de tráfego atual, a utilização dos dados da rede viária disponível é considerada satisfatória para as correções sazonais.

No caso de estudos de capacidade, devem ser obtidos os volumes de pico que caracterizam o local. A amostra mínima desejável é, portanto, a que representa o fluxo de um dia útil, no pico da manhã e da tarde, obtida por contagens de 2 a 4 horas em cada um dos períodos. Esta amostragem é normalmente suficiente, pois o fluxo médio não costuma variar muito de dia para dia. Uma maior precisão pode ser obtida no caso de se realizar contagens em vários dias úteis, extraíndo-se o valor médio por período.

Convém salientar que a consideração de tráfego desviado de outras rodovias para obtenção dos volumes após a implantação do projeto é objeto de estudos complementares dependentes de pesquisas de origem e destino, que são tratadas no capítulo correspondente.

Determinação do número de postos de contagem

É comum que se excluam das contagens de volume os trechos de rodovias consideradas de muito pouca importância. Pode haver necessidade entretanto, de estimar os volumes dessas rodovias com uma margem de erro aceitável. Reunindo em classes as que apresentam características de volume semelhantes, pode ser determinado para cada classe um número de postos de contagens a serem distribuídos em suas rodovias, que permita estimar seu volume com uma margem de erro aceitável.

O tamanho mínimo da amostra (número de postos) é função do nível de precisão desejado. O nível de precisão comumente usado é de 95-10 (95% de probabilidade do erro ser menor que 10%).

Quando o tamanho da amostra é menor que 30 e a escolha dos postos é aleatória, a distribuição de Student (*t*) pode ser usada para determinar o tamanho da amostra para cada classe de links de rodovias. A distribuição de Student é ilimitada, com uma média de

zero e variância que depende do número de graus de liberdade (g), função do tamanho da amostra ($g = N - 1$). A variância da distribuição de Student é $g/(g - 2)$, que indica que quando g se aproxima de infinito a variância se aproxima de 1. As probabilidades (níveis de confiança) para a distribuição de Student, para diferentes graus de liberdade, são dadas no item 5, do Apêndice A. Admitindo que os locais das amostras são escolhidos aleatoriamente o número mínimo de postos necessários é dado por:

$$n = \frac{t_{\alpha/2, N-1}^2 (S^2 / E^2)}{1 + (1/N) (t_{\alpha/2, N-1}^2 (S^2 / E^2))}$$

onde:

- n = número mínimo de postos necessários (tamanho mínimo da amostra)
- t = valor da distribuição t, com $(1 - \alpha/2)$ nível de confiança e $N - 1$ graus de liberdade
- N = número total de links (população) da qual uma amostra deve ser selecionada
- α = nível de significância
- S = estimativa do desvio padrão espacial dos volumes dos links
- E = margem de erro tolerável

Para usar a equação acima são requeridas estimativas da média e do desvio padrão dos volumes dos links. Essas estimativas podem ser obtidas fazendo contagens de volume de alguns links ou usando valores de rodovias similares.

Exemplo de Aplicação

Para determinar um valor representativo do VMD em 100 ligações rodoviárias (links) com características de volume semelhantes decidiu-se efetuar contagens de 24 horas em uma amostra desses links. Estimativas de média e desvio padrão dos volumes nos trechos de rodovias em que se situam esses links são 3.250 e 550 respectivamente. Determine o número mínimo de postos em que devem ser feitas contagens, para o grau de precisão de 95% de probabilidade de que o erro seja inferior a 10%.

Solução:

$$\alpha = (100-95) = 5\%$$

$$S = 550$$

$$m = 3.250 \text{ (média dos volumes da amostra)}$$

$$E = (0,1) \cdot (3.250) = 325 \text{ (margem de erro admissível)}$$

$$N = \text{número total de links dos quais uma amostra deve ser selecionada} = 100$$

$$g = 99$$

$$t_{\alpha/2, N-1} = 1,984 \text{ da distribuição de Student (Apêndice A)}$$

$$n = \frac{t^2_{\alpha/2, N-1} (S^2 / E^2)}{1 + (1/N) (t^2_{\alpha/2, N-1} (S^2 / E^2))}$$

$$n = \frac{(1,984^2 \cdot 550^2) / 325^2}{1 + (1/100) (1,984^2 \cdot 550^2) / 325^2} = \frac{1.127}{111} = 10,1$$

Devem ser feitas contagens em um mínimo de 11 postos. Quando o tamanho da amostra for maior que 30 a distribuição normal deve ser usada ao invés da distribuição de Student.

6.1.8 TRATAMENTO DOS DADOS

a) Trechos Contínuos

Os dados sobre fluxos de veículos podem ser expostos das mais variadas formas, dependendo da finalidade dos estudos. Geralmente são tabulados de forma a agrupá-los em intervalos de tempo, fornecendo os volumes de uma determinada seção ou trecho rodoviário.

O intervalo mais comum é o de uma hora de duração, com o objetivo de determinar o “Volume da Hora de Pico”, embora se possa utilizar qualquer período desejado.

Os volumes obtidos nas contagens normalmente são representados das seguintes maneiras:

- Analiticamente, por meio de tabelas sumárias das quais constem os dados necessários à análise dos volumes.
- Graficamente por meio de histogramas, fluxogramas lineares e gráficos de variação, ou seja:
 - *Histogramas*: em que a escala horizontal representa a unidade de tempo e a escala vertical representa o volume médio diário.
 - *Fluxogramas lineares*: em que os volumes são referenciados a uma mesma base horizontal representando a extensão da via. Os volumes são apresentados perpendicularmente segundo uma determinada escala vertical.
 - *Gráficos*: mostrando as variações sazonais, diárias ou horárias no volume.

b) interseções

A forma mais simples e usual de apresentar os fluxos de veículos de uma interseção é montar um fluxograma, no qual constem os volumes de cada movimento.

Normalmente, os volumes são coletados por tipo de veículo (ver Figura 29). Para a tabulação, se estiverem sendo usados fatores de equivalência, convém incluí-los desde o início no cálculo. Assim, utilizando os equivalentes de carros de passeio, procede-se à transformação dos valores das contagens em unidades de carro de passeio (UCP).

O Fator de Hora de Pico (FHP) da interseção é definido pela razão do volume da hora de pico sobre o fluxo horário do período de 15 minutos mais carregado da hora de pico. O fluxo horário é 4 vezes o volume de 15 minutos, ou seja, 4 x 787. Logo, o Fator de Hora de Pico é:

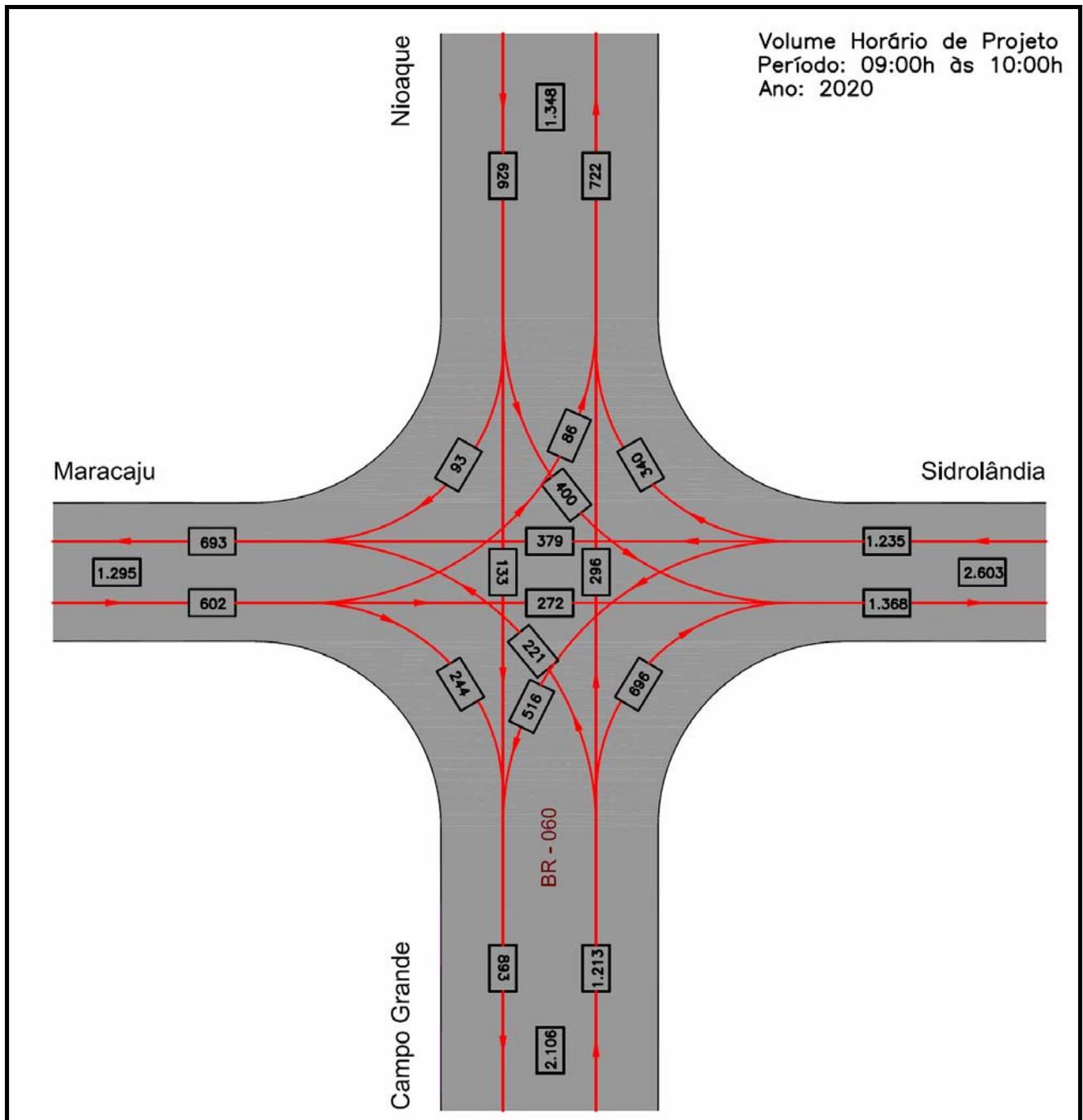
$$FHP = \frac{3.021}{(4 \times 787)} = 0,96$$

Figura 31 - Identificação da hora de pico da interseção e respectivos volumes

SUMÁRIO DOS FLUXOS - UCP																					
Local: BR-101 Interseção do km 114,8				Data: 20-06-2005				Condições do Tempo: Bom													
Rodovia: BR-101				Rodovia: BR-101				Rodovia: Cidade A				Rodovia: Cidade B									
Sentido: Norte				Sentido: Sul				Sentido: Leste				Sentido: Oeste									
Intervalo (h-h)	E	F	D	Total	E	F	D	Total	E	F	D	Total	E	F	D	Total	T.Geral	Intervalo (h-h)	T.Geral	MAX	3021
08:00 - 08:15	21	128	21	170	37	184	34	255	11	121	49	181	18	126	22	166	772	08:00 - 09:00	2924		
08:15 - 08:30	15	118	26	159	25	248	28	301	11	79	32	122	15	108	22	145	727	08:15 - 09:15	2858		
08:30 - 08:45	6	96	15	117	38	204	27	269	12	112	40	164	14	115	21	150	700	08:30 - 09:30	2880		
08:45 - 09:00	15	101	20	136	36	213	38	287	8	96	50	154	11	106	31	148	725	08:45 - 09:45	2970		
09:00 - 09:15	11	110	17	138	36	219	39	294	8	87	34	129	10	106	29	145	706	09:00 - 10:00	2990		
09:15 - 09:30	11	109	20	140	42	204	38	284	10	110	56	176	9	122	18	149	749	09:15 - 10:15	3002		
09:30 - 09:45	22	130	22	174	36	188	35	259	13	124	48	185	21	127	24	172	790	09:30 - 10:30	2996		
09:45 - 10:00	16	120	27	163	24	252	29	305	13	82	31	126	18	109	24	151	745	09:45 - 10:45	2930		
10:00 - 10:15	7	98	16	121	37	208	28	273	14	115	39	168	17	116	23	156	718	10:00 - 11:00	2952		
10:15 - 10:30	16	103	21	140	35	217	39	291	10	99	49	158	14	107	33	154	743	10:15 - 11:15	3021		
10:30 - 10:45	12	112	18	142	35	223	40	298	10	90	33	133	13	107	31	151	724	10:30 - 11:30	2985		
10:45 - 11:00	12	111	21	144	41	208	39	288	12	113	55	180	12	123	20	155	767	10:45 - 11:45	2995		
11:00 - 11:15	15	135	18	168	27	180	36	243	17	122	59	198	10	141	27	178	787	11:00 - 12:00	2988		
11:15 - 11:30	10	109	19	138	35	218	37	290	7	86	55	148	9	105	17	131	707				
11:30 - 11:45	10	108	21	139	41	203	34	278	9	109	47	165	8	121	23	152	734				
11:45 - 12:00	21	129	26	176	35	187	28	250	12	123	30	165	20	126	23	169	760				
FLUXOS DA HORA DE PICO																					
Intervalo (h-h)	E	F	D	Total	E	F	D	Total	E	F	D	Total	E	F	D	Total	T.Geral				
10:15 - 11:15	55	461	78	594	138	828	154	1120	49	424	196	669	49	478	111	638	3021				

A Figura 32 fornece um modelo de fluxograma de tráfego em UCP, abrangendo todos os movimentos diretos e de conversão.

Figura 32 - Modelo de fluxograma de tráfego em UCP



6.2 PESQUISAS DE ORIGEM E DESTINO

6.2.1 OBJETIVO

As *Pesquisas de Origem e Destino* têm como objetivo básico identificar as origens e destinos das viagens realizadas pelos diferentes tipos de veículos em um determinado sistema de vias. Possibilitam, ainda, conforme a amplitude do estudo que se tem em vista, a obtenção de informações de diversas outras características dessas viagens, tais como: tipo, valor e peso da carga transportada, números de passageiros, motivos das viagens, horários, frequência, quilometragens percorridas por ano, etc.

Essas informações são utilizadas no estudo do comportamento atual e futuro do tráfego, e permitem:

- Identificar desvios de tráfego provenientes de alterações do sistema viário;
- Determinar as cargas dos veículos transportadas nas rodovias;
- Estimar taxas de crescimento;
- Determinar custos operacionais, custos de manutenção e outras variáveis relativas à viabilidade de eventuais obras no sistema viário.

6.2.2 MÉTODOS DE PESQUISA

São vários os métodos conhecidos e aplicados, e sua escolha depende dos objetivos do estudo, da precisão requerida e dos recursos disponíveis.

Os métodos mais empregados são:

6.2.2.1 MÉTODO DE ENTREVISTAS A DOMICÍLIO (PESQUISA DOMICILIAR)

Esse método é utilizado no estudo de tráfego urbano, e é baseado na técnica de coleta de amostras em entrevistas a domicílio. São colhidas informações sobre os movimentos de tráfego, os meios de transporte utilizados e outras informações de interesse, dentro da área de pesquisa.

a) Dados Básicos

Selecionados os domicílios a serem pesquisados, cada um de seus residentes com idade superior a cinco anos é submetido a um questionário relativo às viagens realizadas no dia anterior. A escolha do dia anterior evita esforço de memória.

O questionário deve procurar obter principalmente as seguintes informações:

- Endereço da residência;
- Identificação da pessoa que fez a viagem (nome, idade, etc);
- Origem e destino de cada viagem (endereço/indicação);

- Horário e duração da viagem;
- Motivo da viagem (passeio, trabalho, escola e outros);
- Modo da viagem (carro, ônibus, trem, a pé, metrô, etc);
- Números de carros, motos, da unidade familiar;
- Tipo de residência (casa própria, alugada, pensão, etc).

Dependendo dos objetivos da pesquisa podem ser incluídos outros dados.

b) Pesquisas Complementares

Com o objetivo de determinar as viagens realizadas na área de pesquisa por pessoas não residentes na mesma, deverão ser efetuadas pesquisas de O/D em pontos das principais vias de entrada no cordão externo (*cordon-line*) que limita a área. No processamento das pesquisas devem ser identificadas eventuais viagens detectadas nas entrevistas domiciliares, para eliminar duplicação de informações.

Além disso, deverão ser feitas contagens volumétricas do tráfego numa linha de controle que corte a área de pesquisa (*screen-line*) a fim de aferir os resultados obtidos na pesquisa domiciliar e na pesquisa no cordão externo. De preferência esta linha de controle ou cordão interno deve incluir barreiras físicas, tais como um rio, uma ferrovia, etc., na qual se tem um número limitado de pontos para cruzamento.

c) Período de Pesquisa

Os dias e as horas de entrevistas devem ser planejados de modo a cobrir os objetivos da pesquisa. Em princípio as viagens devem referir-se aos dias em que o padrão seja o mesmo, ou seja, durante os dias da semana nos quais as variações são pouco sensíveis.

Cada posto de contagem no cordão deverá operar, normalmente, durante dezesseis horas por dia, de 6:00 às 22:00 horas.

As viagens pesquisadas serão então expandidas para obter-se o total de viagens realizadas na área de estudo.

d) Amostra

Para a determinação do tamanho da amostra devem ser adotados procedimentos estatísticos a fim de que a informação obtida seja representativa das viagens realizadas por todos os residentes da região.

O tamanho da amostra depende principalmente da homogeneidade da população em relação ao atributo a ser estimado, e bem pouco do número de residentes. Depende também do número de zonas de pesquisa consideradas na setorização da área.

Estudos já realizados indicam como mínimo aconselhável, amostra variando de 1.000 a 2.000 residências, sendo esta última cifra para cidades com mais de um milhão de habitantes. Acima deste limite pode ser tomado 1% como fração mínima de amostragem. As amostras que ultrapassam estes limites apresentam maior confiabilidade, porém a melhoria de qualidade dos resultados não é proporcional ao aumento do custo decorrente. Assim sendo, não se costuma ultrapassar quatro vezes os valores indicados como mínimos.

A Tabela 23 mostra os padrões de amostragem em função da população da área.

Tabela 23 - Tamanho de amostra recomendada para estudos com entrevistas domiciliares

População da área (habitantes)	Amostra recomendada	Amostra mínima
Abaixo de 50.000	1 em 5	1 em 10
50.000 a 150.000	1 em 8	1 em 20
150.000 a 300.000	1 em 10	1 em 35
300.000 a 500.000	1 em 15	1 em 50
500.000 a 1.000.000	1 em 20	1 em 70
Acima de 1.000.000	1 em 25	1 em 100 (1%)

e) Tabulação dos Dados

Durante a realização da pesquisa deve-se proceder a um controle de qualidade dos questionários entregues pelos pesquisadores. Desse modo cada lote terá algumas entrevistas refeitas por um segundo pesquisador e os resultados comparados antes de sua completa aceitação.

Efetuada o controle de qualidade e refeitos os lotes eventualmente rejeitados, procede-se a tabulações iniciais, tais como:

- Número de viagens por motivo na origem e no destino.
- Número de viagens por motivo e por modo.
- Número de viagens por zona de residência e por tempo de percurso.
- Número de viagens por zona de residência e por hora da viagem.
- Número de viagens por hora da viagem, por modo e por tempo de percurso.

Estes dados fornecem informações quanto ao padrão dos deslocamentos realizados na área de estudo, permitindo-se tirar decisões quanto às viagens que serão utilizadas na determinação e calibração dos modelos de simulação a serem utilizados.

Além desses resultados são determinados também alguns índices, como por exemplo:

- Média de viagens por pessoa por dia.
- Número de pessoas por domicílio.

- Número de viagens por domicílio.
- Percentagem de viagens por transporte coletivo em relação ao total.
- Números de transferências realizadas nas viagens por transporte coletivo.
- Tempos médios de viagem de acordo com os motivos.

Esses valores são comparados com índices semelhantes obtidos em estudos anteriores para teste de coerência, visando também auxiliar na determinação dos modelos a serem utilizados.

6.2.2.2 MÉTODO DE IDENTIFICAÇÃO DE PLACAS

Esse método é recomendado para áreas onde o volume de tráfego é muito elevado para ser paralisado para entrevistas e/ou onde o número de entradas e saídas da área for muito grande. É recomendado também para interseções de vários ramos, em que se torna difícil determinar as origens e destinos dos veículos. Dependendo dos objetivos do estudo e do grau de precisão requerido, a pesquisa pode ser executada de três formas:

A primeira consiste na anotação do número da placa dos veículos que se encontram estacionados em determinados locais. Esses locais são considerados como pontos de destino, enquanto os locais onde os veículos são guardados de forma permanente (dado que se pode obter das listas de registro) são considerados como pontos de origem.

A segunda forma consiste em colocar observadores em pontos estratégicos de entrada e saída de locais prefixados (praças rotatórias, pontes, passagem de nível, etc), os quais anotam as placas dos veículos que entram e saem dos mencionados locais, bem como qualquer outra informação de interesse (hora de passagem pela seção de entrada ou saída, tipos dos veículos, suas marcas etc.). Os dados tomados por todos os observadores são comparados entre si, sofrendo uma análise para determinação da entrada e saída de cada veículo e que serão considerados como seus pontos de origem e destino. A apuração dos dados de campo requer programas específicos de computador ou uma grande equipe de escritório. Usualmente, não mais de 60% das informações são aproveitadas, já que só são úteis as placas anotadas nas entradas e nas saídas. O conhecimento do tempo de percurso entre cada par de origem e destino facilita bastante a apuração dos resultados.

Tem como desvantagem a insegurança na leitura do número da placa, além da suposição “a priori” de que a origem e destino coincidem com os pontos de entrada e saída. O primeiro inconveniente pode ser reduzido anotando-se apenas os três últimos algarismos da placa do veículo, e no caso de dificuldade de anotação da placa (volume muito alto), utilizando-se outro pesquisador para ditar os dados. As anotações devem ser grupadas sempre dentro de um intervalo horário, podendo ser utilizada a mesma ficha de campo das contagens manuais de volume.

A terceira forma consiste na filmagem contínua do tráfego e leitura posterior por exibição lenta da passagem dos veículos. Apresentará custo mais elevado.

Esse método de contagem pode ser usado com grande proveito quando conjugado à O/D de entrevistas, nos casos de rodovias em áreas proximamente urbanas com forte influência do tráfego local. Oferece a vantagem de independe da cooperação individual dos motoristas, bem como do policiamento rodoviário necessário à paralisação dos veículos para entrevistas.

O emprego, nesta conjugação, do critério simplificado de se adotar a movimentação por sentido de trânsito na rodovia, permite, quando da calibragem do sistema, o aproveitamento conjunto com as informações provenientes da O/D de entrevistas. Assim, é possível formar-se uma única matriz final, em que as origens e destinos tenham seus pontos de decisão nas entradas e saídas da rodovia.

6.2.2.3 MÉTODO DE TARJETAS POSTAIS

Esse método deve ser utilizado nos locais em que o volume de tráfego tem uma intensidade tal que os veículos não possam ser detidos por muito tempo para entrevistas. As tarjetas são preparadas para serem preenchidas pelos usuários da via e contêm um questionário com endereço para retorno.

Elas podem ser distribuídas em um ponto selecionado da via, ou então serem enviadas pelo correio às residências ou locais de trabalho onde se encontrem registrados os proprietários de veículos. O referido método não oferece dados precisos porque o fator humano influi sensivelmente sobre ele, exigindo um certo grau de instrução por parte de quem preenche os formulários.

6.2.2.4 MÉTODO DE ETIQUETAS NOS VEÍCULOS

Esse método consiste na utilização de uma etiqueta especial que é colocada no veículo no momento em que ele entra na área em estudo, sendo recolhida quando ele a abandona. O motorista deve conhecer a operação que se realiza, sendo informado que deve entregar a etiqueta quando abandona a zona. O método é muito vantajoso para estudar movimentos em áreas relativamente pequenas, onde o trânsito é muito denso e onde existe continuidade de movimento.

6.2.2.5 MÉTODO DE ENTREVISTAS NA VIA

As entrevistas dos usuários feitas na própria via constituem um método direto para a obtenção de forma rápida e eficiente da origem e destino da viagem de cada motorista entrevistado. Pela importância do método, principalmente nos estudos de rodovias rurais, ele será apresentado em maiores detalhes. A descrição dos critérios de levantamento baseia-se no *Manual de Origem e Destino* do DNER, que uniformiza os procedimentos da pesquisa e estabelece as informações mínimas a serem coletadas.

a) Quantidade e Localização dos Postos

O número de postos dependerá da complexidade da rede rodoviária a ser analisada e do grau de precisão desejado. Sua quantidade deverá ser estabelecida em cada caso particular, de modo a detectar os principais fluxos da região, bem como permitir a avaliação do tráfego que poderá ser desviado para a rede rodoviária em estudo, como decorrência dos possíveis investimentos a serem efetuados.

Os postos deverão ser distribuídos de modo a se localizarem nos pontos de passagem obrigatória dos principais fluxos da região. Os locais devem ser escolhidos cuidadosamente, para facilitar o trabalho dos pesquisadores e permitir uma abordagem tranqüila dos entrevistados. Para garantir uma operação segura o local da entrevista deve ser precedido de adequada sinalização. Normalmente é necessário convocar um policial para parar o trânsito.

Para os trechos de rodovia a serem implantados, passíveis de captar tráfego desviado de outras vias, deverão ser feitas Pesquisas de Origem e Destino em locais selecionados, que permitam identificar os veículos que poderão passar a se servir da rodovia a ser implantada. Esses locais deverão coincidir com postos de contagens volumétricas.

b) Período de Pesquisa

A época dos levantamentos estará condicionada a diversos fatores, principalmente ao início dos estudos a serem realizados. Na área rural, sempre que possível, deverão ser efetuadas pelo menos duas pesquisas, uma durante a época de safra, a fim de detectar a movimentação dos principais produtos da região estudada e outra na entressafra, para que se possa identificar o padrão de distribuição do tráfego da região.

Convém observar que as pesquisas feitas em uma única época do ano, mesmo cobrindo uma semana, apresentam margem de erro elevada, pelo menos da ordem de 30%, já que além das informações de volumes e tipos de veículos, incluem pares de origem e destino e um número elevado de outras informações. Desejando-se aumentar a precisão não adianta simplesmente aumentar a amostra, é necessário distribuí-la por mais de um período do ano, procurando cobrir as variações sazonais, períodos de safra agrícola, etc. Ao invés de uma semana seguida, o ideal seria efetuar a pesquisa em quatro trimestres, igualmente espaçadas no tempo, por exemplo: três pesquisas de dois dias seguidos e uma de um dia, cobrindo todos os dias da semana. Uma pesquisa feita dessa forma levará em conta as variações semanal e sazonal e apresentará VMD anual com margem de erro de nível B, inferior a 10%. Não se pode dizer que as informações de origem e destino tenham esse nível de confiança, mas certamente atenderão às exigências normais deste tipo de estudo.

As pesquisas deverão ser feitas, em princípio, entre 6:00 horas e 22:00 horas, durante todo o período das contagens. Nas principais rodovias alguns postos podem ser selecionados para operar durante 24 horas.

c) Amostra

Com base nos estudos feitos para elaboração dos primeiros planos diretores gerais do país, por volta de 1970, foram adotados pelo DNER os seguintes critérios para dimensionamento das amostras de O/D.

- Rodovias com volume inferior ou igual a 2.500 vpd: entrevistar todos os veículos, 24 horas por dia, durante 7 dias consecutivos.
- Rodovias com volume superior a 2.500 vpd: entrevistar diariamente 2.500 veículos, durante 7 dias consecutivos, estratificando a amostra por tipo de veículo e efetuar contagens volumétricas classificatórias durante 24 horas por dia, totalizadas a períodos não superiores a uma hora.

As contagens classificatórias de 24 horas permitirão obter coeficientes de expansão para aplicação aos resultados das entrevistas.

Esses critérios apresentam margens de erro relativamente elevadas, mas tem sido comum adotar períodos e amostras de veículos ainda menores, por razões de custos. Quando se tornar imprescindível a obtenção de dados mais precisos, deve-se proceder a estudos estatísticos adequados.

d) Dimensionamento

O dimensionamento das pesquisas de origem e destino deve considerar que um pesquisador bem treinado pode realizar de 10 a 20 entrevistas por hora, levantando 3 a 6 informações em cada uma delas. Para cada posto de pesquisa de origem e destino deve-se dispor de pelo menos dois entrevistadores, um para veículos de carga e um para carros de passeio. As informações relativas a ônibus são normalmente coletadas junto às empresas e órgãos encarregados de sua fiscalização.

Um pesquisador experimentado pode contar e classificar por tipo de veículo e por sentido de tráfego, todos os veículos de uma rodovia de uma pista com duas faixas e dois sentidos de tráfego, até o volume da ordem de 350 veículos por hora.

Para volumes superiores se utilizarão pelo menos dois pesquisadores, cada um contando e classificando os veículos de uma mesma faixa e sentido de tráfego. Um pesquisador pode ser responsável por até 450 veículos por hora.

Convém observar que além de entrevistadores e contadores, para volumes elevados de tráfego necessita-se de selecionadores de veículos, que separarão do tráfego os veículos a serem entrevistados, o que deverão fazer de forma aleatória, de modo a não criar qualquer tendência quanto às suas características. Normalmente bastam 2 selecionadores: 1 para cada sentido de tráfego.

Finalmente cada posto de pesquisa deverá contar com um chefe de equipe, responsável geral pelos serviços.

Esses valores são aproximados, pois há muitos fatores a serem considerados, tais como a experiência dos pesquisadores e a distribuição horária dos veículos, mas servem para uma orientação preliminar quanto ao pessoal necessário.

e) Informações Mínimas

Deverão ser levantadas, integralmente, as seguintes informações, consideradas como mínimas indispensáveis para a realização do estudo:

- localização do posto;
- época da pesquisa;
- intervalo horário da pesquisa;
- sentido do tráfego;
- tipo de veículo entrevistado (para áreas rurais adotar a classificação do DNIT);
- motivo da viagem;
- peso da carga do caminhão;
- tara do veículo (peso do caminhão vazio);
- produto transportado;
- valor da carga;
- origem e destino da viagem.

Convém observar que com grande frequência as pesquisas de Origem e Destino são também utilizadas para levantar elementos para elaboração de estudos com utilização dos sistemas HDM e/ou TRANSCAD, para avaliação econômica, elaboração de planos diretores viários, alocação de tráfego em rodovias novas, etc. Em cada caso, portanto, devem-se acrescentar as informações necessárias.

Nas Figuras 33 e 34 são apresentados os modelos de fichas de pesquisas de O/D para veículos de passeio e veículos de carga para uso em estudos rurais.

**Figura 34 - Ficha de pesquisa de origem/destino
(Veículos de carga)**

LOCALIZAÇÃO	Estado:			1 - 2		
	Rodovia: <input type="checkbox"/> Pavim. <input type="checkbox"/> Não Pavim.			3 - 6		
	Local:			7 - 8		
	Dia da Semana e Data:			9 - 15		
	Hora:			16 - 17		
Sentido: <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2				18		
Finalidade: <input type="checkbox"/> 1 - Passeio <input type="checkbox"/> 2 - T. Coletivo <input type="checkbox"/> 3 - Carga				19		
TIPO	CAMINHÃO		SEMI-REBOQUES		REBOQUES	
	<input type="checkbox"/> 31 - leve	<input type="checkbox"/> 51 - Tipo 2S1	<input type="checkbox"/> 41 - Tipo 2C2	20 - 21		
	<input type="checkbox"/> 32 - Tipo 2C	<input type="checkbox"/> 52 - Tipo 2S2	<input type="checkbox"/> 42 - Tipo 2C3			
	<input type="checkbox"/> 33 - Tipo 3C	<input type="checkbox"/> 53 - Tipo 2S3	<input type="checkbox"/> 43 - Tipo 3C2			
	<input type="checkbox"/> 34 - Tipo 4C	<input type="checkbox"/> 54 - Tipo 3S2	<input type="checkbox"/> 44 - Tipo 3C3			
		<input type="checkbox"/> 55 - Tipo 3S3	<input type="checkbox"/> 45 - Tipo 3D4			
	<input type="checkbox"/> 56 - Tipo 3D3	<input type="checkbox"/> 99 - Outros				
MARCA	<input type="checkbox"/> 51 -	<input type="checkbox"/> 55 -	<input type="checkbox"/> 59 -	22 - 23		
	<input type="checkbox"/> 52 -	<input type="checkbox"/> 56 -	<input type="checkbox"/> 60 -			
	<input type="checkbox"/> 53 -	<input type="checkbox"/> 57 -	<input type="checkbox"/> 61 - fabricante estrangeiro			
	<input type="checkbox"/> 54 -	<input type="checkbox"/> 58 -	<input type="checkbox"/> 69 - Outros			
DADOS ADICIONAIS	Ano de Fabricação :			24 - 25		
	Combustível : <input type="checkbox"/> 1 - gasolina <input type="checkbox"/> 2 - alcool <input type="checkbox"/> 3 - GNV <input type="checkbox"/> 4 - misto <input type="checkbox"/> 4 - Diesel			26		
	Quilometragem Mensal Média : _____ km			27 - 29		
	Propriedade			30		
	<input type="checkbox"/> 1 - particular	<input type="checkbox"/> 2 - empresa privada	<input type="checkbox"/> 3 - serviço público	31 - 32		
	<input type="checkbox"/> 4 - empresa de transp.	<input type="checkbox"/> 5 - outros		34		
	Nº de Passageiros (incluir motorista): _____			35 - 37		
	Nº de Ajudantes do Motorista: _____			38 - 40		
Tara _____ kg						
Capacidade _____ kg						
Espécie Vazio { <input type="checkbox"/> Em Busca <input type="checkbox"/> Outros			41 - 45			
..... { <input type="checkbox"/> Em Retorno						
Carga: _____			46 - 48			
Valor: R\$ _____ kg			49 - 52			
MOVIMENTAÇÃO	ESTADO	MUNICÍPIO	Origem	zona	53 - 60	
			Destino	zona	61 - 68	
			Cidade Anterior	rota	69	
			Cidade Posterior	rota	70	
ENTREVISTADOR _____ SUPERVISOR _____ CODIFICADOR _____						

Nota: Os campos 51 a 60 são preenchidos com os nomes das marcas mais comuns dos fabricantes.

6.2.3 TRATAMENTO DOS DADOS

O objetivo principal da tabulação de dados consiste em obter a Matriz de Origem/Destino. Esta matriz mostra a quantidade de veículos ou de pessoas que vão de uma origem a um destino e vice-versa.

O primeiro passo consiste em eliminar os erros grosseiros e imperfeições existentes. A tabulação é muito simples e pode ser feita diretamente das fichas de campo, “casando-se” as várias origens e destinos. A única dúvida reside na forma de tabulação, se manual ou por computador.

Pelo processo manual, no caso de identificação de placa, técnicos manipulam as fichas de entrada e saída (origens e destinos) procurando nas fichas de saída, a placa do veículo que foi registrado em uma entrada. Se a pesquisa foi por entrevista, na própria ficha de campo está o “par” origem-destino e a tabulação é mais simples ainda, constando da contagem pura e simples dos pares escritos.

Tendo-se optado pelo processamento por computador, em função de elevado número de dados, sempre haverá a tarefa intermediária de transcrever os dados do campo para as fichas adequadas ao processamento (se não tiverem sido usadas diretamente no campo).

De um modo geral as fichas de campo dispõem de local para codificação, permitindo a tabulação dos pares de origem e destino. No caso de entrevistas na via, o processamento dos dados dos postos gerará matrizes de O/D (*Matrizes de O/D Coletadas*) para cada posto por tipo de veículo, por exemplo: automóveis, ônibus e caminhões. Elas se apresentam sob forma quadrada: um valor na matriz representa o total de viagens de uma zona de origem para uma zona de destino.

A partir das *Matrizes de Origem/Destino Coletadas* obtém-se então as *Matrizes de Origem/Destino Atuais*, cujo procedimento é exposto na Capítulo 7.

6.3 PESQUISA DE VELOCIDADE PONTUAL

6.3.1 OBJETIVO

O objetivo da *Pesquisa de Velocidade Pontual* é o de determinar a velocidade do veículo no instante que ele passa por um determinado ponto ou seção da via. Este tipo de velocidade é fundamental na engenharia de tráfego para a análise das condições de segurança na circulação, pois reflete o desejo dos motoristas, no sentido de imprimirem ao veículo as velocidades que julgam adequadas para as condições geométricas, ambientais e de tráfego existentes no local.

O estudo das velocidades pontuais dos veículos num ponto ou seção da via leva à definição da “Velocidade Média no Tempo”, média aritmética simples das velocidades pontuais de cada veículo observado, geralmente ligada aos aspectos de segurança do tráfego, direta ou indiretamente.

De maneira geral, os estudos das velocidades pontuais são utilizados para:

- Estudos de locais críticos ou de altos índices de acidentes, para comparar as velocidades “reais” com as “ideais” (em termos de segurança) e tentar relacioná-las com os acidentes.
- Determinação da velocidade de segurança nas aproximações de interseções e nas curvas.
- Determinação de elementos para o projeto geométrico de vias, como curvaturas, superelevação, etc.
- Estudos da efetividade de projetos de controle de tráfego ou da implantação de dispositivos de sinalização (estudos antes/depois).
- Determinação de locais de ocorrência de velocidade excessiva, para fins de implantação de fiscalização seletiva.
- Verificação de tendências nas velocidades de vários tipos de veículos através de levantamentos periódicos em locais selecionados.
- Dimensionamento dos dispositivos de sinalização (altura de letras, setas, etc.) e escolha do seu posicionamento.
- Cálculo do tempo de limpeza da área dos semáforos (amarelo).
- Determinação das distâncias de visibilidade e das zonas de não ultrapassagem.

6.3.2 FATORES QUE INTERFEREM NA VELOCIDADE PONTUAL

Muitos são os fatores que interferem na velocidade pontual dos veículos, cabendo destacar cinco deles:

- *Motorista*: características pessoais (sexo, idade, coordenação motora, personalidade), condições gerais da viagem (extensão, número de passageiros que transporta), etc;
- *Veículo*: peso, potência, idade, etc;

- *Via*: localização, uso do solo lindeiro, topografia local, grau de curvatura, largura, distância de visibilidade, etc;
- *Tráfego*: volume, densidade, existência ou não de tráfego oposto, entradas/saídas laterais, sinalização (semáforos, regulamentação de velocidade máxima, faixa dupla amarela), etc;
- *Ambiente*: condições do tempo, hora do dia, dia da semana, etc.

6.3.3 MÉTODOS DE PESQUISA

Sendo o objetivo da pesquisa conhecer a velocidade instantânea de cada veículo, torna-se evidente que o radar (ou qualquer aparelho semelhante) é o dispositivo mais adequado para o levantamento. No entanto, devido ao seu custo, foram desenvolvidos outros métodos mais simples e baratos, descritos neste item.

De maneira geral, os métodos de obtenção da velocidade pontual podem ser classificados em dois tipos “de base curta” e “de base longa”. O termo “base” tem sentido de “distância, comprimento”, e refere-se ao trecho ao longo do qual se observa o veículo e se obtém os tempos de “entrada e saída” da seção, que levarão à determinação da velocidade pontual.

Quando a base é curta, a probabilidade de que o veículo mude sensivelmente de velocidade é desprezível, permitindo que se considere que a velocidade de percurso é a velocidade pontual em qualquer ponto da base.

O método das bases curtas precisa de instrumentos de alta precisão, que captem a passagem do veículo pelo trecho escolhido, enquanto que o de bases longas pode ser usado, por exemplo, com cronômetros.

6.3.3.1 CRONÔMETRO

Este método consiste, mediante a utilização de um cronômetro, na medição do tempo que um veículo demora para transpor um trecho determinado, geralmente de 30 a 100 metros de comprimento. Para se obter as velocidades marca-se e mede-se uma distância pequena em uma via, criando uma “base”. Um observador põe em marcha um cronômetro quando um veículo entra na base e registra o tempo quando sai da mesma. O comprimento da base, dividido pelo tempo fornece a velocidade, que pode ser considerada pontual.

Embora o procedimento seja considerado de baixo rendimento, pois o observador não pode medir o tempo de percurso de um veículo até que não tenha terminado de medir o do veículo anterior, um pesquisador bem treinado pode fazer sozinho cerca de 150 observações em uma hora e, acompanhado de outro para fazer as anotações, cerca de 250 observações. Em ambos os casos, as amostras obtidas são normalmente suficientes para a obtenção de medidas de razoável precisão, o que demonstra a utilidade deste método.

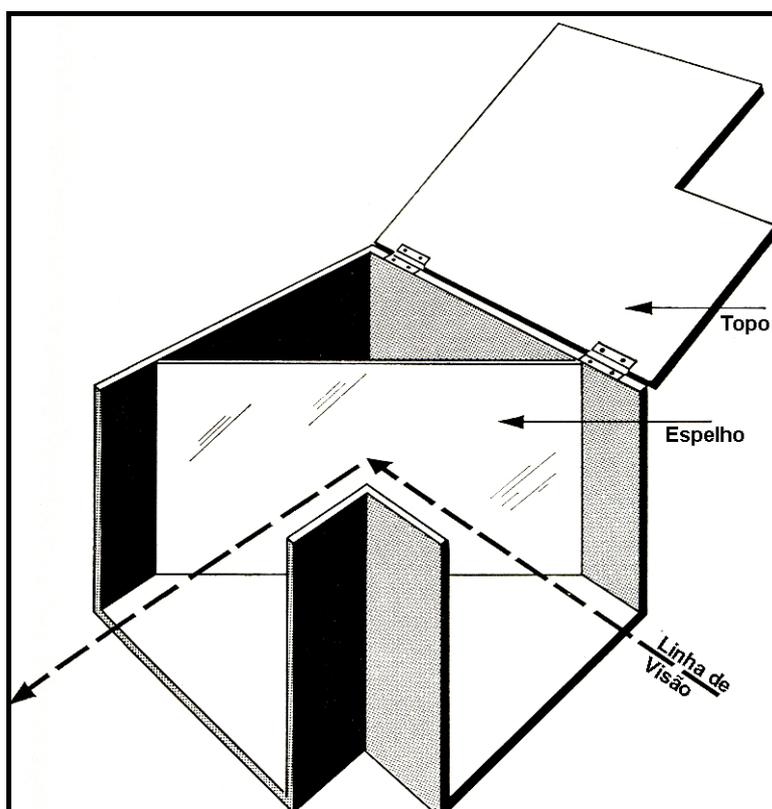
A principal vantagem deste processo é que requer uma inversão mínima de recursos, mas os avanços tecnológicos dos últimos anos têm tornado mais acessíveis ao engenheiro de tráfego instrumentos que medem a velocidade em um ponto de forma mais rápida, econômica e confiável.

A sua desvantagem principal consiste no erro derivado da decisão do pesquisador acerca dos instantes de passagem do veículo pelos extremos do trecho (efeito de “paralaxe”). Mesmo que ele se posicione junto a um dos extremos, deverá “estimar” o instante de passagem do veículo pelo outro extremo, e então acionar o cronômetro, o que introduz o erro.

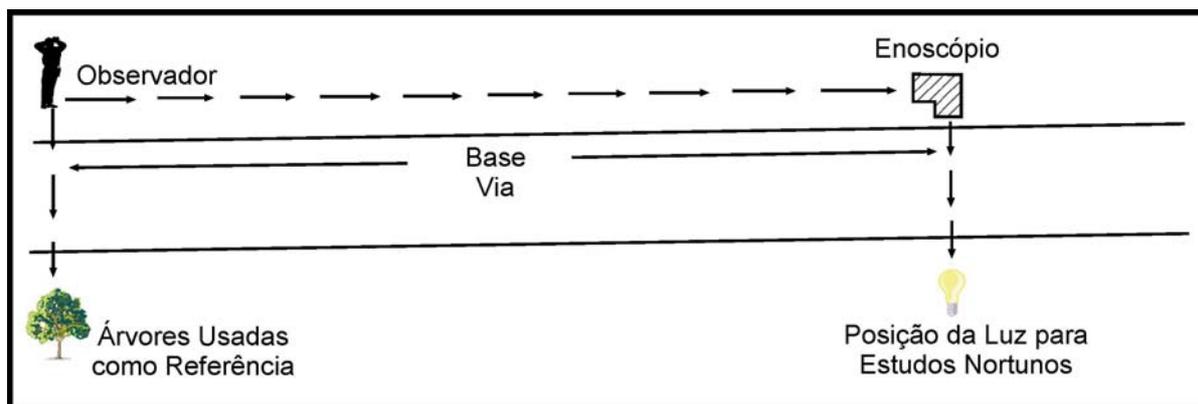
Outra desvantagem do uso do cronômetro consiste na variação do comportamento de pesquisadores diferentes, o que faz com que uma pesquisa levada a efeito por vários dias no mesmo local, possa produzir resultados diferentes em função das diferenças nos tempos de reação dos mesmos.

Um dispositivo que elimina o efeito de paralaxe é o enoscópio. O enoscópio é uma caixa em forma de “L”, aberta nas duas extremidades, e que contém um espelho fixado a 45° com relação aos eixos dos “braços” do “L” (Figura 35).

Figura 35 - Enoscópio



Colocado em frente ao extremo (ou extremos) do trecho considerado, reflete instantaneamente a passagem de um veículo, permitindo ao pesquisador bem posicionado a observação do momento exato dessa passagem. A Figura 36 apresenta esquematicamente o posicionamento do observador e do enoscópio no campo.

Figura 36 - Posicionamento do observador e do enoscópio

Se apenas um enoscópio é utilizado, o pesquisador deve posicionar-se no outro extremo do trecho, do qual poderá ler a imagem do enoscópio e observar também com precisão a passagem do veículo pela sua frente. Se forem utilizados dois enoscópios, o pesquisador deverá posicionar-se entre eles.

Cabe ressaltar que embora elimine o efeito de “paralaxe”, o enoscópio não evita o erro derivado do tempo de reação do pesquisador para acionar o cronômetro. Tem também a desvantagem de não poder ser utilizado em vias de trânsito intenso, uma vez que a superposição (ou ocorrência quase simultânea) de imagens no enoscópio confunde o pesquisador. Por último, é difícil de ser escondido dos motoristas, o que pode alterar o comportamento destes, falseando os resultados.

Como a pesquisa de velocidade pontual através de cronômetros é mais fácil de operar e exige os menores recursos, será apresentada em maiores detalhes.

a) Local

A escolha da seção de cronometragem é fundamental. Inicialmente, ela precisa ter comprimento compatível com a precisão requerida para os dados. Sendo o dado final o tempo de percurso entre os extremos do trecho, este não pode ser pequeno demais, para não ser proporcionalmente muito afetado pela imprecisão no acionamento e na leitura do cronômetro, nem grande demais, para não produzir erro excessivo devido à paralaxe. Assim, recomenda-se que o comprimento do trecho seja tal que o tempo mínimo observado seja de dois segundos, sendo o caso ideal aquele que leva a tempos médios entre cinco e oito segundos; sugere-se também que o trecho nunca seja superior a 80 metros.

Os comprimentos do trecho poderão ser escolhidos de acordo com a Tabela 24 que se segue.

Tabela 24 - Comprimentos recomendados para o trecho

Velocidade pontual esperada (km/h)	Comprimento mínimo do trecho (m)
40	30
40 – 65	55
> 65	80

Fonte: Introduction to Traffic Engineering, ITE, 2001

A seção deve também ser cuidadosamente escolhida, no sentido de propiciar visibilidade ao pesquisador e de representar condições adequadas de tráfego. Uma seção localizada um pouco antes ou após uma interseção, será percorrida pelos veículos de forma diferente de outro local, longe deste tipo de interferência. É necessário, portanto, analisar com cuidado qual é o comportamento que se deseja observar, tentando locar a seção de modo a garantir a ocorrência deste comportamento o mais livremente possível de interferências.

b) Período de Pesquisa

A data da pesquisa está vinculada às necessidades do estudo, mas pode-se afirmar que normalmente deve ser feita em dias úteis da semana neste tipo de levantamento.

Outro cuidado fundamental refere-se aos horários de pesquisa. Se o objetivo for identificar as velocidades que os motoristas julgam adequadas às condições geométricas, de tráfego e ambientais existentes, deve ser escolhido horário fora de pico, em que os fluxos são baixos e ocorrem as velocidades “livres”.

Ocorre também que o horário seja condicionado por estudos relativos à ocorrência de acidentes, ou haja interesse específico nos períodos de pico, quando sua escolha será determinada pelos eventos que se deseja analisar.

A duração da pesquisa é variável, em função do interesse do estudo e da amostra desejada. Normalmente, um dia de pesquisa, em um determinado horário, é suficiente para caracterizar o local, mas esta amostra pode ser aumentada de acordo com as necessidades: pode-se obter uma média semanal de determinado horário ou a variação horária de velocidade pontual num determinado local, etc.

c) Operação

A condição básica de controle desta pesquisa refere-se ao veículo que é observado e que tem seu tempo de percurso anotado: ele precisa estar circulando “livremente”, a uma velocidade condicionada principalmente pelo julgamento do seu motorista sobre as condições locais.

Como condições secundárias, tem-se principalmente o tempo, que deve estar bom, salvo quando o objetivo é justamente aferir o comportamento dos motoristas sob condições meteorológicas desfavoráveis.

A ficha de campo é muito simples, constando basicamente de duas colunas: uma para o tempo de percurso e outra para a velocidade. Além destas informações, devem constar todas as outras necessárias à identificação do estudo, tais como: local, data, sentido, extensão percorrida, etc. Pode ser usada a planilha *Ficha de Pesquisa de Velocidade Pontual* a seguir apresentada (Figura 37). Deve-se preencher as informações do topo da página antes de iniciar a pesquisa. Quando o veículo entrar no trecho marcado aciona-se o cronômetro; quando sair do trecho, para-se o cronômetro e escreve-se o tempo correspondente.

De maneira simplificada, os procedimentos de campo são os seguintes:

- Escolher a localização e o comprimento do trecho.
- Marcar suas extremidades de modo a serem bem visíveis para o pesquisador, mas que não chamem a atenção dos motoristas. A extremidade no qual o pesquisador se posiciona pode ter uma marcação “extra”, na forma de um ponto de referência (placa, árvore) do outro lado da via, que auxilie a identificar o momento exato da passagem do veículo.
- Posicionar-se de modo que o motorista não perceba sua presença (às vezes isto não é inteiramente possível); uma posição elevada em relação ao nível da via pode aumentar a precisão das medições mas pode tornar o pesquisador visível.
- Anotar os tempos de percurso segundo algum critério claro e definido, como por exemplo a passagem das rodas dianteiras do veículo pelos extremos do trecho.

A escolha dos veículos a serem pesquisados deve ser criteriosa. A este respeito, o primeiro cuidado consiste em colher tempos de percurso separadamente para cada tipo de veículo: auto, ônibus e caminhão, uma vez que seus comportamentos são diferenciados. O segundo cuidado refere-se à escolha de um veículo dentro de um grupo que se aproxima: normalmente o primeiro veículo está em velocidade “livre” e é o mais adequado para medição, uma vez que os outros podem estar sendo “seguros” por ele, circulando a velocidades inferiores às que desejariam. De qualquer maneira, os motoristas observados devem estar agindo “livremente”.

6.3.3.2 FOTOGRAFIAS AÉREAS

Outra forma de obtenção de velocidades pontuais é através de fotografias aéreas.

Através da comparação de duas ou mais fotografias sucessivas, segundo intervalos de tempo conhecidos, obtém-se a velocidade pontual de qualquer veículo plenamente identificável nas fotos, relacionando o espaço percorrido com o tempo gasto. No entanto, como este processo é caro e de operação complexa, é utilizado apenas em levantamentos extensivos, em que se procura analisar várias características do tráfego de áreas ou vias extensas, como densidade, fluxo, velocidade média, quantidade de veículos estacionados, etc.

Assim sendo, a velocidade pontual só poderia sair como “produto secundário”, estando condicionada à análise de sua validade, uma vez que estes estudos são realizados normalmente em horários “de pico”, o que faz com que as velocidades não sejam em geral “livres”.

6.3.3.3 VIDEOTEIPE

As velocidades também podem ser obtidas através de técnicas modernas de filmagem, principalmente utilizando-se videocâmaras com relógio integrado, que têm vantagens inerentes, tais como:

- Registro permanente;
- Identificação dos tipos dos veículos;
- Captação de detalhes, inclusive dos imprevistos;
- Possibilidade de levantamento das informações no escritório.

Entre as desvantagens, pode-se citar:

- Necessidade de encontrar lugar apropriado para instalação da filmadora;
- Demora na extração dos dados levantados.

A determinação de velocidades utilizando o videoteipe pode ser feita comodamente no escritório, observando veículos que cruzam dois pontos antecipadamente marcados no campo e assinalando os momentos exatos em que são atingidos por um veículo. A base a ser percorrida é previamente medida no local e o tempo é tirado com precisão no relógio digital do vídeo, principalmente se trabalhar com câmara lenta. A extração dos dados pode ser trabalhosa. Essas velocidades podem ser consideradas pontuais, pela pequena extensão das distâncias percorridas.

6.3.3.4 DETETORES DE PISTA

Utilizam computadores acoplados a detetores da passagem de veículos colocados no pavimento, que podem captar praticamente todos os veículos. Esses elementos colocados em pares formam as bases que permitem o cálculo das velocidades, em

função do tempo de percurso entre os detetores. A extensão do trecho, normalmente em torno de dois metros, produz resultados aceitáveis, porque é possível determinar a velocidade com maior exatidão e observar um grande número de veículos.

Os detetores podem ser fixos ou portáteis. Estes aparelhos, de várias procedências e patentes, podem fornecer os resultados na forma de tempo de percurso ou já diretamente em termos de velocidade instantânea.

Quando se usam detetores de veículos colocados sobre o pavimento há a desvantagem de que muitos motoristas reduzem sua velocidade quando os vêm, temendo penalidades.

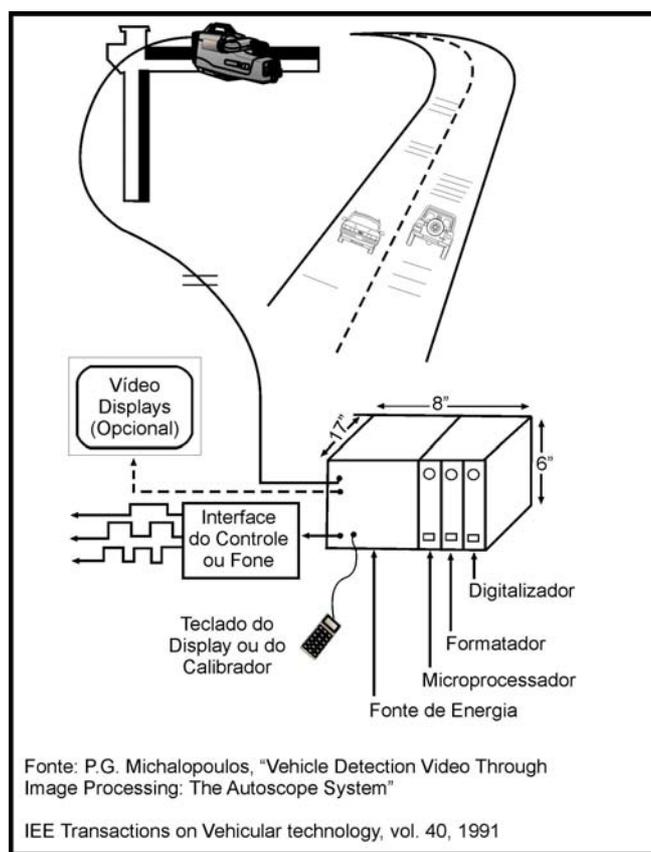
6.3.3.5 DETETORES ELETRÔNICOS

Neste método a presença de veículos é captada por meios eletrônicos. São obtidas informações que permitem identificar volumes de veículos, filas, intervalos entre veículos sucessivos, etc. Com este método não se instalam detetores na própria rodovia, evitando perturbar a sua operação.

A tecnologia mais promissora é a do chamado *Sistema de Processamento de Imagem de Vídeo*, que consiste em uma câmara eletrônica observando um trecho da via e um microprocessador. A câmara recebe as imagens da rodovia e o microprocessador identifica em tempo real a passagem ou presença dos veículos.

Um sistema desse tipo é o autoscope, desenvolvido nos Estados Unidos. A Figura 38 ilustra a sua configuração. Tem uma vantagem significativa sobre os detetores de pista, por captar o tráfego em locais diversos, desde que dentro do campo de visão da câmara. Os locais a monitorar são selecionados pelo técnico por meio de gráficos ilustrativos, que normalmente exigem poucos minutos para execução. Marcam-se no monitor linhas detetoras ao longo ou através das faixas da rodovia. Quando o veículo passa em uma das linhas do monitor um sinal é produzido, indicando a passagem ou a presença do veículo. O autoscope é um detetor sem fio de câmara simples, que pode substituir vários detetores de pista, constituindo um sistema de ação muito ampla. O dispositivo pode ser instalado sem interferir com as operações do tráfego, o que frequentemente ocorre com a instalação dos detetores de pista. A sua configuração pode ser mudada manualmente ou por uma rotina de processamento. O dispositivo também é capaz de extrair outros parâmetros do tráfego, tais como volumes de veículos e comprimentos de filas.

Figura 38 - Autoscope



6.3.3.6 RADAR

Os medidores de velocidade com base no radar são os mais usados atualmente. Baseiam-se no princípio de que uma onda de rádio refletida em um objeto sofre uma variação de frequência que é função da velocidade do objeto (efeito *Doppler*).

Esses medidores podem ser montados em um tripé, em um veículo, ou carregados pessoalmente. Basta apontar para o veículo e acionar um gatilho, para aparecer o valor da velocidade arredondada em km/h (Figura 39).

Como a velocidade que esses instrumentos medem é a do veículo em relação ao medidor, obtém-se um valor diferente da velocidade em relação à via, devido ao ângulo α entre a trajetória do veículo e o raio visual (Figura 40). Como esse ângulo não é fixo, é difícil de se corrigir automaticamente a diferença. Para $\alpha < 15^\circ$ o erro é desprezível.

O radar é o instrumento mais temido pelos infratores dos limites de velocidade. Deve-se ter o cuidado de ocultá-lo. Se possível, deve apontar os veículos por trás.

Figura 39 - Radar manual

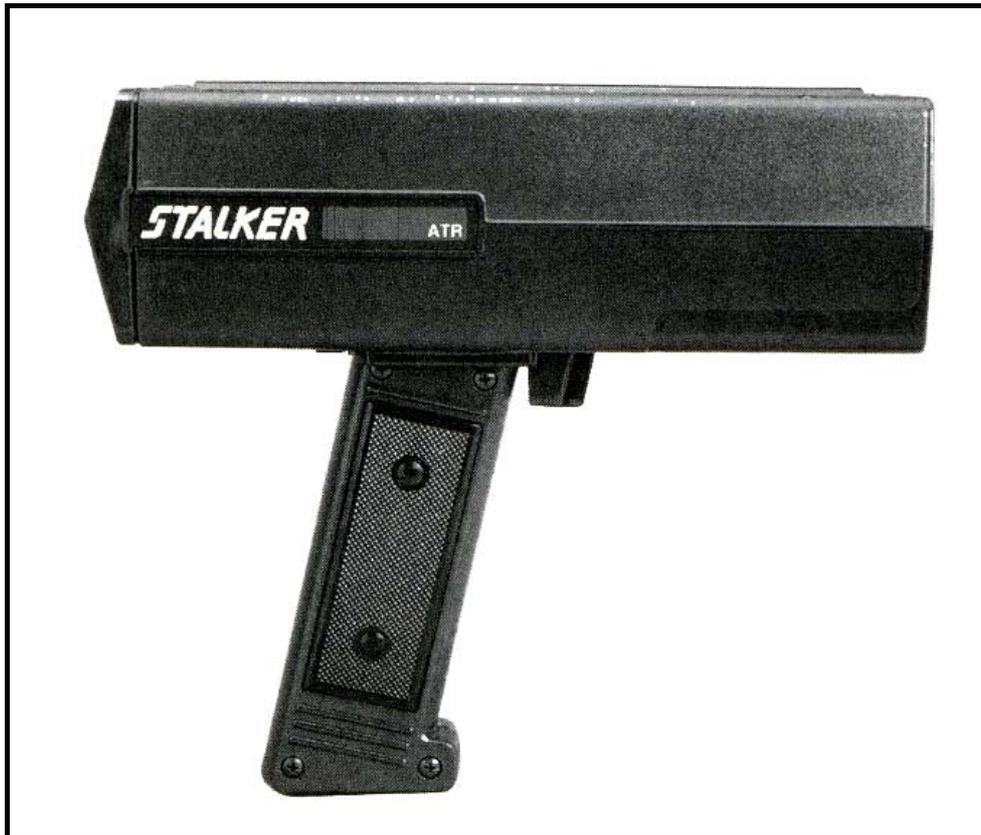
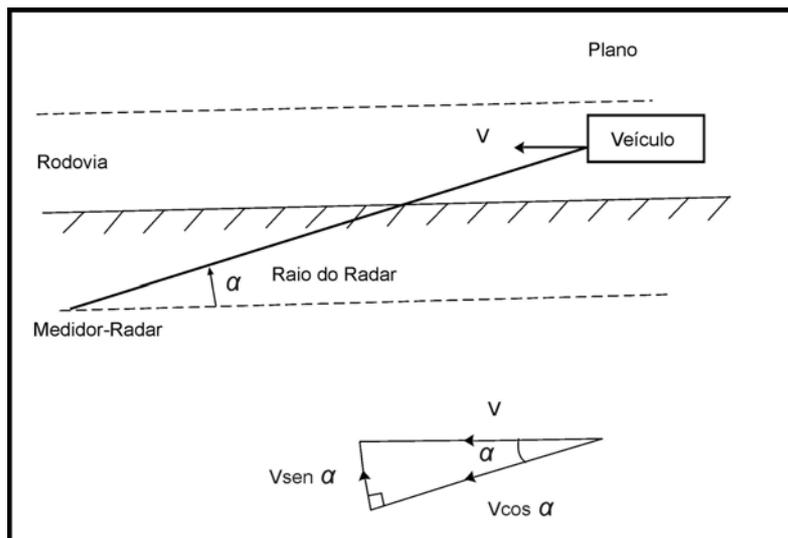


Figura 40 - Ângulo de incidência entre a trajetória e o raio visual



6.3.3.7 LASER

Alguns fabricantes fornecem detetores de velocidade a raio laser. O raio laser é refletido pelo veículo em movimento, suas distâncias entre pulsos sucessivos é medida e a velocidade é calculada com base no intervalo de tempo entre os pulsos. Têm a principal vantagem de não serem captados pelos detetores de radar.

6.3.4 AMOSTRA

A determinação da amostra mínima a ser levantada depende da precisão desejada na estimativa da média e da variância dos dados (ver Apêndice A – Análise Estatística). É necessário, portanto, conhecer de antemão esta variância, o que nem sempre é possível. Para tanto, ou é feita uma pesquisa preliminar para obter a variância ou é assumido um valor obtido através de estudos semelhantes.

Para obter a média aritmética das velocidades pontuais o número de observações deve atender às condições:

$$n \geq \left(\frac{kS}{E} \right)^2, n \geq 30$$

onde:

n = número de observações ou tamanho da amostra

k = constante correspondente ao nível de confiança (precisão) desejado

S = desvio padrão da população de velocidades (km/h)

E = erro máximo aceitável na estimativa da velocidade (km/h)

A Tabela 25, baseado nas propriedades da Distribuição Normal, apresenta os valores de k para os níveis de confiança mais comumente usados. Para velocidades costuma-se usar os níveis de 95% e 95,5%. Em casos muito especiais, em que se deseja maior grau de confiança nos resultados, se empregam os níveis de 99% e 99,7%.

Tabela 25 - Valores da constante “K” para vários níveis de confiança

Nível de Confiança (%)	Valor de k
68,3	1,00
86,6	1,50
90,0	1,64
95,0	1,96
95,5	2,00
98,8	2,50
99,0	2,58
99,7	3,00

Fonte: Box and Oppenlander, 1976

A Tabela 26 fornece os desvios padrões típicos de velocidades para diferentes tipos de rodovias de duas ou quatro faixas de tráfego, a serem usados quando não se dispõe de valor confiável.

Tabela 26 - Desvio padrão de velocidades pontuais para diferentes tipos de vias

Tipo de Rodovia	Número de Faixas	Desvio Típico
Rural	2	8,5
Rural	4	6,8
Suburbana	2	8,5
Suburbana	4	8,5
Urbana	2	7,7
Urbana	4	7,9

Fonte: Box e Oppenlander-Manual of traffic engineering studies

À medida que se vão determinando os dados podem ser calculados valores confiáveis para o desvio típico, procedendo-se à correção do número de observações necessárias.

O erro aceitável naturalmente é uma opção do técnico, mas depende da precisão desejada na estimativa da média. É dado em termos de “desvio” com relação à média estimada, na forma $(\bar{x} \pm E)$, sendo \bar{x} a velocidade média. Os erros admitidos, encontrados na literatura especializada, estão na faixa de ± 1 km/h a ± 5 km/h. O procedimento baseia-se nas propriedades da distribuição normal, motivo pelo qual o tamanho da amostra, ou número de observações, não deve ser menor que 30.

6.3.5 TRATAMENTO DOS DADOS

A tabulação e avaliação dos dados deve procurar compreender as principais características do fenômeno analisado. No caso das velocidades pontuais, a análise deve ser feita principalmente através dos gráficos de frequência das velocidades e dos seus parâmetros estatísticos mais significativos.

Sendo as velocidades pontuais representativas do comportamento “independente” dos motoristas, é de se esperar uma grande variação nas velocidades. Esta variação pode ser visualizada de duas maneiras gráficas: pela frequência relativa e pela frequência acumulada dos dados. A seguir é apresentado um exemplo com objetivo de ilustrar esses procedimentos.

Exemplo de Aplicação

Para determinar a velocidade média no tempo em uma seção de uma via rural de pista simples, mediu-se com o emprego de radar a velocidade pontual dos veículos em um greide ascendente de 5% com um quilômetro de extensão. Limitou-se o erro aceitável da média aritmética das velocidades a 2,5 km/h com nível de confiança de 95%. Admitindo que o desvio padrão das observações individuais seja 8,5 km/h, utilizando a equação 6-1 calculou-se que seriam necessárias pelo menos 45 observações para não ultrapassar o

erro tolerável. Foram feitas 86 observações, escolhendo-se os veículos aleatoriamente. A Tabela 27 mostra as velocidades colhidas no campo.

Para poder apreciar melhor as variações da velocidade pontual, os valores foram reunidos em classes, definidas por intervalos, como indicado na Tabela 28. Este quadro mostra respectivamente o intervalo, o valor médio, o número de valores no intervalo, a frequência relativa (percentagem das observações correspondentes a cada classe), a frequência acumulada (soma da frequência de cada classe com as frequências das classes de velocidades inferiores) e parâmetros auxiliares $f_i x_i$ e $f_i x_{i2}$.

Tabela 27 - Velocidades medidas com radar em uma rodovia em terreno montanhoso (km/h)

Velocidades medidas com radar em uma rodovia em terreno montanhoso (km/h)							
Obs.	Vel.	Obs.	Vel.	Obs.	Vel.	Obs.	Vel.
1	56,2	26	91,7	51	104,0	76	101,4
2	70,4	27	74,9	52	79,2	77	96,2
3	73,3	28	92,5	53	83,5	78	78,1
4	70,9	29	58,9	54	77,4	79	83,4
5	58,1	30	89,3	55	68,5	80	77,9
6	86,4	31	69,3	56	79,2	81	98,9
7	67,4	32	88,5	57	77,8	82	90,6
8	80,2	33	62,4	58	65,9	83	77,1
9	82,9	34	85,9	59	76,8	84	99,4
10	81,3	35	65,3	60	92,8	85	85,3
11	61,3	36	87,2	61	78,4	86	85,4
12	71,4	37	82,6	62	66,9	-	-
13	72,3	38	82,7	63	77,3	-	-
14	65,8	39	80,5	64	73,4	-	-
15	88,2	40	95,7	65	71,5	-	-
16	80,3	41	64,5	66	79,2	-	-
17	86,9	42	88,2	67	89,6	-	-
18	72,6	43	72,0	68	78,6	-	-
19	88,3	44	77,3	69	78,7	-	-
20	73,1	45	76,5	70	90,2	-	-
21	86,6	46	75,4	71	77,6	-	-
22	86,4	47	55,7	72	72,6	-	-
23	73,8	48	83,8	73	77,8	-	-
24	86,7	49	78,6	74	83,2	-	-
25	83,7	50	59,4	75	79,7	-	-

Tabela 28 - Velocidades agrupadas em intervalos e parâmetros estatísticos

Classe de Velocidades (km/h)	Valor Médio - x_i (km/h)	Número de Obs. - f_i	Frequência (%)	Frequência Acumulada (%)	$f_i \cdot x_i$	$f_i \cdot x_i^2$
52 - 55,9	54	1	1	1	54	2.916
56 - 59,9	58	4	3	4	232	13.456
60 - 63,9	62	2	2	6	124	7.688
64 - 67,9	66	6	6	12	396	26.136
68 - 71,9	70	6	6	18	420	29.400
72 - 75,9	74	10	11	29	740	54.760
76 - 79,9	78	19	22	51	1.482	115.596
80 - 83,9	82	12	14	65	984	80.688
84 - 87,9	86	9	11	77	774	66.564
88 - 91,9	90	9	12	88	810	72.900
92 - 95,9	94	3	4	93	282	26.508
96 - 99,9	98	3	4	97	294	28.812
100 - 103,9	102	1	2	98	102	10.404
104 - 107,9	106	1	2	100	106	11.236
Total	–	86	100	–	6.800	547.064
$\bar{x} = 79,07$						

– **Média Aritmética**

A média aritmética é a medida mais comum da tendência central dos dados. Para dados agrupados em classes a média aritmética é dada por:

$$\bar{x} = \frac{\sum f_i x_i}{\sum f_i}$$

onde:

\bar{x} = média aritmética

$\sum f_i x_i$ = somatório dos produtos das frequências das classes pelos seus valores médios

$\sum f_i$ = somatório das frequências de todas as classes

logo:

$$\bar{x} = \frac{6.800}{86} = 79,1 \text{ km / h}$$

– *Mediana*

A mediana é o valor central de uma série de valores ordenados de forma crescente ou decrescente. A mediana corresponde ao percentil 50, ou seja, 50% dos valores são superiores a ela e 50% são inferiores.

No caso em estudo a mediana é 78 km/h, conforme mostra a Tabela 28.

– *Moda*

Moda se define como o valor que ocorre com mais frequência. A Tabela 28 mostra que a moda é 78 km/h, valor que se repete 22 vezes.

– *Desvio Padrão*

A mais importante medida de dispersão é o desvio padrão. Para valores agrupados em classes é determinado pela fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum f_i x_i^2 - \frac{(\sum f_i x_i)^2}{\sum f_i}}{\sum f_i - 1}}$$

onde:

S = desvio padrão

f_i = frequência da classe "i"

x_i = valor médio da classe "i"

logo:

$$S = \sqrt{\frac{547.564 - \frac{(6.800)^2}{86}}{86 - 1}} = 10,5 \text{ km/h}$$

Para este valor de desvio padrão a amostra mínima a empregar é 68. Portanto, as 86 observações feitas atendem com folga esta exigência.

O intervalo definido pela valor da média aritmética menos o desvio padrão até o valor da média aritmética mais o desvio padrão ($\bar{x} \pm S$) contém 68,3% de todas as observações de velocidade se a distribuição for normal.

Assim sendo, pode-se esperar que 68,3% de todas as observações de velocidade fiquem situadas no intervalo: (79,1 \pm 10,5) km/h ou (68,6 km/h; 89,6 km/h).

Da mesma forma pode-se determinar os intervalos:

(a) $\bar{x} \pm 2S$ contendo 95,5% das observações da amostra e,

(b) $\bar{x} \pm 3S$ contendo 99,7% das mesmas observações.

– *Desvio Padrão da Média (erro de estimativa)*

A média real de todo o universo de medidas não pode ser calculada. Pode-se entretanto determinar um intervalo em que ela se situe com o grau de confiança que se desejar.

Se \bar{x} é a média de uma amostra de n observações e se S é o desvio padrão desse conjunto de valores, pode-se determinar o intervalo $\bar{x} \pm S_x$, em que

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

que tem a probabilidade de 68,3% de conter a média real.

Então:

$$S_x = \frac{10,5}{\sqrt{86}} = 1,1 \text{ km/h}$$

Isto significa que há a probabilidade de 68,3% de que a média real esteja no intervalo $(29,1 \pm 1,1)$ km/h, ou seja, (28,0 km/h; 30,2 km/h)

O valor S_x é denominado desvio padrão da média.

Da mesma forma, usando a média aritmética \bar{x} mais 2 ou 3 vezes S_x pode-se obter intervalos com maior probabilidade de conter a média.

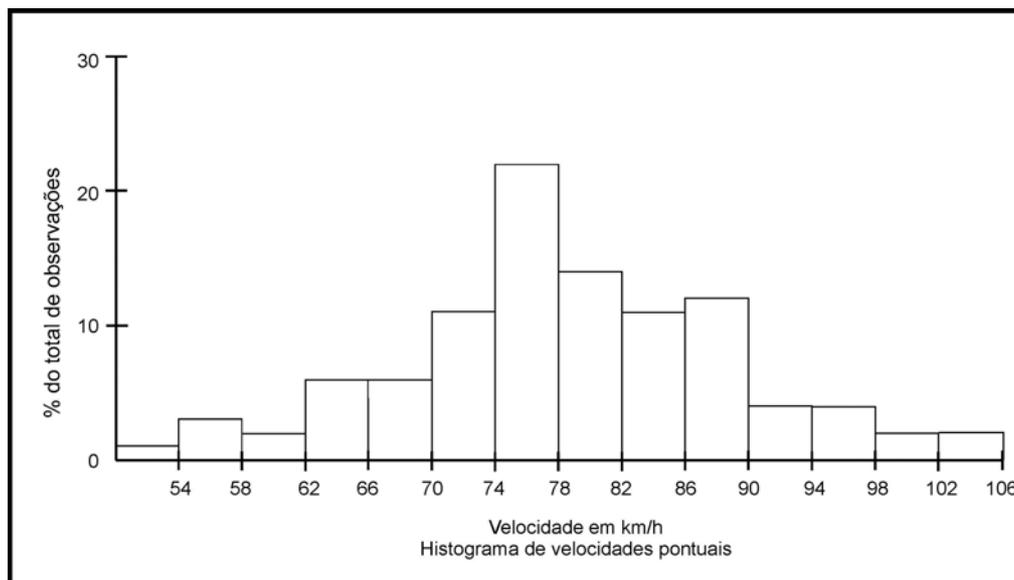
– *Histograma de Velocidades Pontuais*

Com os valores da segunda e quarta colunas da Tabela 28 pode-se montar um histograma das velocidades pontuais, que é um gráfico formado por retângulos, cujas bases representam os intervalos das classes de velocidades e as alturas as freqüências de cada classe.

Este histograma de freqüência relativa mostra a participação de cada classe de velocidade no total e tem a forma aproximada de uma distribuição normal, ou seja, é aproximadamente simétrica com relação à média (Figura 41).

– *Curva de Freqüência Acumulada*

A curva de freqüência acumulada é definida usando como abscissa os valores dos limites superiores de cada classe de velocidades (segundo valor da primeira coluna da Tabela 28) e como ordenadas as freqüências acumuladas (quinta coluna). Assim, a cada valor da velocidade corresponde a percentagem de veículos que circularão a velocidades menores que aquela.

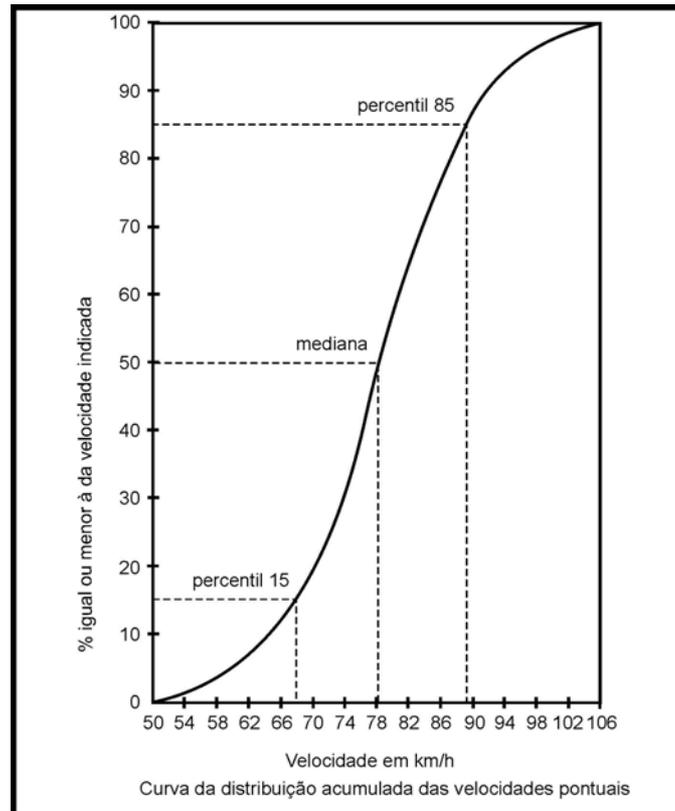
Figura 41 - Histograma de velocidades pontuais

A curva de freqüência acumulada mostra a participação acumulada de cada classe subsequente das velocidades, até o máximo de 100%, tendo o formato aproximado da letra “S” (Figura 42).

A forma da curva de freqüência acumulada evidencia que há três tipos de motoristas: os exageradamente lentos, os excessivamente rápidos e os que trafegam em um intervalo relativamente pequeno de velocidades. Uma das primeiras conclusões práticas que se tira dessas curvas é a determinação de limites mínimo e máximo para velocidades, já que o máximo de capacidade e segurança se obtém quando os veículos trafegam com velocidades próximas.

É prática corrente fixar apenas a Velocidade Máxima Permitida, que muitos engenheiros determinam tirando do gráfico a velocidade abaixo da qual 85% dos motoristas trafegam e adotando um valor arredondado múltiplo de 10. No exemplo dado, a velocidade limite seria 90 km/h. Em alguns casos são fixados valores mínimos para a velocidade, com base no percentil 15.

Figura 42 - Curva de freqüência acumulada



Roteiro para Análise dos Dados

Como roteiro básico para tabulação e análise dos dados recomenda-se:

- Verificar os dados de campo para analisar a necessidade de eliminar erros ou dados obtidos em condições desfavoráveis. Para tanto, o informe do pesquisador é fundamental;
- Transformar os dados de tempos de percurso em velocidade pontuais (dependendo do método), separando-os por tipo de veículo e/ou faixa de horário, conforme objetivos da análise;
- Determinar a média e o desvio padrão da amostra;
- Testar a suficiência da amostra, em função do desvio padrão, e do erro admissível.
- Separar as velocidades em classes, determinando suas freqüências relativas e freqüências acumuladas;
- Construir os dois diagramas, assinalando média e percentis julgados convenientes.

6.4 PESQUISA DE VELOCIDADE E RETARDAMENTO

6.4.1 OBJETIVO

A *Pesquisa de Velocidade e Retardamento*, tem o objetivo de medir a velocidade e os retardamentos de uma corrente de tráfego ao longo de uma via, a fim de conhecer a facilidade/dificuldade da mesma para percorrê-la.

Contrariamente à Velocidade Média no Tempo, objeto de determinação de velocidade pontual, nesta pesquisa a velocidade se refere à Velocidade Média no Espaço, igual à distância percorrida dividida pelo tempo médio gasto, incluindo os tempos parado.

A medida desta velocidade é normalmente indireta, feita através do tempo de percurso (tempo em movimento) ao longo do trecho analisado e dos tempos perdidos, resultantes das paradas dos veículos, que fornecem os chamados retardamentos, colhidos por meio de amostras. Pode ser realizada tanto para o tráfego geral da via quanto para veículos específicos.

O tratamento destes dados permite avaliar sob quais condições a massa veicular trafega ao longo da rota, quais são os locais problemáticos e que influência eles têm no trecho analisado.

A localização e o peso destes locais permitem ao técnico estudar formas de melhorar o desempenho do tráfego, geralmente direcionadas no sentido de reduzir os retardamentos, diminuindo conseqüentemente os tempos de viagem e aumentando a velocidade média.

De maneira geral, os estudos de velocidade/retardamento são utilizados para:

- Análise do desempenho de uma rota, da sua eficiência em atender o tráfego; identificação de locais congestionados e seu relacionamento com características geométricas e de sinalização;
- Avaliação do impacto de alterações em uma rota, através dos estudos do tipo “antes-depois”;
- Análise global do sistema viário, com levantamentos periódicos de velocidade/retardamento nas principais rotas, e desenvolvimento de índices gerais, como velocidade média, tempo médio de percurso por quilômetro, atraso médio etc;
- Estudos de capacidade e nível de serviço das rotas, com o objetivo de estabelecer valores característicos do sistema analisado;
- Levantamento dos tempos de percurso nos limites do sistema, para uso nos modelos de distribuição e alocação de tráfego.

6.4.2 FATORES QUE INTERFEREM NA VELOCIDADE MÉDIA NO ESPAÇO

A velocidade média do tráfego ao longo de uma rota e os retardamentos por ele sofrido dependem de uma série de fatores, relativos às condições geométricas locais, aos dispositivos de sinalização existentes, às condições do tempo e às condições do tráfego.

A análise da inter-relação destes fatores é complexa e encontra-se definida na literatura especializada. A única distinção clara, e que deve ser feita de início, refere-se ao regime do fluxo analisado, se contínuo ou interrompido.

No fluxo contínuo não existem as interrupções externas ao tráfego (semáforos, dispositivos de controle etc.) e conseqüentemente, os retardamentos somente existirão quando provocados por atritos internos ao tráfego.

No fluxo interrompido, semáforos e outros dispositivos bloqueiam o fluxo ciclicamente, somando-se aos efeitos dos atritos internos ao tráfego e aumentando sensivelmente o tempo total de viagem.

6.4.3 MÉTODOS DE PESQUISA

A pesquisa de velocidade/retardamento mede, portanto, duas variáveis, a velocidade média no espaço e os retardamentos sofridos pelo fluxo de tráfego.

A primeira variável pode ser medida direta ou indiretamente, dependendo dos recursos disponíveis.

Na medição direta, pode-se utilizar um veículo-teste que circula no meio da corrente e que tem um aparelho a ele acoplado, que registra a velocidade do veículo.

Na medição indireta, é medido o tempo de percurso na rota analisada, e calculada depois a velocidade média. Neste caso, o tempo pode ser obtido através de vários meios, sendo os mais comuns:

- Pesquisadores postados no início e no fim do trecho analisado registram a placa e a hora de passagem dos veículos;
- Um veículo-teste circula no fluxo, conduzindo um pesquisador munido de cronômetro para as medições;
- Um veículo-teste circula no fluxo, e dispõe de um aparelho que registra distância percorrida e tempo gasto;
- Um veículo-teste “flutua” à velocidade média da corrente, conduzindo um observador que conta o número de veículos que o ultrapassam e o número de veículos ultrapassados por ele.

A segunda variável, retardamentos, é medida sempre diretamente, na forma de tempo perdido em cada parada efetuada pelo veículo-teste ou ônibus com indicação do motivo. O instrumento de medição pode ser:

- Cronômetro operado pelo pesquisador;
- Aparelho acoplado ao veículo, que registra o tempo parado.

A escolha do método depende do objetivo do estudo, do tipo de via, da extensão do trecho, da hora do dia e do pessoal, equipamentos e recursos disponíveis. Três dos métodos mais comuns são a seguir apresentados.

6.4.3.1 MÉTODO DAS PLACAS

Consiste na anotação, na entrada e saída do trecho analisado, da placa e hora de passagem dos veículos. Posteriormente, no escritório, as chapas são “casadas” entre entradas e saídas, obtendo-se o tempo de viagem de cada veículo que entrou e saiu pelos locais observados.

A grande vantagem deste método é a amostra obtida que, em alguns casos, pode chegar a 100% da população (dependendo do fluxo medido e do número de pesquisadores).

A sua desvantagem básica está no trabalho de tabulação dos dados, geralmente muito grande. Este trabalho de “casamento” das chapas pode ser manual ou computadorizado, mas em qualquer caso é custoso.

Outra desvantagem consiste em não poder obter os retardamentos ao longo da rota, o que obriga o técnico a se utilizar de um veículo-teste, decisão que acaba levando também à pesquisa dos tempos de percurso através do mesmo veículo-teste.

Uma terceira desvantagem resulta de entradas e saídas existentes no trecho analisado, que podem resultar em muitas placas sem entrada ou sem saída e portanto inúteis para os objetivos, obrigando a colher uma percentagem muito grande dos veículos.

A Figura 43 mostra um tipo de ficha de campo para o uso deste método, cujos dados básicos são a placa do veículo e a sua hora de entrada ou saída do trecho.

Figura 43 - Pesquisa de velocidade por placa

PROJETO _____ DATA _____

VIA _____ SEÇÃO _____

PLACA	Tempo										
	min	seg									
18	30	32	34	4	0	2	4	8	0	2	4
34	38	40	42	6	8	0	2	8	8	0	2
44	46	48	50	4	8	8	0	4	8	8	0
52	54	56	58	2	4	8	0	2	4	8	0
60	62	64	66	0	2	4	8	0	2	4	8
68	70	72	74	8	0	2	4	8	0	2	4
76	78	80	82	6	8	0	2	4	8	0	2
84	86	88	90	4	8	8	0	4	8	8	0
92	94	96	98	2	4	8	0	2	4	8	0
100	102	104	106	0	2	4	8	0	2	4	8

CROQUIS:

Sentido de _____ para _____

PESQUISADOR _____

SUPERVISOR _____

6.4.3.2 MÉTODO DO VEÍCULO-TESTE COM CRONÔMETRO

Consiste em percorrer a rota analisada em um veículo-teste, dentro do qual vão um ou dois pesquisadores munidos de cronômetros. O primeiro cronômetro é usado para ler os tempos de percurso e o segundo para ler os retardamentos. No caso dos ônibus, o veículo-teste é um ônibus qualquer.

A desvantagem principal do método consiste na amostra necessária, normalmente muito grande. Esta necessidade decorre do fato de que as características dinâmicas do tráfego (velocidade, volume, densidade) variam acentuada e rapidamente nos horários de pico, fazendo com que sejam necessárias muitas medições concentradas para obter valores médios confiáveis. A variável tempo de percurso, por exemplo, quando medida num corredor perto do seu nível de saturação, assume valores muito diferentes entre si para viagens realizadas a intervalos pequenos (10 minutos por exemplo). Isto normalmente leva à necessidade de realizar de 5 a 6 viagens na hora de pico, o que obriga a inclusão de outros veículos-teste circulando na mesma rota.

No caso da outra variável, retardamento, a variância dos dados costuma ser maior ainda, o que aumenta a amostra mínima necessária.

Este método apresenta também problemas de precisão nas medidas, decorrentes de falhas humanas de observação, ou de impossibilidade prática de atingir a precisão desejada. O principal problema está na distinção, que o pesquisador precisa fazer instantaneamente, entre os motivos do retardamento e seus momentos de início/término no caso de paradas sucessivas. Um outro problema é o da impossibilidade prática de registrar os tempos correspondentes à aceleração/desaceleração do veículo-teste que caracterizam sua passagem do movimento para a parada total (e vice-versa).

No primeiro caso, é freqüentemente difícil distinguir no campo o motivo real da parada, principalmente em vias congestionadas. Nas vias urbanas esta dificuldade reside principalmente na distinção entre parada por semáforo e por congestionamento, uma vez que freqüentemente estes motivos estão interrelacionados. O mesmo se dá quando da distinção, no caso de retardamentos de ônibus, entre tempo perdido em ponto de parada e em um semáforo colocado logo após, entre a fila do ponto propriamente dita e a fila causada por um eventual congestionamento na via.

No segundo caso, a impossibilidade de registrar tempos de desaceleração/aceleração, faz com que os mesmos sejam considerados tempos em movimento com o mesmo peso dos tempos em movimento a velocidade constante (antes de desacelerar e após acelerar). Isto introduz uma imprecisão no cálculo do tempo médio em movimento (e da correspondente velocidade de percurso).

Para este tipo de pesquisa, os dados básicos da ficha de campo são a hora de início da viagem, as horas de passagem pelas seções predeterminadas, os retardamentos ocorridos e os motivos destes retardamentos (Figura 44).

**Figura 44 - Ficha de pesquisa de velocidade e retardamento
(Método do veículo teste)**

ESTUDO DE TEMPOS DE PERCURSO E DEMORAS MÉTODO DO VEÍCULO EM MOVIMENTO																																																																																																																																						
Data: 27 de maio de 1965	Observador: Yingling	Estado do Tempo: nublado, pav. seco																																																																																																																																				
Trecho: Connecticut Ave., N.W, de 32 m ao S de Woodley, a 120 m ao N de Porte																																																																																																																																						
Percurso: 6	Sentido: N	Comprimento (m): 1,530																																																																																																																																				
		Hore de início: 8:12 AM																																																																																																																																				
NOTAS: 1. Devem ser dadas informações sobre os pontos de controle. 2. Risque a unidade de tempo que não usar.																																																																																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Pontos de Controle</th> <th colspan="3">Tempo Pradao</th> </tr> <tr> <th>Nome</th> <th>Lugar</th> <th>Tempo de percurso</th> <th>Ponto de Parada</th> <th>Minutos</th> <th>Causa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Início</td> <td>32 ms de PC1</td> <td>0,00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PC1</td> <td>Woodley</td> <td>0,28</td> <td>PC1</td> <td>0,22</td> <td>S</td> </tr> <tr> <td>PC2</td> <td>Catedral</td> <td>1,35</td> <td>PC2</td> <td>0,48</td> <td>S</td> </tr> <tr> <td>PC3</td> <td>Zoo (S)</td> <td>1,66</td> <td>PC7</td> <td>0,50</td> <td>S</td> </tr> <tr> <td>PC4</td> <td>Zoo (N)</td> <td>1,87</td> <td></td> <td>0,62</td> <td>DF</td> </tr> <tr> <td>PC5</td> <td>Devonshire</td> <td>2,00</td> <td>PC8</td> <td>1,13</td> <td>S</td> </tr> <tr> <td>PC6</td> <td>Macomb</td> <td>2,58</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PC7</td> <td>Ordway</td> <td>3,36</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PC8</td> <td>Porter</td> <td>5,36</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Final</td> <td>120m N de PC8</td> <td>5,58</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>			Pontos de Controle			Tempo Pradao			Nome	Lugar	Tempo de percurso	Ponto de Parada	Minutos	Causa	Início	32 ms de PC1	0,00				PC1	Woodley	0,28	PC1	0,22	S	PC2	Catedral	1,35	PC2	0,48	S	PC3	Zoo (S)	1,66	PC7	0,50	S	PC4	Zoo (N)	1,87		0,62	DF	PC5	Devonshire	2,00	PC8	1,13	S	PC6	Macomb	2,58				PC7	Ordway	3,36				PC8	Porter	5,36				Final	120m N de PC8	5,58																																																															
Pontos de Controle			Tempo Pradao																																																																																																																																			
Nome	Lugar	Tempo de percurso	Ponto de Parada	Minutos	Causa																																																																																																																																	
Início	32 ms de PC1	0,00																																																																																																																																				
PC1	Woodley	0,28	PC1	0,22	S																																																																																																																																	
PC2	Catedral	1,35	PC2	0,48	S																																																																																																																																	
PC3	Zoo (S)	1,66	PC7	0,50	S																																																																																																																																	
PC4	Zoo (N)	1,87		0,62	DF																																																																																																																																	
PC5	Devonshire	2,00	PC8	1,13	S																																																																																																																																	
PC6	Macomb	2,58																																																																																																																																				
PC7	Ordway	3,36																																																																																																																																				
PC8	Porter	5,36																																																																																																																																				
Final	120m N de PC8	5,58																																																																																																																																				
Tempo de percurso (min): 5,58	Tempo parado (min): 2,95	Tempo em movimento (min): 2,63																																																																																																																																				
Velocidade de percurso (km/h): 16.5	Velocidade de marcha (km/h): 34.9																																																																																																																																					
SÍMBOLOS PARA AS CAUSAS DE DEMORAS: S-semáforo, SP-sinal de "Pare", GI-giro à esquerda, VE-veículos estacionados, DF-estacionamento em fila dupla, P-pedestres, B-ônibus servindo passageiros, C-congestionamento																																																																																																																																						
Velocidade máxima em que se considerou que o veículo estava detido: 10 km/h																																																																																																																																						
Observações: Táxi parado entre PC7 e PC8																																																																																																																																						

6.4.3.3 MÉTODO DO VEÍCULO-TESTE COM APARELHO

Existem aparelhos que podem registrar todos os eventos relacionados ao percurso tais como; aceleração/desaceleração, retardamentos, etc., havendo comandos que permitem imprimir os motivos dos eventos. A vantagem básica é a riqueza dos dados e a desvantagem seu alto custo de aquisição.

É importante salientar que avanços recentes permitem estabelecer ligações entre microcomputadores portáteis e o *Global Positioning Systems* (GPS). O veículo-teste equipado com esse aparelho pode monitorar e arquivar tempos de percurso e de retardamento em um teste convencional ou complementá-lo com informações precisas do seu deslocamento.

6.4.3.4 MÉTODO DO OBSERVADOR MÓVEL

Esse método é usado para obtenção de tempos e velocidades de viagem médias em um determinado trecho de via. Serve ainda para estimar o número de veículos neste trecho, tendo sua maior utilização em vias urbanas. Só é aplicável em vias de dois sentidos de tráfego, onde os veículos são visíveis o tempo todo.

a) Equipamento e Material

O método do observador móvel requer um veículo-teste e meios para efetuar contagens de tráfego, medir distâncias e tempos de viagem. Em vias de várias faixas com volume elevado de tráfego pode ser conveniente usar videoteipe para registro e posterior análise no escritório.

Um motorista, um observador/anotador, um cronômetro, contadores manuais e formulários para anotação de dados são necessários, recomendando-se, para facilidade de cálculo, o uso de cronômetro graduado em centésimos de minuto ou em segundos.

b) Operação

Antes de se iniciarem os testes devem ser selecionados os pontos de início e fim do trecho. O grupo de trabalho pode escolher e medir a extensão do trecho de teste em mapas ou medir a extensão com uso do odômetro.

O veículo-teste sai de um ponto um pouco antes do início do trecho. O motorista deve conduzi-lo à velocidade média da corrente. O observador zera o cronômetro e inicia o preenchimento da ficha de coleta (Figura 45). É recomendável fazer preliminarmente um par de viagens para rever a distância e ensaiar os procedimentos.

**Figura 45 - Ficha de pesquisa de velocidade e tempo de viagem
(Método do observador móvel)**

Contagem - Método do Veículo em Movimento							
Rodovia: Início do Trecho: Condições do Tempo:				Data: Fim do Trecho:			
Sentido	Viagem	Hora de Início	Hora de Conclusão	Tempo de Viagem-T (min)	Veículos Encontrados-E	Veículos que o Ultrapassam-U	Veículos que Passa-P
INÍCIO ao FIM do TRECHO	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
FIM ao INÍCIO do TRECHO	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
Observações: Responsável:							

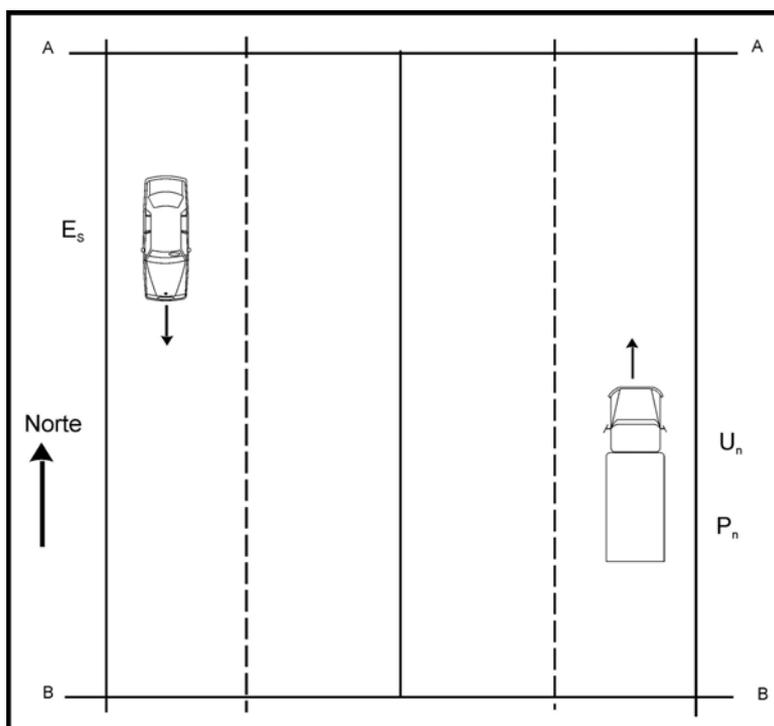
No início do trecho começa-se a marcação do tempo no cronômetro. Devem ser contados os números de veículos que ultrapassam o veículo-teste e os que são ultrapassados, bem como os que vêm em sentido contrário. Volta-se então, no sentido contrário, repetindo a mesma operação.

Dependendo do volume de tráfego podem ser necessários vários observadores, devendo o motorista ficar plenamente ocupado com a direção do carro. Pode ser usado um computador portátil para anotar os dados, o que facilitará os trabalhos posteriores de análise.

Se o número de testes não puder ser feito em um único período, pode-se completar o número desejado em outro dia, no mesmo intervalo de tempo.

A Figura 46 ilustra o método. Os índices n e s se referem ao sentido de deslocamento do veículo (norte ou sul). O veículo-teste sai do ponto A e se dirige para B – sentido sul. O observador conta os veículos encontrados no sentido contrário durante o percurso para o sul (E_s). O tempo de viagem no sentido sul é anotado (T_s). O motorista faz a operação de retorno em B e se dirige para o norte; anota o tempo de viagem (T_n), o número de veículos que passam (P_n) e o número de veículos que o ultrapassam (U_n), completando a primeira viagem.

Figura 46 - Esquema do método do observador móvel



c) Determinação dos Parâmetros de Interesse

– Volume Horário

Se a via é percorrida igual número de vezes nos dois sentidos, a seguinte fórmula dará uma estimativa do volume de veículos.

$$V_n = 60 \left(\frac{E_s + U_n - P_n}{T_n + T_s} \right) \quad (1)$$

onde:

V_n = volume por hora no sentido norte (veic/hora)

E_s = número de veículos opostos encontrados durante o percurso do veículo no sentido sul

U_n = número de veículos que ultrapassam o veículo-teste durante o percurso no sentido norte

P_n = número de veículos ultrapassados pelo veículo teste durante o percurso no sentido norte

T_n = tempo de viagem no sentido norte (min)

T_s = tempo de viagem no sentido sul (min)

A fórmula para o volume por hora no sentido sul é semelhante, com os índices n e s trocados. A perda de tempo na operação de retorno introduz um pequeno erro

nos resultados. Para obter um resultado mais representativo devem ser feitas várias viagens (pelo menos seis), adotando-se as médias das velocidades.

– *Tempo Médio de Viagem*

O tempo médio de viagem para um sentido de fluxo é calculado com a fórmula:

$$T_{nm} = T_n - \frac{60(U_n - P_n)}{V_n} \quad (2)$$

Onde T_{nm} é o tempo médio de viagem no sentido norte e as outras variáveis conforme definidas na equação anterior. Para o sentido sul as fórmulas são semelhantes. O valor $(U_n - P_n)$ representa um fator de correção para levar em conta o fato de que o veículo-teste pode não ter viajado na velocidade média.

– *Velocidade Média no Espaço*

A velocidade média no espaço para um sentido de fluxo é calculado com a fórmula:

$$V_{nm} = \frac{60d}{T_{nm}} \quad (3)$$

Onde V_{nm} é a velocidade média no espaço no sentido norte e d é o comprimento do trecho.

d) Exemplo de Aplicação

A Tabela 29 – *Contagem para o Método do Observador Móvel* – é um exemplo ilustrativo de aplicação do método para um caso baseado em seis observações. O quadro apresenta dados para um trecho com 1,207 km de extensão.

Tabela 29 - Contagem para o método do observador móvel

Contagem - Método do Veículo em Movimento						
Rodovia:			Data:			
Início do Trecho:			Fim do Trecho:			
Condições do Tempo:						
Sentido	Viagem	Tempo de Viagem-T (min)	Veículos Encontrados-E	Veículos que o Ultrapassam-U	Veículos que Passa-P	
		T_n	E_n	U_n	P_n	
Sul ao Norte do Trecho	1	2,65	85	1	0	Volume por Hora (veic/h)
	2	2,70	83	3	2	
	3	2,35	77	0	2	
	4	3,00	85	2	0	
	5	2,42	90	1	1	
	6	2,54	84	2	1	
	Total	15,66	504,00	9,00	6,00	V_{nm}
	Média	2,61	84,00	1,50	1,00	1336
	T_{nm}	2,59				
		T_s	E_s	U_s	P_s	
Norte ao Sul do Trecho	1	2,33	112	2	0	Volume por Hora (veic/h)
	2	2,30	113	0	2	
	3	2,71	119	0	0	
	4	2,16	120	1	1	
	5	2,54	105	0	2	
	6	2,48	100	0	1	
	Total	14,52	669,00	3,00	6,00	V_{sm}
	Média	2,42	111,50	0,50	1,00	996
	T_{sm}	2,45				

– *Volume Horário*

Os volumes médios por hora nos sentidos norte e sul, V_{nm} e V_{sm} são calculados pela Fórmula 1 e sua correspondente para o sentido sul.

$$V_{nm} = 60 \left(\frac{111,5 + 1,5 - 1,0}{2,61 + 2,42} \right) = 1.336 \text{ veículos por hora}$$

$$V_{sm} = 60 \left(\frac{84,0 + 0,5 - 1,0}{2,42 + 2,61} \right) = 996 \text{ veículos por hora}$$

– *Tempo Médio de Viagem*

Com a Fórmula 2 e a similar para o sentido sul são calculados os tempos médios de viagem nos sentidos norte e sul.

$$T_{nm} = 2,61 - \frac{60 (1,5 - 1,0)}{1.336} = 2,59 \text{ minutos}$$

$$T_{sm} = 2,42 - \frac{60(0,5 - 1,0)}{996} = 2,45 \text{ minutos}$$

– *Velocidade Média no Espaço*

Pela Fórmula 3 são calculadas as velocidades médias no espaço nos sentidos norte e sul.

$$V_{nm} = 60 (1,207/2,59) = 27,96 \text{ km/h}$$

$$V_{sm} = 60 (1,207/2,45) = 29,56 \text{ km/h}$$

6.4.4 PLANEJAMENTO

6.4.4.1 DADOS BÁSICOS

Os dados básicos a obter são o tempo de percurso, os retardamentos e os motivos destes últimos.

No caso de pesquisa de placa, os dados a colher no campo são a placa do veículo e as horas de entrada e saída do trecho. Não é preciso anotar todos os dígitos da chapa, podendo-se optar pelos quatro ou três últimos números, salvo quando o volume é muito grande e a duração da pesquisa for longa: Neste caso, aumenta a probabilidade de passarem veículos com finais iguais e letras diferentes, o que torna aconselhável a anotação de todos os dígitos.

As horas de entrada/saída devem ser anotadas por inteiro, ou seja, hora, minuto e segundo, salvo quando a pesquisa for de curta duração (pode-se dispensar a marcação da hora) ou quando se utilizar o cronômetro.

6.4.4.2 LOCAL

A pesquisa de velocidade e retardamento pode ser realizada em qualquer via do sistema. A única exigência básica é que o comprimento percorrido seja suficiente para colher dados variados e consistentes estatisticamente. É recomendável que o trecho mínimo percorrido seja da ordem de 0,8 km.

Em qualquer caso, a via (ou trecho dela) é chamada rota, e a escolha do seu traçado depende única e exclusivamente do interesse do estudo. Como no sistema viário principal as viagens em geral são diretas (sem conversões) na maior parte de sua extensão, as rotas de estudo continuam ser diretas também, nada impedindo, no entanto, que se designem rotas não diretas, com vários movimentos de conversão. O critério mais geral é o de “casá-las” com os fluxos mais significativos dentro do sistema disponível.

6.4.4.3 PERÍODO DE PESQUISA

O horário evidentemente também é determinado de acordo com os interesses do estudo, mas o agravamento dos problemas de circulação nos horários de pico faz com que estes sejam normalmente os horários da pesquisa.

O levantamento nos horários fora de pico é também muito útil, principalmente nos corredores muito congestionados, pois possibilita uma comparação entre o “ideal” (fora-de-pico) e o “real” (pico), fornecendo uma visão mais completa das condições gerais com que o técnico está lidando.

6.4.4.4 AMOSTRA

No caso da pesquisa de velocidade/retardamento, são duas as variáveis diretamente analisadas: tempo de viagem e retardamento, e duas as indiretamente analisadas: tempo de percurso (em movimento) e número de paradas. Qualquer dimensionamento da amostra, deverá levar em conta a variância e o erro admissível das variáveis que se deseja analisar.

Das duas condicionantes básicas, o erro admissível é o mais fácil de discutir, uma vez que é decisão direta do técnico. Embora este erro varie de estudo para estudo, ele costuma estar, nos trabalhos especializados da área, dentro da faixa de 2,0 a 10,0 km/h (erro admissível na estimativa da velocidade média no espaço).

Um destes trabalhos (Box, Paul C. e Oppenlander, Joseph C. *Manual of Traffic Engineering Studies*, Institute of Transportation Engineers, 1976) recomenda como erro admissível:

- a) Para estudos de planejamento: de 5,0 a 8,0 km/h;
- b) Para estudos de operação de tráfego e avaliações econômicas: de 3,5 a 6,5 km/h;
- c) Para estudos “antes-depois”: 2,0 a 5,0 km/h.

Quanto à segunda condicionante, a variância da população, a discussão é mais problemática, pois foge ao controle do técnico e nem sempre pode ser avaliada antecipadamente, levando à necessidade de levantamentos preliminares. Além disto, as variáveis tratadas no estudo têm cada uma a sua variância.

O número mínimo de viagens dependerá, portanto, da variável adotada e da sua variância. Normalmente, o tempo de viagem (e a correspondente velocidade média no espaço) é a variável mais utilizada, pois permite a avaliação mais global possível da rota. Em segundo lugar, vêm os retardamentos e, em terceiro, o número de paradas. O tempo em movimento, por sua vez é menos utilizado, pois é apenas a diferença entre o tempo total de viagem e os retardamentos.

a) Método do Veículo-teste com Cronômetro

Para o método do veículo-teste com cronômetro, *Box* e *Oppenlander* recomendam que se use como medida de variância a amplitude média das observações, que é determinada pela equação:

$$a = (\sum d)/(n-1)$$

onde:

a = amplitude média das velocidades de percurso observadas (km/h);

$\sum d$ = soma das diferenças entre os valores consecutivos de todas as velocidades observadas (km/h)

n = número de velocidades observadas

A Tabela 30 fornece o número aproximado de testes necessários, em função da amplitude média e do erro tolerável. Conhecendo-se a amplitude média das velocidades de trechos semelhantes, pode-se então estimar o número de percursos necessários. São utilizadas velocidades de percurso por serem mais estáveis que as velocidades de viagem. Recomenda-se que se executem pelo menos quatro testes preliminares e, em função de sua amplitude média, se determine o número de percursos (amostra mínima necessária).

Tabela 30 - Amostra mínima para estudos de tempos de percurso com um nível de confiança de 95%

Amplitude média da velocidade de percurso (km/h)	Erro tolerável (km/h)				
	± 2,0	± 3,5	± 5,0	± 6,5	± 8,0
	5	4	3	2	2
10	8	4	3	3	2
15	14	7	5	3	3
20	21	9	6	5	4
25	28	13	8	6	5
30	38	16	10	7	6

Fonte: Box and Oppenlander, Manual of Traffic Engineering Studies (1976).

Nas vias rurais, em que as paradas são dependentes apenas da via e do tráfego, pode-se utilizar a velocidade de viagem para determinar o número de percursos. Como essa velocidade varia menos, a amostra necessária é menor.

Em vias urbanas, especialmente em artérias com grande densidade de semáforos, as paradas são o fator preponderante do tempo de viagem.

A experiência da Companhia de Engenharia de Tráfego (CET-SP) mostra que, em vias arteriais carregadas (como são quase todas do sistema viário principal de São Paulo), o número de viagens necessário para obter dados representativos é

normalmente alto. São necessárias de 8 a 10 viagens para caracterizar o tempo total de viagem em um determinado sentido e horário de pico (de 3 horas) de uma via, em um dia útil, pulando este valor para 20 a 25 viagens (distribuídas de 2ª a 6ª), caso se pretenda gerar valores representativos da média semanal para o período-sentido.

b) Método das Placas

Estudos desenvolvidos por Box e Oppenlander (1976) informam que geralmente é adequada uma amostra que inclua pelo menos 50 placas de veículos anotadas na entrada e na saída do trecho analisado.

c) Método do Observador Móvel

Estudos conduzidos por *Mortimer (Moving Vehicle Method of Estimating Traffic Volumes and Speeds*, Highway Research Board, 1957) informam que um mínimo de seis testes em cada sentido, em condições semelhantes, permitem obter valores confiáveis.

6.4.5 TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados diretos produzidos pela pesquisa são dois, tempo de viagem e tempo parado (com o motivo especificado em cada parada). Através deles, pode-se obter inicialmente o tempo em movimento (tempo de viagem menos tempo parado) e o número de paradas (igual ao número de retardamentos verificados). A tabulação inicial consiste então, em registrar de forma ordenada (no total da rota e por cada seção considerada) cada um destes valores.

Para estudar dados de tempos de viagem, uma vez concluídos os levantamentos de campo, analistas convertem medidas de tempo e distância em velocidades médias de viagem. O intervalo de valores de velocidades é calculado para ajudar a determinar o tamanho da amostra necessária. A velocidade média de viagem para cada medida é calculada com a equação:

$$S = 3.600 \frac{D}{T}$$

onde :

S = velocidade de viagem, km/h

D = comprimento do trecho , km

T = tempo de viagem, s

A velocidade média de viagem é calculada com a equação

$$S = \frac{3.600ND}{\sum T}$$

onde :

S = velocidade média de viagem, km/h

D = comprimento do trecho, km

$\sum T$ = soma dos tempos de viagem de todas as corridas de teste, s

N = número de medidas

As mesmas equações podem ser usadas para calcular velocidade de percurso e velocidade média de percurso, utilizando velocidade de percurso em lugar de velocidade de viagem e tempo de percurso em vez de tempo de viagem. A velocidade média pode ser calculada para cada seção do trecho em estudo além da velocidade média de todo o trecho.

Uma vez que a equipe de estudo mede os retardamentos diretamente, ela pode fazer um sumário dos diversos tipos de retardamentos (operacional, fixo, parado, e total) para cada seção estudada e para cada medida. Os retardamentos médios são calculados dividindo as somas dos retardamentos pelo número de medidas. Cada uma das medidas de velocidade e de retardamento pode ser submetida a uma análise estatística, como descrito no Apêndice A.

– *Variação ao Longo do Tempo*

Numa mesma rota, os tempos de percurso e os retardamentos variam no tempo, conforme o seu carregamento e os planos de coordenação semafórica (fluxo interrompido). Pode-se mostrar a variação do tempo de percurso ao longo da hora através de um simples diagrama, conforme ilustra a Figura 47.

– *Variação ao Longo da Rota*

Para cada rota, período e sentido, pode-se montar diagramas espaço x tempo e espaço x velocidade, conforme ilustram as Figuras 48 e 49.

– *Isócronas*

No caso de análise de sistemas viários, pode-se desenhar as curvas isócronas, ou seja, aquelas formadas pelos pontos, nas vias analisadas, que distam o mesmo tempo de percurso do ponto central considerado (Figura 50).

– *Velocidades*

Pode-se representar, através de gráficos, as velocidades médias de cada trecho analisado.

Figura 47 - Variação ao longo do tempo

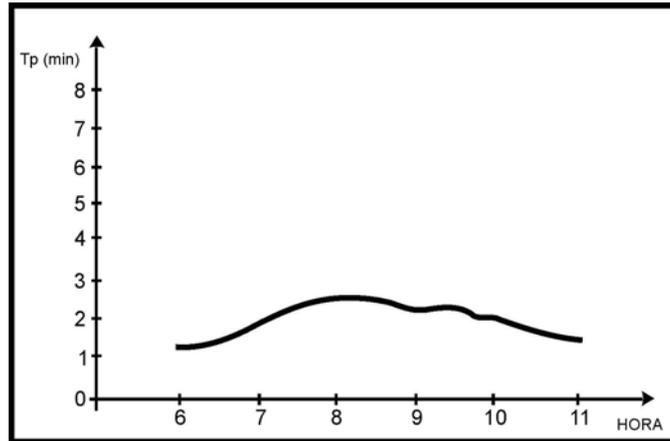


Figura 48 - Variação ao longo da rota (Espaço x tempo)

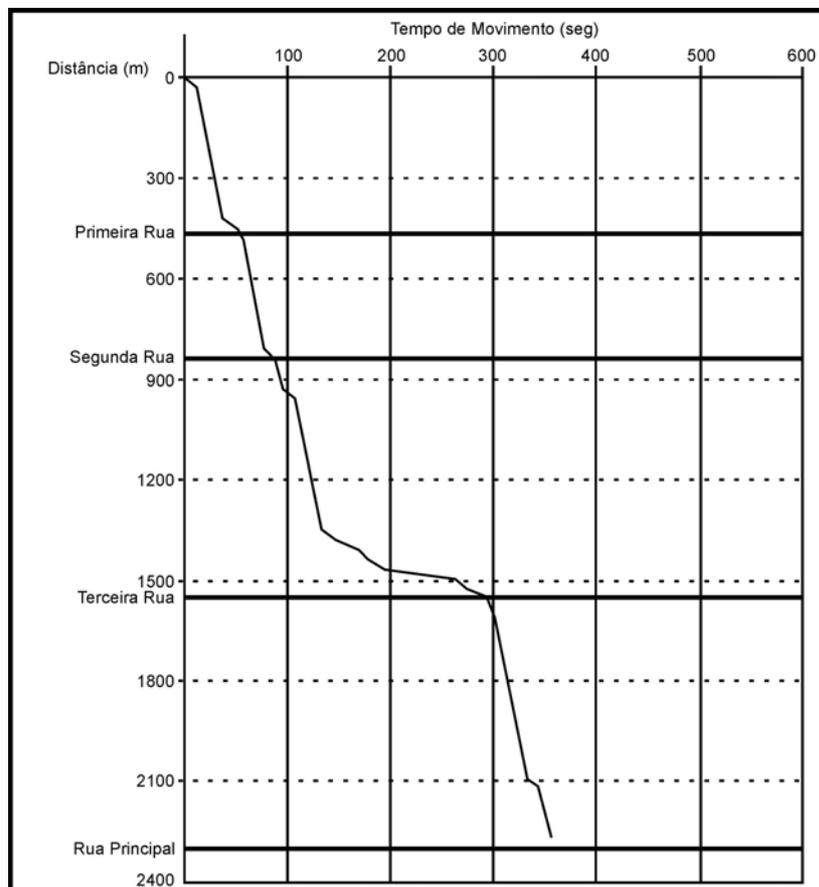


Figura 49 - Variação ao longo da rota (Espaço x velocidade)

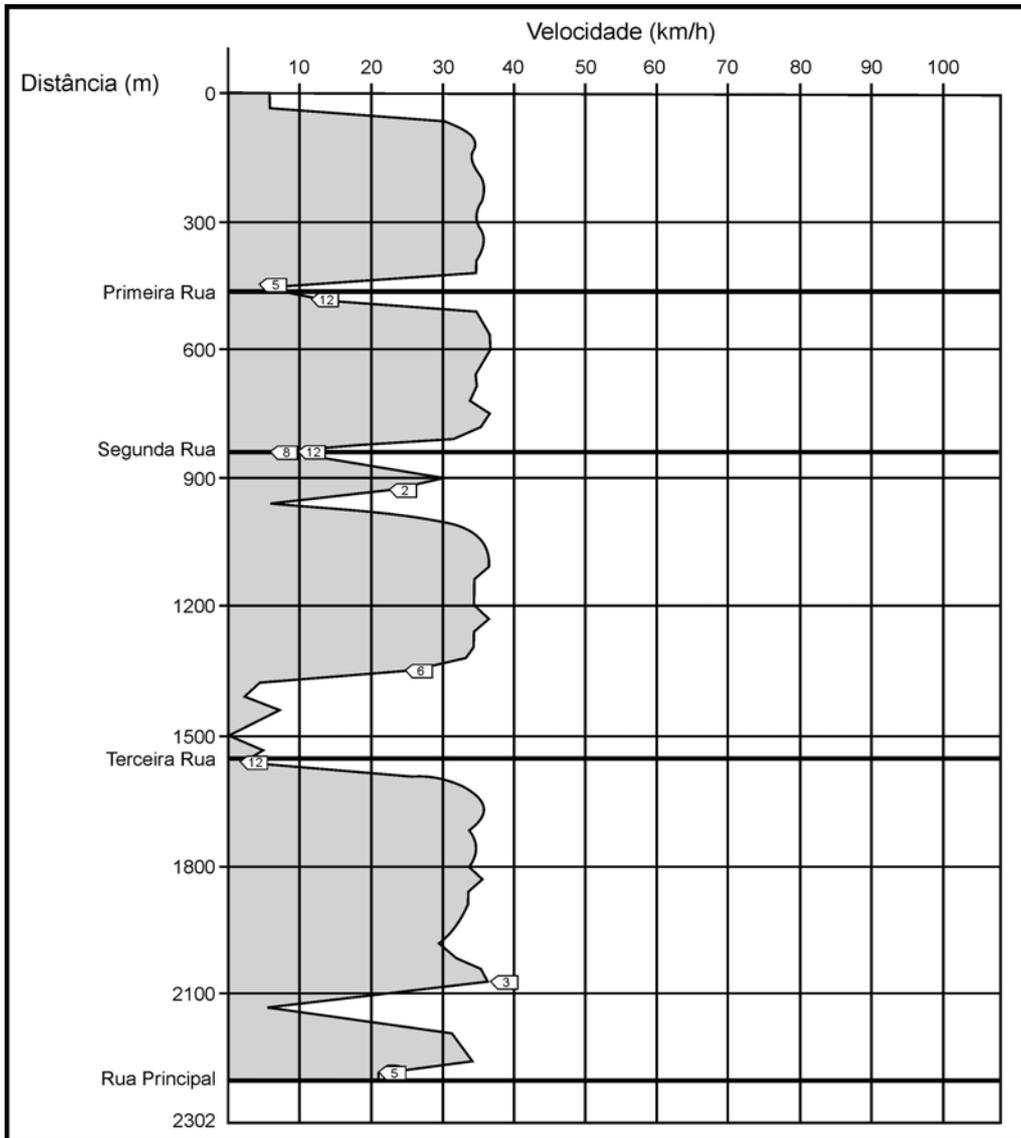
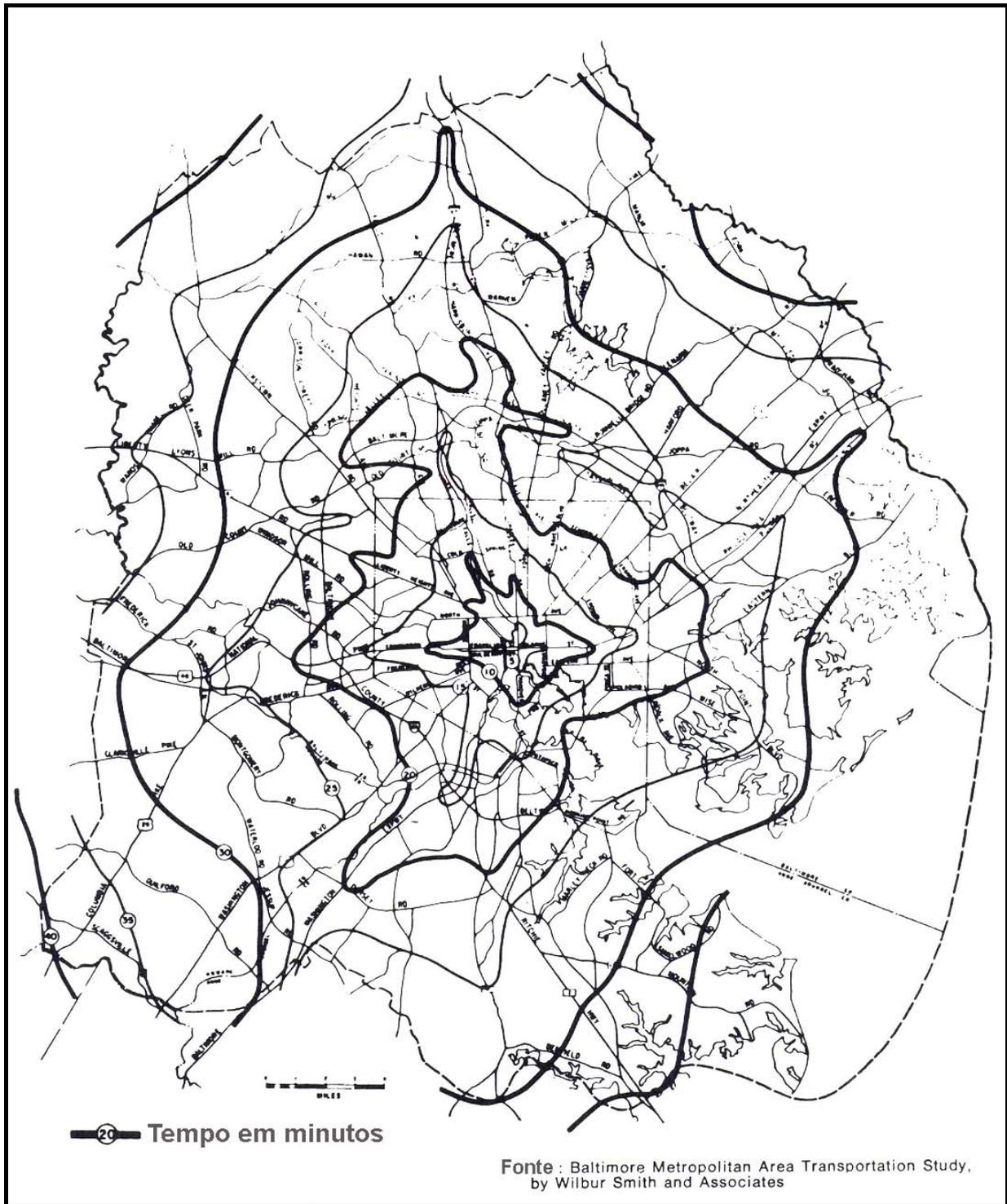


Figura 50 - Curvas isócronas



6.5 PESQUISA DE OCUPAÇÃO DE VEÍCULOS

6.5.1 OBJETIVO

O objetivo da *Pesquisa de Ocupação de Veículos* é o de conhecer o número de pessoas que são transportadas em média (condutor mais passageiros) pelos veículos analisados, que normalmente são automóveis, táxis ou ônibus (coletivos em geral).

Os dados sobre ocupação são de grande importância para analisar possíveis reduções de grau de congestionamento, determinar custos de tempo de viagem para avaliações econômicas, avaliar a eficiência do transporte particular e coletivo, e outras situações.

Convém ressaltar que, no campo específico dos transportes, os dados de ocupação são fundamentais no processo de modelagem de viagens e de sua alocação à rede viária existente. Uma vez definida pelo modelo a taxa de geração de viagens, é considerada a ocupação média para determinar a quantidade de veículos que circulará pelas vias. Exemplificando, se entre uma origem e um destino estão previstas 9.000 viagens de carros, e se a ocupação média destes veículos é de 1,5 (ocupantes/veículo), a quantidade de carros em circulação será de $9.000 \div 1,5 = 6.000$.

6.5.2 CARACTERÍSTICAS DA OCUPAÇÃO

A primeira característica importante da ocupação é que, ao contrário de variáveis como velocidade e tempo de percurso, trata-se de variável discreta, ou seja, que assume apenas valores pontuais. Assim, a ocupação de um carro de passeio pode assumir os valores 1, 2, 3, 4 etc., enquanto a dos coletivos assumem valores 10, 15, 21, 35 etc.

Como qualquer fato ligado à circulação de pessoas e bens a ocupação dos veículos é função do uso do solo, do motivo do deslocamento, do horário, do dia, etc. Varia também de acordo com o tipo de transporte utilizado, na medida em que cada um deles serve um público específico, com atividade específica.

Assim, a ocupação dos ônibus tem picos acentuados de manhã e à tarde, pois nestes horários é que a grande maioria de seus usuários está indo ou voltando do trabalho.

Quanto ao uso do solo, a influência também é muito visível nos ônibus, na medida em que as vias que percorrem bairros muito populosos, de renda baixa e que servem regiões de concentração industrial ou comercial/de serviços, têm ônibus muito mais “carregados” que as vias de regiões de renda alta ou média. O mesmo fenômeno se verifica na ocupação dos carros de passeio, por exemplo, que é menor nas regiões de renda alta.

A título ilustrativo, fornecemos a seguir alguns dados sobre a ocupação de autos, taxis e ônibus, encontrados pela Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (Tabela 31).

Tabela 31 - Ocupação de carros de passeio, táxis e ônibus na cidade de São Paulo

Veículo	Manhã	Tarde
Carro de Passeio Táxi	1,46	1,59
Ônibus (corredores principais)	1,84	1,80
Bairro – Centro	45	25
Centro – Bairro	20	44

Fonte: Pesquisas e Levantamentos de Tráfego, CET-SP

6.5.3 MÉTODOS DE PESQUISA

Os métodos de levantamento de ocupação são feitos geralmente por meio de observação visual e anotação manual ou em *laptop*.

Normalmente nas pesquisas são necessários apenas contadores manuais e fichas para anotação do número de ocupantes de cada veículo. Filmagem com videocâmara pode ser útil também, para checar a contagem e corrigir eventuais equívocos.

No caso de carros de passeio e táxis, o pesquisador deve registrar os veículos em classes correspondentes à ocupação (1, 2, 3, 4, 5 e 6 ou mais ocupantes, por exemplo). A existência atual de janelas escurecidas para dificultar a visão interna pode tornar impraticável a contagem das pessoas, tornando necessário parar os veículos e interrogar os motoristas. Esse método exige em geral a presença de um policial, que ofereça segurança aos motoristas. Neste caso é necessário colocar placas de sinalização informando com antecedência a existência da pesquisa; duas placas a 200 e 100 metros do local de parada devem ser suficientes, com os dizeres “Pesquisa de Número de Passageiros”.

No caso de ônibus, estes são enquadrados em “classes de ocupação”, normalmente em passo de 20 em 20 (0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100), método que implica em certos erros e por isto é chamado “estimativa de ocupação”. O pesquisador observa a passagem do ônibus e o classifica dentro de uma das classes estabelecidas.

Outro método conhecido é o da pesquisa no interior do ônibus. O pesquisador, sentado, anota a ocupação do ônibus no ponto inicial e o número de passageiros embarcados/desembarcados em cada ponto de parada. É um método bastante preciso, muito usado em planejamento de transportes, pois permite a visualização do carregamento da linha em toda a sua extensão.

6.5.4 PLANEJAMENTO

6.5.4.1 LOCAL

Há vários locais em que se podem efetuar as contagens necessárias, tais como:

- locais de baixa velocidade e boa visibilidade;

- locais em que os veículos têm que parar, devido a semáforos ou sinais de parada obrigatória;
- pedágios;
- postos de abastecimento muito procurados;
- como parte de uma pesquisa de origem e destino, em que veículos são parados para que os motoristas sejam entrevistados;
- no caso de ônibus, junto a um ponto de parada.

Pode-se escolher por exemplo um acesso a uma rodovia de tráfego preferencial, que obriga o motorista a parar ou reduzir sua velocidade. De preferência em uma rampa ascendente, de modo que o observador fique mais alto e possa ver o interior do veículo. Não precisa se preocupar em não ser observado pelo motorista, já que qualquer redução de velocidade é benéfica.

6.5.4.2 PERÍODO DE PESQUISA

Os dias úteis refletem melhor as condições gerais do tráfego e por causa disto são os mais indicados para a pesquisa.

Para pesquisas de quantificação de usuários, o horário deve ser coincidente com o da contagem de volumes. Esta última, portanto, é que determinará o horário, em função do interesse do estudo. Deve-se, no entanto, tomar o cuidado de “cruzar” os dois dados, pois nem sempre o pico do volume de veículos corresponde ao pico do volume de passageiros.

Para pesquisa de qualificação da ocupação, o horário deve ser o que corresponde ao interesse do técnico, em função das características que ele deseja conhecer: por exemplo, para obter a variação horária da ocupação, pode-se colher amostras de trinta minutos em vários horários.

6.5.4.3 AMOSTRA

A amostra deve ser calculada através de análise estatística, no entanto algumas considerações importantes devem ser levadas em conta:

- a) A ocupação de autos e táxis não costuma variar muito entre as horas e entre os dias da semana. Portanto, as amostras não precisam ser muito grandes. Recomenda-se como mínimo para caracterizar um período (pico da manhã por exemplo) que se faça levantamento durante trinta minutos;
- b) As ocupações de ônibus variam mais acentuadamente e por causa disto as amostras precisam geralmente ser maiores. Recomenda-se, para caracterizar um pico, que a pesquisa seja realizada no mínimo durante duas horas;
- c) Segundo Box e Oppenlander (*Manual of Traffic Engineering Studies*, Institute of Transportation Engineers, 1976) deve-se contar os ocupantes de pelo menos 500 veículos por período de pesquisa para se obter uma amostra aceitável;

- d) Para estudos de ramos de acesso a vias expressas o tamanho da amostra deve ser de 400 veículos ou uma hora de pesquisa, valendo o que for atingido primeiro, desde que se tenha um mínimo de 50 veículos (Currin, Thomas R. *Introduction to Traffic Engineering*, Southern Polytechnic State University, 2001).

6.5.4.4 FICHAS DE PESQUISA

No caso de pesquisa com autos ou táxis, a ficha de campo deve ter dois dados básicos, hora e ocupação (Figura 51), além dos outros necessários à caracterização da pesquisa.

No caso de pesquisa externa com ônibus, os dados básicos são a hora e a classe de ocupação (Figura 52). Para pesquisa interna (pesquisador dentro do ônibus), são a hora, volume inicial de passageiros e número de passageiros entrando e saindo por ponto (Figura 53).

Figura 52 - Ficha para pesquisa externa de ocupação de ônibus

UTILIZAÇÃO DE ÔNIBUS					
Linha: Fábrica Pinheiros N° 212-A			SENTIDO: C - B INÍCIO: 17:00		
PONTO	LOCALIZAÇÃO	PASSAGEIROS			OBS:
		ENTRANDO	SAINDO	OCUPAÇÃO	
Inicial		---	---	15	
01		5	0	20	
02		7	0	27	
03		8	1	34	
04		5	1	38	
05		15	5	48	
06		22	2	68	
07		10	8	70	
08		5	10	65	
09		3	13	55	
10		2	12	45	
11		10	5	50	
12		8	2	56	
13		3	3	56	
14		2	2	56	
15		5	4	57	
16		6	5	58	
17		10	9	65	
18		5	6	64	
19		5	5	64	
20	FINAL	---	64	---	
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
DATA: 10.10.80 TEMPO: BOM			PESO: LUIZ SUP: SÔNIA		

Fonte: CET-SP

Figura 53 - Ficha para pesquisa interna de ocupação de ônibus

OCUPAÇÃO DE ÔNIBUS (Estimativa Visual)															
VIA: AV. RADIAL LESTE							POSTO (N°): 008								
SENTIDO: C - B															
HORA	LINHA	CLASSE DE OCUPAÇÃO						HORA	LINHA	CLASSE DE OCUPAÇÃO					
17:00		1	21	41	61	81	+			1	21	41	61	81	+
		a	a	a	a	a	de			a	a	a	a	a	de
		20	40	60	80	100	100			20	40	60	80	100	100
		1	21	41	61	81	+			1	21	41	61	81	+
		a	a	a	a	a	de			a	a	a	a	a	de
		20	40	60	80	100	100			20	40	60	80	100	100
		1	21	41	61	81	+			1	21	41	61	81	+
		a	a	a	a	a	de			a	a	a	a	a	de
		20	40	60	80	100	100			20	40	60	80	100	100
		1	21	41	61	81	+			1	21	41	61	81	+
		a	a	a	a	a	de			a	a	a	a	a	de
		20	40	60	80	100	100			20	40	60	80	100	100
		1	21	41	61	81	+			1	21	41	61	81	+
		a	a	a	a	a	de			a	a	a	a	a	de
20	40	60	80	100	100	20	40	60	80	100	100				
1	21	41	61	81	+	1	21	41	61	81	+				
a	a	a	a	a	de	a	a	a	a	a	de				
20	40	60	80	100	100	20	40	60	80	100	100				
1	21	41	61	81	+	1	21	41	61	81	+				
a	a	a	a	a	de	a	a	a	a	a	de				
20	40	60	80	100	100	20	40	60	80	100	100				
1	21	41	61	81	+	1	21	41	61	81	+				
a	a	a	a	a	de	a	a	a	a	a	de				
20	40	60	80	100	100	20	40	60	80	100	100				
1	21	41	61	81	+	1	21	41	61	81	+				
a	a	a	a	a	de	a	a	a	a	a	de				
20	40	60	80	100	100	20	40	60	80	100	100				
1	21	41	61	81	+	1	21	41	61	81	+				
a	a	a	a	a	de	a	a	a	a	a	de				
20	40	60	80	100	100	20	40	60	80	100	100				

DATA: 18.11.82
TEMPO: BOM

PESQ.: NERZIDE
SUP.: ALTANIA

Fonte: CET-SP

6.5.5 TRATAMENTO DOS DADOS

a) Ocupação Média

A ocupação média é obtida pela soma do número de ocupantes dividido pelo número de veículos, conforme ilustrado nos exemplos a seguir.

Automóveis

Na Figura 51 são apresentados os dados de uma pesquisa de ocupação, preenchida para automóveis. A própria ficha de campo fornece tanto o índice de ocupação quanto o volume de veículos referente ao período pesquisado.

Observando a figura vemos que no caso foram observados 58 veículos com 01 ocupante, 25 com 2, 8 com 3, 4 com 4, 2 com 5 e 1 com 6 ou mais. O total de veículos é, portanto, de 98. O total de passageiros é o somatório veículos x ocupação, no caso igual a:

$$58 \times 1 = 58$$

$$25 \times 2 = 50$$

$$8 \times 3 = 24$$

$$4 \times 4 = 16$$

$$2 \times 5 = 10$$

$$1 \times 6 = 06$$

Total: 164 passageiros

O índice de ocupação, para o local e período, é de 164 passageiros dividido por 98 veículos, igual a 1,67 passageiros/ automóvel.

Se a pesquisa se estender por períodos longos, pode-se obter índices de ocupação de hora em hora ou por qualquer fração de tempo desejada.

Ônibus

Na Figura 52 são apresentados os dados de uma estimativa visual de ocupação, preenchida para ônibus.

O primeiro passo consiste em montar uma tabela com os valores de ocupação ordenados.

Em seguida, procede-se ao cálculo do índice de ocupação dividindo, analogamente ao caso dos autos e táxis, o total de passageiros pelo total de veículos. No caso, o total de passageiros é:

$$6 \times 10 = 60$$

$$5 \times 30 = 150$$

$$4 \times 50 = 200$$

$$4 \times 70 = 280$$

$$5 \times 90 = 450$$

Total: 1.140 passageiros

Onde 10, 30, 50, 70 e 90 são os “pontos médios” das classes de ocupação (0-20, 20-40, etc.). O índice de ocupação, é portanto:

$$\frac{1.140 \text{ passageiros}}{24 \text{ veículos}} = 47,50 \text{ passageiros / ônibus}$$

No caso de pesquisa realizada dentro do ônibus, a tabulação tem passos intermediários (Figura 53).

Primeiramente, é necessário obter a ocupação do ônibus entre pontos de parada, o que é feito subtraindo, a cada ocupação calculada, o número de passageiros desembarcando e adicionando o número de passageiros embarcando. A primeira ocupação naturalmente é igual à do ponto inicial.

Em seguida, calcula-se a ocupação média do ônibus por viagem. Se houver mais de uma viagem, pode-se calcular a ocupação média do ônibus entre as viagens (dentro de um período dado, por exemplo).

De qualquer modo, a diferença básica com relação à estimativa visual é que a pesquisa dentro do ônibus fornece inúmeros dados de ocupação (um para cada trecho entre pontos consecutivos), enquanto que a outra fornece apenas um dado referente ao local onde é feita a estimativa.

b) Gráficos e Tabelas

Além dos índices de ocupação isolados, pode-se construir gráficos e tabelas que ilustrem características interessantes do fenômeno (no caso de estudos mais extensos). Assim, poder-se-ia mostrar as relações:

- índice de ocupação x região da cidade;
- índice de ocupação x hora do dia;
- índice de ocupação x dia da semana;
- índice de ocupação x sentido circulação.

6.6 PESAGENS DE VEÍCULOS

6.6.1 OBJETIVO

As *Pesagens* têm por objetivo conhecer as cargas por eixo com as quais os veículos de carga solicitam a estrutura, para efeito de estatística, fiscalização, controle, avaliação e dimensionamento do pavimento.

6.6.2 LEGISLAÇÃO

O *Código de Trânsito Brasileiro* – CTB, estabeleceu, através da Resolução n.º 12 de 6 de fevereiro de 1998, limites de peso e dimensões para veículos que transitam por vias terrestre (ver item 3.1).

Em síntese, os limites de peso fixados por lei são:

- Peso bruto total até 45 toneladas;
- Peso bruto por eixo isolado até 10 t (4 pneus) ou 6t (2 pneus);
- Peso bruto por conjunto de dois eixos em tandem, com distância entre eixos superior a 1,20 m e inferior a 2,40 m, até 17 t;
- Peso bruto por conjunto de dois eixos em tandem distanciados entre 1,20 m e 2,40 m, até 25,5 t.

6.6.3 CONSEQÜÊNCIAS DO EXCESSO DE PESO

Os excessos de peso dos veículos de carga causam sérios transtornos à segurança, ao conforto e à fluidez do tráfego, bem como às estruturas da via, principalmente o pavimento e as obras-de-arte.

Estes excessos podem ser caracterizados sob duas formas: o excesso no peso bruto total (PBT) e o excesso no peso por eixo.

Um veículo que trafega com peso superior ao peso bruto total de projeto atenta contra a segurança sob vários aspectos:

- Compromete a segurança do próprio veículo, já que vários de seus componentes, como eixos, molas, freios e outros, podem não suportar os esforços produzidos pelos excessos;
- Amplia consideravelmente o risco de acidentes, devido à fadiga dos equipamentos e componentes, que levam ao desgaste prematuro e imprevisível;
- Passa a trafegar em velocidades menores, prejudicando o tráfego de veículos mais rápidos, criando situações de risco;
- Afeta a capacidade da via, pela redução de velocidade que provoca, sobretudo nos trechos ondulados e montanhosos com longos aclives e rampas acentuadas;

- Compromete as estruturas das obras-de-arte, projetadas segundo determinado trem-tipo, provocando custos de manutenção e de recuperação bem maiores.

Por sua vez, o excesso no peso por eixo é indesejável sob os seguintes aspectos:

- À semelhança do que ocorre com o excesso no PBT, também certos componentes como suspensão, transmissão, rodas, o próprio eixo e, principalmente, os pneus, não são projetados para suportar os esforços adicionais gerados pelo excesso, estando sujeitos a quebra ou ruptura, colocando em risco a segurança do próprio veículo e dos demais veículos na corrente de tráfego;
- O efeito do excesso de peso por eixo sobre a vida útil do pavimento é bastante significativo. A análise das curvas de equivalência do método de dimensionamento do DNIT, mostra que o efeito segue uma função exponencial (um acréscimo de 20% no peso duplica o efeito da carga no pavimento);
- O excesso de peso por eixo afeta também os custos de conservação e manutenção.

Além disso, o excesso de carga freqüentemente é acompanhado de perdas parciais ao longo do trajeto, como areia, pedra, produtos químicos sólidos e a granel, como enxofre e outros, perdas essas ocasionadas por volumes superiores à capacidade das carrocerias. Tais perdas aceleram o processo de deterioração do pavimento pela ação física-abrasiva, ou química, atacando o asfalto e acelerando a sua desagregação.

Observa-se que apesar das multas, o excesso de carga continua a ser praticado com freqüência e intensidade bastante graves. Este fato pode ser atribuído às vantagens econômicas oriundas da relação frete/multa, à inexistência de controle de peso na maioria absoluta das estradas brasileiras e ao baixo risco de detecção da infração.

O controle do peso na rodovia é, portanto, uma atividade de mais alta relevância. É através dele que se condicionará a observação das normas legais para o transporte de carga e, conseqüentemente, se reduzirá os gastos com a conservação e manutenção da rodovia.

6.6.4 POSTOS DE PESAGEM

Os procedimentos de pesagem de veículos podem ser feitos de duas formas: em postos fixos ou em postos móveis.

6.6.4.1 POSTOS FIXOS

Os postos de pesagem fixos são implantados em praças de pesagem situadas em posições estratégicas, dotadas geralmente de equipamentos de pesagem seletiva dinâmica, balança de precisão propriamente dita, pátio de retenção e transbordo de cargas, além de toda a infra-estrutura destinada à operação desse complexo.

Apresentam a vantagem de permitir uma fiscalização mais completa, inclusive da totalidade dos veículos de carga, dependendo dos equipamentos, visto sua capacidade de operar 24 horas por dia, 7 dias por semana.

A desvantagem fica por conta da exigência de área de grandes proporções para sua implantação e grandes investimentos para sua construção. Também seu custo operacional é significativo e, principalmente, torna-se ineficaz quando sua localização permite o estabelecimento de rotas de fuga.

6.6.4.2 POSTOS MÓVEIS

Os postos de pesagem móveis dispõem de equipamentos de pesagem transportáveis, em geral apoiados operacionalmente em “trailers” rebocáveis ou em veículos tipo “van”, apresentando como característica principal sua grande mobilidade, podendo efetuar operações de pesagem em diversos locais ao longo de um só dia.

Postos móveis não prevêm a pesagem da totalidade dos veículos, devendo a verificação ser feita por amostragem, devidamente dimensionada.

As vantagens do sistema ficam por conta da não exigência de disponibilidade de grandes áreas e de grandes investimentos em instalações e equipamentos, custo operacional reduzido, possibilidade de dirigir a fiscalização para pontos diversos do sistema viário, incorporando o fator surpresa, possibilitando a minimização das rotas de fuga.

Cabe acrescentar que há no mercado equipamentos que utilizam transmissão por raio infravermelho entre suas travessas de pesagem e a unidade de leitura, dispensando cabos conectores entre seus componentes.

Sua vantagem sobre outros equipamentos de pesagem móvel é a maior portabilidade do equipamento, que pode ser transportado na mala de um carro, e a eliminação de perda ou dano de cabos.

Além disso, as pesagens com esse tipo de equipamento não exigem grandes áreas fora da pista, podendo ser realizadas no acostamento.

6.6.5 MÉTODOS DE PESAGEM

Os equipamentos de pesagem, quer fixos quer móveis, se classificam em duas categorias quanto à operação de pesagem: estática ou dinâmica:

6.6.5.1 PESAGEM ESTÁTICA

Equipamento de pesagem estática é aquele no qual o veículo deve estacionar sobre a plataforma. A sua precisão é muito boa, o custo relativamente mais baixo e há grande disponibilidade no mercado nacional. Por outro lado, são de grandes dimensões, muitos com componentes mecânicos (manutenção mais intensa) e, sobretudo, o tempo de pesagem é elevado.

6.6.5.2 PESAGEM DINÂMICA

Equipamento de pesagem dinâmica é aquele no qual o veículo não precisa parar durante o processo. Nesse grupo surgem duas categorias: de pesagem seletiva e de pesagem lenta.

A pesagem seletiva tem a finalidade de executar, em velocidade considerável (até 60km/h), uma triagem dos veículos, encaminhando à pesagem somente aqueles que apresentarem excesso ou estiverem com pesos muito próximo aos limites.

A pesagem lenta é feita em velocidade até 10km/h com precisão semelhante a pesagem estática, porém leva a grande vantagem em relação a essa última, pelo fato de permitir o atendimento a um número maior de veículos.

O local para a instalação da balança deve ser escolhido cuidadosamente. A superfície da pista de pesagem deve ser plana. A precisão dos resultados depende muito da qualidade da pista nos locais de pesagem. Irregularidades na superfície da pista fazem o veículo vibrar e em uma pesagem dinâmica haverá influência nos resultados. Quanto mais plana a superfície, mais precisas são as pesagens. Deve-se tomar cuidado para que a passagem do veículo seja a mais uniforme possível.

6.6.6 TRATAMENTO DOS DADOS

As pesquisas deverão ser programadas para fornecer um relatório com as seguintes informações:

- nome da rodovia;
- identificação do trecho pesquisado;
- número da pesagem;
- dia/hora da pesagem;
- tipo de veículo;
- placa do veículo;
- número de eixos;
- peso por eixo ou conjunto de eixos;
- peso bruto total, tara e peso líquido.

Deve-se desenvolver programas próprios que permitam, para todo veículo pesado, detectar o excesso de carga e formar um banco de dados com os registros obtidos, contendo a identificação do local de pesagem e da rodovia, o peso bruto total combinado, o peso de conjuntos de eixos e a classificação de cada veículo. O programa deve determinar o fator equivalente de carga em cada eixo, calculado de acordo com as normas vigentes do DNIT. Havendo sobrecarga, deverão ser registrados ainda os excessos por eixo/conjunto de eixos e por peso bruto total combinado, além do excesso total.

Pode ser de interesse proceder uma análise através de seus parâmetros estatísticos mais significativos.

6.7 VERIFICAÇÃO DA OBEDIÊNCIA ÀS LEIS DE TRÂNSITO

6.7.1 OBJETIVO

Todo o trabalho de sinalização de uma rodovia está comprometido se os motoristas não a obedecem. É importante que se possa determinar de forma adequada e confiável o nível de obediência, para que não se fique apenas com opiniões ou palpites sem base adequada. Além disso, a identificação de locais específicos onde ela não é respeitada pode revelar a necessidade de correções e/ou complementações a serem feitas.

6.7.2 APLICAÇÕES

Um estudo de verificação do cumprimento das regulamentações do tráfego é feito com os seguintes objetivos:

- Avaliar o resultado prático dos dispositivos de controle de tráfego: sinalização vertical e marcas no pavimento;
- Desenvolver programas educacionais para os motoristas, crianças indo à escola e público em geral;
- Identificar pontos críticos que necessitem de complementação das medidas de regulamentação existentes;
- Analisar os resultados das medidas tomadas, através de estudos feitos antes e depois de sua aplicação.

Os problemas encontrados se concentram em situações específicas, que incluem:

- Velocidades acima das máximas permitidas em geral ou indicadas na sinalização;
- Não obedecer sinais de parada obrigatória;
- Não parar em locais em que é permitido girar à direita com sinal vermelho (nesses casos há obrigação de parar para verificar as condições do tráfego, antes de efetuar a manobra de giro);
- Não obedecer sinal vermelho;
- Não obedecer sinais de proibição de travessia de ferrovia acionados pela proximidade de trens;
- Não obedecer sinais de controle de giros à esquerda.

6.7.3 PLANEJAMENTO DA PESQUISA

6.7.3.1 LOCAL

É importante que se escolha o local de modo a não chamar a atenção dos motoristas, para não alertá-lo, modificando seu comportamento habitual. Se for necessário, o observador poderá ficar sentado dentro em um veículo estacionado, usando um equipamento de vídeo.

6.7.3.2 PERÍODO DE PESQUISA

Normalmente a hora de pico é usada para esse tipo de estudo, porque é de se esperar que o período de menor obediência às leis ocorra quando o tráfego for mais intenso. No entanto, o horário deve ser condicionado pelas finalidades do estudo, que pode exigir que se analise eventos mais freqüentes fora da hora de pico, como por exemplo a ocorrência de acidentes por desrespeito à sinalização (excesso de velocidade, avanço de sinal, etc) em períodos de baixo volume de tráfego.

6.7.3.3 AMOSTRA

O atendimento à regulamentação de tráfego é essencialmente um efeito “sim-não”. Para esse tipo de análise pode ser determinado o tamanho da amostra necessária pela fórmula:

$$n = \frac{pqk^2}{E^2}$$

onde:

n = tamanho mínimo da amostra

p = proporção de motoristas ou pedestres que obedecem a regulamentação do tráfego (fração decimal)

q = proporção de motoristas ou pedestres que não obedecem a regulamentação do tráfego (fração decimal)

k = constante correspondente ao grau de confiança desejado, obtido no Quadro 6.3.4/1

E = erro admitido da estimativa da proporção p (fração decimal)

Os valores p e q podem ser estimados preliminarmente. O uso de p e q iguais a 0,5 fornece a estimativa mais conservadora possível da amostra requerida. Portanto, para estimativa preliminar do tamanho da amostra, pode ser adotado inicialmente nos cálculos, considerando mesma probabilidade para atendimento ou não da regulamentação, a ser confirmado pelos resultados encontrados. A Tabela 33 fornece a amostra requerida para erro de 5% e 10%, com um nível de confiança de 90% ou 95%. *Box and Oppenlander* mostram que 100 observações são freqüentemente adequadas para avaliar a obediência às leis de trânsito, exceto quando infrações são raras.

Tabela 33 - Amostra requerida ($p = q = 0,5$)

Erro admissível – E (%)	Nível de confiança	
	90%	95%
5	270	380
10	70	100

Assim, fixados preliminarmente $E = 5\%$, grau de confiança de 95%, obtém-se o valor preliminar de n :

$$n = \frac{(0,5)(0,5)(2)^2}{(0,5)^2} = 400$$

em que $k = 2$ foi retirado do Quadro 6.3.4/1.

Feita a pesquisa, obteve-se: $p = 0,8$ e $q = 0,2$, ou 80% de obediência à regulamentação.

Para verificar a suficiência da amostra adotada calcula-se:

$$n = \frac{(0,8)(0,5)(2)^2}{(0,5)^2} = 256$$

confirmando ter sido atendido com folga o tamanho necessário para a amostra.

6.7.3.4 MATERIAL

Um relógio e fichas de campo ou um laptop para anotações das observações relativas à obediência à sinalização e, se possível, equipamento de vídeo, são suficientes para a pesquisa na maioria dos casos.

6.7.4 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Para ilustrar a análise da violação às leis de trânsito, será avaliado o grau de obediência ao sinal de *Parada Obrigatória* em uma interseção tipo T com uma rodovia preferencial.

Um número mínimo de observações deve ser atendido para que se obtenha resultados estatisticamente relevantes. Os observadores podem optar por escolha ao acaso dos veículos até completar 100 observações. No caso de se desejar conhecer separadamente o procedimento dos carros de passeio e dos veículos de carga, deve-se fazer 100 levantamentos de cada tipo de veículo e então comparar os resultados. O exemplo apresentado contém 100 observações relativas ao cumprimento da exigência dos veículos provenientes da rodovia secundária de parar antes de entrar na rodovia principal, em uma interseção tipo T.

O formulário *Obediência ao Controle de Tráfego*, preenchido com os dados do exemplo, foi usado para os levantamentos (Tabela 34).

Tabela 34 - Obediência ao controle de tráfego

Ficha de Observações							
Pesquisadores:				Data:			
Local:		Hora:		Condições do tempo:			
1	P	26	N	51	P	76	N
2	P	27	N	52	D	77	D
3	N	28	P	53	P	78	N
4	N	29	P	54	N	79	P
5	P	30	T	55	T	80	P
6	T	31	N	56	D	81	P
7	D	32	N	57	D	82	D
8	P	33	D	58	P	83	D
9	T	34	D	59	N	84	P
10	P	35	P	60	D	85	N
11	P	36	N	61	T	86	N
12	N	37	P	62	P	87	D
13	P	38	T	63	N	88	P
14	D	39	N	64	D	89	T
15	N	40	N	65	N	90	N
16	P	41	D	66	N	91	D
17	N	42	T	67	D	92	N
18	P	43	P	68	P	93	P
19	P	44	N	69	N	94	N
20	P	45	N	70	N	95	T
21	P	46	P	71	D	96	P
22	D	47	N	72	T	97	D
23	N	48	D	73	D	98	N
24	P	49	N	74	P	99	D
25	D	50	P	75	N	100	D

P = Parou D = Devagarzinho (<5km/h) N = Não Reduziu T = Parou Devido ao Tráfego

Tratamento dos dados

A Tabela 35 contém o sumário das observações feitas no exemplo apresentado.

Tabela 35 - Resultados da pesquisa

Obediência ao Controle de Tráfego		
Ficha de Observações		
Observadores:		Data:
Local:	Hora:	Condições do tempo
Sumário das Observações		
Ação	Número Observado	Frequência
Parou (P)	33	0,33
Devagarzinho (D)	24	0,24
Não Reduziu (N)	33	0,33
Parou devido ao Tráfego (T)	10	0,10
Total	100	1,00

Para obter os intervalos em que se devem encontrar os valores das “ações” observadas, determinam-se os intervalos de confiança ($p - \delta$, $p + \delta$), em que o valor δ é calculado pela fórmula:

$$\delta = p \pm k \sqrt{\frac{pq}{n}}$$

onde:

δ = limite de confiança

p = frequência

$q = 1-p$

n = número de observações

k = valor estatístico, função do nível de confiança desejado, obtido do Quadro 6.3.4/1.

Para cada ação são dados a frequência e o limite de confiança na Tabela 36.

Tabela 36 - Limites do intervalo de confiança (δ)

Nível de Confiança 95%		
Ação	Frequência p	Limites de Confiança d
Parou (P)	0,33	0,09
Devagarzinho (D)	0,24	0,08
Não Reduziu (N)	0,33	0,09
Parou devido ao Tráfego (T)	0,10	0,06
Número de Observações	100	

* Parou devido ao tráfego não obedecendo à linha de parada obrigatória

O quadro de resultados permite concluir que, em média 0,33 ou 33% dos motoristas (P), param efetivamente na interseção. Admitindo o nível de confiança de 95%, existe 95% de probabilidade de que a frequência real de obediência à sinalização esteja no intervalo $(p - \delta; p + \delta) = (0,33 - 0,09; 0,33 + 0,09) = (0,24; 0,42)$, o que equivale a dizer que a percentagem de 24% a 42% dos veículos obedecem à sinalização de parada obrigatória. Pode-se concluir que não mais que 42% dos veículos cumprem a obrigação de parar na interseção.

Nas interseções de quatro ramos devem ser analisadas as chegadas dos dois lados da rodovia principal, para verificar se há diferença no comportamento dos motoristas. Se possível, ambas as aproximações devem ser observadas simultaneamente, sendo as anotações feitas para cada aproximação.

Finalmente, é necessário que se tirem as conclusões cabíveis dos resultados obtidos, procurando responder as seguintes questões:

- Os motoristas estão obedecendo a sinalização?
- Que infrações são mais frequentes?
- Há diferenças significativas de obediência em diferentes aproximações de uma mesma interseção?
- O que pode ser feito para melhorar as operações no local?

7 - DETERMINAÇÃO DO TRÁFEGO ATUAL

7 DETERMINAÇÃO DO TRÁFEGO ATUAL

7.1 VOLUME MÉDIO DIÁRIO (VMD)

Concluídas as pesquisas de tráfego, proceder-se-á ao tratamento conjunto dos dados obtidos com os levantados nos estudos preliminares.

Normalmente as pesquisas de origem e destino são realizadas por uma equipe fixa, que entrevista, em diferentes dias, o mesmo número médio de veículos por hora, independentemente do volume de veículos da hora. Paralelamente são sempre feitas contagens classificatórias de 24 horas, nos dias em que são feitas as entrevistas. Uma vez que os volumes por hora variam durante o dia, os volumes diários variam com o dia da semana e os volumes semanais variam com o período do ano, é necessário que se considere a influência que têm as informações coletadas em cada hora, em função dos períodos em que foram levantadas e do volume nessa hora. Procede-se assim à expansão das entrevistas realizadas, da forma que é descrita a seguir.

Os dados de contagens fornecerão, após as correções e ajustamentos necessários, os volumes médios diários atuais dos subtrechos homogêneos da rodovia em estudo.

Após o cálculo dos coeficientes de expansão correspondentes a cada posto de entrevistas de origem e destino, serão preparadas matrizes de origem e destino para cada posto, por tipo de veículo.

As matrizes passarão por um processo de compatibilização, onde serão eliminadas duplas contagens, sendo produzida uma matriz global de origem e destino por tipo de veículo.

7.1.1 EXPANSÃO HORÁRIA

Se os dados dos volumes de origem/destino tiverem sido obtidos por amostragem, é necessário expandir a amostra para as 24 horas do dia em que esta foi realizada. Essa expansão deve ser feita para cada tipo de veículo considerado na pesquisa. Se em um posto de pesquisa são entrevistados, em uma determinada hora do dia, E_{Pi} carros de passeio, escolhidos aleatoriamente e a contagem feita nessa hora indica a passagem de V_{Pi} carros de passeio, cada entrevista representa $f_{Pi} = V_{Pi}/E_{Pi}$ carros de passeio (fator de expansão horária de carros de passeio para a hora i).

Essa operação deve ser repetida para cada uma das 24 horas do dia, para que represente o conjunto de carros desse dia: f_{P1} para o período de uma hora 0 – 1, f_{P2} para o período 1-2 e assim por diante até f_{P24} para o período 23-24 horas. As informações colhidas em cada hora “ i ” são então multiplicadas pelos respectivos fatores de expansão horária, para representar todos os veículos entrevistados no dia.

Se a pesquisa for feita apenas em um período de “h” horas do dia, deve-se calcular o fator de expansão diário pela expressão:

$$f_{Pd} = \frac{VP_{24}}{V_{Ph}}$$

onde:

f_{Pd} = fator de expansão diário

VP_{24} = volume de carros de passeio durante as 24 horas do dia

V_{Ph} = volume de carros de passeio durante as “h” horas de pesquisa

Na formação do conjunto de informações do dia, essa expansão diária deve ser distribuída entre as horas em que não se realizaram pesquisas na proporção de seus volumes horários.

Para cada tipo de veículo entrevistado procede-se da mesma forma.

7.1.2 EXPANSÃO SEMANAL

Estudos de tráfego mostram que, independente da época do ano, as variações relativas ao tráfego por dia da semana são mais ou menos constantes. Desta forma, para determinar o fator de expansão semanal é necessário se avaliar todas as contagens disponíveis de 7 dias consecutivos e determinar os fatores de expansão médios por dia da semana.

O fator de expansão semanal correspondente a um dia específico da semana, para um determinado tipo de veículo, pode ser obtido pela expressão:

$$f_{Ps} = \frac{V_{Ps}}{V_{Pd}}$$

onde:

f_{Ps} = fator de expansão semanal de um dia específico da semana

V_{Ps} = volume de carros de passeio durante os 7 dias da semana

V_{Pd} = volume de carros de passeio durante o dia determinado

Se a pesquisa for feita durante uma semana deve-se calcular a média diária dessa semana, somando os números de informações de cada tipo de veículo, para cada dia da semana e dividindo por 7. Esse número médio de informações de cada tipo de veículo será considerado representativo do mês em que situa a semana.

Se a pesquisa não cobrir uma semana e se dispuser da variação semanal, deve-se inicialmente corrigir os valores de cada dia em que se fez a pesquisa para a média da semana. Em seguida calcula-se a média dos valores obtidos. Essa média representará a

semana. As médias dos valores obtidos para VMD semanais representarão os VMD mensais, que serão então utilizados na expansão sazonal.

7.1.3 EXPANSÃO SAZONAL

O tráfego varia durante todos os dias do ano, o que torna necessário expandir os levantamentos efetuados em determinada época. Para obter a expansão anual é necessário analisar as pesquisas existentes realizadas ao longo do ano. Para isso são utilizados postos que tenham sido efetivamente contados ao longo do ano. Definidos os postos que devem ser considerados como representativos por zona de tráfego, são calculadas as relações do tráfego em cada mês com o tráfego médio diário do ano. A seguir os demais postos são relacionados com estes postos representativos e expandidos para se obter o tráfego médio diário em cada trecho. Os fatores de expansão anual, se possível, devem ser determinados por zona de tráfego, uma vez que dependem da atividade econômica, que é variável por região.

A expansão anual é feita usando os fatores de ajustamento sazonal, obtidos para cada tipo de veículo pela fórmula:

$$f_a = \frac{VMD_a}{VMD_m}$$

onde:

f_a = fator de expansão sazonal

VMD_a = volume médio diário anual

VMD_m = volume médio diário mensal

7.2 MATRIZES DE ORIGEM/DESTINO ATUAIS

a) Matriz de O/D Corrigida

Da *Matriz de O/D Coletada*, expandida em função dos volumes horários e dos volumes médios diários (VMD) das contagens de volume realizadas simultaneamente às entrevistas de O/D, resulta uma nova tabulação na qual os movimentos unidirecionais já são referidos ao VMD.

b) Matriz de O/D Atual

Considerando que os Volumes Médios Diários Anuais de viagens entre duas zonas devem ser iguais para fins práticos, constrói-se uma matriz na qual cada valor representa por zona o total de viagens bidirecionais entre a zona específica e as demais. Sob essa forma, a soma dos valores por zona representa o número total de viagens iniciadas e terminadas na respectiva zona.

Essas matriz servirá de base, através de sua projeção, para o prognóstico do tráfego futuro ano a ano e por tipo de veículo.

c) Representação Gráfica da O/D

É sempre conveniente interpretar em forma gráfica as informações obtidas das pesquisas de O/D, já que as tabulações que se efetuam com elas não proporcionam uma idéia muito clara da distribuição geral e da importância relativa das origens e destinos. A forma mais usual de representação é através de “linhas de desejo”, assim chamadas as linhas que unem a origem com o destino de uma viagem ou grupo de viagens e cuja espessura é proporcional ao número de viagens que representam.

d) Análise dos Resultados da O/D

Quando um levantamento de O/D é realizado, todo o tráfego é classificado em viagens, através das suas origens e destinos. É importante ressaltar que os estudos de O/D não identificam as viagens que serão geradas pela nova via ou pelo melhoramento da existente, nem pelo crescimento da comunidade, mas apenas fornecem as quantidades de viagens atuais.

Admite-se que todas as viagens usam a malha viária existente e que o número total de veículos que realizarão essas viagens durante o ano será obtido pela multiplicação do resultado das entrevistas por fatores apropriados de ajustamento.

Convém ressaltar que os estudos de O/D servem como ponto inicial para o prognóstico do tráfego, mas não resolvem por si só o problema, pois dão exclusivamente dados sobre condições atuais.

7.3 ALOCAÇÃO DO TRÁFEGO ATUAL

Após a compatibilização das matrizes atuais de origem e destino por tipo de veículo, será realizado o carregamento da rede básica atual com essas matrizes, para verificar a adequação do procedimento de alocação do tráfego no que concerne à reprodução dos padrões de viagens existentes.

O carregamento é feito levando em conta as várias rotas alternativas, de centróide a centróide. A escolha do percurso obedece ao critério de menor Impedância, que representa a resistência que o usuário enfrenta para atingir seu destino. A impedância pode ser função do tempo, distância, custo, ou combinações destes. Em estudos urbanos a impedância de tempo é a mais usual. Em meio rural a impedância de tempo é a mais usada para carros de passeio e a de custo de transporte para veículos de carga. A alocação de veículos de transporte coletivo é sujeita à realidade das rotas.

Aos percursos de um centróide para os demais na rede chama-se “Árvore”. Uma série de algoritmos foi desenvolvida para investigar Árvores de caminho mínimo para centróides. O

trabalho clássico mais conhecido é o *Algoritmo de Moore*. Em síntese, este algoritmo consiste no seguinte: a partir de um centróide vai-se atingindo os nós a ele ligados, sempre acumulando a impedância. Atingindo esses primeiros nós, repete-se o processo alcançando nós ligados aos anteriores. Na repetição do processo inicia-se pelo nó que foi atingido pela menor impedância. Quando um nó é atingido por dois percursos diferentes adota-se o de menor impedância, eliminando-se o outro, bem como todos aqueles atingidos a partir dele.

No caso da rede de transportes coletivos, existem outros parâmetros a serem considerados no cálculo. A determinação das árvores se faz por um algoritmo mais complexo, pois além de determinar o caminho de menor impedância, determina também a linha que melhor serve o usuário.

Para efeito de construção do modelo matemático, tornar-se-á necessária uma codificação adequada da malha viária definida no item 5.4 – Preparação da Rede Básica de Transportes. Tal codificação far-se-á através da determinação de “nós” (interseções) que delineiam ligações efetivamente compatíveis com os trechos da malha que se deseja avaliar. Cada ligação será identificada pelos dois nós que o delimitam e terá a ele atribuídas informações referentes ao trecho representado, tais como velocidade, distância, custo de transporte, capacidade e volume de tráfego.

A alocação poderá ser realizada através da utilização de uma bateria de programas desenvolvidos pela FHWA, “*Federal Highway Administration*”, ou de programas similares (MICROTRIPS, TRANPLAN, TRANSCAD, etc). Os programas, utilizando as matrizes de origem e destino e os parâmetros da rede matemática, constroem para cada par de origem e destino, a rota de menor impedância, alocando a esta rota o tráfego pertinente àquele par.

Cabe observar que a alocação dos valores das matrizes de origem e destino não caracteriza o tráfego local (com origem e destino em uma mesma zona de tráfego), que terá que ser definido com base na diferença entre o tráfego alocado e o identificado pelos levantamentos feitos.

A extrema complexidade dos cálculos a serem feitos para o processo de alocação, torna imprescindível o uso de sistemas computadorizados, a não ser para os casos muito simples, de comparação entre poucas rotas alternativas.

7.4 CALIBRAGEM DA REDE ATUAL

No processo de calibração são realizados testes de consistência para verificar se a rede está representando realmente o sistema de transportes, seja o viário ou o coletivo.

Após o carregamento do tráfego na rede existente, os valores obtidos para cada trecho serão comparados com as informações disponíveis sobre volumes de tráfego. As rotas de menor impedância determinadas através dos programas, serão analisadas com o objetivo

de se saber se são rotas realistas do percurso de tráfego entre os pares de origem e destino das matrizes de viagens.

Para calibragem da rede seleciona-se uma zona significativa, base para a calibragem, e, sobre um mapa esquemático das zonas de tráfego, traçam-se linhas unindo pontas de igual impedância em relação à zona selecionada, de forma análoga ao processo do traçado de “curvas de nível” em topografia. As linhas resultantes permitem uma visão de conjunto da rede matemática, evidenciando possíveis erros de codificação. Para um ajuste de rotas específicas, devem-se traçar as rotas selecionadas sobre o mapa esquemático, analisando-se possíveis distorções na rota esperada para a identificação da correção a ser realizada.

Uma vez calibrada a rede, passa-se à aferição do tráfego obtido através do carregamento das matrizes de origem-destino sobre a rede atual. Trechos da malha viária devem ser cuidadosamente selecionados, de forma a permitir a comparação dos resultados fornecidos pela alocação com aqueles obtidos nas pesquisas. Uma determinada margem de tolerância deve ser admitida. A partir do limite delineado por essa margem de tolerância, as discrepâncias observadas na comparação devem merecer uma análise detida para determinação de sua verdadeira causa.

Tais causas podem ocorrer por erro de velocidade, capacidade ou falta de detalhes da rede. Recomenda-se averiguar a coerência das velocidades, que pode ser feita através da obtenção de isócronas (linhas de igual tempo de viagem a partir de um ponto). Pelas isócronas é possível verificar os corredores de transportes, bem como os tempos de percurso, confrontando-os com aqueles obtidos nos levantamentos, principalmente nas pesquisas de velocidade e retardamento.

A seguir, incorporando os ajustes necessários, será realizada nova alocação do tráfego na rede atual e nova análise será efetuada com os seus resultados. Esse processo será realizado tantas vezes quantas necessárias, até que se disponha de uma rede matemática que reflita as características do tráfego atual.

Assim sendo, a partir do momento em que os resultados apresentados pela alocação coincidam com os resultados obtidos a partir das pesquisas, dentro da tolerância admitida, dá-se como calibrada a rede. Acrescentando-se as modificações sugeridas para o sistema de transportes, obtém-se a rede futura, visando melhorias no sistema.

8 - DETERMINAÇÃO DO TRÁFEGO FUTURO

8 DETERMINAÇÃO DO TRÁFEGO FUTURO

8.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A projeção dos volumes de tráfego é feita com dois objetivos:

- Fornecer elementos para o dimensionamento do projeto;
- Fornecer os elementos para a análise da viabilidade econômica do investimento.

As rodovias devem ser projetadas para que proporcionem um nível de serviço aceitável durante sua vida útil, e para isso deve ser determinado com o maior grau de exatidão possível qual será o volume e a distribuição do tráfego para aquele período.

Para fins de análise econômica é necessário que se faça distinção entre os vários tipos de tráfego, uma vez que os benefícios resultantes da implantação do projeto serão diferentes conforme a ocorrência de cada um deles.

Tem-se assim:

- *Tráfego Existente ou Normal*: definido como sendo aquele que já se utiliza de um determinado trecho, independente da realização ou não do investimento;
- *Tráfego Desviado*: definido como sendo aquele que, por razão das melhorias introduzidas em um trecho, é desviado de outras rotas para o trecho em questão;
- *Tráfego Gerado*: definido como sendo aquele constituído por viagens criadas pelas obras realizadas no trecho;
- *Tráfego Induzido*: definido como sendo aquele criado por modificações socioeconômicas da região de influência do trecho.

Conforme as circunstâncias pode-se ter todos os tipos de tráfego, apenas alguns ou combinações diversas desses tipos. No caso por exemplo de rodovia pioneira ocorrerão apenas os tráfegos desviado e gerado; no caso em que não existem modos de transporte concorrentes ou outras alternativas rodoviárias, ocorrerão somente o tráfego existente e gerado.

Os aspectos fundamentais que devem ser considerados na projeção do tráfego são:

- Capacidade de produção e atração de viagens das diversas zonas de tráfego;
- Distribuição das viagens geradas entre as zonas;
- Variações na geração (produção e atração) e distribuição de viagens devido às mudanças demográficas, econômicas, dos meios de transporte da região, etc.

Esses aspectos caracterizam as quatro fases em que normalmente se divide a determinação da projeção das viagens e que são:

- A geração de viagens por zona de tráfego;

- A distribuição de viagens entre pares de zonas;
- A divisão modal de viagens entre pares de zonas;
- A alocação das viagens na rede viária.

8.2 DETERMINAÇÃO DO PERÍODO DE ANÁLISE

O período de análise é fixado tendo em vista os fins a que se destina: fornecer elementos para o dimensionamento do projeto e para sua análise econômica. Para o dimensionamento do projeto seria desejável considerar o seu período de vida útil. Entretanto, isso não é possível, seja por causa da perda de precisão das projeções feitas para períodos muito longos, seja pela diferença de vida útil apresentada por cada um dos componentes do projeto (obras-de-arte, pavimentos, drenagem etc).

Nestas condições, a solução usual consiste em adotar o período de 15 anos, que, correspondendo ao tempo de duração média do pavimento – elemento de menor vida útil do projeto – e às modificações que podem se verificar no sistema viário da região do projeto, é compatível com as necessidades da análise econômica. Como o período de 15 anos é contado a partir do ano de abertura ao tráfego, e considerando o tempo que decorre desde o Estudo de Viabilidade até o término da obra, costuma-se adotar para o período de análise naqueles estudos o prazo de 20 anos. Apenas para o caso de dimensionamento das interseções é feita uma exceção, adotando-se um período de projeção de 10 anos a partir do ano previsto para abertura ao tráfego, pelas razões expostas no item 6.1.5.

8.3 CARACTERIZAÇÃO DA NATUREZA DA DEMANDA

O sistema de transporte permite o intercâmbio de bens e pessoas entre as diversas zonas de tráfego da área de influência do sistema. A determinação da demanda consiste na identificação dos volumes de tráfego (e suas características) que utilizarão o sistema durante o período de análise.

Considerando que o comportamento do tráfego em cada caso tenderá a ser distinto, a sua projeção será feita segundo diversos modelos. Para fins de projeção, distingue-se: tráfego local e tráfego de longa distância. O primeiro corresponde ao tráfego com origem e destino dentro da mesma zona de tráfego e o segundo com origem e destino em zonas diferentes.

Estas definições, de caráter eminentemente prático, resultam do fato de que a demanda de tráfego é determinada em função do comportamento da produção e atração de viagens de cada zona de tráfego. As viagens que atenderão à demanda são preliminarmente identificadas como ocorrendo dentro de cada zona de tráfego ou entre pares distintos de zonas de tráfego. Assim, do ponto de vista operacional:

- *Tráfego Local*: é aquele formado pelo conjunto das viagens que ocorrem dentro de uma zona de tráfego, isto é, com origem e destino na mesma zona, e que não serão

desviadas para outros trechos caso sejam feitas melhorias na rede. Trata-se de um tráfego cativo a cada trecho, cujo crescimento depende do desenvolvimento da zona em que se situa, constituindo um dado de entrada para os modelos de projeção;

- *Tráfego de Longa Distância*: é aquele que se desenvolve entre pares distintos de zonas de tráfego, que podem ser ligadas por rotas alternativas. Na medida em que existam essas alternativas, os usuários têm possibilidade de escolher a mais conveniente e deslocar-se na rede segundo essa escolha. O tráfego de longa distância que percorre determinado trecho é pois sensível tanto às características do trecho considerado, quanto ao restante da rede rodoviária.

8.4 IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS SOCIOECONÔMICAS RELEVANTES

Além das diferenças no tipo de tráfego e na natureza de sua demanda referidas anteriormente, devem ainda ser levadas em consideração, tanto na identificação das variáveis explicativas do tráfego quanto na formulação dos seus modelos de projeção, as dificuldades metodológicas decorrentes da insuficiência de dados estatísticos e da diversidade que a demanda de transporte apresenta em certos casos. Essas dificuldades levam à simplificação da projeção e conduzem conseqüentemente à identificação de variáveis-síntese, capazes de refletir tendências médias de comportamento da demanda de transporte. É o caso por exemplo, de se utilizar apenas a variável “População”, para explicar um certo volume de tráfego de automóveis entre duas localidades, num trecho rodoviário. Não são considerados os motivos das viagens observadas.

8.4.1 TRÁFEGO DE CARGA DE LONGA DISTÂNCIA (COM ORIGEM OU DESTINO NO INTERIOR DA ÁREA DE INFLUÊNCIA)

Admitindo que esse tráfego é derivado da existência de especialização econômica das zonas da área de influência do trecho em estudo, pode-se supor que o transporte será uma função dos superávits de produção de produtos agrícolas ou industriais, da mesma forma que dos déficits de insumos para a indústria e/ou a agricultura, ou mesmo dos produtos industriais para abastecimento de sua população. Assim, as variáveis econômicas que se admite sejam relevantes para explicar o comportamento desse tráfego são as seguintes:

- a) Produto dos principais produtos agrícolas da área;
- b) Consumo local desses produtos, estimado a partir dos dados da população e da elasticidade-renda do consumo desses produtos. Para a população podem-se levantar dados dos censos demográficos do IBGE. Os dados da renda são mais difíceis de obter. Em geral adota-se como elasticidade-renda do consumo dos produtos alimentícios aquela calculada com base em pesquisas feitas nos centros consumidores da região para elaboração de índices do custo de vida;
- c) Produção dos principais bens industriais e insumos utilizados para essa produção;

- d) Mercados principais desses produtos. A indicação desses mercados da mesma forma que dos insumos necessários à sua produção, deve ser obtida mediante entrevistas junto a estabelecimentos industriais, selecionados com base em uma amostra suficientemente representativa para permitir estimar as quantidades de insumos recebidos e as quantidades de produtos exportados para diferentes zonas;
- e) Renda interna da área. Como as estimativas da renda não existem ao nível municipal, é necessário levantar outras variáveis que, servindo como indicadores indiretos dessa renda, possam servir também para explicar o volume de trânsito de bens de consumo industriais atraídos para a área de influência do projeto rodoviário. Essas variáveis são: arrecadação de impostos, produção agrícola e industrial, entre outras.
- f) Renda interna das zonas externas à área de influência do projeto da mesma forma indicada acima para testar os modelos explicativos do comportamento do trânsito de bens industriais de consumo nessa área de influência do projeto.
- g) Custos unitários de transporte por modo de transporte, para cada tipo de bem ou produto a ser transportado entre as zonas externas à área de influência e as zonas situadas nessas áreas.

8.4.2 TRÁFEGO DE CARGA DE LONGA DISTÂNCIA (COM ORIGEM E DESTINO EXTERNOS À ÁREA DE INFLUÊNCIA)

O transporte de carga entre zonas externas à área de influência do trecho em estudo deve ser função do nível de atividade econômica dessas zonas e das dificuldades que a rodovia ou outro modo de transporte existente na área oferece. Esse tráfego é estimado através das pesquisas de Origem e Destino, nas quais na maioria das vezes é difícil levantar o que é transportado (discriminação da carga). Neste caso, portanto, não se farão os estudos a partir de produtos selecionados para análise, em estudos integrados da demanda de transporte, de forma a incluir todos os seus modos. As variáveis econômicas a levantar e identificar são aquelas que explicam a existência, o volume e o comportamento do tráfego de passagem na rodovia objeto dos estudos. Estas variáveis são:

- a) Renda interna das zonas externas ou variáveis indicativas dessa renda, conforme indicado anteriormente;
- b) Custo unitário de transporte segundo os modos de transporte existentes nas ligações entre as zonas externas à área de influência do trecho.

8.4.3 TRÁFEGO LOCAL DE CARGA E PASSAGEIROS

Na ausência de tempo para realização de pesquisas que identifiquem os motivos de viagem, os quais dariam elementos para estudar mais detalhadamente os fatores geradores da demanda de transporte, as variáveis-síntese utilizadas nos modelos de projeção de tráfego de passageiros (automóveis e ônibus) são a população e a renda. Algumas vezes, esse pode ser função da frota de veículos existentes, que por essa razão

deve também ser analisada. A fim de alimentar os modelos de projeção do tráfego gerado e desviado, deve ainda ser estudado o custo unitário de transporte por modo de transporte existente na área de influência do trecho.

No transporte local, observa-se a diversidade de produtos importados e exportados e ao mesmo tempo uma redução das opções de modos de transporte. Dessa maneira, os estudos para projeção da demanda devem referir-se diretamente ao transporte rodoviário, analisando a influência dos demais modos somente para estimar o tráfego que pode eventualmente ser desviado de (para) trechos objeto dos estudos de viabilidade. As variáveis econômicas mais importantes para explicar o comportamento do trânsito local são aquelas que refletem a situação socioeconômica da zona, quais sejam:

- a) Para o tráfego de passageiros (automóveis e ônibus)
 - população;
 - mão-de-obra empregada na indústria, agricultura e serviços;
 - densidade demográfica;
 - frota de veículos;
 - outras, que caracterizem especificidades da zona.
- b) Para o tráfego de carga
 - produção agrícola;
 - produção industrial;
 - renda interna, ou indicadores indiretos;
 - outros eventuais;
- c) Em ambos os casos, do transporte de carga e de passageiros
 - custo unitário de transporte por modo de transporte existente na zona.

8.5 FORMULAÇÃO DOS MODELOS DE PROJEÇÃO

Na identificação das variáveis relevantes mencionadas, já se formula implicitamente o modelo que deverá ser testado para explicar o comportamento de cada tipo de tráfego, e de acordo com a sua natureza. A formulação do modelo consiste portanto na sua especificação ou seja, no estabelecimento de relações matemáticas que permitam quantificar as correlações estabelecidas entre o tráfego e as variáveis socioeconômicas.

A etapa de determinação da projeção do tráfego divide-se normalmente em seus quatro aspectos principais:

- *Geração de viagens por zona de tráfego;*
- *Distribuição de viagens entre pares de zonas;*
- *Divisão modal de viagens entre pares de zonas;*
- *Alocação de viagens na rede viária.*

Sistemas de processamento por computadores são essenciais para o uso desses modelos. Através dos anos um grupo de programas foi desenvolvido nos Estados Unidos pela *Federal Highway Administration* (FHWA) e pela *Federal Transit Administration* (FTA). Esse grupo é chamado *Urban Transportation Planning System* (UTPS).

Foi elaborada uma versão do UTPS para microcomputadores pela FHWA, conhecida como *Quick Response System* (QRS). Posteriormente, com base no UTPS, vários sistemas foram feitos com os mesmos objetivos, tais como: MINUTP, TRANPLAN, MICROTRIPS, EMME/2, TMODEL2, TRANSCAD, e outros. O *Center for Microcomputers in Transportation*, da Universidade da Flórida, Estados Unidos, mantém uma relação dos sistemas disponíveis para estudos de transportes, vários deles tendo sido preparados para uso com Windows, como QRSII e TRANSCAD.

8.5.1 GERAÇÃO DE VIAGENS

Ao processo de *Produção* ou *Atração* de veículos em movimento pela via é dada a denominação de *Geração* de viagens. Conforme os objetivos dos estudos pode-se considerar como unidade de viagem cada percurso realizado por um veículo ou por uma pessoa ou por uma mercadoria. Nos estudos urbanos, normalmente uma viagem é considerada como cada percurso que realiza uma só pessoa, usando um ou vários meios de transporte, de um ponto de origem a um ponto de destino. Isto quer dizer que se duas pessoas realizam igual percurso no mesmo veículo, serão computadas duas viagens e se uma pessoa para ir do trabalho à sua casa utiliza um ônibus, depois um trem suburbano e em seguida um táxi, será computada uma viagem apenas. Nos estudos rurais uma viagem é considerada como cada percurso que realiza um veículo até atingir o seu destino.

As viagens podem ser classificadas por seu propósito ou pelo meio de transporte utilizado. O propósito de uma viagem é definido pela razão que a motiva, tal como ir trabalhar, fazer compras etc. ao passo que o meio de transporte é o carro de passeio, veículo de carga, transporte coletivo etc.

É preciso distinguir nos estudos de geração a diferença entre geração de viagem que se refere ao movimento de veículos e a geração de viagens que se refere a movimentação de pessoas, dependendo a relação entre uma ou outra do meio de transporte em que se realizam essas viagens e a sua extensão. As viagens que se fazem em automóveis produzem mais tráfego na rodovia do que aquelas feitas em ônibus. Por outro lado, as viagens longas criam mais tráfego que as curtas.

A primeira fase da análise de geração envolve a determinação do número de viagens produzidas e atraídas em cada zona de tráfego. Em geral, se supõe que a demanda seja suficientemente inelástica às variações da oferta de serviços e que, portanto, depende apenas dos valores que possam ocorrer nas variáveis de caráter econômico como: população, renda, frota de veículos, produção etc.

Dependendo da dimensão e especificidade do estudo, os modelos de geração podem ser determinados para movimento de pessoas e de veículos, para tráfego de curta e longa distância e para tipos de viagem. Preferencialmente, o tráfego gerado, definido como as viagens atraídas e produzidas pelas zonas de tráfego, deve ser analisado através de métodos econométricos, de modo a selecionar as variáveis econômicas que melhor explicam o seu comportamento. Assim, através dos dados de Origem/Destino coletados, determina-se o tráfego gerado por zona e mediante uma análise desses dados e de outros anteriores, são realizadas regressões lineares com algumas variáveis econômicas. No caso da não existência de informações de O/D anteriores, os modelos são especificados nas funções estabelecidas, utilizando-se em “cross-section” os dados dos vetores das matrizes de origem e destino levantadas nas pesquisas.

Para testar a validade do modelo de projeção formulado, devem ser realizados vários testes concomitantemente com a análise de regressão.

Uma vez verificada essa validade, tem-se os coeficientes de elasticidade do tráfego a cada uma das variáveis socioeconômicas testadas. Estabelecido o modelo de geração são determinadas as taxas de crescimento tanto para o tráfego local como para o tráfego de longa distância. Essas taxas são ainda diferenciadas de acordo com os três tipos de veículos: carros de passageiros, ônibus e caminhões.

Descrevem-se a seguir dois dos principais métodos de obtenção de taxas de geração de viagens.

a) Método do Fator de Crescimento

Por este processo o tráfego futuro é determinado pela aplicação de um fator de crescimento aos dados de tráfego conhecidos. Assim temos:

$$T_f = F_c T_a$$

onde:

T_f = tráfego futuro

F_c = fator de crescimento

T_a = tráfego conhecido em um determinado ano

O fator de crescimento F_c pode ser calculado pela razão de dados referentes a duas épocas distintas, que se considerem representativos da variação do tráfego. Esses dados podem ser : a população, a renda, a taxa de motorização, a utilização de carros (viagens de carro/número de carros), a área geradora do tráfego, a densidade de construção e outros parâmetros associados ao tráfego. Esses dados podem ser utilizados individualmente ou de forma combinada, relacionando vários fatores entre si.

Por exemplo: Acredita-se que o tráfego futuro varie exatamente na proporção em que variou a população entre os anos 2005 e 2015. Conhecendo-se os valores da população nessas épocas, o fator de crescimento para o período de 10 anos será então:

$$F_c = \frac{P_{2015}}{P_{2005}}$$

Assim, o tráfego em 2015 será:

$$T_{2015} = F_c \times T_{2005}$$

Este método é bastante rudimentar e sua aplicação deve ser restrita. Apresenta como principal limitação ser feita através da simples extrapolação de tendências, não considerando a evolução de outros fatores que são importantes na geração de viagens.

Poderia ser empregado no estudo das viagens externas ao cordão externo, ou em regiões onde a estrutura socioeconômica e de transportes não estiver sujeita a grandes alterações.

b) Método com Base em Análise de Regressão

Consiste em estabelecer funções matemáticas capazes de representar o relacionamento existente entre duas ou mais variáveis. Há dois tipos de análise de regressão a considerar: regressão simples e regressão múltipla, a seguir descritos.

- *Regressão Simples*: consiste na determinação de uma função envolvendo apenas duas variáveis: variável independente e variável dependente, e que melhor se ajuste a um conjunto de pares de valores dados.
- *Regressão Múltipla*: consiste na determinação de uma função envolvendo mais de duas variáveis, sendo uma dependente e as demais independentes, e que melhor se ajuste a um conjunto de grupos de valores dados.

Dentre as funções que se revelaram de maior utilidade nos estudos de tráfego convém relacionar (Figura 54):

- *Função linear*

$$y = a_0 + a_1x$$

ou para mais de duas variáveis:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i$$

- *Função do 2º grau*

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2$$

– *Função potencial*

$$y = ax^b (a > 0)$$

– *Função exponencial*

$$y = ab^x (a > 0) \text{ ou } y = ae^{bx}$$

– *Função logarítmica*

$$y = a + b \ln x \text{ ou } y = a + b \log_{10} x$$

– *Função logística*

$$y = \frac{c}{1 + ae^{-bx}}$$

onde:

$a_0, a_1, a_i, a_2, a, b, c$, = constantes obtidas por calibração

x, x_i = variável independente

y = variável dependente

i = número variável de 1 a n

n = número máximo do índice i

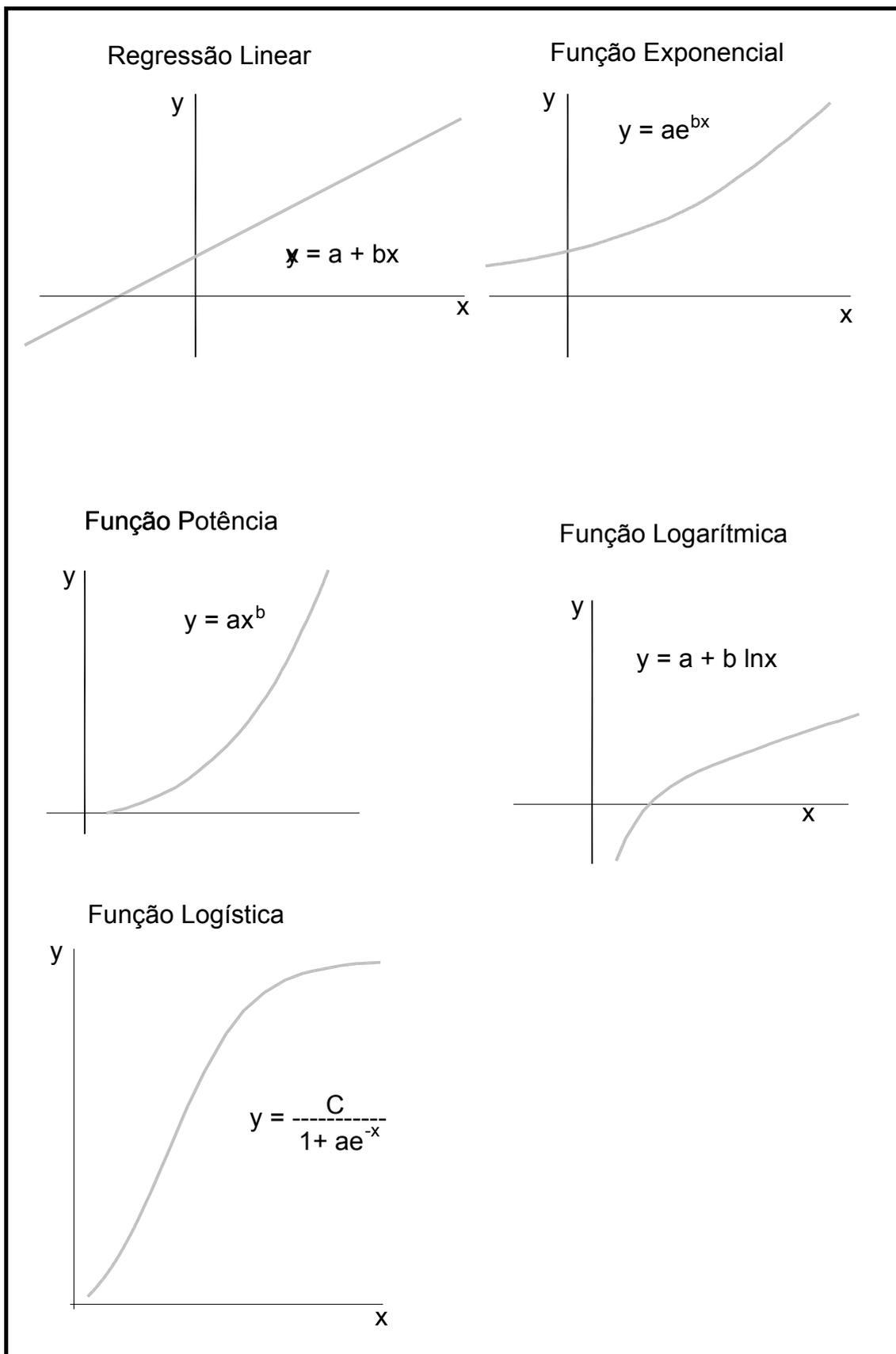
\ln = logaritmo neperiano

\log_{10} = logaritmo decimal

Devido à complexidade de trabalhar com funções não lineares, costuma-se linearizar as funções por meio de artifícios matemáticos adequados, transformando-as em funções lineares.

O método com base em análise de regressão procura estabelecer uma relação funcional entre os volumes de viagens geradas pelas zonas de tráfego e as características socioeconômicas das zonas. A função linear múltipla tem-se revelado como adequada para esse fim. Para determinação dos parâmetros desta função utiliza-se uma regressão linear múltipla, com base em análises estatísticas envolvendo variáveis socioeconômicas que efetivamente contribuem para a geração de viagens. A variável dependente é o volume de viagens, e as independentes, aquelas identificadas nos estudos socioeconômicos.

Figura 54 - Funções



A validade estatística da análise de geração de viagens obtida através da regressão linear, pode ser avaliada utilizando os testes estatísticos padrões (ver item A.5 – Métodos de Regressão):

- *Coeficiente de determinação “ r^2 ”*: indica o grau de associação entre as variáveis dependente e independentes. Quanto mais próximo a 1,00, maior será a confiabilidade da correlação testada.
- *Erro padrão da estimativa “ p ”*: indica o grau de variação dos dados em relação à linha de regressão obtida; matematicamente, é a medida do erro esperado ao se calcular a variável dependente a partir das variáveis independentes da equação proposta.
- *Teste “ t ”*: indica a significância do coeficiente de regressão de cada variável independente na equação de regressão; em geral, “ t ” deve ter um valor no mínimo de 2,0 para significância; o valor de “ t ” é calculado pela divisão do coeficiente de regressão pelo seu erro padrão. As variáveis que possuam um “ t ” menor do que 2,0 não tem uma relação significativa com a variável dependente e, portanto, não contribuem para uma correlação confiável.

A escolha do modelo consiste assim em testar regressões com diversos agrupamentos das variáveis socioeconômicas consideradas, até que se obtenha uma equação estatisticamente aceitável para explicar a série histórica utilizada na regressão. Esta equação será a utilizada para projeção do tráfego futuro em cada zona de tráfego considerada.

Convém ressaltar que no desenvolvimento de equações de regressão deve-se tomar cuidado para não incluir como independentes variáveis que sejam correlacionadas entre si (colineares). O coeficiente de determinação r^2 deve ser usado somente como um indicador geral da validade estatística total da equação. O teste mais importante da validade estatística é determinar se os valores dos coeficientes de regressão parcial são estatisticamente significantes. Os valores dos parâmetros e sinais de uma equação de regressão devem estar sujeitos a avaliações empíricas simples para assegurar que eles são razoáveis.

Para melhor compreensão deste método é apresentado no Apêndice B.4 um exemplo de geração de viagens que utiliza regressões lineares simples e múltipla.

8.5.2 DISTRIBUIÇÃO DE VIAGENS

Uma vez concluído o processo de geração de viagens é necessário efetuar a distribuição do tráfego de forma a se identificar os volumes entre cada zona de origem e as demais zonas da área de estudos.

Existem basicamente duas linhas de modelos para efeito de distribuição das viagens. A primeira relacionada com taxas de crescimento, as quais são aplicadas ao movimento atual entre pares de zonas. A segunda relacionada com “modelos sintéticos”, onde se procura detectar certas leis na distribuição de viagens. Na primeira linha os modelos mais

conhecidos são o de Fratar e o Detroit e na segunda os modelos gravitacionais e de regressão múltipla. Não cabe, aqui, realizar uma descrição pormenorizada dos modelos de distribuição, porém, podemos apresentar um sumário dos principais modelos.

8.5.2.1 MODELOS DE FATORES DE CRESCIMENTO

Os dois métodos mais conhecidos incluídos nesta categoria, foram desenvolvidos baseados na suposição de que o padrão atual de viagem pode ser projetado no futuro, usando-se valores previstos da taxa zonal de crescimento. Estes métodos apresentam restrições quanto às suas aplicações, devendo ser normalmente empregados em áreas de lento crescimento, onde no futuro não ocorram mudanças profundas em suas estruturas socioeconômicas.

Podem ser representados, em linhas gerais, pela fórmula:

$$T_{ij} = t_{ij} \cdot Fc$$

onde:

T_{ij} = número de viagens futuras da zona i para zona j

t_{ij} = número de viagens atuais da zona i para zona j

Fc = fator de crescimento

a) Método de Fratar

O método *Fratar* envolve a admissão de duas hipóteses básicas:

- que a distribuição das viagens futuras de uma dada zona de origem é proporcional à atual distribuição de viagens;
- que a distribuição dessas viagens futuras será modificada pelo fator de crescimento das zonas para as quais essas viagens são atraídas.

A previsão das viagens futuras, entre cada par de zonas, é obtida pela multiplicação das viagens atuais pelo produto dos fatores de crescimento para as duas zonas, e um ajuste para a atratividade relativa de outras zonas competitivas.

Matematicamente este método pode ser expresso:

$$T_{ij} = (T_i \cdot G_i) \frac{T_{ij} \cdot G_j}{\sum_{x=1}^n t_{ix} \cdot G_x}$$

onde:

T_{ij} = número de viagens estimadas da zona i para zona j

t_i = número de viagens atuais geradas em i

G_i = fator de crescimento da zona i

$T_{ij} = t_{ij} G_i$ = número de viagens futuras geradas na zona i

t_{ij} = número de viagens atuais da zona i para zona j

G_j = fator de crescimento da zona j

t_{ix} = número de viagens atuais entre a zona i e outras zonas x

G_x = fator de crescimento da zona x

n = número total de zonas

A utilização das técnicas de fatores de crescimento impõe a necessidade de ajustes específicos para as zonas de tráfego com número reduzido de viagens, para as quais se espera grande desenvolvimento ou para aquelas cujo uso futuro do solo deverá diferir substancialmente do uso atual.

Este método é iterativo, alternando-se ajustes de linhas e colunas até que novos fatores de crescimento se aproximem do valor 1,00.

b) Método de Detroit

O método *Detroit* aplica o mesmo raciocínio, só que em termos simplificados. Admite que o crescimento do número de viagens entre zonas será influenciado pelos fatores de crescimento das zonas i e j, e pelo fator geral da área em estudo.

Assim:

$$T_{ij} = t_{ij} \frac{G_i \cdot G_j}{G}$$

onde:

T_{ij} = número de viagens estimadas da zona i para zona j

t_{ij} = número de viagens atuais da zona i para zona j

G_i = fator de crescimento da zona i

G_j = fator de crescimento da zona j

G = fator de crescimento para a área como um todo

Do mesmo modo que no método de Fratar, as viagens calculadas para cada zona geralmente não se igualam às viagens previstas. É necessário, portanto, que se use iterações para que os resultados fiquem em equilíbrio.

8.5.2.2 MODELOS SINTÉTICOS

Esse grupo de métodos baseia-se na hipótese de que:

- as causas dos movimentos devem ser entendidas para que possam ser determinados os padrões de viagens futuras.
- as relações causais que explicam os movimentos entre pares de zonas podem ser entendidos se associados a certas leis.

Distinguem-se, neste grupo, os seguintes modelos:

- Modelo gravitacional;
- Modelo de regressão múltipla;
- Modelo de oportunidades.

a) Modelo Gravitacional

O *Modelo Gravitacional* parte do princípio que o número de viagens entre um par específico de zonas é diretamente proporcional aos poderes de atração e produção destas zonas e inversamente proporcional ao quadrado da separação espacial entre elas. Essa separação pode refletir a distância, o tempo, o custo, ou ainda uma combinação desses fatores.

Dentre os modelos gravitacionais desenvolvidos, destaca-se o modelo Gravitacional Modificado, que pode ser expresso por:

$$T_{ij} = P_i \frac{A_j F_{ij} K_{ij}}{\sum_{j=1}^n (A_j F_{ij} K_{ij})}$$

onde:

T_{ij} = número de viagens produzidas na zona i e atraídas pela zona j

P_i = número total de viagens produzidas na zona i

A_j = número total de viagens atraídas pela zona j

F_{ij} = termo de calibração para o par de zonas ij

K_{ij} = fator de ajustamento socioeconômico para o par de zonas ij

n = número total de zonas

A dificuldade do uso do modelo gravitacional está no processo de calibração, que requer uma considerável quantidade de ajustamentos para que se obtenha resultados satisfatórios. O fator “K” é determinado empiricamente procurando expressar a influência do tempo de viagem.

b) Modelo de Regressão Múltipla

O *Modelo de Regressão Múltipla* é aplicado de maneira análoga à feita para os estudos de geração, inter-relacionando variáveis socioeconômicas que dão a melhor

previsão de distribuição de viagens. A vantagem desse método é sua grande flexibilidade em aceitar um número grande de variáveis explicativas.

O modelo pode ser representado pela fórmula geral:

$$T_{ij} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$$

onde:

T_{ij} = número de viagens da zona i para zona j

a_0 = constante

a_1, \dots, a_n = coeficientes determinados pelo método dos mínimos quadrados

x_1, \dots, x_n = valores das variáveis independentes, isto é: população, frota, etc

c) Modelo de Oportunidades

Os *Modelos de Oportunidades* introduzem a teoria de probabilidade como instrumento para detectar as intenções dos consumidores. Em essência, existem dois métodos distintos (“interposição de oportunidades” e “competição de oportunidades”), porém, baseados sempre no raciocínio seguinte:

$$T_{ij} = t_i \times P_j$$

onde:

T_{ij} = número de viagens estimadas da zona i para zona j

t_i = número de viagens geradas em i

P_j = probabilidade de uma determinada viagem terminar na zona j

A diferença entre os dois métodos diz respeito à forma de cálculo da probabilidade P_j .

As pesquisas necessárias para se calibrar estes modelos são muito dispendiosas em termos de tempo e recursos, mas a mais séria desvantagem é que eles somente levam em conta pequenas mudanças na relação tempo/distância.

Comparação entre os modelos

Numa comparação mais global dos diversos modelos apresentados, verifica-se que:

- Modelos Baseados no Fator de Crescimento:
 - simplicidade e rápida interação para balancear os fluxos com destino ou origem nas zonas;
 - não produzem viagens futuras para um par de zonas onde atualmente não existem viagens;
 - não consideram mudanças na estrutura espacial (uso do solo);

- em geral, são empregados para viagens do tipo “através”.
- Modelos Gravitacionais:
 - são sensíveis à distância entre zonas de tráfego;
 - consideram as mudanças na ocupação do solo;
 - consideram fatores socioeconômicos das zonas.
- Modelo de Regressão Múltipla:
 - é extremamente flexível, por aceitar um número grande de variáveis explicativas;
 - pode ser aplicado a qualquer área para objetivos diversos;
 - embora se possa obter um relacionamento satisfatório utilizando um determinado conjunto de variáveis, deve-se ter o cuidado de eliminar as que têm pouca relevância nos resultados e as que não são realmente independentes entre si.
- Modelo de Oportunidades:
 - requer menos dados de origem e destino para o processo de calibração;
 - considera apenas mudanças relativas nas relações tempo-distância entre zonas;
 - requer escolha arbitrária do fator de probabilidade.

8.5.3 DIVISÃO MODAL DE VIAGENS

A análise de divisão modal visa identificar as frações das viagens entre um par de zonas que serão atendidas por cada um dos diferentes modos ou meios de transportes alternativos.

Geralmente a escolha de um determinado modo de viagem é feita considerando os seguintes fatores:

- Características da viagem: distância, hora do dia em que a viagem é realizada, propósito da viagem;
- Características do usuário: nível de renda, propriedade de veículo, status social, etc;
- Características do sistema de transportes: tempo de viagem, custo, acessibilidade, conforto, etc.

Dependendo do nível de detalhe requerido para o estudo da divisão modal, quatro tipos básicos de modelos podem ser utilizados:

- Modelos de geração direta;
- Modelos de pré-distribuição de viagens;
- Modelos de pós-distribuição de viagens;
- Modelos comportamentais.

a) Modelos de Geração Direta

Esses modelos efetuam a divisão modal das viagens em consonância com os estudos de geração, ou seja, a geração já é feita por modalidade de transporte. Assim, procede-se como foi visto no item geração de viagens, sendo os modelos derivados separadamente para cada modo de transporte.

b) Modelos de Pré-distribuição de Viagens

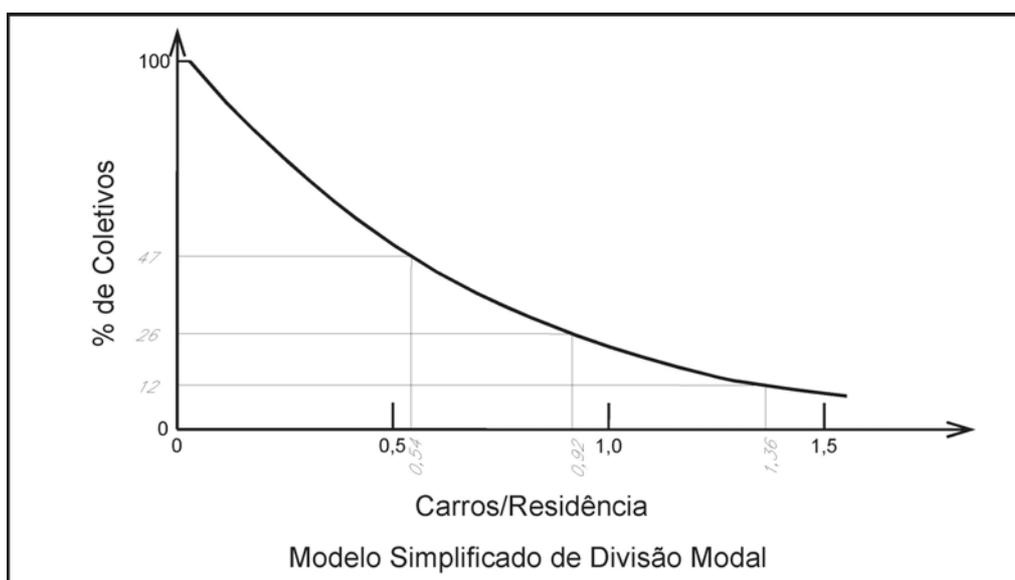
A divisão das viagens por modos é feita após os estudos de geração, antes da etapa de distribuição. As viagens produzidas ou atraídas por zona, são divididas geralmente na proporção fornecida pelo modelo, para o transporte particular e para o coletivo.

Conhecido o número de viagens por transporte particular, divide-se este número pelo fator de ocupação de automóveis para determinar o total de viagens de automóveis.

Como exemplo será apresentado um modelo simplificado que relaciona a percentagem de viagens por coletivos com o índice de propriedade de carros por residência nas diversas zonas.

Determina-se inicialmente uma curva utilizando os dados resultantes de uma pesquisa que represente o padrão de viagens na área (Figura 55). Verifica-se que à medida que a razão carros/residência diminui aumenta a percentagem de viagens por coletivo. O menor nível de renda conduz ao maior uso de coletivos.

Figura 55 - Modelo simplificado de divisão modal



A partir da curva estabelecida pode-se obter a partição modal e, conseqüentemente, as viagens em cada modo de transporte. A Tabela 37 apresenta os Totais de Viagens por Zona, os Números de Carros por Residência, a Divisão Modal e os Totais de

Viagens (de Pessoas) por Coletivo e por Carro Particular e os Totais de Viagens de Coletivos e de Carros Particulares, admitindo uma taxa de ocupação de 25 passageiros por ônibus e 1,8 pessoas por carro.

Tabela 37 - Viagens por modo de transporte

Zonas	Viagens	Carros / Residência	Viagens por Coletivo (%)	Viagens de Pessoas		Viagens de Veículos	
				Coletivos	Carros	Coletivos	Carros
1	1.200	0,92	26	312	888	12	493
2	3.500	1,36	12	144	3.356	6	1.864
3	5.000	0,54	47	564	4.436	23	2.464
Total	9.700			1.020	8.680	41	4.822

c) Modelos Pós-distribuição de Viagens

Nestes modelos a divisão das viagens é feita após os estudos de distribuição, considerando as características individuais de cada par de zonas. São empregados principalmente nas grandes áreas urbanas.

Dentre os modelos desenvolvidos, tem-se:

– Modelo de Desutilidades

Este modelo procura quantificar as desvantagens de cada modo de transporte. É escolhido o modo que apresentar menor desvantagem. A quantificação é feita através da conversão de todas as variáveis para uma mesma unidade, em geral o tempo.

As variáveis normalmente empregadas, já considerando a transformação para a variável tempo são:

- Para transporte coletivo

x_1 – tempo andando até o transporte coletivo

x_2 – tempo esperando o transporte coletivo

x_3 – tarifa

x_4 – tempo de viagem no transporte coletivo

x_5 – número de transferências

x_6 – tempo de espera em cada transferência

x_7 – tempo andando do transporte coletivo até o destino

- Para transporte particular

x_8 – tempo andando até o carro

x_9 – tempo de viagem

x_{10} – custo de viagem

x_{11} – custo de estacionamento

x_{12} – tempo andando do carro até o destino

Assim, define-se desutilidade como:

$$DTC = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7$$

$$DTP = x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12}$$

onde:

DTC = desutilidade dos transportes coletivos

DTP = desutilidade dos transportes particulares

Uma característica do modelo é atribuir penalidades (pesos) diferentes para os tempos de espera ou de viagem, já que estes são sentidos de forma diferente pelo usuários (desconforto).

Deste modo a expressão geral seria:

$$DTC = ax_1 + bx_2 + cx_3 + dx_4 + ex_5 + fx_6 + gx_7$$

$$DTP = hx_8 + ix_9 + jx_{10} + kx_{11} + lx_{12}$$

Normalmente a variável utilizada nos modelos é a Desutilidade Marginal, ou seja:

$$DM = DTC - DTP$$

Com os valores de “DM” segundo as classes de renda, entramos nas curvas do modelo, extraindo os percentuais de viagens por transportes coletivos e particular.

Este modelo exige um processo inicial de calibração baseado em dados de pesquisas. Tal procedimento exige um estudo completo para determinação de todos os fatores que influem na escolha do modo de viagem e qual a importância relativa de cada um deles, ou seja, a determinação das penalidades. A principal dificuldade era a determinação das variáveis para cada par de zonas, porém existem atualmente programas de computador capazes de calcular todos os tempos automaticamente.

– Modelo QRS

O modelo QRS (Quick Response Urban Travel Estimation Techniques), desenvolvido pela *Federal Highway Administration* – FHWA, é utilizado para estudos de divisão modal. Baseia-se nas seguintes relações:

$$MS_a = \frac{I_{ijt}^{-b}}{I_{ijt}^{-b} + I_{ija}^{-b}} \times 100 \quad \text{ou} \quad MS_a = \frac{I_{ijt}^b}{I_{ijt}^b + I_{ija}^b} \times 100$$

$$MS_t = (1 - MS_a) \times 100$$

onde:

MS_t = proporção de viagens entre a zona “i” e a zona “j” usando transporte coletivo

MS_a = proporção de viagens entre a zona “i” e a zona “j” usando automóveis

I_{ijm} = impedância da viagem do modo “m”, entre “i” e “j”, custo total da viagem.

[*Impedância = (tempo no veículo em min) + (2,5 x tempo a pé em min) + (3 x custo da viagem em salário/min)*]

b = expoente dependente do objetivo da viagem

m = “t” para transporte coletivo; “a” para automóveis.

Observe-se que tempo a pé inclui tempo esperando ou andando.

O valor da impedância é determinado para cada par de zonas e representa uma medida do gasto necessário para fazer a viagem por automóvel ou transporte coletivo.

Os dados necessários para escolher a modalidade incluem:

- Distância entre zonas por automóvel ou transporte coletivo;
- Preço da passagem do coletivo;
- Custo de operação do automóvel;
- Custo de estacionamento;
- Velocidades nas vias empregadas,
- Valores dos expoentes “b”,
- Salário médio.
- Tempo a pé, que inclui tempos andando, de espera e de transferência de modalidade. Admite-se que se trabalha por ano 120.000 minutos.

d) Modelos Comportamentais

O foco destes modelos está sobre o comportamento de escolha modal individual, em vez de agregado por zona. O conceito central destes métodos é a desutilidade (desvantagens) das diferentes modalidades de transporte.

Têm sido desenvolvidos modelos que estimam a probabilidade de clientelas modais, conhecidos os custos gerais de viagem pelas diversas modalidades. Dos três tipos de conceitos usados para construir funções estocásticas de repartição modal para o comportamento individual, análises discriminante, proibit e logit, tem tido maior aceitação a logit, que é exposta a seguir.

– Modelo Logit

Este método baseia-se na utilidade relativa de cada modalidade. A escolha do modo é expressa como uma distribuição de probabilidade. Por exemplo, admita-se que a utilidade de cada modo seja dada pela equação

$$U_x = \sum_{i=1}^n a_i X_i$$

onde:

U_x = utilidade do modo x

n = número de atributos

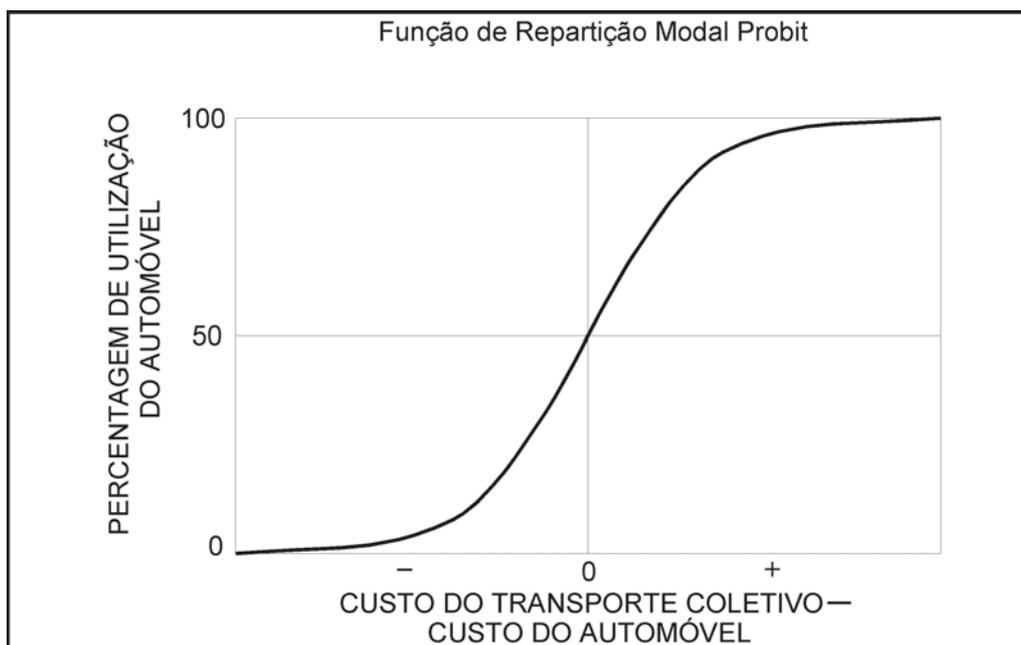
X_i = valor do atributo (tempo, custo, etc)

a_i = valor do coeficiente para o atributo i (negativo, já que os valores desestimulam a procura do modo)

No caso de duas modalidades, automóvel (A) ou ônibus (O), a probabilidade (P) de selecionar automóvel é dada por:

$$P(A) = \frac{e^{U_a}}{e^{U_a} + e^{U_o}}$$

Esse modelo, chamado logit, é um modelo estatístico probabilístico, porque se baseia na análise de amostras de indivíduos ou grupos de indivíduos, buscando avaliar a probabilidade dos usuários do sistema de transportes selecionarem uma determinada modalidade em função de suas características. A Figura 56 apresenta um exemplo da aplicação do modelo.

Figura 56 - Escolha modal ônibus versus automóvel

Comparação entre os modelos

- Os modelos de divisão modal de pós-distribuição serão mais eficazes à medida que for maior o uso dos transportes coletivos e maior a área urbana;
- Em pequenas áreas, onde os transportes coletivos são pouco utilizados, os modelos de divisão modal de pré-distribuição ou de geração direta são eficazes;
- Uma desvantagem dos modelos de pré-distribuição é não considerarem mudanças que possam ocorrer nos sistemas de transportes;
- Os modelos comportamentais permitem estabelecer com maior precisão as causas da escolha de uma certa modalidade.

8.5.4 ALOCAÇÃO DO TRÁFEGO FUTURO

A alocação de tráfego é o processo pelo qual um dado conjunto de movimentos interzonais é alocado a rotas definidas de um modo de transporte. O procedimento de alocação de tráfego consiste, essencialmente, no carregamento da rede matemática elaborada, com as matrizes resultantes dos modelos de geração e distribuição de viagens. A alocação do tráfego futuro, nas redes atual e futura, tem os seguintes objetivos:

- Identificar as deficiências do atual sistema de transportes pela alocação dos movimentos futuros no sistema existente;
- Avaliar os efeitos de melhoramentos no sistema de transportes pela alocação de movimentos futuros na rede que inclui estes melhoramentos;

- Estabelecer escala de prioridades de intervenções pela alocação de movimentos futuros;
- Testar as alternativas propostas;
- Fornecer os volumes de tráfego para o projeto dos diversos elementos do sistema.

Para qualquer viagem de uma zona a outra há, usualmente, várias rotas alternativas que podem ser escolhidas pela pessoa que faz a viagem. Conforme já visto, cada rota tem uma resistência à viagem – ou *impedância* – própria, resultante de características tais como distância, tempo de viagem, custo, velocidade e grau de saturação. Estas características são avaliadas ou não pelo motorista, antes de uma determinada rota ser escolhida. Deste modo, uma rota com uma resistência à viagem muito alta, isto é, uma via muito movimentada com paradas de ônibus, estacionamentos de carros, numerosas interseções e pedestres, não será usada por tantos motoristas quanto uma rota que tenha uma resistência à viagem menor. Este conceito de resistência à viagem ou impedância, é usado na alocação de tráfego.

a) Curvas de Desvio

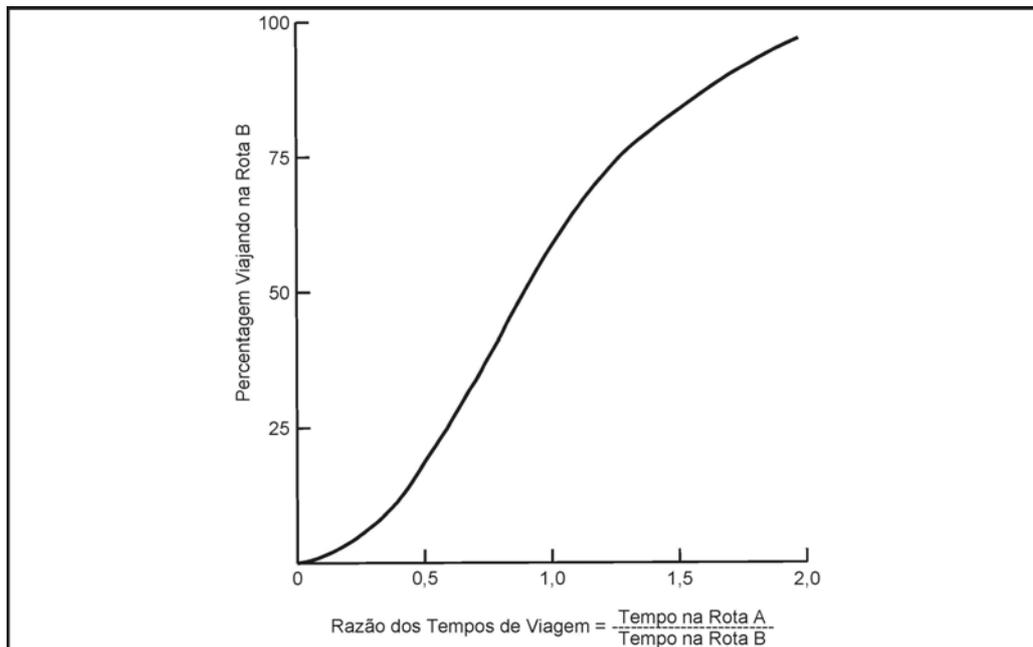
A alocação do tráfego pode ser feita em uma rede completa ou em ligações simples quando se tem apenas dois percursos diferentes para se atingir o destino. Neste caso *curvas de desvio* são produzidas a partir de estudos empíricos, examinando-se a relação entre a impedância e o uso de duas rotas alternativas, para mostrar a proporção do tráfego atraído para uma via e a remanescente na outra.

Dentre as curvas de desvio mais conhecidas destacam-se: curva de razão de tempo de viagem, curvas de tempo e distância e curvas de velocidade e distância.

Curva de desvio baseada na razão do tempo de viagem

Na curva desvio por questão do tempo de viagem, a percentagem do volume atraído pela nova via é baseada na razão entre o tempo de viagem utilizando-se a via existente e o tempo de viagem utilizando-se a nova via. A curva tem a forma de um S, conforme ilustra a Figura 57.

Figura 57 - Curva de desvio baseada na razão do tempo de viagem



Curvas de desvio baseadas no tempo e distância de viagem

Há curvas que indicam a porcentagem que utiliza uma nova via, em função das diferentes distâncias e tempos de viagem economizados. Essas curvas de desvio constituem uma família de hipérbolas usando-se os resultados e observações realizados em vias americanas.

Fornecem a relação entre os fluxos que utilizarão as duas alternativas em função dos tempos e distâncias correspondentes e são expressas pela equação:

$$p = 50 + \frac{50(d + 0,8t)}{\sqrt{((d - 0,8)^2 + 11,6)}}, \text{ para } 0 \leq p \leq 100$$

onde:

p = porcentagem de viagens desviadas para a nova via ou via melhorada

d = diferença de distâncias entre os percursos antigo e novo, em km

t = diferença de tempo entre os percursos antigo e novo, em minutos

Tanto d como t podem ser negativos, se a via nova/melhorada for mais longa ou exigir mais tempo que a melhor rota existente. Se $p > 50\%$ para viagens curtas, um fator de correção deve ser aplicado (ver Moskowitz, Karl., *California Method of Assigning Diverted Traffic to Proposed Freeways*, Highway Research Board, Bulletin 130, 1956).

Curvas de desvio baseadas na razão de velocidade e distância

Esta família de curvas relaciona a percentagem de motoristas que usam a via em função da razão da velocidade e distância entre alternativas. A suposição adotada é que distância e velocidade são dois dos principais fatores que afetam a escolha da rota por um motorista.

Convém observar que embora as características da atual impedância de viagem estejam refletidas nas curvas de desvio, não se pode garantir que estas características irão se manter no futuro, o que vai depender da natureza e do propósito das mudanças realizadas no sistema de transportes. Se a rede viária é completamente mudada e o nível de serviço melhorado, as características da rede antiga são também passíveis de mudança. Ao mesmo tempo, a atitude dos motoristas em relação aos fatores, tais como tempo, distância, conforto e conveniência, pode também mudar.

Assim sendo, as atribuições por meio de curvas de desvio não são ideais para os estudos de transporte de uma grande área, onde mudanças a longo prazo são propostas para o sistema de transportes. Entretanto, para pequenas cidades onde pequenas extensões e melhoramentos da rede são previstos, as curvas de desvio podem ser usadas de forma efetiva e econômica.

Cabe ressaltar, ainda, que estas curvas foram calibradas em função de dados próprios de rodovias norte-americanas e, portanto, para sua utilização, há necessidade de fatores de correção.

b) Modelo “Tudo ou Nada”

Este modelo admite que todas as viagens entre um par de zonas são feitas pelo caminho de menor impedância, desprezando assim outros caminhos alternativos.

De posse das árvores de caminho mínimo de todas as zonas, carrega-se estas árvores com os valores de viagens entre cada par. Faz-se uma análise dos carregamentos obtidos em cada ligação, para verificar se eles ultrapassaram a capacidade estimada. Se superada a capacidade, parte-se então para o estudo de medidas a serem impostas no sistema, a fim de se ter valores próximos à capacidade estimada.

Embora o método de alocação tudo ou nada seja de fácil aplicação, existem algumas desvantagens associadas ao seu uso. Uma grande desvantagem desta técnica é que ela não leva em conta os acréscimos de tempo de viagem que ocorrem devido ao aumento de volume de tráfego. Além disso, pequenas diferenças nos tempos de viagem nas diferentes rotas entre a mesma origem e destino podem provocar caminhos irrealistas.

c) Modelo “Tudo ou Nada” com Restrição de Capacidade

O procedimento inicial é idêntico ao método anterior. Após obtido o carregamento de toda a rede, é feita uma análise de cada ligação com o objetivo de determinar a relação V/C de cada uma delas.

V = volume alocado à ligação

C = capacidade da ligação

De posse da relação V/C, aplica-se a seguinte equação determinada pelo *Bureau of Public Roads* - BPR:

$$T = T_0 \left[1 + 0,15 \left(\frac{V}{C} \right)^4 \right]$$

onde:

T = tempo ajustado para o qual o volume “V” pode utilizar a ligação

T_0 = tempo de viagem para a condição de fluxo livre multiplicado por 0,87.

A experiência mostra que a aplicação direta deste tempo conduz a grandes oscilações nos volumes das ligações. Para minimizar este efeito, adota-se a equação:

$$T_a = 0,75 \times T_b + 0,25T$$

onde:

T_a = novo tempo a ser usado na alocação

T_b = tempo básico adotado inicialmente

T = tempo ajustado pela equação

Este processo é iterativo, até que a relação V/C para cada ligação seja aproximadamente igual a 1.

d) Modelo Probabilístico

Normalmente o usuário pretende seguir o caminho de menor impedância. Ocorre entretanto que, havendo várias alternativas próximas, a opção do usuário se distribui entre essas alternativas segundo uma curva normal de probabilidades. Neste modelo selecionam-se os caminhos cuja impedância se aproxima da menor, e faz-se o carregamento de cada um deles de acordo com seus desvios em relação à média.

A experiência mostra que, levando em conta paralelamente a restrição de capacidade, este modelo conduz a valores mais próximos da realidade. Sua aplicação, entretanto, é mais trabalhosa e difícil, resultando em maiores custos de aplicação.

8.6 PROJEÇÃO DO TRÁFEGO COM BASE EM SÉRIES HISTÓRICAS

Os modelos de tráfego utilizam normalmente para previsão de uma situação futura, variáveis como população, emprego, renda, frota de veículos, etc. Entretanto, quando se dispõe de uma série de dados de tráfego em uma via, pode-se determinar a função que mais se aproxima da variação constatada através dos anos e adotá-la como base para a previsão do tráfego futuro. Procura-se encaixar os valores conhecidos em uma função de ocorrência usual nos estudos de tráfego.

A projeção através da análise das séries históricas se baseia em extrapolação de tendências e apresenta como principal limitação o fato de isolar a evolução do tráfego, não considerando a influência de outras variáveis intervenientes. Três procedimentos são comuns nesses casos: a utilização de curvas representando uma progressão aritmética, uma progressão geométrica ou exponencial e de curvas do tipo logístico. Normalmente, utiliza-se a variação exponencial, por ser a mais provável para períodos curtos ou de média duração.

a) Projeção Linear

A *Projeção Linear* admite que o volume de tráfego cresce segundo uma progressão aritmética, em que o primeiro termo é o volume inicial e a razão é o número de veículos que cresce por ano.

$$V_n = V_0(1 + na)$$

onde:

V_n = volume de tráfego no ano “n”

V_0 = volume de tráfego no ano base

a = taxa de crescimento anual

n = número de anos decorridos após o ano base

Normalmente este método é usado para períodos inferiores a cinco anos.

b) Projeção Geométrica ou Exponencial

A *Projeção Geométrica*, também chamada de *Projeção Exponencial*, admite que o volume de tráfego cresce segundo uma progressão geométrica, em que o primeiro termo é o volume inicial e a razão é o fator de crescimento anual.

$$V_n = V_0 r^n$$

onde:

V_n = volume de tráfego no ano “n”

V_0 = volume de tráfego no ano base

r = razão da progressão geométrica (fator de crescimento anual)

n = número de anos decorridos após o ano base

De forma mais freqüente é escolhida a representação

$$V_n = V_0(1 + a)^n$$

Onde se substitui a razão “ r ” por uma taxa de crescimento anual “ a ”, geralmente expressa em percentagem.

A experiência mostra que o tráfego costuma crescer a taxas de crescimento anuais de variação relativamente lenta. Ultimamente tem sido comum adotar, à falta de informações de variáveis socioeconômicas, uma taxa de crescimento anual de 3%, próxima da taxa de crescimento econômico do país como um todo, o que resulta em uma função exponencial.

Estes dois métodos são rotineiramente empregados, constando das três opções programadas para aplicação nas projeções de tráfego constantes do sistema HDM-4. A terceira opção se resume em permitir informar o volume de tráfego ano a ano.

c) Projeção com o Emprego da Logística

Quando se estuda a variação de volumes de tráfego através de dados históricos, condicionando-a ao valor de saturação ou capacidade da uma rodovia, revelou-se muito prática a *Curva Logística*, cuja equação pode ser utilizada na forma:

$$V_n = \frac{C}{1 + ke^{-b(n-n_0)}}$$

onde:

V_n = volume de tráfego no ano “ n ”

C = capacidade da rodovia

k = constante

b = constante

n = ano a que se refere o V_n

n_0 = ano base

Definem-se as variáveis $z = ke^{-b(n-n_0)}$, $w = \ln z$ (logaritmo neperiano).

Tem-se então:

$$V_n = \frac{C}{(1+z)}$$

Logo:

$$z = \frac{C}{V_n} - 1$$

$w = \ln z$, $w = \ln k - b(n - n_0)$, isto é:

w é uma função linear de n : $w = \ln k + bn_0 - bn$ ou $w = A + Bt$

Exemplo de Aplicação

No exemplo que se segue são conhecidos para os anos 1992 a 1998 os volumes do VMD em unidades de carros de passeio (Tabela 38) e a capacidade $C = 5.000$ ucp/dia. Deseja-se construir uma curva representativa da variação do tráfego, considerando que VMD nunca ultrapassará 5.000.

Tabela 38 - Série histórica

Ano (n)	VMD	z	w = ln z
1992	556	7,993	2,08
1993	663	6,541	1,88
1994	892	4,605	1,53
1995	1018	3,912	1,36
1996	1178	3,244	1,18
1997	1269	2,940	1,08
1998	1407	2,554	0,94

Aplicando as fórmulas e variáveis previstas foram calculados os valores correspondentes de “z” e “w” acima apresentados. Em seguida, os valores foram colocados em quatro colunas em situação mais adequada para aplicação dos programas de cálculo dos coeficientes da equação de regressão linear simples, cujos resultados são fornecidos abaixo (Tabela 39).

Tabela 39 - Coeficientes da equação de regressão

Regression Output:	
Constant	378,48591
Std Err of Y Est	0,0828794
R Squared	0,9677599
No. of Observations	7
Degrees of Freedom	5
X Coefficient(s)	-0,1918837
Std Err of Coef.	0,0156627

Assim:

$w = 378,48591 - 0,191884 t$, $r^2 = 0,9677599$, $Se = 0,0828794$ e $S_b = 0,0156627$, mostrando boa aderência da curva aos pontos fornecidos.

Obtém-se os valores calculados de z para :

$$n = 1992 \quad z = 7,4637$$

$$n = 1998 \quad z = 2,3602$$

$$\text{Sendo } z = ke^{-b(n-n_0)} \quad , \quad z = ke^{-b(n-1992)}$$

para $n = 1992$ tem-se:

$$z = k = 7,4637 \quad e$$

para $n = 1998$ $z = 2,3602$, ou seja:

$$2,3602 = 7,4637e^{-6b}$$

Tem-se então:

$$2,3602/7,4637 = e^{-6b}$$

$$\ln(2,3602/7,4637) = -6b$$

$$-1,1513 = -6b$$

$$b = 0,1919$$

Obtém-se $z = 7,4637 e^{-0,1919(n-1992)}$ é a fórmula final:

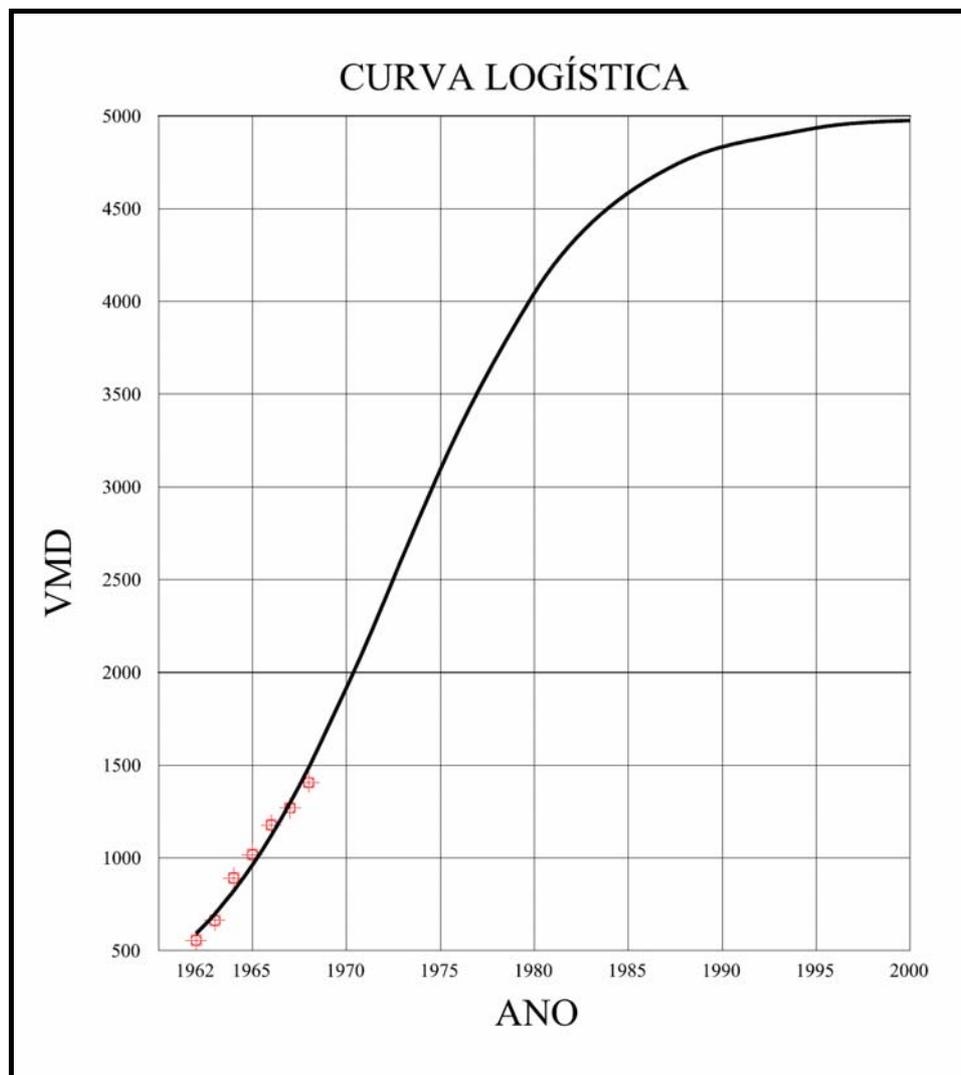
$$VMD = \frac{C}{(1+z)}, \quad VMD = \frac{5.000}{1 + 7,4637 e^{-0,1919(n-1992)}}$$

Com esta fórmula obtém-se os valores calculados dos VMD (Tabela 40), com os quais foi construída a curva da Figura 58.

Tabela 40 - VMD calculados

t	VMD calc
1992	591
1995	962
2000	1917
2005	3094
2010	4045
2015	4585
2020	4833
2025	4935
2030	4975

Figura 58 - Curva logística



9 - DETERMINAÇÃO DO NÚMERO “N”

9 DETERMINAÇÃO DO NÚMERO “N”

Nesta seção serão apresentadas informações básicas sobre a avaliação da solicitação do tráfego, que é um componente essencial do processo de dimensionamento do pavimento.

A correta avaliação da solicitação que o pavimento em análise já sofreu pelo tráfego é fundamental para o diagnóstico preciso do pavimento existente. Para o dimensionamento do reforço ou a definição de outras intervenções é necessária a determinação do tráfego futuro. Em qualquer caso, o desejável é que sejam definidos os seguintes elementos relativos ao tráfego:

- Volume médio diário anual (VMDa);
- Classificação da frota;
- Carregamento da frota;
- Fator de equivalência de carga;
- Número equivalente “N”.

As informações descritas a seguir tiveram por base o *Manual de Projeto de Engenharia Rodoviária*, Vol. 5 Estudos de Trânsito, DNER, 1974 e o *Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos*, DNIT, 2006.

9.1 VOLUME MÉDIO DIÁRIO ANUAL (VMDA)

Conforme já visto, a determinação dos volumes de tráfego deve ser baseada em contagens volumétricas classificatórias levadas a efeito no trecho em análise. Desvios de tráfego significativos devem ser levados em conta, para a definição de subtrechos homogêneos em termos de tráfego.

É conveniente definir o tráfego que atuou sobre o pavimento desde a última intervenção, o que deverá se basear em contagens efetuadas no passado, e em estudos e projetos anteriormente elaborados.

A estimativa do tráfego futuro terá como ponto de partida a avaliação do tráfego atual, obtido por meio de pesquisas de campo. A sua projeção ao longo do período de projeto basear-se-á em taxas de crescimento do tráfego e no conhecimento de eventuais alterações previstas para o sistema de transporte regional.

As taxas de crescimento do tráfego poderão tanto se basear nas eventuais séries históricas existentes como na associação a dados sócio-econômicos regionais. Assim, por exemplo, a evolução da população e da renda per capita tem íntima vinculação com o crescimento da frota de automóveis, enquanto a produção agropecuária e industrial e a venda de óleo diesel podem ser associadas ao crescimento da frota de carga.

Cabe ressaltar que o comportamento do tráfego é normalmente influenciado por variações sazonais, o que torna equivocado o uso de resultados de contagens de curta duração

sem a prévia correção sazonal. Assim, resultados de uma pesquisa efetuada, por exemplo, ao longo de uma semana no mês de setembro, não representam bem a média anual de um certo trecho que se presta ao escoamento de safra agrícola, pois o período de colheita se estende, neste caso, de abril a junho. Parte expressiva da atuação da frota de carga não estaria sendo detectada na contagem de setembro.

9.2 CLASSIFICAÇÃO DA FROTA

A grande diversidade de efeitos gerados sobre o pavimento pelos diversos tipos de veículos rodoviários levou à necessidade de dispor de uma classificação da frota, a mais detalhada possível, em particular no que se refere aos veículos de carga (ver item 3.4 – Veículos Adotados na Classificação do DNIT).

A classificação mínima útil à avaliação do tráfego compreende as seguintes subclasses de veículos de carga: caminhão leve, caminhão médio, caminhão pesado, reboque/semi-reboque.

No entanto, é preferível que a classificação seja mais detalhada, pois podem ocorrer expressivas variações na capacidade de carga de uma determinada subclasse, em função do tipo de veículo e de sua rodagem. Assim, os semi-reboques são classificados em: 2S1; 2S2; 3S2, 2S3; etc.

Na condição adotada, o primeiro algarismo representa o número de eixos do cavalo mecânico e o segundo, o número de eixos do semi-reboque.

A classificação de veículos adotada pelo DNIT nas contagens volumétricas classificatórias e pesagens é apresentada na Figura 13.

9.3 CARREGAMENTO DA FROTA

Assim como a classificação da frota, os pesos por eixo de cada um dos tipos de veículos de carga é igualmente importante. Se a distribuição da carga por eixo não for adequadamente considerada, as previsões da solicitação futura do tráfego serão provavelmente imprecisas.

Portanto, para a avaliação do efeito do tráfego sobre o pavimento é preciso conhecer as cargas por eixo com as quais os veículos de carga solicitam a estrutura. Isto pode ser feito preferencialmente por meio de pesagens levadas a efeito no próprio trecho, ou em trecho com comportamento de tráfego similar.

Os procedimentos de pesagem existentes são: balanças fixas, balanças portáteis e sistemas automáticos de pesagem, que permitem pesagem contínua através de longos períodos.

Nos últimos anos foram desenvolvidos equipamentos para pesar dinamicamente os veículos e classificá-los automaticamente. Em qualquer caso é necessário que os dados de pesagem sejam compatíveis com a classificação adotada para a frota de carga.

A distribuição das cargas por eixo pode ser estimada por meio de dados obtidos em diversos postos de pesagem. A Divisão de Estudos e Projetos do DNIT publicou em 1988 o volume “Tabelas de Fatores de Veículos”, originada de uma pesquisa em 28 postos permanentes distribuídos nas regiões norte, centro-oeste, sudeste e sul, e em 12 postos temporários nas regiões norte, nordeste, sudeste e sul do Brasil. Nessa publicação são calculados para cada trecho, os *fatores de veículos* (FV) pelo método da AASHTO e pelo método do Corpo dos Engenheiros (USACE).

Deve-se estar consciente, todavia, das limitações da utilização generalizada dos fatores de veículos tabelados. Primeiro, o número de postos de pesagem pode ser reduzido e não atender satisfatoriamente o local que se está estudando. Segundo, muitas vezes os postos não operam continuamente e numerosos estudos demonstram que a distribuição dos veículos varia significativamente durante a semana, assim como durante o dia.

Assim sendo, recomenda-se a utilização de dados de tráfego coletados para o trecho em análise, pois proporcionarão uma avaliação mais precisa. Para tal, podem ser utilizadas balanças portáteis e automáticas, que oferecem alto grau de flexibilidade na coleta e oferecem dados mais confiáveis (ver item 6.6 – Pesagens de Veículos).

9.4 FATORES DE EQUIVALÊNCIA DE CARGA POR EIXO (FC)

A conversão do tráfego misto em um número equivalente de operações de um eixo considerado padrão é efetuada aplicando-se os chamados *Fatores de Equivalência de Cargas* (FC). Estes fatores permitem converter uma aplicação de um eixo solicitado por uma determinada carga em um número de aplicações do eixo-padrão que deverá produzir um efeito equivalente.

Os conceitos adotados nos diversos métodos para a definição da equivalência de cargas são os mais variados, e não dependem exclusivamente do eixo-padrão considerado. Assim, por exemplo, o Método de Projeto do DNIT e o TECNAPAV (PRO 269/94) adotam um eixo-padrão de 8,2t, sendo os fatores de equivalência de carga aqueles desenvolvidos pelo Corpo de Engenheiros do Exército Norte-americano. Já na PRO 159/85, o eixo-padrão também é o de 8,2t, porém os fatores de equivalência considerados são os da AASHTO.

As cargas dos veículos causam deflexões nas camadas do pavimento e alteram o estado de tensões e deformações. Cada carga provoca um efeito destrutivo e reduz a vida remanescente do pavimento.

Diferentes configurações de eixos e cargas produzem deflexões diferenciadas, que reduzem a vida remanescente do pavimento de diversas maneiras. Os fatores de

equivalência de carga por eixo são utilizados para fazer conversões das várias possibilidades de carga por eixo em números de eixo-padrão.

Os trechos experimentais da AASHTO e do USACE (Corpo de Engenheiros do Exército Norte-americano), forneceram subsídios para o desenvolvimento de fatores de equivalência de carga por eixo. As várias seções de pavimento foram submetidas ao carregamento de veículos com diferentes tipos de eixos e cargas. Foram avaliados os efeitos do carregamento na perda de serventia para diversas concepções de pavimento.

Os fatores de equivalência da AASHTO baseiam-se na perda de serventia (PSI) e variam com o tipo do pavimento (flexível e rígido), índice de serventia terminal e resistência do pavimento (número estrutural – SN). Eles são diferentes dos obtidos pelo USACE, que avaliaram os efeitos do carregamento na deformação permanente (afundamento nas trilhas de roda). As expressões para cálculo dos fatores de equivalência de carga são apresentadas nas Tabelas 41 e 42.

Tabela 41 - Fatores de equivalência de carga da AASHTO

Tipos de eixo	Equações (P em tf)
Simple de rodagem simples	$FC = (P / 7,77)^{4,32}$
Simple de rodagem dupla	$FC = (P / 8,17)^{4,32}$
Tandem duplo (rodagem dupla)	$FC = (P / 15,08)^{4,14}$
Tandem triplo (rodagem dupla)	$FC = (P / 22,95)^{4,22}$

P = Peso bruto total sobre o eixo

Tabela 42 - Fatores de equivalência de carga do USACE

Tipos de eixo	Faixas de Cargas (t)	Equações (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0 – 8	$FC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	≥ 8	$FC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Tandem duplo	0 – 11	$FC = 1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$
	≥ 11	$FC = 1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$
Tandem triplo	0 – 18	$FC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	≥ 18	$FC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$

P = peso bruto total sobre o eixo

Os valores “P” são determinados por pesagens de eixos em balanças fixas ou móveis, em campanhas específicas ou de forma rotineira pelos órgãos rodoviários. De forma aproximada podem ser obtidos como resultado de entrevistas de Origem e Destino, em que são anotados os pesos das cargas transportadas e as taras dos veículos. Pela distribuição dos pesos totais pelos eixos do veículo são então obtidas as cargas por eixo.

9.5 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

A partir do conhecimento dos volumes de tráfego, da classificação da frota e das cargas atuantes por eixo, deve-se definir o parâmetro de tráfego correspondente ao período de análise considerado.

Deve-se levar em conta que cada método de dimensionamento de pavimento tem uma concepção específica, e que o parâmetro de tráfego calculado deve ser compatível com a formulação do método.

O número "N", necessário ao dimensionamento do pavimento flexível de uma rodovia, é definido pelo número de repetições de um eixo-padrão de 8,2 t (18.000 lb ou 80 kN), durante o período de vida útil do projeto, que teria o mesmo efeito que o tráfego previsto sobre a estrutura do pavimento.

Na determinação do número N são considerados fatores relacionados à composição do tráfego referentes a cada categoria de veículo, aos pesos das cargas transportadas e sua distribuição nos diversos tipos de eixos dos veículos. Seus valores anuais e acumulados durante o período de projeto são calculados com base nas projeções do tráfego, sendo necessário para isso o conhecimento qualitativo e quantitativo da sua composição presente e futura. Esse conhecimento é obtido por meio das pesagens, pesquisas de origem e destino, contagens volumétricas classificatórias e pesquisas de tendências da frota regional ou nacional.

No caso de pavimentos flexíveis, considerando o conceito do fator de equivalência, o número de operações do eixo-padrão (N) é calculado pela seguinte fórmula:

$$N = \sum_{a=1}^{a=p} N_a$$

onde:

N = Número equivalente de aplicações do Eixo Padrão, durante o período de projeto

a = ano no período de projeto

p = número de anos do período de projeto

N_a = Número equivalente de aplicações do Eixo Padrão, durante o ano a

em que:

$$N_a = \sum_{i=1}^{i=k} V_{ia} \cdot FV_i \cdot 365 \cdot c$$

onde:

i = categoria do veículo, variando de 1 a k

V_{ia} = Volume de veículos da categoria i , durante o ano a do período de projeto

c = Percentual de veículos comerciais na faixa de projeto, conforme Quadro 12.5.1/1

FV_i = Fator de veículo da categoria i

em que:

$$FV_i = \sum_{j=1}^{j=m} FC_j$$

onde:

j = tipo de eixo, variando de 1 a m

m = número de eixos do veículo i

FC_j = fator de equivalência de carga correspondente ao eixo j do veículo i .

O tráfego considerado para efeito de projeto é o da faixa mais solicitada da rodovia. Na falta de dados mais precisos, na Tabela 43 são fornecidas indicações quanto às percentagens “ c ” de veículos comerciais (em relação ao tráfego comercial nos dois sentidos) na faixa de trânsito selecionada para o projeto. Desprezam-se os carros de passeio e os utilitários, por terem fatores de veículo muito baixos.

Tabela 43 - Percentuais de veículos comerciais na faixa de projeto

Número de faixas de Tráfego da rodovia	Percentual de veículos comerciais na faixa de projeto (c)
2 (pista simples)	50 %
4 (pista dupla)	35 a 48 %
6 ou mais (pista dupla)	25 a 48 %

Normalmente calcula-se o volume de tráfego de cada categoria de veículo, ano a ano, para todo o período de projeto, utilizando as taxas de crescimento correspondentes.

Prepara-se uma tabela com esses valores. Cada linha conterà os volumes médios diários de tráfego V_{ia} , de cada categoria de veículo comercial, correspondentes a um ano, para todo o período de projeto.

Em seguida determinam-se os fatores de veículo FV_i para cada categoria, e os números N_a para cada ano.

Acumulam-se então, ano a ano, os valores calculados de N_a .

O número “ N ” correspondente ao período de p anos do projeto será o valor acumulado desde o ano inicial até o ano final.

Exemplo de Aplicação

Deseja-se determinar os números “N” para as hipóteses de Pista Simples e de Pista Dupla, pelos métodos do USACE e da AASHTO, para um trecho de projeto com as seguintes características:

- Período de projeto: 2001 a 2020
- Os resultados de uma pesagem de eixos feita no trecho em 2001, por tipo de veículo comercial são apresentados na Tabela 44, que contém também as cargas médias por eixo, por veículo.

Tabela 44 - Dados de pesagens do trecho

	CARGAS POR EIXO (t)															
	Ônibus				Veículos de Carga											
	2C		3C		2C		3C		4C		2S3			3S3		
Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz.ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ESRD	Eixo Traz.ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ETD	Eixo Traz.ETT	
	CARGAS POR EIXO															
Pesagem 1	2,1	3,3	2,4	5,3	3,0	6,2	3,2	8,4	3,9	19,1	3,7	6,5	18,3	4,9	13,7	18,4
Pesagem 2	2,5	3,5	2,7	5,7	3,3	6,1	3,5	8,7	4,4	19,4	4,2	7,4	19,7	4,9	14,0	19,9
Pesagem 3	3,4	4,5	3,3	5,8	3,3	5,9	3,8	8,3	3,8	18,7	3,3	6,8	18,5	4,3	13,2	18,1
Pesagem 4	3,7	4,8	3,8	6,1	4,2	7,3	4,4	9,8	5,3	20,1	5,6	8,4	20,2	5,9	14,8	19,9
Pesagem 5	4,2	5,4	4,1	9,2	4,7	7,4	4,9	9,7	5,6	20,8	5,1	7,9	19,5	4,9	14,1	19,7
Pesagem 6	4,8	5,7	4,9	10,0	5,4	8,8	5,9	10,2	5,9	20,7	6,0	9,1	21,3	4,4	13,7	20,3
Pesagem 7	4,1	5,8	3,9	8,7	4,3	7,1	4,0	9,3	4,9	19,7	4,9	7,7	19,4	4,9	14,1	19,7
Pesagem 8	3,5	4,8	3,3	8,2	4,1	7,4	4,6	9,3	5,1	20,3	5,7	8,5	20,9	5,8	14,5	20,2
Pesagem 9	2,8	3,9	2,7	7,9	3,5	7,7	3,2	8,4	4,6	19,9	5,2	8,0	21,0	5,6	14,7	20,5
Pesagem 10	2,2	4,5	2,1	7,7	2,8	5,6	2,7	7,6	4,7	19,6	5,6	8,9	20,4	5,9	15,0	20,8
Carga Média	3,33	4,62	3,32	7,46	3,86	6,95	4,02	8,97	4,82	19,83	4,93	7,92	19,92	5,15	14,18	19,75

a) Fatores de Equivalência e de Veículos

Os Fatores de Equivalência de Cargas da USACE foram calculados para cada eixo, para as cargas correspondentes e suas médias, utilizando as fórmulas apresentadas na Tabela 42.

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 45.

Nesse quadro são apresentados os fatores de equivalência (FEC USACE) por eixo, para cada pesagem, as médias obtidas (FEC Médio), os fatores de equivalência das cargas médias de cada eixo (FEC da Carga Média), os fatores de veículos obtidos somando para cada veículo os valores FEC Médio de seus eixos (FV Médio), e os fatores de veículos somando para cada veículo os valores FEC da Carga Média de seus eixos (FV da Carga Média).

b) Taxas de Crescimento

São apresentadas na Tabela 46 as taxas de crescimento exponencial do tráfego, determinadas separadamente para ônibus e veículos de carga.

Tabela 45 - Fatores de equivalência e fatores de veículo

CARGAS POR EIXO (t)													
Ônibus				Veículos de carga				3S3					
2C		3C		2C		3C		4C		2S3		3S3	
Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ETD
2,1	3,3	2,4	5,3	3,0	6,2	3,2	8,4	3,9	19,1	3,7	6,5	4,9	13,7
2,5	3,5	2,7	5,7	3,3	6,1	3,5	8,7	4,4	19,4	4,2	7,4	4,9	14,0
3,4	4,5	3,3	5,8	3,3	5,9	3,8	8,3	3,8	18,7	3,3	6,8	4,3	13,2
3,7	4,8	3,8	6,1	4,2	7,3	4,4	9,8	5,3	20,1	5,6	8,4	5,9	14,8
4,2	5,4	4,1	9,2	4,7	7,4	4,9	9,7	5,6	20,8	5,1	7,9	4,9	14,1
4,8	5,7	4,9	10,0	5,4	8,8	5,9	10,2	5,9	20,7	6,0	9,1	4,4	13,7
4,1	5,8	3,9	8,7	4,3	7,1	4,0	9,3	4,9	19,7	4,7	7,7	4,9	14,1
3,5	4,8	3,3	8,2	4,1	7,4	4,6	9,3	5,1	20,3	5,7	8,5	5,8	14,5
2,8	3,9	2,7	7,9	3,5	7,7	3,2	8,4	4,6	19,9	5,2	8,0	5,6	14,7
2,2	4,5	2,1	7,7	2,8	5,6	2,7	7,6	4,7	19,6	5,6	8,9	5,9	15,0
3,33	4,62	3,32	7,46	3,88	6,95	4,02	8,97	4,82	19,83	4,93	7,92	5,15	14,18
CARGAS POR EIXO													
FEC USACE													
FEC 1	0,004	0,025	0,007	0,052	0,017	0,317	0,022	0,258	0,049	1,855	0,040	0,383	1,461
FEC 2	0,008	0,032	0,011	0,067	0,025	0,297	0,032	0,291	0,080	2,023	0,066	0,645	2,204
FEC 3	0,028	0,087	0,025	0,071	0,025	0,260	0,044	0,247	0,044	1,648	0,025	0,460	1,552
FEC 4	0,040	0,113	0,044	0,085	0,066	0,611	0,080	0,440	0,169	2,466	0,211	1,105	2,535
FEC 5	0,066	0,182	0,060	0,353	0,104	0,645	0,123	0,425	0,211	2,984	0,145	0,839	2,082
FEC 6	0,113	0,226	0,123	0,472	0,182	1,479	0,260	0,506	0,260	2,905	0,278	1,824	3,407
FEC 7	0,060	0,243	0,049	0,291	0,075	0,547	0,055	0,367	0,123	2,204	0,123	0,757	2,023
FEC 8	0,032	0,113	0,025	0,237	0,060	0,645	0,096	0,367	0,145	2,606	0,226	1,190	3,065
FEC 9	0,013	0,049	0,011	0,208	0,032	0,757	0,022	0,258	0,036	2,332	0,156	0,815	3,148
FEC 10	0,005	0,087	0,004	0,190	0,013	0,211	0,011	0,182	0,104	2,142	0,211	1,587	2,678
FEC Médio	0,0370	0,1159	0,0361	0,2027	0,0600	0,5769	0,0745	0,3340	0,1280	2,3166	0,1481	0,9606	2,4156
FEC da Carga Média	0,026	0,097	0,026	0,190	0,047	0,502	0,056	0,324	0,115	2,286	0,126	0,850	2,345
FV Médio	0,1529		0,2388		0,6369		0,4084		2,4446		3,5243		8,7178
FV da Carga Média	0,1232		0,2163		0,5488		0,3792		2,4017		3,3207		5,5476

Fatores de Equivalência de Cargas da USACE		
Tipo de Eixo	Faixa de Cargas	FEC
Tandem Simples e Trazeiro Simples	0 - 8	33,314
ESRS_ESRD	>= 8	232,093
Tandem Duplo	0 - 11	5,014
ETD	>= 11	19,454
Tandem Triplo	0 - 18	1,785
ETT	>= 18	2,235

P = Peso bruto total em toneladas

Fatores de Equivalência de Cargas de AASHTO		
Tipo de Eixo	FC	FEC
Simplex de Rodagem Simples	56,264	
Simplex de Rodagem Dupla	45,295	
Tandem Duplo (Rodagem Dupla)	3,055	
Tandem Triplo (Rodagem Dupla)	0,531	

P = Peso bruto total em toneladas

Fatores de Equivalência de Cargas da USACE			
Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ETD	Eixo Traz. ETT	FEC
carga	carga	carga	carga
0,123	2,618	18,4	1,506
4,9	2,948	19,9	2,332
4,3	0,073	13,2	2,135
5,9	0,260	14,8	3,998
4,9	0,123	14,1	3,065
4,4	0,080	13,7	2,618
4,9	0,123	14,1	3,065
5,8	0,243	14,5	3,573
5,6	0,211	14,7	3,852
5,9	0,260	15,0	4,303
14,1800	3,2174	19,75	2,2829
Carga Média	0,150	14,18	3,162

Tabela 46 - Taxas de crescimento do tráfego

Período	Ônibus	Veículos de Carga
2001-2010	2,6	3,0
2010-2020	2,0	2,5

c) Fatores de Veículos Médios por Classe de Veículo

Em seguida são calculadas as médias ponderadas dos fatores de veículo para ônibus e veículos de carga separadamente, tomando como pesos os VMD dos diversos tipos de veículos, já que essas categorias têm taxas de crescimento diferentes. Observe que foram utilizados os FV Médios, que são sempre maiores que os FV da Carga Média. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 47.

Tabela 47 - Fatores de veículos médios por classe de veículo

	CARGAS POR EIXO (T)														
	Ônibus				Veículos de Carga										
	2C		3C		2C		3C		4C		2S3			3S3	
Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz.ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ESRD	Eixo Traz.ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ETD	Eixo Traz.ETT
USACE - FV Médio	0,1529		0,2388		0,6369		0,4084		2,4446		3,5243				8,7178
VMD 2001	464		98		1415		1568		123		1383				252
FV Médio/Classe Veic.		0,1679								1,8801					
VMD 2001		562								4741					

d) Número “N”

Na Tabela 48 são apresentados a fórmula e os parâmetros necessários aos cálculos do número “N” para o período de projeto, para o método do USACE. Foram calculados os números “N” para o período de 20 anos, para os casos de pista simples e de pista dupla separadamente. Os percentuais de veículos comerciais na faixa de projeto (c) estão de acordo com as recomendações da Tabela 43.

- Na primeira coluna são apresentados os anos do período de projeto, de 2001 a 2020.
- Na 2ª linha da 2ª coluna é apresentado o Fator de Veículo médio de ônibus pelo método USACE.
- Na 2ª linha da 3ª coluna é apresentado o Fator de Veículo médio de veículos de carga pelo método USACE.
- Na 4ª e 5ª colunas são apresentados os valores do número N calculado ano a ano para as hipóteses de pista simples e de pista dupla. Na primeira linha dessas duas colunas é apresentada a fórmula utilizada nos cálculos. Observe que os valores c do percentual que utiliza a faixa mais carregada da rodovia são indicados abaixo de “Percentual da Faixa de Projeto c”.
- Nas 6ª e 7ª colunas são apresentados os valores acumulados do Número N desde 2001 até o ano indicado em cada linha, para as hipóteses de pista simples e de pista dupla.

Tabela 48 - Determinação do número N (Método USACE)

FV – USACE	Ônibus FVO	Veículo de Carga FVC	Número N anual Na = 365.c.(VMDaO.FVO+VMDaC.FVC)		Número N Acumulado Nacum.	
			Pista Simples	Pista Dupla	Pista Simples	Pista Dupla
VMDa	VMDaO	VMDaC	Percentual na Faixa de Projeto C			
			50	35	50	35
Ano	Ônibus	Veículo de Carga	Na	Na	Nacum.	Nacum.
2001	562	4741	1,6E+06	1,2E+06	1,6E+06	1,2E+06
2002	577	4883	1,7E+0,6	1,2E+06	3,3E+06	2,3E+06
2003	592	5030	1,7E+0,6	1,2E+06	5,1E+06	3,6E+06
2004	607	5181	1,8E+0,6	1,3E+06	6,9E+06	4,8E+06
2005	623	5336	1,8E+0,6	1,3E+06	8,7E+06	6,1E+06
2006	639	5496	1,9E+0,6	1,3E+06	1,1E+06	7,4E+06
2007	656	5661	2,0E+0,6	1,4E+06	1,3E+06	8,8E+06
2008	673	5831	2,0E+0,6	1,4E+06	1,5E+06	1,0E+06
2009	690	6006	2,1E+0,6	1,5E+06	1,7E+06	1,2E+06
2010	708	6186	2,1E+0,6	1,5E+06	1,9E+06	1,3E+06
2011	722	6341	2,2E+0,6	1,5E+06	2,1E+06	1,5E+06
2012	737	6499	2,3E+0,6	1,6E+06	2,3E+06	1,6E+06
2013	751	6662	2,3E+0,6	1,6E+06	2,6E+06	1,8E+06
2014	766	6828	2,4E+0,6	1,7E+06	2,8E+06	2,0E+06
2015	782	6999	2,4E+0,6	1,7E+06	3,0E+06	2,1E+06
2016	797	7174	2,5E+0,6	1,7E+06	3,3E+06	2,3E+06
2017	813	7353	2,5E+0,6	1,8E+06	3,5E+06	2,5E+06
2018	830	7537	2,6E+0,6	1,8E+06	3,8E+06	2,7E+06
2019	846	7725	2,7E+0,6	1,9E+06	4,1E+06	2,8E+06
2020	863	7919	2,7E+0,6	1,9E+06	4,3E+06	3,0E+06

Para calcular o número “N” pelo método da AASHTO o processo é semelhante, usando os Fatores de Equivalência de Cargas correspondentes.

Para calcular os valores ESALF utilizados no HDM-4 o processo também é semelhante, até a Tabela 48 - Fatores de Veículos Médios por Classe de Veículo, que seria intitulado Valores ESALF Médios por Classe de Veículo.

9.6 PAVIMENTOS RÍGIDOS

No caso de pavimentos rígidos, há necessidade de conhecer, para o período de projeto de p anos, os números de repetições (n_j) dos diferentes eixos, agrupados em intervalos de carga.

O dimensionamento de pavimentos rígidos necessita das seguintes informações relativas ao tráfego:

- Volumes de tráfego, classificados por tipo de veículo, ano a ano, para o período de projeto;
- Percentual do tráfego que trafega na faixa de maior solicitação por veículos pesados (faixa de projeto) e sua classificação por tipo de veículo.
- Excluídos os carros de passeio e veículos utilitários, carga por tipo de eixo dos veículos, por intervalo de carga. Essa determinação é feita por uma pesquisa de cargas por eixo, feita como apresentado a seguir.

Determinação das Cargas por Tipo de Eixo por Intervalo de Carga

1 – Faz-se uma pesquisa de cargas por eixo dos veículos comerciais que trafegam na rodovia em questão.

2 – Para cada eixo de cada veículo considerado, determinam-se os números de eixos por intervalo de carga de 1 tonelada.

3 – Com base nas contagens feitas, determinam-se os volumes médios diários dos veículos comerciais na faixa de projeto, devidamente classificados por tipo, para o ano inicial do período de projeto.

4 – Utilizando os resultados dos itens 2 e 3 determinam-se os números de eixos de cada tipo, por tipo de veículo, por intervalo de uma tonelada, para o ano inicial do projeto.

5 – Determinam-se as taxas de crescimento dos veículos comerciais, a partir dos estudos econômicos efetuados. Normalmente são calculadas separadamente as taxas dos veículos de transporte coletivo e dos veículos de carga.

6 – Procede-se à projeção dos valores obtidos no item 4 (ano inicial) para cada ano do período de projeto.

7 – Efetua-se o processo de acumulação ano a ano, a partir do primeiro ano do projeto, para todo o período de estudo.

Para melhor esclarecimento da execução das etapas descritas, é apresentado a seguir um exemplo numérico.

Exemplo de Aplicação

Para uma rodovia em que se deseja projetar um pavimento rígido, faz-se uma pesquisa de cargas por eixo de veículo, efetuando n pesagens para cada tipo de veículo, conforme indicado na Tabela 49, para o caso de n = 10. No exemplo apresentado foram considerados os seguintes tipos de veículos: ônibus (2C, 3C), veículos de carga (2C, 3C, 4C, 2S3, 3S3). Os tipos de eixos considerados são: eixo simples de rodagem simples (ESRS), eixo simples de rodagem dupla (ESRD), eixo tandem duplo (ETD), eixo tandem triplo (ETT).

Tabela 49 - Dados de Pesagens no Trecho

	Onibus				Veículos de Carga											
	2C		3C		2C		3C		4C		2S3		3S3			
	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz.ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ESRD	Eixo Traz.ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ETD	Eixo Traz.ETT
CARGAS POR EIXO																
Pesagem 1	2,1	3,3	2,4	5,3	3,0	6,2	3,2	8,4	3,9	19,1	3,7	6,5	18,3	4,9	13,7	18,4
Pesagem 2	2,5	3,5	2,7	5,7	3,3	6,1	3,5	8,7	4,4	19,4	4,2	7,4	19,7	4,9	14,0	19,9
Pesagem 3	3,4	4,5	3,3	5,8	3,3	5,9	3,8	8,3	3,8	18,7	3,3	6,8	18,5	4,3	13,2	18,1
Pesagem 4	3,7	4,8	3,8	6,1	4,2	7,3	4,4	9,8	5,3	20,1	5,6	8,4	20,2	5,9	14,8	19,9
Pesagem 5	4,2	5,4	4,1	9,2	4,7	7,4	4,9	9,7	5,6	20,8	5,1	7,9	19,5	4,9	14,1	19,7
Pesagem 6	4,8	5,7	4,9	10,0	5,4	8,8	5,9	10,2	5,9	20,7	6,0	9,1	21,3	4,4	13,7	20,3
Pesagem 7	4,1	5,8	3,9	8,7	4,3	7,1	4,0	9,3	4,9	19,7	4,9	7,7	19,4	4,9	14,1	19,7
Pesagem 8	3,5	4,8	3,3	8,2	4,1	7,4	4,6	9,3	5,1	20,3	5,7	8,5	20,9	5,8	14,5	20,2
Pesagem 9	2,8	3,9	2,7	7,9	3,5	7,7	3,2	8,4	4,6	19,9	5,2	8,0	21,0	5,6	14,7	20,5
Pesagem 10	2,2	4,5	2,1	7,7	2,8	5,6	2,7	7,6	4,7	19,6	5,6	8,9	20,4	5,9	15,0	20,8

Foram contados apenas os veículos comerciais, por ser desprezível a influência dos carros de passeio e utilitários.

Em seguida, para cada eixo de cada veículo considerado, foram indicados os números de eixos por intervalo de carga de 1 tonelada, na Tabela 50.

Tabela 50 - Cargas por intervalo de 1 t

	Onibus				Veículos de Carga											
	2C		3C		2C		3C		4C		2S3		3S3			
	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz.ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ESRD	Eixo Traz.ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ETD	Eixo Traz.ETT
CARGAS POR EIXO																
Pesagem 1	2,1	3,3	2,4	5,3	3,0	6,2	3,2	8,4	3,9	19,1	3,7	6,5	18,3	4,9	13,7	18,4
Pesagem 2	2,5	3,5	2,7	5,7	3,3	6,1	3,5	8,7	4,4	19,4	4,2	7,4	19,7	4,9	14,0	19,9
Pesagem 3	3,4	4,5	3,3	5,8	3,3	5,9	3,8	8,3	3,8	18,7	3,3	6,8	18,5	4,3	13,2	18,1
Pesagem 4	3,7	4,8	3,8	6,1	4,2	7,3	4,4	9,8	5,3	20,1	5,6	8,4	20,2	5,9	14,8	19,9
Pesagem 5	4,2	5,4	4,1	9,2	4,7	7,4	4,9	9,7	5,6	20,8	5,1	7,9	19,5	4,9	14,1	19,7
Pesagem 6	4,8	5,7	4,9	10,0	5,4	8,8	5,9	10,2	5,9	20,7	6,0	9,1	21,3	4,4	13,7	20,3
Pesagem 7	4,1	5,8	3,9	8,7	4,3	7,1	4,0	9,3	4,9	19,7	4,9	7,7	19,4	4,9	14,1	19,7
Pesagem 8	3,5	4,8	3,3	8,2	4,1	7,4	4,6	9,3	5,1	20,3	5,7	8,5	20,9	5,8	14,5	20,2
Pesagem 9	2,8	3,9	2,7	7,9	3,5	7,7	3,2	8,4	4,6	19,9	5,2	8,0	21,0	5,6	14,7	20,5
Pesagem 10	2,2	4,5	2,1	7,7	2,8	5,6	2,7	7,6	4,7	19,6	5,6	8,9	20,4	5,9	15,0	20,8
INTERVALOS DE 1 t																
2<=X<3	4		4		1		1				2					
3<=X<4	4	3	4		4		4			2		2				
4<=X<5	2	4	2		4		4			4		2		6		
5<=X<6		3		3	1	2	1			4		5		4		
6<=X<7				1		2						1	2			
7<=X<8				2		5		1				3				
8<=X<9				2		1		4				4				
9<=X<10				1				4				1				
10<=X<11				1				1								
11<=X<12																
12<=X<13																
13<=X<14															3	
14<=X<15															6	
15<=X<16															1	
16<=X<17																
17<=X<18																
18<=X<19										1			2			2
19<=X<20										5			3			4
20<=X<21										4			3			4
21<=X<22													2			

Procedeu-se então à determinação dos números de eixos por intervalo de carga para o ano de 2001, da forma que é indicada na Tabela 51. Com base em contagens feitas foram apresentados os volumes médios diários para os veículos comerciais em 2001. Foram transformados em percentuais os resultados das pesagens feitas, preparando-se a

relação dos percentuais correspondentes a intervalos de 1 tonelada para os diferentes eixos dos veículos comerciais. Em seguida, aplicando esses percentuais aos volumes de veículos em 2001, foram calculados os números de eixos de cada tipo, para cada tipo de veículo, por intervalo de carga de 1 tonelada. Em seguida foram agrupados os resultados por tipo de eixo, separadamente para ônibus e veículos de carga.

Para cada tipo de veículo é colocado o VMD em 2001 na linha VMD 2001. Em seguida são colocados, para cada tipo de veículo, para cada eixo, os percentuais em 2001 correspondentes aos intervalos de carga de 1 t obtidos nas contagens feitas.

Para os ônibus de tipo 2C, o eixo dianteiro ESRS (eixo simples de rodagem simples) foi pesado 10 vezes, ocorrendo:

- contagens no intervalo de toneladas $2 \leq X < 3$, 40% do total de contagens,
- contagens no intervalo de toneladas $3 \leq X < 4$, 40% do total de contagens,
- contagens no intervalo de toneladas $4 \leq X < 5$, 20% do total de contagens,

Para o restante dos intervalos de carga tem-se 0 % de participação.

Tabela 51 - Cargas por intervalo de 1 t em 2001

VMD 2001	CARGAS POR EIXO (t)															
	Onibus				Veículos de Carga											
	2C		3C		2C		3C		4C		2S3			3S3		
Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz.ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ESRD	Eixo Traz.ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ETD	Eixo Traz.ETT	
	464		98		1415		1568		123		1383			252		
PERCENTUAIS CORRESPONDENTES AOS INTERVALOS DE 1 t PARA CADA EIXO DE CADA VEÍCULO																
2<=X<3	40,00%	0,00%	40,00%	0,00%	10,00%	0,00%	10,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
3<=X<4	40,00%	30,00%	40,00%	0,00%	40,00%	0,00%	40,00%	0,00%	20,00%	0,00%	20,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
4<=X<5	20,00%	40,00%	20,00%	0,00%	40,00%	0,00%	40,00%	0,00%	40,00%	0,00%	20,00%	0,00%	0,00%	60,00%	0,00%	0,00%
5<=X<6	0,00%	30,00%	0,00%	30,00%	10,00%	20,00%	10,00%	0,00%	40,00%	0,00%	50,00%	0,00%	0,00%	40,00%	0,00%	0,00%
6<=X<7	0,00%	0,00%	0,00%	10,00%	0,00%	20,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	10,00%	20,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
7<=X<8	0,00%	0,00%	0,00%	20,00%	0,00%	50,00%	0,00%	10,00%	0,00%	0,00%	30,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
8<=X<9	0,00%	0,00%	0,00%	20,00%	0,00%	10,00%	0,00%	40,00%	0,00%	0,00%	0,00%	40,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
9<=X<10	0,00%	0,00%	0,00%	10,00%	0,00%	0,00%	0,00%	40,00%	0,00%	0,00%	0,00%	10,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
10<=X<11	0,00%	0,00%	0,00%	10,00%	0,00%	0,00%	0,00%	10,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
11<=X<12	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
12<=X<13	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
13<=X<14	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	30,00%	0,00%
14<=X<15	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	60,00%	0,00%
15<=X<16	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	10,00%	0,00%
16<=X<17	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
17<=X<18	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
18<=X<19	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	10,00%	0,00%	0,00%	20,00%	0,00%	0,00%	20,00%
19<=X<20	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	50,00%	0,00%	0,00%	30,00%	0,00%	0,00%	40,00%
20<=X<21	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	40,00%	0,00%	0,00%	30,00%	0,00%	0,00%	40,00%
21<=X<22	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	20,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
NÚMEROS DE EIXOS POR INTERVALOS DE 1 t PARA VMD 2001																
2<=X<3	186	0	39	0	142	0	157	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3<=X<4	186	139	39	0	566	0	627	0	25	0	277	0	0	0	0	0
4<=X<5	93	186	20	0	566	0	627	0	49	0	277	0	0	151	0	0
5<=X<6	0	139	0	29	142	283	157	0	49	0	692	0	0	101	0	0
6<=X<7	0	0	0	10	0	283	0	0	0	0	138	277	0	0	0	0
7<=X<8	0	0	0	20	0	708	0	157	0	0	0	415	0	0	0	0
8<=X<9	0	0	0	20	0	142	0	627	0	0	0	553	0	0	0	0
9<=X<10	0	0	0	10	0	0	0	627	0	0	0	138	0	0	0	0
10<=X<11	0	0	0	10	0	0	0	157	0	0	0	0	0	0	0	0
11<=X<12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12<=X<13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13<=X<14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76	0
14<=X<15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	151	0
15<=X<16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0
16<=X<17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17<=X<18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18<=X<19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	277	0	0	50
19<=X<20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62	0	0	415	0	0	101
20<=X<21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49	0	0	415	0	0	101
21<=X<22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	277	0	0	0	0
INTERVALOS DE 1 t PARA VMD 2001 POR TIPO DE EIXO EM ÔNIBUS E VEÍCULOS DE CARGA																
Ônibus 2C,3C				Veículos de Carga 2C, 3C, 4C, 2S3, 3S3												
Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ESRD	Eixo Traz. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ESRD	Eixo Traz. ETD	Eixo Traz.ETT										
INTERVALOS DE 1 t PARA VMD 2001																
2<=X<3	225	0			298											
3<=X<4	225	139			1494											
4<=X<5	112	186	0		1670	0										
5<=X<6	0	139	29		1140	283										
6<=X<7		139	10	138	560	0										
7<=X<8			20	0	1122	157										
8<=X<9			20		695	627										
9<=X<10			10		138	627										
10<=X<11			10		0	157										
11<=X<12			0			0										
12<=X<13						0										
13<=X<14						76										
14<=X<15						151										
15<=X<16						25										
16<=X<17						0										
17<=X<18						0										
18<=X<19						339										
19<=X<20						577										
20<=X<21						565										
21<=X<22						277										

Os percentuais correspondentes a cada eixo de cada veículo são então colocados abaixo da linha Percentuais Correspondentes aos Intervalos de 1 t para cada Eixo de cada Veículo.

Multiplicando o VMD de cada veículo pelos percentuais correspondentes a cada eixo, nos intervalos de cargas, obtém-se os números de ocorrências correspondentes a cada eixo de cada veículo. Esses valores estão situados abaixo da linha Números de Eixos por Intervalos de 1 t para VMD 2001.

Em seguida somam-se os números referentes aos eixos de mesmo tipo de cada classe de veículo. Reduz-se o número de colunas ao número de eixos de tipos diferentes em cada classe de veículo. Para os Ônibus tem-se então 3 colunas, correspondentes aos eixos ESRS, ESRD, ETD e para os Veículos de Carga 4 colunas, correspondentes aos eixos ESRS, ESRD, ETD e ETT.

Abaixo da linha Intervalos de 1 t para VMD 2001 por Tipo de Eixo em Ônibus e Veículos de Carga colocam-se então:

- as somas dos números correspondentes a eixos semelhantes de Ônibus nos intervalos de carga
- as somas dos números correspondentes a eixos semelhantes de Veículos de Carga nos intervalos de carga

Passa-se então à determinação dos volumes de veículos nos anos seguintes.

Inicialmente determinam-se (geralmente a partir de estudos econômicos) as taxas de crescimentos dos veículos comerciais. Normalmente tem-se 2 grupos de taxas: para Ônibus, e para Veículos de Carga, conforme exemplificado na Tabela 52. No exemplo dado admitiu-se crescimento exponencial do tráfego.

Tabela 52 - Taxas de crescimento

Período	Ônibus	Veículos de Carga
2001-2010	2,6	3,0
2010-2020	2,0	2,5

Utilizando essas taxas procede-se à projeção dos valores VMD 2001 até 2020. Na Tabela 53 são indicados apenas os valores de 2001 a 2004.

Tabela 53 - Intervalos de 1t – VMD 2001 a VMD 2004

INTERVALOS DE 1 t - VMD 2001 A VMD 2004							
Ônibus 2C,3C			Veículos de Carga 2C, 3C, 4C, 2S3, 3S3				
Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ESRD	Eixo Traz. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Traz. ESRD	Eixo Traz. ETD	Eixo Traz.ETT	
VMD 2001							
2<=X<3	225	0		298			
3<=X<4	225	139		1494			
4<=X<5	112	186	0	1670	0		
5<=X<6	0	139	29	1140	283		
6<=X<7		139	10	138	560	0	
7<=X<8			20	0	1122	157	
8<=X<9			20		695	627	
9<=X<10			10		138	627	
10<=X<11			10		0	157	
11<=X<12			0			0	
12<=X<13						0	
13<=X<14						76	
14<=X<15						151	
15<=X<16						25	
16<=X<17						0	
17<=X<18							0
18<=X<19							339
19<=X<20							577
20<=X<21							565
21<=X<22							277
VMD 2002							
2<=X<3	231	0	0	307	0	0	0
3<=X<4	231	143	0	1539	0	0	0
4<=X<5	115	190	0	1720	0	0	0
5<=X<6	0	143	30	1174	291	0	0
6<=X<7	0	143	10	142	576	0	0
7<=X<8	0	0	20	0	1156	162	0
8<=X<9	0	0	20	0	716	646	0
9<=X<10	0	0	10	0	142	646	0
10<=X<11	0	0	10	0	0	162	0
11<=X<12	0	0	0	0	0	0	0
12<=X<13	0	0	0	0	0	0	0
13<=X<14	0	0	0	0	0	78	0
14<=X<15	0	0	0	0	0	156	0
15<=X<16	0	0	0	0	0	26	0
16<=X<17	0	0	0	0	0	0	0
17<=X<18	0	0	0	0	0	0	0
18<=X<19	0	0	0	0	0	0	349
19<=X<20	0	0	0	0	0	0	595
20<=X<21	0	0	0	0	0	0	582
21<=X<22	0	0	0	0	0	0	285
VMD 2003							
2<=X<3	237	0	0	316	0	0	0
3<=X<4	237	147	0	1585	0	0	0
4<=X<5	118	195	0	1772	0	0	0
5<=X<6	0	147	31	1209	300	0	0
6<=X<7	0	147	10	147	594	0	0
7<=X<8	0	0	21	0	1191	166	0
8<=X<9	0	0	21	0	737	665	0
9<=X<10	0	0	10	0	147	665	0
10<=X<11	0	0	10	0	0	166	0
11<=X<12	0	0	0	0	0	0	0
12<=X<13	0	0	0	0	0	0	0
13<=X<14	0	0	0	0	0	80	0
14<=X<15	0	0	0	0	0	160	0
15<=X<16	0	0	0	0	0	27	0
16<=X<17	0	0	0	0	0	0	0
17<=X<18	0	0	0	0	0	0	0
18<=X<19	0	0	0	0	0	0	360
19<=X<20	0	0	0	0	0	0	612
20<=X<21	0	0	0	0	0	0	599
21<=X<22	0	0	0	0	0	0	293
VMD 2004							
2<=X<3	243	0	0	326	0	0	0
3<=X<4	243	150	0	1633	0	0	0
4<=X<5	121	200	0	1825	0	0	0
5<=X<6	0	150	32	1245	309	0	0
6<=X<7	0	150	11	151	611	0	0
7<=X<8	0	0	21	0	1226	171	0
8<=X<9	0	0	21	0	759	685	0
9<=X<10	0	0	11	0	151	685	0
10<=X<11	0	0	11	0	0	171	0
11<=X<12	0	0	0	0	0	0	0
12<=X<13	0	0	0	0	0	0	0
13<=X<14	0	0	0	0	0	83	0
14<=X<15	0	0	0	0	0	165	0
15<=X<16	0	0	0	0	0	28	0
16<=X<17	0	0	0	0	0	0	0
17<=X<18	0	0	0	0	0	0	0
18<=X<19	0	0	0	0	0	0	371
19<=X<20	0	0	0	0	0	0	631
20<=X<21	0	0	0	0	0	0	617
21<=X<22	0	0	0	0	0	0	302

Em seguida são determinados os valores acumulados ano a ano a partir de 2001, até 2020, na Tabela 55.

Como no caso anterior são indicados apenas os valores de 2001 a 2004.

Finalmente são calculados os intervalos de carga de 1 tonelada por tipos de eixos, sem separação dos tipos de veículos. Os resultados totais do exemplo feito constam do arquivo PavRígidosCargasEx.xls.

9.7 EFEITOS DAS CARGAS POR EIXO NO MODELO HDM

O modelo HDM, desenvolvido pelo Banco Mundial (BIRD), em uma das suas versões HDM-III, HDM-Manager, HDM-4, vem sendo freqüentemente utilizado pelo DNIT e outros órgãos rodoviários para avaliação econômica de rodovias. Para determinar o efeito de um veículo na rodovia é definido o número ESALF.

ESALF (*Equivalent Standard Axle Load Factor*): número de repetições de um eixo simples com rodagem dupla de 8,2 t (18.000 lb ou 80 kN), que causaria os mesmos danos que o veículo considerado.

Para cada tipo de veículo ESALF é calculado de forma semelhante ao Fator de Veículo FVi, somando os efeitos de seus eixos, de acordo com as fórmulas da Tabela 54.

Tabela 54 - Valores de ESALF para diferentes eixos

Valores de ESALF para diferentes eixos	
Simplex Rodagem Simplex	$ESALF = (P/6,6)^4$
Simplex Rodagem Dupla	$ESALF = (P/8,16)^4$
Tandem Duplo Rodagem Dupla	$ESALF = 2(P/7,55)^4$
Tandem Triplo Rodagem Dupla	$ESALF = 3(P/7,63)^4$
P = Peso por eixo em toneladas Peso Total do Conjunto Tandem, dividido por 2 para Tandem Duplo e por 3 para Tandem Triplo	

No modelo HDM-4 o valor ESALF é colocado em local próprio para cada tipo de veículo. O modelo fará os cálculos necessários, utilizando esses valores, para determinação de seus efeitos na rodovia.

Tabela 55 - Valores acumulados – VMD 2001 a 2004

INTERVALOS DE 1 t - VMD 2001 A VMD 2004 ACUMULADOS							INTERVALOS DE CARGA DE 1 t POR TIPOS DE EIXOS VMD 2001 A 2004 ACUMULADOS			
Onibus 2C,3C			Veículos de Carga 2C, 3C, 4C, 2S3, 3S3				Eixo Dianteiro ESRs	Eixo Trazeiro ESRD	Eixo Trazeiro ETD	Eixo Trazeiro ETT
Eixo Diant. ESRs	Eixo Traz. ESRD	Eixo Traz. ETD	Eixo Diant. ESRs	Eixo Traz. ESRD	Eixo Traz. ETD					
VMD 2001							VMD 2001			
2<=X<3	225	0		298			523	0	0	0
3<=X<4	225	139		1494			1719	139	0	0
4<=X<5	112	186	0	1670	0		1783	186	0	0
5<=X<6	0	139	29	1140	283		1140	422	29	0
6<=X<7		139	10	138	560	0	138	699	10	0
7<=X<8			20	0	1122	157	0	1122	176	0
8<=X<9			20		695	627	0	695	647	0
9<=X<10			10		138	627	0	138	637	0
10<=X<11			10		0	157	0	0	167	0
11<=X<12			0			0	0	0	0	0
12<=X<13						0	0	0	0	0
13<=X<14						76	0	0	76	0
14<=X<15						151	0	0	151	0
15<=X<16						25	0	0	25	0
16<=X<17						0	0	0	0	0
17<=X<18							0	0	0	0
18<=X<19							0	0	0	339
19<=X<20							0	0	0	577
20<=X<21							0	0	0	565
21<=X<22							0	0	0	277
VMD 2002							VMD 2002			
2<=X<3	455	0	0	606	0	0	1061	0	0	0
3<=X<4	455	282	0	3034	0	0	3489	282	0	0
4<=X<5	228	376	0	3391	0	0	3618	376	0	0
5<=X<6	0	282	60	2314	574	0	2314	857	60	0
6<=X<7	0	282	20	281	1136	0	281	1418	20	0
7<=X<8	0	0	40	0	2278	318	0	0	2278	358
8<=X<9	0	0	40	0	1410	1273	0	0	1410	1313
9<=X<10	0	0	20	0	281	1273	0	0	281	1293
10<=X<11	0	0	20	0	0	318	0	0	0	338
11<=X<12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12<=X<13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13<=X<14	0	0	0	0	0	153	0	0	0	153
14<=X<15	0	0	0	0	0	307	0	0	0	307
15<=X<16	0	0	0	0	0	51	0	0	0	51
16<=X<17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17<=X<18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18<=X<19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	689
19<=X<20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1172
20<=X<21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1147
21<=X<22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	561
VMD 2003							VMD 2003			
2<=X<3	692	0	0	922	0	0	1614	0	0	0
3<=X<4	692	429	0	4619	0	0	5311	429	0	0
4<=X<5	346	571	0	5162	0	0	5508	571	0	0
5<=X<6	0	429	91	3523	875	0	3523	1303	91	0
6<=X<7	0	429	30	427	1730	0	427	2158	30	0
7<=X<8	0	0	60	0	3469	485	0	0	3469	545
8<=X<9	0	0	60	0	2147	1939	0	0	2147	1999
9<=X<10	0	0	30	0	427	1939	0	0	427	1969
10<=X<11	0	0	30	0	0	485	0	0	0	515
11<=X<12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12<=X<13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13<=X<14	0	0	0	0	0	234	0	0	0	234
14<=X<15	0	0	0	0	0	467	0	0	0	467
15<=X<16	0	0	0	0	0	78	0	0	0	78
16<=X<17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17<=X<18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18<=X<19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1049
19<=X<20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1784
20<=X<21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1746
21<=X<22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	855
VMD 2004							VMD 2004			
2<=X<3	935	0	0	1248	0	0	2183	0	0	0
3<=X<4	935	579	0	6252	0	0	7187	579	0	0
4<=X<5	467	772	0	6987	0	0	7455	772	0	0
5<=X<6	0	579	122	4768	1184	0	4768	1763	122	0
6<=X<7	0	579	41	579	2341	0	579	2920	41	0
7<=X<8	0	0	82	0	4696	656	0	0	4696	738
8<=X<9	0	0	82	0	2906	2624	0	0	2906	2705
9<=X<10	0	0	41	0	579	2624	0	0	579	2665
10<=X<11	0	0	41	0	0	656	0	0	0	697
11<=X<12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12<=X<13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13<=X<14	0	0	0	0	0	316	0	0	0	316
14<=X<15	0	0	0	0	0	633	0	0	0	633
15<=X<16	0	0	0	0	0	105	0	0	0	105
16<=X<17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17<=X<18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18<=X<19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1420
19<=X<20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2415
20<=X<21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2363
21<=X<22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1157

9.8 VALORES MÁXIMOS DE FATORES DE VEÍCULOS E ESALF

Aplicando os limites de pesos máximos admitidos legalmente por eixo e por veículo no País, sem considerar as margens de tolerância admitidas, foram calculados os valores limites dos fatores de veículos pelos métodos da USACE e da AASHTO e valores de ESALF constantes do Quadro 9.8/1 que se segue, que inclui os tipos de veículos mais comuns.

Tabela 56 - Fatores de veículos (Carregamentos máximos)

Tipo	Veículo	Composição	FV USACE	FV AASHTO	ESALF	PESO TOTAL
2C	Caminhão médio	ESRS-6 + ESRD-10	3,567	2,722	2,938	16,0
3C	Caminhão Pesado	ESRS-6 + ETD-17	8,827	1,970	3,896	23,0
4C	Caminhão Pesado	ESRS-6 + ETT-25,5	9,578	1,887	5,304	31,5
2S1	Semi-reboque	ESRS-6 + 2ESRD-10	6,857	5,116	5,194	26,0
2S2	Semi-reboque	ESRS-6 + ESRD-10 + ETD-17	12,116	4,364	6,152	33,0
2S3	Semi-reboque	ESRS-6 + ESRD-10 + ETT-25,5	12,867	4,282	7,559	41,5
3S2	Semi-reboque	ESRS-6 + 2ETD-17	17,376	3,612	7,109	40,0
3S3	Semi-reboque	ESRS-6 + ETD-17 + ETT-22	12,908	2,806	6,456	45,0
2C2	Reboque	ESRS-6 + 3ESRD-10	10,146	7,511	7,449	36,0
2C3	Reboque	ESRS-6 + 2ESRD-10 + ETD-17	15,406	6,759	8,407	43,0
3C2	Reboque	ESRS-6 + ETD-17 + 2ESRD-10	15,406	6,759	8,407	43,0
3C3	Reboque	ESRS-6 + 2ETD-14,5 + ESRD-10	10,714	4,422	6,340	45,0

ESRS-6 – Eixo Simples com Rodagem Simples com Peso de 6 toneladas
 ESRD-10 – Eixo Simples com Rodagem Dupla com Peso de 10 toneladas
 ETD-17 – Eixo Tandem Duplo com Peso de 17 toneladas
 ETT-25,5 – Eixo Tandem Triplo com peso de 25,5 toneladas

10 - CAPACIDADE E NÍVEIS DE SERVIÇO

10 CAPACIDADE E NÍVEIS DE SERVIÇO

O objetivo da determinação da *Capacidade* de uma via é quantificar o seu grau de suficiência para acomodar os volumes de trânsito existentes e previstos, permitindo a análise técnica e econômica de medidas que asseguram o escoamento daqueles volumes em condições aceitáveis. Ela é expressa pelo número máximo de veículos que pode passar por uma determinada faixa de tráfego ou trecho de uma via durante um período de tempo estipulado e sob as condições existentes da via e do trânsito.

Embora sendo um dado básico, a capacidade por si só não traduz plenamente as condições de utilização da via pelos usuários, pois ela se refere tão somente ao número de veículos que pode circular e ao intervalo de tempo dessa circulação. Outros fatores de utilização, tais como: velocidade e tempo de percurso, facilidade de manobras, segurança, conforto, custos de operação etc. não são considerados na determinação da capacidade. No sentido de melhor traduzir a utilização da via pelo usuário, qualificando-a além de quantificá-la foi criado o conceito de Nível de Serviço. Esse conceito, introduzido através do *Highway Capacity Manual* – HCM em sua edição de 1965, possibilita a avaliação do grau de eficiência do serviço oferecido pela via desde um volume de trânsito quase nulo até o volume máximo ou capacidade da via. De acordo com o referido Manual, foram selecionados 6 (seis) níveis designados pelas seis primeiras letras do alfabeto. O nível A corresponde à melhor condição de operação e no outro extremo o nível F corresponde à condição de congestionamento completo. Entre estes dois extremos, situam-se os demais níveis. A Figura 59 ilustra os graus de liberdade dos veículos para os seis níveis de serviço considerados.

Antes da descrição dos procedimentos constantes do *Highway Capacity Manual* para o cálculo da capacidade e níveis de serviço das rodovias, algumas considerações sobre sua aplicação devem ser feitas. Embora os parâmetros do HCM venham sendo integralmente adotados, já é sentida a necessidade de pesquisas para a verificação da validade de sua aplicação às nossas rodovias. Isso decorre não só dos resultados até aqui obtidos como também da observação dos seguintes fatos: os motoristas não conduzem seus veículos de igual modo em todos os países, nem seu comportamento e grau de obediência às regras de trânsito têm uniformidade geográfica; o tamanho e demais características dos veículos, assim como a composição do trânsito, podem ser diferentes; o conceito de congestionamento é muito variável e principalmente a sua “tolerância” deve ser estabelecida em função dos recursos econômicos e financeiros disponíveis em cada país. É possível que em função de pesquisas sejam estabelecidos, tal como já ocorreu em outros países, certos coeficientes de ajustamento a serem aplicados aos valores recomendados pelo HCM, a fim de adaptá-los às condições locais.

É preciso, no entanto, observar que a capacidade das vias depende de fatores tão complexos, que é praticamente impossível o seu cálculo com precisão, sendo satisfatória a sua estimativa com valores aproximados. Por esta razão, as variações decorrentes das diferenças de condições daquelas supostas no HCM devem ser bastante significativas,

para que sua influência na capacidade e nos níveis de serviço sejam superiores ao “erro” normal do valor estimado.

Com relação à metodologia, que será a seguir exposta, extraída do HCM 2000, deve-se ressaltar que os valores obtidos por seu intermédio são bem mais exatos para qualquer condição do que aqueles que poderiam ser estimados antes da publicação dos referidos métodos pelo HCM. Desta forma, eles devem ser encarados como básicos para a preparação de métodos particulares locais, e sempre serão úteis para obtenção de valores da capacidade, enquanto não se dispõe de outros meios exatos para o seu cálculo.

10.1 RODOVIAS DE PISTA SIMPLES

10.1.1 CAPACIDADE

A capacidade de uma rodovia com duas faixas e dois sentidos de tráfego é de 1.700 carros de passeio por hora (ucp/h), para cada sentido de tráfego, não excedendo 3.200 ucp/h para o conjunto dos dois sentidos, exceto em trechos curtos, como túneis e pontes, onde pode atingir 3.400 ucp/h.

10.1.2 CLASSIFICAÇÃO DAS RODOVIAS DE PISTA SIMPLES

Para efeito de análise de capacidade, as rodovias pavimentadas com duas faixas e dois sentidos de tráfego são divididas em duas classes:

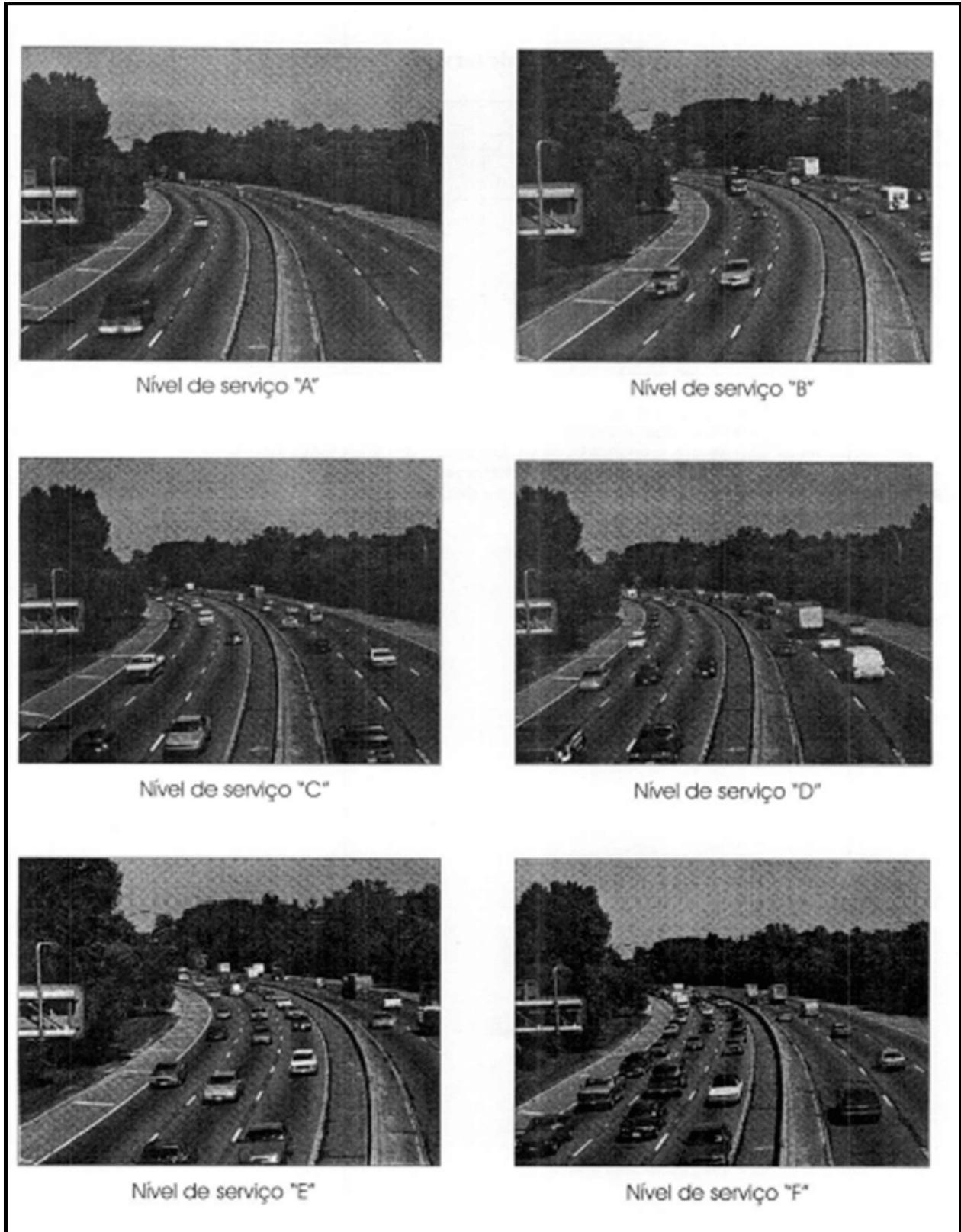
- *Classe I:* Rodovias nas quais os motoristas esperam poder trafegar com velocidades relativamente elevadas. Compreende:
 - ligações de maior importância entre cidades e rodovias arteriais principais conectando importantes vias geradoras de tráfego
 - rotas de trabalho diário
 - ligações estaduais e federais de grande relevância.

Geralmente atendem o tráfego de longa distância ou possuem conexões entre vias que servem o tráfego de longa distância.

- *Classe II:* Rodovias nas quais os motoristas não esperam trafegar com velocidades elevadas. Compreende:
 - vias que funcionam como rotas de acesso às rodovias de Classe I ou servem como rodovias turísticas e recreacionais, não atuando como arteriais principais
 - passam por terreno de topografia acidentada.

Geralmente atendem às viagens curtas, inícios e fins de viagens longas ou viagens em que a contemplação cênica exerce um papel significativo.

Figura 59 - Níveis de serviço



10.1.3 CONDIÇÕES IDEAIS

As condições ideais para uma rodovia de duas faixas e dois sentidos de tráfego são:

- Ausência de fatores restritivos geométricos, de tráfego e ambientais;
- Faixas de tráfego maiores ou iguais a 3,60 m;
- Acostamentos ou afastamentos laterais livres de obstáculos ou restrições à visibilidade com largura igual ou superior a 1,80 m;
- Ausência de zonas com ultrapassagem proibida;
- Tráfego exclusivo de carros de passeio;
- Nenhum impedimento ao tráfego direto, tais como controles de tráfego ou veículos executando manobras de giro;
- Terreno plano;
- Distribuição do tráfego por sentido de 50/50.

10.1.4 NÍVEIS DE SERVIÇO

As medidas que definem o nível de serviço para rodovias de pista simples são:

- *Classe I*: tempo gasto seguindo e velocidade média de viagem.
- *Classe II*: tempo gasto seguindo

Os critérios de níveis de serviço são aplicados para o pico de 15 minutos e para segmentos de extensão significativa.

São definidos seis Níveis de Serviço, de A a F:

- **Nível de Serviço A**: descreve a mais alta qualidade de serviço, em que os motoristas podem trafegar nas velocidades que desejam. Sem regulamentação específica de velocidades menores, as velocidades médias serão da ordem de 90 km/h para rodovias de duas faixas e dois sentidos de tráfego de Classe I. A frequência das operações de ultrapassagem é bastante inferior à capacidade de sua execução e são raras filas de três ou mais veículos. Os motoristas não são atrasados mais que 35% de seu tempo de viagem por veículos lentos. Um fluxo total máximo de 490 ucp/h pode ser atingido em condições ideais. Em rodovias de Classe II a velocidade pode cair abaixo de 90 km/h, mas os motoristas não são atrasados mais que 40% de seu tempo de viagem por veículos lentos.
- **Nível de Serviço B**: caracteriza fluxos de tráfego com velocidades de 80 km/h ou pouco maiores em rodovias de Classe I em terreno plano. A demanda de ultrapassagem para manter as velocidades desejadas aproxima-se da capacidade dessa operação. Os motoristas são incluídos em filas 50% do seu tempo de viagem. Fluxos totais de 780 ucp/h podem ser atingidos em condições ideais. Em rodovias de

Classe II a velocidade pode cair abaixo de 80 km/h, mas os motoristas não são atrasados mais que 55% de seu tempo de viagem por veículos lentos.

- **Nível de Serviço C:** representa maiores acréscimos de fluxo, resultando em mais freqüentes e extensas filas de veículos e dificuldades de ultrapassagem. A velocidade média ainda excede 70 km/h, embora a demanda de ultrapassagem exceda a capacidade da operação. O tráfego se mantém estável, mas suscetível de engarrafamentos devido a manobras de giro e a veículos mais lentos. A percentagem do tempo em filas pode atingir 65%. Um fluxo total de 1.190 ucp/h pode ser acomodado em condições ideais. Em rodovias de Classe II a velocidade pode cair abaixo de 70 km/h, mas os motoristas não são incluídos em filas mais que 70% de seu tempo de viagem.
- **Nível de Serviço D:** descreve fluxo instável. A demanda de ultrapassagem é elevada, mas a sua capacidade se aproxima de zero. Filas de 5 e 10 veículos são comuns, embora possam ser mantidas velocidades de 60 km/h em rodovias de Classe I com condições ideais. A proporção de zonas de ultrapassagem proibida perde sua importância. Manobras de giro e problemas de acessos causam ondas de choque na corrente de tráfego. Os motoristas são incluídos em filas perto de 80% de seu tempo. Um fluxo total de 1.830 ucp/h pode ser acomodado em condições ideais. Em rodovias de Classe II a velocidade pode cair abaixo de 60 km/h, mas os motoristas não são incluídos em filas mais que 85% de seu tempo de viagem.
- **Nível de Serviço E:** Nesse nível a percentagem de tempo em filas é maior que 80% em rodovias de Classe I, e maior que 85% em rodovias de Classe II. As velocidades podem cair abaixo de 60 km/h, mesmo em condições ideais. Para condições piores, as velocidades podem cair até 40 km/h em subidas longas. Praticamente não há manobras de ultrapassagem. O maior fluxo total é da ordem de 3.200 ucp/h. As condições de operação são instáveis e de difícil previsão.
- **Nível de Serviço F:** representa fluxo severamente congestionado, com demanda superior à capacidade. Os fluxos atingidos são inferiores à capacidade e as velocidades são muito variáveis.

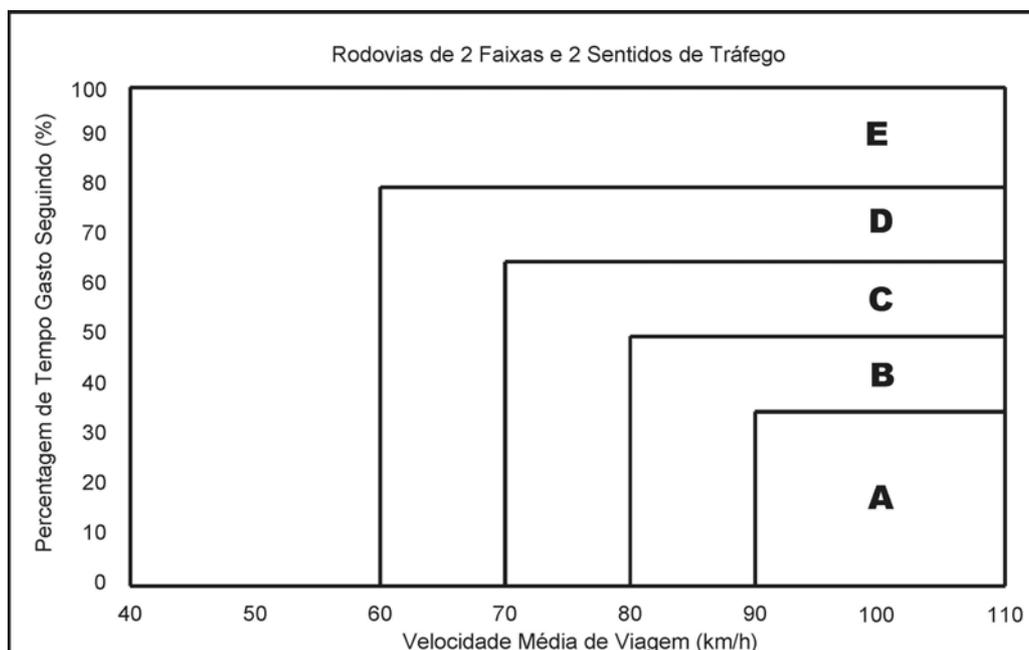
Para trechos de rodovias com pelo menos 3 km de extensão são adotados os seguintes critérios para enquadramento em um dos níveis de serviço:

**Tabela 57 - Enquadramento em níveis de serviço
(Rodovias de Classe I)**

NS	Tempo seguindo (%)	Velocidade média (km/h)
A	$t \leq 35$	$V \geq 30$
B	$35 < t < 50$	$80 < V < 90$
C	$50 < t < 65$	$70 < V < 80$
D	$65 < t < 80$	$60 < V < 70$
E	$t \geq 80$	$V \leq 60$

NOTA: O nível F é atingido quando o fluxo excede a capacidade

**Figura 60 - Níveis de serviço para rodovias de Classe I
(Critério gráfico)**



**Tabela 58 - Enquadramento em níveis de serviço
para rodovias de Classe II**

NS	Tempo seguindo (%)
A	$t \leq 40$
B	$40 < t < 55$
C	$55 < t < 70$
D	$70 < t < 85$
E	$85 \geq t$

NOTA: O nível F é atingido quando o fluxo excede a capacidade

a) Determinação da Velocidade de Fluxo Livre (VFL)

A *Velocidade de Fluxo Livre* corresponde a fluxos até 200 ucp/h. Deve ser obtida por pesquisa de campo através de uma amostra de pelo menos 100 veículos.

Se o fluxo for superior a 200 ucp/h obtém-se VFL com emprego da fórmula:

$$VFL = v_{MF} + 0,0125 \cdot \frac{V_F}{f_{VP}} \quad (10 - 1)$$

onde:

VFL = estimativa da velocidade de fluxo livre (km/h)

v_{MF} = velocidade média do fluxo medida no campo (km/h)

V_F = volume médio horário do fluxo medido (veic/h)

f_{VP} = fator de ajustamento para veículos pesados, obtidos com a equação 10-4

Se não for viável a medição da velocidade no campo, deve ser usado valor de V_{MF} com base em valores correspondentes a trechos semelhantes. Inicialmente determina-se um valor básico $BVFL$ correspondente a rodovias semelhantes com faixas de tráfego de 3,60 m e acostamentos de 1,80 m. Em seguida determina-se VFL pela fórmula:

$$VFL = BVFL - f_{fa} - f_A \quad (10-2)$$

onde:

VFL = estimativa da velocidade de fluxo livre (km/h)

$BVFL$ = valor básico da velocidade de fluxo livre (km/h)

f_{fa} = fator de ajustamento de larguras de faixa e de acostamento, da Tabela 59.

f_A = fator de ajustamento para o número de acessos, da Tabela 60.

Tabela 59 - Ajustamento de larguras de faixa e de acostamento (f_{fa})

Largura da Faixa (m)	Redução no valor de VFL (km/h) Largura do acostamento (m)			
	$\geq 0,0 < 0,6$	$\geq 0,6 < 1,2$	$\geq 1,2 < 1,8$	$\geq 1,8$
2,7 < 3,0	10,3	7,7	5,6	3,5
$\geq 3,0 < 3,3$	8,5	5,9	3,8	1,7
$\geq 3,3 < 3,6$	7,5	4,9	2,8	0,7
$\geq 3,6$	6,8	4,2	2,1	0,0

Tabela 60 - Ajustamento devido à densidade de acessos (f_A)

Acessos por km (ambos os lados)	Redução em VFL (km/h)
0	0,0
6	4,0
12	8,0
18	12,0
≥ 24	16,0

Acessos com pouca atividade e importância não devem ser incluídos.

Quando o número de acessos não pode ser determinado (rodovia ainda não foi construída) deve-se adotar os critérios gerais a seguir apresentados.

Densidade de Pontos de Acessos

Densidade de pontos de acesso é o número total de interseções e acessos do lado direito da rodovia, dividido pelo seu comprimento. A densidade deve ser calculada para um comprimento mínimo de 5 km, se houver dados disponíveis. Na ausência de dados locais, devem ser adotados os valores da Tabela 61.

Tabela 61 - Valores recomendados para densidade de acessos

Tipo de área	Valor	Acessos/km (um lado)
Rural	5	0 – 6
Suburbana (Baixa densidade)	10	7 – 12
Suburbana (Alta densidade)	15	≥ 13

Se uma rodovia contém curvas com velocidades de projeto substancialmente inferiores ao resto do trecho pode-se estimar VFL separadamente para as curvas e os trechos em tangente e calcular uma velocidade média ponderada para o trecho.

b) Determinação dos Fluxos de Tráfego

Devem ser feitos ajustamentos nos fluxos de tráfego para levar em conta três fatores: FHP (fator de hora de pico), f_G (fator de greide), f_{VP} (fator de veículos pesados), utilizando a fórmula

$$v_p = \frac{V}{FHP \cdot f_G \cdot f_{VP}} \quad (10 - 3)$$

onde:

v_p = volume horário nos 15 minutos mais carregados da hora de pico, em carros de passeio equivalentes (ucp/h)

V = volume da hora de pico em tráfego misto (veic/h)

FHP = fator de hora de pico

f_G = fator de ajustamento de greide

f_{VP} = fator de ajustamento de veículos pesados

Fator de Ajustamento de Greide

O fator de ajustamento de greide f_G leva em conta o efeito do terreno na determinação de velocidades e de tempo gasto seguindo. Seus valores são apresentados nas Tabelas 62 e 63.

Tabela 62 - Fator de ajustamento de greide para determinação de velocidades em rodovias de pista simples para dois e um sentido separadamente (f_G)

Volume horário nos dois sentidos (ucp/h)	Volume horário em um sentido (ucp/h)	Tipo de terreno	
		Plano	Ondulado
0 – 600	0 – 300	1,0	0,71
> 600 – 1200	> 300 – 600	1,0	0,93
> 1200	> 600	1,0	0,99

Tabela 63 - Fator de ajustamento de greide para determinação de percentual de tempo seguindo em rodovias de pista simples para dois e um sentido separadamente (f_G)

Volume horário nos dois sentidos (ucp/h)	Volume horário em um sentido (ucp/h)	Tipo de terreno	
		Plano	Ondulado
0 – 600	0 – 300	1,0	0,77
> 600 – 1200	> 300 – 600	1,0	0,94
> 1200	> 600	1,0	1,00

Fatores de Equivalência de Veículos Pesados

Há dois tipos de veículos pesados: Caminhões (C), que incluem Ônibus, e Veículos de Recreio (VR). Seus equivalentes em carros de passeio (P) são apresentados nas Tabelas 64 e 65.

Tabela 64 - Equivalentes em carros de passeio para determinação de velocidades para dois e um sentido separadamente (E_C e E_{VR})

Tipo de Veículo	Volume horário nos dois sentidos (ucp/h)	Volume horário em um sentido (ucp/h)	Tipo de terreno	
			Plano	Ondulado
Caminhão E_C	0 – 600	0 – 300	1,7	2,5
	> 600 – 1200	> 300 – 600	1,2	1,9
	> 1200	> 600	1,1	1,5
Caminhão E_C	0 – 600	0 – 300	1,0	1,1
	> 600 – 1200	> 300 – 600	1,0	1,1
	> 1200	> 600	1,0	1,1

Tabela 65 - Equivalentes em carros de passeio para determinação de percentual de tempo para dois e um sentido separadamente (E_C e V_R)

Tipo de Veículo	Volume horário nos dois sentidos (ucp/h)	Volume horário em um sentido (ucp/h)	Tipo de terreno	
			Plano	Ondulado
Caminhão E_C	0 – 600	0 – 300	1,1	1,8
	> 600 – 1200	> 300 – 600	1,1	1,5
	> 1200	> 600	1,0	1,0
Caminhão E_C	0 – 600	0 – 300	1,0	1,0
	> 600 – 1200	> 300 – 600	1,0	1,0
	> 1200	> 600	1,0	1,0

- *Terreno Plano*: trecho em que a combinação de curvas e rampas permite que os veículos pesados mantenham aproximadamente a mesma velocidade que os carros de passeio; incluem geralmente rampas curtas com greides de 1% a 2% .
- *Terreno Ondulado*: trecho em que os veículos pesados reduzem substancialmente suas velocidades, mas chegam a mover-se lentamente por intervalos de tempo significativos. Normalmente não incluem trechos longos com rampas de 4% ou maiores.

Fator de Ajustamento para Veículos Pesados

Uma vez determinados os valores de E_C e E_{VR} , o Fator de Ajustamento para Veículos Pesados (f_{VP}) é calculado usando a equação 10-4.

$$f_{VP} = \frac{1}{1 + P_C(E_C - 1) + P_{VR}(E_{VR} - 1)} \quad (10 - 4)$$

onde:

P_C = proporção de caminhões e ônibus na corrente de tráfego, em decimal

P_{VR} = proporção de veículos de recreio na corrente de tráfego, em decimal

E_C = equivalente de caminhões e ônibus, em carros de passeio

E_{VR} = equivalente de veículos de recreio, em carros de passeio

Seqüência de Cálculo

Determine inicialmente o fluxo V/FHP em veículos por hora (veic/h). Em seguida retire das tabelas os valores de f_G , E_C , E_{VR} . Calcule v_p usando as equações (10-3) e (10-4). Se o valor de v_p cair dentro dos limites para os quais f_G , E_C , E_{VR} foram obtidos, o valor calculado está certo; se não cair repita o processo usando os novos valores de f_G , E_C , E_{VR} até cair dentro dos limites adotados.

c) Determinação da Velocidade Média de Viagem (VMV)

A Velocidade Média de Viagem é determinada pela seguinte equação:

$$VMV = VFL - 0,0125 v_p - f_{up} \quad (10 - 5)$$

onde:

VMV = velocidade média de viagem para ambos os sentidos (km/h)

VFL = velocidade de fluxo livre obtida das equações 10-1 ou 10-2 (km/h)

v_p = volume horário nos 15 minutos mais carregados da hora de pico, em carros de passeio equivalentes (ucp/h)

f_{up} = fator de ajustamento para zonas de ultrapassagem proibida (Tabela 66)

Tabela 66 - Fator de ajustamento para zonas de ultrapassagem proibida em rodovias de pista simples (f_{up})

Fluxo nos dois sentidos	Redução da velocidade média de viagem (km/h)					
	Zonas de ultrapassagem proibida (%)					
V_p (ucp/h)	0	20	40	60	80	100
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
200	0,0	1,0	2,3	3,8	4,2	5,6
400	0,0	2,7	4,3	5,7	6,3	7,3
600	0,0	2,5	3,8	4,9	5,5	6,2
800	0,0	2,2	3,1	3,9	4,3	4,9
100	0,0	1,8	2,5	3,2	3,6	4,2
1200	0,0	1,3	2,0	2,6	3,0	3,4
1400	0,0	0,9	1,4	1,9	2,3	2,7
1600	0,0	0,9	1,3	1,7	2,1	2,4
1800	0,0	0,8	1,1	1,6	1,8	2,1
2000	0,0	0,8	1,0	1,4	1,6	1,8
2200	0,0	0,8	1,0	1,4	1,5	1,7
2400	0,0	0,8	1,0	1,3	1,5	1,7
2600	0,0	0,8	1,0	1,3	1,4	1,6
2800	0,0	0,8	1,0	1,2	1,3	1,4
3000	0,0	0,8	0,9	1,1	1,1	1,3
3200	0,0	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1

d) Determinação da Percentagem de Tempo Gasto Seguindo (PTGS)

Para determinar a *Percentagem de Tempo Gasto Seguindo* deve-se inicialmente estimar o valor básico *BPTGS*, a partir da fórmula:

$$BPTGS = 100 \left(1 - e^{-0,000879 v_p} \right) \quad (10 - 7)$$

Em seguida determina-se *PTGS* utilizando-se a equação:

$$PTGS = BPTGS + f_{d/up} \quad (10 - 6)$$

onde:

$PTGS$ = percentagem do tempo gasto seguindo,

$BPTGS$ = valor básico da percentagem do tempo gasto seguindo,

$f_{d/up}$ = fator de ajustamento para o efeito combinado da distribuição do tráfego por sentido e da percentagem das zonas de ultrapassagem proibida, constante da Tabela 62.

Tabela 67 - Fator de ajustamento para o efeito combinado da distribuição de tráfego por sentido e da percentagem das zonas de ultrapassagem proibida, na percentagem do tempo gasto seguindo, em rodovias de pista simples ($f_{d/up}$)

Fluxo nos dois sentidos	Redução da velocidade média de viagem (km/h)					
	Zonas de ultrapassagem proibida (%)					
V_p (ucp/h)	0	20	40	60	80	100
Distribuição por sentido = 50/50						
≤ 200	0,0	10,1	17,2	20,2	21,0	21,8
400	0,0	12,4	19,0	22,7	23,8	24,8
600	0,0	11,2	16,0	18,7	19,7	20,5
800	0,0	9,0	12,3	14,1	14,5	15,4
1400	0,0	3,6	5,5	6,7	7,3	7,9
2000	0,0	1,8	2,9	3,7	4,1	4,4
2600	0,0	1,1	1,6	2,0	2,3	2,4
3200	0,0	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4
Distribuição por sentido = 60/40						
≤ 200	1,6	11,8	17,2	22,5	23,1	23,7
400	0,5	11,7	16,2	20,7	21,5	22,2
600	0,0	11,5	15,2	18,9	19,8	20,7
800	0,0	7,6	10,3	13,0	13,7	14,4
1400	0,0	3,7	5,4	7,1	7,6	8,1
2000	0,0	2,3	3,4	3,6	4,0	4,3
≥ 2600	0,0	0,9	1,4	1,9	2,1	2,2
Distribuição por sentido = 70/30						
≤ 200	2,8	13,4	19,1	14,8	25,2	25,5
400	1,1	12,5	17,5	22,0	22,6	23,2
600	0,0	11,6	15,4	19,1	20,0	20,9
800	0,0	7,7	10,5	13,3	14,0	14,6
1400	0,0	3,8	5,6	7,4	7,9	8,3
≥ 2000	0,0	1,4	4,9	3,5	3,9	4,2
Distribuição por sentido = 80/20						

Fluxo nos dois sentidos	Redução da velocidade média de viagem (km/h)					
	Zonas de ultrapassagem proibida (%)					
V_p (ucp/h)	0	20	40	60	80	100
≤ 200	5,1	17,5	24,3	31,3	31,3	31,6
400	2,5	15,8	21,5	27,6	27,6	28,0
600	0,0	14,0	18,6	23,2	23,9	24,5
800	0,0	9,3	12,7	16,0	16,5	17,0
1400	0,0	4,6	6,7	8,7	9,1	9,5
≥ 2000	0,0	2,4	3,4	4,5	4,7	4,9
Distribuição por sentido = 90/10						
≤ 200	5,6	21,6	29,4	37,2	37,4	37,6
400	2,4	19,0	25,6	32,2	32,5	32,8
600	0,0	16,3	21,8	27,2	27,6	28,0
800	0,0	10,9	14,8	18,6	19,0	19,4
≥ 1400	0,0	5,5	7,8	10,0	10,4	10,7

e) Determinação do Nível de Serviço

Inicialmente compara-se o fluxo de tráfego (v_p) em ucp/h com a capacidade de uma rodovia de pista simples de 3.200 ucp/h. Se v_p é maior que a capacidade a rodovia está supersaturada e o Nível de Serviço é F. Da mesma forma, se o fluxo em um dos dois sentidos ultrapassar 1.700 ucp/h o nível de serviço é F. Nesse nível a percentagem de tempo seguindo é próxima de 100% e as velocidades são sujeitas a grandes variações e difíceis de estimar.

Quando um trecho de uma rodovia de *Classe I* tem fluxo inferior à capacidade, o Nível de Serviço é determinado marcando na Figura 60 um ponto com abscissa igual à velocidade média de viagem (VMV) e ordenada igual à percentagem de tempo gasto seguindo (PTGS). A região em que se situar define o Nível de Serviço. Se a rodovia é de *Classe II* tem-se apenas que comparar a percentagem de tempo seguindo com o critério da Tabela 58.

Em qualquer caso a análise deve incluir sempre o Nível de Serviço, a percentagem de tempo seguindo e a velocidade média de viagem, informações úteis na avaliação da qualidade do serviço prestado pela rodovia.

f) Razão Volume/Capacidade

A razão v/c (volume-capacidade), pode ser dada pela equação:

$$v/c = \frac{V_p}{C} \quad (10 - 8)$$

onde:

v/c = razão do volume sobre a capacidade

c = capacidade de uma rodovia de 2 faixas e 2 sentidos – normalmente 3.200 ucp/h. Para um único sentido é de 1.700 ucp/h

v_p = volume horário no 15 minutos mais carregados da hora de pico, em carros de passeio equivalentes (ucp/h)

10.1.5 NÍVEIS DE SERVIÇO POR SENTIDO DE TRÁFEGO

Os níveis de serviço em terreno montanhoso devem ser calculados para rampas de subida e de descida específicas.

a) Determinação da Velocidade de Fluxo Livre

Aplica-se a mesma metodologia já descrita, mas separadamente para cada sentido. A determinação deve ser feita para a condição de baixos volumes de tráfego nos dois sentidos simultaneamente.

b) Determinação dos Fluxos de Tráfego

O fluxo no período de pico no sentido em análise deve ser calculado com emprego da equação:

$$v_s = \frac{V}{FHP \cdot f_G \cdot f_{VP}} \quad (10 - 9)$$

onde:

v_s = volume horário nos 15 minutos mais carregados da hora de pico, no sentido analisado, em carros de passeio equivalentes (ucp/h)

V = volume da hora de pico no sentido analisado, em tráfego misto (veic/h)

FHP = Fator de hora de pico

f_G = fator de ajustamento de greide

f_{VP} = fator de ajustamento de veículos pesados

Este fluxo v_s deve ser baseado no FHP , na composição do tráfego, no tipo de terreno ou greide específico, no sentido analisado. Diferentes valores de v_s são utilizados para estimar a velocidade média de viagem e a percentagem de tempo gasto seguindo, porque o valor de f_{VP} difere para essas aplicações.

A análise por sentido exige a consideração do fluxo no sentido oposto. O fluxo no sentido oposto é calculado usando a seguinte fórmula:

$$v_o = \frac{V_o}{FHP \cdot f_G \cdot f_{VP}} \quad (10 - 10)$$

onde:

v_o = volume horário nos 15 minutos mais carregados da hora de pico do sentido analisado, que vêm no sentido oposto, em carros de passeio equivalentes (ucp/h);

V_o = volume na hora de pico no sentido analisado, que vem no sentido oposto, em tráfego misto (veic/h);

FHP = fator de hora de pico no sentido analisado.

Se possível o FHP deve ser determinado com base em levantamento de campo. Caso contrário deve-se usar os valores recomendados pelo HCM, quais sejam:

$FHP = 0,88$ em área rural

$FHP = 0,92$ em área urbana.

Ajustamentos para Levar em Conta o Greide e a Existência de Veículos Pesados.

O ajustamento para levar em conta a existência de veículos pesados em um sentido de um segmento rodoviário é semelhante ao adotado para o caso de rodovia com duas faixas e dois sentidos de tráfego, sendo usada a equação 10-4. Para análise por sentido, de um segmento extenso em terreno plano ou ondulado, os valores de E_C e E_{VR} são obtidos nas Tabelas 64 e 65 e o fator de ajustamento f_G é obtido nas Tabelas 62 e 63.

Qualquer subida com greide de 3% ou mais e com comprimento de 0,4 km ou mais pode ser analisado como um greide específico, mas se o comprimento for 1,0 km ou mais tem que ser analisado como um greide específico. Isso inclui todas as subidas analisadas por sentido em terreno montanhoso. Se o greide varia, deve-se adotar um valor médio, calculado dividindo a diferença de cotas pela extensão horizontal.

Os valores do fator f_G para estimar velocidade média de viagem e a percentagem de tempo gasto seguindo, para greides específicos em subida e tráfego exclusivo de carros de passeio são apresentados nas Tabelas 68 e 69. Para levar em conta o efeito da existência de caminhões são apresentados os valores de E_C nas Tabelas 70 e 71.

A Tabela 72 apresenta os valores E_{VP} para a estimativa de velocidade média de viagem em uma subida específica. O valor de E_{VP} para a estimativa de tempo gasto seguindo em uma subida específica é sempre 1, como consta da Tabela 71.

Qualquer descida com greide de 3% ou mais e extensão horizontal com 1 km ou mais, tem que ser analisada como uma descida específica. Isso inclui todas as descidas em segmentos analisados por sentido em terreno montanhoso. Se o greide varia, deve-se adotar um valor médio, calculado dividindo a diferença de cotas pela extensão horizontal.

Para a maioria das descidas o fator de ajustamento de greide f_G é 1,0 e o fator f_{VP} consta das Tabelas 64 e 65. Para algumas descidas extensas com greide elevado, os veículos pesados trafegam com velocidades de arrasto, muito baixas, para não perderem controle. Quando isto ocorre, o fator de ajustamento f_{VP} , usado para determinar velocidade média de viagem, deve ser calculado pela equação:

$$f_{VP} = \frac{1}{1 + P_{CA} \cdot P_C (E_{CA} - 1) + (1 - P_{CA}) P_C (E_C - 1) + P_{VR} (E_{VR} - 1)} \quad (10 - 11)$$

onde:

P_{CA} = proporção dos caminhões com velocidade de arrasto, em valor decimal;

E_{CA} = equivalente em carros de passeio de caminhões com velocidade de arrasto, obtida na Tabela 73.

Para aplicar a fórmula 10-11, E_{CA} deve ser obtido da Tabela 73, com base no fluxo no sentido analisado e na diferença entre a VFL e a velocidade de arrasto. Os equivalentes em carros de passeio E_C e E_{VR} devem ser tirados da Tabela 64, para terreno plano. Se não se dispuser de dados específicos, a proporção de caminhões com velocidade de arrasto deve ser a proporção de reboques e semi-reboques dentro dos veículos de carga.

**Tabela 68 - Fator de ajustamento de greide para
estimar velocidade média de viagem em greides específicos (f_G)**

Greide (%)	Fator de ajustamento de greide, f_G			
	Intervalo de fluxo em um sentido v_s (ucp/h)			
	Comprimento (km)	0 – 300	> 300 – 600	> 600
$\geq 3,0 < 3,5$	0,4	0,81	1,00	1,00
	0,8	0,79	1,00	1,00
	1,2	0,77	1,00	1,00
	1,6	0,76	1,00	1,00
	2,4	0,75	0,99	1,00
	3,2	0,75	0,97	1,00
	4,8	0,75	0,95	0,97
	$\geq 6,4$	0,75	0,94	0,95
$\geq 3,5 < 4,5$	0,4	0,79	1,00	1,00
	0,8	0,76	1,00	1,00
	1,2	0,72	1,00	1,00
	1,6	0,69	0,93	1,00
	2,4	0,68	0,92	1,00
	3,2	0,66	0,91	1,00
	4,8	0,65	0,91	0,96
	$\geq 6,4$	0,65	0,90	0,96
$\geq 4,5 < 5,5$	0,4	0,75	1,00	1,00
	0,8	0,65	0,93	1,00
	1,2	0,60	0,89	1,00
	1,6	0,59	0,89	1,00
	2,4	0,57	0,86	0,99
	3,2	0,56	0,85	0,98
	4,8	0,56	0,84	0,97
	$\geq 6,4$	0,55	0,82	0,93
$\geq 5,5 < 6,5$	0,4	0,63	0,91	1,00
	0,8	0,57	0,85	0,99
	1,2	0,52	0,83	0,97
	1,6	0,51	0,79	0,97
	2,4	0,49	0,78	0,95
	3,2	0,48	0,78	0,94
	4,8	0,46	0,76	0,93
	$\geq 6,4$	0,45	0,76	0,93
$\geq 6,5$	0,4	0,59	0,86	0,98
	0,8	0,48	0,76	0,94
	1,2	0,44	0,74	0,91
	1,6	0,41	0,70	0,91
	2,4	0,40	0,67	0,91
	3,2	0,39	0,67	0,89
	4,8	0,39	0,66	0,88
	$\geq 6,4$	0,38	0,66	0,87

Tabela 69 - Fator de ajustamento de greide para estimar a percentagem de tempo gasto seguindo em greides específicos (f_G)

Greide (%)	Fator de ajustamento de greide, f_G			
	Intervalo de fluxo em um sentido v_s (ucp/h)			
	Comprimento (km)	0 – 300	> 300 – 600	> 600
$\geq 3,0 < 3,5$	0,4	0,81	1,00	1,00
	0,8	0,79	1,00	1,00
	1,2	0,77	1,00	1,00
	1,6	0,76	1,00	1,00
	2,4	0,75	0,99	1,00
	3,2	0,75	0,97	1,00
	4,8	0,75	0,95	0,97
	$\geq 6,4$	0,75	0,94	0,95
$\geq 3,5 < 4,5$	0,4	0,79	1,00	1,00
	0,8	0,76	1,00	1,00
	1,2	0,72	1,00	1,00
	1,6	0,69	0,93	1,00
	2,4	0,68	0,92	1,00
	3,2	0,66	0,91	1,00
	4,8	0,65	0,91	0,96
	$\geq 6,4$	0,65	0,90	0,96
$\geq 4,5 < 5,5$	0,4	0,75	1,00	1,00
	0,8	0,65	0,93	1,00
	1,2	0,60	0,89	1,00
	1,6	0,59	0,89	1,00
	2,4	0,57	0,86	0,99
	3,2	0,56	0,85	0,98
	$\geq 6,4$	1,00	1,00	1,00
	$\geq 5,5 < 6,5$	0,4	1,00	1,00
0,8		1,00	1,00	1,00
1,2		1,00	1,00	1,00
1,6		1,00	1,00	1,00
2,4		1,00	1,00	1,00
3,2		1,00	1,00	1,00
4,8		1,00	1,00	1,00
$\geq 6,4$		1,00	1,00	1,00
$\geq 6,5$	0,4	1,00	1,00	1,00
	0,8	1,00	1,00	1,00
	1,2	1,00	1,00	1,00
	1,6	1,00	1,00	1,00
	2,4	1,00	1,00	1,00
	3,2	1,00	1,00	1,00
	4,8	1,00	1,00	1,00
	$\geq 6,4$	1,00	1,00	1,00

Tabela 70 - Equivalentes em carros de passeio de caminhões para estimar velocidade média em subidas específicas (E_c)

Greide (%)	Equivalente em carros de passeio de caminhões, E_c			
	Intervalo de fluxo em um sentido v_s (ucp/h)			
	Comprimento (km)	0 – 300	> 300 – 600	> 600
$\geq 3,0 < 3,5$	0,4	2,5	1,9	1,5
	0,8	3,5	2,8	2,3
	1,2	4,5	3,9	2,9
	1,6	5,1	4,6	3,5
	2,4	6,1	5,5	4,1
	3,2	7,1	5,9	4,7
	4,8	8,2	6,7	5,3
	$\geq 6,4$	9,1	7,5	5,7
$\geq 3,5 < 4,5$	0,4	3,6	2,4	1,9
	0,8	5,4	4,6	3,4
	1,2	6,4	6,6	4,6
	1,6	7,7	6,9	5,9
	2,4	9,4	8,3	7,1
	3,2	10,2	9,6	8,1
	4,8	11,3	11,0	8,9
	$\geq 6,4$	12,3	11,9	9,7
$\geq 4,5 < 5,5$	0,4	4,2	3,7	2,6
	0,8	6,0	6,0	5,1
	1,2	7,5	7,5	7,5
	1,6	9,2	9,0	8,9
	2,4	10,6	10,5	10,3
	3,2	11,8	11,7	11,3
	4,8	13,7	13,5	12,4
	$\geq 6,4$	15,3	15,0	12,5
$\geq 5,5 < 6,5$	0,4	4,7	4,1	3,5
	0,8	7,2	7,2	7,2
	1,2	9,1	9,1	9,1
	1,6	10,3	10,3	10,2
	2,4	11,9	11,8	11,7
	3,2	12,8	12,7	12,6
	4,8	14,4	14,3	14,2
	$\geq 6,4$	15,4	15,2	15,0
$\geq 6,5$	0,4	5,1	4,8	4,6
	0,8	7,8	7,8	7,8
	1,2	9,8	9,8	9,8
	1,6	10,4	10,4	10,3
	2,4	12,0	11,9	11,8
	3,2	12,9	12,8	12,7
	4,8	14,5	14,4	14,3
	$\geq 6,4$	15,4	15,3	15,2

Tabela 71 - Equivalentes em carros de passeio de caminhões e veículos de recreio para estimar tempo gasto seguindo em subidas específicas (E_C / E_{VR})

Greide (%)	Equivalente em carros de passeio de caminhões, E_C				
	Intervalo de fluxo em um sentido v_s (ucp/h)				
	Comprimento (km)	0 – 300	> 300 – 600	> 600	$VR_{59}E_{VR}$
$\geq 3,0 < 3,5$	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,6	1,0	1,0	1,0	1,0
	2,4	1,0	1,0	1,0	1,0
	3,2	1,0	1,0	1,0	1,0
	4,8	1,4	1,0	1,0	1,0
	$\geq 6,4$	1,5	1,0	1,0	1,0
$\geq 3,5 < 4,5$	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,6	1,0	1,0	1,0	1,0
	2,4	1,1	1,0	1,0	1,0
	3,2	1,4	1,0	1,0	1,0
	4,8	1,7	1,1	1,2	1,0
	$\geq 6,4$	2,0	1,5	1,4	1,0
$\geq 4,5 < 5,5$	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,6	1,0	1,0	1,0	1,0
	2,4	1,1	1,2	1,2	1,0
	3,2	1,6	1,3	1,5	1,0
	4,8	2,3	1,9	1,7	1,0
	$\geq 6,4$	3,3	2,1	1,8	1,0
$\geq 5,5 < 6,5$	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,6	1,0	1,2	1,0	1,0
	2,4	1,5	1,6	1,6	1,0
	3,2	1,9	1,9	1,8	1,0
	4,8	3,3	2,5	2,0	1,0
	$\geq 6,4$	4,3	3,1	2,0	1,0
$\geq 6,5$	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,6	1,3	1,4	1,6	1,0
	2,4	2,1	2,0	2,0	1,0
	3,2	2,8	2,5	2,1	1,0
	4,8	4,0	3,1	2,2	1,0
	$\geq 6,4$	4,8	3,5	2,3	1,0

Tabela 72 - Equivalentes em carros de passeio de veículos de recreio para estimar velocidade média de viagem em subidas específicas

Greide (%)	Equivalente em carros de passeio, VRs (E_{vr})			
	Intervalo de fluxo em um sentido v_s (ucp/h)			
	Comprimento (km)	0 – 300	> 300 – 600	> 600
$\geq 3,0 < 3,5$	0,4	1,1	1,0	1,0
	0,8	1,2	1,0	1,0
	1,2	1,2	1,0	1,0
	1,6	1,3	1,0	1,0
	2,4	1,4	1,0	1,0
	3,2	1,4	1,0	1,0
	4,8	1,5	1,0	1,0
	$\geq 6,4$	1,5	1,0	1,0
$\geq 3,5 < 4,5$	0,4	1,3	1,0	1,0
	0,8	1,3	1,0	1,0
	1,2	1,3	1,0	1,0
	1,6	1,4	1,0	1,0
	2,4	1,4	1,0	1,0
	3,2	1,4	1,0	1,0
	4,8	1,4	1,0	1,0
	$\geq 6,4$	1,5	1,0	1,0
$\geq 4,5 < 5,5$	0,4	1,5	1,0	1,0
	0,8	1,5	1,0	1,0
	1,2	1,5	1,0	1,0
	1,6	1,5	1,0	1,0
	2,4	1,5	1,0	1,0
	3,2	1,5	1,0	1,0
	4,8	1,6	1,0	1,0
	$\geq 6,4$	1,6	1,0	1,0
$\geq 5,5 < 6,5$	0,4	1,5	1,0	1,0
	0,8	1,5	1,0	1,0
	1,2	1,5	1,0	1,0
	1,6	1,6	1,0	1,0
	2,4	1,6	1,0	1,0
	3,2	1,6	1,0	1,0
	4,8	1,6	1,2	1,0
	$\geq 6,4$	1,6	1,5	1,2
$\geq 6,5$	0,4	1,6	1,0	1,0
	0,8	1,6	1,0	1,0
	1,2	1,6	1,0	1,0
	1,6	1,6	1,0	1,0
	2,4	1,6	1,0	1,0
	3,2	1,6	1,3	1,3
	$\geq 6,4$	1,6	1,5	1,4

Tabela 73 - Equivalentes em carros de passeio para estimar o efeito na velocidade média de caminhões que operam com velocidade de arrasto em longas descidas

Diferença entre VFL e a velocidade de arrasto (km/h)	Equivalente em carros de passeio de caminhões em velocidade arrasto C_A (E_{CA})		
	Intervalo de fluxo em sentido V_d (ucp/h)		
	0 – 300	> 300 – 600	> 600
≤ 20	4,4	2,8	1,4
40	14,3	9,6	5,7
≥ 60	34,1	21,1	13,0

As fórmulas 10-9 e 10-10 podem ter que ser calculadas iterativamente, como no caso de rodovias de duas faixas com dois sentidos de tráfego. Para análise por sentido o processo é semelhante, com as seguintes diferenças:

- Para segmentos extensos em terreno plano e ondulado, e para descidas específicas são utilizados os fluxos por sentido das Tabelas 62 e 65.
- Para subidas específicas, são usados as Tabelas 68 e 72.
- Para descidas específicas, em que alguns veículos de carga pesados se deslocam com velocidade de arrasto, é usada a fórmula 10 -11.

c) Determinação da Velocidade Média de Viagem

A velocidade média de viagem é estimada a partir da VFL, do fluxo no sentido analisado, do fluxo no sentido oposto, e do fator de ajustamento, função da percentagem de zonas de ultrapassagem proibida no sentido em estudo. É usada a equação:

$$VMV_s = VFL_s - 0,0125(v_s + v_o) - f_{up} \quad (10 - 12)$$

onde:

VMV_s = velocidade média de viagem no sentido de análise (km/h)

VFL_s = velocidade de fluxo livre no sentido de análise (km/h)

v_s = fluxo em unidades de carros de passeio no período de 15 minutos de pico no sentido de análise (ucp/h)

v_o = fluxo em unidades de carros de passeio no período de 15 minutos de pico no sentido oposto ao de análise, determinado pela equação 10 -10 (ucp/h)

f_{up} = fator de ajustamento para a percentagem de zonas de ultrapassagem proibida para o sentido de análise, constante da Tabela 74.

Tabela 74 - Fator de ajustamento da velocidade média de viagem por ação das zonas de ultrapassagem proibida em segmentos analisados por sentido de tráfego (f_{up})

Fluxo no sentido oposto	Redução da velocidade média de viagem (km/h)				
	Zonas de ultrapassagem proibida (%)				
V_p (ucp/h)	≤ 20	40	60	80	100
VFL = 110 km/h					
≤ 100	1,7	3,5	4,5	4,8	5,0
200	3,5	5,3	6,2	6,5	6,8
400	2,6	3,7	4,4	4,5	4,7
600	2,2	2,4	2,8	3,1	3,3
800	1,1	1,6	2,0	2,2	2,4
1000	1,0	1,3	1,7	1,8	1,9
1200	0,9	1,3	1,5	1,6	1,7
1400	0,9	1,2	1,4	1,4	1,5
≥1600	0,9	1,1	1,2	1,2	1,3
VFL = 110 km/h					
≤ 100	1,2	2,7	4,0	4,5	4,7
200	3,0	4,6	5,9	6,4	6,7
400	2,3	3,3	4,1	4,4	4,6
600	1,8	2,1	2,6	3,0	3,2
800	0,9	1,4	1,8	2,1	2,3
1000	0,9	1,1	1,5	1,7	1,9
1200	0,8	1,1	1,4	1,5	1,7
1400	0,8	1,1	1,3	1,3	1,4
≥1600	0,8	1,0	1,1	1,1	1,2
VFL = 90 km/h					
≤ 100	0,8	1,9	3,6	4,2	4,4
200	2,4	3,9	5,6	6,3	6,6
400	2,1	3,0	3,8	4,3	4,5
600	1,4	1,8	2,5	2,9	3,1
800	0,8	1,1	1,7	2,0	2,2
1000	0,8	0,9	1,3	1,5	1,8
1200	0,8	0,9	1,2	1,4	1,6
1400	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4
≥1600	0,8	0,8	0,9	0,9	1,1
VFL = 80 km/h					
≤ 100	0,3	1,1	3,1	3,9	4,1
200	1,9	3,2	5,3	6,2	6,5
400	1,8	2,6	3,5	4,2	4,4
600	1,0	1,5	2,3	2,8	3,0
800	0,6	0,9	1,5	1,9	2,1
1000	0,6	0,7	1,1	1,4	1,8
1200	0,6	0,7	1,1	1,3	1,6
1400	0,6	0,7	1,0	1,1	1,3

Fluxo no sentido oposto	Redução da velocidade média de viagem (km/h)				
	Zonas de ultrapassagem proibida (%)				
V_p (ucp/h)	≤ 20	40	60	80	100
≥1600	0,6	0,7	0,8	0,8	1,0
VFL = 80 km/h					
≤ 100	0,1	0,6	2,7	3,6	3,8
200	1,5	2,6	5,0	6,1	6,4
400	1,5	0,8	3,2	4,1	4,3
600	0,7	0,5	2,1	2,7	2,9
800	0,5	0,5	1,3	1,8	2,0
1000	0,5	0,5	1,0	1,3	1,8
1200	0,5	0,5	1,0	1,2	1,6
1400	0,5	0,5	1,0	1,0	1,2
≥1600	0,5	0,5	0,7	0,7	0,9

d) Determinação da Percentagem de Tempo Gasto Seguindo

A percentagem de tempo gasto seguindo é estimada com base no fluxo no sentido analisado, no fluxo do sentido oposto, e um fator de ajustamento, função da percentagem de zonas de ultrapassagem proibida no sentido de análise. A percentagem de tempo gasto seguindo é obtida pela fórmula:

$$PTGS_s = BPTGS_s + f_{up}$$

onde:

$PTGS_s$ = percentagem do tempo gasto seguindo no sentido analisado,

$BPTGS_s$ = valor básico da percentagem do tempo gasto seguindo no sentido analisado

f_{up} = ajustamento, função da percentagem de zonas de ultrapassagem proibida no sentido de análise (Tabela 75).

O valor básico da percentagem do tempo gasto seguindo no sentido analisado, para o fluxo existente nesse sentido é determinado pela seguinte equação:

$$BPTGS_s = 100 \left(1 - e^{-a v_s^b} \right) \quad (10-14)$$

Os valores dos coeficientes a e b são determinados pelo fluxo no sentido oposto ao da corrente em estudo, e são obtidos na Tabela 76.

e) Determinação do Nível de Serviço

Inicialmente verifica-se se o fluxo v_s excede 1.700 ucp/h. Se isto acontecer a rodovia está supersaturada e o nível de serviço é *F*. O tempo gasto seguindo se aproxima de 100% , e as velocidades variam muito e são de difícil determinação.

Para um trecho de rodovia de *Classe I* com fluxo $v_s \leq 1.700$ ucp/h o nível de serviço é determinado na Figura 60, em função da velocidade média de viagem e da percentagem de tempo gasto seguindo. Para um trecho de *Classe II* com fluxo $v_s \leq 1.700$ ucp/h o nível de serviço é determinado pela Tabela 58, em função da percentagem de tempo gasto seguindo.

Tabela 75 - Fator de ajustamento da percentagem de tempo gasto seguindo por ação das zonas de ultrapassagem proibida em segmentos analisados por sentido de tráfego (f_{up})

Fluxo no sentido oposto	Redução da velocidade média de viagem (km/h)				
	Zonas de ultrapassagem proibida (%)				
V_p (ucp/h)	≤ 20	40	60	80	100
VFL = 110 km/h					
≤ 100	10,1	17,2	20,2	21,0	21,8
200	12,4	19,0	22,7	23,8	24,8
400	9,0	12,3	14,1	14,4	15,4
600	5,3	7,7	9,2	9,7	10,4
800	3,0	4,6	5,7	6,2	6,7
1000	1,8	2,9	3,7	4,1	4,4
1200	1,3	2,0	2,6	2,9	3,1
1400	0,9	1,4	1,7	1,9	2,1
≥ 1600	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4
VFL = 110 km/h					
≤ 100	8,4	14,9	20,9	22,8	26,6
200	11,5	18,2	24,1	26,2	29,7
400	8,6	12,1	14,8	15,9	18,1
600	5,1	7,5	9,6	10,6	12,1
800	2,8	4,5	5,9	6,7	7,7
1000	1,6	2,8	3,7	4,3	4,9
1200	1,2	1,9	2,6	3,0	3,4
1400	0,8	1,3	1,7	2,0	2,3
≥ 1600	0,6	0,9	1,1	1,2	1,5
VFL = 90 km/h					
≤ 100	6,7	12,7	21,7	24,5	31,3
200	10,5	17,5	25,4	28,6	34,7
400	8,3	11,8	15,5	17,5	20,7
600	4,9	7,3	10,0	11,5	13,9
800	2,7	4,3	6,1	7,2	8,8

Fluxo no sentido oposto	Redução da velocidade média de viagem (km/h)				
	Zonas de ultrapassagem proibida (%)				
V_p (ucp/h)	≤ 20	40	60	80	100
1000	1,5	2,7	3,8	4,5	5,4
1200	1,0	1,8	2,6	3,1	3,8
1400	0,7	1,2	1,7	2,0	2,4
≥1600	0,6	0,9	1,2	1,3	1,5

Fluxo no sentido oposto	Redução da velocidade média de viagem (km/h)				
	Zonas de ultrapassagem proibida (%)				
V_p (ucp/h)	≤ 20	40	60	80	100
VFL = 80 km/h					
≤ 100	5,0	10,4	22,4	26,3	36,1
200	9,6	16,7	26,8	31,0	39,6
400	7,9	11,6	16,2	19,0	23,4
600	4,7	7,1	10,4	12,4	15,6
800	2,5	4,2	6,3	7,7	9,8
1000	1,3	2,6	3,8	4,7	5,9
1200	0,9	1,7	2,6	3,2	4,1
1400	0,6	1,1	1,7	2,1	2,6
≥1600	0,5	0,9	1,2	1,3	1,6
VFL = 70 km/h					
≤ 100	3,7	8,5	23,2	28,2	41,6
200	8,7	16,0	28,2	33,6	45,2
400	7,5	11,4	16,9	20,7	26,4
600	4,5	6,9	10,8	13,4	17,6
800	2,3	4,4,1	6,5	8,2	11,0
1000	1,2	2,5	3,8	4,9	6,4
1200	0,8	1,6	2,6	3,3	4,5
1400	0,5	1,0	1,7	2,2	2,8
≥1600	0,4	0,9	1,2	1,3	1,7

Tabela 76 - Valores dos coeficientes usados na estimativa da percentagem de tempo gasto seguindo para segmentos analisados por sentido

Fluxo no sentido oposto V_0 (ucp/h)	a	b
≤ 200	- 0,013	0,668
400	0,057	0,479
600	- 0,100	0,413
800	- 0,173	0,349
1000	- 0,320	0,276
1200	- 0,430	0,242
1400	- 0,522	0,225
≥1600	- 0,665	0,199

10.1.6 EXEMPLOS DE CÁLCULO

a) Exemplo 1

Determinar o nível de serviço na hora de pico, de uma rodovia de pista simples de Classe I, desenvolvendo-se em terreno ondulado, com as seguintes características geométricas:

- Extensão: 10 km;
- Faixas de tráfego: 3,40 m de largura;
- Acostamentos: 1,20 m de largura;
- Zonas de ultrapassagem proibida: 50% da rodovia.

O tráfego da rodovia no ano em estudo na hora de projeto (hora de pico) é de 1.600 veic/h e tem as seguintes características:

- 14 % de caminhões e ônibus;
- 4% de veículos de recreio;
- Fator de Hora de Pico de FHP = 0,95;
- Distribuição por sentido 50/50;
- Valor básico da velocidade de fluxo livre é 100 km/h;
- 12 acessos/km.

Solução:

Serão determinados a velocidade média de viagem e a percentagem de tempo gasto seguindo, e com esses parâmetros será obtido no Nível de Serviço.

1 – Determine o fator de ajustamento de greide para a velocidade média de viagem (use a Tabela 62).

$$f_G = 0,99$$

2 – Calcule f_{VP} para a velocidade média de viagem (use a Tabela 63 e a Equação 10/4).

$$f_{VP} = \frac{1}{1 + P_C(E_C - 1) + P_{VR}(E_{VR} - 1)}$$

$$f_{VP} = \frac{1}{1 + 0,14(1,5 - 1) + 0,04(1,1 - 1)} = 0,931$$

3 – Calcule v_p (use Equação 10-3)

$$V_P = \frac{V}{FHP \cdot f_G \cdot f_{VP}}$$

$$v_p = \frac{1.600}{(0,95)(0,99)(0,931)} = 1.827 \text{ ucp/h}$$

4 – Calcule o maior fluxo por sentido.

$$v_p \cdot 0,50 = 1.827 \cdot 0,50 = 914 \text{ ucp/h}$$

5 – Verifique os maiores fluxos por sentido e total dos dois sentidos perante os valores da capacidade 1.700 ucp/h e 3.200 ucp/h respectivamente.

$$914 \text{ ucp/h} < 1.700 \text{ ucp/h}$$

$$1.827 \text{ ucp/h} < 3.200 \text{ ucp/h}$$

6 – Calcule a VFL (use as Tabelas 59 e 60 e a Equação 10-2).

$$VFL = BVFL - f_{fa} - f_A$$

$$VFL = 100 - 2,8 - 8,0 = 89,2 \text{ km/h}$$

7 – Calcule a velocidade média de viagem (use a Tabela 65 e a Equação 10/5).

$$VMV = VFL - 0,0125 v_p - f_{up}$$

$$VMV = 89,2 - 0,0125(1.827) - 1,3 = 65,1 \text{ km/h}$$

8 – Determine o fator de ajustamento de greide para a percentagem de tempo gasto seguindo (use a Tabela 62).

$$f_G = 1,00$$

9 – Calcule f_{VP} para o tempo gasto seguindo (use a Tabela 64 e a Equação 10-4).

$$f_{VP} = \frac{1}{1 + P_C(E_C - 1) + P_{VR}(E_{VR} - 1)}$$

$$f_{VP} = \frac{1}{1 + 0,14(1,0 - 1) + 0,04(1,0 - 1)} = 1,000$$

10 – Calcule v_p (use Equação 10-3).

$$v_p = \frac{V}{FHP \cdot f_G \cdot f_{VP}}$$

$$v_p = \frac{1.600}{(0,95)(1,00)(1,00)} = 1.684 \text{ ucp/h}$$

11 – Calcule o maior fluxo por sentido.

$$v_p \cdot 0,50 = 1.684 \cdot 0,50 = 842 \text{ ucp/h}$$

12 – Verifique os maiores fluxos por sentido e total dos dois sentidos perante os valores da capacidade 1.700 ucp/h e 3.200 ucp/h respectivamente.

$$842 \text{ ucp/h} < 1.700 \text{ ucp/h}$$

$$1.684 \text{ ucp/h} < 3.200 \text{ ucp/h}$$

13 – Calcule a percentagem base do tempo gasto seguindo (use a Equação 10-7).

$$BPTGS = 100 \left(1 - e^{-0,000879 v_p} \right)$$

$$BPTGS = 100 \left(1 - e^{-0,000879(1,684)} \right) = 77,2\%$$

14 – Calcule a percentagem de tempo gasto seguindo (use a Tabela 66 e a Equação 10-6)

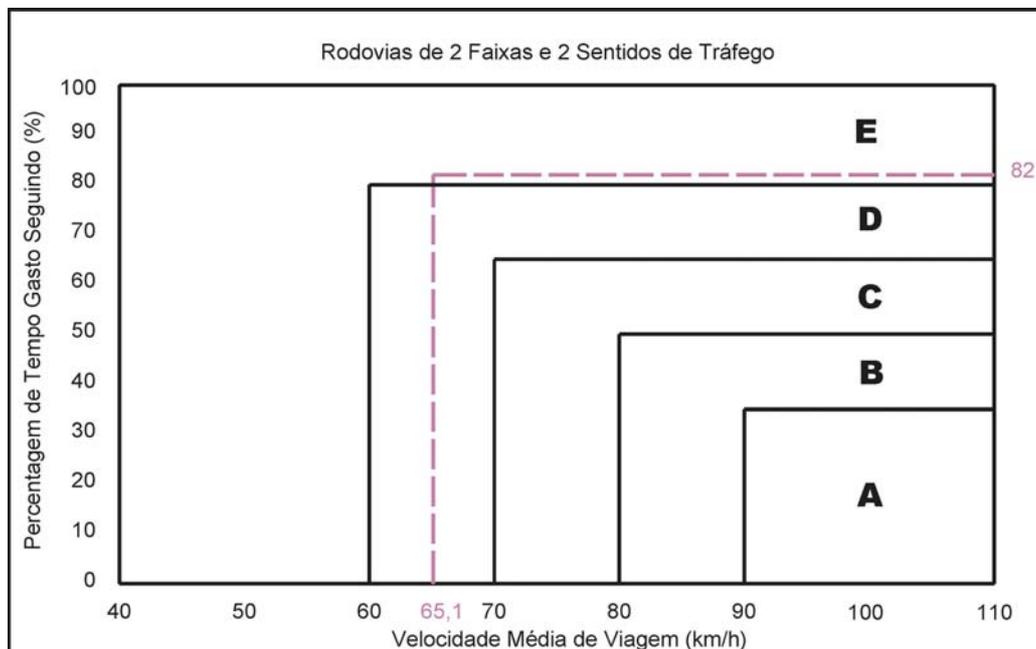
$$PTGS = BPTGS + f_{d/up}$$

$$PTGS = 77,2 + 4,8 = 82,0\%$$

15 – Determine o Nível de Serviço (use a Figura 60)

Sendo a Velocidade Média de Viagem 65,1 km/h e a Percentagem de Tempo Seguindo 82,0%, aplicando na Figura 60 tem-se o Nível E, conforme pode ser observado na Figura 61.

Figura 61 - Determinação do nível de serviço



b) Exemplo 2

Determine o nível de serviço no sentido de pico em um trecho de rodovia de Classe I com as seguintes características:

- Extensão: 10 km;
- Faixas de tráfego: 3,30 m;
- Acostamentos: 1,20 m;
- Zonas de ultrapassagem proibida: 50%;
- 1.200 veic/h no sentido a analisar;
- 14% de caminhões e ônibus;
- 4% de veículos de recreio;
- VFL básica de 100 km/h;
- 12 acessos por km;
- Tráfego no sentido oposto: 400 veic/h;
- FHP igual a 0,95;
- Terreno ondulado.

Solução:

Serão determinados a velocidade média de viagem e a percentagem de tempo gasto seguindo no sentido de análise, e com esses parâmetros será obtido o Nível de Serviço.

1 – Determine o fator de ajustamento de greide, f_G , para velocidade média de viagem no sentido de análise (use a Tabela 62).

$$f_G = 0,99$$

2 – Calcule f_{VP} e v_s para velocidade média de viagem no sentido de análise (use a Tabela 63 e Equações 10-4 e 10-9).

$$f_{VP} = \frac{1}{1 + P_C(E_C - 1) + P_{VR}(E_{VR} - 1)} \quad (10 - 4)$$

$$f_{VP} = \frac{1}{1 + 0,14(1,5 - 1) + 9,04(1,1 - 1)} = 0,931$$

$$v_P = \frac{V}{FHP \cdot f_G \cdot f_{VP}} \quad (10 - 9)$$

$$v_P = \frac{1.200}{(0,95)(0,99)(0,931)} = 1.370 \text{ ucp/h}$$

3 – Determine o fator de ajustamento de greide, f_G , para velocidade média de viagem no sentido oposto ao de análise (use a Tabela 62).

$$f_G = 0,93$$

4 – Calcule f_{VP} e v_o para velocidade média de viagem no sentido oposto ao de análise (use a Tabela 63 e Equações 10-4 e 10-10).

$$f_{VP} = \frac{1}{1 + P_C(E_C - 1) + P_{VR}(E_{VR} - 1)} \quad (10 - 4)$$

$$f_{VP} = \frac{1}{1 + 0,14(1,9 - 1) + 0,04(1,1 - 1)} = 0,885$$

$$V_P = \frac{V}{FHP \cdot f_G \cdot f_{VP}} \quad (10 - 10)$$

$$V_P = \frac{400}{(0,95)(0,93)(0,885)} = 512 \text{ ucp/h}$$

5 – Verifique os valores de v_s e v_o , em face à capacidade de 1.700 ucp/h

$$1.370 \text{ ucp/h} < 1.700 \text{ ucp/h}$$

$$512 \text{ ucp/h} < 1.700 \text{ ucp/h}$$

6 – Calcule a VFL (use as Tabelas 59 e 60 e a Equação 10-2)

$$VFL = BVFL - f_{fa} - f_A \quad (10-2)$$

$$VFL = 100 - 2,8 - 6,0 = 89,2 \text{ km/h}$$

7 – Calcule a velocidade média de viagem (use a Tabela 73 e Equação 10-12)

$$VMV_s = VFL_s - 0,0125(v_s + v_o) - f_{up} \quad (10-12)$$

$$VMV_s = 89,2s - 0,0125(1.370 + 512) - 2,7 = 63,0 \text{ km/h}$$

8 – Determine o fator de ajustamento de greide f_G para a percentagem de tempo gasto seguindo no sentido de análise (use o a Tabela 62)

$$f_G = 1,00$$

9 – Calcule f_{VP} e v_s para a percentagem de tempo gasto seguindo no sentido de análise (use a Tabela 64 e as Equações 10-4 e 10-9).

$$f_{VP} = \frac{1}{1 + P_C(E_C - 1) + P_{VR}(E_{VR} - 1)} \quad (10 - 4)$$

$$f_{VP} = \frac{1}{1 + 0,14(1,0 - 1) + 0,04(1,0 - 1)} = 1,000$$

$$v_P = \frac{V}{FHP \cdot f_G \cdot f_{VP}} \quad (10 - 9)$$

$$v_P = \frac{1.200}{(0,95)(1,00)(1,000)} = 1.263 \text{ ucp} / h$$

10 – Determine o fator de ajustamento de greide f_G para a percentagem de tempo gasto seguindo para o sentido oposto ao de análise (use a Tabela 62).

$$f_G = 0,94$$

11 – Calcule f_{VP} e v_o para a percentagem de tempo gasto seguindo o sentido oposto (use a Tabela 64 e Equações 10-4 e 10-10).

$$f_{VP} = \frac{1}{1 + P_C(E_C - 1) + P_{VR}(E_{VR} - 1)} \quad (10 - 4)$$

$$f_{VP} = \frac{1}{1 + 0,14(1,5 - 1) + 0,04(1,0 - 1)} = 0,935$$

$$v_P = \frac{V}{FHP \cdot f_G \cdot f_{VP}} \quad (10 - 10)$$

$$v_P = \frac{400}{(0,95)(0,94)(0,935)} = 479 \text{ ucp} / h$$

12 – Verifique v_o e v_o perante o valor da capacidade de 1.700 ucp/h.

$$1.263 \text{ ucp} / h < 1.700 \text{ ucp} / h$$

$$479 \text{ ucp} / h < 1.700 \text{ ucp} / h$$

13 – Calcule o valor básico da percentagem de tempo gasto seguindo no sentido de análise (use a Tabela 75 e Equação 10/14)

$$BPTGS_s = 100 \left(1 - e^{((-0,074)(1,263)^{0,453})} \right) = 84,7\% \quad (10/14)$$

14 – Calcule o valor da percentagem de tempo gasto seguindo no sentido de análise (use a Tabela 74 e Equação 10-13)

$$PTGS_s = BPTGS_s + f_{up} \quad (10-13)$$

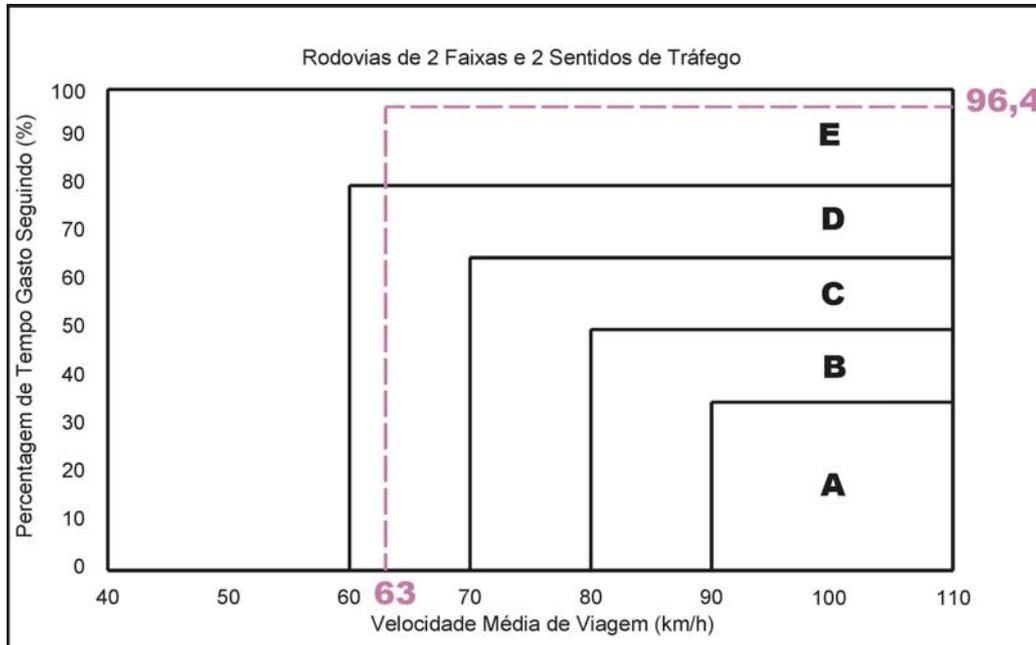
$$PTGS_s = 84,7 + 11,7 = 96,4\%$$

15 – Determine o Nível de Serviço (use Figura 60).

$$VMV_s = 63,0 \text{ km/h} \quad e \quad PTGS_s = 96,4 \%$$

Aplicando os valores obtém-se *Nível E*, conforme pode ser observado na Figura 62.

Figura 62 - Determinação do nível de serviço



10.2 RODOVIAS DE QUATRO OU MAIS FAIXAS

10.2.1 LIMITES DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Nos procedimentos metodológicos para determinação da capacidade e nível de serviço a seguir descritos, não são considerados os efeitos que possam ser provocados por:

- Problemas causados por construção na rodovia, acidentes ou travessias de ferrovias;
- Estacionamento eventual nos acostamentos;
- Efeitos de reduções ou acréscimos de faixas de tráfego nos extremos do trecho;
- Perdas de tempo provocadas por transições na passagem para trechos com pista simples;
- Diferenças entre barreiras rígidas e faixas de giro à esquerda com duas faixas;
- Velocidades de Fluxo Livre abaixo de 70 km/h ou acima de 100 km/h.

10.2.2 CONDIÇÕES IDEAIS

As condições ideais em uma rodovia de quatro ou mais faixas de tráfego incluem:

- Boas condições climáticas, boa visibilidade, ausência de incidentes e de acidentes;
- Faixas de tráfego com larguras mínimas de 3,60 m;

- Espaço livre lateral mínimo de 1,80 m para cada lado;
- Tráfego apenas de carros de passeio;
- Ausência de acessos;
- Existência de canteiro central;
- Velocidade de fluxo livre maior que 100 km/h.

10.2.3 NÍVEIS DE SERVIÇO

Embora o conceito de nível de serviço seja em essência o mesmo do caso de rodovia de pista simples, algumas particularidades tornam conveniente sua redefinição para o caso de rodovias de faixas múltiplas.

São definidos seis Níveis de Serviço, de A a F:

- **Nível de Serviço A:** descreve as condições de fluxo livre. A operação dos veículos não é virtualmente afetada pela presença de outros veículos, depende apenas das condições geométricas e das preferências dos motoristas. Não há problemas de manobras dentro da corrente de tráfego. Eventuais interferências do fluxo são absorvidas sem mudanças na velocidade.
- **Nível de Serviço B:** também indica fluxo livre, embora a presença dos outros veículos já seja sentida. As velocidades médias de viagem são as mesmas que no Nível A, mas os motoristas têm liberdade de manobra um pouco menor. Eventuais interferências do fluxo são facilmente absorvidas, embora seja perceptível a queda do nível nesses locais.
- **Nível de Serviço C:** a influência da densidade do tráfego na operação torna-se mais visível. A habilidade para manobrar dentro da corrente de tráfego é claramente afetada pelos outros veículos. Em rodovias com *VFL* acima de 80 km/h as velocidades sofrem redução. Pequenas interferências podem provocar a formação de filas.
- **Nível de Serviço D:** a habilidade para manobrar é severamente restringida devido a congestionamento do tráfego. A velocidade é reduzida pelo volume crescente. Apenas distúrbios muito pequenos podem ser absorvidos sem que se formem extensas filas.
- **Nível de Serviço E:** representa operação próxima à capacidade. As densidades variam, dependendo da *VFL*. Os veículos operam com o mínimo de espaçamento para manter o fluxo uniforme. Eventuais distúrbios não podem ser absorvidos rapidamente, provocando a formação de filas e levando o nível de serviço para o nível F. Para a maioria das rodovias com *VFL* entre 70 e 100 km/h, as velocidades médias dos carros de passeio variam entre 68 e 88 km/h, de forma imprevisível.
- **Nível de Serviço F:** representa fluxo forçado ou em colapso. Ocorre quando o fluxo de veículos que chega supera o que sai, ou quando a demanda excede a capacidade da via. Embora o fluxo pareça estar operando dentro da capacidade a jusante dos pontos em colapso, formam-se filas atrás dos mesmos. A operação dentro das filas é altamente instável, com os veículos seguidamente parando e se movimentando

novamente durante pequenos períodos. As velocidades caem a valores inferiores a 48 km/h.

Os critérios para determinação dos níveis de serviço constam da Tabela 77.

Tabela 77 - Critérios para determinação dos níveis de serviço em rodovias com quatro ou mais faixas de tráfego

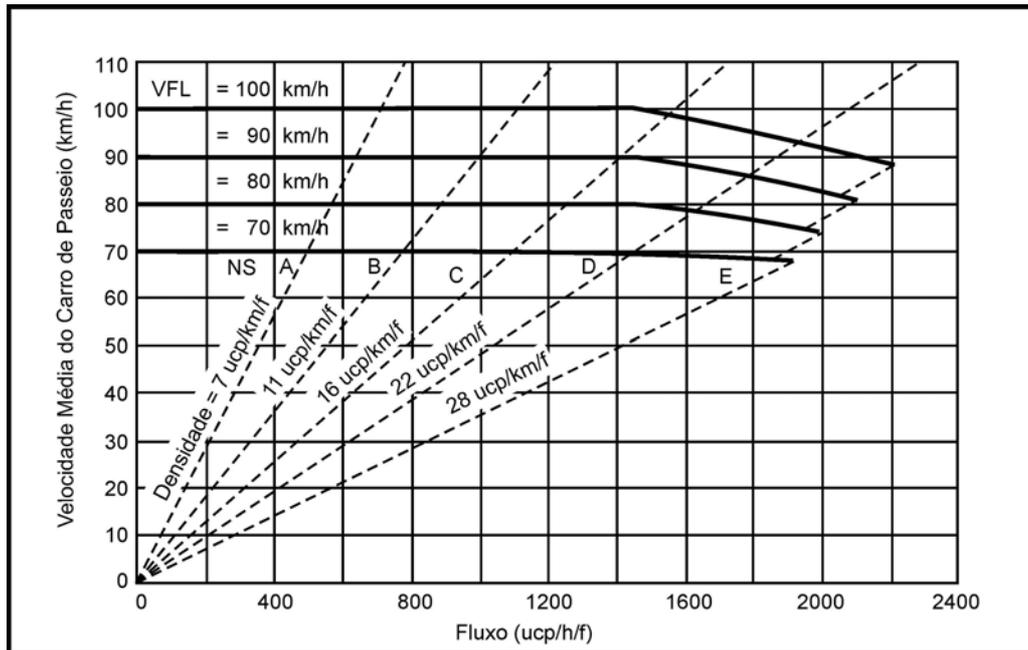
Velocidade de fluxo livre	Critérios	Níveis de serviço				
		A	B	C	D	E
100 km/h	Densidade Máxima (ucp/km/faixa)	7	11	16	22	25
	Velocidade Média (km/h)	100,0	100,0	98,4	91,5	88,0
	Velocidade Média (volume/capac.)	0,32	0,50	0,72	0,92	1,00
	Fluxo Máximo (ucp/h/faixa)	700	1100	1575	2015	2200
90 km/h	Densidade Máxima (ucp/km/faixa)	7	11	16	22	26
	Velocidade Média (km/h)	90,0	90,0	89,8	84,7	80,8
	Razão máxima	0,30	0,47	0,68	0,89	1,00
	Volume /Capacidade (/c)					
	Fluxo máximo (ucp/h/faixa)	630	990	1435	1860	2100
80 km/h	Densidade Máxima (ucp/km/faixa)	7	11	16	22	27
	Velocidade Média (km/h)	80,0	80,0	80,0	77,6	74,1
	Razão máxima	0,28	0,44	0,64	0,85	1,00
	Volume /Capacidade (/c)					
	Fluxo máximo (ucp/h/faixa)	560	880	1280	1705	2000
70km/h	Densidade Máxima (ucp/km/faixa)	7	11	16	22	28
	Velocidade Média (km/h)	70,0	70,0	70,0	69,6	67,9
	Razão máxima	0,26	0,41	0,59	0,81	1,00
	Volume /Capacidade (/c)					
	Fluxo máximo (ucp/h/faixa)	490	770	1120	1530	1900

NOTA: O Nível de Serviço F apresenta tráfego instável, em que os valores das variáveis representativas selecionadas são de difícil apuração.

a) Determinação da Velocidade de Fluxo Livre (VFL)

A VFL é a velocidade média dos carros de passeio para fluxos até 1.400 ucp/h/faixa. Se a determinação da velocidade tiver que ser feita para fluxos maiores, a VFL pode ser determinada usando as curvas da Figura 63.

Figura 63 - Curvas de variação do fluxo com a velocidade



O estudo da velocidade média deve ser feito medindo as velocidades de pelo menos 100 carros de passeio, escolhidos de forma sistemática (por exemplo cada 4º carro, ou todos os carros, etc.), dentro de um período de fluxo estável. Os volumes devem ser medidos devidamente classificados, para que possa ser feita sua transformação em unidades de carros de passeio.

Se não for possível a medição da velocidade no campo, a *VFL* deve ser estimada com emprego da fórmula:

$$VFL = BVFL - f_f - f_{el} - f_{cc} - f_A \quad (10 - 15)$$

onde:

VFL = estimativa de *VFL* (km/h)

BVFL = valor básico *BVFL* (km/h)

f_f = ajustamento para largura de faixa, da Tabela 78 (km/h)

f_{el} = ajustamento para espaço livre lateral, da Tabela 79 (km/h)

f_{cc} = ajustamento para o tipo de canteiro central, da Tabela 80 (km/h)

f_A = ajustamento para o número de acessos, da Tabela 81 (km/h)

O valor básico *BVFL* pode ser estimado pela medição da velocidade em uma rodovia em condições semelhantes. Pode também ser estimado em função dos limites de velocidades permitidos pela sinalização. Pesquisas recentes feitas nos Estados Unidos mostram que para velocidades limites de 65 a 70 km/h pode-se adotar para *BVFL* valores 11 km/h mais altos; para velocidades limites de 80 a 90 km/h, valores 8

km/h maiores. Pode-se usar um valor básico $BVFL = 100$ km/h para rodovias de várias faixas rurais ou suburbanas (valor sugerido no Capítulo 12 do HCM 2000).

Ajustamento para Levar em Conta a Largura das Faixas de Tráfego

A Tabela 78 contém os valores de f_f em km/h a serem reduzidos de $BVFL$ em função da largura das faixas de tráfego.

Tabela 78 - Ajustamento para Largura de Faixa (f_f)

Largura de Faixa (m)	Redução f_f (km/h)
3,6	0,0
3,5	1,0
3,4	2,1
3,3	3,1
3,2	5,6
3,1	8,1
3,0	10,6

Ajustamento em Função do Espaço Livre Lateral

O ajustamento de espaço livre lateral f_{el} fornece o valor da redução de velocidade provocada por obstruções fixas ao lado da rodovia ou no canteiro central, tais como: postes, sinais, árvores, barreiras, muros de arrimo, e outros obstáculos. Meios-fios de alturas padronizadas não são considerados obstáculos.

O valores de f_{el} são fornecidos para rodovias de quatro e de seis faixas de tráfego, em função do espaço livre lateral dado por:

$$ELL = ELL_D + ELL_E \quad (10-16)$$

onde:

ELL = espaço livre lateral (m)

ELL_D = espaço livre a partir do bordo direito da pista de rolamento até a primeira obstrução (se maior que 1,80 m usar 1,80 m);

ELL_E = espaço livre a partir do bordo esquerdo das faixas de rolamento até a primeira obstrução no canteiro central (se maior que 1,80 m usar 1,80 m).

Em rodovias sem canteiro central ELL_E é sempre 1,80 m. Quando existirem duas faixas de giro à esquerda no canteiro central adota-se $ELL_E = 1,80$ m.

Tabela 79 - Ajustamento para espaço livre lateral (f_{el})

Rodovias de 4 faixas		Rodovias de 6 faixas	
Espaço lateral (m)	Redução f_{el} (km/h)	Espaço lateral (m)	Redução f_{el} (km/h)
3,6	0,0	3,6	0,0
3,0	0,6	3,0	0,6
2,4	1,5	2,4	1,5
1,8	2,1	1,8	2,1
1,2	3,0	1,2	2,7
0,6	5,8	0,6	4,5
0,0	8,7	0,0	6,3

Ajustamento para Levar em Conta o Tipo de Canteiro Central

Os valores da Tabela 80 mostram que a existência de tráfego oposto sem a proteção de um canteiro central provoca a redução da *VFL*.

Tabela 80 - Ajustamento para o tipo de canteiro central (f_{cc})

Tipo de canteiro central	Redução f_{cc} (km/h)
Rodovias sem canteiro central	2,6
Rodovias com canteiro central	0,0

Ajustamento para Levar em Conta a Densidade de Acessos à Rodovia

Para determinar o ajustamento devido aos acessos à rodovia divide-se o número total de interseções e acessos do lado direito do segmento em estudo pela sua extensão em quilômetros. Esse número é determinado separadamente para cada sentido.

Para o caso de rodovias de um único sentido de tráfego, divide-se o número total de interseções e acessos dos dois lados do segmento, pela sua extensão em quilômetros.

Tabela 81 - Ajustamento devido à densidade de acessos (f_A)

Acesso por km	Redução f_A (km/h)
0	0,0
6	4,0
12	8,0
18	12,0
≥ 24	16,0

NOTA: Calcula-se o número de acessos no trecho e divide-se por sua extensão em quilômetros

A densidade deve ser calculada para uma extensão mínima de 5 km, se houver dados disponíveis. Na ausência de dados devem ser usados os valores da Tabela 61 já apresentado para pista simples.

b) Determinação do Fluxo

O fluxo nos 15 minutos mais carregados da hora de pico são calculados pela seguinte fórmula:

$$V_p = \frac{V}{FHP \cdot N \cdot f_{vp} \cdot f_p}$$

onde:

v_p = fluxo nos 15 minutos mais carregados da hora de pico (ucp/h/faixa)

V = volume horário de projeto (hora de pico) (veic/h)

FHP = fator de hora de pico

f_{vp} = fator de ajustamento para veículos pesados

f_p = fator de ajustamento para população

Ajustamento para Veículos Pesados

A influência da presença de veículos pesados é considerada com a introdução do fator f_p , determinado pela fórmula:

$$f_{VP} = \frac{1}{1 + P_C(E_C - 1) + P_{VR}(E_{VR} - 1)} \quad (10 - 18)$$

onde:

E_C, E_{VR} = equivalentes em carros de passeio para caminhões e ônibus e para veículos de recreio respectivamente

P_C, P_{VR} = proporção de caminhões mais ônibus e de veículos de recreio respectivamente

f_{vp} = fator de ajustamento para veículos pesados.

Os equivalentes em carros de passeio são de dois tipos: para trechos extensos de rodovia ou para rampas específicas, conforme Tabelas 82 a 85.

Tabela 82 - Equivalentes em carros de passeio em trechos extensos de rodovia

Tipo de Terreno			
Fator	Plano	Ondulado	Montanhoso
E_C (caminhões e ônibus)	1,5	2,5	4,5
E_{vr} (veículos de recreio)	1,2	2,0	4,0

Um trecho deve ser enquadrado na categoria de trechos extensos, se não contiver greides de 3% com comprimentos maiores ou iguais a 1,6 km e se cada um dos greides superiores a 3% não tem extensão maior que 0,8 km.

- *Terreno Plano*: é uma combinação de alinhamentos horizontais e verticais que permite que os veículos pesados mantenham aproximadamente as mesmas velocidades dos carros de passeio. Geralmente incluem segmentos curtos com greides de 1% ou 2%.
- *Terreno Ondulado*: é uma combinação de alinhamentos horizontais e verticais que faz com que os veículos pesados trafeguem com velocidades substancialmente inferiores às dos carros de passeio. O terreno não exige, entretanto, que os veículos se desloquem lentamente ao longo de extensões significativas, nem a intervalos freqüentes.
- *Terreno Montanhoso*: é uma combinação de alinhamentos horizontais e verticais que faz com que os veículos se desloquem lentamente ao longo de extensões significativas, ou a intervalos freqüentes.

Equivalentes para Greides Específicos

- *Subidas*: as Tabelas 84 e 85 apresentam os equivalentes para caminhões e ônibus (E_C) e para veículos de recreio (E_{VR}) respectivamente, para subidas uniformes de rodovias com quatro ou seis faixas de tráfego.
- *Descidas*: a Tabela 85 apresenta os equivalentes para caminhões e ônibus (E_C) para trechos em descida de rodovias com quatro ou seis faixas de tráfego. Para descidas com greide inferior a 4% e/ou extensão inferior a 3,2 km, devem ser usados os equivalentes para terrenos planos ou ondulados da Tabela 83. Para veículos de recreio deverão ser utilizados os equivalentes E_{VR} da Tabela 83 para terreno plano.
- *Conjunto de greides*: Para um conjunto de subidas (descidas) de greides sucessivos de diferentes valores, mas iguais ou inferiores a 4%, ou com extensão total igual ou inferior a 1200 m, pode-se adotar como greide equivalente o que se calcula dividindo a diferença de cotas entre o início e fim do trecho pelo seu comprimento. Para greides maiores que 4% e comprimentos mais longos, uma técnica mais apropriada é descrita no Apêndice A do Capítulo 23 do HCM 2000.

Tabela 83 - Equivalentes em carros de passeio para caminhões e ônibus em subidas uniformes

Greide de subida	Extensão	E _c								
		Percentagens de caminhões e ônibus								
(%)	(km)	2	4	5	6	8	10	15	20	25
<2	Qualquer	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
≥ 2 - 3	0,0 - 0,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	> 0,4 - 0,8	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	> 0,8 - 1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	> 1,2 - 1,6	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	> 1,6 - 2,4	2,5	2,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	> 2,4	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
≥ 3 - 4	0,0 - 0,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	> 0,4 - 0,8	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	> 0,8 - 1,2	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	> 1,2 - 1,6	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	> 1,6 - 2,4	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	> 2,4	4,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
≥ 4 - 5	0,0 - 0,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	> 0,4 - 0,8	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	> 0,8 - 1,2	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	> 1,2 - 1,6	4,0	3,5	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	> 1,6	5,0	4,0	4,0	4,0	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0
≥ 5 - 6	0,0 - 0,4	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	> 0,4 - 0,8	4,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	> 0,8 - 1,2	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	> 1,2 - 1,6	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	> 1,6 - 2,4	5,5	5,0	4,5	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	> 2,4	6,0	5,0	5,0	4,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
> 6	0,0 - 0,4	4,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0
	> 0,4 - 0,8	4,5	4,0	3,5	3,5	3,5	3,0	2,5	2,5	2,5
	> 0,8 - 1,2	5,0	4,5	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,5
	> 1,2 - 1,6	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0	3,0	3,0
	> 1,6 - 2,4	6,0	5,5	5,0	5,0	4,5	4,0	3,5	3,5	3,5
	> 2,4	7,0	6,0	5,5	5,5	5,0	4,5	4,0	4,0	4,0

Tabela 84 - Equivalentes em carros de passeio para veículos de recreio em subidas uniformes

Greide de subida	Extensão	E_c								
		Percentagens de veículos de recreio								
(%)	(km)	2	4	5	6	8	10	15	20	25
< 2	Qualquer	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
≥ 2	0,0 – 0,8	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	> 0,8	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,2	1,2	1,2
≥ 3 - 4	0,0 – 0,4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	> 0,4 - 0,8	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5
	> 0,8	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5
≥ 4 - 5	0,0 – 0,4	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	> 0,4 - 0,8	4,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0
	> 0,8	4,5	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0
≥ 5 - 6	0,0 – 0,4	4,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5
	> 0,4 - 0,8	6,0	4,0	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0
	> 0,8	6,0	4,5	4,0	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,0

Tabela 85 - Equivalentes em carros de passeio para caminhões em descidas

Greide de subida	Extensão	E_c			
		5	10	15	20
< 4	Qualquer	1,5	1,5	1,5	1,5
4 - 5	≤ 6,4	1,5	1,5	1,5	1,5
4 - 5	> 6,4	2,0	2,0	2,0	1,5
> 5 - 6	≤ 6,4	1,5	1,5	1,5	1,5
> 5 - 6	> 6,4	5,5	4,0	4,0	3,0
> 6	≤ 6,4	1,5	1,5	1,5	1,5
> 6	> 6,4	7,5	6,0	5,5	4,5

Fator de Ajustamento para População

O fator de ajustamento para população f_p reflete o efeito que os motoristas de fim de semana e de horas de almoço exercem na rodovia. Seu valor varia de 0,85 a 1,00. Em princípio deve-se usar $f_p = 1$, que representa tráfego de motoristas familiarizados com a rodovia. O valor menor 0,85 refere-se à participação predominante de motoristas de fim de semana.

c) Determinação do Nível de Serviço

O Nível de Serviço pode ser determinado diretamente na Figura 65 com base na *VFL* e no fluxo v_p em ucp/h/faixa, da seguinte maneira:

- Divida a rodovia em segmentos uniformes em termos geométricos e de tráfego (número de faixas de tráfego, tipo e largura do canteiro central, mudanças de greide, números de acessos por quilômetro, velocidades permitidas)
- Com base no valor medido ou estimado da *VFL* trace a curva de variação velocidade-fluxo interpolada entre as curvas da Figura 64.
- Baseado no ponto da curva interpolada correspondente ao valor v_p determine a velocidade média dos carros de passeio (*vmp*) e o Nível de Serviço.
- Determine a densidade do fluxo pela equação:

$$D = \frac{v_p}{vmp} \quad (10-19)$$

onde:

D = densidade (ucp/km/faixa)

v_p = fluxo (ucp/h/faixa)

vmp = velocidade média dos carros de passeio (km/h)

O Nível de Serviço também pode ser determinado na Tabela 77 a partir da densidade calculada.

10.2.4 EXEMPLOS DE CÁLCULO

Um trecho de rodovia no sentido leste oeste tem 3,4 km de extensão e é constituído por duas faixas de tráfego por sentido separadas por uma faixa para giros à esquerda. A rodovia inclui um trecho de 1.830 m, com greide 4% seguido de um trecho em terreno plano de 1.570 m. Determine os níveis de serviço no trecho plano e no trecho com rampa de 4% no período de pico.

Características gerais:

- Terreno plano;
- Faixas de tráfego com 3,6 m;
- 6% de caminhões e ônibus;
- 6 acessos no sentido leste e 8 acessos no sentido oeste;
- Espaço livre lateral $\geq 3,6$ m nos dois sentidos;
- 85% dos veículos trafegam com velocidade ≤ 83 km/h;
- Volume na hora de pico de 1.500 veic/h.

- FHP = 0,90
- VFL é 3,0 km/h inferior à velocidade percentil de 85%

a) 1ª Parte – Nível de Serviço no trecho plano (1.570 m)

Solução:

1 - Determine f_{vp} para cada sentido, usando a Tabela 82.

$$f_{VP} = \frac{1}{1 + P_C(E_C - 1) + P_{VR}(E_{VR} - 1)}$$

$$f_{VP} = \frac{1}{1 + 0,06(1,5 - 1) + 0} = 0,971$$

2 – Determine v_p para cada sentido, usando a equação 10-17

$$v_p = \frac{V}{FHP \cdot N \cdot f_{vp} \cdot f_p} \quad (10 - 17)$$

$$v_p = \frac{1.500}{0,90 \cdot 2 \cdot 0,971 \cdot 1,00} = 858 \text{ ucp} / \text{h} / \text{faixa}$$

3 – Determine a VFL para cada sentido, usando

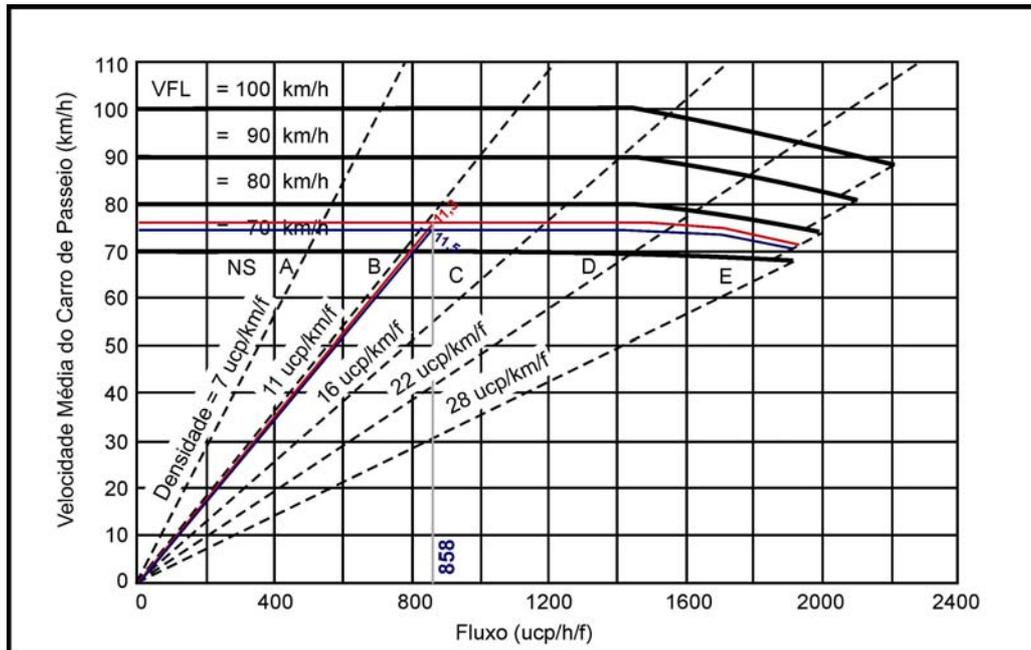
$$VFL = BVFL - f_f - f_{el} - f_{cc} - f_A \quad (10-15)$$

$$\text{Sentido Leste:} \quad VFL = 80 - 0,0 - 0,0 - 0,0 - 4,0 = 76,0 \text{ lm/h}$$

$$\text{Sentido Oeste:} \quad VFL = 80 - 0,0 - 0,0 - 0,0 - 5,3 = 74,7 \text{ lm/h}$$

4 – Determine o Nível de Serviço, usando a Figura 64.

Figura 64 - Determinação do nível de serviço

**Resultados:**

Sentido Leste

Sentido Oeste

Nível de Serviço C**Nível de Serviço C**

Velocidade = 76,0 km/h

Velocidade = 74,7 km/h

Densidade = 11,3 ucp/km/faixa

Densidade = 11,5 ucp/km/faixa

b) 2ª Parte – Nível de Serviço no trecho com 4% de declividade (1.830 m)**Características gerais complementares:**

- 4,0 % de declividade (descida no sentido leste, subida no sentido oeste);
- Faixas de tráfego com 3,6 m;
- 6% de caminhões e ônibus;
- 6 acessos no sentido leste e 0 acessos no sentido oeste;
- Espaço livre lateral $\geq 3,6$ m nos dois sentidos;
- 85% dos veículos trafegam com velocidade $\leq 87,0$ km/h- sentido leste;
- 85% dos veículos trafegam com velocidade $\leq 77,0$ km/h- sentido oeste;
- Volume na hora de pico de 1500 veic/h;
- FHP = 0,90;
- VFL é 3,0 km/h inferior à velocidade percentual de 85%.

Solução:

1 - Determine f_{vp} para cada sentido, usando os Quadros X/7 e 10.2.4/8

$$f_{VP} = \frac{1}{1 + P_C(E_C - 1) + P_{VR}(E_{VR} - 1)} \quad (10 - 18)$$

$$f_{VP} = \frac{1}{1 + 0,06(1,5 - 1) + 0} = 0,971 \text{ sentido leste}$$

$$f_{VP} = \frac{1}{1 + 0,06(3,0 - 1) + 0} = 0,893 \text{ sentido oeste}$$

2 – Determine v_p para cada sentido, usando a equação 10-17

$$v_p = \frac{V}{FHP \cdot N \cdot f_{vp} \cdot f_p}$$

$$v_p = \frac{1.500}{0,90 \cdot 2 \cdot 0,971 \cdot 1,00} = 858 \text{ ucp / h / faixa sentido leste}$$

$$v_p = \frac{1.500}{0,90 \cdot 2 \cdot 0,893 \cdot 1,00} = 933 \text{ ucp / h / faixa sentido oeste}$$

3 – Determine a VFL para cada sentido, usando

$$VFL = BVFL - f_f - f_{el} - f_{cc} - f_A \quad (10-15)$$

$$VFL = 84 - 0,0 - 0,0 - 0,0 - 4,0 = 80,0 \text{ km/h} \quad \text{Sentido Leste}$$

$$VFL = 74 - 0,0 - 0,0 - 0,0 - 0,0 = 74,0 \text{ km/h} \quad \text{Sentido Oeste}$$

4 – Determine o Nível de Serviço, usando a Figura 65.

Resultados:

Sentido Leste

Sentido Oeste

Nível de Serviço B**Nível de Serviço C**

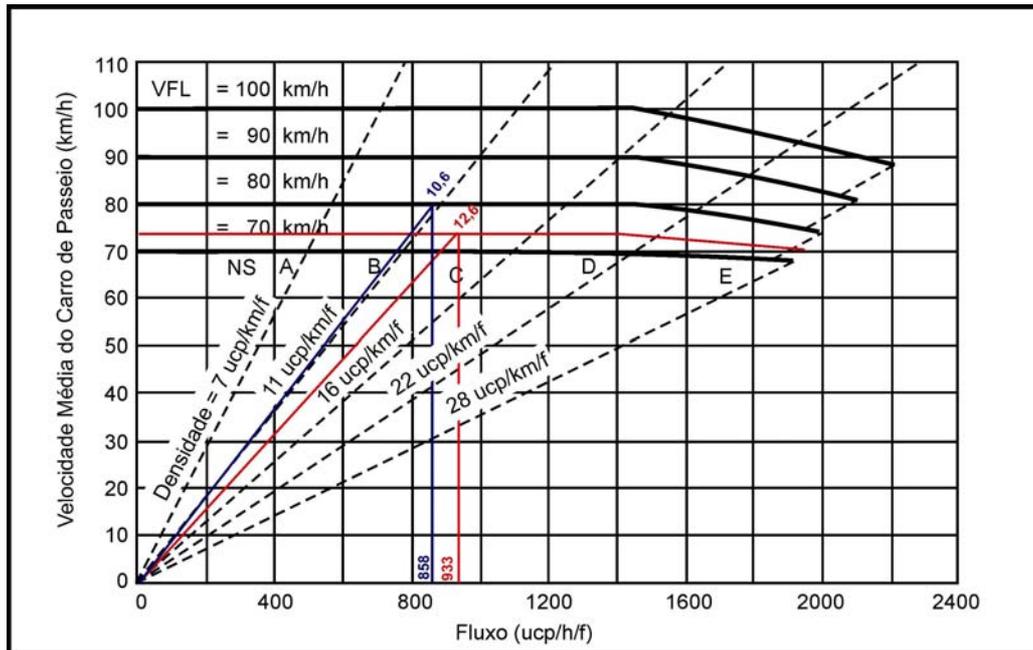
Velocidade = 80,0 km/h

Velocidade = 74,0 km/h

Densidade = 10,7 ucp/km/faixa

Densidade = 12,6 ucp/km/faixa

Figura 65 - Determinação do nível de serviço



APÊNDICE

APÊNDICE A - ANÁLISE ESTATÍSTICA

1 OBJETIVO

Este apêndice tem o objetivo de reproduzir as principais fórmulas e conceitos utilizados nos cálculos estatísticos da engenharia de tráfego. Nenhuma das fórmulas é demonstrada e não se discute a teoria estatística; para tal, o técnico deve reportar-se à literatura especializada. Baseou-se no texto da publicação *Pesquisa e Levantamentos de Tráfego* da Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo – CET/SP, complementado por informações do *Manual of Transportation Engineering Studies*, Institute of Transportation Engineers – ITE, 2000.

2 MEDIDAS DE POSIÇÃO

Neste item serão apresentadas as medidas que permitem representar uma série de dados. Existe uma tendência da série ter algum valor posicionado de forma central dentro do conjunto de dados. Os métodos numéricos que medem essa tendência são as Medidas de Posição: *média*, *mediana* e *moda*.

Média

Há várias medidas de tendência central, das quais a mais comum é a média aritmética.

A *Média Aritmética* é a razão entre o somatório dos valores observados e o número de observações.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

onde:

\bar{x} = média aritmética

$\sum x_i$ = somatório dos valores observados

n = número de observações

Para dados agrupados em classes em torno de um valor central, a média aritmética será definida por:

$$\bar{x} = \frac{\sum f_i x_i}{\sum f_i}$$

onde:

\bar{x} = média aritmética

$\sum f_i x_i$ = somatório dos produtos entre freqüência da classe e seu valor central

$\sum f_i$ = somatório das freqüências de todas as classes

Cabe observar que o valor da média aritmética obtido com o agrupamento em classes é um valor aproximado do conjunto de valores observados, considerado satisfatório para a finalidade.

Quando em um grupo de “n” observações os seus valores se distribuem em “k” grupos de valores “ x_i ”, sendo “ f_i ” o número de valores do grupo “i”, os valores podem ser agrupados e o valor médio das observações, chamado de Média Ponderada, é calculado pela fórmula:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k f_i x_i}{n}, \text{ em que } n = \sum_{i=1}^k f_i$$

onde:

\bar{x} = média ponderada

x_i = valor do dado repetido

f_i = peso ou freqüência do valor x_i

n = número de observações

k = número de grupos

Dados um conjunto de números “n” chama-se de Desvio de um valor “ x_i ” do conjunto em relação a um valor “a”, a diferença “ $x_i - a$ ”. Convém ressaltar as seguintes propriedades da média do conjunto.

- A soma de todos os desvios em relação em relação à média é igual a zero.
- A soma dos quadrados dos desvios de todos os valores do conjunto é mínima quando “a” é a média dos valores do conjunto.

Mediana

A *Mediana* é o valor central de uma série de valores arranjados em ordem crescente ou decrescente. Se o número total de valores é ímpar, a mediana corresponde exatamente ao valor central, que tem tantos valores superiores a ele quanto inferiores; se o número de valores é par, a mediana é anotada como a média aritmética entre os dois valores centrais, e terá a mesma característica citada acima.

A mediana corresponde portanto ao percentil 50, ou seja, 50% dos valores são superiores ou iguais a ela e 50% são inferiores ou iguais; pode ser calculada utilizando a tabela de freqüências acumuladas. Outra forma de calcular a mediana é por extrapolação, por meio da tabela de freqüências.

$$\text{Mediana} = L + \left(\frac{\frac{n}{2} - f_i}{f_m} \right) c$$

onde:

L = limite inferior do grupo no qual está a mediana

n = número de observações

f_i = número acumulado de observações até o limite inferior do grupo no qual está a mediana

f_m = número de observações do grupo no qual está a mediana

c = intervalo do grupo no qual está a mediana

Moda

A *Moda* é o valor mais freqüente de um grupo de valores. No caso de valores agrupados é o valor médio da classe que tiver maior número de elementos. Pode haver mais de uma moda.

No caso de uma amostra de velocidades, a moda é a velocidade na qual trafega o maior número de veículos.

3 MEDIDAS DE DISPERSÃO

A dispersão dos dados da amostra é outra característica importante para a sua definição e o seu conhecimento. Existem basicamente três medidas de dispersão, a *amplitude*, o *desvio médio absoluto* e o *desvio padrão*.

Amplitude

A *Amplitude* é simplesmente a diferença entre o valor mais alto e o valor mais baixo da amostra. Numa amostra de velocidades pontuais em vias urbanas, por exemplo, podem ser encontradas desde velocidades baixas (20km/h) até velocidades muito elevadas (130km/h). Se um estudo de uma via mostrar estes dois valores como extremos, a amplitude será de 110km/h (130 menos 20).

A amplitude não é boa medida de dispersão por ser muito influenciada pelo tamanho da amostra e envolver apenas dois de seus valores. Quanto maior for a amostra maior será a amplitude, pois crescerá a probabilidade de incluir valores mais baixos ou mais altos do que os anteriormente registrados. A amplitude é usada mais comumente para dar uma idéia geral dos limites do fenômeno.

Esta observação é importante na medida em que, havendo duas amostras de tamanhos diferentes, relativas às situações “antes/depois” de um projeto, não é recomendável comparar suas amplitudes para fins de avaliação do projeto.

Desvio Médio Absoluto

O *Desvio Médio Absoluto* é definido pela expressão:

$$DMA = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n}$$

onde:

DMA = desvio médio absoluto

x_i = observação "i"

\bar{x} = média aritmética

n = número de observações

Essa medida de dispersão não se revelou tão útil quanto a que se segue, mas eventualmente é utilizada em casos específicos.

Desvio Padrão

O *Desvio Padrão* é a medida de dispersão mais usada, sendo muito mais útil que a amplitude e que o desvio médio absoluto. O desvio padrão é a raiz quadrada da variância da amostra, que por sua vez é o somatório dos quadrados dos desvios entre a média e os valores observados, isto é:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

onde:

S = desvio padrão

x_i = observação "i"

\bar{x} = média aritmética

n = número de observações

O desvio padrão tem, portanto, a mesma unidade do valor observado.

Para valores agrupados em classes pode ser determinado pela fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum f_i u_i^2 - \frac{(\sum f_i u_i)^2}{\sum f_i}}{\sum f_i - 1}}$$

onde:

S = desvio padrão

u_i = valor central da classe "i"

f_i = frequência da classe "i"

O desvio padrão será tanto maior quanto maior for a dispersão dos dados.

Curva normal

A Tabela 86 apresenta a tabela da distribuição normal padronizada.

As áreas abaixo da curva normal representam a probabilidade de que o valor absoluto de z ocorra entre 0 e as abscissas que limitam essas áreas de um e outro lado do eixo das ordenadas. A variável normal (z) é o número de desvios padrões (σ) que a variável x se afasta da média (μ), ou seja:

$$z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

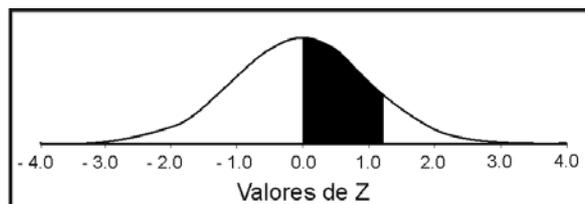
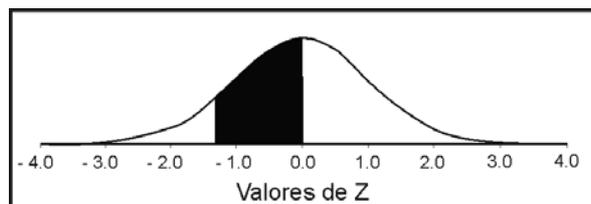
A tabela mostra a relação entre as áreas das zonas sombreadas e a área total abaixo da curva (1,0000).

Quando os dados se ajustam a uma distribuição normal (Figura 66), existem relações claras e fáceis de memorizar entre o desvio padrão e a frequência dos valores.

Conforme se vê, a distribuição é simétrica com relação à média e apresenta três intervalos importantes para os cálculos:

- no intervalo $\bar{x} \pm 1\sigma$ estão 68,3% dos valores;
- no intervalo $\bar{x} \pm 2\sigma$ estão 95,5% dos valores;
- no intervalo $\bar{x} \pm 3\sigma$ estão 99,7% dos valores.

Figura 66 - Áreas sob a curva normal

Tabela 86 - Áreas sob a curva normal
distribuição z

Z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.0000	.0040	.0080	.0120	.0160	.0199	.0239	.0279	.0319	.0359
0.1	.0398	.0438	.0478	.0517	.0557	.0596	.0636	.0675	.0714	.0754
0.2	.0793	.0832	.0871	.0910	.0948	.0987	.1026	.1064	.1103	.1141
0.3	.1179	.1217	.1255	.1293	.1331	.1368	.1406	.1443	.1480	.1517
0.4	.1554	.1591	.1628	.1664	.1700	.1736	.1772	.1808	.1844	.1879
0.5	.1915	.1950	.1985	.2019	.2054	.2088	.2123	.2157	.2190	.2224
0.6	.2258	.2291	.2324	.2357	.2389	.2422	.2454	.2486	.2518	.2549
0.7	.2580	.2612	.2642	.2673	.2704	.2734	.2764	.2794	.2823	.2852
0.8	.2881	.2910	.2939	.2967	.2996	.3023	.3051	.3078	.3106	.3133
0.9	.3159	.3186	.3212	.3238	.3264	.3289	.3315	.3340	.3365	.3389
1.0	.3413	.3438	.3461	.3485	.3508	.3531	.3554	.3577	.3577	.3599
1.1	.3643	.3665	.3686	.3708	.3729	.3749	.3770	.3790	.3810	.3830
1.2	.3849	.3869	.3888	.3907	.3925	.3944	.3962	.3980	.3997	.4015
1.3	.4032	.4049	.4066	.4082	.4099	.4115	.4131	.4147	.4160	.4177
1.4	.4192	.4207	.4222	.4236	.4251	.4265	.4279	.4292	.4306	.4319
1.5	.4332	.4345	.4357	.4370	.4382	.4394	.4406	.4418	.4429	.4441
1.6	.4452	.4463	.4474	.4484	.4495	.4505	.4515	.4525	.4535	.4545
1.7	.4552	.4564	.4573	.4582	.4591	.4599	.4608	.4616	.4625	.4633
1.8	.4641	.4649	.4656	.4664	.4671	.4678	.4686	.4693	.4699	.4706
1.9	.4713	.4719	.4726	.4732	.4738	.4744	.4750	.4756	.4761	.4767
2.0	.4772	.4778	.4783	.4788	.4793	.4798	.4803	.4808	.4812	.4817
2.1	.4821	.4826	.4830	.4834	.4838	.4842	.4846	.4880	.4854	.4857
2.2	.4861	.4864	.4868	.4871	.4875	.4878	.4881	.4884	.4887	.4890
2.3	.4893	.4896	.4898	.4901	.4904	.4906	.4909	.4911	.4913	.4916
2.4	.4918	.4920	.4922	.4925	.4927	.4929	.4931	.4932	.4934	.4936
2.5	.4938	.4940	.4941	.4943	.4945	.4946	.4948	.4949	.4951	.4952
2.6	.4953	.4955	.4956	.4957	.4959	.4960	.4961	.4962	.4963	.4964
2.7	.4965	.4966	.4967	.4968	.4969	.4970	.4971	.4972	.4973	.4974
2.8	.4974	.4975	.4976	.4977	.4977	.4978	.4979	.4979	.4980	.4981
2.9	.4981	.4982	.4982	.4983	.4984	.4985	.4985	.4985	.4986	.4986
3.0	.4987	.4987	.4987	.4988	.4988	.4989	.4989	.4989	.4990	.4990
3.1	.4990	.4991	.4991	.4991	.4992	.4992	.4992	.4992	.4993	.4993
3.2	.4993	.4993	.4994	.4994	.4994	.4994	.4994	.4995	.4995	.4995
3.3	.4995	.4995	.4995	.4996	.4996	.4996	.4996	.4996	.4996	.4997
3.4	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4998
3.5	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998
Z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09

4 AMOSTRAGEM

Considerações Gerais

Todo o problema de precisão em pesquisa reside na impossibilidade de trabalhar com a população total, seja por causa dos custos, seja pela própria natureza da informação a ser levantada. Assim sendo, é necessário trabalhar com amostras, que sempre incluem margens de erro de estimativa das variáveis. A estatística permite estimar estes erros e determinar as condições para que se situem dentro de limites aceitáveis.

A questão, portanto, é avaliar a dimensão do erro que está sendo cometido e se é aceitável. Estes erros se referem às estimativas da média e do desvio padrão. Dada uma certa população p , de média μ e desvio padrão σ , a amostragem de alguns valores (amostra $n < p$) trará estimativas de médias (\bar{x} , diferente de μ) e desvio padrão (S , diferente de σ). Quanto mais próximas as estimativas \bar{x} e S forem dos valores reais μ e σ , maior é a precisão desta estimativa e quanto mais distantes eles estiverem, menor é a precisão. A diferença entre o valor estimado e o valor real é chamado então de erro, dado normalmente na forma $\bar{x} \pm E$, ou seja, o valor estimado \bar{x} difere do valor real μ de $\pm E$, num determinado nível de confiança (p. ex: 95%); o intervalo determinado por $\bar{x} \pm E$ é chamado intervalo de confiança da média, ou seja, aquele no qual a média real se situa no nível de confiança estipulado.

Desvio Padrão das Médias

Extraindo de uma população uma amostra de tamanho n , ela produzirá uma estimativa de média \bar{x} . O teorema do limite central mostra que, se extrairmos várias amostras de tamanho n , as estimativas de média que elas produzirão tenderão a distribuir-se normalmente. Este efeito será mais forte ainda quanto maior for o tamanho n e é válido para qualquer grupo de dados, independentemente da distribuição à qual se ajustam.

É justamente este fenômeno que permite saber qual é o erro que se comete ao produzir uma estimativa de média \bar{x} . Isto é feito por meio da análise do desvio padrão da amostra das médias que “teria” sido tirada. Este desvio é dado por:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

(população infinita)

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}}$$

(população finita)

onde:

$S_{\bar{x}}$ = desvio padrão das médias

S = desvio padrão da amostra

n = tamanho da amostra

N = tamanho da população

Ou seja, quanto maior é n , menor é o desvio padrão da média.

Portanto, estas médias formam uma distribuição normal de média real μ e desvio padrão $S\bar{x}$. Observando a equação acima, verifica-se que:

- Existe 68,3% de probabilidade de que a média real esteja no intervalo $\bar{x} - S\bar{x} \leq \mu \leq \bar{x} + S\bar{x}$.
- Existe 95,5% de probabilidade de que a média real esteja no intervalo $\bar{x} - 2S\bar{x} \leq \mu \leq \bar{x} + 2S\bar{x}$

E assim por diante, para qualquer fração de $S\bar{x}$ (com sua probabilidade correspondente).

Exemplificando: uma pesquisa de velocidade pontual de 20 veículos produziu uma estimativa \bar{x} de velocidade média de 35km/h, com desvio padrão $S = 5$ km/h. Qual é o intervalo de confiança desta média?

Como a população é infinita, o desvio padrão da média é dado por:

$$S\bar{x} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{5}{\sqrt{20}} = 1,12 \text{ km/h}$$

Logo:

- Existe 68,3% de probabilidade de que $33,88 \leq \mu \leq 36,12$
- Existe 95,5% de probabilidade de que $32,76 \leq \mu \leq 37,24$

Em outros termos, a média estimada deve ser escrita como $\bar{x} = 35 \pm 1,12$ km/h (para 68,3% de probabilidade) e $\bar{x} = 35 \pm 2,24$ km/h (para 95,5% de probabilidade).

Analogamente, o erro pode ser dado em termos de porcentagem em relação à média. Assim, o erro, para o nível 95,5%, é $2,24 \div 35$, ou seja, 6%.

Tamanho da Amostra

Em estudos de tráfego é praticamente impossível determinar com exatidão as variáveis de interesse. Mesmo tomando cuidado em levantar dados da forma mais correta possível, tem-se que admitir que os resultados obtidos apresentam alguma margem de erro. Esses erros podem ser reduzidos com a adoção de instrumental de coleta de dados confiável e preciso, e se possível automático, para reduzir a interferência humana.

Preliminarmente fixam-se a margem de erro e o grau de confiança de que não seja excedida (probabilidade de sua ocorrência), aceitáveis para a variável a ser determinada. Com esses dados se aplica o método estatístico adequado para determinar o tamanho da amostra necessário. Por exemplo, fixar em 10% a margem de erro da variável e em 95% o grau de confiança, significa que o tamanho da amostra deve ser determinado de modo que haja a probabilidade de 95% de que o valor determinado não tenha erro superior a 10%.

A equação abaixo mostra o relacionamento das variáveis, no caso delas serem contínuas.

$$n = \frac{(kS)^2}{E^2}$$

onde:

n = amostra mínima

k = coeficiente representativo do nível de confiança (tabulado para cada tipo de distribuição).

S = desvio padrão da população

E = erro admissível

Assim, desconhecendo a variância da população, não se pode dimensionar a amostra e não a dimensionando, não se faz a pesquisa e não se obtém a variância. A solução é, portanto, estimar a variância em função de pesquisa semelhante ou fazer uma pesquisa-teste para obtê-la.

Em termos de relacionamento entre as variáveis, tem-se:

- a amostra é diretamente proporcional à variância da população: é inclusive intuitivo que quanto maior for a variância da população estudada, maior deverá ser a amostra, a fim de obter estimativas mais precisas.
- o tamanho da amostra é inversamente proporcional ao quadrado do erro admissível: quanto maior for o erro aceitável na estimativa, menor precisará ser sua amostra.
- a relação entre o tamanho da amostra e o erro admissível é potencial (expoente 2), ou seja, para duplicar a precisão é preciso quadruplicar a amostra.
- k é o índice representativo do nível de confiança desejado, e que tem relação com o tipo de distribuição dos dados: para o caso de uma curva normal, $k = 1,0$ para 68,3% e $k = 2,0$ para 95,5% ($k = 1,96$ para 95%).

Adotando como probabilidade desejada 95%, tem-se:

$$n = \frac{(kS)^2}{E^2} = \frac{(1,96)^2 \times S^2}{E^2} = \frac{3,86 \times S^2}{E^2}$$

Isto significa que n é a amostra mínima a ser colhida numa população de desvio padrão S , para que se tenha 95% de probabilidade de que a estimativa da média \bar{x} não difira da média μ mais do que o valor E .

Usando o mesmo exemplo, sendo $S = 5$ km/h, qual deve ser a amostra para que \bar{x} não passe de 1% da média μ ?

$$1\% \text{ da média } \bar{x} = 0,35 \text{ km/h} \qquad n = \frac{3,86 \times (5)^2}{(0,35)^2} \quad \therefore \quad n = 784$$

Ou seja, colhendo 784 velocidades, tem-se 95% de probabilidade de que a estimativa \bar{x} da média não se desviará da média real μ mais do que 0,35 km/h.

No caso de fenômeno do tipo “exclusivo” (“sim” e “não”, como na pesquisa de observância de sinais), a amostra é dada por:

$$n = \frac{pq k^2}{E^2}$$

onde:

n = amostra mínima

p = proporção de motoristas (pessoas, pedestres) que obedece à sinalização

q = proporção de motoristas (pessoas, pedestres) que desobedece à sinalização

k = constante correspondente ao nível de confiança desejado

E = erro admissível na estimativa da proporção p/q

Roteiro para Determinação da Amostra

- Estabeleça o erro admissível (E) na estimativa da média (depende da pesquisa, dos recursos, do técnico, do objetivo do projeto etc. – ver cada caso específico).
- Estabeleça o desvio padrão da população, em função de outras experiências ou de pesquisa-teste.
- Estabeleça o nível de confiança desejado (k); normalmente, de 90 ou 95%, embora dependa também dos objetivos, dos recursos etc.
- Calcule a amostra.

5 TESTE DE SIGNIFICÂNCIA

Analistas freqüentemente estão preocupados em saber se a diferença entre os valores das médias de duas amostras são estatisticamente significativas ou resultam de mero acaso. Por exemplo, duas amostras feitas, uma “antes” e outra “depois” da introdução de certas melhorias no processo de atendimento de um supermercado, resultaram em tempos médios de estacionamento de carros, de 40 minutos e 30 minutos respectivamente. A empresa dona do supermercado deseja saber se essa redução é devida às medidas tomadas, ou resultado de mero acaso na escolha das amostras.

Se duas amostras de mesmo tamanho são tomadas de uma mesma população, haverá provavelmente uma diferença entre suas médias, resultante do acaso na escolha das amostras. Se a diferença é tão grande que caia no extremo da curva Normal de Probabilidades diz-se que há uma diferença significativa, que sugere que as amostras sejam provenientes de populações distintas. Para decidir se duas amostras provêm de uma mesma população ou não, escolhe-se preliminarmente um determinado nível de significância e, em função do tamanho “ n ” da amostra utilizam-se os seguintes testes:

- Teste da curva “normal” (z)
- Teste da curva de “student” (t).

Teste da Curva Normal

O teste da curva normal (z) é feito para amostras maiores ou iguais a 30, pela equação:

$$Z_0 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S^2_1}{n_1} + \frac{S^2_2}{n_2}}}$$

onde:

z = distribuição normal

z_0 = variável normal calculada

x_1 = média da primeira amostra

x_2 = média da segunda amostra

S_1 = desvio padrão da primeira amostra

S_2 = desvio padrão da segunda amostra

n_1 = número de observações da primeira amostra

n_2 = número de observações da segunda amostra

O valor z_0 , é então comparado com o valor z_c (“ z crítico”), extraído do Quadro A.5.2/1, na linha ∞ (número infinito de graus de liberdade), que corresponde à distribuição normal, para o nível de confiança estipulado. A decisão é:

- Se $z_0 > z_c$ as amostras provêm de populações diferentes.
- Se $z_0 \leq z_c$ não se pode afirmar que as amostras provêm de populações diferentes.

Para ilustrar a aplicação deste método é apresentado o seguinte exemplo:

Duas amostras feitas, uma “antes” e outra “depois” da introdução de certas melhorias no processo de atendimento de um supermercado resultaram em tempos médios de estacionamento diferentes para os carros dos fregueses. A empresa dona do supermercado deseja saber se essa redução é devida às medidas tomadas, ou resultado de mero acaso na escolha das amostras.

Amostra antes da introdução das melhorias:

- número de observações: $n_1 = 35$
- média do tempo de estacionamento de carros: $x_1 = 40$ minutos
- desvio padrão dos tempos de estacionamento: $S_1 = 4,5$ minutos

Amostra após a introdução das melhorias:

- número de observações: $n_2 = 39$
- média do tempo de estacionamento de carros: $x_2 = 30$ minutos
- desvio padrão dos tempos de estacionamento: $S_2 = 4,2$ minutos

Aplicando a fórmula tem-se:

$$z_0 = \frac{35 - 30}{\sqrt{\frac{(4,5)^2}{35} + \frac{(4,2)^2}{39}}} = 4,925 \text{ ,variável normal calculada}$$

No caso de amostras $n > 30$, os valores críticos para qualquer valor de “n” são os listados no Quadro A.5.2/1 na linha ∞ (número infinito de graus de liberdade). Para o nível de significância de 5% tem-se o valor de $z_c = 1,960$. Sendo então $z_0 > z_c$, pode-se concluir portanto que a diferença entre as duas médias é significativa, e que as melhorias no processo de atendimento do supermercado reduziram efetivamente o tempo de estacionamento. Houve uma redução nos valores da população de tempos de estacionamento com a introdução das melhorias.

Considerando ser comum à utilização da análise de variações de proporções ou percentagens, foi desenvolvida para o caso de mais de 30 observações a fórmula:

$$z_0 = \frac{p_1 - p_2}{\sqrt{(p_0 q_0 (1/n_1 + 1/n_2))}}$$

onde:

z = distribuição normal

z_0 = variável normal calculada

$p_0 = (p_1 n_1 + p_2 n_2) / (n_1 + n_2)$

p_1 = proporção observada na primeira amostra

p_2 = proporção observada na segunda amostra

n_1 = número de observações na primeira amostra

n_2 = número de observações na segunda amostra

$q_0 = 1 - p_0$

Para ilustrar a aplicação deste método é apresentado o seguinte exemplo.

Visando reduzir o número de veículos que ultrapassam o limite de atendimento gratuito de um determinado estacionamento de automóveis, foi feito um novo regulamento. Para testar a eficácia das medidas tomadas um estudo posterior mostrou que:

- antes das novas medidas 195 ou 28,5% de 684 veículos estacionavam por tempo superior ao limite;
- depois das novas medidas observou-se que 125 ou 23,2% de 539 veículos ultrapassavam o limite.

Utilizando-se a fórmula apresentada, obtém-se:

$$p_0 = (28,5 \cdot 684 + 23,2 \cdot 539) / (684 + 539) = 26,2\%$$

$$q_0 = 100 - 26,2 = 73,8\%,$$

$$z_0 = (28,5 - 23,2) / \sqrt{((26,2 \cdot 73,8)(1/684 + 1/539))} = 2,093$$

No caso de amostras $n > 30$, os valores críticos para qualquer valor de “n” são os listados no Quadro A.5.2/1 na linha ∞ (número infinito de graus de liberdade). Para o nível de significância de 5% tem-se o valor de $z_c = 1,960$. Sendo então $z_0 > z_c$, pode-se concluir portanto que a diferença entre as duas percentagens é significativa e o novo regulamento para o estacionamento reduziu efetivamente o tempo que os veículos ficam estacionados, isto é, as medidas tiveram resultado efetivo (houve uma alteração para menos da população de veículos que ultrapassam o limite de estacionamento).

Teste da Curva de Student

O teste da curva de Student (t) é feito para amostras com menos de 30 observações.

A curva de Student é semelhante à curva normal, porém com caudas um pouco mais altas. O teste é feito com uso da equação:

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}} \cdot \frac{\sqrt{n_1 \cdot n_2 (n_1 + n_2 - 2)}}{n_1 + n_2}$$

onde:

t = distribuição de Student

t_0 = variável Student calculada

\bar{x}_1 = média da primeira amostra

\bar{x}_2 = média da segunda amostra

μ_1 = média da população da primeira amostra

μ_2 = média da população da segunda amostra

n_1 = número de observações da primeira amostra

n_2 = número de observações da segunda amostra

S_1 = desvio padrão da primeira amostra

S_2 = desvio padrão da segunda amostra

$\mu_1 = \mu_2$ quando se deseja verificar se as amostras provêm de uma mesma população, resultando em uma fórmula mais simples, sem os valores μ .

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}} \cdot \frac{\sqrt{n_1 \cdot n_2 (n_1 + n_2 - 2)}}{n_1 + n_2}$$

onde $n_1 + n_2 - 2$ é o número de graus de liberdade (g)

O valor t_0 é então comparado com o valor crítico (t_c) da Tabela 87, escolhido de acordo com um nível especificado de significância (α) e o número de graus de liberdade (g).

Se $t_0 > t_c$ as amostras provêm de populações diferentes (diferença significativa entre as médias).

Se $t_0 \leq t_c$ não se pode afirmar que as populações sejam diferentes (não há diferença significativa entre as médias).

O valor do nível de significância de $\alpha = 0,05$, corresponde à probabilidade de 95% de ser correta a decisão tomada. Esse nível é freqüentemente escolhido, embora se considere valores de α entre 0,01 e 0,10 como adequados para a maior parte das avaliações de dados em estudos de transportes.

Se o valor calculado de t (positivo ou negativo) é maior que t_c , a diferença entre as médias é considerada significativa, e não devida a mero acaso. Caso contrário não é significativa.

6 MÉTODOS DE REGRESSÃO

Regressão Linear Simples

Dados dois conjuntos de dados " x_i " e " y_i " há razões para acreditar que haja uma relação entre esses conjuntos que possa ser representada por uma função do tipo $y = f(x)$. Como primeira tentativa se experimentará uma função do tipo $y = a + bx$, utilizando o processo a seguir descrito como Regressão Linear Simples.

Como critério para escolher os valores " a " e " b " impõe-se que a soma dos quadrados das diferenças d_i (desvios) entre os valores observados e calculados ($d_i = y_i - \hat{y}_i$) seja o mínimo possível (método dos quadrados mínimos), isto é:

$$\sum_{i=1}^n d_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 \text{ seja o valor mínimo possível.}$$

Tabela 87 - Valores da distribuição “t”

Grau de liberdade	Nível de significância		
	0.10	0.05	0.01
1	6.314	12.706	63.657
2	2.920	4.303	9.925
3	2.353	3.182	5.841
4	2.132	2.776	4.604
5	2.015	2.571	4.032
6	1.943	2.447	3.707
7	1.895	2.365	3.499
8	1.860	2.306	3.355
9	1.833	2.262	3.250
10	1.812	2.228	3.169
11	1.796	2.201	3.106
12	1.782	2.179	3.055
13	1.771	2.160	3.012
14	1.761	2.145	2.977
15	1.753	2.131	2.947
16	1.746	2.120	2.921
17	1.740	2.110	2.898
18	1.734	2.101	2.878
19	1.729	2.093	2.861
20	1.725	2.086	2.845
21	1.721	2.080	2.831
22	1.717	2.074	2.819
23	1.714	2.069	2.807
24	1.711	2.064	2.797
25	1.708	2.060	2.787
26	1.706	2.056	2.779
27	1.703	2.052	2.771
28	1.701	2.048	2.763
29	1.699	2.045	2.756
30	1.697	2.042	2.750
40	1.684	2.021	2.704
60	1.671	2.000	2.660
120	1.658	1.980	2.617
∞	1.645	1.960	2.576

A solução matemática desse problema é dado por um sistema de equações de derivadas parciais, que conduz aos seguintes resultados para os coeficientes da reta de regressão $y = a + bx$ (onde y é a variável dependente e x é a variável independente)

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

Para medir a utilidade da equação obtida são determinadas as medidas: erro padrão da estimativa (S_e), coeficiente de determinação (r^2), erro padrão do coeficiente b (S_b), e erro padrão do coeficiente a (S_a), dados pelas expressões:

a) Erro Padrão da Estimativa (S_e)

Indica aproximadamente quão grandes são os erros de estimativa do grupo de dados. Pode ser calculado pela seguinte equação:

$$S_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n-2}$$

$$S_e = \sqrt{\frac{SSE}{n-2}}$$

onde :

S_e = erro padrão da estimativa

$\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 = SSE =$ variação não explicada pela regressão (soma dos quadrados dos desvios)

n = número de observações

b) Coeficiente de Determinação (r^2)

Mede o grau de associação dos pares de valores referentes a duas variáveis. Define-se o coeficiente de determinação r^2 como:

$$r^2 = \frac{\text{Variação explicativa}}{\text{Variação total}}, \text{ variações indicadas na figura abaixo.}$$

Demonstra-se que:

$$r^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y}_i)^{-2}}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^{-2}}$$

onde:

r^2 = coeficiente de determinação

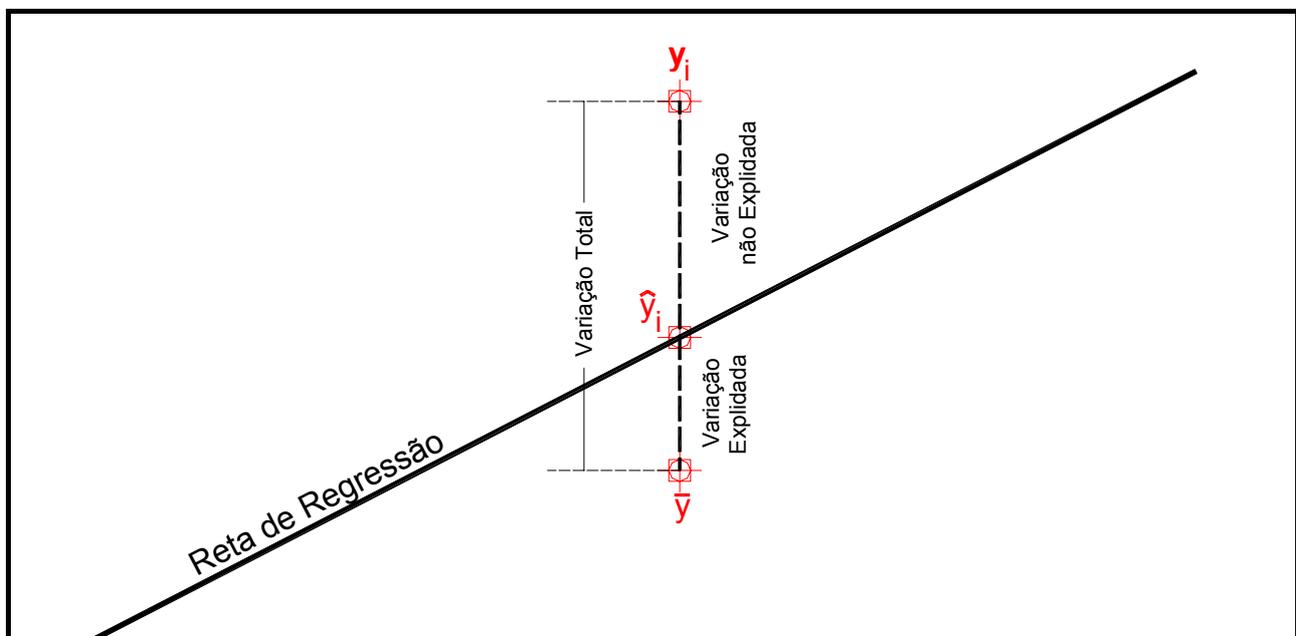
$\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^{-2}$ = variação explicada, valor do desvio de cada valor calculado y_i do valor da média das observações \hat{y}_i .

$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^{-2}$ = variação total, valor do desvio de cada observação y_i do valor da média das observações \bar{y} .

n = número de observações

Quando a variação não explicada é nula, isto é, todas as diferenças $\hat{y}_i - y_i$ são nulas (todos os valores calculados são iguais aos observados), tem-se: $r = 1$, e a equação representa perfeitamente os valores observados.

Figura 67 - Rota de regressão



c) Erro Padrão do Coeficiente b (S_b)

Indica aproximadamente quão distante o coeficiente “b” está do coeficiente de toda a população de valores. Pode ser calculado pela seguinte equação:

$$S_b = \frac{S_e}{\sqrt{(n-1)Var(x)}}$$

onde:

S_b = erro padrão do coeficiente b

S_e = erro padrão da estimativa

n = número de observações

$Var(x) = S_x$ = variância da amostra, dada pela expressão:

$$S_x = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

d) Erro Padrão do Coeficiente a (S_a)

Indica aproximadamente quão distante o coeficiente “a” está do coeficiente de toda a população de valores. Pode ser calculado pela seguinte equação:

$$S_a = S_e \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{(n-1)S_x^2}}$$

onde :

S_a = erro padrão do coeficiente a

S_e = erro padrão da estimativa

\bar{x} = valor médio da amostra

n = número de observações

S_x = variância da amostra

No Apêndice B.4 (Geração de Viagens pelo Método de Regressão Linear) são apresentados exemplos de aplicação do método descrito.

Regressão Linear Múltipla

É comum que, dados vários conjuntos de números, haja uma correspondência entre os mesmos, do tipo:

$$\hat{y}_i = a + b_{1i}x_{1i} + b_{2i}x_{2i} + \dots + b_{pi}x_{pi}$$

em que:

\hat{y}_i = variável dependente

$x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{pi}$ = variáveis independentes

a, b_1, b_2, \dots, b_p = constantes

Desta forma:

$$\hat{y} = a + \sum_{j=1}^p b_j x_{ji}$$

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ji}}{n}, \text{ média aritmética dos } n \text{ valores da variável independente } x_j$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \text{ média aritmética dos } n \text{ valores da variável dependente } y$$

Determinam-se os coeficientes a, b_1, b_2, \dots, b_p pelo método dos mínimos quadrados já mencionado para o caso de regressão linear simples.

Para o caso de duas variáveis tem-se:

$$\hat{y}_i = a + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i}$$

A solução é dada pelas equações:

$$\bar{y}_i = a + b_1 \bar{x}_1 + b_2 \bar{x}_2$$

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_{1i} - \bar{x}_1) = b_1 \sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)^2 + b_2 \sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)(x_{2i} - \bar{x}_2)$$

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_{2i} - \bar{x}_2) = b_1 \sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)(x_{2i} - \bar{x}_2) + b_2 \sum_{i=1}^n (x_{2i} - \bar{x}_2)^2$$

Para avaliar a qualidade da solução obtida determinam-se os parâmetros:

a) Coeficiente de determinação (r^2)

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

b) Erro padrão da estimativa (Se)

$$S_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - (p + 1)}$$

onde p é o número de variáveis independentes

Esses valores não são obtidos normalmente fazendo os cálculos citados. As planilhas Lotus e Excell, por exemplo, resolvem bem esses problemas. Para o caso de três ou mais variáveis somente podem ser calculados na prática usando computador.

No Apêndice B.4 (Geração de Viagens pelo Método de Regressão Linear) são apresentados exemplos de aplicação do método descrito.

7 DISTRIBUIÇÃO DE “POISSON”

Esta distribuição é utilizada para a previsão da ocorrência de eventos de pequena probabilidade.

Com base em observações independentes da ocorrência de determinado evento, a distribuição de “Poisson” permite calcular a probabilidade da ocorrência de “x” eventos. Se “m” é o número médio de ocorrências de um evento e esses eventos são independentes, a probabilidade da ocorrência de um número “x” de eventos é calculado pela fórmula:

$$P(x) = e^{-m} (m^x / x!)$$

onde:

$P(x)$ = probabilidade da ocorrência de x eventos

m = número médio de ocorrências do evento

x = número esperado de ocorrência de eventos

Exemplo de Aplicação

Em uma interseção foram contados os números de veículos que chegam à interseção em 100 intervalos de 20 segundos, conforme planilha que se segue (Tabela 88).

Tabela 88 - Dados de pesquisa

Números de Veículos em Intervalos Sucessivos de 20 segundos							
Local:				Observador(es):			
Data		Hora:		Interseções:			
Observação	Nº Veículos	Observação	Nº Veículos	Observação	Nº Veículos	Observação	Nº Veículos
1	0	26	2	51	0	76	0
2	0	27	2	52	1	77	3
3	1	28	0	53	0	78	1
4	4	29	4	54	0	79	2
5	2	30	0	55	3	80	3
6	0	31	0	56	1	81	0
7	1	32	1	57	4	82	1
8	1	33	1	58	1	83	1
9	0	34	1	59	0	84	0
10	1	35	0	60	0	85	1
11	0	36	2	61	1	86	1
12	2	37	1	62	2	87	2
13	1	38	0	63	0	88	0
14	2	39	1	64	3	89	3
15	0	40	0	65	0	90	1
16	3	41	5	66	1	91	0
17	1	42	1	67	1	92	2
18	2	43	1	68	1	93	1
19	0	44	0	69	2	94	2
20	1	45	1	70	2	95	0
21	1	46	2	71	0	96	4
22	0	47	0	72	1	97	0
23	3	48	3	73	3	98	0
24	0	49	4	74	2	99	6
25	1	50	1	75	0	100	1

Com os dados levantados foi preparado um sumário (Tabela 89), em que falta preencher as colunas relativas à distribuição de Poisson.

Tabela 89 - Distribuição de Poisson (Quadro - resumo)

Local:				Observador(es):		
Data:		Hora:		Interseção:		
Número de Veículos	Frequência Observada	Total de Veículos	Probabilidade Constatada	Prob. Const. Acumulada	Probabilidade Poisson	Prob. Poisson Acumulada
Coluna 1 - N	Coluna 2	Col. 3 = Col.1xCol.2	Col. 4 = Col.2/Tot.col.2	Col. 5 = Σ Col.4	Col.6P(N) = $e^{-M} \cdot M^N / N!$	Col.7 = Σ Col.6
0	34	0	0,34	0,34		
1	34	34	0,34	0,68		
2	16	32	0,16	0,84		
3	9	27	0,09	0,93		
4	5	20	0,05	0,98		
5	1	5	0,01	0,99		
6	1	6	0,01	1		
7						
8						
9						
10						
11						
12						
Total	100	124				
		$M = 124/100 = 1,24$				

- Na Coluna 1 foram colocados os Números de Veículos chegando no intervalo de 20 segundos considerado. Na parte inferior é apresentado o total de observações, no caso 100.
- Na Coluna 2, Frequência Observada, estão os números de observações em que se constatou o número de veículos da Coluna 1.
- Na Coluna 3, Total de Veículos, são indicados os totais de veículos correspondentes aos diversos números de veículos. Na parte inferior são apresentados o total de veículos observados e a média m de veículos por intervalo, no caso 1,24/intervalo.
- Na Coluna 4, Probabilidade Constatada, tem-se um valor experimental da probabilidade de ocorrer o número de veículos indicado na Coluna 1 em um intervalo de 20 segundos, deduzido do levantamento feito.
- Na Coluna 5, Probabilidade Constatada Acumulada, tem-se um valor experimental da probabilidade de ocorrer um número de veículos igual ou menor ao número de veículos indicado na Coluna 1, deduzido do levantamento feito.

a) Cálculo das Probabilidades Utilizando a Distribuição de Poisson

Conforme já visto, se m é o número médio de ocorrências de um evento, e esses eventos são independentes, a probabilidade da ocorrência de um número x de eventos é calculado pela fórmula:

$$P(x) = e^{-m} (m^x / x!)$$

No exemplo apresentado, nos 100 intervalos observados, foram constatados 124 veículos, correspondendo ao valor médio de $m=1,24$ veículos/intervalo.

Completando o sumário (quadro-resumo) foram feitas:

- Na Coluna 6 foram colocados os valores da Probabilidade de Poisson, calculados com a fórmula $P(x) = e^{-m} (m^x / x!)$, para cada valor de x da Coluna 1.
- Na Coluna 7 foram calculados os valores Acumulados da Probabilidade de Poisson de ocorrer um número de veículos igual ou menor ao número de veículos indicado na Coluna 1.

Tabela 90 - Cálculo das probabilidades

Local:				Observador(es):		
Data:		Hora:		Interseção:		
Número de Veículos	Freqüência Observada	Total de Veículos	Probabilidade Constatada	Prob. Const. Acumulada	Probabilidade Poisson	Prob. Poisson Acumulada
Coluna 1 - N	Coluna 2	Col. 3 = Col.1xCol.2	Col. 4 = Col.2/Tot.col.2	Col. 5 = Σ Col.4	Col.6P(N) = $e^{-M} \cdot M^N / N!$	Col.7 = Σ Col.6
0	34	0	0,34	0,34	0,2894	0,2894
1	34	34	0,34	0,68	0,3588	0,6482
2	16	32	0,16	0,84	0,2225	0,870,7
3	9	27	0,09	0,93	0,0920	0,9627
4	5	20	0,05	0,98	0,0285	0,9912
5	1	5	0,01	0,99	0,0071	0,9982
6	1	6	0,01	1	0,0015	0,9997
7						
8						
9						
10						
11						
12						
Total	100	124				
		$M = 124/100 = 1,24$				

b) Comparação das Probabilidades Constatadas com as Probabilidades de Poisson (Teste Qui-quadrado)

Os dois tipos de probabilidades obtidas são muito próximos, mas será razoável considerar que se pode admitir como válida a distribuição de Poisson para calcular outros valores? Para tirar esta dúvida existe o Teste Qui-quadrado (χ^2), a seguir descrito.

Com a equação:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - f_j)^2}{f_j}$$

em que:

χ^2 = valor Qui-quadrado

k = número de intervalos

o_i = freqüências constatadas

f_j = freqüências calculadas com a distribuição de Poisson

determina-se o valor χ^2 .

As freqüências constatadas não devem ser inferiores a 5. Quando se constatar a presença de valores inferiores deve-se juntar valores adjacentes, de modo a se ter um valor igual ou maior que 5.

A Tabela 91 - *Distribuição de Poisson – (Sumário para Qui-quadrado)*, apresenta os valores da Freqüência Observada, da Probabilidade Constatada para os Grupos $\geq 5\%$, da Probabilidade de Poisson, da Probabilidade de Poisson correspondente aos Grupos $\geq 5\%$, as parcelas do cálculo do χ^2 e o valor do χ^2 , designado como Qui-quadrado Total.

Tabela 91 - Distribuição de Poisson (Sumário para Qui-quadrado)

Local:				Observador(es):				
Data:		Hora:		Interseção:				
Número de Veículos	Freqüência Observada	Número de Veículos Grupos ≥ 5	Freqüência Observada Grupos ≥ 5	Probab. Constatada Grupos $\geq 5\%$	Probab. Poisson %	Probab. Poisson Grupos $\geq 5\%$	Chi Quadrado i^*	Chi Quadrado total**
0	34	0	0,34	34	28,9	28,9	0,9	
1	34	1	0,34	34	35,9	35,9	0,1	
2	16	2	0,16	16	22,2	22,2	1,8	
3	9	3	0,09	9	9,2	9,2	0,0	
4	5	4-5-6	0,07	7	2,9	3,7	2,9	
5	1	7			0,7			5,686
6	1	8			0,1			
7		9						
8		10						
9		11						
10		12						
11								
12								
Total	100	Total	100					

Se a Distribuição de Poisson for uma boa estimativa para o caso em questão, o valor teórico máximo, constante da Tabela 92 Quadro A.7/5 Valores Máximos de Qui-quadrado, deverá ser maior que o χ^2 calculado, para o Número de Graus de Liberdade v correspondente. Esse número v , por definição, é o número de valores obtidos menos o número de variáveis utilizadas para calcular as freqüências esperadas.

Tabela 92 - Valores máximos da distribuição Qui-quadrado (χ^2)

V	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
χ^2 0,05	3,841	5,99	7,815	9,488	11,070	12,592	14,067	15,507	16,919	18,307
V	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
χ^2 0,05	19,675	21,026	22,362	23,685	24,996	26,296	27,587	28,869	30,144	31,410
V	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
χ^2 0,05	32,671	33,924	35,172	36,415	37,652	38,885	40,113	41,337	42,557	43,773

No exemplo dado o Número de Veículos é a única variável considerada nos 5 intervalos considerados, com os quais foram determinados os valores das

probabilidades de Poisson. O número de graus de liberdade v é então $(5)-(1) = 4$. O valor ($\chi^2 = 5,686$) é inferior a 9,488, número máximo a esperar para se ter $(1)-(0,05) = 0,95$ ou 95% de probabilidade da distribuição de Poisson ser adequada para previsão da probabilidade de ocorrência de um determinado número de chegadas de veículos. Pode-se concluir então, que a distribuição de Poisson é adequada para o caso estudado.

APÊNDICE B - EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

1 OBJETIVO

Este apêndice tem o objetivo de apresentar exemplos de aplicações dos métodos apresentados neste manual, para facilitar sua compreensão e utilização.

2 FLUXOGRAMAS NECESSÁRIOS AO PROJETO DE INTERSEÇÕES

Como orientação à aplicação do processo descrito no item 6.1.5.4 - Determinação do Fluxograma de Projeto, referente à elaboração do fluxograma a ser utilizado como base para determinação dos níveis de serviço de uma interseção em fase de projeto, é apresentado o roteiro que se segue, baseado em um caso dos mais complexos, envolvendo tráfego desviado e valores elevados dos fluxos. Os fluxogramas são apresentados sob a forma de matrizes de Origem e Destino, para uma interseção de quatro ramos, com fluxos em UCP. Somente os fluxogramas finais são apresentados também na forma gráfica usual.

Com base nas contagens, pesquisas de O/D, e estudos econômicos efetuados, foram executadas as seguintes tarefas:

- a) A partir das contagens efetuadas, foi feita a determinação dos volumes horários de pico das diversas correntes de tráfego da interseção, obtendo-se o Fluxograma na Hora de Pico da Contagem.

Tabela 93 - Fluxos na hora de pico da contagem - UCP

		DESTINO				
		N	O	S	L	
O R I G E M	N	-	128	690	115	933
	O	41	-	163	353	558
	S	384	46	-	65	495
	L	93	398	41	-	592

- b) No posto sazonal utilizado para ajustamento dos fluxos, a razão do VMD do mês de maior fluxo sobre o VMD do mês em que foram realizadas as contagens é igual a 1,2. Os fluxos foram então multiplicados por 1,2, para que representem o período de maior fluxo do ano.

**Tabela 94 - Fluxo na hora da interseção – UCP
no período do ano de maior fluxo - UCP**

		DESTINO				
		N	O	S	L	
O R I G E M	N	-	154	828	138	1.120
	O	49	-	196	424	669
	S	461	55	-	78	594
	L	111	478	49	-	638

- c) Prevê-se que o ano de abertura da interseção ao tráfego é dois anos após o ano das contagens, e que o tráfego deve crescer 4,8% nesse período. Os fluxos foram então multiplicados por 1,048, obtendo-se os fluxos no ano de abertura das obras projetadas.

Tabela 95 - Fluxos na hora de pico de interseção UCP no ano de abertura

		DESTINO				
		N	O	S	L	
O R I G E M	N	-	161	868	145	1.174
	O	51	-	205	444	701
	S	483	58	-	82	623
	L	116	501	51	-	669

- d) As pesquisas de Origem e Destino efetuadas constataram a alteração de alguns fluxos, provenientes de Fluxos Desviados por ação das obras. Foram determinadas alterações dos fluxos na Hora de Pico, como indicado a seguir.

**Tabela 96 - Fluxos na hora de pico da interseção – UCP no ano de abertura,
incluindo fluxos desviados**

		DESTINO				
		N	O	S	L	
O R I G E M	N	-	75	932	152	1.259
	O	65	-	205	444	715
	S	547	58	-	82	686
	L	123	501	51	-	675

- e) O Ano de Projeto é o 10º ano a partir da abertura ao tráfego. Foi feita então a projeção dos fluxos para o 10º ano. A taxa de crescimento, no caso comum a todos os veículos, é de 3% ao ano, fornecendo os valores apresentados a seguir.

Tabela 97 - Fluxos na hora de pico da interseção – UCP no ano de projeto, incluindo fluxos desviados

		DESTINO				
		N	O	S	L	
O R I G E M	N	-	228	1.216	198	1.643
	O	85	-	268	580	933
	S	714	75	-	107	896
	L	160	654	67	-	881

Para os fluxos da Hora de Pico, no Ano de Projeto, deve-se tentar atender o Nível E, na medida do possível.

- f) Por expansão das contagens feitas, com base em contagens de 7 dias, 24 horas por dia, e com apoio em um posto de referência para fazer a correção sazonal, foram determinados os VMD anuais das diversas correntes da interseção, no ano da contagem, em UCP.

Tabela 98 - VMD no ano da contagem - UCP

		DESTINO				
		N	O	S	L	
O R I G E M	N	-	1.224	8.635	1.424	11.283
	O	1.224	-	1.765	5.082	8.071
	S	8.635	1.765	-	741	11.141
	L	1.424	5.082	741	-	7.247

- g) Foi efetuada a projeção do conjunto de fluxos para o ano de abertura. No caso a taxa é de 4,8% de aumento para o período de dois anos.

Tabela 99 - VMD no ano da abertura UCP

		DESTINO				
		N	O	S	L	
O R I G E M	N	-	1.283	9.049	1.492	11.825
	O	1.283	-	1.850	5.326	8.458
	S	9.049	1.850	-	777	11.676
	L	1.492	5.326	777	-	7.595

- h) Foram determinadas as alterações previstas para alguns fluxos por ação de tráfego desviado de outras rodovias.

Tabela 100 - VMD anual da abertura – UCP incluindo fluxos desviados

		DESTINO				
		N	O	S	L	
O R I G E M	N	-	1.448	9.802	1.574	12.824
	O	1.448	-	1.850	5.326	8.624
	S	9.802	1.850	-	777	12.428
	L	1.574	5.326	777	-	7.677

- i) Foi feita a projeção para o Ano de Projeto. No caso com a taxa da crescimento anual de 3%.

Tabela 101 - VMD anual no ano de projeto- UCP incluindo fluxos desviados

		DESTINO				
		N	O	S	L	
O R I G E M	N	-	1.889	12.789	2.054	16.732
	O	1.889	-	2.413	6.949	11.252
	S	12.789	2.413	-	1.013	16.216
	L	2.054	6.949	1.013	-	10.016

- j) Foram determinados os valores de 8,5% do VMD anual no ano de Projeto, por não se dispor de dados para calcular os volumes de tráfego da 50ª Hora, valores máximos que a interseção deve atender com Nível D.

Tabela 102 - 8,5% do VMD anual de projeto – UCP incluído fluxos desviados

		DESTINO				
		N	O	S	L	
O R I G E M	N	-	161	1.087	175	1.422
	O	161	-	205	591	956
	S	1.087	205	-	86	1.378
	L	175	591	86	-	851

- k) Foi preparado um quadro de fluxos com os menores valores dos quadros 5 e 10. Esses são os valores que representam os limites a respeitar na determinação do Nível D, iguais ou menores aos constantes dos fluxos na Hora de Pico, no Ano de Projeto. Esse quadro toma o nome de Fluxos Reduzidos na Hora de Pico, no ano de Projeto.

Tabela 103 - Fluxos reduzidos na hora de pico da interseção – UCP no ano do projeto, incluindo fluxos desviados

		DESTINO				
		N	O	S	L	
O R I G E M	N	-	161	1.087	175	1.422
	O	85	-	205	580	870
	S	714	75	-	86	875
	L	160	591	67	-	818

As Tabelas de fluxos 97 e 103 são então utilizados para construir os Fluxogramas:

O projeto elaborado para a interseção deverá oferecer o Nível de Serviço mínimo D ou o recomendado na Tabela 19 e observações complementares, para o tráfego do Fluxograma Reduzido da Hora de Pico do Projeto e é desejável que não ultrapasse o Nível de Serviço E para o Fluxograma da Hora de Pico do Projeto.

Considerando que normalmente se tem taxas de crescimento de tráfego diferentes para tráfego de passageiros e de carga pode ser necessário preparar fluxogramas em UCP separadamente para essas diferentes categorias. Os Fluxogramas de Projeto reunirão os eventuais fluxogramas componentes, para que se possa determinar os Níveis de Serviço da interseção.

Observações Complementares: Dado o caráter localizado de uma interseção e à maior dificuldade de se atender níveis de serviço elevados, sem custos excessivos, deve-se considerar, para qualquer tipo de rodovia, os níveis B e C como desejados, e o nível D

como necessário. A adoção dos níveis desejados pode depender, em alguns casos, de estudos de viabilidade técnico-econômica.

É fato comum que dificuldades locais, ou custos elevados, possam impossibilitar a adoção dos níveis recomendados, mas esse é um problema que terá de ser enfrentado caso a caso, não se podendo criar regras gerais para sua solução.

Considerando que normalmente se tem taxas de crescimento de tráfego diferentes para tráfego de passageiros e de carga pode ser necessário preparar fluxogramas em UCP separadamente para essas diferentes categorias. Os Fluxogramas de Projeto reunirão os eventuais fluxogramas componentes, para que se possa determinar os Níveis de Serviço da interseção.

A escolha do método de determinação de níveis de serviço poderá ser o das Normas Alemãs, em que se procederá exatamente da forma descrita, ou do HCM, em que serão necessárias algumas adaptações, no que se refere a equivalentes em carros de passeio.

Figura 68 - Fluxograma da hora de pico

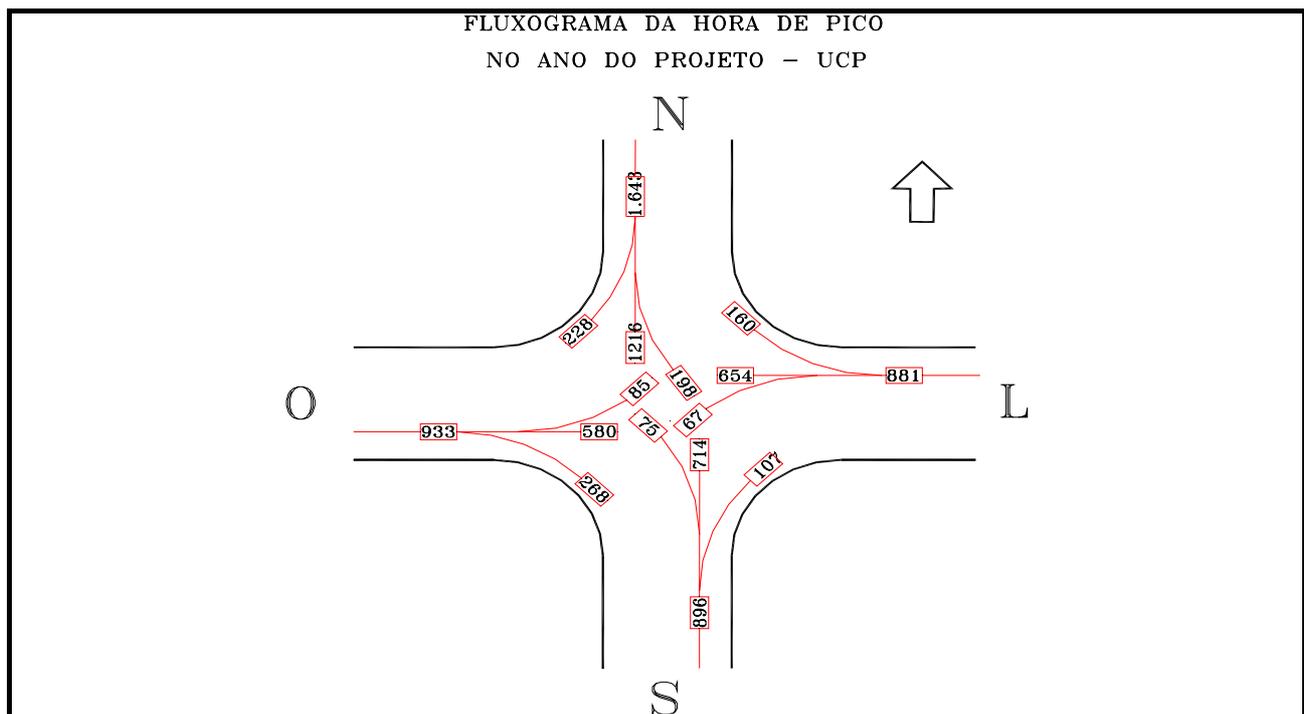
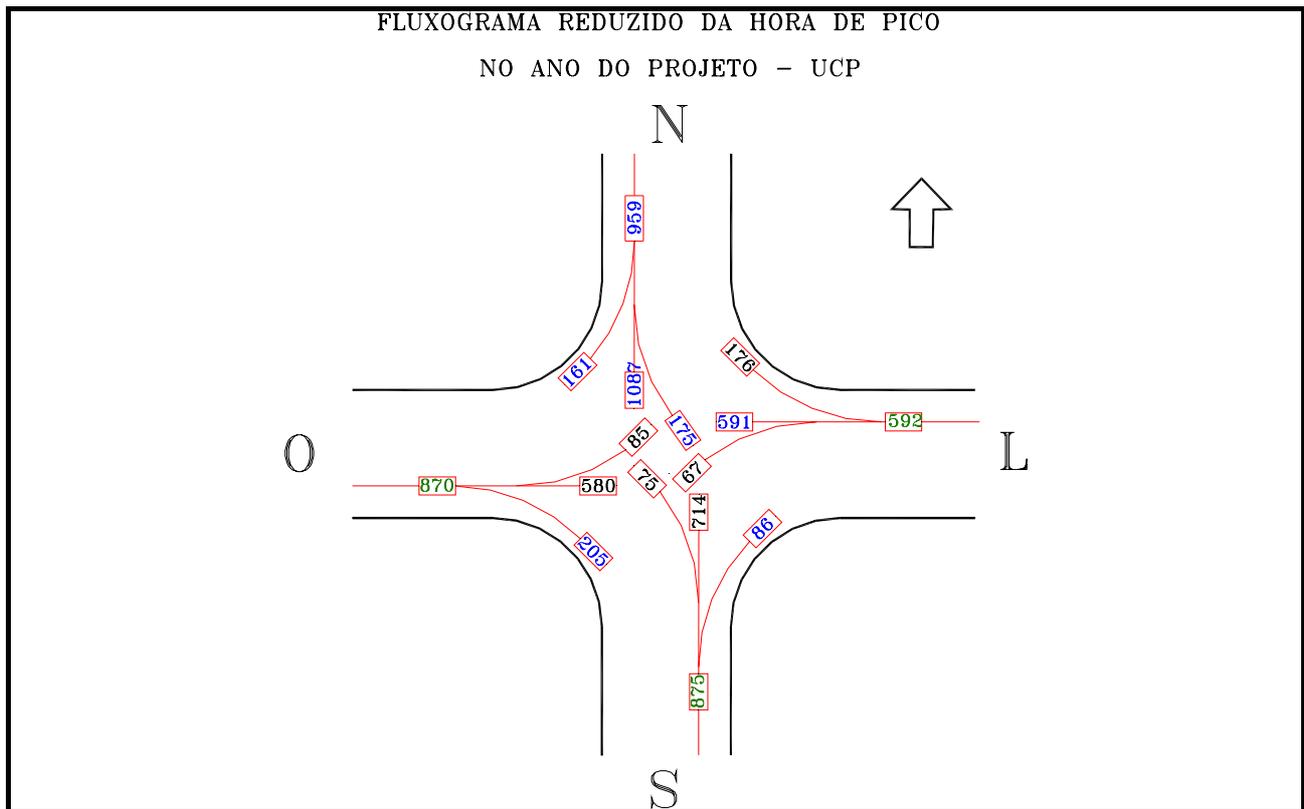


Figura 69 - Fluxograma reduzido da hora de pico

É importante observar:

- No exemplo apresentado levou-se em conta que as obras a serem previstas podem resultar em desvios de tráfego de ou para a interseção projetada, tendo-se que considerar os efeitos desses desvios.
- É possível que se tenha que considerar mais de um período de pico, resultando em aumento do número de fluxogramas a serem considerados e níveis de serviço a serem calculados.

3 VOLUME MÉDIO DIÁRIO DE RODOVIAS (VMD)

Neste exemplo são apresentados os detalhes da determinação do VMD anual em um trecho com duas interseções, uma em “T” e outra em “X”.

Projeto

Como parte dos estudos de tráfego de um trecho da Rodovia BR-101 foram feitas diversas contagens, das quais é apresentado a seguir o estudo referente ao trecho entre os km 268,8 e 289,4. Nesse trecho foram feitas contagens de 7 dias, durante 24 horas, nos postos 15 e 17 para obter o tráfego na BR-101 e contagens de 3 dias, 8 horas por dia, nos postos 1 e 2, em duas interseções.

Contagens de 24 Horas

Para as contagens de 24 horas por dia, foi preparado um arquivo contendo as folhas básicas para contagem de volume durante 24 horas, designado por P24horas.xls, incluído no CD anexo, do qual é apresentada a seguir a folha A_2aF correspondente à 2a Feira, sentido A, na Tabela 104.

Esta é a primeira das 17 folhas que constituem o arquivo Folha Básica para Contagem de Volume durante 24 Horas.xls, preparado para receber os dados das contagens de campo, feitas com base nos veículos utilizados pelo DNIT. Os dizeres em vermelho naturalmente correspondem ao caso que se estiver estudando. Os valores 0 são os resultados dos cálculos feitos com as fórmulas indicadas. Como os valores das contagens não estão colocados suas somas dão sempre 0. Onde se tem divisão por zero isso é indicado por #DIV/0!.

Colocados os dados surgem os volumes totais diários de cada tipo de veículo para cada dia da semana e os valores médios semanais, por sentido de tráfego.

Abaixo dos quadros com os volumes de tráfego são apresentados:

- Coeficientes de Expansão dos Períodos: entre 6 e 10 horas para 0 a 24 horas, entre 16 e 20 horas para 24 horas, entre 6 e 10 horas + 16 a 20 horas para 24 horas, para cada dia da semana. Foram escolhidos esses períodos por serem os mais utilizados para expansão das contagens de interseções, como será observado ao tratar dessas contagens.
- Coeficientes de expansão dos volumes totais de cada tipo de veículo para a média da semana, por sentido, para cada dia da semana.

Tabela 104 - Contagem volumétrica classificatória

RODOVIA:BR-000/XX		SEGMENTO: km000,0-km000,0										PESQUISADOR		XXX						
LOCAL	Posto 00 "A"	SENTIDO	Local xxxxx - Localyyyyy										TEMPO	XXX	FOLHA					
DATA	00/00/2000 2a Feira	PERÍODO	24 HORAS																	
HORA	CARROS DE PASSEIO E UTILITÁRIOS		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES				MOTOS	BICLETAS TRACÇÃO ANIMAL		TOTAL
	P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	M	B	TA	TOTAL
0:00	1:00																			0
1:00	2:00																			0
2:00	3:00																			0
3:00	4:00																			0
4:00	5:00																			0
5:00	6:00																			0
6:00	7:00																			0
7:00	8:00																			0
8:00	9:00																			0
9:00	10:00																			0
10:00	11:00																			0
11:00	12:00																			0
12:00	13:00																			0
13:00	14:00																			0
14:00	15:00																			0
15:00	16:00																			0
16:00	17:00																			0
17:00	18:00																			0
18:00	19:00																			0
19:00	20:00																			0
20:00	21:00																			0
21:00	22:00																			0
22:00	23:00																			0
23:00	24:00																			0
TOTAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

†AL=SOMA(D8:D31)

P 00

PERÍODO 6:00 ÀS 10:00

=SOMA(D14:D17) 0

COEFICIENTES DE EXPANSÃO DO PERÍODO 6:00 ÀS 10:00 PARA 0:00 ÀS 24:00

=D33/D39 #DIV/0! #DIV/0!

PERÍODO 16:00 ÀS 20:00

=SOMA(D24:D27) 0

=D33/D45 #DIV/0! #DIV/0!

COEFICIENTES DE EXPANSÃO DO PERÍODO 16:00 ÀS 20:00 PARA 0:00 ÀS 24:00

PERÍODO 6:00 ÀS 10:00 + 16:00 ÀS 20:00

=SOMA((D14:D17)+D24:D27) 0

COEFICIENTES DE EXPANSÃO DO PERÍODO 6:00 ÀS 10:00 + 16:00 ÀS 20:00 PARA 0:00 ÀS 24:00

=D33/D51 #DIV/0! #DIV/0!

COEFICIENTES DE EXPANSÃO DA 2ª FEIRA PARA A MÉDIA DA SEMANA (VALOR DE 2ª FEIRA VEZES O COEFICIENTE)

Média_A/D33/D33 #DIV/0! #DIV/0!

No CD que acompanha o Manual são incluídos os arquivos P15.xls e P17.xls, como exemplos de uma semana de contagens. Em seguida são apresentadas as folhas correspondentes ao Posto 15, sentido A, 2ª Feira, Média do sentido B e Soma das Médias A + B (Tabelas 105 a 107)

**Tabela 105 - Contagem volumétrica classificatória
(Segunda-Feira)**

RODOVIA:BR-101/ES				SEGMENTO: km268,8-km289,4																PESQUISADOR				
LOCAL	Posto 15	km	269	SENTIDO A		Carapina - Coca-Cola										TEMPO			BOM			FOLHA		
DATA	05-02-2001	2a	Feira	PERÍODO		24 HORAS																		
HORA	CARROS DE PASSEIO E UTILITÁRIOS		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES				MOTOS		BICLETAS TRACÇÃO ANIMAL			TOTAL		
	P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	M	B	TA	TOTAL				
0:00	1:00	31	10	2	1	3	9		5	5		1	1	0	0	0	1			69				
1:00	2:00	14	4	2	3	2	7		4			1	0	0	0	0	1		1	39				
2:00	3:00	12	4	2	5	3	6		2	1		0	0	0	0	0			2	37				
3:00	4:00	11	3	7	3	9	6		1			0	0	0	0	1	3			44				
4:00	5:00	23	7	28	5	18	8	6	11	2		3	0	0	1	0	2		3	117				
5:00	6:00	47	15	34	2	42	16	4	9	3	2	3	1	0	1	0	6	5		190				
6:00	7:00	129	43	20	1	34	35	6	11			3	0	0	1	0	11	6	2	302				
7:00	8:00	221	73	16		38	47	4	25	7	2	8	2	0	2	0	24	12	2	483				
8:00	9:00	214	71	13	2	58	45	1	35	3	4	11	1	1	3	0	24	10		496				
9:00	10:00	205	68	5	2	58	40	1	51	3		17	1	0	5	0	15	10		481				
10:00	11:00	181	60	8	2	63	49	4	51	1		17	0	0	5	0	10	5	2	458				
11:00	12:00	214	71	8		46	52	2	71	3		23	1	0	7	0	24	12	2	536				
12:00	13:00	175	58	9		40	48	2	55	4	1	18	1	0	6	0	25	12	1	455				
13:00	14:00	172	57	9		45	49	6	59	7		19	2	0	6	0	15	12	1	459				
14:00	15:00	194	64	6		56	63	5	70	12	2	23	4	0	7	1	16	10		533				
15:00	16:00	201	67	11		73	62	6	63	13	2	21	4	0	7	1	16	10	3	560				
16:00	17:00	218	72	14		78	94	6	84	7	2	28	2	0	9	0	24	12	2	652				
17:00	18:00	211	70	15	1	57	63	2	70	8	3	23	2	1	7	0	24	12	1	570				
18:00	19:00	269	89	8		52	57	7	69	9	4	23	3	1	7	1	23	11	4	637				
19:00	20:00	121	40	13	2	23	57	3	39	4	3	13	1	1	4	0	16	8	2	350				
20:00	21:00	97	32	8	2	22	32	1	34	3	4	11	1	1	3	0	7	3	1	262				
21:00	22:00	88	29	9	2	19	32	2	43	2	1	14	0	0	4	0	6	2	1	254				
22:00	23:00	46	15	8	4	14	29	2	28	6	1	9	2	0	3	0	6	2	1	176				
23:00	24:00	37	12	2	3	10	23		42	5		14	1	0	4	0	1			155				
TOTAL		3.131	1.034	257	40	863	929	70	932	108	31	303	30	5	92	3	1	298	157	31	8.315			

P15

PERÍODO 6:00 ÀS 10:00

=SOMA(D14:D17)	769	255	54	5	188	167	12	122	13	6	39	4	1	11	0	0	74	38	4	1.762
=D33/D39	4,072	4,055	4,759	8,000	4,590	5,563	5,833	7,639	8,308	5,167	7,769	7,500	5,000	8,364	#DIV/0!	#DIV/0!	4,027	4,132	7,750	

PERÍODO 16:00 ÀS 20:00

=SOMA(D24:D27)	819	271	50	3	210	271	18	262	28	12	87	8	3	27	1	0	87	43	9	2.209
=D33/D45	3,823	3,815	5,140	13,333	4,110	3,428	3,889	3,557	3,857	2,583	3,483	3,750	1,667	3,407	3,000	#DIV/0!	3,425	3,651	3,444	

COEFICIENTES DE EXPANSÃO DO PERÍODO 16:00 ÀS 20:00 PARA 0:00 ÀS 24:00

PERÍODO 6:00 ÀS 10:00 + 16:00 ÀS 20:00

=SOMA(D14:D17) / (D33/D39 + D33/D45)	1588	526	104	8	398	438	30	384	41	18	126	12	4	38	1	0	161	81	13	3971
=D33/D51	1,972	1,966	2,471	5,000	2,168	2,121	2,333	2,427	2,634	1,722	2,405	2,500	1,250	2,421	3,000	#DIV/0!	1,851	1,938	2,385	

COEFICIENTES DE EXPANSÃO DA 2a FEIRA PARA A MÉDIA DA SEMANA (VALOR DE 2a FEIRA VEZES O COEFICIENTE)

Media_AID33/D33	0,991	0,993	0,902	1,354	0,870	0,915	0,982	0,793	0,944	1,000	0,790	0,890	1,086	0,770	0,762	0,286	0,890	0,569	0,355	
-----------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--

**Tabela 106 - Contagem volumétrica classificatória
(Volume horário semanal – Sentido B)**

RODOVIA;BR-101/ES				SEGMENTO: km268,8-km289,4																PESQUISADOR							
LOCAL		Posto 15	km	269	Sentido B		Coca-Cola - Carapina										TEMPO			BOM		FOLHA					
DATA		1/7-02-2007		Semana		PERÍODO		24 HORAS																			
HORA		CARROS DE PASSEIO E UTILITÁRIOS		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES				MOTOS	BICLETAS TRACÇÃO ANIMAL			TOTAL					
P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	M	B	TA	TOTAL								
0:00	1:00	23	7	6	3	3	11	2	15	2	0	5	0	0	1	0	1	0	0	79							
1:00	2:00	19	6	2	3	3	10	1	9	2	0	3	0	0	1	0	1	0	0	60							
2:00	3:00	12	4	1	4	2	6	1	9	1	1	3	0	0	1	0	0	1	0	46							
3:00	4:00	13	4	2	4	3	9	1	9	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	52							
4:00	5:00	23	7	5	4	7	14	1	13	1	1	4	0	0	1	0	0	2	1	85							
5:00	6:00	39	13	15	5	13	23	2	16	2	1	5	0	0	1	0	0	3	2	139							
6:00	7:00	90	30	16	4	34	43	3	27	4	1	9	1	0	3	0	0	9	3	275							
7:00	8:00	191	63	14	3	57	53	3	45	9	1	15	3	0	5	1	0	16	6	483							
8:00	9:00	204	68	24	1	61	51	5	50	7	2	16	2	1	5	0	0	22	8	527							
9:00	10:00	218	72	13	1	60	59	5	54	6	6	17	2	2	5	0	0	19	7	548							
10:00	11:00	199	66	10	1	53	55	4	49	7	2	16	2	1	5	0	0	17	5	493							
11:00	12:00	186	62	5	1	48	57	4	42	7	3	14	2	1	4	0	0	19	7	461							
12:00	13:00	179	59	6	0	47	56	2	40	7	1	13	2	0	4	0	0	18	7	443							
13:00	14:00	177	59	10	1	55	49	3	42	6	1	14	1	0	4	0	0	11	5	438							
14:00	15:00	187	62	9	0	46	45	5	44	7	1	14	2	0	5	0	0	16	6	450							
15:00	16:00	192	64	10	0	51	52	4	39	4	2	13	1	0	4	0	0	16	6	459							
16:00	17:00	197	65	12	1	52	48	3	35	5	1	12	1	0	3	0	0	22	8	466							
17:00	18:00	201	67	14	1	50	40	3	38	5	1	12	2	0	4	0	0	20	7	464							
18:00	19:00	210	70	13	3	40	38	3	37	5	1	12	1	0	4	0	0	21	7	466							
19:00	20:00	147	49	24	3	29	30	3	37	5	2	12	1	0	4	0	0	11	4	361							
20:00	21:00	111	37	17	2	18	25	2	30	4	0	10	1	0	3	0	0	9	3	270							
21:00	22:00	78	26	13	1	12	20	2	20	4	0	6	1	0	2	0	0	6	2	191							
22:00	23:00	61	20	12	0	8	16	1	22	2	0	7	0	0	2	0	0	3	1	157							
23:00	24:00	38	12	11	2	6	12	1	11	2	0	4	0	0	1	0	0	2	0	102							
TOTAL		2.993	990	262	50	756	820	63	734	104	30	237	27	6	71	3	1	265	92	12	7.516						

**Tabela 107 - Contagem volumétrica classificatória
(Volume horário semanal – Sentido A + B)**

RODOVIA;BR-101/ES				SEGMENTO: km268,8-km289,4																PESQUISADOR							
LOCAL		Posto 15	km	269	A+B		Coca-Cola - Carapina										TEMPO			BOM		FOLHA					
DATA		1/7-02-2007		Semana		PERÍODO		24 HORAS																			
HORA		CARROS DE PASSEIO E UTILITÁRIOS		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES				MOTOS	BICLETAS TRACÇÃO ANIMAL			TOTAL					
P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	M	B	TA	TOTAL								
0:00	1:00	46	15	6	5	8	30	3	27	5	1	8	1	0	2	0	0	3	0	0	161						
1:00	2:00	34	11	5	7	7	26	2	19	4	1	6	1	0	1	0	0	2	0	0	124						
2:00	3:00	24	7	3	8	7	18	1	18	3	1	5	0	0	1	0	0	1	0	1	100						
3:00	4:00	27	8	8	10	10	21	2	17	3	1	5	0	0	1	0	0	1	1	0	117						
4:00	5:00	46	15	28	8	20	27	3	23	2	1	7	0	0	2	0	0	4	1	1	189						
5:00	6:00	84	27	42	10	34	45	4	28	4	2	8	1	0	2	0	0	8	3	0	303						
6:00	7:00	192	63	31	8	63	72	8	46	8	4	15	2	1	4	0	0	18	6	1	540						
7:00	8:00	371	123	30	4	99	93	7	71	15	3	23	4	0	7	1	0	32	12	2	896						
8:00	9:00	410	136	34	4	109	93	10	83	12	5	27	3	1	8	0	0	41	14	1	992						
9:00	10:00	415	137	21	3	103	100	10	95	10	10	31	3	3	9	0	1	33	11	1	994						
10:00	11:00	400	133	17	2	101	105	7	98	10	3	32	3	1	10	0	0	32	10	1	967						
11:00	12:00	373	124	13	1	87	103	7	95	11	4	31	3	1	9	0	0	36	12	2	914						
12:00	13:00	346	115	14	1	83	102	6	83	10	4	27	3	1	8	0	0	36	13	1	853						
13:00	14:00	355	117	19	2	98	92	8	84	12	1	27	3	0	8	0	0	24	10	1	862						
14:00	15:00	370	123	15	0	96	96	9	92	13	2	30	4	0	9	0	0	33	12	1	906						
15:00	16:00	385	128	19	0	102	105	8	85	11	4	28	3	1	9	1	0	34	12	2	937						
16:00	17:00	402	133	24	2	112	105	7	88	12	3	29	3	0	9	0	0	43	15	2	991						
17:00	18:00	422	140	26	2	100	93	6	89	12	2	29	3	0	9	0	0	43	15	2	993						
18:00	19:00	455	151	22	3	92	86	7	81	12	2	27	3	0	8	0	0	38	13	2	1.002						
19:00	20:00	314	104	35	3	61	76	5	72	11	4	23	3	1	7	0	0	25	9	1	755						
20:00	21:00	241	80	26	4	40	60	4	60	7	2	19	2	0	6	0	0	19	6	0	576						
21:00	22:00	170	56	21	4	31	47	3	48	9	0	15	2	0	4	0	0	12	3	0	426						
22:00	23:00	134	44	21	5	25	45	2	42	6	1	13	1	0	4	0	0	10	3	0	358						
23:00	24:00	79	26	14	6	16	30	3	31	4	0	10	1	0	3	0	0	4	1	0	227						
TOTAL		6.096	2.016	494	104	1.507	1.670	131	1.473	206	61	476	54	11	142	6	1	531	181	23	15.183						

Contagens de 8 Horas

Nas interseções foram efetuadas contagens durante 3 dias, para cada corrente de tráfego, nos períodos de pico, totalizadas para intervalos de 15 minutos. Esses períodos foram entre 6 e 10 horas e entre 16 e 20 horas. Procedeu-se da seguinte maneira:

- Para cada corrente foram colocadas em um mesmo arquivo as 3 planilhas dos 3 dias de semana.
- Em cada folha, foram calculados os volumes totais em Unidades de Carros de Passeio (UCP), utilizando os equivalentes em carros de passeio das Normas Alemãs 2000, conforme tabela transcrita a seguir:

Tabela 108 - Equivalência em carros de passeio

P	CO	RSR	M	B	SI
1	1,5	2	1	0,5	1,1

P = Carros de Passeio

CO = Caminhões e Ônibus

RSR = Reboques e Semi-Reboques

M = Motocicletas

B = Bicicletas

SI = Sem Informação

Na coluna UCP foram colocados os Volumes em UCP dos intervalos de 15 minutos totalizados nas contagens, na coluna VHAnt os Volumes Horários correspondentes à Hora Anterior, e na coluna VHMáx Manhã/Tarde os Volumes Horários Máximos nos períodos da Manhã e da Tarde. Esses volumes máximos são obtidos utilizando os recursos da planilha, que permitem identificar o valor máximo de uma lista de células. O arquivo P8h3dias.xls apresenta as folhas a serem preenchidas com os dados das contagens. Como exemplo é apresentado a Tabela 109, correspondente ao primeiro dia de contagem, 2ª Feira.

Tabela 110 - Volume médio diário

HORA		P1A								
		2ª Feira			5ª Feira			6ª Feira		
		UCP	VHAnt	VHMáx Manhã	UCP	VHAnt	VHMáx Manhã	UCP	VHAnt	VHMáx Manhã
6:00	6:15	0			0			1		
6:15	6:30	0		14	0		13	0		16
6:30	6:45	4			4			4		
6:45	7:00	5	9		0	4		4	9	
7:00	7:15	3	11		2	6		6	13	
7:15	7:30	3	14		4	10		3	16	
7:30	7:45	2	12		3	9		3	15	
7:45	8:00	2	9		3	12		2	13	
8:00	8:15	3	10		3	13		3	10	
8:15	8:30	3	9		3	11		4	12	
8:30	8:45	2	10		1	9		2	11	
8:45	9:00	0	8		4	11		3	12	
9:00	9:15	3	8		3	11		5	13	
9:15	9:30	4	9		3	11		0	9	
9:30	9:45	3	10		0	10		5	12	
9:45	10:00	0	10		2	7		2	11	
		UCP	VHAnt	VHMáx Manhã	UCP	VHAnt	VHMáx Manhã	UCP	VHAnt	VHMáx Manhã
16:00	16:15	2			0			4		
16:15	16:30	3		11	3		6	1		7
16:30	16:45	0			0			0		
16:45	17:00	1	6		0	3		0	5	
17:00	17:15	5	9		0	3		0	1	
17:15	17:30	0	6		0	0		0	0	
17:30	17:45	1	7		3	3		4	4	
17:45	18:00	5	11		1	4		4	7	
18:00	18:15	1	7		0	4		0	7	
18:15	18:30	1	8		2	6		0	7	
18:30	18:45	1	8		2	5		1	5	
18:45	19:00	1	4		1	5		1	2	
19:00	19:15	0	3		0	5		0	2	
19:15	19:30	0	2		0	3		0	2	
19:30	19:45	0	1		0	1		0	1	
19:45	20:00	0	0		0	0		0	0	

Em cada dia de contagem faz-se expansão para as 24 horas do dia e para a média da semana, com utilização dos coeficientes determinados nos postos de 24 horas por dia, com duração de uma semana. No primeiro dia da semana, no caso a 2ª Feira, foram copiados os resultados obtidos para os outros dois dias e fez-se a média, para obter o VMD médio sujeito ainda a correção sazonal. Mais adiante se faz uma explanação mais detalhada do processo de ajustamento.

Determinação do VMD anual

Para fins de estabelecimento do VMD anual ao longo do subtrecho e nos acessos e interseções são feitas correções em função das variações horárias, de dias de semana e mensais, extraídas de contagens disponíveis nos postos de contagens dos órgãos rodoviários (DNIT, DERs estaduais ou municipais).

a) Expansão Horária (FCh)

Como já observado foram determinados fatores de expansão horária por tipo de veículo pela relação entre os volumes de tráfego registrados nos Postos de contagem de 7 dias, 24 horas por dia, durante o período de contagem de 0:00 às 24:00 horas e durante os períodos de 6:00 às 10:00 horas e/ou 16:00 às 20:00 horas, para cada dia de semana em que se efetuou contagens em períodos reduzidos. Os fatores de ajustamento para cada Posto *i*, em que se fez contagens em períodos reduzidos, são calculados como médias ponderadas dos fatores dos Postos de 7 dias, sendo os pesos inversamente proporcionais às distâncias desses postos ao Posto *i*.

b) Expansão Semanal (FCd)

Foram determinados fatores de correção para cada dia de semana em que forem feitas contagens de 3 dias, por tipo de veículo, pela relação entre os volumes de tráfego registrados nos Postos P15 e P17 durante o período de contagem de 0:00 às 24:00 horas para a média da semana e para cada dia de semana. Os fatores de ajustamento para cada Posto *i*, são calculados como médias ponderadas dos fatores dos Postos 15 e 17, sendo os pesos inversamente proporcionais às distâncias desses postos ao Posto *i*.

A seguir são apresentados exemplos de quadros de Fatores de Expansão Horária e de Fatores de Expansão do Dia da Semana para a Média da Semana, para os Dois Sentidos de Tráfego, correspondentes a dois Postos de contagem de 7 dias, designados como P15 e P17 – As Tabelas 111 a 112 – (arquivos P15 e P17Coeficientes de Expansão.xls).

Os ajustamentos foram feitos nas planilhas elaboradas a partir dos levantamentos de campo e depois transferidas para um quadro relacionando os valores médios de tráfego para cada corrente. Em seguida foram calculados os valores médios das correntes de sentidos contrários, já que se admite que os VMDs anuais dessas correntes devem ser iguais.

A seguir é apresentada a parte inferior da planilha P1A.xls, folha A_2aF, correspondente à 2ª feira (Tabela 113), em que:

- a linha TOTAL contém os volumes de veículos correspondente aos períodos entre 6:00 e 10:00 horas e 16:00 às 20:00 horas,
- a linha 2a Feira 0 a 24 horas contém a expansão desses volumes para as 24 horas do dia;
- a linha Média da Semana VMD contém a expansão dos volumes anteriores para a média da semana.

Tabela 111 - Coeficientes de expansão semanal do Posto P15

P15 Sentido A: Carapina - Coca Cola

	CARROS DE PASSEIO E UTILITÁRIOS		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES				MOTOS	BICLETAS TRACÇÃO ANIMAL		
	P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	M	B	TA	
																				COEFICIENTES DE EXPANSÃO DO PERÍODO 6:00 AS 10:00 + 16:00 AS 20:00 PARA 0:00 AS 24:00
2aFeira	1,972	1,966	2,471	5,000	2,168	2,121	2,333	2,427	2,634	1,722	2,405	2,500	1,250	2,421	3,000	#DIV/0!	1,851	1,938	2,385	
3aFeira	2,070	2,069	2,091	3,923	1,991	2,259	2,048	2,570	2,288	2,067	2,556	2,214	1,750	2,472	2,000	#DIV/0!	1,955	1,884	1,600	
4aFeira	2,054	2,046	2,373	3,200	1,989	2,400	3,333	2,586	2,292	1,727	2,602	2,385	1,667	2,581	3,000	#DIV/0!	1,941	1,894	1,667	
5aFeira	2,051	2,045	2,699	7,500	2,151	2,413	2,583	2,470	2,375	1,640	2,439	2,462	1,143	2,400	2,000	1,000	1,830	1,809	1,667	
6aFeira	1,978	1,972	2,320	5,300	2,007	2,456	2,636	2,098	2,265	1,808	2,074	2,071	1,833	2,081	1,500	#DIV/0!	2,021	1,956	2,200	
Sábado	2,200	2,196	3,018	4,692	2,551	2,874	1,500	2,531	2,969	2,000	2,530	2,875	2,000	2,350	#DIV/0!	#DIV/0!	2,443	2,385	#DIV/0!	
Domingo	1,961	1,958	2,549	4,050	2,077	2,520	1,824	2,489	1,900	2,500	2,422	1,375	#DIV/0!	2,455	1,000	#DIV/0!	2,204	2,100	1,500	

COEFICIENTES DE EXPANSÃO DO DIA DA SEMANA PARA A MÉDIA DA SEMANA

2aFeira	0,991	0,993	0,902	1,354	0,870	0,915	0,982	0,793	0,944	1,000	0,790	0,890	1,086	0,770	0,762	0,286	0,890	0,569	0,355
3aFeira	1,042	1,044	0,916	1,062	0,885	0,861	0,799	0,804	0,857	1,000	0,800	0,862	0,776	0,796	0,571	#DIV/0!	1,020	1,102	1,375
4aFeira	1,043	1,043	0,958	1,128	0,850	0,843	0,859	0,896	0,927	0,816	0,893	0,862	1,086	0,886	0,762	#DIV/0!	0,893	1,003	1,100
5aFeira	0,961	0,960	0,924	1,203	0,787	0,778	1,108	0,868	0,895	0,756	0,861	0,835	0,679	0,844	1,143	0,286	0,947	1,050	1,100
6aFeira	0,855	0,853	0,970	1,022	0,826	0,872	1,185	0,958	0,919	0,660	0,953	0,921	0,494	0,920	0,762	#DIV/0!	0,912	1,015	1,000
Sábado	1,043	1,043	1,348	0,888	1,501	1,626	1,091	1,411	1,074	2,214	1,433	1,161	2,714	1,508	#DIV/0!	#DIV/0!	1,234	1,440	2,700
Domingo	1,108	1,106	1,109	0,668	2,527	1,950	1,108	2,107	1,789	2,087	2,195	2,429	#DIV/0!	2,624	2,286	#DIV/0!	1,228	1,417	3,667

P15 Sentido B: Coca - Cola - Carapina

	CARROS DE PASSEIO E UTILITÁRIOS		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES				MOTOS	BICLETAS TRACÇÃO ANIMAL		
	P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	M	B	TA	
																				COEFICIENTES DE EXPANSÃO DO PERÍODO 6:00 AS 10:00 + 16:00 AS 20:00 PARA 0:00 AS 24:00
2aFeira	1,955	1,953	1,918	3,133	1,948	2,135	2,207	2,338	2,073	2,100	2,315	2,000	1,500	2,244	2,000	#DIV/0!	1,761	1,938	2,385	
3aFeira	2,033	2,023	1,912	5,000	1,972	2,370	2,171	2,428	2,462	1,700	2,427	2,357	1,400	2,488	2,500	1,000	1,970	1,929	1,600	
4aFeira	1,957	1,949	2,000	2,400	1,968	2,328	2,269	2,374	2,392	1,750	2,355	2,267	1,500	2,206	3,000	1,000	1,680	1,621	1,571	
5aFeira	1,990	1,988	1,876	2,474	1,844	2,091	2,088	2,166	1,791	2,474	2,146	1,722	2,200	2,071	1,250	2,000	1,893	1,796	2,000	
6aFeira	2,058	2,056	2,071	3,053	1,974	2,178	2,750	2,351	2,513	1,789	2,319	2,455	1,667	2,294	4,000	#DIV/0!	1,914	1,907	1,857	
Sábado	2,263	2,264	2,559	2,370	2,139	2,441	2,075	1,983	2,576	2,056	1,969	2,333	1,750	1,862	#DIV/0!	#DIV/0!	1,973	1,889	1,500	
Domingo	2,192	2,185	2,321	3,813	2,500	2,930	3,818	2,265	2,172	1,571	2,167	2,000	#DIV/0!	2,091	#DIV/0!	#DIV/0!	2,411	2,364	3,000	

COEFICIENTES DE EXPANSÃO DO DIA DA SEMANA PARA A MÉDIA DA SEMANA

2aFeira	0,952	0,953	0,937	1,058	0,874	0,877	0,980	0,793	0,915	1,442	0,788	0,905	1,857	0,770	1,643	#DIV/0!	0,947	0,585	0,378
3aFeira	1,027	1,028	0,927	1,420	0,816	0,890	0,825	0,840	0,815	0,891	0,835	0,823	0,796	0,814	0,657	0,571	1,020	1,134	1,464
4aFeira	1,031	1,030	0,994	1,381	0,827	0,837	1,063	0,948	0,855	1,082	0,941	0,798	0,929	0,945	0,548	0,571	0,887	0,977	1,065
5aFeira	0,971	0,972	0,914	1,058	0,819	0,812	0,883	0,853	0,869	0,644	0,850	0,876	0,506	0,814	0,657	0,286	0,934	1,044	1,171
6aFeira	0,866	0,865	0,905	0,857	0,829	0,870	1,425	0,905	1,084	0,891	0,905	1,005	1,114	0,908	0,821	#DIV/0!	0,792	0,892	0,901
Sábado	1,041	1,041	1,103	0,777	1,586	1,424	0,756	1,238	1,227	0,819	1,242	1,293	0,796	1,312	3,286	#DIV/0!	1,190	1,351	1,952
Domingo	1,161	1,162	1,346	0,815	2,751	2,187	1,493	2,454	1,655	2,763	2,606	1,939	#DIV/0!	3,081	#DIV/0!	#DIV/0!	1,507	1,766	3,905

Tabela 112 - Coeficientes de expansão semanal do Posto P17

P17 Sentido A: Carapina - Coca Cola

P	CARROS DE PASSEIO E UTILITÁRIOS		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES				MOTOS		BICLETAS TRACÇÃO ANIMAL		
	U		2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	M	B	TA		
COEFICIENTES DE EXPANSÃO DO PERÍODO 6:00 AS 10:00 + 16:00 AS 20:00 PARA 0:00 AS 24:00																					
2aFeira	1,894	1,890	1,639	3,467	1,917	2,414	2,458	2,327	2,806	2,556	2,301	2,875	2,000	2,200	#DIV/0!	#DIV/0!	1,861	1,938	2,385		
3aFeira	1,876	1,872	1,651	5,778	1,907	2,269	2,944	2,248	2,413	1,952	2,228	2,417	1,400	2,129	2,500	#DIV/0!	1,767	1,684	1,400		
4aFeira	1,892	1,888	1,554	5,545	1,792	2,375	2,913	2,536	2,315	1,542	2,519	2,067	1,500	2,455	1,500	1,000	1,689	1,622	1,250		
5aFeira	1,957	1,953	1,533	4,909	1,906	2,241	2,048	2,412	2,776	1,692	2,413	2,769	1,500	2,265	3,000	1,000	1,819	1,806	1,667		
6aFeira	1,862	1,857	1,532	5,273	1,888	2,303	2,250	2,315	2,911	1,577	2,276	2,923	1,333	2,250	2,000	1,000	2,248	2,242	2,667		
Sábado	2,083	2,078	1,951	4,500	2,595	2,521	2,176	2,808	2,455	1,957	2,812	2,250	1,500	2,762	2,000	#DIV/0!	2,439	2,308	2,500		
Domingo	1,901	1,897	1,914	4,842	2,478	2,500	2,231	2,353	3,238	2,000	2,262	2,800	1,400	1,846	#DIV/0!	#DIV/0!	1,873	1,762	1,000		

COEFICIENTES DE EXPANSÃO DO DIA DA SEMANA PARA A MÉDIA DA SEMANA																			
2aFeira	0,943	0,943	0,960	1,236	0,890	1,125	1,065	1,104	1,258	1,671	1,108	1,230	3,429	1,148	3,000	0,571	0,887	0,462	0,286
3aFeira	0,996	0,996	0,953	1,236	0,885	0,864	1,186	0,945	0,986	0,937	0,941	0,975	0,980	0,957	0,600	#DIV/0!	0,949	1,134	1,265
4aFeira	1,057	1,055	1,012	1,054	0,848	0,835	0,938	0,821	0,875	1,039	0,808	0,912	1,143	0,780	1,000	0,571	1,001	1,210	1,771
5aFeira	1,054	1,054	0,946	1,190	0,837	0,811	0,731	0,842	0,805	0,873	0,843	0,786	0,762	0,820	0,500	0,571	1,054	1,296	1,771
6aFeira	0,923	0,923	0,907	1,108	0,814	0,851	0,873	0,801	0,835	0,937	0,802	0,744	0,857	0,780	0,750	0,571	0,822	0,981	1,107
Sábado	1,031	1,032	1,097	0,794	1,452	1,288	0,849	1,099	1,013	0,854	1,091	1,048	0,762	1,089	1,500	#DIV/0!	1,006	1,210	1,771
Domingo	1,014	1,014	1,176	0,699	2,194	1,751	2,167	2,110	1,609	1,011	2,229	2,020	0,980	2,631	#DIV/0!	#DIV/0!	1,513	1,961	8,857

P17 Sentido B: Coca - Cola - Carapina

P	CARROS DE PASSEIO E UTILITÁRIOS		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES				MOTOS		BICLETAS TRACÇÃO ANIMAL		
	U		2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	M	B	TA		
COEFICIENTES DE EXPANSÃO DO PERÍODO 6:00 AS 10:00 + 16:00 AS 20:00 PARA 0:00 AS 24:00																					
2aFeira	1,957	1,953	1,667	1,818	1,886	2,193	1,871	2,177	2,057	1,647	2,315	2,000	1,500	2,244	2,000	#DIV/0!	1,667	1,938	2,385		
3aFeira	1,889	2,023	1,704	2,000	2,027	2,214	1,774	2,168	1,790	2,444	2,427	2,357	1,400	2,486	2,500	1,000	1,648	1,929	1,600		
4aFeira	2,017	1,949	1,757	1,667	2,075	2,221	2,500	2,157	2,174	2,909	2,355	2,267	1,500	2,206	3,000	1,000	1,779	1,621	1,571		
5aFeira	2,033	1,988	1,614	2,889	1,848	2,237	2,864	2,291	1,964	3,429	2,146	1,722	2,200	2,071	1,250	2,000	1,629	1,796	2,000		
6aFeira	2,001	2,056	1,720	2,650	1,917	2,371	2,079	2,275	2,309	4,600	2,319	2,455	1,667	2,294	4,000	#DIV/0!	1,692	1,907	1,857		
Sábado	2,262	2,264	2,174	2,350	2,519	2,278	1,920	2,201	2,229	3,077	1,969	2,333	1,750	1,862	#DIV/0!	#DIV/0!	1,706	1,889	1,500		
Domingo	1,981	2,185	2,212	2,567	2,203	2,667	2,692	2,540	2,788	1,444	2,167	2,000	#DIV/0!	2,091	#DIV/0!	#DIV/0!	2,211	2,364	3,000		

COEFICIENTES DE EXPANSÃO DO DIA DA SEMANA PARA A MÉDIA DA SEMANA																			
2aFeira	0,965	0,953	0,945	0,770	0,969	1,093	1,017	1,209	0,995	1,459	0,788	0,905	1,857	0,770	1,643	#DIV/0!	0,935	0,585	0,378
3aFeira	1,013	1,028	0,924	0,993	0,902	0,908	1,073	0,936	0,748	0,619	0,835	0,823	0,796	0,814	0,657	0,571	0,841	1,134	1,464
4aFeira	1,054	1,030	0,981	1,026	0,840	0,863	0,787	0,912	1,084	1,277	0,941	0,798	0,929	0,945	0,548	0,571	0,863	0,977	1,065
5aFeira	0,933	0,972	0,952	1,184	0,831	0,795	0,937	0,789	1,004	0,851	0,850	0,876	0,506	0,814	0,657	0,286	0,995	1,044	1,171
6aFeira	0,858	0,865	0,905	1,162	0,729	0,785	0,747	0,766	0,854	0,888	0,905	1,005	1,114	0,908	0,821	#DIV/0!	0,814	0,892	0,901
Sábado	1,078	1,041	1,276	1,310	1,544	1,258	1,229	1,122	1,390	1,021	1,242	1,293	0,796	1,312	3,286	#DIV/0!	1,386	1,351	1,952
Domingo	1,159	1,162	1,109	0,800	2,239	2,005	1,686	1,838	1,179	1,571	2,606	1,939	#DIV/0!	3,081	#DIV/0!	#DIV/0!	1,595	1,766	3,905

Tabela 114 - VMD ajustados para a média semanal

Valores do VMD Anual Ajustados para a Média Semanal

	CARROS DE PASSEIO E UTILITÁRIOS		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES				MOTOS			BICLETAS TRACÇÃO ANIMAL			TOTAL
	P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	M	B	TA	TOTAL			
P1A A - Carapina para Ibrata	18	4	2	0	7	23	0	9	2	1	0	0	0	0	0	0	5	3	0	74			
P1B B - Ibrata para Carapina	15	4	2	0	5	27	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	67			
P1C C - Ibrata para Coca-Cola	9	4	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	17			
P1D D - Coca-Cola para Ibrata	7	4	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	19			

Valores Médios do VMD Anual das Correntes Opostas Ajustadas para a Média Semanal

	CARROS DE PASSEIO E UTILITÁRIOS		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES				MOTOS			BICLETAS TRACÇÃO ANIMAL			TOTAL
	P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	M	B	TA	TOTAL			
P1A A - Carapina para Ibrata	16	4	2	0	6	25	0	10	1	1	0	0	0	0	0	0	3	3	0	70			
P1B B - Ibrata para Carapina	16	4	2	0	6	25	0	10	1	1	0	0	0	0	0	0	3	3	0	70			
P1C C - Ibrata para Coca-Cola	8	4	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	18			
P1D D - Coca-Cola para Ibrata	8	4	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	18			

Valores Médios do VMD Anual das Correntes Opostas Ajustadas pelo fator Sazonal 0,939

	CARROS DE PASSEIO E UTILITÁRIOS		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES				MOTOS			BICLETAS TRACÇÃO ANIMAL			TOTAL
	P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	M	B	TA	TOTAL			
P1A A - Carapina para Ibrata	15	3	2	0	5	23	0	9	1	1	0	0	0	0	0	0	2	3	0	66			
P1B B - Ibrata para Carapina	15	3	2	0	5	23	0	9	1	1	0	0	0	0	0	0	2	3	0	66			
P1C C - Ibrata para Coca-Cola	8	3	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	17			
P1D D - Coca-Cola para Ibrata	8	3	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	17			

c) Expansão Mensal (FCm) – Variação sazonal

As valores de correção mensal são obtidos pelas relações entre o VMD anual e os VMDs nos meses de contagens observados em algum posto permanente do DNIT ou DER local, situado nas proximidades em situação que possa ser considerada como semelhante em termos de tráfego.

Para o exemplo apresentado foram obtidas no DNIT as seguintes informações relativas ao VMD anual da BR-101 no segmento km 268,8 a km 288,1, Posto n°11, situado no km 277.

As informações mais recentes são do ano de 1998 e permitem ajustar os resultados das contagens feitas no final de janeiro e início de fevereiro para que representem a média anual. A média dos VMDs dos meses janeiro e fevereiro é 9.807 e o VMD anual é 9.205. Os valores calculados com base nas contagens feitas devem então ser ajustados pelo coeficiente $9.205/9.807=0,939$, para que representem as prováveis médias anuais.

Na Tabela 115 é feito o ajustamento sazonal a partir dos valores Total de Media_A+Media_B das planilhas de cálculo de P15 e P17.

Tem-se então os valores do Volume Médio Diário anual da BR-101 nos kms 269 e 289, locais dos Postos 15 e 17.

A partir das contagens dos postos P1 e P2 foram determinados os Volumes Médios Diários anuais das diferentes correntes de tráfego, devidamente ajustadas com o mesmo coeficiente de sazonalidade, obtendo-se os dados das Tabelas 116 e 117.

Tabela 115 - Correção sazonal

	CARROS DE PASSEIO E UTILITÁRIOS		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES				MOTOS	BICLETAS TRACÇÃO ANIMAL			TOTAL	TOTAL UCP
	P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	M	B	TA	TOTAL		
TOTAL	6.096	2.016	494	104	1.507	1.670	131	1.473	206	61	476	54	11	142	6	1	531	181	23	15.183	18290	
VMDanual	5.724	1.893	464	98	1.415	1.568	123	1.383	194	58	447	51	10	133	5	1	498	170	21	14.257		

VMDanual em 2001 de P17 a partir dos valores TOTAL de Media_A+Media_B por aplicação do Coeficiente de Ajustamento Sazonal 0,939

	CARROS DE PASSEIO E UTILITÁRIOS		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES				MOTOS	BICLETAS TRACÇÃO ANIMAL			TOTAL	TOTAL UCP
	P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	M	B	TA	TOTAL		
TOTAL	6.168	2.094	258	126	1.221	1.701	122	1.300	218	79	449	55	12	134	6	1	402	164	21	14.532	17297	
VMDanual	5.792	1.966	242	118	1.147	1.597	114	1.221	205	74	421	52	12	126	6	1	378	154	19	13.645		

Tabela 116 - Volumes médios diários anuais ajustados com o mesmo coeficiente de sazonalidade (Posto P1)

	CARROS DE PASSEIO E UTILITÁRIOS		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES				MOTOS	BICLETAS TRACÇÃO ANIMAL			TOTAL
	P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	M	B	TA	TOTAL	
P1A A - Carapina para Ibrata	18	4	2	0	7	23	0	9	2	1	0	0	0	0	0	0	5	3	0	74	
P1B B - Ibrata para Carapina	15	4	2	0	5	27	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	67	
P1C C - Ibrata para Coca-Cola	9	4	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	17	
P1D D - Coca-Cola para Ibrata	7	4	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	19	

Valores Médios do VMD Anual das Correntes Opostas Ajustadas para a Média Semanal

	CARROS DE PASSEIO E UTILITÁRIOS		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES				MOTOS	BICLETAS TRACÇÃO ANIMAL			TOTAL
	P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	M	B	TA	TOTAL	
P1A A - Carapina para Ibrata	16	4	2	0	6	25	0	10	1	1	0	0	0	0	0	0	3	3	0	70	
P1B B - Ibrata para Carapina	16	4	2	0	6	25	0	10	1	1	0	0	0	0	0	0	3	3	0	70	
P1C C - Ibrata para Coca-Cola	8	4	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	18	
P1D D - Coca-Cola para Ibrata	8	4	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	18	

Valores Médios do VMD Anual das Correntes Opostas Ajustadas pelo fator Sazonal 0,939

	CARROS DE PASSEIO E UTILITÁRIOS		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES				MOTOS	BICLETAS TRACÇÃO ANIMAL			TOTAL
	P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	M	B	TA	TOTAL	
P1A A - Carapina para Ibrata	15	3	2	0	5	23	0	9	1	1	0	0	0	0	0	0	2	3	0	66	
P1B B - Ibrata para Carapina	15	3	2	0	5	23	0	9	1	1	0	0	0	0	0	0	2	3	0	66	
P1C C - Ibrata para Coca-Cola	8	3	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	17	
P1D D - Coca-Cola para Ibrata	8	3	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	17	

Tabela 117 - Volumes médios diários anuais ajustados com o mesmo coeficiente de sazonalidade (Posto P2)

	CARROS DE PASSEIO E UTILITÁRIOS		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES				MOTOS	BICLETAS TRACÇÃO ANIMAL			TOTAL
	P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	M	B	TA	TOTAL	
A - Carapina para Coimex ou Retorno	97	0	8	0	14	8	43	7	1	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	168	
B - Coimex para Carapina	86	0	9	0	11	5	17	16	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	151	
C - Coimex para Coca-Cola	65	0	7	0	9	33	88	10	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	221	
D - Coca-Cola para Coimex ou Retorno	49	0	7	0	15	27	110	37	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	249	
E - Carapina para Chinabrás/Terca	102	0	7	0	15	11	4	21	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	163	
F - Chinabrás/Terca para Carapina	75	0	5	0	11	12	2	9	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	117	
G - Chinabrás/Terca para Coca-Cola ou Retorno	28	0	10	0	11	12	4	41	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	108	
H - Coca-Cola para Chinabrás/Terca	22	0	2	0	8	10	5	25	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	73	

Valores Médios do VMD Anual das Correntes Opostas Ajustadas para a Média Semanal

	CARROS DE PASSEIO E UTILITÁRIOS		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES				MOTOS	BICLETAS TRACÇÃO ANIMAL			TOTAL
	P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	M	B	TA	TOTAL	
A - Carapina para Coimex ou Retorno	91	0	8	0	12	6	30	12	1	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	169	
B - Coimex para Carapina	91	0	8	0	12	6	30	12	1	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	169	
C - Coimex para Coca-Cola	57	0	7	0	12	30	99	24	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	235	
D - Coca-Cola para Coimex ou Retorno	57	0	7	0	12	30	99	24	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	235	
E - Carapina para Chinabrás/Terca	89	0	6	0	13	11	3	15	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	140	
F - Chinabrás/Terca para Carapina	89	0	6	0	13	11	3	15	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	140	
G - Chinabrás/Terca para Coca-Cola ou Retorno	25	0	6	0	9	11	4	33	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	91	
H - Coca-Cola para Chinabrás/Terca	25	0	6	0	9	11	4	33	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	91	

Valores Médios do VMD Anual das Correntes Opostas Ajustadas pelo Fator Sazonal 0,939

	CARROS DE PASSEIO E UTILITÁRIOS		ÔNIBUS		CAMINHÕES			SEMI-REBOQUES					REBOQUES				MOTOS	BICLETAS TRACÇÃO ANIMAL			TOTAL
	P	U	2C	3C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	M	B	TA	TOTAL	
A - Carapina para Coimex ou Retorno	86	0	8	0	12	6	28	11	1	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	159	
B - Coimex para Carapina	86	0	8	0	12	6	28	11	1	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	159	
C - Coimex para Coca-Cola	53	0	7	0	11	28	93	22	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	220	
D - Coca-Cola para Coimex ou Retorno	53	0	7	0	11	28	93	22	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	220	
E - Carapina para Chinabrás/Terca	83	0	6	0	12	11	2	14	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	131	
F - Chinabrás/Terca para Carapina	83	0	6	0	12	11	2	14	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	131	
G - Chinabrás/Terca para Coca-Cola ou Retorno	23	0	5	0	9	11	4	31	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	85	
H - Coca-Cola para Chinabrás/Terca	23	0	5	0	9	11	4	31	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	85	

4 GERAÇÃO DE VIAGENS PELO MÉTODO DE REGRESSÃO LINEAR

Regressão Linear Simples

Durante o período de 1980 a 2004 foram feitas contagens em um trecho da Rodovia ES-100 e foram determinados os volumes médios diários indicados a seguir:

Tabela 118 - Volumes médios diários (Contagens)

ANO	1980	1981	1982	1984	1985	1987	1989	1990	1991	1993	1995	1996	1998	2001	2002	2003	2004
VMD	725	757	787	858	890	977	1055	1093	1145	1232	1360	1430	1531	1750	1830	1875	1979

Deseja-se determinar uma função $VMD = f(ANO)$ que represente o melhor possível a variação do VMD ao longo dos anos.

Como primeira tentativa se experimentará uma relação linear do tipo $y = a + bx$, em que x representa o ano e y o VMD. O processo a seguir descrito chama-se de Regressão Linear Simples.

Como critério para escolher os valores “a” e “b” impõe-se que a soma dos quadrados das diferenças entre os valores de “x” e de “y” obtidos com a equação seja o mínimo possível (método dos quadrados mínimos):

$$\sum_{i=1}^N (Y_i - a - bx_i)^2 \text{ seja o valor mínimo possível.}$$

A solução matemática desse problema é dado por um sistema de equações de derivadas parciais, que conduz aos resultados

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

Para simplificar os cálculos, adotou-se para x_i os valores ANO – 1980, indo x_i de 0 a 24 (2004-1980), obtendo-se os resultados

$$a = 639,4647 \text{ e } b = 51,75672$$

$$y = 639,4647 + 51,75672 x, \text{ ou } VMD_t = 639,4647 + 51,75672 t$$

onde VMD_t = volume médio diário no ano t

t = número de anos após 1980

Os valores do VMD_t calculados ano a ano com esta fórmula são (Tabela 119):

Tabela 119 - Volumes médios diários (Calculados)

ANO	1980	1981	1982	1984	1985	1987	1989	1990	1991	1993	1995	1996	1998	2001	2002	2003	2004
VMD	639	691	743	846	898	1002	1105	1157	1209	1312	1416	1468	1571	1726	1778	1830	1882

que correspondem a um erro médio de 4,4% dos valores originais.

Para medir a utilidade da reta de regressão são determinadas as medidas: erro padrão da estimativa (S_e), coeficiente de determinação (r^2), erro padrão do coeficiente b (S_b), e erro padrão do coeficiente a (S_a), dados pelas expressões:

Erro padrão da estimativa (S_e)

$$S_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2}{n-2}, \quad S_e = \sqrt{\frac{SSE}{n-2}}$$

onde :

SSE é a parte não explicada pela regressão.

$\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2$ é a variação não explicada pela regressão, valor do desvio de cada observação y_i do valor calculado pela regressão \hat{y}_i .

Coeficiente de determinação (r^2)

$$r^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

onde :

$\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$ é a variação explicada, valor do desvio de cada valor calculado \hat{y}_i do valor da média das observações \bar{y} .

$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ é a variação total, valor do desvio de cada observação y_i do valor da média das observações \bar{y} .

Erro padrão do coeficiente b (S_b)

$$S_b = \frac{S_e}{\sqrt{(n-1)Var(x)}}$$

onde :

S_b indica aproximadamente quão distante o coeficiente “b” está do coeficiente de toda a população de valores

$Var(x) = S_x =$ variância da amostra, dada pela expressão

$$S_x = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

Erro padrão do coeficiente a (S_a)

$$S_a = S_e \sqrt{\left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{(n-1)S_x^2} \right)}$$

onde :

S_a indica aproximadamente quão distante o coeficiente “a” está do coeficiente de toda a população de valores

Para o exemplo dado foram obtidos os valores

$$S_e = 59,1289, r^2 = 0,981248, S_b = 1,847355, S_a = 26,1293883$$

À primeira vista o valor de r^2 tão próximo de 1 parece indicar que a solução obtida é satisfatória. A experiência mostra entretanto, que, fora da proximidade da capacidade da rodovia, o tráfego varia geralmente de forma exponencial, $VMD_t = VMD_o(1 + \alpha)^t$ em que $VMD_o =$ tráfego no ano inicial, $\alpha =$ taxa de crescimento, $t =$ anos transcorridos após o ano inicial, $VMD_t =$ tráfego no ano t, convindo verificar essa possibilidade.

Para poder utilizar o processo de regressão linear simples é necessário transformar a fórmula dada em uma equação linear, o que se consegue utilizando logaritmos naturais.

$$L_n VMD_t = L_n VMD_o + t L_n(1 + \alpha)$$

e definindo a variável auxiliar $z = L_n VMD_t$.

Obtém-se a equação $z = a + bt$

em que :

$$a = L_n VMD_o$$

$$b = L_n(1 + \alpha)$$

Os valores das contagens feitas (Tabela 118) fornecem para as novas variáveis os valores:

Tabela 120 - Valores da variável "Z"

t	0	1	2	4	5	7	9	10	11	13	15	16	18	21	22	23	24
Z	6,586	6,629	6,668	6,755	6,791	6,884	6,961	6,997	7,043	7,116	7,215	7,265	7,334	7,467	7,512	7,536	7,590

Utilizando a Regressão Linear Simples obtém-se $a = 6,585367$ e $b = 0,041795$, $r^2 = 0,999667$, $S_e = 0,006302$, $S_b = 0,000197$, indicando muito melhor aproximação que a primeira solução.

Substituindo os valores de a e b nas equações $a = L_n VMD_0$ e $b = L_n(1 + \alpha)$, tem-se $6,585367 = L_n VMD_0$ e $0,041795 = L_n(1 + \alpha)$. Calcula-se então $VMD_0 = 724,417$ e $\alpha = 0,04268$.

A equação $VMD_t = VMD_0(1 + \alpha)^t$ torna-se então $VMD_t = 724,417(1 + 0,04268)^t$

Onde :

VMD_t = volume médio diário no ano t

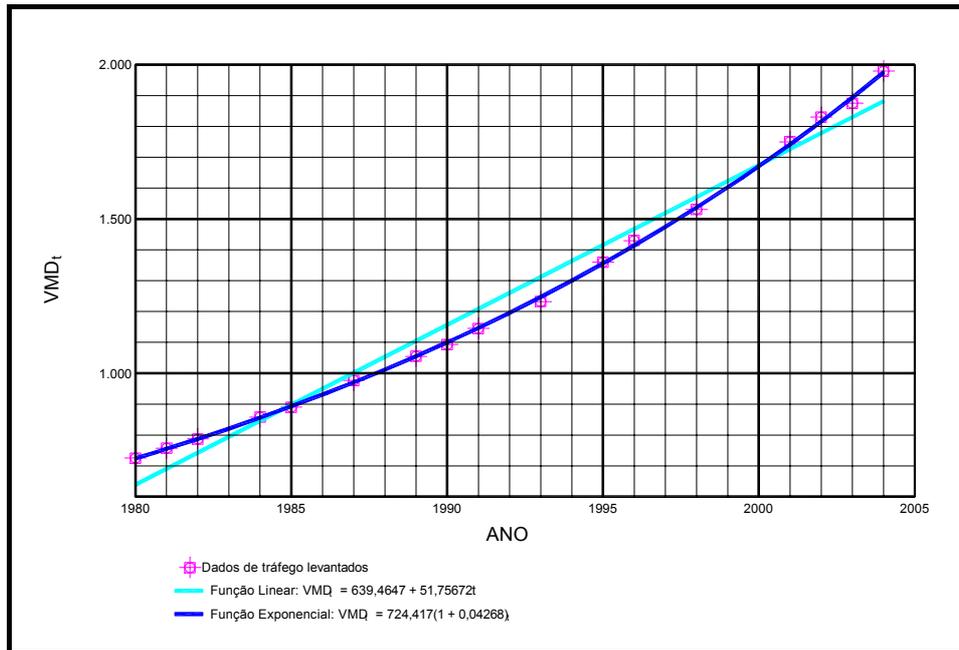
t = número de anos transcorridos após 1980

Usando essa equação são calculados os valores do VMD_t nos anos levantados

Tabela 121 - Valores do VMD_t

1980	1981	1982	1984	1985	1987	1989	1990	1991	1993	1995	1996	1998	2001	2002	2003	2004
724	755	788	856	893	971	1.055	1.100	1.147	1.247	1.356	1.414	1.537	1.742	1.817	1.894	1.975

A Figura 70 mostra as duas soluções obtidas (função linear e função exponencial)

Figura 70 - Soluções obtidas com o emprego de regressão linear simples

Regressão Linear Múltipla

É comum que a variação de volumes de tráfego de uma rodovia seja determinada em função de variáveis socioeconômicas. É apresentado a seguir um exemplo esclarecendo as várias fases do processo de cálculo e as fórmulas a serem utilizadas para determinar.

Concluída uma pesquisa de origem e destino compreendendo 4 zonas de tráfego, foi preparada a seguinte matriz de origem e destino (Tabela 122).

Tabela 122 - Viagens Produzidas e Atraídas

O/D	1	2	3	4	Viagens Produzidas
1	12	30	72	24	138
2	36	-	6	12	54
3	60	12	-	24	96
4	18	18	30	12	78
Viagens Atraídas	126	60	108	72	366

As viagens com origem em cada zona constam da coluna Viagens Geradas ou Produzidas e as viagens com destino a cada zona estão na linha Viagens Atraídas.

O levantamento das variáveis socioeconômicas no ano da pesquisa de O/D consideradas de interesse para o estudo permitiu preparar a Tabela 123.

Tabela 123 - Variáveis sócio-econômicas

ZONA	Frota	População	Empregos
1	204	2.640	780
2	78	1.020	336
3	138	2.040	600
4	120	1.680	456

Visando efetuar projeções com base na variação dessas variáveis admitiu-se que as Viagens Geradas (Produzidas) pelas zonas variam em função da Frota de Veículos e da População e as Viagens Atraídas em função do número de empregos nas zonas.

Preparou-se a Tabela 124 para o estudo das Viagens Produzidas.

Tabela 124 - Viagens produzidas e variáveis de interesse

	Viagens Geradas	Frota de Veículos	População
ZONA i	y_i	x_{1i}	x_{2i}
1	138	204	2.640
2	54	78	1.020
3	96	138	2.040
4	78	120	1.680
Médias	91,5	135	1.845
	\bar{y}	\bar{x}_1	\bar{x}_2

Admitindo que os números de viagens variem linearmente em função das variáveis selecionadas, o valor da variável y_i é dado pela equação

$$\hat{y}_i = a + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + \dots + b_p x_{pi}$$

$$\hat{y}_i = a + \sum_{j=1}^p b_j x_{ji}$$

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ji}}{n}, \text{ média aritmética dos } n \text{ valores da variável independente } x_j$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^p y_i}{n}, \text{ média aritmética dos } n \text{ valores da variável dependente } y$$

Inicialmente determinam-se os coeficientes a, b_1, b_2, \dots, b_p .

Para o caso mais simples de duas variáveis:

$$\hat{y}_i = a + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i}$$

a solução é dada pelas equações:

$$\bar{y} = a + b_1 \bar{x}_1 + b_2 \bar{x}_2$$

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_{1i} - \bar{x}_1) = b_1 \sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)^2 + b_2 \sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)(x_{2i} - \bar{x}_2)$$

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_{2i} - \bar{x}_2) = b_1 \sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)(x_{2i} - \bar{x}_2) + b_2 \sum_{i=1}^n (x_{2i} - \bar{x}_2)^2$$

Para o exemplo dado obteve-se as equações

$$91,50 = a + 135 b + 1.845 c$$

$$5.562 = 8.244 b + 104.940 c$$

$$71.010 = 104.940 b + 1.377.900 c$$

$$a = -0,211765$$

$$b = 0,6112045$$

$$c = 0,004986$$

$$\hat{y} = -0,211765 + 0,6112045 x_1 + 0,004986 x_2$$

Aplicando aos valores das 4 zonas obtêm-se os valores \hat{y} e as diferenças encontradas (Tabela 125)

Tabela 125 - Viagens produzidas calculadas e erros obtidos

ZONA	\hat{y}	x_1	x_2	y	Erro
1	138	204	2.640	138	-0,36
2	53	78	1.020	54	-1,45
3	94	138	2.040	96	-1,69
4	82	120	1.680	78	3,51

Para avaliar a qualidade da solução obtida determinam-se os parâmetros

Coeficiente de determinação (r^2)

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \text{ no caso } r^2 = 0,99538$$

Erro padrão da estimativa (S_e)

$$S_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - (p+1)}, \text{ no caso } p = 2, n = 4, S = 4,17435$$

Esses valores na prática corrente não são obtidos fazendo os cálculos citados. Há vários programas prontos para obter esses valores usando um microcomputador.

No exemplo dado os cálculos foram feitos pelas fórmulas e verificados com uso da planilha Lótus, que forneceu os resultados da Tabela 126.

Tabela 126 - Resultados da regressão linear múltipla

	Regression Output:	Lotus
Constant		-0,21176
Std Err of Y Est		4,174351
R Squared		0,995379
No. of Observations		4
Degrees of Freedom		1
X Coefficient(s)	0,611204	0,004986
Std Err of Coef.	0,263045	0,020347

Observe que são apresentados também os erros padrões dos coeficientes das variáveis independentes.

Para mais de duas variáveis independentes o uso do computador é imprescindível.

No exemplo dado, incluindo como terceira variável na Produção de Viagens o número de empregos, tem-se os resultados da Tabela 127.

Tabela 127 - Viagens produzidas e variáveis de interesse

	Viagens Geradas	Frota de Veículos	População	Empregos
ZONA i	Y_i	x_{1i}	x_{2i}	x_{3i}
1	138	204	2.640	780
2	54	78	1.020	336
3	96	138	2.040	600
4	78	120	1.680	456

Para essas três variáveis a equação passa a

$$\hat{y}_i = a + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + b_3 x_{3i}$$

O número de dados de cada variável tem que ser pelo menos igual ao número total de variáveis independentes mais 2. Teve-se que criar mais uma zona. No exemplo dado simplesmente foram somados os valores de todas as zonas (Tabela 128).

Tabela 128 - Acréscimo de uma zona

	Viagens Geradas	Frota de Veículos	População	Empregos
ZONA i	y_i	x_{1i}	x_{2i}	x_{3i}
1	138	204	2.640	780
2	54	78	1.020	336
3	96	138	2.040	600
4	78	120	1.680	456
5	366	540	7380	2172

Usando a planilha Lótus obtém-se os valores da Tabela 129.

Tabela 129 - Resultados finais da regressão linear múltipla

ZONA i	Viagens Geradas	Frota de Veículos	População	Empregos	Regression Output			
	yi	x1i	x2i	x3i				
1	138	204	2640	780	Constant	-0,231664392		
2	54	78	1020	336	Std Err of Est	1,906985107		
3	96	138	2040	600	R Squared	0,999943224		
4	78	120	1680	456	No. of Observations	5		
5	366	540	7380	2172	Degrees of Freedom	1		
					X Coefficient(s)	0,535276441	-0,0115054	0,07478809
					Std Err of Coef	0,124052876	0,011999451	0,038384938

A equação obtida é

$$y = -0,231664392 + 0,535276441 x_1 - 0,0115054 x_2 + 0,07478809 x_3$$

$$r^2 = 0,999943224$$

$$S_e = 1,906985107$$

$$S_{b1} = 0,124052876$$

$$S_{b2} = 0,011999451$$

$$S_{b3} = 0,038384938$$

5 DISTRIBUIÇÃO DE VIAGENS PELO MÉTODO DE FRATAR

Dados Básicos

Em um estudo de tráfego elaborado no ano 2005 foram feitas contagens de volume e pesquisas de origem e destino em uma malha de rodovias que permitiram a elaboração da matriz de origem e destino de viagens a seguir apresentada.

Tabela 130 - Matriz de O/D - Ano 2005

O/D	1	2	3	4	Total
1	12	30	72	24	138
2	36	-	6	12	54
3	60	12	-	24	96
4	18	18	30	12	78
Total	126	60	108	72	366

Levantamentos feitos nas quatro zonas de tráfego definidas permitiram determinar os seguintes valores para as variáveis Frota de Veículos, População e Número de Empregos dessas zonas para o ano 2005.

Tabela 131 - Valores das variáveis sócio-econômicas - Ano 2005

ZONA	Frota	População	Empregos
1	204	2.640	780
2	78	1.020	336
3	138	2.040	600
4	120	1.680	456

Projeção das Variáveis Socioeconômicas

Foram obtidas as seguintes taxas de crescimento dessas variáveis para o período 2005 a 2015, em porcentagem.

Tabela 132 - Taxas de crescimento anuais das variáveis sócio-econômicas (%)

ZONA	Frota	População	Empregos
1	6,0	3,1	2,8
2	7,0	2,3	2,0
3	8,5	3,7	3,4
4	8,0	3,0	3,0

A aplicação dessas taxas às variáveis correspondentes permitiu obter os valores correspondentes a 2015, apresentados a seguir.

Tabela 133 - Valores das variáveis sócio-econômicas - Ano 2015

ZONA	Frota	População	Empregos
1	365	3.583	1.028
2	153	1.280	410
3	312	2.934	838
4	259	2.258	613

Geração de Viagens

Acredita-se que as viagens produzidas por cada zona de tráfego variem linearmente em função da Frota de Veículos e da População, isto é, que os totais de viagens com origem em uma determinada zona possam ser determinados por uma equação da forma:

$$y = a + b x_1 + c x_2$$

Tabela 134 - Viagens produzidas - 2005

ZONA i	Viagens Produzidas	Frota de Veículos	População
	Yi	x1i	X2i
1	138	204	2.640
2	54	78	1.020
3	96	138	2.040
4	78	120	1.680

Aplicando o método de regressão linear múltipla aos valores obtidos tem-se:

Regression Output:

Constant		-0,21176
Std Err of Y Est		4,174351
R Squared		0,995379
No. Of Observations		4
Degrees of Freedom		1
X Coefficient(s)	0,611204	0,004986
Std Err of Coef.	0,263045	0,020347

$$y = - 0,21176 + 0,611204 x_1 + 0,004986 x_2$$

Aplicando essa equação aos valores das variáveis Frota de Veículos e População em 2015 obtém-se os valores:

Tabela 135 - Viagens produzidas "y" em 2015

Zona	Y	X1	x2
1	241	365	3583
2	100	153	1280
3	205	312	2934
4	169	259	2258

As viagens produzidas são os totais das viagens com origem em cada zona.

Acredita-se que as viagens atraídas por cada zona de tráfego variem linearmente em função do seu Número de Empregos, isto é, que os totais de viagens com destino em uma determinada zona possam ser determinados por uma equação da forma:

$$y = a + b x_1$$

Tabela 136 - Viagens atraídas - 2005

ZONA i	Viagens Atraídas	Número de Empregos
	y _i	x _{1i}
1	126	780
2	60	336
3	108	600
4	72	456

Aplicando o método de regressão linear simples aos valores obtidos tem-se:

$$y = 5,805310 + 0,157817x$$

Viagens Atraídas Numero de Empregos Regression Output:

Regression Output:

Constant	5,805310
Std Err of Y Est	7,049760
R Squared	0,964939
No. Of Observations	4
Degrees of Freedom	2
X Coefficient(s)	0,157817
Std Err of Coef.	0,021272

Aplicando essa equação aos valores da variável Número de Empregos em 2015 obtém-se os valores:

Tabela 137 - Viagens atraídas "y" em 2015

zona	y	x ₁
1	168	1028
2	70	410
3	138	838
4	103	613

As viagens atraídas são os totais das viagens com destino em cada zona.

Obtém-se assim os novos valores de origem e destino das viagens em 2015:

Tabela 138 - Matriz de O/D Ano 2015

O/D	1	2	3	4	Viagens Produzidas
1					241
2					100
3					205
4					169
Viagens Atraídas	168	70	138	103	715 479

Como os totais de viagens produzidas e atraídas têm que ser iguais, tira-se a média dos valores 715 e 479, que é 597 e obtém-se a nova matriz com valores equilibrados:

Tabela 139 - Matriz de O/D equilibrada

O/D	1	2	3	4	Viagens Produzidas
1					201
2					83
3					171
4					141
Viagens Atraídas	209	88	172	128	597

Distribuição de Viagens (Fratari)

Este método é largamente empregado em áreas rurais e urbanas próximas de zona rural. Utiliza fatores de crescimento de zonas.

Inicia-se o processo com a matriz inicial, sem a projeção.

1 - Na linha abaixo da matriz colocam-se as somas $\sum v_{ij}$ das viagens com destino na zona "i".

2 - Na linha seguinte colocam-se as projeções $f \sum v_{ij}$ dessas viagens, viagens atraídas pela zona "i" já calculadas. Para indicar que são futuras são precedidas de "f".

3 - Na linha seguinte colocam-se as razões FL_i das viagens futuras $f \sum v_{ij}$ sobre as viagens atuais $\sum v_{ij}$.

4 - Na coluna à direita da matriz colocam-se as somas $\sum v_{ij}$ das viagens com origem na zona "j".

5 - Na coluna seguinte colocam-se as projeções $f \sum v_{ij}$ dessas viagens, viagens produzidas pela zona "j" já calculadas. Para indicar que são futuras são precedidas de "f".

6 - Na linha seguinte colocam-se as razões FC_j das viagens futuras $f \sum v_{ij}$ sobre as viagens atuais $\sum v_{ij}$.

7 - Em seguida são calculados os Fatores Coluna i , $L_{1j} = (\sum v_{1j} / \sum v_{1j}) (FC_j, L_{2j}, L_{3j}, L_{4j})$, nas quatro linhas seguintes à linha FL_i .

8 - Calculam-se então os Fatores de Correção das Viagens Futuras, que são colocados em uma matriz à direita. Para cada célula "ij" coloca-se o valor $L_{ij}FC_jFL_i$.

9 - Procede-se então à primeira correção. Constrói-se uma matriz de Viagens Futuras 1, multiplicando os valores da matriz anterior pelos valores correspondentes da matriz de Fatores de Correção das Viagens Futuras.

A partir da matriz de Viagens Futuras 1 repetem-se as operações 1 a 6.

A operação 7 passa a:

7 - Em seguida são calculados os Fatores Linha j , $L_{i1} = (\sum v_{i1} / \sum v_{i1}) (FC_j, L_{i2}, L_{i3}, L_{i4})$, nas quatro linhas seguintes à linha FL_i

8 - Calculam-se então os Fatores de Correção das Viagens Futuras, que são colocados em uma matriz à direita. Para cada célula "ij" coloca-se o valor $L_{ij}FC_jFL_i$.

9 - Procede-se então à segunda correção. Constrói-se uma matriz de Viagens Futuras 1, multiplicando os valores da matriz anterior pelos valores correspondentes da matriz de Fatores de Correção das Viagens Futuras.

A partir da matriz de Viagens Futuras 2 repetem-se as operações 1 a 6.

A operação 7 passa a:

7 - Em seguida são calculados os Fatores Coluna i , $L_{1j} = \sum v_{1j} / (\sum v_{1j}) (FC_j, L_{2j}, L_{3j}, L_{4j})$ nas quatro linhas seguintes à linha FL_i .

8 - Calculam-se então os Fatores de Correção das Viagens Futuras, que são colocados em uma matriz à direita. Para cada célula "ij" coloca-se o valor $L_{ij}FC_jFL_i$.

9 - Procede-se então à terceira correção. Constrói-se uma matriz de Viagens Futuras 1, multiplicando os valores da matriz anterior pelos valores correspondentes da matriz de Fatores de Correção das Viagens Futuras.

Esse processo de cálculo é mantido seguidamente, alternando sempre a operação 7 entre Fatores Coluna e Fatores Linha, até chegar a valores próximos de 1 nas colunas FL_i e FC_j .

Essa condição é atingida em Viagens Futuras 4, como é indicado no Quadro Viagens Futuras 4 que se segue.

A partir desse ponto foi possível alterar manualmente alguns dos valores para obter o equilíbrio desejado.

Tabela 140 - Viagens Futuras

Viagens Futuras 2								Fatores de Correção das Viagens Futuras				$L_{ij}F_{cj}F_L$		
O/D	i = 1	1 = 2	1 = 3	i = 4	$\sum_{i=1}^{i=4} v_{ij}$	$f \sum_{i=1}^{i=4} v_{ij}$	F_{cj}	O/D	1	2	3	4		
j = 1	17	40	106	37	201	201	1,00	1	1,00	0,97	1,01	1,43		
j = 2	53	0	9	19	82	83	1,02	2	1,02	0,99	1,03	1,46		
j = 3	102	19	0	45	166	171	1,03	3	1,03	1,00	1,04	1,48		
j = 4	33	31	56	24	143	141	0,99	4	0,99	0,96	1,00	1,42		
$\sum_{j=1}^{j=4} v_{ij}$	205	90	171	125	592									
$f \sum_{j=1}^{j=4} v_{ij}$	209	88	172	128										
F_{Lj}	1,02	0,97	1,01	1,02										
Fatores Coluna i														
$L_{i1} =$	$\sum_{i=1}^{i=4} v_{i1} /$	$\sum_{i=1}^{i=4} v_{i1} \cdot F_{c1} =$												0,98
$L_{i2} =$	$\sum_{i=1}^{i=4} v_{i2} /$	$\sum_{i=1}^{i=4} v_{i2} \cdot F_{c2} =$												1,00
$L_{i3} =$	$\sum_{i=1}^{i=4} v_{i3} /$	$\sum_{i=1}^{i=4} v_{i3} \cdot F_{c3} =$												1,00
$L_{i4} =$	$\sum_{i=1}^{i=4} v_{i4} /$	$\sum_{i=1}^{i=4} v_{i4} \cdot F_{c4} =$												1,40

Tabela 141 - Viagens Futuras

Viagens Futuras 3					Fatores de Correção das Viagens Futuras				$L_{ij}F_{cj}F_L$			
O/D	i = 1	1 = 2	1 = 3	i = 4	$\sum_{i=1}^{i=4} v_{ij}$	$f \sum_{i=1}^{i=4} v_{ij}$	F_{cj}	O/D	1	2	3	4
j = 1	17	39	107	54	217	201	0,93	1	1,00	1,03	0,99	0,70
j = 2	54	0	9	28	92	83	0,91	2	0,98	1,01	0,97	0,68
j = 3	106	19	0	66	191	171	0,90	3	0,97	1,00	0,96	0,68
j = 4	32	29	56	34	151	141	0,94	4	1,01	1,04	1,00	0,71
$\sum_{j=1}^{j=4} v_{ij}$	209	88	172	181	651							
$f \sum_{j=1}^{j=4} v_{ij}$	209	88	172	128								
F_{Lj}	1,00	1,00	1,00	0,70								
Fatores Linha j												
$L_{i1} =$	$\frac{\sum_{i=1}^{i=4} v_{i1}}{\sum_{i=1}^{i=4} v_{i1} \cdot F_{c1}} =$			1,08								
$L_{i2} =$	$\frac{\sum_{i=1}^{i=4} v_{i2}}{\sum_{i=1}^{i=4} v_{i2} \cdot F_{c2}} =$			1,11								
$L_{i3} =$	$\frac{\sum_{i=1}^{i=4} v_{i3}}{\sum_{i=1}^{i=4} v_{i3} \cdot F_{c3}} =$			1,07								
$L_{i4} =$	$\frac{\sum_{i=1}^{i=4} v_{i4}}{\sum_{i=1}^{i=4} v_{i4} \cdot F_{c4}} =$			1,07								

Tabela 142 - Viagens Futuras

Viagens Futuras 4					Fatores de Correção das Viagens Futuras				$L_{ij}F_{cj}F_L$			
O/D	i = 1	1 = 2	1 = 3	i = 4	$\sum_{j=1}^{j=4} v_{ij}$	$f \sum_{j=1}^{j=4} v_{ij}$	F_{cj}	O/D	1	2	3	4
j = 1	17	40	106	38	201	201	1,00	1	1,00	0,97	1,01	1,43
j = 2	53	0	9	19	82	83	1,02	2	1,02	0,99	1,03	1,46
j = 3	102	19	0	45	166	171	1,03	3	1,03	1,00	1,04	1,48
j = 4	33	31	56	24	143	141	0,99	4	0,99	0,96	1,00	1,42
$\sum_{j=1}^{j=4} v_{ij}$	205	90	171	125	592							
$f \sum_{j=1}^{j=4} v_{ij}$	209	88	172	128								
F_{Lj}	1,02	0,97	1,01	1,02								
Fatores Coluna i												
$L_{i1} =$	$\frac{\sum_{j=1}^{j=4} v_{i1}}{\sum_{j=1}^{j=4} v_{i1} \cdot F_{c1}} =$				0,98							
$L_{i2} =$	$\frac{\sum_{j=1}^{j=4} v_{i2}}{\sum_{j=1}^{j=4} v_{i2} \cdot F_{c2}} =$				1,00							
$L_{i3} =$	$\frac{\sum_{j=1}^{j=4} v_{i3}}{\sum_{j=1}^{j=4} v_{i3} \cdot F_{c3}} =$				1,00							
$L_{i4} =$	$\frac{\sum_{j=1}^{j=4} v_{i4}}{\sum_{j=1}^{j=4} v_{i4} \cdot F_{c4}} =$				1,40							

6 VELOCIDADE EM ACIDENTES

Após um acidente, a única evidência disponível para a determinação da velocidade de um veículo envolvido podem ser as marcas deixadas pelos pneus durante a frenagem.

A equação apresentada a seguir permite obter a velocidade com que se iniciou a ação máxima dos freios, com a imobilização total das rodas. Este é o valor mínimo da velocidade com que vinha o veículo, já que pode ter havido uma redução entre o momento da aplicação dos freios e a imobilização das rodas, iniciando o desgaste dos pneus e a criação das marcas características da frenagem.

$$V_i = \sqrt{254D(f+i) + V_f^2}$$

em que:

V_i = velocidade com que se iniciou a ação máxima dos freios, em km/h

V_f = velocidade final, no momento da imobilização do veículo, em km/h

D = comprimento do trecho de frenagem a partir das marcas deixadas pelos pneus, em m

f = coeficiente de atrito de frenagem

i = tangente do ângulo de inclinação longitudinal do trecho de frenagem (valor negativo em descida)

Se o veículo cuja velocidade se deseja determinar, tiver parado por motivo de um choque com outro veículo ou algum obstáculo, o valor de V_f deve ser estimado pelos danos resultantes da colisão. Caso tenha parado por ação apenas dos freios, sem a ocorrência de choque, $V_f = 0$ km/h.

Em geral não se conhece o coeficiente de atrito “ f ”, havendo necessidade de fazer um estudo complementar utilizando um veículo semelhante e condições parecidas (umidade e temperatura) às que o pavimento estava submetido no momento do acidente. Esse coeficiente será calculado pela fórmula:

$$f = \frac{V_i^2}{254D} - i$$

Exemplo de Aplicação

Após a ocorrência de um atropelamento em uma rodovia, em trecho com velocidade máxima permitida de 60 km/h, foi feito um levantamento do local do sinistro, obtendo-se os seguintes dados.

- A marca deixada pelos pneus no asfalto, resultado da aplicação dos freios, media 13,5 metros.
- O carro parou exclusivamente pela ação dos freios, sem colisão com nenhum obstáculo.

- A rampa no trecho do acidente, no sentido do percurso do veículo, é de $i = - 0,035$ (3,5%, descendo).

- No momento do acidente o tempo era bom e o chão estava seco.

O coeficiente de atrito entre os pneus e o pavimento no local foi determinado experimentalmente para um veículo de mesma marca e em condições semelhantes ao do acidente, no mesmo local, com chão seco. O veículo experimental aplicou os freios fortemente com a velocidade $V_i = 30$ km/h, tendo parado ao fim de $D = 11,00$ m. Obteve-se o coeficiente de atrito de 0,357, com o emprego da fórmula:

$$f = \frac{V_i^2}{254D} - i$$

$$f = \frac{30^2}{254 \times 11} - (-0,035) = 0,357$$

A velocidade com que vinha o veículo no momento em que aplicou os freios é determinada pela fórmula:

$$V_i = \sqrt{254D(f + i) + V_f^2}, \text{ em que}$$

$$D = 13,5 \text{ m}, f = 0,357, i = - 0,035, V_f = 0 \text{ km/h}$$

Logo:

$$V_i = \sqrt{254 \times 13,5(0,357 - 0,035) + 0} = 33,2 \text{ km/h}$$

Portanto, o motorista do veículo aplicou os freios quando a velocidade era de 33,2 km/h. Admitindo que o condutor do veículo tenha acionado os freios tão logo percebeu a presença do pedestre, e considerando a grande diferença entre o limite de velocidade permitida no local (60 km/h) e a que foi calculada, pode-se concluir que o motorista deveria estar obedecendo o limite de velocidade fixado.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

1. AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. *AASHTO guidelines for traffic data programs*. Washington, D.C., 1992.
2. _____. *A policy on design standards: interstate system*. Washington, D.C., 1991.
3. _____. *A policy on geometric design of highways and streets*. Washington, D.C., 1990.
4. _____. *A policy on geometric design of highways and streets*. Washington, D.C., 1994.
5. _____. *A policy on geometric design of highways and streets*. 4th ed. Washington, D.C., 2001.
6. _____. *Highway safety design and operations guide*. Washington, D.C., 1997.
7. _____. *A policy on design of urban highways and arterial streets*. Washington, D.C., 1973.
8. ARATANGY, Nestor José. *Método gráfico para a projeção do tráfego com o emprego da logística*. Rio de Janeiro: IPR, 1972.
9. BAERWALD, John Edward (Ed.). *Traffic engineering handbook*. 3rd ed. Washington, D.C.: ITE, 1965.
10. _____. *Traffic engineering handbook*. 4th. ed. Washington, D.C., 1991.
11. BAKER, Robert F. (Ed.); BYRD, L. G. (Ed.); MICKLE, D. Grant (Ed.). *Handbook of highway engineering*. New York: Van Nostrand Reinhold, c1975.
12. BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *Glossário de termos técnicos rodoviários*. Rio de Janeiro, 1997.
13. _____. *Manual de contagem volumétrica de tráfego*. Rio de Janeiro, 1976.
14. _____. *Manual de projeto geométrico de rodovias rurais*. Rio de Janeiro, 1999.
15. _____. *Manual de reabilitação de pavimentos asfálticos*. Rio de Janeiro, 1998.
16. _____. *Normas para a classificação funcional de vias urbanas*. Rio de Janeiro, 1974.
17. _____. *Normas para o projeto das estradas de rodagem: aprovadas pelo Sr. Ministro de Viação de Obras Públicas consoante Portarias números 19, de 10-1-49, e 348, de 17-4-50*. Rio de Janeiro, 1973. Reimpressão.
18. _____. *Normas para o projeto geométrico de estradas de rodagem*. Rio de Janeiro, 1975.
19. _____. *Normas para o projeto geométrico de vias urbanas*. Rio de Janeiro, 1974.

20. _____; SAPSA. *Revisão da sistemática de levantamento e processamento de dados de O/D: relatório final*. Rio de Janeiro, [19--].
21. BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. *Manual de projeto de interseções*. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005.
22. _____. Departamento Nacional de Trânsito; UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia. *Manual de projeto de interseções em nível não semaforizadas em áreas urbanas*. Brasília, 1984.
23. _____; _____. INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. *Manual de pontes estreitas*. Brasília, 1979.
24. _____; _____. *Manual de segurança de pedestres*. Brasília, 1979.
25. _____. Lei n. 9.503, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Brasília, 1998. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 17 maio 2006.
26. BRUTON, Michael J. *Introdução ao planejamento dos transportes*. Tradução de João Bosco Furtado Arruda; Carlos Braune; César Cals de Oliveira Neto. Rio de Janeiro: Interciência; São Paulo: EDUSP, 1979. Título original: Introduction to transportation planning.
27. CAY Y MAYOR, Rafael. *Ingeniería de tránsito*. México, D.F.: Representaciones y Servicios de Ingeniería, 1974.
28. COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. *Engenharia de tráfego*. São Paulo, 1979.
29. CURRIN, Thomas R. *Introduction to traffic engineering: a manual for data collection and analysis*. Marietta, GA.: Southern Polytechnic State University, 2001.
30. DICKER, Jayme. *Capacidade e nível de serviço de rodovias de pista simples, segundo os conceitos e procedimentos expressos no "highway capacity manual – 1985"*. Belo Horizonte: DER, 1986.
31. EDWARDS JUNIOR, John D. (Ed.). *Transportation planning handbook*. Washington, D.C.: ITE, 1999.
32. FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR DAS STRASSENWESEN E.V. ARBEITSGRUPPE: PLANUNG UND VERKEHR – LANDSTRASSEN. *Richtlinien für die anlage von landstrassen (RAL)*. Arbeitsausschuss: Verkehrsknoten (RAL-K). Bonn: Bad Godesberg, 1969.
33. GARBER, Nicholas J.; HOEL, Lester A. *Traffic and highway engineering*. 2nd ed. St. Paul, Mn.: West Publ. Co., 1997.
34. GERMANI, Elmir et al. *Planejamento de transportes*. São Paulo: EDUSP, 1973.

35. GOLD, Philip Anthony. *Segurança de trânsito: aplicações de engenharia para reduzir acidentes*. São Paulo: BID, 1998.
36. GREENSHIELDS, Bruce Douglas; WEIDA, Frank Mark. *Statistics with applications to highway traffic analyses*. 2nd ed. Westport: ENO Foundation for Transportation, 1978.
37. HIGHWAY RESEARCH RECORD. *Origin and destination: methods and evaluation*. Washington, D.C.: HRB, n. 114, 1966.
38. HIGHWAY USERS FEDERATION FOR SAFETY AND MOBILITY. *Traffic volume*. Washington, D.C., 1969.
39. HOMBURGUER, W.; KEEL, Lester A. *Fundamentals of traffic engineering*. 14th ed. Berkeley, CA.: University of California. Institute of Transportation Studies, 1996.
40. HUTCHINSON, B. G. *Princípios de planejamento dos sistemas de transporte urbano*. Tradução de Henrique Oswaldo Monteiro de Barros. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1979. Título original: Principles of urban transport systems planning.
41. INSTITUTE OF TRAFFIC ENGINEERS. *An introduction to highway transportation engineering*. Washington, D.C., 1968.
42. _____. *Trip generation handbook*. Washington, D.C., 2001.
43. _____. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. *Traffic calming: state of the practice*. Washington, D.C., 1999.
44. INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. *Capacidade de rodovias*. Rio de Janeiro, 1979.
45. _____. Estudos de trânsito. In: _____. *Manual de projeto de engenharia rodoviária*. Rio de Janeiro, 1974. v. 1.
46. _____. *Manual de projeto de engenharia rodoviária*. Rio de Janeiro, 1974. 4v.
47. _____. *Manual de projeto de interseções*. Rio de Janeiro, 1976.
48. _____ (Ed.). *Normas suecas para o projeto geométrico das rodovias*. Tradução de Dennis Nigel Clifton-Riley. Rio de Janeiro, 1975. Título original: Normalbestämmelser for vagars geometriska uformming.
49. _____. *Pesquisa de capacidade de rodovias: estudo sobre volume horário de projeto na região nordeste do Brasil*. Rio de Janeiro, 1976.
50. LAPPONI, Juan Carlos. *Estatística usando excel: versão 4 e 5*. São Paulo: Lapponi Treinamento e Editora, 1996.
51. LINS, Reynaldo. *Pesquisas de origem e destino*. Rio de Janeiro: GEIPOT, 1970.

52. McSHANE, William R.; ROESS, Roger P. *Traffic engineering*. New Jersey: Polytechnic University, 1998.
53. MELLO, José Carlos. *Planejamento dos transportes urbanos: apostila*. Rio de Janeiro: Campus, 1982.
54. OLIVEIRA, Amarílio Carvalho. *Características geométricas das rodovias*. Rio de Janeiro: DER, 1966.
55. PLINE, James L. (Ed.). *Traffic engineering handbook*. 5th ed. Washington, D.C.: ITE, 1999.
56. REPORT NCHRP. *Weaving areas: design and analysis*, Washington, D.C.: TRB, n. 159, 1975.
57. ROAD RESEARCH LABORATORY. *Research on road traffic*. London: Her Majesty's Stationery, 1965.
58. ROBERTSON, H. Douglas (Ed.) *Manual of transportation engineering studies*. Washington, D.C.: ITE, 1994.
59. _____. *Manual of transportation engineering studies*. Washington, D.C.: ITE, 2000.
60. SALTER, R. J. *Traffic engineering: worked examples*. Basingstore: Macmillan, 1989.
61. SCHWAR, Johannes F.; HUARTE, José Puy. *Métodos estadísticos en ingeniería de tránsito*. México, D.F.: Asociación Mexicana de Caminos A. C.; Representaciones y Servicios de Ingeniería, 1967.
62. _____. _____. _____. México, D.F.: Asociación Mexicana de Caminos A. C.; Representaciones y Servicios de Ingeniería, 1975.
63. SPECIAL REPORT. *Highway capacity manual*. Washington, D.C.: TRB, n. 209, 1985.
64. SPECIAL REPORT. *Highway capacity manual*. Washington, D.C.: TRB, n. 209, 1994.
65. SPECIAL REPORT. *Highway capacity manual*. Washington, D.C.: TRB, n. 209, 2000.
66. TRANSPORTATION RESEARCH RECORD. *Highway capacity and traffic flow*, Washington, D.C.: TRB, n. 1365, 1992.
67. TRANSPORTATION RESEARCH RECORD. *Traffic flow and highway capacity*, Washington, D.C.: TRB, n.1398, 1993.
68. VALDÉS GONZÁLES-ROLDÁN, Antonio. *Ingeniería de tráfico*. 3. ed. Madrid: Bellisco, 1988.
69. VASCONCELOS, Eduardo Alcântara de. *Pesquisa e levantamentos de tráfego*. São Paulo: CET, 1982. (Boletim técnico CET, 31).