

**INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA**

**LUCÉLIA FEHLBERG PEREIRA**

**UM PROCEDIMENTO DE APOIO A DECISÃO PARA ESCOLHA  
DE SISTEMAS DE CONTROLE DE TRÁFEGO CONSIDERANDO A  
COLETA AUTOMATIZADA DE DADOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia de Transportes.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Vânia B. G. Campos - D.Sc.

Co-orientador: Prof. Altair dos Santos. F. Filho, Maj. QEM - M.Sc.

Rio de Janeiro

2005

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

c2005

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro – RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmear ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

P436 Pereira, Lucélia Fehlberg

Um Procedimento de Apoio a Decisão para Escolha de Sistemas de Controle de Tráfego Considerando a Coleta Automatizada de Dados/  
Lucélia Fehlberg Pereira – Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2004.

177 p.: il., tab.

Dissertação (mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, 2004.

1. Engenharia de Tráfego. 2. Dispositivos Eletrônicos. 3. Controle de Tráfego. 4. Planejamento. I. Instituto Militar de Engenharia. II. Título.

CDD 388.312

**INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA**

**LUCÉLIA FEHLBERG PEREIRA**

**UM PROCEDIMENTO DE APOIO A DECISÃO PARA ESCOLHA  
DE SISTEMAS DE CONTROLE DE TRÁFEGO CONSIDERANDO A  
COLETA AUTOMATIZADA DE DADOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia de Transportes.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Vânia Barcellos Gouvêa Campos - D.Sc.

Co-orientador: Prof. Altair dos Santos Ferreira Filho, Maj. QEM – M.Sc.

Aprovada em 05 de abril de 2005 pela seguinte Banca Examinadora:

---

Prof<sup>a</sup>. Vânia Barcellos G. Campos – D.Sc. do IME - Presidente

---

Prof. José Eugênio Leal – D.Ing. da PUC-Rio

---

Prof. Márcio de Almeida D'Agosto – D.Sc. da SMTU

---

Prof. Altair dos Santos Ferreira Filho – M.Sc. do IME

Rio de Janeiro

2005

*Aos meus pais, Jadir e Nilsa, pelo constante apoio em minha vida ...*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado a vida, saúde, força e todas as oportunidades para que eu pudesse chegar até aqui.

Ao Instituto Militar de Engenharia, pela oportunidade concedida e à CAPES pelo apoio financeiro durante todo o curso de Mestrado.

À Professora Vânia Barcellos Gouvêa Campos, pela orientação na elaboração deste trabalho e por todo o apoio dado.

Ao Major Altair dos Santos Ferreira Filho, pelas valiosas colaborações quanto à forma e conteúdo deste trabalho durante a sua co-orientação e pelo apoio dado.

À Professora Maria Inês Faé, por ter me dado a oportunidade de conhecer a área de transportes, pela amizade e pelo carinho impagáveis.

Aos demais professores do Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do IME pelos ensinamentos transmitidos ao longo do mesmo e por todo o apoio concedido, em especial ao coordenador, Professor Luiz Antônio Silveira Lopes, e aos professores Maria Cristina Fogliatti de Sinay e José de Carvalho Bustamante.

Aos professores José Eugênio Leal e Márcio de Almeida D'Agosto, por terem aceitado gentilmente o convite para a participação na Banca Examinadora deste trabalho.

Aos meus pais, por todo o incentivo e amor a mim dedicados por toda a vida.

Às minhas irmãs, Elayne e Greicy, pelo carinho e por acreditarem em mim.

A Leandro, que esteve distante fisicamente de mim durante a elaboração deste trabalho, mas que se manteve próximo por meio do seu carinho e incentivo.

A Roseane por sempre estar presente em minha vida.

À “tia” Neura Cassilha, pela ótima acolhida na Ilha do Governador.

À Jussara Martins, pelo apoio e por ter me “suportado” na mesma casa durante quase dois anos.

À Ivarlene Marques, Ernesto Saboya e Isolina Cruz pela agradável companhia e pela alegria e ânimo que sempre me passaram.

Aos meus colegas de turma: Carlos de Lima, Lauro Soares, Mery Ellen, Aurélio Barahona, Paula Mendonça, Sérgio Garcia, Dilermando, Albuquerque e Lima, que estarão sempre em minhas boas lembranças dos tempos de Mestrado.

Aos colegas da turma de 2002. Especialmente Paulo Monteiro, Flávia Giacomin e Rachel Fanti.

Aos colegas da turma de 2003, especialmente a Gleicy.

A todos os funcionários da PG Transportes, especialmente ao Sgt. Oazem, pela presteza e simpatia, e à D. Lucinda pelos serviços prestados.

Aos funcionários das Companhias de Engenharia de Tráfego do Rio de Janeiro (CET Rio) e de São Paulo (CET-SP) pelo excelente atendimento durante as visitas realizadas.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para esta realização.

“Eu sempre me preparo para o fracasso e acabo surpreendido pelo sucesso”.

STEVEN SPIELBERG

# SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	12
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	14
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
1.1 Objetivo .....	20
1.2 Justificativa.....	20
1.3 Estrutura do trabalho.....	22
<b>2. CONTROLE DE TRÁFEGO EM ÁREAS URBANAS .....</b>	<b>23</b>
2.1 Introdução .....	23
2.2 Sistemas Inteligentes de Transportes .....	23
2.3 Evolução do controle eletrônico do tráfego .....	26
2.3.1 Controle do direito de passagem em interseções semaforizadas .....	26
2.3.2 Estratégias de controle semaforizado .....	30
2.3.2.1 Controle Isolado .....	30
2.3.2.2 Controle Coordenado .....	32
2.4 Controle de tráfego no exterior.....	34
2.4.1 Estados Unidos .....	35
2.4.2 Europa.....	36
2.5 Controle de tráfego no Brasil.....	39
2.5.1 Controle de tráfego em Fortaleza.....	41
2.5.2 Projeto CIT - Belo Horizonte .....	42
2.5.3 Controle de tráfego no Rio de Janeiro .....	44
2.5.4 Controle de tráfego em São Paulo .....	45
2.5.5 Recife – Gerenciamento Inteligente do Tráfego.....	47
2.5.6 Santa Catarina – Projeto SINCMOBIL .....	48
2.6 Controle eletrônico de velocidade .....	49
2.7 Considerações finais.....	52

<b>3.</b>	<b>DISPOSITIVOS DE CONTROLE DE TRÁFEGO EM ÁREAS URBANAS: CARACTERÍSTICAS, INFORMAÇÕES E APLICAÇÕES NO PLANEJAMENTO .....</b>	<b>54</b>
3.1	Introdução .....	54
3.2	Dispositivos para coleta de dados (detectores de veículos) .....	54
3.2.1	Tubos pneumáticos.....	56
3.2.2	Detectores de laços indutivos .....	56
3.2.3	Sensores magnéticos.....	59
3.2.4	Radar microondas.....	59
3.2.5	Detectores infravermelhos .....	60
3.2.6	Detectores ultra-sônicos .....	62
3.2.7	Detectores passivos acústicos .....	63
3.2.8	Processamento de imagens de vídeo .....	64
3.2.9	Detectores piezoelétricos .....	65
3.2.10	Detectores de fibra ótica .....	66
3.2.11	Comparações entre diferentes tecnologias de detecção .....	67
3.3	Dispositivos de fiscalização e controle eletrônico de velocidade .....	72
3.4	Dispositivos e meios de comunicação para apresentação de informações aos usuários.....	74
3.5	O emprego de dados coletados por detectores de veículos .....	79
3.5.1	Obtenção de parâmetros sobre o tráfego .....	79
3.5.2	Melhoria de acesso aos dados e avaliações de desempenho .....	82
3.5.3	Detecção automática de incidentes .....	83
3.5.4	Planejamento de tráfego .....	84
3.6	Potenciais aplicações dos dados coletados por detectores de veículos .....	85
3.7	Considerações finais.....	91
<b>4.</b>	<b>CONCEITOS E PARÂMETROS PARA ANÁLISE E PLANEJAMENTO DO TRÁFEGO URBANO .....</b>	<b>93</b>
4.1	Introdução .....	93
4.2	Os níveis de decisão .....	93
4.3	A Engenharia de Tráfego .....	97
4.4	Componentes dos sistemas de tráfego.....	97

4.5	Características e levantamentos de parâmetros das correntes de tráfego .	98
4.5.1	Volume e taxa de fluxo.....	102
4.5.1.1	Pesquisa de volumes de tráfego (contagem de veículos).....	105
4.5.2	Velocidade .....	106
4.5.2.1	Pesquisa de velocidade pontual.....	108
4.5.2.2	Pesquisa de velocidade e retardamento .....	109
4.5.3	Densidade .....	110
4.5.4	Espaçamento (space headway) .....	111
4.5.5	Intervalo de tempo (time headway) .....	111
4.5.6	Atrasos em interseções ( <i>delay</i> ).....	112
4.5.7	Taxa de fluxo de saturação e tempo perdido .....	113
4.5.8	Filas .....	114
4.5.9	Tempos de viagem.....	115
4.5.10	Taxa de ocupação da via .....	116
4.5.11	Pesquisa de capacidade viária.....	117
4.5.12	Pesquisa de Origem/Destino (OD).....	118
4.6	Considerações finais.....	119
<b>5.</b>	<b>PROCEDIMENTO PROPOSTO.....</b>	<b>121</b>
5.1	Introdução .....	121
5.2	Procedimento usual na escolha de sistemas de controle de tráfego e de obtenção de dados.....	122
5.3	O procedimento proposto.....	123
5.4	Etapas do Procedimento .....	123
5.4.1	Definição da forma de controle do tráfego a ser empregada .....	125
5.4.2	Eleição dos dados necessários para os diferentes níveis de planejamento .....	126
5.4.3	Definição dos requisitos mínimos quanto a forma de acesso aos dados de detectores de veículos .....	127
5.5	Considerações finais.....	134
<b>6.</b>	<b>EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE DADOS COLETADOS POR DETECTORES DE VEÍCULOS .....</b>	<b>135</b>

6.1	Introdução .....	135
6.2	Dados empregados.....	135
6.3	Análise e emprego dos dados para o planejamento .....	136
6.3.1	Determinação do nível de serviço em uma via expressa .....	140
6.4	Cálculo de tempos de viagem.....	145
6.5	Considerações finais.....	153
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>154</b>
7.1	Conclusões .....	154
7.2	Recomendações .....	157
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>158</b>
<b>9.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>168</b>
9.1	AMOSTRA DE DADOS FORNECIDA PELA CET-SP .....	169
9.2	TABELAS DO <i>HIGHWAY CAPACITY MANUAL</i> (HCM) .....	177

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIG. 2.1 Evolução dos sistemas de controle .....	29
FIG. 2.2 Áreas de atuação dos projetos ARTS e SERTI .....	37
FIG. 2.3 Controle Inteligente de Tráfego – CIT/BH.....	44
FIG. 3.1 Representação de um detector de laços indutivos. ....	56
FIG. 3.2 Comunicação dos detectores de laços indutivos com o controlador central	57
FIG. 3.3 Diferentes saídas de dados para os detectores de laços indutivos .....	58
FIG. 3.4 Radar microondas abrangendo mais de uma faixa de tráfego .....	60
FIG. 3.5 Detector Infra-vermelho .....	62
FIG. 3.6 Detector Ultra-sônico .....	63
FIG. 3.7 Processador de Imagens de Vídeo.....	65
FIG. 3.8 Lombada Eletrônica.....	73
FIG. 3.9 Radar Fixo .....	73
FIG. 3.10 Radar Móvel .....	74
FIG. 3.11 Mensagem educativa exibida em PMV.....	75
FIG. 3.12 Tempos de viagem mostrados em PMV .....	76
FIG. 3.13 Mapa de condições do tráfego – Barcelona / Espanha .....	77
FIG. 3.14 Mapa de condições do tráfego – Chicago (EUA).....	78
FIG. 3.15 Modelo de estrutura de utilização de dados de sistemas CTA. ....	86

FIG.3.16 Ciclo de criação e utilização de medidas de desempenho do tráfego urbano elaboradas com base em dados de sistemas CTA. ....	88
FIG. 4.1 Representação da saída de veículos em uma interseção. ....	113
FIG. 5.1 Processo usual .....	122
FIG. 5.2 Procedimento proposto.....	124
FIG. 5.3 Formas de controle de tráfego em vias urbanas .....	125
FIG. 5.4 Fluxo de dados para o controle de tráfego .....	128
FIG. 5.5 Estágio 1 – Dados brutos saindo do detector .....	129
FIG. 5.6 Estágio 2 – Controlador em campo .....	129
FIG. 5.7 Estágio 3 – Centro de controle de tráfego .....	130
FIG. 5.8 Fluxograma para procedimento proposto .....	133
FIG. 6.1 Variação do volume de tráfego ao longo do dia .....	136
FIG. 6.2 Variação da velocidade média ao longo do dia .....	137
FIG. 6.3 Variação da taxa de ocupação ao longo do dia.....	137
FIG. 6.4 Variação do volume de tráfego ao longo das 9:00 .....	138
FIG. 6.5 Distribuição de velocidades medidas.....	139
FIG. 6.6 Distribuição dos veículos detectados quanto ao porte.....	139
FIG. 6.7 Via selecionada para a realização do exemplo de aplicação .....	140
FIG. 6.8 Tempos de viagem às 4:00 .....	148
FIG. 6.9 Tempos de viagem às 9:00 .....	149
FIG. 6.10 Tempos de viagem às 16:00 .....	149

FIG. 6.11 Tempos de viagem às 21:00 .....	150
FIG. 6.12 Página principal .....	151
FIG. 6.13 Tela apresentando a tabela de dados sobre o tráfego .....	151
FIG. 6.14 Mapa associado aos dados apresentados na tabela.....	152

## LISTA DE TABELAS

TAB. 2.1 Áreas de aplicação dos ITS e respectivos serviços aos usuários .....	24
TAB. 2.2 Resultados de estudo de viabilidade econômica de aplicações de Sistemas Inteligentes de Transportes .....	25
TAB. 2.3 Condições dos sistemas de controle de tráfego nos EUA .....	35
TAB. 2.4 Informações relativas aos sistemas de controle semafórico em capitais brasileiras .....	40
TAB. 2.5 Informações relativas aos sistemas de controle semafórico em algumas cidades de médio porte .....	41
TAB. 2.6 Aplicações de ITS em Belo Horizonte .....	43
TAB. 3.1 Classificação dos detectores de veículos. ....	55
TAB. 3.2 Sumário de vantagens e desvantagens entre as tecnologias de detecção de veículos. ....	68
TAB. 3.3 Tipos de dados fornecidos por diferentes tecnologias de detecção de veículos .....	71
TAB. 3.4 Trabalhos sobre obtenção de parâmetros sobre o tráfego .....	80
TAB. 3.5 Potenciais usuários de dados do tráfego coletados por sistemas CTA. ....	86
TAB. 3.6 Aplicações potenciais de dados do CTA-FOR.....	88
TAB. 4.1 Atividades relativas aos diferentes níveis de planejamento.....	96
TAB. 4.2 Utilidades para os dados de volumes de tráfego .....	105

TAB. 4.3 Escala para estimar as condições de tráfego a partir das taxas de ocupação.....	116
TAB. 4.4 Categorias de dados para análise de capacidade com o HCM.....	117
TAB. 5.1 Formas de acesso aos dados coletados por detectores de veículos .....	131
TAB. 6.1 Cálculo do volume de tráfego na hora-pico .....	143
TAB. 6.2 Classificação dos veículos quanto ao porte.....	144
TAB. 6.3 Atributos dos trechos considerados no trabalho .....	148

## RESUMO

A implantação de sistemas de controle do tráfego urbano tem como principal objetivo a otimização do uso da infra-estrutura viária, reduzindo congestionamentos e melhorando as condições de segurança para motoristas e pedestres, além de ser uma alternativa para melhorar o fluxo de tráfego nas vias sem a necessidade de ampliação das mesmas.

Para a operação destes sistemas, é necessária a coleta de diversos tipos de dados sobre as correntes de tráfego. Estas coletas podem ser feitas manualmente ou de forma automatizada utilizando-se, para isso, dispositivos eletrônicos tais como os detectores de veículos.

Porém, em muitos casos, os sistemas de controle de tráfego são implantados sem a preocupação com a utilização dos dados coletados por estes dispositivos para fins além do controle de tráfego propriamente dito e sem uma padronização que possibilite integrar sistemas de diferentes regiões. Considera-se que este tema é ainda pouco explorado no Brasil.

Sendo assim, neste trabalho desenvolveu-se um procedimento de apoio a tomada de decisão quanto ao tipo de sistema de controle de tráfego a ser implantado, visando o uso do mesmo como instrumento de auxílio ao planejamento de tráfego, considerando a coleta automática de dados. Para isso, foram abordados aspectos como: características e tipos de dados fornecidos pelos detectores de veículos, o estudo de como tem sido o emprego dos dados coletados por estes dispositivos para fins além do controle de tráfego e os parâmetros de interesse para o planejamento em seus níveis estratégico, tático e operacional.

## **ABSTRACT**

The urban traffic control systems have the objective to optimize the use of road infrastructure, reducing traffic jams and improving safety's conditions for drivers and pedestrians, besides being an alternative to improve the traffic flow in the roads without the needs of new road facilities

For the operation of these systems, it is necessary to acquire several types of the traffic flow data. The data collections can be made manually or in an automated way, for that, it is necessary electronic devices like the detectors of vehicles.

However, in many cases, the traffic control systems are implemented without the concern of using the data collected by these devices for ends besides the traffic control, and without a standardization that makes possible to integrate the control systems of different areas.

This theme is still little explored in Brazil, therefore, in this work, it is developed a decision support procedure for selecting the type of traffic control system to be implanted, seeking for using it as an instrument to aid the traffic planning, considering the automatic collection of data. For that, some aspects were considered as: the characteristics and the types of data supplied by the detectors of vehicles, the study about the use of the data collected by these devices besides the control of traffic and, the parameters of interest for the planning in the strategic, tactical or operational levels.

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades e o conseqüente aumento na sua frota de veículos provocam diversos impactos como o aumento dos congestionamentos e de acidentes de tráfego. Um estudo realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) em 1998 estimou que, entre 10 grandes cidades brasileiras, as deseconomias geradas pelos congestionamentos atingiam a cifra de R\$ 474 milhões por ano, enquanto que os custos dos acidentes de trânsito (BRASIL, 1997) impuseram ao país perdas anuais da ordem de um bilhão de reais.

A solução habitual para o problema dos congestionamentos é a expansão física das vias, que, apesar de produzir um efeito positivo e imediato sobre a capacidade da malha viária, não assegura por si só a melhoria da qualidade dos serviços. Além disso, a expansão de uma via acaba por utilizar espaços que poderiam ser ocupados por áreas verdes ou de lazer, degradando a qualidade de vida dos habitantes nos centros urbanos (CAMBRUZZI e JUNIOR, 2003).

Para melhor utilizar o sistema viário, várias medidas alternativas à ampliação das vias têm sido tomadas, dentre elas: priorização do transporte coletivo, desestímulo ao uso do automóvel, ampliações e melhorias nos transportes de massa, implantação de pedágios urbanos e melhor integração entre modos de transporte público. Além destas medidas, diversos países implantaram sistemas de controle de tráfego urbano, tendo como principal objetivo a otimização do uso da infra-estrutura viária. Esses sistemas buscam, por meio de sincronismo e eficiência no controle de sinais de tráfego, gerenciar o fluxo de veículos na malha viária, minimizando o problema de congestionamento urbano e suas conseqüências (MORAIS e GEYER, 2003).

Além dos sistemas dedicados à redução de congestionamentos, existem sistemas de controle eletrônico de velocidade, empregados com a finalidade de melhorar as condições de segurança para motoristas e pedestres.

Também, os avanços tecnológicos e o desenvolvimento dos Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS) nas últimas duas décadas fizeram com que houvesse um crescimento nos níveis de automação de processos de controle de

tráfego e dentro desses processos está a coleta de dados. Surgiu, então, a possibilidade da utilização de dados coletados de forma automatizada para fins tais como disseminação de informações em tempo real e para a formação de bases de dados sobre o tráfego. Porém, a utilização destes dados para fins além da programação semafórica e do controle de velocidade é um assunto ainda pouco explorado no Brasil.

## 1.1 OBJETIVO

O objetivo da dissertação é desenvolver um procedimento de apoio a tomada de decisão quanto ao tipo de sistema de controle de tráfego a ser implantado visando o uso do mesmo como instrumento de auxílio ao planejamento de tráfego.

Objetivos secundários:

- Caracterizar os diferentes tipos de equipamentos de controle de tráfego, identificando vantagens e desvantagens;
- Verificar as informações que podem ser disponibilizadas por estes equipamentos;
- Identificar o potencial de utilização dos dados para o planejamento do tráfego;
- Mostrar, através de um exemplo de aplicação de dados de detectores, como as informações podem ser empregadas para o planejamento;
- Incentivar o aprimoramento dos sistemas existentes quanto a informação processada nos mesmos.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O Governo Federal, por meio dos Fundos Setoriais, considera como prioritárias dentro do CT-Transportes as idéias e propostas que contribuam para tópicos como (MCT, 2002):

- a) Fluidez e segurança de trânsito visando à redução de suas externalidades;
- b) Desenvolvimento e aplicação de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS);

- c) Melhoria das infra-estruturas existentes por meio de introdução de novas tecnologias de controle e manutenção;
- d) Estudo das condições operacionais dos sistemas de transportes e suas externalidades;
- e) Desenvolvimento de processos de gestão da infra-estrutura de transportes;
- f) Promoção do desenvolvimento de técnicas e modelos de previsão e de simulação para o planejamento de transportes.

De acordo com o documento apresentado por MCT (2002), é importante estudar formas de redução dos níveis de atividade do tráfego, realizar previsões do crescimento deste tráfego e definir metas para os níveis do tráfego futuro, de forma a reduzir, ou ao menos atenuar, o crescimento dos fluxos das cidades. Naquele documento, são listadas ações que deverão ter reflexos na fluidez do trânsito, principalmente nos grandes centros urbanos, dentre as quais estão:

- a) Redução dos níveis de congestionamento;
- b) Padronização dos controladores semafóricos;
- c) Desenvolvimento de sistema de controle de tráfego em tempo real; e
- d) Nacionalização de tecnologias e equipamentos de coleta de dados, controle e fiscalização de tráfego;

De acordo com este mesmo documento, um conjunto de tecnologias está sendo disponibilizado para a engenharia de tráfego, como por exemplo: cobranças automáticas de pedágios, sistemas de informação e roteirização de veículos, diversos recursos associados a centrais de controle de tráfego, dentre outros. Muitos destes recursos já são uma realidade nas grandes cidades e nas rodovias operadas por concessionárias. Há necessidade de uma avaliação dessas tecnologias para balizar investimentos públicos e privados no setor.

Nos países em desenvolvimento, os problemas de transportes são particularmente agudos devido à falta de recursos e aos altos custos da infra-estrutura. Por isso, é importante que soluções de baixo custo sejam perseguidas e que seja feito um melhor uso das facilidades existentes. Uma maneira de atingir isso é por meio do gerenciamento de tráfego (WORLD BANK, 1983).

Também, os investimentos em sistemas de controle de tráfego são elevados, embora sejam, em muitos casos, inferiores aos investimentos para ampliação da infra-estrutura viária. Sendo assim, é importante o desenvolvimento de trabalhos que

possibilitem uma melhor utilização dos sistemas de controle existentes e que apresentem aspectos a serem considerados para a implantação de sistemas futuros. É neste contexto que se insere a presente dissertação.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em 8 capítulos e 2 anexos, descritos a seguir:

Capítulo 1 – Introdução: Neste capítulo é feita uma introdução do trabalho, apresentando o objetivo proposto, a justificativa e a estrutura do trabalho.

Capítulo 2 – Controle de tráfego em áreas urbanas: são apresentados conceitos relacionados ao controle de tráfego em vias urbanas.

Capítulo 3 – Dispositivos empregados no controle de tráfego em áreas urbanas - Características, informações e aplicações no planejamento: são abordados diversos dispositivos eletrônicos empregados no controle de tráfego e exemplos de aplicações encontradas na literatura para os dados coletados com esses dispositivos.

Capítulo 4 – Conceitos e parâmetros para análise e planejamento do tráfego urbano: são introduzidos conceitos do planejamento de tráfego, suas atribuições, dados necessários e formas de obtenção desses dados.

Capítulo 5 – Procedimento proposto: é apresentado o procedimento proposto com base nos conhecimentos adquiridos na elaboração dos capítulos anteriores

Capítulo 6 – Exemplo de aplicação de dados coletados por detectores de veículos: é apresentado um exemplo de aplicação dos dados para determinação do nível de serviço em uma via expressa e um exemplo de cálculo de tempos de viagem.

Capítulo 7 – Conclusões e recomendações: são apresentadas as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

Capítulo 8 – Referências Bibliográficas: são relacionadas as referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento da presente dissertação

Anexo 1 – Amostra de dados fornecida pela CET-SP.

Anexo 2 – Tabelas do *Highway Capacity Manual*

## 2. CONTROLE DE TRÁFEGO EM ÁREAS URBANAS

### 2.1 INTRODUÇÃO

Os problemas de trânsito nas cidades, como os congestionamentos e os acidentes, provocam uma série de conseqüências negativas para a sociedade. Sendo assim, para melhorar as condições de fluidez e segurança no tráfego urbano, surgiu o controle eletrônico do tráfego, que possibilita o gerenciamento do fluxo de veículos nas vias, auxiliando também na redução de acidentes. Este tipo de controle propicia uma série de benefícios para a sociedade como: redução de tempos de viagem, redução de poluição atmosférica, economia de combustíveis e outros benefícios que, conseqüentemente, resultam na melhoria da qualidade de vida nas áreas urbanas.

Portanto, será abordado neste capítulo o controle eletrônico do tráfego em áreas urbanas quanto às suas modalidades (controle do direito de passagem em interseções semaforizadas e controle de velocidade), apresentando-se suas características, aspectos evolutivos, estratégias existentes e informações a respeito de sistemas de controle existentes no Brasil e no exterior.

Os Sistemas de Controle do Tráfego de Veículos fazem parte dos Sistemas Inteligentes de Transportes (SIT ou ITS – de *Intelligent Transportation Systems*), que serão brevemente tratados no item a seguir:

### 2.2 SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTES

Os Sistemas Inteligentes de Transportes consistem em uma ampla gama de tecnologias de comunicação, de controle e de eletrônica que, integradas à infraestrutura do sistema de transportes e aos veículos, têm a finalidade de melhorar as condições de fluidez e segurança para motoristas e pedestres.

De acordo com ITS BRASIL (2004), ITS é um conceito com aplicação mundial para integrar os caminhos dos transportes (portos, aeroportos, ferrovias, rodovias e hidrovias) com as tecnologias de comunicação (rádio, Internet, fibra ótica, computador, celular, dentre outros), com objetivo de prover ao usuário final informações decisivas enquanto ele estiver em trânsito em qualquer via de deslocamento.

Segundo ERTICO (2004) o termo ITS descreve qualquer sistema que faz o movimento de pessoas ou bens mais eficiente e econômico, portanto mais “inteligente”.

Estes sistemas são relativamente recentes, tendo o seu desenvolvimento sido largamente difundido a partir da metade da década de 80 (VIANNA, 2000).

Existem diversas áreas de aplicação dos ITS e dentro de cada área é oferecido um conjunto de serviços aos usuários, como pode ser visto na tabela 2.1 a seguir:

**TAB. 2.1 Áreas de aplicação dos ITS e respectivos serviços aos usuários**

<b>Área de Aplicação</b>	<b>Serviços ao Usuário</b>
<i>Advanced Traffic Management Systems (ATMS)</i>	Gerenciamento da demanda e planejamento de transportes Controle e fiscalização do tráfego e monitoração de incidentes
<i>Advanced Traveler Information Systems (ATIS)</i>	Navegação e orientação aos motoristas Informações aos usuários de transporte coletivo
<i>Advanced Vehicle Control and Safety Systems (AVCS)</i>	Operação automática de veículos Prevenção de colisões laterais e longitudinais
<i>Advanced Public Transportation Systems (APTS)</i>	Gerenciamento de transportes públicos Priorização de transportes públicos
<i>Comercial Vehicle Operations (CVO)</i>	Gerenciamento de frota Rastreamento de veículos comerciais
<i>Emergency Management Systems (EM)</i>	Monitoramento de cargas perigosas Gerenciamento de veículos de emergência
<i>Electronic Payment (EP)</i>	Transações financeiras eletrônicas (ex: pedágios automáticos)
<i>Automatic Emission Control (AEC)</i>	Controle da emissão de poluentes

Fonte: AQUINO *et.al.* (2001) *apud* MENESES (2003).

O controle eletrônico do tráfego está inserido principalmente nas categorias ATMS e ATIS. As ferramentas básicas de aplicação dos ATMS envolvem o controle de semáforos, o fornecimento de mensagens atualizadas sobre as condições de tráfego e os sistemas prioritários de circulação para veículos de emergência (SÁ, 1999). Os ATIS, por sua vez, consistem nas aplicações voltadas para fornecimento de informações sobre as condições do tráfego e sobre o transporte coletivo aos usuários do sistema viário.

Embora sejam altos os custos de implantação dos ITS, diversos estudos apontam a viabilidade do seu emprego, como no exemplo da TAB. 2.2, na qual são mostrados os resultados de um estudo de viabilidade econômica de aplicações de Sistemas Inteligentes de Transporte realizado no Canadá. De acordo com este estudo, obteve-se uma relação benefício/custo com a implantação de *Advanced Traffic Management Systems* (ATMS) de 6,46. Já para os *Advanced Traveller Information Systems* (ATIS) esta relação foi de 1,98.

**TAB. 2.2 Resultados de estudo de viabilidade econômica de aplicações de Sistemas Inteligentes de Transportes**

Tipo de sistema	Abrangência do sistema de transporte						
	Informação de situações adversas do tráfego	Coleta eletrônica de pedágio	Alerta automático de colisões e obras viárias	Checagem eletrônica de veículos (peso / credenciais)	Inspeção automática de segurança veicular	Gestão do tráfego urbano	Serviço de informação ao usuário
Aplicações ITS as quais estes sistemas pertencem	ATIS	EP	AVCS	ATMS	AVCS	ATMS	ATIS
Benefício / Custo	2,66	1,27	1,12	1,35	0,76	6,46	1,98

Fonte: Adaptado de LAM E JOHNSON (1997) *apud* MENESES (2003)

Os programas de transportes inteligentes e suas respectivas arquiteturas já se encontram estruturados, definidos e em implantação nos EUA, Canadá, Japão, Austrália e Comunidade Econômica Européia e são fruto da cooperação mútua entre

os setores público e privado. Nesses países a definição de uma arquitetura nacional foi iniciativa dos organismos públicos nacionais (MEIRELLES, 1999).

Porém, o que persiste no Brasil é um coquetel tecnológico, onde os equipamentos e sistemas são adquiridos sem um planejamento sistêmico ou uma arquitetura que preserve a economicidade dos investimentos, a integração e a interoperabilidade dos sistemas e que garanta a consecução dos objetivos a serem alcançados com o seu emprego (MEIRELLES, 1999).

## 2.3 EVOLUÇÃO DO CONTROLE ELETRÔNICO DO TRÁFEGO

Os sistemas de controle de tráfego estão inseridos nas categorias dos ATMS e dos ATIS.

As tecnologias incluídas nos sistemas de controle de tráfego têm por finalidade o controle e o gerenciamento do tráfego nas ruas e vias expressas. Esses sistemas incluem centros de controle de tráfego em áreas metropolitanas que coletam e processam dados, informando aos usuários sobre condições de tráfego, de modo a empreender mobilidade e reduzir os níveis de congestionamento (SÁ, 1999).

### 2.3.1 CONTROLE DO DIREITO DE PASSAGEM EM INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS

O controle semaforizado de tráfego surgiu devido à necessidade de se alternar o direito de passagem para diferentes correntes de tráfego de veículos e pedestres, de forma melhorar a fluidez e as condições de segurança em locais onde os volumes de tráfego e/ou de pedestres se tornaram significativamente grandes.

A complexidade de se controlar muitas interseções semaforizadas, a necessidade de obtenção de respostas mais rápidas à variação dos fluxos de tráfego e de economia de recursos humanos e financeiros fizeram com que houvesse uma busca por modos de executar as operações de programação dos

semáforos e de detecção de falhas de forma mais eficiente. Além disso, com o crescimento dos congestionamentos, surgiu a necessidade de realizar programações semaforicas visando otimizar o tráfego em corredores inteiros ou em áreas formadas por vários corredores, ao invés de fazê-lo apenas por interseções isoladas. Surgiram, assim, softwares que permitem a realização dessas operações e centrais de controle à distância.

De acordo com ROESS *et al.* (1998), os primeiros sistemas de controle de tráfego urbano com a utilização de computadores foram implantados na década de 60, com iniciativas na Europa, no Canadá e nos Estados Unidos. O primeiro grande projeto de controle computacional de tráfego foi realizado em Toronto, no Canadá. A operação deste sistema se iniciou em 1963 e envolveu 864 interseções.

Os primeiros sistemas de controle do tráfego urbano tiveram como objetivo melhorar as condições de circulação e fluidez exclusivamente dos veículos privados. Com o tempo, estes objetivos foram se expandindo, passando a incluir, entre outros, a priorização do transporte coletivo, a maximização da segurança dos pedestres e dos ciclistas, além da redução do consumo de combustível e da emissão de poluentes (LEANDRO, 2001).

Segundo ROESS *et al.* (1998), os primeiros sistemas de controle de tráfego em área eram formados por um computador localizado em uma central de controle e semáforos instalados em campo. Da central, os comandos eram enviados para os controladores semaforicos em campo e os únicos dados que voltavam do campo eram avisos sobre falhas nos equipamentos. As principais características destes sistemas são apresentadas a seguir e a sua configuração básica está ilustrada na FIG 2.1(a):

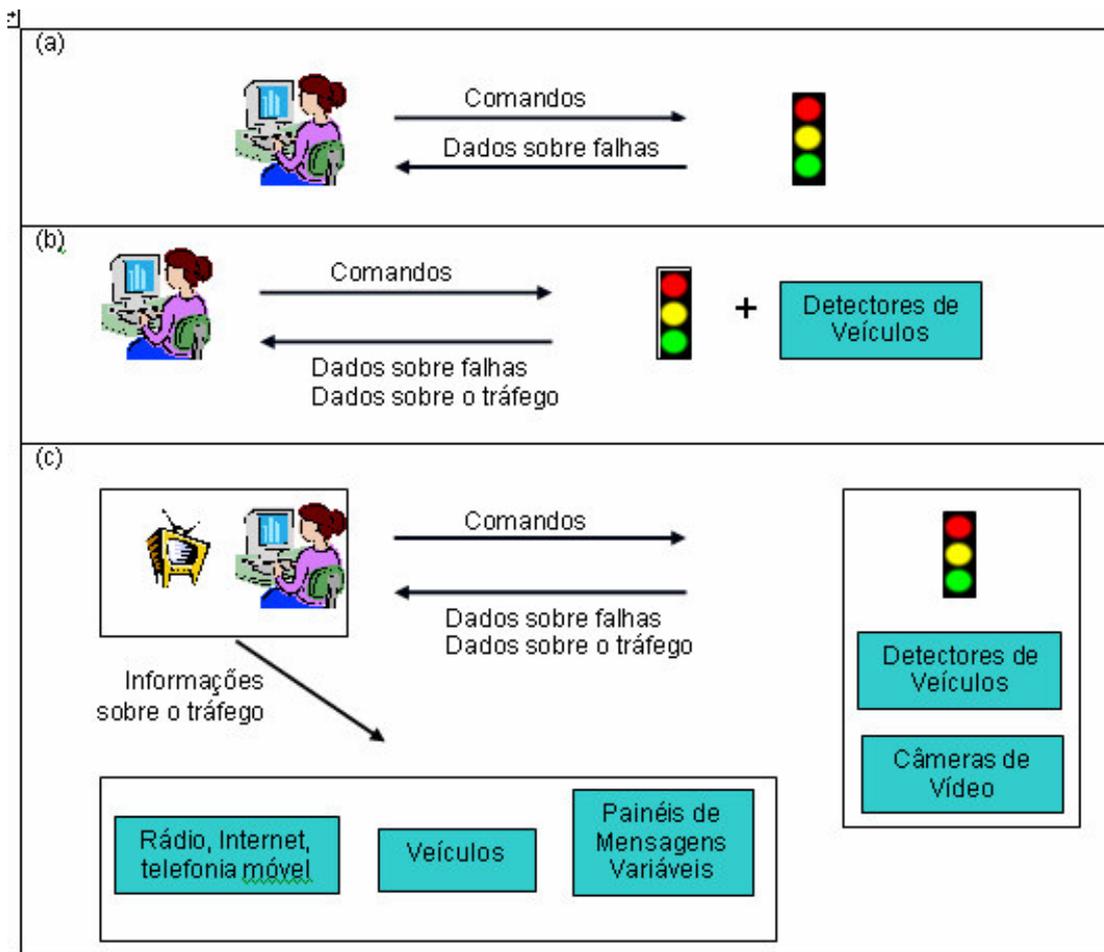
- a) Não havia retorno de informação dos detectores instalados em campo e os planos semaforicos não correspondiam as reais condições do tráfego;
- b) Os planos eram gerados “off-line”, de forma manual ou com o uso de um computador, com base em dados coletados com antecedência em estudos de campo.
- c) As soluções computacionais eram processadas em períodos em que o computador responsável pelo controle de tráfego não estava sendo utilizado para este fim ou em uma outra máquina.

Embora este tipo de sistema parecesse muito limitado e talvez deficiente, havia algumas vantagens no seu emprego em relação a operação não automatizada:

- a) Possibilidade de atualizar tempos semafóricos a partir de uma localização central;
- b) Possibilidade de se ter vários planos semafóricos e planos especiais;
- c) Coleta de dados sobre falhas nos equipamentos; e
- d) Obtenção de dados de desempenho do pessoal contratado para manutenção.

Um modelo de sistema um pouco mais evoluído consiste no apresentado na FIG 2.1(b). Neste sistema, além dos dados sobre falhas de equipamentos, são enviados para a central dados sobre o tráfego de veículos (coletados por detectores instalados nas vias) tais como velocidade, taxa de ocupação e fluxo veicular.

Nas últimas décadas, com a evolução tecnológica, os sistemas de controle de tráfego foram adquirindo uma maior complexidade e outros dispositivos foram agregados a eles. Além disso, foi adicionada ao sistema a figura do usuário, como receptor de informações e tomador de decisões. Conseqüentemente, o fluxo de dados e informações tornou-se mais complexo, conforme ilustrado na FIG 2.1(c).



**FIG. 2.1 Evolução dos sistemas de controle**

É importante ressaltar que, tanto sistemas mais simples, como o ilustrado na FIG 2.1a quanto sistemas mais sofisticados como os das FIG 2.1b e FIG 2.1c têm sido empregados até os dias atuais pois cada um deles é adequado para diferentes situações.

O controle do tráfego é realizado em vias de fluxo interrompido e em vias de fluxo ininterrupto. Nas vias de fluxo interrompido, este controle está mais voltado para a melhora das condições de fluidez e de segurança atuando na alternância do direito de passagem dos veículos e dos pedestres. Já nas vias de fluxo ininterrupto, como as vias expressas, o controle está mais voltado para a fiscalização da velocidade dos veículos e para o controle de acesso de veículos provenientes de outras vias.

Os sistemas de controle de tráfego diferem entre si por vários motivos, dentre eles: tipos de equipamentos, meios de comunicação e estratégias de controle

adotadas. Estes sistemas são compostos basicamente por equipamentos instalados nas vias e uma central de controle de tráfego interligados por algum meio de comunicação como, por exemplo, linhas telefônicas privadas. Nestas centrais, são emitidos os comandos a serem obedecidos pelos equipamentos em campo.

## 2.3.2 ESTRATÉGIAS DE CONTROLE SEMAFORIZADO

Quanto às estratégias de operação adotadas, o controle de tráfego pode ser isolado ou coordenado (LEANDRO, 2001), existindo ainda subdivisões nesta classificação conforme será mostrado a seguir.

### 2.3.2.1 CONTROLE ISOLADO

De acordo com LEANDRO (2001), na estratégia de controle isolado, os semáforos atuam independentemente dos demais, ou seja, não ocorre nenhum tipo de coordenação ou sincronismo semafórico.

Segundo RIBEIRO (1992) *apud* LEANDRO (2001), o controle de tráfego isolado, em sua maioria, é feito seguindo-se a teoria lançada por WEBSTER (1958), por meio do atraso veicular. O método de WEBSTER e COBBE (1966) para a determinação de tempos de ciclo e de verde baseia-se nos valores dos atrasos das interseções semaforizadas, sendo base em diversos métodos de cálculos de planos semafóricos.

Existem dois tipos de operação semafórica com controle isolado: a operação em tempo fixo, operação semi-atuada pelo tráfego e a operação atuada pelo tráfego.

a) Controle isolado a tempo fixo:

Usa planos semaforicos pré-calculados com base em contagens volumétricas e classificatórias realizadas previamente. Em muitas cidades, estes planos de tempo fixo são constantes durante todo o dia, sem considerar os períodos de pico. Entretanto, pode-se ter mais de um plano para a operação semaforica, considerando as variações de volume de tráfego durante o dia.

Os planos de tempo fixo apresentam a desvantagem de requerer constante levantamento de dados em campo para atender às variações na demanda de tráfego (OLIVEIRA, 1997). Os planos de tempo fixo podem ser determinados por meio de *softwares* como, por exemplo, o TRANSYT (*Traffic Network Study Tool*) (ROBERTSON, 1969), desenvolvido na Inglaterra. Este programa determina planos *ótimos* variando defasagens e tempos de verde de um plano inicial, buscando minimizar uma medida de custo que reflete as paradas e o atraso de veículos numa rede semaforica (TRL, 1999).

Conforme LEANDRO (2001), a programação dos planos semaforicos consiste da determinação dos parâmetros: tempo de verde, tempo de amarelo e tempo de vermelho total (caso exista).

#### b) Controle isolado atuado pelo tráfego:

Com o uso de controladores atuados, escolhe-se um tempo de verde para cada corrente de tráfego de acordo com sua necessidade, ajustando as diversas situações que podem ocorrer em campo. Esta operação, se adequa, de certa forma, às demandas de tráfego.

O princípio básico do funcionamento em modo atuado é o da variação do tempo de verde associado a um determinado estágio de sinalização entre um valor mínimo e um valor máximo, ambos programáveis. Para a determinação da variação do tempo de verde é necessário que se tenha em campo, além do controlador atuado (com lógica de decisão), unidades detectoras de veículos. Utilizando as informações enviadas pelos detectores e, de acordo com o programa armazenado no controlador, é tomada a decisão de prolongar ou encerrar o verde para uma determinada aproximação.

c) Controle isolado semi-atuado pelo tráfego:

Este tipo de operação é recomendado para o caso de uma importante via apresentar os acessos laterais com volumes relativamente baixos. Neste tipo de sistema, são instalados detectores veiculares somente nos acessos laterais – diferentemente da totalmente atuada, que necessita de detectores em todas as aproximações da interseção que se deseja controlar – a uma distância prudente da faixa de retenção, de modo que, quando for detectado um certo número de veículos, o tempo de verde da via principal seja interrompido (LEANDRO, 2001).

### 2.3.2.2 CONTROLE COORDENADO

Esta estratégia tem a finalidade de coordenar o tráfego, seja por progressão na via arterial ou coordenação em uma área. Para tal, é necessário determinar alguns parâmetros, como ciclo, tempo de verde de cada aproximação e, principalmente, defasagem (diferença, em segundos ou %, do comprimento do ciclo entre os instantes de acionamento da indicação verde do semáforo de dois cruzamentos).

Na coordenação por área, assim como na progressão arterial, todos os semáforos devem estar operando com o mesmo ciclo semafórico para que seja possível obter uma constante coordenação entre os mesmos. Entretanto, nesta situação, é possível que alguns semáforos operem com um valor de tempo de ciclo e outros com valores de tempo múltiplos dos demais. A seguir, são apresentadas outras informações sobre o controle em área.

a) Controle de Tráfego em Área:

O termo Controle de Tráfego em Área (CTA) é proveniente de uma estratégia em que a região a ser controlada é subdividida em sub-regiões (áreas) que contêm

suas interseções operadas por controladores em campo. Tais controladores se comunicam com um computador denominado “computador de zona”, o qual gerencia os controladores instalados em uma determinada área. E estes computadores de zona se comunicam com um computador central (MARQUEZ, 1979).

Os Sistemas de Controle do Tráfego em Área consistem num conjunto de tecnologias empregadas para aumentar o desempenho do tráfego de redes urbanas, reduzindo acidentes, consumo de combustível, poluição sonora e emissão de gases (BELL, 1995). Normalmente, estes sistemas gerenciam o tráfego da cidade por meio de três sub-sistemas (MEDEIROS *et al.*, 2000 *apud* MENESES, 2003):

- Circuito fechado de televisão (CFTV);
- Painéis de mensagens variadas (PMV);
- Controle semafórico centralizado.

O sub-sistema CFTV permite o monitoramento remoto do tráfego nas principais interseções viárias da cidade. Já o sub-sistema PMV viabiliza a comunicação com os usuários das vias. Por sua vez, o sub-sistema de controle semafórico centralizado otimiza, em tempo fixo ou em tempo real, o controle de interseções semafóricas, reduzindo atrasos e número de paradas nas interseções (MENESES, 2003).

O controle coordenado pode ser feito de forma centralizada (Controle Centralizado). Neste caso, há um computador central que realiza o controle e direciona as ações para os controladores locais. Para isso a operação pode ser:

- Operação centralizada em tempo fixo:

Na operação centralizada em tempo fixo, o computador central armazena e implementa os planos semafóricos previamente calculados, com dados que refletem condições padrões esperadas do tráfego. Estas condições são obtidas em dias típicos, periodicamente, ou em ocasiões especiais, como eventos esportivos ou sociais. Nesta operação, o momento da entrada de cada plano de tráfego previamente calculado ocorre por intermédio de uma tabela horária, ou seja, em um determinado instante do dia, um determinado plano entra em operação, automaticamente imposto pelo computador central (LEANDRO, 2001).

- Operação centralizada por seleção dinâmica:

Neste tipo de operação, a inserção dos planos de tráfego não é regida por uma tabela horária, diferentemente da centralização em tempo fixo. Na seleção dinâmica, existe uma série de planos semafóricos previamente dimensionados e armazenados em um computador, correspondentes a diversos fluxos veiculares. Ou seja, caso em uma determinada área ou interseção o volume em suas aproximações aumente ou diminua, automaticamente o computador selecionará o plano previamente estabelecido par aquele respectivo volume (LEANDRO, 2001).

- Operação Centralizada em Tempo Real:

Na centralização em tempo real, o computador central recebe as informações dos detectores veiculares, analisa os dados, minimiza uma função objetivo modificando os planos semafóricos (tempos de ciclo, tempos de verde e defasagens) das interseções, enviando-os aos controladores de campo (LEANDRO, 2001).

O funcionamento de um sistema em tempo real depende principalmente de uma densa rede de detectores veiculares (CLOWES, 1985 *apud* LEANDRO, 2001). É fundamental que se tenha controle de todo o fluxo veicular em todas as aproximações de todas as interseções a serem controladas.

No item a seguir, serão apresentadas algumas informações relativas ao controle de tráfego no exterior do Brasil.

## 2.4 CONTROLE DE TRÁFEGO NO EXTERIOR

O sistema de controle de tráfego centralizado em tempo real mais conhecido e utilizado em todo o mundo é o SCOOT (*Split Cycle Offset Optimisation Technique*), desenvolvido pelo Transport and Road Research Laboratory (TRRL) em 1973. Este sistema está implantado em mais de 170 localidades em países como: Inglaterra, China, Canadá, Chipre, Paquistão, Espanha e Brasil (nas cidades de São Paulo e Fortaleza). Além do SCOOT, um outro sistema de controle em tempo real muito conhecido é o SCATS (*Sydney Co-Ordinated Adaptive Traffic System*),

desenvolvido pelo *Roads and Traffic Authority of New South Wales*, Austrália. O SCATS é utilizado na Austrália, Nova Zelândia, China, Irlanda, Filipinas e Estados Unidos. Outros sistemas são o ITACA, UTOPIA (desenvolvido pela *FIAT Research Center*), ITALTEL e MIZAR *Automazione SpA* para a cidade de Turin. Há também o PRODYN, desenvolvido na França na década de 90 (LEANDRO, 2001).

#### 2.4.1 ESTADOS UNIDOS

Em 1972, havia nove comunidades nos Estados Unidos com sistemas de controle computacional instalados e outros 23 estavam em fase de implantação ou de estudos. Já em 1979, um estudo da FHWA identificou 201 destes sistemas nos Estados Unidos entre as fases operacional, sob construção e de estudos preliminares de engenharia (ROESS *et al.*, 1998).

Os sistemas SCOOT e SCATS não tiveram penetração no mercado dos EUA embora uma ou duas aplicações estejam em andamento (FHWA, 1993).

De acordo com OTA (1989), em 1989, os sistemas de controle de tráfego urbano nos Estados Unidos, em geral, estavam nas condições apresentadas na TAB. 2.3.

**TAB. 2.3 Condições dos sistemas de controle de tráfego nos EUA**

<b>Capacidades</b>	<b>Tecnologias</b>	<b>Situação</b>	<b>Limitações</b>
Monitoramento e controle do fluxo de tráfego em vias expressas e em vias arteriais.	Controladores semafóricos, medidores de fluxo em acessos, painéis de mensagens variáveis, detectores de laços indutivos e câmeras de vídeo.	A maioria dos sistemas operava em programação em tempo fixo para os semáforos.	Conflitos de escopo (exemplo: o sistema de uma cidade poderia causar congestionamentos em sua vizinhança) e de jurisdição (vias expressas e vias arteriais raramente incluídas no mesmo sistema).

Fonte: OTA (1989).

Atualmente há diversos centros de controle do tráfego nos EUA, como os de Houston, Los Angeles, Minnesota, Chicago, Seattle, Phoenix, Detroit, San Antonio, Atlanta e Milwaukee. Todos diferindo entre si pelo tamanho e pela funcionalidade (TTI, 2004).

Em Houston, por exemplo, o centro de gerenciamento foi implantado no final da década de 80 e vem sendo continuamente desenvolvido desde então. São gerenciados cerca de 380 km de vias expressas por meio de um circuito fechado de televisão (com aproximadamente 340 câmeras), 155 painéis de mensagens variáveis e 12 canais de rádio (TTI, 2004).

Os EUA tiveram um importante desenvolvimento na área de ITS e, para se ter uma idéia dos avanços obtidos, vale ressaltar que, na página da Internet da organização “ITS América” ([www.itsa.org](http://www.itsa.org)), há uma relação de *links* para aproximadamente 60 páginas de Internet que fornecem informações sobre as condições de tráfego em diversas localidades nos EUA para os usuários do sistema viário.

#### 2.4.2 EUROPA

Na área de controle de tráfego nas principais vias de acesso a cidades européias e a rodovias que as interligam, estão em andamento dois projetos: SERTI e ARTS.

O projeto SERTI (*Southern European Road Telematics Implementation*) é uma iniciativa das administrações de tráfego dos seguintes países: França, Alemanha, Itália e Suíça, e conta com a colaboração de outras organizações (sociedades concessionárias de rodovias) e com a ajuda financeira da União Européia. O principal objetivo deste projeto é a instalação e implantação de sistemas e serviços telemáticos aplicados ao tráfego em rodovias (JIMÉNEZ *et al.*, 2004).

O projeto ARTS (*Advanced Road Telematics in the South-west*) iniciou suas atividades em 1997 com a participação de três países: Portugal, Espanha e França. Da Espanha, as atividades são coordenadas pela *Dirección General de Tráfico*

(DGT) e pela *Dirección de Tráfico del Gobierno Vasco*, que são as duas administrações com competência em matéria de tráfego (JIMÉNEZ *et al.*, 2004).

As áreas de atuação de ambos os projetos são mostradas na figura a seguir:



**FIG. 2.2 Áreas de atuação dos projetos ARTS e SERTI**

Fonte: JIMÉNEZ *et al.* (2004).

Na primeira fase do projeto ARTS o objetivo foi desenvolver um marco de cooperação entre todos os organismos participantes, onde todas as atividades de tráfego a implementar na área do ARTS com implicações internacionais foram estudadas e implementadas de maneira harmoniosa. Atualmente, o projeto ARTS é parte do programa TEMPO, da DG-TREN (*Dirección General de Energia y Transporte de la Comunidad Europea*), e permite um planejamento plurianual das atividades a serem desenvolvidas.

Na Suécia, na Alemanha e na Inglaterra, com o objetivo de atingir benefícios quanto ao fluxo e a segurança nas vias expressas, é empregado um sistema de mudança dinâmica dos limites de velocidade com base em dados de velocidade e de fluxo coletados em tempo real. Perturbações súbitas no fluxo de tráfego são detectadas por sensores de laços indutivos e limites de velocidade apropriadamente reduzidos são apresentados para os motoristas em determinados pontos das vias por meio de painéis de mensagens variáveis. Estes limites de velocidade são regulamentares e são fiscalizados (FHWA, 1999).

Muitos países europeus, Inglaterra em particular, estão estabelecendo como padrão de projetos a instalação de detectores de laços indutivos em acostamentos, além dos instalados nas faixas de tráfego. Esta mudança foi incitada pelo menor custo de implantação dos detectores ainda na fase de construção e a maior facilidade de monitoramento de incidentes e de perturbações no tráfego (FHWA, 1999).

Observa-se na Europa um uso difundido da fiscalização automatizada. A aplicação mais comumente observada é a fiscalização automatizada de velocidade. Sistemas de fiscalização com câmeras fotográficas foram observados em diferentes classes de vias e também foi observada fiscalização automática para avanço de sinais (FHWA, 1999).

Na Suécia, Alemanha, França e Inglaterra existem vários sistemas de exibição de tempos de viagem, incluindo o uso de Painéis de Mensagens Variáveis (PMV). Em Paris, na França, há 204 PMV instalados em vias expressas. Tempos de viagens até as principais junções são calculados por um algoritmo e mostrados em PMV. Estes tempos são atualizados a cada minuto, ou seja, são fornecidas informações em tempo real aos motoristas. Taxa de fluxo, taxa de congestionamento e velocidade são detectados por 680 sensores. Pesquisas mostraram que a maioria dos motoristas de Paris consideram a informação de tempo de viagem mais útil do que mensagens genéricas como “congestionamento à frente” (FHWA, 1999).

Em diversas cidades européias foi observada uma extensiva implementação de sistemas que coletam e exibem informações em tempo real sobre a disponibilidade de vagas de estacionamento para os motoristas. Estes sistemas são tipicamente parte de um esforço maior para a promoção e preservação da viabilidade econômica dos centros das cidades e/ou de projetos para aumentar a informação aos viajantes em todos os modos de viagem na cidade (FHWA, 1999).

Os sistemas de informação sobre estacionamentos utilizam tipicamente detectores ou outros meios de contagem de entrada e saída de veículos dos estacionamentos. Isso permite que o número de vagas livres em cada estacionamento seja calculado em tempo real e apresentado em painéis de mensagens variáveis (FHWA, 1999).

Empresas privadas têm desenvolvido várias soluções de ITS na Europa. Na Alemanha, por exemplo, há uma empresa que oferece aos seus clientes

informações sobre o tráfego (por meio de avisos automaticamente enviados), um sistema de chamadas em caso de emergências e um sistema de navegação para os veículos que fornece as rotas mais rápidas e mais curtas para o destino desejado pelo motorista (FHWA, 1999).

De acordo com DGT (2003), os principais centros de gestão do tráfego na Espanha estão localizados nas cidades de La Corunha, Valladolid, Barcelona, Zaragoza, Madrid, Valência, Albacete, Ballén, Servilla e Málaga. A DGT possui uma importante rede de detectores de tráfego, estrategicamente localizados nas vias controladas. PUIGPELAT e LÓPEZ (1995) classificaram estes detectores de acordo com a sua localização em: detectores nos acessos das grandes cidades, detectores nas proximidades das grandes cidades e detectores nas bordas e corredores.

Painéis de Mensagens Variáveis, usados também para informações sobre estacionamentos, estão em atividade em Madrid, Barcelona e Sevilha. Outras cidades como Valência, Zaragoza e Bilbao têm PMV nas principais vias de aproximação da cidade. Um significativo esforço tecnológico tem sido feito para o desenvolvimento de gerenciamento de faixas com prioridade para veículos com alta ocupação (*HOV lanes*) em Madrid, que também envolve o controle de faixas reversíveis e sistemas de PMV (EC, 2004). Os usuários do sistema viário podem obter informações via Internet, por PMV e até por tele-texto (texto disponível para acesso via televisão).

## 2.5 CONTROLE DE TRÁFEGO NO BRASIL

Diversas cidades brasileiras possuem centrais de controle de tráfego em área (CTA), como mostrado na TAB. 2.4.

**TAB. 2.4 Informações relativas aos sistemas de controle semafórico em capitais brasileiras**

<b>Cidade</b>	<b>Estado</b>	<b>Frota de veículos</b>	<b>Cruzamentos semaforizados</b>	<b>Centrais de tráfego</b>	<b>Cruzamentos controlados pelas centrais</b>
Belo Horizonte	MG	757.161	567	2	357*
Curitiba	PR	786.167	885	3	534
Florianópolis	SC	158.715	130	1	81
Fortaleza	CE	416.061	400*	1	189
Porto Alegre	RS	508.140	955	1	570*
Rio de Janeiro	RJ	1.492.158	2.000*	8	1.000*
São Paulo	SP	4.295.160	4.600*	5	1.200*
Vitória	ES	99.566	176	2	175

\* valores aproximados

Fonte: DUTRA e DEMARCHI (2004).

A implantação desses CTA se deu isoladamente em cada cidade, sem uma padronização ou orientação em âmbito Federal. Sendo assim, diferentes estratégias e *softwares* de controle são empregados e há casos como o da cidade de São Paulo, onde o controle de tráfego foi implantado em várias etapas, utilizando softwares de diferentes fabricantes e diferentes estratégias.

Na TAB. 2.5 são apresentadas informações relativas aos sistemas de controle de tráfego em algumas cidades de médio porte do Brasil. De acordo com DUTRA e DEMARCHI (2004), poucas cidades de médio porte possuem uma central de tráfego que controla a programação semafórica de uma quantidade significativa de interseções. Juiz de Fora é o único exemplo de cidade de médio porte pesquisada por esses autores que utiliza o programa TRANSYT de otimização de defasagens para gerar a programação inicial da central.

**TAB. 2.5 Informações relativas aos sistemas de controle semafórico em algumas cidades de médio porte**

Cidade	Estado	Frota de veículos	Cruzamentos semaforizados	Centrais de tráfego	Cruzamentos controlados pelas centrais
Araçatuba	SP	74.396	65	0	0
Arapongas	PR	32.449	16	0	0
Araraquara	SP	77.052	98	0	0
Bento Gonçalves	RS	38.839	17	0	0
Canoas	RS	86.488	55*	0	0
Cascavel	PR	86.380	96	1	56
Chapecó	SC	51.310	17	0	0
Joinville	SC	153.700	118	1	60*
Juiz de Fora	MG	111.281	91	1	81
Londrina	PR	180.964	192	1	38
Maringá	PR	136.264	121	1	56
Petrópolis	RJ	78.991	26*	0	0
Poços de Caldas	MG	47.418	72	1	7
Ponta Grossa	PR	77.589	62*	1	44*
Presidente Prudente	SP	70.967	44*	0	0
Ribeirão Preto	SP	229.104	390*	1	275
Santa Maria	RS	68.976	52	0	0
São Carlos	SP	75.875	36	0	0
São Leopoldo	RS	51.632	32	0	0
Serra	ES	51.407	13	0	0
Uberaba	MG	91.328	100*	1	30
Volta Redonda	RJ	57.351	53	0	0

\* valores aproximados

Fonte: DUTRA e DEMARCHI (2004)

### 2.5.1 CONTROLE DE TRÁFEGO EM FORTALEZA

De acordo com MENESES, CARVALHO e LOUREIRO (2003), a implantação da Central de Controle de Tráfego de Fortaleza (CTAFOR) deu-se em 2000 e foi adotado para o controle semafórico um sistema de controle adaptativo em tempo real.

O CTAFOR é composto por 3 sub-sistemas:

- a) Sub-sistema de Circuito Fechado de TV (CFTV);

- b) Sub-sistema de Painéis de Mensagens Variáveis (PMV);
- c) Sub-sistema de Controle Semafórico (SCOOT).

O sub-sistema de controle semafórico do CTAFOR usa o sistema operacional SCOOT para otimizar, em tempo real, planos semafóricos implementados nas interseções controladas. De acordo com MENESES (2003), o SCOOT determina esses planos com base em dados de tráfego coletados em campo por laços detectores e enviados à central de controle por meio de linhas telefônicas privadas. O modelo de otimização do SCOOT busca minimizar atrasos e paradas de uma programação semafórica, simulando os efeitos de alterações desta programação sobre o tráfego.

A comunicação entre técnicos e o computador central se faz por meio de computadores terminais (*Personal Computer* – PC) ligados a um servidor de PC, o qual é conectado com o computador central.

## 2.5.2 PROJETO CIT - BELO HORIZONTE

Segundo DUTRA e DEMARCHI (2004), a prefeitura de Belo Horizonte, que em 1999 firmou convênio com a Universidade Federal de Minas Gerais para realizar pesquisas de volume e capacidade e rodar o programa TRANSYT para estabelecer os planos semafóricos de operação, está substituindo o sistema de suas duas centrais para que possam ser feitas alterações dos planos semafóricos em tempo real, baseadas nos dados coletados por laços detectores.

Um Projeto da BHTRANS é o CIT (Controle Inteligente de Tráfego), que possibilita o monitoramento do trânsito da área central da cidade. O CIT é composto por 4 subsistemas: Controle centralizado de semáforos, monitoramento do trânsito, circuito fechado de televisão e painéis de mensagens variáveis

De acordo com MEIRELLES (1999), apesar de não se dispor ainda de uma arquitetura ou um plano diretor para implantação de Sistemas Inteligentes de Transporte em Belo Horizonte, já existe uma preocupação com os aspectos de integração e interoperabilidade, como ocorre no caso da implantação da arrecadação automática de tarifas no transporte coletivo por ônibus pela Bhtrans e

no Trem Metropolitano pela Superintendência de Trens Urbanos – STU/BH. As aplicações de Sistemas Inteligentes de Transporte em Belo Horizonte encontram-se listadas abaixo:

**TAB. 2.6 Aplicações de ITS em Belo Horizonte**

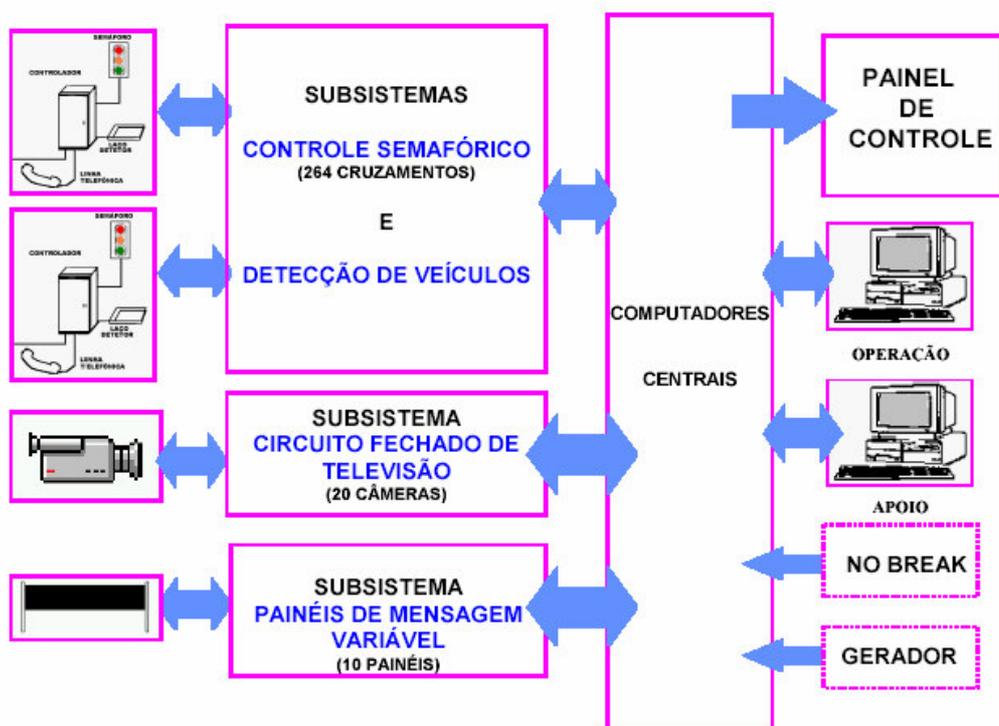
<b>Nível</b>	<b>Em teste</b>	<b>Em licitação</b>	<b>Em operação</b>
Planejamento e Projeto		Pacote de softwares para projeto viário (ferramentas CAD) e Sistema de Informações Geográficas (SIG).	Softwares de planejamento estratégico de transportes (simulação), sistema de cálculo da programação semafórica em rede, software de análise de capacidade de vias, sistema de geo-processamento.
Operacional	Equipamentos automáticos de coleta de dados de tráfego	Sistema de controle de tráfego por área (CTA I), dotado de controle centralizado de semáforos do tipo adaptativo em tempo real, sistemas de circuito fechado de tv e painéis de mensagens variáveis.	Semáforos atuados pelo tráfego, radares fotográficos móveis, lombadas eletrônicas e detectores fotográficos de avanço de sinal, controle centralizado de semáforos (falhas).

Fonte: MEIRELLES (1999)

Em termos de perspectivas futuras, pretende-se, em termos de projetos específicos para a área de trânsito:

- a) a adoção de equipamentos automáticos de coleta de dados (volumes de tráfego, velocidade e tempo de percurso);
- b) a implantação de um sistema de controle de tráfego centralizado para os corredores de tráfego (CTA II);
- c) a implantação de um sistema de informações para usuários, via Internet, com as condições de tráfego e imagens de CFTV do sistema viário principal da cidade;
- d) a ampliação da cobertura da fiscalização eletrônica de velocidade e avanço de sinal;
- e) a intensificação do uso de softwares que auxiliem no planejamento e projeto viário.

A seguir pode ser observado o fluxograma do projeto CIT:



**FIG. 2.3 Controle Inteligente de Tráfego – CIT/BH**

Fonte: BHTRANS (2004)

### 2.5.3 CONTROLE DE TRÁFEGO NO RIO DE JANEIRO

A Companhia de Engenharia de Tráfego do Rio de Janeiro (CET-Rio) é responsável pelo planejamento e pelo gerenciamento do trânsito da cidade.

As principais vias da cidade são monitoradas por uma central de controle de tráfego por área (CTA).

O Controle de tráfego é realizado por meio de três sub-sistemas, são eles:

- a) Circuito Fechado de Câmeras de TV: câmeras situadas em pontos estratégicos da cidade, fornecem imagens do tráfego da cidade em tempo real para o Centro de Controle.
- b) Painéis de Mensagens Variáveis: exibem mensagens informativas sobre as condições do trânsito aos motoristas.

c) Sistema de Controle Semafórico: é formado por dispositivos instalados nas vias (semáforos e detectores de veículos) e por um software que permite armazenar os dados que chegam à central de controle (número de veículos e taxa de ocupação) e possibilita a atualização dos planos semaforicos. A geração dos planos é feita *off-line*, manualmente (no caso de um pequeno número de interseções) ou com o auxílio do software TRANSIT. A necessidade de se realizar uma alteração de planos semaforicos é detectada pelas condições do tráfego observadas por meio das imagens enviadas pelas câmeras de TV instaladas em campo, pelo atendimento a reclamações de um número expressivo de usuários do sistema viário ou quando há alta ocorrência de acidentes em uma interseção. As alterações podem ser feitas isoladamente ou em uma área, de acordo com as necessidades.

Além disso, a CET-Rio disponibiliza na Internet, informações sobre as condições do tráfego em diversos pontos da cidade por meio de boletins que informam, utilizando os termos BOM, INTENSO, LENTO etc. ou por meio de imagens das câmeras de vídeo localizadas na cidade.

Foi desenvolvido e está em fase de testes, desde junho de 2004, um software que permite a conversão dos dados coletados pelo Sistema da TELVENT para serem utilizados pelo Corpo Técnico da CET-Rio para fins de planejamento e melhoria do controle de tráfego.

#### 2.5.4 CONTROLE DE TRÁFEGO EM SÃO PAULO

A Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET-SP), criada em 1976, é responsável pelo planejamento e a operação de tráfego do sistema viário no município.

Para fins de controle do tráfego, a cidade está dividida em 5 regiões. Cada região possui seu CTA, que centraliza, em sua área, a operação do sistema. Totalmente informatizado, o sistema conta com controladores eletrônicos em cada cruzamento, ligados ao CTA da região. Detectores de laços indutivos, instalados sob

o pavimento das vias, fornecem dados que são aplicados para a reprogramação dos semáforos.

A CET-SP utiliza sistemas de controle de tráfego importados. Em parte das vias controladas, a atualização dos planos semaforicos é realizada em tempo real (sistema SCOOT). No restante das vias sob controle da CET-SP, os planos são pré-calculados.

Complementando o sistema de controle, são utilizadas câmeras de circuito fechado de TV instaladas em pontos estratégicos que enviam imagens aos CTA, permitindo a detecção imediata de problemas no tráfego.

A operação de tráfego atua também apoiada pelos Postos Avançados de Campo – PAC, com visão de importantes extensões do complexo viário e onde são mantidos funcionários treinados, equipados com binóculos e aparelhos de rádio comunicação, que observam e comunicam imediatamente à Central de Operações eventuais incidentes. Além das informações recebidas dos PAC, a Central de Operações conta com uma linha telefônica, de discagem franqueada, à disposição da comunidade para a comunicação de problemas de trânsito observados ou para solicitação de informações (REBELO, 2003).

Os usuários recebem informações sobre o tráfego por meio de gráficos de lentidão, pela Internet e pela imprensa (TV e rádio).

Em visita realizada na CET-SP em julho de 2004, foi constatado que a SPTrans e a CET-SP estão desenvolvendo um projeto que criará em São Paulo uma central de monitoramento eletrônico que permitirá monitorar e fiscalizar, conjuntamente, o transporte coletivo e o trânsito da Capital.

O Centro de Controle Integrado (CCI), nova central de monitoramento desenvolvida pela SPTrans e pela CET, funcionará onde se encontra hoje a Central de Operações da CET. Todo o equipamento e tecnologias acumulados pela CET – CTA, câmeras, laços detectores, enfim, tudo até agora utilizado para o monitoramento do automóvel – passa a ser usado também no monitoramento dos ônibus do sistema Interligado.

O CCI estará ligado aos Centros de Operação dos Consórcios (COC) responsáveis pelas empresas de ônibus, que atuam principalmente nas linhas estruturais do novo sistema. Os COC, por sua vez, comunicam-se com as Centrais de Operação dos Terminais (COT), que trabalham paralelamente às centrais de

tráfego em área. As CTA controlam a programação semafórica e fiscalizam o trânsito em tempo real, utilizando câmeras e comunicação direta com funcionários que estão em campo.

De acordo com visita técnica realizada no setor de Planejamento da CET-SP, os técnicos têm trabalhado em conjunto com as empresas responsáveis pela operação de controladores eletrônicos de velocidade em algumas vias de São Paulo, para aproveitar os dados coletados por esses dispositivos. O setor de planejamento simula a rede viária da região Metropolitana de São Paulo utilizando o software EMME2, descrito em INRO (2004). Para alimentar a rede, foram utilizados dados obtidos na última pesquisa O/D realizada. Normalmente, as atualizações desses dados são feitas por meio de levantamentos manuais realizados em campo.

Os estudos que estão sendo realizados visam comparar os dados obtidos com os detectores de laços indutivos dos controladores eletrônicos de velocidade com os dados dos levantamentos manuais para então estudar, para cada ponto, qual o desvio que ocorre nas medidas de acordo com a realidade. A idéia é minimizar a ocorrência destes desvios onde for possível fazer melhorias nos dispositivos. Para os locais onde a precisão das medidas não puder ser melhorada, os técnicos tentarão adotar fatores de correção em relação às medidas realizadas pelos levantamentos manuais, de modo que os dados dos detectores possam ser aproveitados.

É importante ressaltar que estes dados são fornecidos para a CET-SP por meio da Internet, em uma página de acesso restrito ao corpo técnico da CET. São fornecidos dados de volume de tráfego, velocidade, taxa de ocupação e classificação de veículos durante 24 horas de cada dia.

#### 2.5.5 RECIFE – GERENCIAMENTO INTELIGENTE DO TRÁFEGO

CAVALCANTI (2001) *apud* MONTEIRO (2004), apresenta a experiência de gerenciamento do tráfego de Recife, onde foi implantada uma central de operação de trânsito com baixos custos de implantação e operação. Esta central de operação

(GIT – Gerenciador Inteligente de Tráfego) é composta, basicamente, de três centrais específicas:

- a) Central de atendimento aos usuários: funcionamento diário, de forma ininterrupta, com sistema de registro, processamento, e atendimento de reclamações, sugestões e informações;
- b) Central de rádio: estação de comunicação direta com as equipes de manutenção, operação e fiscalização, com o respectivo sistema de registro e processamento das ocorrências de trânsito;
- c) Central de controle e supervisão: compreende uma rede de computadores interligados por linhas telefônicas que controlam os semáforos, câmeras de vídeo, detectores de veículos, painéis de mensagens, e a geração e alteração dinâmica dos planos de tráfego.

A partir da central de controle supervisão, são realizadas as ações que visam otimizar o desempenho viário. Para tanto, esta central se compõe dos seguintes módulos operacionais (MONTEIRO, 2004):

- a) Módulo gerenciador de semáforo: ferramenta do GIT que permite o gerenciamento e o controle dos semáforos e dos laços detectores;
- b) Módulo de vídeo remoto: realiza a supervisão de vias de tráfego através da captura, digitalização e transmissão de imagens de vídeo;
- c) Módulo gerenciador de painéis de mensagens: ferramenta do GIT que permite o envio de mensagens, através da central de controle, para os painéis eletrônicos instalados nas vias; e
- d) Módulo de monitoramento remoto: ferramenta de conexão remota com o equipamento instalado no campo, possibilitando a utilização de recursos de controle e supervisão.

#### 2.5.6 SANTA CATARINA – PROJETO SINCMOBIL

É importante mencionar o projeto SINCMOBIL (Sistema de Informação e Controle para Mobilidade Urbana). De acordo com informações divulgadas por sua própria equipe, este projeto é financiado pelo CNPq, iniciou suas atividades em 2003

e tem a duração de 4 anos e foi proposto pelo Departamento de Automação e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina.

O projeto busca desenvolver e implantar sistemas de informação para apoiar a operação de sistemas viários urbanos, em duas vertentes: informação aos usuários (em suas várias categorias) e controle de operações (semáforos, ônibus, serviços de emergência).

O projeto dedica-se a desenvolver tecnologia e conceituação teórica na área de Sistemas de Informação aplicados ao problema dos transportes urbanos.

Mais precisamente, busca-se obter e tratar a informação disponível a partir de várias fontes para apoiar a mobilidade de pessoas, prestadores de serviços e mercadorias no ambiente das cidades.

Três subsistemas compõem a arquitetura física do projeto: Simulador de tráfego, Central de tráfego e Provedor de informação.

O projeto possui as seguintes características:

- a) Desenvolvimento referenciado em arquitetura de software de referência (*National ITS Architecture* norte-americana);
- b) Uso de protocolos de comunicação abertos, seguindo tendência mundial na área;
- c) Sistema Distribuído com restrições em tempo real;
- d) Busca de soluções viáveis para a realidade de cidades de porte médio no Brasil.

## 2.6 CONTROLE ELETRÔNICO DE VELOCIDADE

O controle de velocidade nas vias e interseções urbanas não semaforizadas tem o objetivo principal de melhorar a segurança, reduzindo a ocorrência de acidentes. A importância deste controle no Brasil justifica-se pelos elevados índices de acidentes de trânsito, sendo o excesso de velocidade uma das causas principais (MONTEIRO, 2004).

Este controle faz parte das aplicações da fiscalização eletrônica, que estão voltadas também para o controle de avanço de sinal e de invasão da faixa de pedestres, existindo equipamentos que desempenham estas três funções

simultaneamente. A detecção da infração é realizada através de sensores de diferentes modalidades e o registro da imagem do infrator é feito por meio de fotografias convencionais em películas ou de imagens digitais (MEIRELLES, 1999).

Com os dispositivos de controle de velocidade, procura-se adaptar a velocidade dos veículos às condições do ambiente nos quais circulam, já que a velocidade que os motoristas escolhem depende principalmente das condições da pista e da fiscalização (MONTEIRO, 2004).

Segundo CHEN *et al.* (1999), vários tipos de radares e programas de fiscalização têm sido testados e implementados nos últimos 30 anos. A Europa foi a pioneira na implantação destes dispositivos e aplicações bem sucedidas também foram realizadas na Austrália e na Nova Zelândia. Os radares fotográficos foram introduzidos na Noruega em 1988 e têm sido intensivamente utilizados pelas autoridades Britânicas desde os anos 90.

Nos Estados Unidos, embora tentativas na implantação da fiscalização automática de velocidade tenham começado bastante cedo, há relativamente poucos programas deste tipo de controle. As primeiras tentativas ocorreram no Texas. Um teste de três meses foi realizado em Arlington, em 1976. O próximo teste teve a duração de um ano e foi realizado dez anos depois, em Galveston e um teste de três meses foi realizado em La Marque no início de 1987. Vários programas adicionais foram iniciados no final dos anos 1980 e no início dos anos 1990, muitos dos quais foram descontinuados principalmente devido a falta de apoio judicial e/ou apoio público (SAGBERG, 2000).

No Brasil, os CEV vêm sendo empregados desde 1992 (BERTAZZO *et al.*, 2002).

De acordo com CANNELL (2001), em meados do ano 2000 havia em torno de 50 cidades brasileiras empregando equipamentos medidores de velocidade, ou em processo de implantação da fiscalização eletrônica de velocidade.

O controle eletrônico de velocidade pode ser feito de forma ostensiva ou discreta. Segundo GOLD (2003), os Controladores Eletrônicos de Velocidade (CEV) ostensivos são equipamentos que possuem grande visibilidade, e sinalização própria acionada pelo veículo fiscalizado, como lâmpadas, sinais sonoros, mostradores de velocidade, etc. Neste grupo estão as Lombadas Eletrônicas. Já os CEV discretos,

são equipamentos que não têm, fisicamente, grande visibilidade. Neste grupo estão os Pardais e Radares.

Esta classificação aponta para os seguintes tipos de utilização (GOLD, 2003):

- a) Lombadas Eletrônicas (ostensivas): são mais apropriadas em locais pontuais ou trechos de pequena extensão, onde seja essencial obter sempre a atenção plena de todos os condutores dos veículos a respeito da velocidade máxima permitida, para garantir a segurança dos outros usuários e/ou a sua própria segurança. Nesses casos o objetivo é a eliminação total, se possível, de veículos trafegando com velocidades acima do limite máximo estabelecido, já que qualquer excesso de velocidade geraria riscos de ocorrência de acidentes graves. Situações mais comuns incluem, por exemplo: trechos urbanos de rodovias (travessias urbanas), curvas perigosas em rodovias ou vias urbanas com características geométricas inadequadas e inesperadas, em trechos urbanos em frente a áreas de comércio, escolas e hospitais e em qualquer local onde houver grande fluxo de pedestres durante muitas horas do dia.
- b) Pardais e Radares (discretos): são mais apropriados para trechos de média e grande extensão, onde seja necessário e desejável limitar a velocidade média do tráfego, embora a eventual passagem de veículos com velocidades ligeiramente acima dos limites máximos estabelecidos nem sempre represente risco de ocorrência de acidentes graves. Se a necessidade for permanente, como, por exemplo, em trechos em declive e/ou sinuosos de rodovias, deve-se utilizar o Pardal (fixo e permanente). Se a necessidade for eventual ou sazonal, o equipamento mais adequado é o Radar (estáticos, móveis ou portáteis), como por exemplo em rodovias de acesso a áreas de lazer e veraneio no início e ao final de feriados.

Sendo assim, o controle eletrônico de velocidade pode ser realizado em pontos fixos, como no caso da instalação de lombadas eletrônicas ou ocasional, com a utilização de aparelhos portáteis.

Os dispositivos empregados no controle de velocidade são apresentados de forma mais detalhada no capítulo 3 desta dissertação.

## 2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversas abordagens para controle semafórico foram apresentadas, as quais diferem de acordo com os modelos e métodos empregados, os custos de produção e manutenção, as tecnologias empregadas e finalmente os seus efeitos no tráfego. Sendo assim, é necessário levar em consideração várias opções e vários instrumentos para definição de sistemas de controle mais adequados para cada aplicação específica para que se trate o problema de programação semafórica em uma rede urbana.

Existem diferentes estratégias de controle de tráfego, que comprovadamente trazem diversos benefícios para a sociedade, pois, por meio da redução dos congestionamentos, levam a economia de combustíveis, redução de tempos de viagem, redução das agressões ao meio ambiente (menor poluição atmosférica e menor ruído), redução de acidentes, dentre outros.

As aplicações de controle de tráfego no Brasil ainda são isoladas, não havendo uma padronização dos sistemas de controle adotados, ao contrário do que ocorre nos Estados Unidos e na Europa, onde os órgãos responsáveis por este controle têm tomado medidas para a padronização dos símbolos, equipamentos e *softwares* utilizados.

A utilização relativamente pequena de detectores de veículos nos sistemas de controle de tráfego brasileiros, o emprego de *softwares* para controle do tráfego em poucas cidades e o pouco armazenamento dos dados coletados por detectores, são fatos que mostram que há ainda muito a ser estudado e desenvolvido no Brasil em termos de controle de tráfego. Evidencia-se a necessidade de estudos que busquem conhecer melhor estes sistemas e a forma de coleta e utilização dos dados coletados por eles, visando estabelecer padrões para sua implantação.

Os dados gerados para o controle de tráfego muitas vezes são utilizados apenas para o controle semafórico. Mas diversas iniciativas foram e têm sido tomadas com o intuito de aproveitar esses dados para outros fins. Sendo assim, para que se estude o que pode ser feito com os dados coletados pelos detectores de veículos utilizados nos sistemas de controle de tráfego, é necessário conhecer as tecnologias

existentes e os tipos de trabalhos realizados nos países mais avançados em termos de controle do tráfego.

No capítulo a seguir são abordados aspectos tecnológicos e de emprego dos dados coletados por sistemas de controle de tráfego em diferentes países.

### **3. DISPOSITIVOS DE CONTROLE DE TRÁFEGO EM ÁREAS URBANAS: CARACTERÍSTICAS, INFORMAÇÕES E APLICAÇÕES NO PLANEJAMENTO**

#### **3.1 INTRODUÇÃO**

Diversos recursos tecnológicos têm sido empregados para possibilitar a realização do controle eletrônico do tráfego. Estes variam de acordo com a abrangência do sistema de controle de tráfego e com a estratégia de controle adotada.

Os dispositivos empregados no controle do tráfego possuem diferentes funções, as quais foram divididas nos seguintes grupos: dispositivos de coleta de dados, dispositivos de armazenamento e processamento dos dados e dispositivos de informações aos usuários. Além desses dispositivos, há aqueles empregados para o controle propriamente dito, como os semáforos.

Em função dos objetivos a serem alcançados nesta dissertação, foi dado um maior destaque aos dispositivos utilizados para coleta de dados.

#### **3.2 DISPOSITIVOS PARA COLETA DE DADOS (DETECTORES DE VEÍCULOS)**

Para a coleta automatizada de dados sobre o tráfego de veículos são empregados dispositivos chamados de detectores de veículos ou de sensores usados para detecção de veículos.

Em 2003, a Federal Highway Administration publicou um amplo estudo sobre tecnologias de detecção de veículos. Neste estudo, a FHWA contou com uma equipe formada do *Southwest Technology Development Institute* (SWTDI), o *Vehicle Detector Clearinghouse* (VDC) e o Dr. Laurence Klein, um consultor privado das áreas de gerenciamento de tráfego e de tecnologias de sensores, autor de vários

livros de trabalhos sobre estes temas. Considerando a importância deste estudo, várias das informações apresentadas a seguir foram retiradas dele.

De acordo com FHWA (1993), FHWA (2003), HENRY e RECKER (2003) e MARTIN (2003) os detectores de laços indutivos são a tecnologia mais comum para a detecção de veículos. Porém, eles possuem algumas desvantagens que motivaram a busca por tecnologias alternativas. Uma grande quantidade de tecnologias de detecção está disponível no mercado com diferentes modos de operação.

A FHWA (2003) classifica os detectores de veículos em dois grupos: detectores na via e detectores acima da via. Um detector situado na via está embutido no pavimento ou está preso na superfície da via (colado, amarrado ou de outra forma).

Os detectores do grupo “acima da via” são aqueles que estão realmente acima da via (em postes, por exemplo) ou aqueles que estão instalados às margens da faixa de tráfego mais próxima. A TAB. 3.1, a seguir, apresenta os diferentes tipos de detectores de acordo com a classificação da FHWA.

**TAB. 3.1 Classificação dos detectores de veículos.**

<b>Detectores na via (In-Roadway Sensor Technologies)</b>	<b>Detectores acima da via (Over-Roadway Sensor Technologies)</b>
Tubos Pneumáticos	Processamento de Imagens de Vídeo
Detectores de Laços Indutivos	Radar Microondas
Sensores magnéticos	Sensores Infravermelho
Sensores Piezoelétricos	Sensores Ultra-sônicos
<i>Weigh-in-motion</i> <sup>1</sup>	Detectores Acústicos Passivos

Fonte: Adaptado de FHWA (2003).

A seguir, são apresentadas informações relativas a cada um dos tipos de detectores e sobre outros que não aparecem na classificação acima, mas que também foram contemplados pela FHWA (2003).

---

<sup>1</sup> Na realidade, *weigh-in-motion* são sistemas empregados para a pesagem de veículos sem que estes necessitem realizar paradas, compostos pela combinação de diferentes tecnologias de detecção.

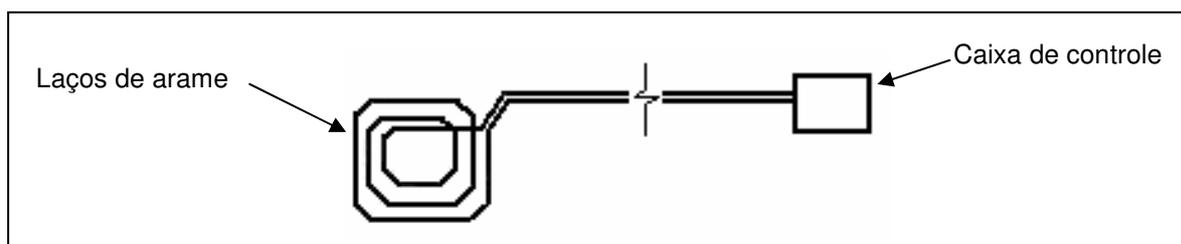
### 3.2.1 TUBOS PNEUMÁTICOS

Os sensores de tubos pneumáticos enviam um estouro de pressão de ar ao longo de um tubo de borracha quando os pneus dos veículos passam sobre esse tubo. O pulso de pressão fecha um interruptor de ar, produzindo um sinal que é transmitido a um contador ou a um *software* de análise. O tubo pneumático é portátil e usa baterias recarregáveis como fonte de energia (FHWA, 2003).

Estes detectores são instalados perpendicularmente ao fluxo de tráfego e são comumente usados para contagens de tráfego de curto período, para classificação de veículos por contagem de eixos e espaçamento, planejamento e outros estudos. Alguns modelos coletam dados para o cálculo de *gaps*, atrasos, taxa de fluxo de saturação, velocidade pontual em função da classe do veículo ou tempo de viagem (FHWA, 2003).

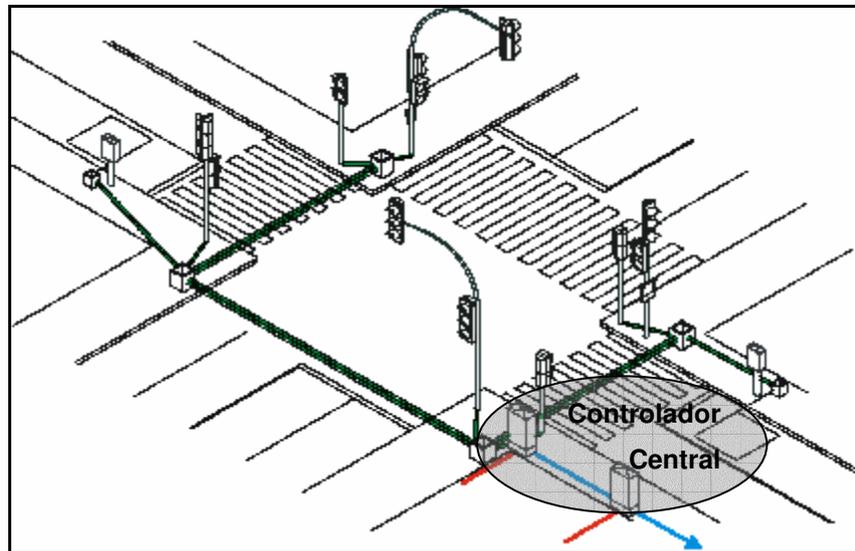
### 3.2.2 DETECTORES DE LAÇOS INDUTIVOS

Este tipo de detector consiste em um ou mais laços de arame colocados dentro do pavimento e conectados a uma caixa de controle, conforme mostrado na FIG. 3.1. Quando um veículo pára ou passa sobre o laço, a indutância do laço diminui, o que ocasiona um aumento na frequência de oscilação e faz com que a unidade eletrônica envie um pulso ao controlador, indicando a presença ou a passagem de um veículo. Os dados gerados por esse fenômeno são enviados a uma central de controle através de uma linha telefônica ou de transmissão de dados (FHWA, 2003).



**FIG. 3.1** Representação de um detector de laços indutivos.

Quando instalados em interseções semaforizadas, os detectores de veículos são interligados aos controladores semaforicos para que os dados coletados por esses detectores possam ser armazenados e transmitidos. A FIG. 3.2 a seguir mostra os detectores de laços indutivos ligados ao controlador central de uma interseção.

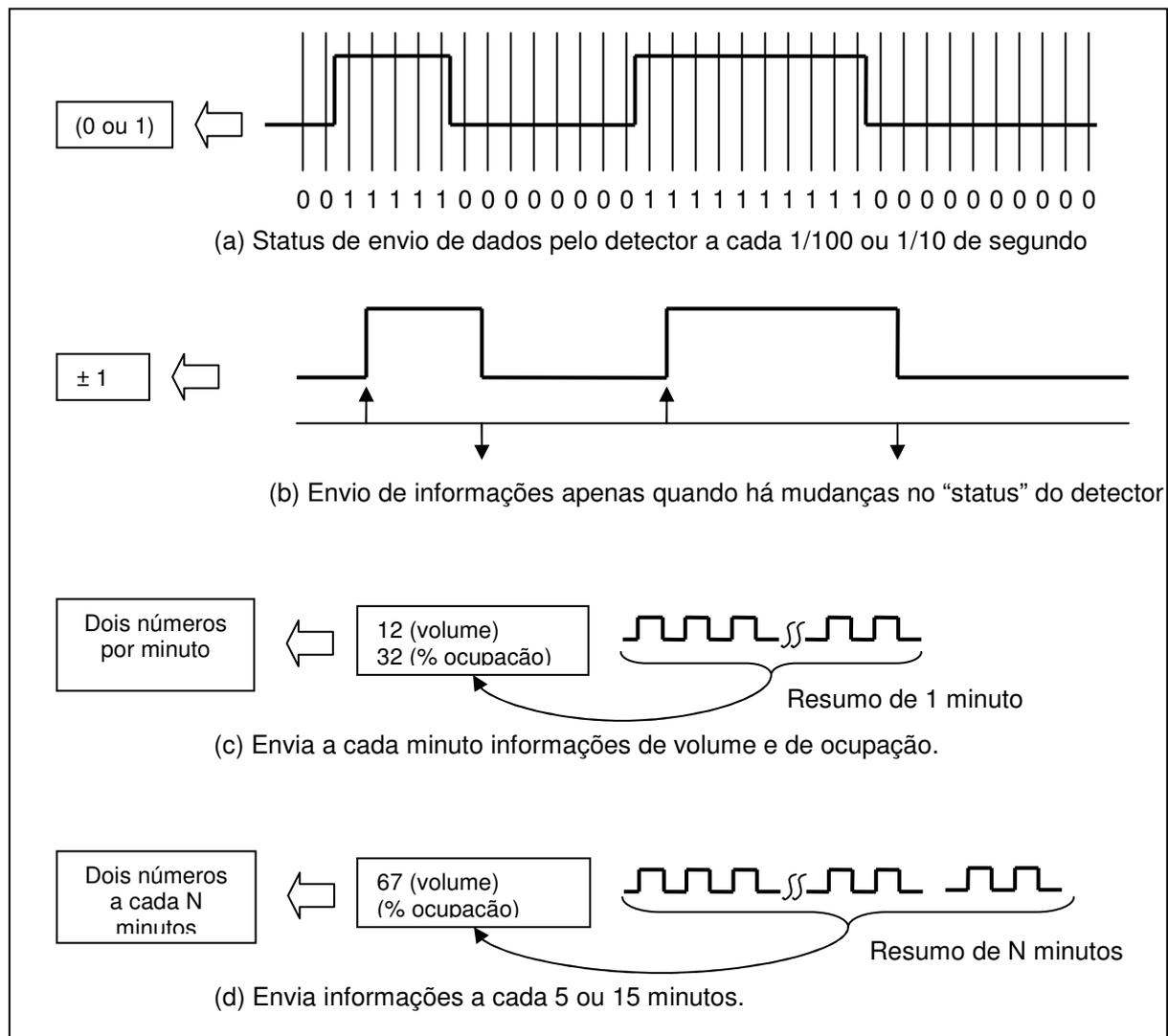


**FIG. 3.2 Comunicação dos detectores de laços indutivos com o controlador central**

De acordo com WANG e NIHAN (2003), dados de tráfego em tempo real são essenciais para o controle moderno de tráfego e de gerenciamento de sistemas e os detectores de laço indutivo são fontes valiosas desses dados. Desde a sua introdução, no início dos anos 60, os detectores de laço indutivo se tornaram a forma mais popular de dispositivos de detecção de veículos. Em muitas redes de vias expressas, tem-se empregado laços indutivos para coletar dados de volume (número de veículos passando por unidade de tempo) e taxa de ocupação (a fração do intervalo de tempo total no qual o laço está ocupado por veículos). Estes dados têm sido fontes valiosas para o planejamento de transportes e para o controle de tráfego. Todavia, desenvolvimentos recentes em ATMS exigem dados precisos de velocidade e de classificação dos veículos, os quais não são diretamente mensuráveis por um único detector de laço indutivo. Para obter tais velocidades e dados de classificação de veículos, normalmente são empregados detectores de laço indutivos instalados aos pares (detector duplo ou *dual-loop detector*) ou são empregadas relações matemáticas que permitem a obtenção indireta desses dados a partir de um único detector de laço indutivo.

Apesar de os detectores duplos fornecerem dados de velocidade e dados de classificação de veículos, há poucos deles nos atuais sistemas de vias expressas para atender as necessidades dos ATMS, e o custo de substituição de um detector simples por um duplo é alto. Portanto, os detectores duplos são muito menos empregados para fornecer dados para o controle de tráfego do que os detectores simples. Por estas razões, vários pesquisadores têm buscado obter dados de velocidade e de classificação de veículos a partir de detectores simples, de maneiras cada vez mais precisas (WANG e NIHAN, 2003).

A figura a seguir ilustra diferentes formas de obtenção dos dados dos detectores de laços indutivos.



**FIG. 3.3 Diferentes saídas de dados para os detectores de laços indutivos**

Fonte: Adaptado de ROESS *et al.* (1998)

Conforme ilustrado na figura anterior, o intervalo de agregação dos dados enviados pelo detector pode variar de centésimos de segundos a 15 minutos.

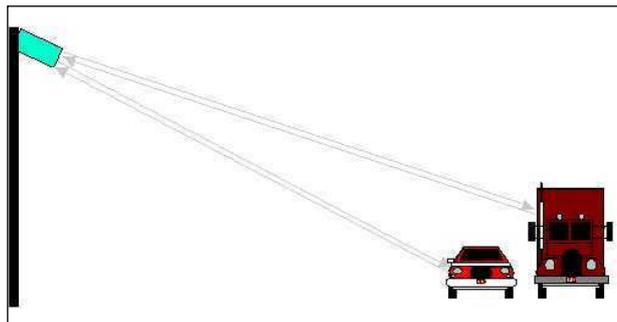
### 3.2.3 SENSORES MAGNÉTICOS

Os sensores magnéticos têm a forma de sondas e operam pelo princípio da perturbação que um grande objeto de metal causa em um campo magnético, assim como os detectores de laços indutivos trabalham. Eles indicam a presença de objetos metálicos pela detecção de perturbações no campo magnético da Terra, criadas pelo objeto.

Dois tipos de sensores magnéticos são usados para a medição de parâmetros do tráfego, os sensores ativos e os passivos (FHWA, 2003). Os sensores ativos (também chamados de *magnetometers*) são capazes de detectar presença e passagem de veículos. Já os sensores passivos (também chamados de *Two-axis fluxgate magnetometers*) só podem detectar veículos em movimento, sendo assim eles não podem ser usados como detectores de presença.

### 3.2.4 RADAR MICROONDAS

Um tipo de detector de veículos é o baseado no princípio do RADAR (RADIO Detection And Ranging). Ele emprega um sensor que emite um feixe de microondas sobre as faixas de rolamento da via de trânsito e, através da energia refletida pelos veículos, são coletadas várias características do tráfego. A figura a seguir ilustra o posicionamento e a forma de atuação deste tipo de detector.



**FIG. 3.4 Radar microondas abrangendo mais de uma faixa de tráfego**

Fonte: DEMASTERS (2004)

Há dois tipos de detectores radar microondas usados em aplicações de gerenciamento do tráfego. O primeiro tipo transmite energia eletromagnética a uma frequência constante e mede a velocidade dos veículos usando o princípio do efeito Doppler. Este tipo de detector não pode detectar veículos parados e, portanto, não é adequado para aplicações que requerem a medição da presença do veículo (KLEIN, 1997).

O segundo tipo de radar microondas transmite uma onda em forma de dente-de-serra, que varia a frequência transmitida continuamente com o tempo. Isso permite que veículos parados sejam detectados, medindo-se a distância do detector ao veículo e também calcula a velocidade de veículos em movimento medindo o tempo que ele leva para percorrer entre duas marcas que representam distâncias conhecidas para o radar (KLEIN, 1997).

### 3.2.5 DETECTORES INFRAVERMELHOS

Dois tipos de detectores infravermelhos são fabricados: Detectores infravermelhos ativos e detectores infravermelhos passivos.

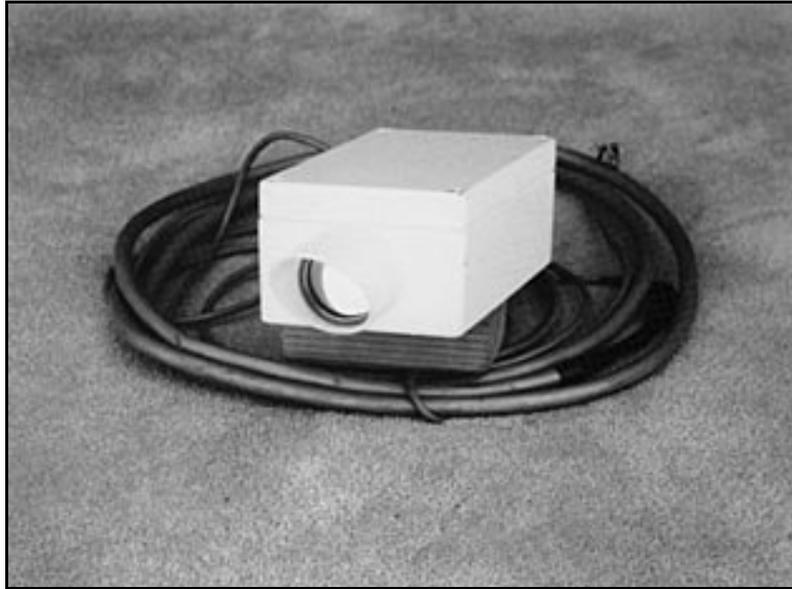
a) Detectores Infravermelhos Passivos:

Detectores infravermelhos passivos podem fornecer dados de presença e passagem de veículos, mas não fornecem dados de velocidade. Eles utilizam um detector de fótons para medir a energia infravermelha emitida pelos objetos situados no campo de visão do detector. Detectores passivos não transmitem energia, apenas recebem. Quando um veículo entra na zona de detecção, ele produz uma mudança na energia medida normalmente na superfície da estrada na ausência de veículo. A diferença de energia que chega ao receptor é reduzida quando há vapor de água, chuva, neve ou neblina na atmosfera. Para distâncias típicas de aproximadamente 6.1m, estas intempéries atmosféricas não produzem significativa degradação em desempenho (MORAIS,1999).

b) Detectores Infravermelhos Ativos:

Funcionam de maneira similar aos radares de microondas. Os tipos mais destacados utilizam um diodo laser para transmitir nas proximidades do espectro infravermelho. Uma porção da energia transmitida é refletida de volta ao receptor do detector de um veículo em seu campo de visão. Radares Laser podem fornecer informações de passagem de veículos, presença e velocidade. A velocidade é medida através do tempo que um veículo leva para atravessar dois raios que estão localizados na superfície da via, a distâncias conhecidas. Alguns modelos de radar Laser também têm a habilidade de classificar veículos medindo e identificando seus perfis. Outros tipos de detectores infravermelhos ativos utilizam diodos de emissão de luz (LED) como fonte de sinal (MORAIS,1999).

Na figura a seguir pode ser visto um tipo de detector infra-vermelho.



**FIG. 3.5 Detector Infra-vermelho**

Fonte: FHWA (1995).

### 3.2.6 DETECTORES ULTRA-SÔNICOS

Os detectores ultra-sônicos Doppler transmitem sons em frequências que variam entre 25 a 50 kHz. Estas frequências estão situadas acima da região audível. Uma porção da energia refletida pela superfície da via ou do veículo é captada pelo receptor e é processada para fornecer informações de passagem e presença. Um detector de presença ultra-sônico típico transmite energia ultra-sônica na forma de pulsos. As medidas de tempo que levam para que o pulso deixe o detector, bata na superfície e retorne ao detector são proporcionais à distância entre o detector e a superfície. Uma porta de detecção é configurada para identificar a distância à superfície da via e inibir a detecção do sinal da própria via. Quando um veículo entra no campo de visão, a distância do detector ao alto do veículo é sentida e sendo ela menor que a distância à via, faz com que o detector produza um sinal de detecção do veículo (MORAIS, 1999).

Estes detectores podem ser projetados para receber dados de distância e velocidade (pelo princípio Doppler). Contudo, os mais destacados e baratos

detectores ultra-sônicos são aqueles que medem distâncias para fornecer dados de passagem e presença de veículos.

Os sensores ultra-sônicos transmitem ondas de pressão de energia sonora a frequências entre 25 e 50 kHz, as quais estão acima da faixa audível pelo ser humano. A maioria dos sensores ultra-sônicos fornece contagem de veículos, presença e informações de ocupação (FHWA, 2003). Na figura a seguir pode ser visto um exemplo deste tipo de detector.



**FIG. 3.6 Detector Ultra-sônico**

Fonte: FHWA (1995).

### 3.2.7 DETECTORES PASSIVOS ACÚSTICOS

O tráfego de veículos produz energia acústica ou som audível por uma variedade de fontes, pelos veículos e pela interação de suas rodas com a superfície da via. Quando um veículo passa pela zona de detecção, o algoritmo de processamento de sinal detecta, por meio de microfones especiais, um aumento na energia sonora e um sinal de presença de veículo é gerado. Quando o veículo deixa a zona de detecção, a energia sonora diminui abaixo do limiar de detecção e o sinal de presença é finalizado (MORAIS, 1999).

### 3.2.8 PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE VÍDEO

O emprego do processamento de imagens de vídeo teve início na metade da década de 70 principalmente nos Estados Unidos, Japão, França, Austrália, Inglaterra e Bélgica (MICHALOPOULOS *et al.*, 1993). O avanço tecnológico e a redução dos custos de equipamentos tem tornado as câmeras de vídeo extensivamente empregadas para fins de coleta de dados de tráfego.

A detecção por câmeras de vídeo vem recebendo muita atenção para aplicações de detecção de incidentes, devido a sua habilidade de detectar sobre uma larga área e extrair um conjunto de parâmetros de tráfego, como densidade, comprimento de filas e perfis de velocidades. Além disso, não é necessário o fechamento de faixas de tráfego durante a sua instalação, minimizando interrupções no tráfego. A detecção por vídeo pode aumentar a segurança para motoristas e equipes de trabalho (FHWA, 1999).

As câmeras de vídeo foram introduzidas primeiramente para fiscalização das vias. Elas apenas transmitiam imagens em circuitos fechados de televisão (CFTV) para operadores humanos as interpretarem. As aplicações atuais de gerenciamento do tráfego usam, além da visualização dos operadores, o processamento de imagens de vídeo para analisar automaticamente a cena de interesse e extrair informações para a fiscalização e controle do tráfego. Um sistema de processamento de imagens de vídeo tipicamente consiste em uma ou mais câmeras, um computador para digitalização e processamento das imagens e um *software* para interpretação das imagens e para convertê-las em dados do fluxo de tráfego (FHWA, 2003).

Na maioria das vezes, as câmeras são instaladas em postes altos e suas imagens são transmitidas a um centro de controle de onde os operadores possam controlar suas funções, como rotação e zoom. Esse tipo de instalação é típico de um sistema de monitoramento de tráfego que tenha por objetivo cobrir uma área de grande extensão (PRANZL, 1999).

Os processadores de imagens de vídeo analisam as imagens a partir de uma cena do tráfego determinando as mudanças entre *frames* (quadros) sucessivos para

obter os dados sobre o tráfego (FHWA, 2003). Na figura a seguir é apresentado um modelo deste tipo de processador.



**FIG. 3.7 Processador de Imagens de Vídeo**

Fonte: FHWA (1995)

Os processadores de imagens de vídeo podem substituir vários detectores de laço indutivo instalados sob o solo por apenas uma única câmera, o processamento de sinais possibilita a detecção de veículos em uma larga área e promete baixos custos de manutenção (FHWA, 2003).

Embora já existam muitos sistemas automáticos de processamento de imagens de vídeo, na maioria dos casos as imagens ainda são analisadas visualmente por operadores de um centro de controle. Nas áreas urbanas, as câmeras estão entre os principais instrumentos de sistemas de monitoramento das condições do tráfego e de gerenciamento de incidentes (PRANZL, 1999).

### 3.2.9 DETECTORES PIEZOELÉTRICOS

Materiais piezoelétricos convertem energia cinética em energia elétrica e geram uma voltagem quando sujeitos ao impacto mecânico da vibração. Cargas elétricas de polaridades opostas aparecem no exterior das faces do material e induzem uma voltagem. A voltagem medida é proporcional à força ou peso dos veículos. A magnitude do efeito piezoelétrico depende da direção da força em relação aos eixos do cristal. Uma vez que o efeito piezoelétrico é dinâmico, por exemplo, carga é gerada apenas quando as forças estão mudando, a carga inicial irá decair se a força permanecer constante (CASTLE ROCK CONSULTANTS, 1988 *apud* FHWA, 2003).

Os sensores piezoelétricos são utilizados para classificar veículos por contagem de eixos e espaçamento para medir o seu peso e velocidade. Eles são freqüentemente usados como uma parte dos sistemas *weigh-in-motion*. Os sensores piezoelétricos de classe I detectam e pesam eixos, enquanto os de classe II apenas detectam o eixo. Há tipicamente uma vantagem de preço comparando-se os sensores de classe II para aplicações que não sejam *weigh-in-motion*, embora o custo total de instalação de alguns sensores de classe I seja apenas parcialmente maior do que o custo dos sensores de classe II de mesmo comprimento (HALVORSEN, 1999 *apud* FHWA, 2003).

### 3.2.10 DETECTORES DE FIBRA ÓTICA

Os detectores de fibra ótica usam algumas propriedades mensuráveis da luz, como sua intensidade, e a fase e polarização das ondas de luz para medir os parâmetros desejados como temperatura e pressão. Usualmente, a energia pode ser medida em função de outros parâmetros, como o tempo, posição e comprimento de onda. Tipicamente, um laser é a fonte luminosa que pode ser direcionada em distâncias curtas ou longas no espaço livre para um receptor. A luz é transmitida através de finas fibras de sílica fundida de longos comprimentos (FHWA, 2003).

Há diversas aplicações para os sensores de fibra ótica. Os parâmetros ambientais de importância para os sensores usados no monitoramento do tráfego são tensão e pressão, uma vez que estes parâmetros podem ser usados para detecção de presença e peso individual de eixos e, em alguns casos, o peso do

veículos e dos eixos das suas rodas. Essas duas informações podem ser usadas para determinar informações de velocidade e classificação. Outros tipos de sensores de fibra ótica podem fornecer classificação dos veículos e podem ser usados para aplicações *weigh-in-motion* (FHWA, 2003).

### 3.2.11 COMPARAÇÕES ENTRE DIFERENTES TECNOLOGIAS DE DETECÇÃO

Alguns detectores instalados acima da via incorporam mais de uma tecnologia. A combinação de sensores de raios infravermelhos passivos com sensores de ultrassom ou Radar Microondas Doppler fornece maior precisão para detecção de presença e fila de veículos, para contagem de veículos e discriminações de altura e distância (FHWA, 2003).

A escolha de um detector para uma aplicação específica depende de vários fatores, incluindo os tipos de dados a serem coletados, consistência, precisão, número de faixas monitoradas, número de zonas de detecção por faixa, custos de compra e de manutenção dos detectores, suporte dos vendedores, tempo de resposta dos detectores e compatibilidade com as infra-estruturas de gerenciamento do tráfego atuais e futuras (KLEIN, 1997).

A tabela a seguir resume as vantagens e desvantagens das diferentes tecnologias de detecção (FHWA, 2003).

**TAB. 3.2 Sumário de vantagens e desvantagens entre as tecnologias de detecção de veículos.**

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
Laços Indutivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Design flexível para atendimento de uma ampla variedade de aplicações</li> <li>- Tecnologia madura, bem compreendida</li> <li>- Fornece parâmetros básicos do tráfego (ex: volume, presença, ocupação, velocidade, <i>headway</i> e <i>gap</i>)</li> <li>- Insensível a intempéries como chuva, neblina e neve</li> <li>- Fornece dados de contagem de veículos mais precisos do que outras tecnologias usadas comumente</li> <li>- Padronização comum para obtenção de medidas precisas de ocupação</li> <li>- Modelos de alta frequência de excitação fornecem dados de classificação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A instalação requer cortes no pavimento</li> <li>- Diminuem a vida útil do pavimento</li> <li>- Instalação e manutenção requerem o fechamento parcial da via</li> <li>- Os fios dos laços ficam sujeitos a tensões provocadas pelo tráfego e variações de temperatura</li> <li>- Normalmente necessita-se de múltiplos detectores para monitorar um local</li> <li>- A precisão da detecção diminui quando é necessária a detecção de uma grande variedade de classes de veículos</li> </ul>
Magnetômetros ( <i>Two-axis fluxgate magnetometer</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menos suscetíveis do que os laços indutivos às tensões do tráfego</li> <li>- Insensível a intempéries como chuva, neblina e neve</li> <li>- Alguns modelos transmitem dados por meio de comunicação sem fio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A instalação requer cortes no pavimento</li> <li>- Diminuem a vida útil do pavimento</li> <li>- Instalação e manutenção requerem o fechamento parcial da via</li> <li>- Modelos com pequenas zonas de detecção requerem múltiplas unidades para uma detecção completa da faixa</li> </ul>
Magnéticos ( <i>Indução ou search coil magnetometer</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Podem ser usados quando os laços não podem ser instalados</li> <li>- Alguns modelos são instalados sob a via sem a necessidade de cortes no pavimento. Porém, é necessário fazer perfurações sob a via</li> <li>- Insensível a intempéries como chuva, neblina e neve</li> <li>- Menos suscetível a tensões provocadas pelo tráfego do que os laços indutivos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalação requer realização de cortes no pavimento ou perfuração de túneis sob a via</li> <li>- Não detecta veículos parados a não ser no caso de alguns sensores com <i>layout</i> especial e uso de software de processamento de sinais</li> </ul>

Continuação da TAB. 3.2

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
<p>Radar Microondas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipicamente insensível à variações climáticas em variações relativamente pequenas encontradas em aplicações de gerenciamento de tráfego</li> <li>- Medição direta de velocidade</li> <li>- Operação em múltiplas faixas de tráfego disponível</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensores CW Doppler não detectam veículos parados</li> </ul>
<p>Infravermelhos Ativos (radar laser)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transmite múltiplos raios de luz para precisa medição da posição dos veículos, velocidade e classificação</li> <li>- Operação em múltiplas faixas de tráfego disponível</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A operação pode ser afetada pela neblina quando a visibilidade é menor que 6 m ou quando há neve caindo</li> <li>- A instalação e manutenção, incluindo limpezas periódicas das lentes, requerem fechamento parcial da via</li> </ul>
<p>Infravermelhos Passivos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensores passivos multizonas medem velocidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A sensibilidade dos sensores passivos aos veículos pode ser reduzida em presença de chuva, neve ou neblina densa</li> <li>- Alguns modelos não são recomendados para detecção de presença</li> </ul>
<p>Detectores ultra-sônicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Operação em múltiplas faixas disponível</li> <li>- Capazes de detectar veículos com altura excessiva</li> <li>- Larga experiência no Japão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Condições ambientais como mudanças de temperatura e turbulência extremas no ar podem afetar sua performance. Alguns modelos executam correções compensando as variações de temperatura</li> <li>- Grandes pulsos de repetição podem degradar a medição da ocupação em vias expressas com veículos trafegando com velocidades moderadas a altas</li> </ul>

Continuação da TAB. 3.2

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
Detectores Acústicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Detecção passiva</li> <li>- Insensíveis a precipitações</li> <li>- Em alguns modelos é possível operar em múltiplas faixas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixas temperaturas podem afetar a precisão da contagem</li> <li>- Modelos específicos não são recomendados quando os veículos estão movendo-se lentamente em um tráfego parando-e-andando</li> </ul>
Processamento de Imagens de Vídeo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- É possível monitorar múltiplas faixas e múltiplas zonas de detecção por faixa</li> <li>- Facilidade na adição e na modificação de zonas de detecção</li> <li>- Rico conjunto de dados disponível</li> <li>- Possibilita a detecção em larga área quando as informações obtidas por uma câmera podem ser ligadas a outras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A instalação e a manutenção, incluindo a limpeza periódica das lentes, requer fechamento de faixas de tráfego quando a câmera é colocada sobre a via (o fechamento da faixa pode não ser necessário quando a câmera é colocada ao lado da via)</li> <li>- Sua performance é afetada por intempéries como neblina, chuva e neve e também por sombras de veículos, projeção dos veículos nas faixas adjacentes, oclusão, transição do dia para a noite, contraste entre o veículo e a via, presença de água, resíduos de sal, massas pendentes de gelo, teias de aranha nas lentes das câmeras</li> <li>- Requer que as câmeras sejam instaladas a alturas entre 15 e 21 metros para detecção ótima da presença de veículos e medição de velocidade</li> <li>- Alguns modelos são suscetíveis erros causados por movimentos das câmeras devido a ventos fortes ou vibrações na estrutura de suporte</li> </ul>

Fonte: adaptado de KLEIN (2001) *apud* FHWA (2003)

A tabela a seguir apresenta quais são os dados de tráfego tipicamente fornecidos por diferentes tipos de detectores de veículos.

**TAB. 3.3 Tipos de dados fornecidos por diferentes tecnologias de detecção de veículos**

Tecnologia de detecção de veículos	Dados de saída				
	Volume de tráfego	Presença de veículos	Velocidade	% de Ocupação da Via	Classificação dos veículos
Laços Indutivos	X	X	<b>X</b>	X	<b>X</b>
Magnetômetro (Two-axis fluxgate)	X	X	<b>X</b>	X	
Magnéticos (Indução ou search coil magnetometer)	X	<b>X</b>	<b>X</b>	X	
Radar Microondas	X	<b>X</b>	X	X	<b>X</b>
Infravermelhos Ativos (radar laser)	X	X	<b>X</b>	X	X
Infravermelhos Passivos	X	X	<b>X</b>	X	
Detectores ultra-sônicos	X	X		X	
Detectores Acústicos	X	X	X	X	
Processamento de Imagens de Vídeo	X	X	X	X	X

Fonte: adaptado de KLEIN (2001) *apud* FHWA (2003)

Nas células marcadas com a letra “x” em negrito, as informações podem ser obtidas apenas quando são utilizados modelos específicos destes dispositivos ou quando mais de um deles é instalado, como no caso dos laços indutivos, magnetômetros e detectores magnéticos.

Os detectores de laços indutivos continuam sendo largamente usados para monitorar os fluxos de tráfego e para controle semafórico devido principalmente ao seu custo relativamente baixo. Algumas das tecnologias de detecção que ficam acima da via, como processamento de imagens de vídeo, radar microondas multi-zonas e detectores infravermelhos passivos podem substituir vários detectores de laços indutivos. Nestas aplicações, o custo mais alto desses detectores pode compensar os custos de instalação e manutenção de múltiplos detectores de laços indutivos (FHWA, 2003).

### 3.3 DISPOSITIVOS DE FISCALIZAÇÃO E CONTROLE ELETRÔNICO DE VELOCIDADE

Como apresentado no item 2.6 , o controle eletrônico de velocidade surgiu principalmente por questões de segurança para pedestres e motoristas e, para a sua realização, é necessário empregar dispositivos que aliam tecnologias de detecção de veículos e meios de comunicação para identificação de motoristas que infringem limites de velocidade.

Há vários tipos de dispositivos automáticos de controle de velocidade, como: lombadas ou barreiras eletrônicas e radares (fixos ou móveis). As lombadas eletrônicas funcionam por meio de sensores de laços indutivos que medem a velocidade praticada pelo veículo ligado a um visor eletro-mecânico, que indica a velocidade medida pelo sensor. Simultaneamente, é acesa uma lâmpada cuja cor varia de acordo com a velocidade medida: a cor verde será exibida se a velocidade estiver dentro do permitido, amarela se estiver na faixa de tolerância estabelecida e vermelha se estiver acima da velocidade permitida (BARBOSA e MONTEIRO, 2000).

Os radares fixos, conhecidos popularmente como pardais por estarem instalados em lugares altos, também utilizam sensores no asfalto para o cálculo da velocidade do veículo e registram a imagem daqueles que excedem a velocidade permitida. No entanto, não apresentam visor, sendo, por isso, bem menos perceptíveis.

Os radares móveis são utilizados em estratégias de rodízio de pontos críticos da cidade e utilizam o sistema de raios laser para leitura da velocidade instantânea do veículo, registrando também a imagem daqueles veículos que excedem a velocidade permitida (BARBOSA e MONTEIRO, 2000).

Na FIG. 3.8 pode ser vista uma lombada eletrônica, na FIG. 3.9 é mostrado um modelo de radar fixo e na FIG. 3.10 pode-se observar um modelo de radar móvel.



**FIG. 3.8 Lombada Eletrônica**

Fonte: DER-PE (2004)



**FIG. 3.9 Radar Fixo**

Fonte: PERKONS (2004)



**FIG. 3.10 Radar Móvel**

Fonte: PERKONS (2004)

- **Semáforos:**

Os semáforos são equipamentos que alternam o direito de passagem de veículos e/ou pedestres em interseções de duas ou mais vias. Estes equipamentos visam assegurar, principalmente, dois atributos operacionais: fluidez e segurança (SANTOS e JACQUES, 2003).

Como consequência, o emprego destes dispositivos acarreta em interrupções no fluxo de veículos muitas vezes responsáveis pela formação de filas de tamanhos indesejáveis.

### 3.4 DISPOSITIVOS E MEIOS DE COMUNICAÇÃO PARA APRESENTAÇÃO DE INFORMAÇÕES AOS USUÁRIOS

Para disseminação das informações obtidas por meio dos sistemas de controle de tráfego, podem ser utilizados Painéis de Mensagens Variáveis. Além desses

dispositivos, as informações podem ser enviadas por meio da Internet (boletins com condições de tráfego em forma de tabelas e/ou mapas), via telefonia celular, rádio, tv, dentre outros.

Os Painéis de Mensagens Variáveis (PMV) são dispositivos instalados ao longo das vias para exibição de mensagens aos motoristas. Estas mensagens podem ser referentes a diversos tipos de informações, como: condições do tráfego no momento em que o motorista passa pelo painel (fluidez do tráfego, tempos de viagem), indicações da melhor rota a ser seguida para se chegar a um destino (*route guidance*), alterações nas condições de operação das vias em função de incidentes ou eventos programados (exemplo: manutenção da via), condições climáticas adversas e mensagens educativas. Um exemplo de mensagem exibida pode ser visto na figura a seguir.



**FIG. 3.11 Mensagem educativa exibida em PMV.**

Fonte: MENESES (2003).

Embora existam muitos tipos de painéis de mensagem variável no mercado, eles podem ser classificados em três categorias: refletores, emissores e híbridos (MARSTON, 1993). Os painéis refletores refletem a luz emitida de uma fonte externa como faróis, o sol ou mesmo lâmpadas. Os painéis emissores emitem luz vinda de lâmpadas instaladas atrás ou na própria superfície do painel. Alguns fabricantes

mesclaram características das tecnologias de emissão e reflexão e criaram os painéis conhecidos como híbridos (PRANZL, 1999).

No centro de controle de tráfego do Rio de Janeiro, a informação sobre a condição da via ou rota a ser exibida no PMV é feita pelo operador com base na sua avaliação das imagens das câmeras de vídeo instaladas em diversos pontos estratégicos da cidade. Esta avaliação é puramente visual e está sujeita a influência de fatores tais como a experiência do operador, a dose de subjetividade dos conceitos (bom, intenso, etc.) e características específicas das vias em relação a determinados horários. Por exemplo, uma via que costuma apresentar tráfego muito intenso pode receber um “bom”, mas segundo as próprias palavras dos operadores, é um “bom para aquela via”. A condição “livre”, embora conste na classificação acima, na prática não é utilizada por acreditar-se que essa condição só é encontrada de fato durante a madrugada, período em que apenas mensagens educativas são exibidas (PRANZL, 1999).

Em várias cidades dos EUA e da Europa, por exemplo, os painéis informam os tempos de viagem estimados para certos trechos de vias, de acordo com as condições de tráfego em tempo real. Isso dá aos usuários do sistema viário uma noção muito mais clara das condições de tráfego que eles irão encontrar ao passarem pelo trecho.



**FIG. 3.12** Tempos de viagem mostrados em PMV

Fonte: FARIELLO (2001).

Diversas cidades apresentam informações sobre o tráfego em páginas da Internet. Conforme apresentado no capítulo 2, existem nos EUA aproximadamente 60 páginas da Internet que disseminam informações sobre o tráfego aos usuários dos sistemas viários. Exemplos de mapas são mostrados nas FIG. 3.13 e FIG. 3.14 a seguir.

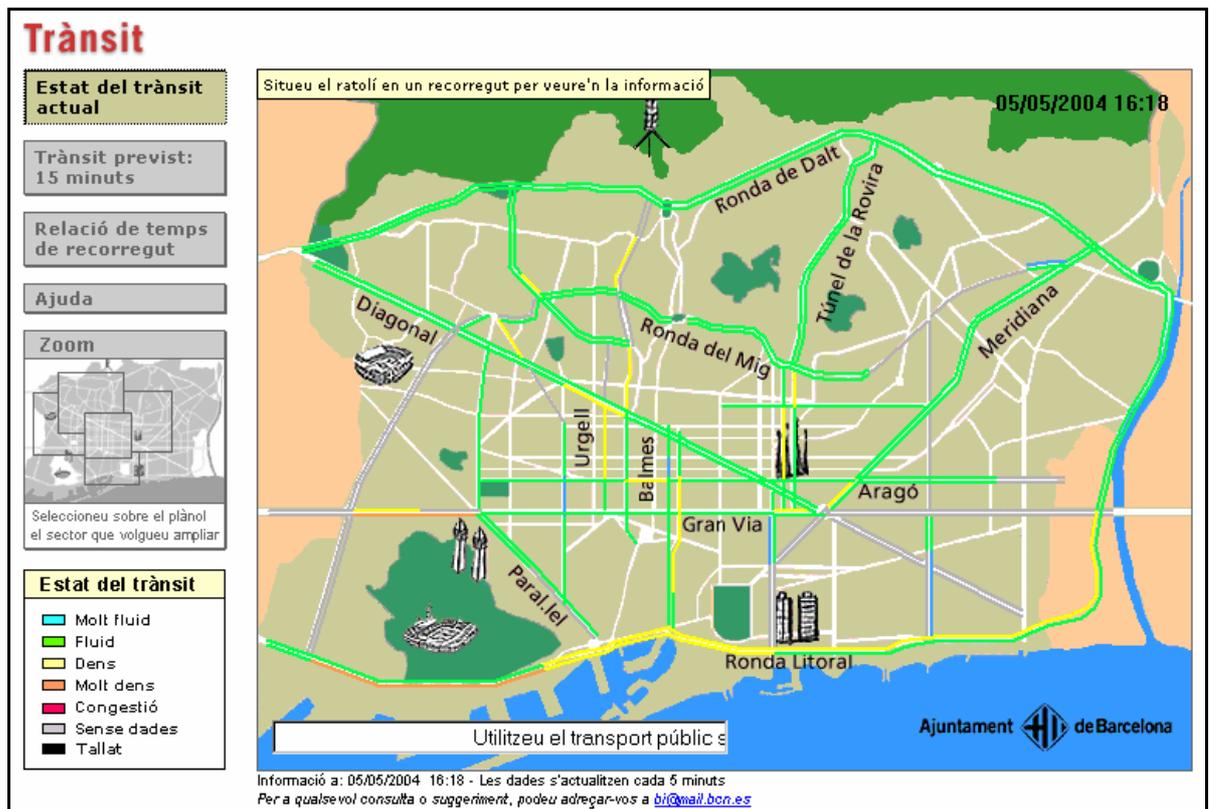


FIG. 3.13 Mapa de condições do tráfego – Barcelona / Espanha

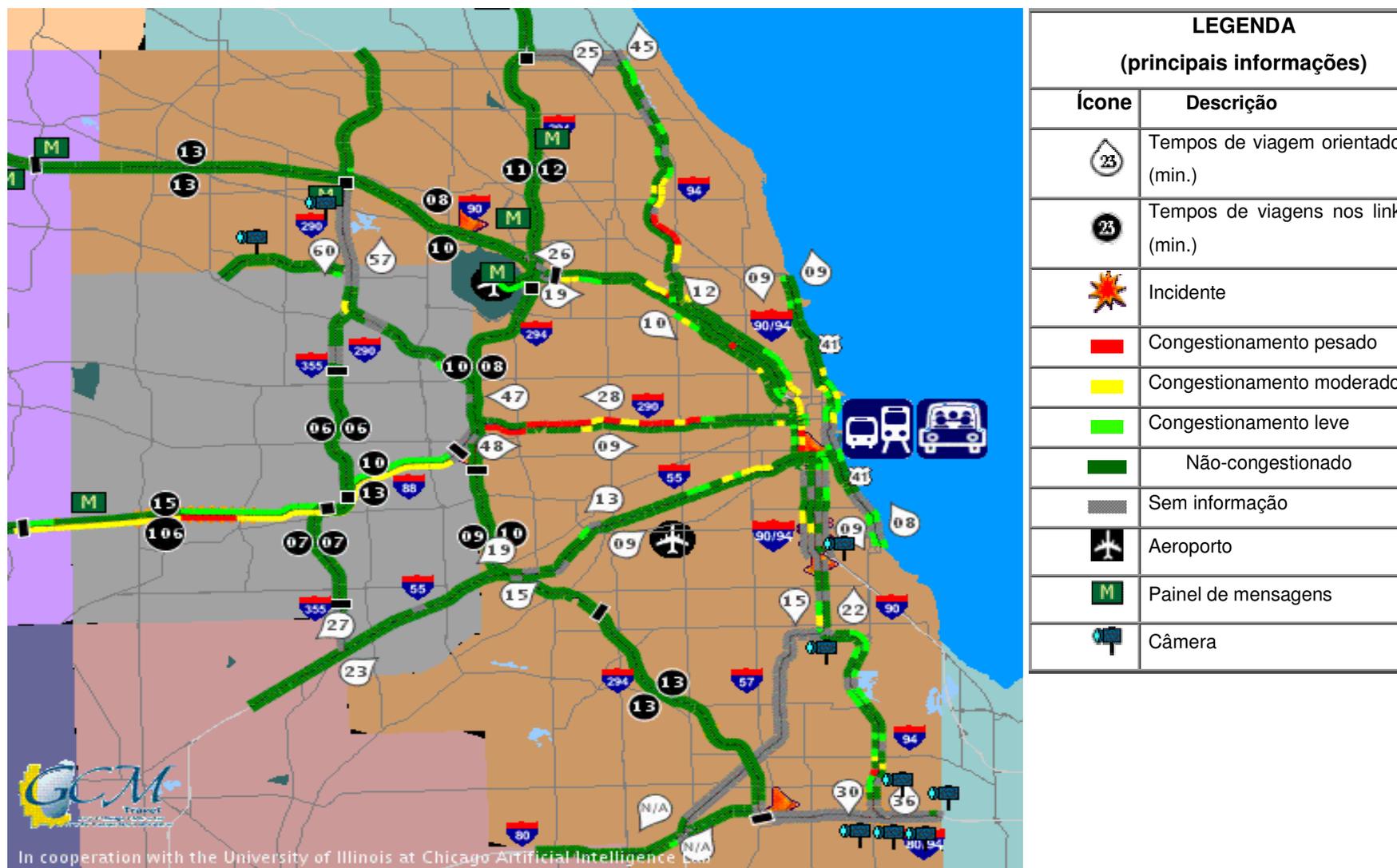


FIG. 3.14 Mapa de condições do tráfego – Chicago (EUA)

Fonte: Adaptado de [www.gcmtravel.com/gcm/maps\\_chicago.jsp](http://www.gcmtravel.com/gcm/maps_chicago.jsp)

Pode-se observar na FIG. 3.14 que é fornecida uma classificação das condições do tráfego, além de informações de tempos de viagem.

### 3.5 O EMPREGO DE DADOS COLETADOS POR DETECTORES DE VEÍCULOS

Existem diversos trabalhos sobre a utilização de dados coletados por detectores de veículos utilizados no controle de tráfego em interseções e no controle de velocidade para fins como: avaliação do desempenho dos sistemas de controle de tráfego, fornecimento de informações aos usuários do sistema viário em tempo real, para planejamento de tráfego, para melhorar as condições de obtenção dos dados coletados pelos detectores de veículos, detecção automática de incidentes, dentre outros.

A seguir são descritos brevemente alguns desses trabalhos de acordo com o fim a que se destinam.

#### 3.5.1 OBTENÇÃO DE PARÂMETROS SOBRE O TRÁFEGO

Como visto anteriormente, os detectores de veículos são utilizados para a obtenção automatizada de dados relativos ao tráfego de veículos. Cada detector coleta dados primários, a partir dos quais pode-se obter dados secundários, utilizando-se, para isso, relações matemáticas. Por exemplo: é possível, por meio de um detector de laço indutivo, a obtenção do número de veículos passando por um trecho e a taxa de ocupação deste trecho (estes são os dados primários). A partir destes parâmetros, pode-se obter a velocidade de tráfego. Porém, para isso é necessário empregar algum tipo de formulação (a velocidade neste caso é um dado secundário).

A forma de obtenção dos parâmetros secundários, porém, não é unânime. Como exemplo, tem-se o caso da contagem de veículos por meio de imagens de vídeo. O observador de uma dessas imagens (informação primária) visualiza os veículos e os

conta (informação secundária). Mas, para isso, usou o seu raciocínio para traduzir a imagem em número de veículos. Este “raciocínio” é dado em forma de algoritmos a computadores responsáveis pela detecção automática de parâmetros de tráfego. Esta forma de raciocínio não é única, ou seja, pode-se conceber diferentes algoritmos para a execução da mesma tarefa, com diferentes desempenhos entre si.

Existem, portanto, numerosos trabalhos que apresentam formas de obtenção de parâmetros de tráfego a partir dos dados básicos coletados pelos detectores de veículos. São exemplos destes trabalhos os listados na TAB. 3.4.

**TAB. 3.4 Trabalhos sobre obtenção de parâmetros sobre o tráfego**

<b>Tipo de parâmetro estimado</b>	<b>Referências</b>
<b>Tempos de Viagem</b>	LIU <i>et. al</i> (2004) AREM (1997) COIFMAN (1999, 2002a, 2002b ) DAILEY (1997) FARIELLO (2001) PALACHARLA (1999) PETTY <i>et al.</i> (1998) ZHANG (2003)
<b>Velocidade</b>	BOCANEGRA <i>et al.</i> (2004) COIFMAN (2001) COIFMAN <i>et al.</i> (2003) DAILEY (1999) GENEIDY e BERTINI (2004) ZWET (2003)
<b>Classificação de Veículos quanto ao seu porte</b>	HARLOW (2001) KWON <i>et al.</i> (2003)
<b>Atrasos Veiculares</b>	VEMURI (1998) GAULT (1981)

De acordo com SHBAKLO *et al.* (1992), o Departamento de Transportes de Illinois (Estados Unidos) emprega o seguinte procedimento para estimar os tempos de viagem nas principais vias expressas na área de Chicago, utilizando detectores de laços indutivos: os detectores estão em intervalos regulares ao longo das vias expressas e fornecem informações de fluxo e taxa de ocupação para o seu Centro

de Sistemas de Tráfego (*Traffic Systems Center – TSC*) a cada 5 minutos. Os tempos de viagem em cada segmento de via são calculados a partir da expressão a seguir, assumindo-se um comprimento médio efetivo para os veículos.

$$T(g) = \frac{L(g)}{L(ef)} * \left( \frac{OCC(g)}{q(g)} \right)$$

**EQ. 3.1**

onde:

T(g) = Tempo de viagem no segmento g

L(g) = Comprimento do segmento g

L(ef) = Comprimento efetivo médio do veículo

OCC(g) = Ocupância do segmento g

q(g) = Velocidade do veículo em um fluxo de tráfego uniforme ao longo do segmento, usando as informações de ocupação e fluxo sobre o segmento.

Mais detalhes sobre este procedimento serão dados no capítulo 6.

Mecanismos para estimar velocidade a partir de dados coletados por um único detector de laços indutivos têm sido interesse dos engenheiros de tráfego, já que a velocidade não pode ser diretamente observada por medidas de um único detector de laço indutivo (DAILEY, 1999).

A obtenção dos parâmetros acima mencionados e de outros, visa possibilitar a aplicação dos dados dos detectores de veículos para diversos fins. Um exemplo é o trabalho de PRANZL (1999), que empregou dados de fluxo e taxa de ocupação coletados por detectores de laços indutivos para a elaboração de uma metodologia de suporte aos operadores da central de controle de tráfego da cidade do Rio de Janeiro, responsáveis pela seleção das mensagens sobre as condições de tráfego a serem exibidas para os usuários do sistema viário. Um dos principais objetivos do estudo era estabelecer uma relação entre as variáveis de tráfego disponíveis (fluxo e taxa de ocupação) e a classificação das condições do tráfego usada nas informações exibidas nos Painéis de Mensagens Variáveis.

Outros tipos de aplicações são trabalhos sobre detecção automática de incidentes como os de SHEU (1998), DIA (1997) e GURALNIK (1999) e aplicações relativas a melhoria de acesso aos dados, avaliação do desempenho de sistemas de controle de tráfego e planejamento de tráfego, conforme mostrado a seguir.

### 3.5.2 MELHORIA DE ACESSO AOS DADOS E AVALIAÇÕES DE DESEMPENHO

Nos sistemas de controle de tráfego, a obtenção dos parâmetros necessários para o controle semafórico utilizando-se dados de detectores de veículos é geralmente feita por formulações sigilosas (totalmente ou em parte). Além disso, a utilização dos dados é exclusiva para o controle semafórico. Alguns trabalhos, como o de MENESES (2003), buscaram melhorar o acesso a esses dados para sua utilização pelos órgãos de trânsito e por pesquisadores. Este autor propôs uma solução para o problema de importação e modelagem de dados da base de dados do sistema do CTA da cidade de Fortaleza (CTAFOR), implementado em 2000. A solução proposta consiste numa interface lógica entre um Sistema de Informações Geográficas direcionado a transportes (SIG-T) e os sistemas *Automatic SCOOT Traffic Information Database* (ASTRID) e *Split Cycle Optimization Offset Time* (SCOOT), utilizados para a coleta, modelagem e armazenamento de dados dinâmicos do tráfego da base de dados do CTAFOR. Esta interface desempenha duas funções importantes: importar os dados modelados pelo sistema SCOOT do CTAFOR, através do sistema ASTRID, de forma eficiente e amigável, de acordo com as especificações definidas pelo usuário e esses dados para um formato compatível com o SIG-T, de modo a viabilizar o referenciamento espacial dos dados modelados. Este processo de modelagem de dados é flexível o bastante para permitir aplicações variadas dos dados importados em ambiente SIG ou não.

MONTEIRO (2004) propôs a estruturação de um sistema de gerenciamento do tráfego urbano que utilize as informações coletadas pelos dispositivos eletrônicos de controle de velocidade. Em seu trabalho, ele verificou que os dados coletados por estes dispositivos não estão agregados de forma satisfatória para o seu emprego direto, não sendo possível determinar com precisão informações do tipo: intervalo horário mais carregado da via (hora-pico), densidade (veículos por quilômetro) crítica observada e, muito menos, a composição de tráfego e divisão do fluxo por faixas ao longo do dia. Além disso, este autor observou que não é possível realizar nenhum tipo de inferência entre, por exemplo, os dados de velocidade com o intervalo e a densidade, sem que se altere a forma de armazenamento, consolidação e, sobretudo, apresentação dos dados coletados pelo dispositivo analisado. Sendo

assim, este autor sugeriu novas formas de armazenamento dos dados para facilitar o seu acesso e, conseqüentemente, facilitar o seu emprego.

Com o interesse de aumentar a eficiência e reduzir os custos da coleta e armazenagem de dados de tráfego, a FHWA criou o projeto *Traffic Data Acquisition and Distribution* (TDAD). O TDAD tem o objetivo de possibilitar o acesso a dados de tráfego disponíveis na base Região de *Puget Sound* e os armazenar em uma base de dados para propósitos históricos, de pesquisa e de planejamento. O projeto visa promover um compartilhamento de dados entre agências e em diferentes jurisdições sem interrupção das operações existentes e sem perda na qualidade dos dados (DAILEY *et. al*, 2002).

Os dados coletados por detectores de veículos também podem ser utilizados para auxílio na avaliação do desempenho do controle de tráfego quanto a fluidez e segurança. Exemplos de trabalhos realizados neste sentido são os de DAVIS e NIHAN (1984), BARBOSA e MONTEIRO (2000), DAHLGREN (2002), BERTINI (2002), HUO e LEVINSON (2002) e MARTIN (2003).

### 3.5.3 DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE INCIDENTES

De acordo com SHEU (1998), incidentes são eventos não usuais que interrompem fluxos de tráfego inesperadamente e que podem vir a causar congestionamentos ou até acidentes secundários.

A detecção automática de incidentes envolve dois componentes principais: um sistema de detecção do tráfego e um algoritmo de detecção de incidentes. O sistema de detecção fornece a informação necessária para a detecção de um incidente enquanto um algoritmo de detecção de incidentes interpreta essa informação e averigua a presença ou ausência de incidentes ou congestionamentos não-recorrentes (DIA, 1997).

A detecção automática de incidentes visa diminuir o tempo de resposta entre a ocorrência de um incidente e a chegada de equipes de emergência ao local ou para informar no menor tempo possível os usuários que irão passar por esse local.

### 3.5.4 PLANEJAMENTO DE TRÁFEGO

Alguns estudos de caso de utilização de dados coletados por altas tecnologias para o planejamento de transportes nos Estados Unidos foram apresentados em WSA (2002). Dentre os casos apresentados, merecem destaque os seguintes:

a) *Montgomery County, MD Department of Parks and Planning DASH System:*

No estudo de caso foram apresentados o uso de dados arquivados por agências e um sistema automatizado para extração de dados do centro de gerenciamento de tráfego, realizados em conjunto por algumas agências de transporte. O condado de Montgomery buscou tirar vantagem do investimento feito em tecnologias de detecção de veículos para substituir ou complementar as atividades existentes de coleta de dados. Dados do ATMS do condado apóiam a validação do modelo de demanda por viagens e são usados para localizar tendências de volume de tráfego em interseções.

b) *TRANSCOM System for Managing Incidents and Safety (TRANSMIT):*

TRANSMIT utiliza veículos equipados com *transponders* de identificação automática de veículos para pagamento eletrônico de pedágio. Os leitores dos *transponders* são instalados ao longo de rodovias em intervalos de aproximadamente 1/2 milha. Quando é feita a identificação do *transponder* por meio de um número de identificação (ID), é anotada a hora e a data da leitura. Os *transponders* são detectados por leitores sucessivos e o sistema TRANSMIT compila os dados de velocidade e tempos de viagem. Comparando essas informações com dados históricos, o TRANSMIT pode detectar incidentes.

Na realização destes estudos, emergiram vários temas de interesse relativos às aplicações:

- As agências que coletam dados demonstraram um forte interesse em compartilhar os dados coletados por meio de suas tecnologias com as agências de planejamento. Constatou-se também que há um conhecimento de que variam aos graus de reformatação de dados e /ou “limpeza” necessários para fazer com

que os dados sejam utilizáveis para os órgãos metropolitanos de planejamento de transportes.

- As agências que coletam dados reportaram que necessitam saber mais sobre as necessidades de dados das agências de planejamento e quais seus interesses na aplicação destes dados. Em vários casos, há um interesse em compartilhamento dos dados, mas as agências que os coletam não tem uma compreensão de quais são as necessidades das agências de planejamento.
- Em vários casos, as agências de planejamento participam do planejamento e do projeto das tecnologias a serem utilizadas, minimizando assim a necessidade de reajustes de dados no futuro para satisfazer as necessidades das agências de planejamento. Há um consenso entre os oficiais entrevistados de que o envolvimento das agências fornecedoras de dados e das agências de planejamento no projeto e no planejamento da aplicação dos dados é importante para minimizar custos de re-projeto e maximização dos benefícios com a coleta de dados para todos os usuários (WILBUR SMITH ASSOCIATES, 2002).

Há trabalhos de aplicação de dados coletados por detectores de veículos para a atualização de matrizes origem-destino (OD), como os de SHERALI (2003) e de DEMARCHI e BERTONCINI (2004), comentários sobre este último trabalho estão no item 4.5.12 , que trata da pesquisa OD.

### 3.6 POTENCIAIS APLICAÇÕES DOS DADOS COLETADOS POR DETECTORES DE VEÍCULOS

Além dos aspectos considerados ao longo deste trabalho, buscou-se pesquisar sobre as potenciais utilizações dos dados coletados por detectores de veículos utilizados nos sistemas de controle de tráfego, apontadas por pesquisadores e órgãos responsáveis pela operação e planejamento do tráfego urbano.

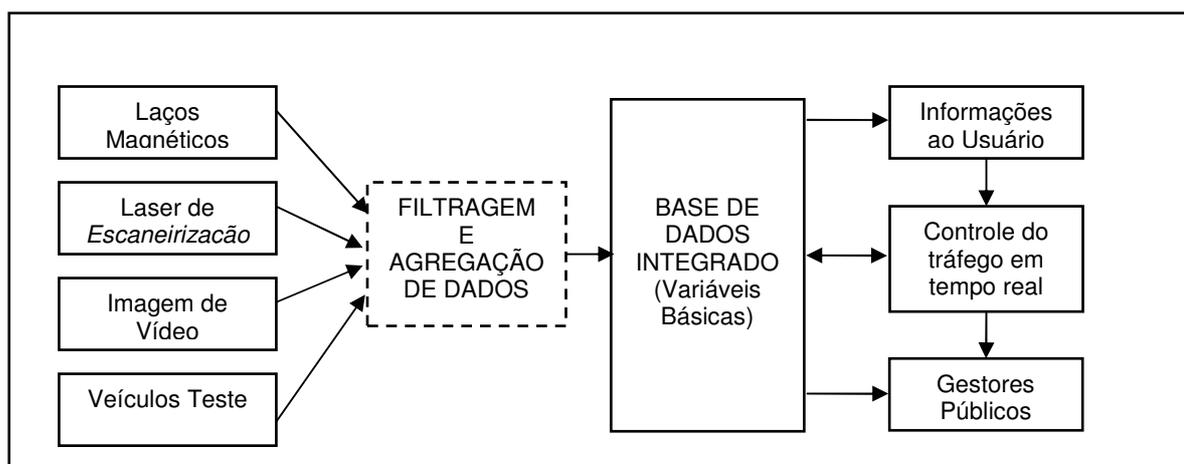
Em conjunto com usuários, técnicos e gestores públicos, DAHLGREN et al. (2002) *apud* MENESES (2003), apontam outros potenciais usuários de dados de sistemas CTA, por tipo de dado do tráfego, conforme demonstra a seguir.

**TAB. 3.5 Potenciais usuários de dados do tráfego coletados por sistemas CTA.**

Tipo de dado	Usuário em geral	Provedores de informações do tráfego	Operadores de sistemas de transporte	Planejadores e gestores públicos	Projetistas de facilidades viárias	Pesquisadores
Incidentes do tráfego	X	X	X			
Tempo de viagem em vias	X	X	X	X	X	X
Densidade e fluxo do tráfego		X	X	X	X	X
Dados brutos						X

Fonte: Adaptado de DAHLGREN *et al.* (2002).

A figura a seguir mostra a estrutura de uso de dados de sistemas CTA, apresentada por SHLADOVER (2002) *apud* MENESES (2003). Este modelo abrange tanto o controle do tráfego, como serviços de informação ao usuário e a gestores públicos.



**FIG. 3.15 Modelo de estrutura de utilização de dados de sistemas CTA.**

Fonte: Adaptado de MENESES (2003).

Conforme a figura acima, os dados coletados por diferentes sensores necessitam ser filtrados e agregados. A filtragem elimina discrepâncias e melhora a confiabilidade dos dados, sendo fundamental para o sucesso de futuras aplicações (COIFMAN, 1998). Já a agregação integra dados em diferentes escopos e níveis de agregação espacial e temporal, bem como distintos graus de precisão e disponibilidade, segundo as necessidades dos usuários (DAHLGREN *et al.*, 2002).

Além da filtragem e agregação de dados, devem ser desenvolvidos procedimentos para o preenchimento de lacunas no banco de dados, devidas a falhas de sensores (KIKUCHI e MILJKOVIC, 1999 *apud* MENESES, 2003)

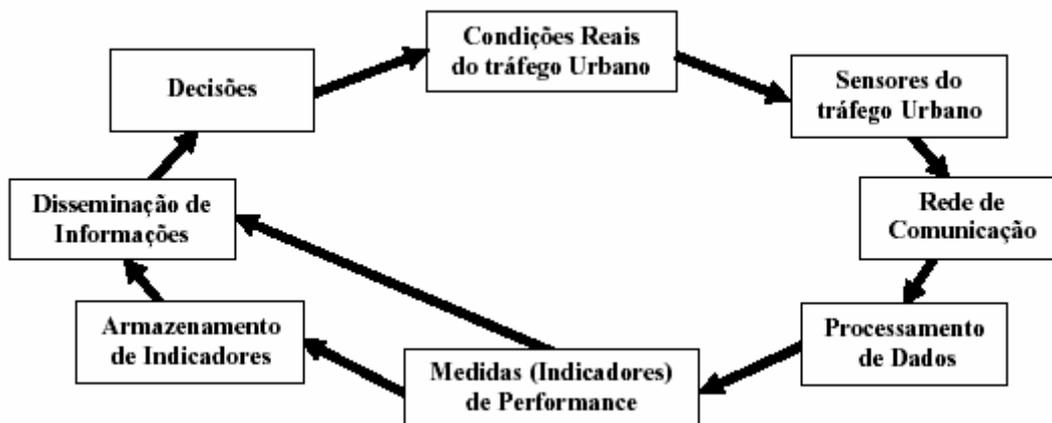
Em seguida, de acordo com a mesma figura, os resultados da filtragem e agregação dos dados devem ser consolidados numa base de dados de consulta, na forma de variáveis específicas. Esta base de dados deve prover interfaces personalizadas de consulta e extração de dados para diferentes tipos de usuários (SHLADOVER, 2002 *apud* MENESES, 2003).

A estrutura proposta acima integra diferentes agentes de um sistema de transporte, que atuam na disseminação e uso de informações sobre o tráfego urbano. Esta disponibilidade cruzada de informações favorece o uso eficiente da rede viária pelos usuários, a gestão eficaz do tráfego urbano pelos técnicos, assim como a alocação eficiente de investimentos no sistema viário por parte dos gestores públicos.

Segundo MENESES (2003), bases de dados do tráfego de sistemas CTA, similares à proposta na figura anterior, possibilitam a definição e a determinação de múltiplas medidas de performance do tráfego urbano, a partir de suas variáveis básicas. Dentre as potenciais medidas, DAHLGREN *et al.* (2002) e BRYDIA *et al.* (1998) destacam as seguintes:

- a) Indicadores das condições operacionais do sistema CTA;
- b) Medidas de distribuição espaço-temporal de volume do tráfego, tempo de viagem e atraso veicular na rede viária;
- d) Indicadores de nível de segurança nas facilidades viárias;
- e) Medidas de avaliação de estratégias de controle do tráfego;
- f) Parâmetros para projeto de facilidades viárias;
- g) Indicadores de incidentes do tráfego.

O processo de criação e uso de qualquer uma destas e outras medidas de performance do tráfego urbano, com base em dados de sistemas CTA, pode ser imaginado como um ciclo, segundo DAHLGREN *et al.* (2002), conforme a figura a seguir.



**FIG.3.16** Ciclo de criação e utilização de medidas de desempenho do tráfego urbano elaboradas com base em dados de sistemas CTA.

Fonte: DAHLGREN *et al.* (2002) *apud* MENESES (2003).

MENESES (2003), realizou uma pesquisa com os técnicos que trabalham no controle de tráfego em área de Fortaleza e obteve uma lista das aplicações potenciais identificadas por estes técnicos, que podem ser subsidiadas por meio da base de dados dinâmicos do tráfego modelada pelo sistema SCOOT do CTAFOR. É importante observar que, para cada aplicação, foi dada uma definição, foi especificado o objetivo e foram identificadas as variáveis base para sua viabilização.

**TAB. 3.6** Aplicações potenciais de dados do CTA-FOR.

Aplicação	Definição	Objetivo	Variáveis base
<b>Definição espacial de sub-áreas de controle do tráfego</b>	Consiste em definir grupos de semáforos e sua respectiva estratégia de controle, com base em critérios de proximidade espacial e de desempenho (atraso e paradas) das interseções semaforicas	Auxiliar a definição de sub-áreas de controle do tráfego	Atraso veicular (s), paradas veiculares (veic.) e proximidade espacial (m), todas relativas a interseções semaforicas. Esta última variável deve provir da base de dados do SIG
<b>Isócronas de índice de congestionamento</b>	Consiste em elaborar um mapa de linhas isócronas indicando áreas da cidade que possuem um mesmo nível de congestionamento	Auxiliar na identificação de áreas críticas de congestionamento	Índice de congestionamento das vias (adimensional)

Continuação da TAB. 3.8

<b>Aplicação</b>	<b>Definição</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Variáveis base</b>
<b>Estimativa de tempo médio de viagem em rotas</b>	Consiste em determinar valores médios de tempo de viagem para corredores do tráfego, em dias típicos da semana	Auxiliar o usuário na tomada de decisão relativa à escolha de rotas de viagem	Tempo de jornada (s) nas vias urbanas
<b>Índice de variabilidade da aceleração veicular</b>	Consiste em estimar a variação da velocidade do tráfego urbano nas vias urbanas, num dado período de tempo	Auxiliar a aferição da qualidade da progressão veicular em vias	Velocidade (km/h), atraso veicular (s) e comprimento (m), todas relativas a vias urbanas
<b>Índice de segurança de cruzamento semafórico</b>	Consiste em estimar um indicador de nível de segurança viária nas interseções semafóricas, visando a definição de cruzamentos críticos	Auxiliar na determinação das condições de segurança das interseções semafóricas, identificando os cruzamentos críticos	Fluxo veicular (veic./h) e velocidade (km/h), relativas a vias urbanas, e número de acidentes em interseções semafóricas. Esta última variável deve ser obtida em bases de dados externas ao SCOOT
<b>Índices de desempenho do sistema SCOOT</b>	Consiste em definir um índice capaz de estimar o desempenho do sistema SCOOT, relativamente ao controle semafórico	Auxiliar na avaliação do controle semafórico exercido pelo sistema SCOOT, visando o ajuste de parâmetros operacionais	Atraso (veic), atraso veicular (s) e congestionamento (%), todas relativas a interseções semafóricas
<b>Definição da área de influência de pólos geradores do tráfego</b>	Consiste em estimar a área de influência de um Pólos Geradores do Tráfego (PGT) e seus impactos sobre o tráfego urbano	Auxiliar em estudos de impacto de PGT sobre a circulação viária, visando subsidiar a definição de ações mitigadoras do impactos sobre o tráfego urbano	Fluxo veicular (veic/h), atraso (veic), atraso veicular (s) e índice de congestionamento (adimensional), relativas a vias urbanas

Continuação da TAB. 3.8

Aplicação	Definição	Objetivo	Variáveis base
<b>Índices de avaliação econômica do sistema SCOOT</b>	Consiste em determinar relações benefício/custo do sistema de controle semafórico SCOOT, tendo como base os custos de implantação e manutenção do sistema, assim como os benefícios advindos da redução de atraso e filas na rede viária	Auxiliar na tomada de decisão relativa a investimentos em infra-estrutura de controle semafórico	Atraso (veic), atraso veicular (s), tempo de jornada (s), volume do tráfego (veic./h) e contagens classificatórias do tráfego, todas relativas às vias urbanas. A classificação do tráfego deve ser obtida de fontes externas ao sistema SCOOT
<b>Indicador de dispersão espacial e temporal de incidentes</b>	Consiste em determinar a variação temporal e espacial de pontos de ocorrência de incidentes do tráfego (ex. acidentes, pane em veículos, obras), que causem obstruções no fluxo normal de veículos	Auxiliar no planejamento da alocação de equipes de agentes de trânsito para atender as ocorrências do tráfego, bem como na identificação e eliminação dos elementos causadores destes incidentes	Fluxo veicular (veic/h), saturação (%) e índice de congestionamento, todas relativas às vias urbanas
<b>Micro e macro simulações de intervenções na rede viária</b>	Consiste em simular o comportamento do tráfego urbano submetido a diferentes intervenções na malha viária, tais como: construção de infra-estrutura viária, implantação de novos esquemas de circulação e sinalização viária, etc	Avaliar as conseqüências de diferentes intervenções na rede viária, sob o ponto de vista técnico	Variáveis base: fluxo veicular (veic/h), paradas veiculares (veic/h), atraso (veic), atraso veicular (s), velocidade (km/h), saturação (%), tempo de jornada (s) e índice de congestionamento (adimensional). As seis primeiras são relativas a áreas, semáforos e vias urbanas. Já as duas últimas variáveis dizem respeito apenas a vias urbanas

Continuação da TAB. 3.8

Aplicação	Definição	Objetivo	Variáveis base
<b>Avaliação da eficácia de Painéis de Mensagens Variáveis</b>	Consiste em determinar o impacto de mensagens exibidas nos Painéis de Mensagens Variáveis (PMV) sobre o comportamento do usuário, relativamente a mudança de rota de viagem, e melhora nas condições de fluidez do tráfego urbano	Auxiliar na definição de uma estratégia eficaz de informação das condições do tráfego, via PMV, ao usuário	Fluxo veicular (veic/h), velocidade (km/h) e índice de congestionamento, todas relativas as vias urbanas

Fonte: Adaptado de MENESES (2003).

### 3.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não existe um dispositivo eleito como o ideal. Para cada situação, pode-se utilizar um ou mais tipos de detector e se obter resultados satisfatórios.

Embora a necessidade de dados possa indicar o tipo de detector mais adequado, a escolha do detector está ainda associada aos sistemas de controle de tráfego oferecidos no mercado. No caso do controle de tráfego em interseções semaforizadas, os detectores de laços indutivos são a tecnologia mais difundida e praticamente todos os sistemas oferecidos no mercado utilizam este tipo de detector para a coleta dos dados necessários para a programação semafórica. No caso do controle de velocidade a variedade de detectores empregados é maior e, portanto, maior também é a liberdade na sua escolha.

Diversas tecnologias alternativas aos detectores de laços indutivos existem e estão sendo aprimoradas para trabalhar em conjunto com esses detectores ou para substituí-los. Há um crescente interesse na detecção de veículos por meio de câmeras de vídeo, pois estes equipamentos têm sido já bastante utilizados nas centrais de controle de tráfego.

A utilização de detectores de veículos não substitui totalmente o trabalho manual, pois eles estão limitados à sua área de atuação e captam apenas uma pequena parte das informações relevantes para o planejamento de tráfego, uma vez

que são necessárias informações como geometria das vias, comportamento dos motoristas, informações climáticas, dentre outras.

Os dados fornecidos pelos detectores podem ser acessados diretamente dos controladores em campo, a partir dos softwares dos centros de controle de tráfego ou até mesmo via Internet.

A maioria das aplicações dos dados de dispositivos de controle de tráfego se dá na parte operacional do controle de tráfego. Quanto ao planejamento, poucas aplicações foram encontradas.

Embora existam diversos trabalhos na bibliografia internacional pesquisada que tentam utilizar dados oriundos de detectores de laços indutivos para obtenção de parâmetros sobre o tráfego, no âmbito nacional existem poucas iniciativas neste sentido. Em visitas realizadas, constatou-se uma certa descrença dos técnicos de que estes dados possam realmente ser empregados para alguma finalidade, em função dos problemas enfrentados com a manutenção dos laços indutivos. Técnicos relataram que estes detectores se rompem com facilidade e que a manutenção implica em interrupção do tráfego.

Neste capítulo pôde-se ter uma noção dos tipos de dispositivos empregados nos sistemas de controle de tráfego e das formas como os dados coletados por meio de detectores de veículos têm sido utilizados no Brasil e no exterior. Este conhecimento é importante para que se possa melhor escolher os sistemas e equipamentos de controle de tráfego a serem empregados nas cidades brasileiras.

No capítulo a seguir serão abordados conceitos e parâmetros para análise e planejamento do tráfego urbano para que se possa ter uma melhor compreensão das necessidades dos planejadores e operadores do tráfego urbano.

## **4. CONCEITOS E PARÂMETROS PARA ANÁLISE E PLANEJAMENTO DO TRÁFEGO URBANO**

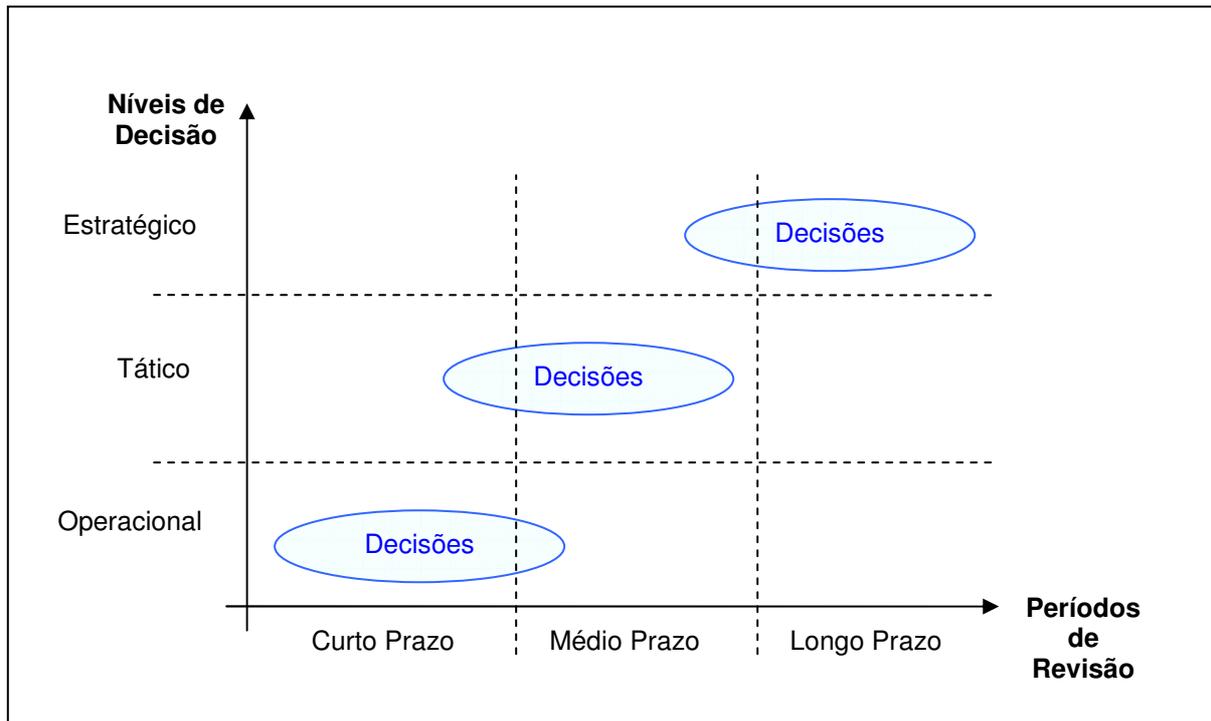
### **4.1 INTRODUÇÃO**

Visando dar sustentabilidade ao desenvolvimento das cidades e dos sistemas de transporte, é necessário planejar as ações a serem tomadas quanto a todo o tipo de alterações físicas e operacionais relativas ao tráfego de veículos.

O planejamento é um processo de olhar à frente, um meio de preparação para o futuro. Em função do tempo que o planejador olha à frente, determina-se se o planejamento será de curto, médio ou longo prazo. Um programa de engenharia para otimizar os dispositivos de controle de tráfego (como semáforos) é um exemplo de planejamento de curto prazo. O processo de planejamento de transportes urbanos, por outro lado, envolve algumas vezes previsões para 20 a 25 anos à frente e é um exemplo de planejamento de longo prazo (CARTER e HOMBURGER, 1978).

### **4.2 OS NÍVEIS DE DECISÃO**

De acordo com o nível da decisão a ser tomada, o planejamento pode ser estratégico, tático ou operacional, conforme ilustrado na FIG. 4.1.



**FIG. 4.1 Níveis de Planejamento**

Fonte: adaptado de MARQUES (2004).

Os níveis de decisão diferem entre si por possuírem diferentes horizontes de tempo para o planejamento e cada nível do planejamento exige uma perspectiva diferente. Por causa do seu horizonte temporal longo, o planejamento estratégico opera com dados que são freqüentemente abrangentes e incompletos. Por outro lado, o planejamento operacional opera com dados muito acurados, e os seus métodos devem ser capazes de manipular um grande volume desses dados.

#### a) Nível Estratégico

No nível estratégico, o planejador está preocupado com as ações em longo prazo. Neste nível está inserido o planejamento de transportes.

O objetivo do planejamento de transportes é desenvolver ordenadamente programas sob os quais um sistema integrado de transportes possa ser inteiramente desenvolvido e que tenha sua operação e seu gerenciamento otimizados. Isso inclui as redes viárias e de transportes de massa, além das infra-estruturas dos seus

terminais. Tal planejamento deve considerar os usos de solo presentes e futuros e os requisitos resultantes de viagens para o movimento de pessoas e bens durante os próximos 20 a 25 anos em níveis de serviço aceitáveis e compatíveis com os recursos financeiros da comunidade. O plano deve considerar as metas da região e as políticas do estado e do país (CARTER e HOMBURGER, 1978).

De acordo com GERMANI *et al.* (1973), como ponto de partida é necessário conhecer os “desejos de deslocamento” da população, e então estabelecer relações entre o número de viagens realizadas pela população e outras grandezas que possam explicá-las, de modo que, quando projetadas para o ano de projeto, permitam inferir os desejos de deslocamentos no futuro.

Neste nível de planejamento são necessárias pesquisas como: levantamentos de uso do solo, tempos de viagem, população, fatores econômicos, facilidades de transporte, legislação e recursos financeiros. Também é necessário realizar pesquisas de origem e destino (O-D). Em complementação a este tipo de pesquisa, são realizadas contagens de tráfego em pontos estratégicos da área estudada.

Utilizam-se então técnicas de simulação, por meio de modelos matemáticos, que procuram exprimir as inter-relações entre os dados sócio-econômicos e as viagens realizadas pelos habitantes de determinadas regiões (GERMANI *et al.*, 1973)

## b) Nível Tático

No nível tático (ou nível de projeto), normalmente são realizadas análises de médio a longo prazo. Neste nível de análise, são exemplos de tarefas: projeto geométrico das vias (determinação de largura de faixas, declividade da via, dimensionamento de áreas para pedestres e largura de calçadas e de passeios, etc.), elaboração de projetos de sinalização e de controle eletrônico do tráfego, dentre outros.

Estas tarefas podem ser conseqüência das diretrizes do planejamento estratégico ou podem ser oriundas de decisões baseadas em problemas operacionais.

### c) Nível Operacional

O foco deste nível de decisão está principalmente nas ações de curto prazo e dentre as análises normalmente realizadas estão: configuração do uso das faixas de tráfego, aplicação de dispositivos de controle de tráfego, programação de semáforos, espaçamento e localização de paradas de ônibus, frequência de um serviço de ônibus, adição de faixa para veículos com ocupação interna alta, fornecimento de informações aos usuários em tempo real, detecção de incidentes, dentre outras. Devido ao seu foco de curto-prazo, é importante que haja dados detalhados sobre o objeto de estudo.

A definição das atividades pertinentes a cada nível de planejamento é uma questão que gera discordâncias entre pesquisadores e operadores dos sistemas de tráfego. Sendo assim, os exemplos de atividades referentes a cada nível apresentados na tabela 4.1 não são uma regra, e resultaram da consolidação de informações obtidas nas fontes pesquisadas.

**TAB. 4.1 Atividades relativas aos diferentes níveis de planejamento**

<b>Nível de Planejamento</b>		
<b>Estratégico</b>	<b>Tático</b>	<b>Operacional</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Planejamento de novas vias</li><li>• Modificações a longo prazo no sistema viário existente.</li><li>• Análise de investimentos nos sistemas de transportes urbanos</li><li>• Definição da área de influência de pólos geradores de tráfego</li><li>• Macro simulações na rede de tráfego</li><li>• Modificação no uso do sistema viário</li><li>• Redução do incentivo ao uso de automóvel</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Projeto geométrico de vias</li><li>• Projetos de sinalização</li><li>• Projetos de controle eletrônico do tráfego</li><li>• Definição espacial de sub-áreas de controle de tráfego</li><li>• Elaboração de linhas isócronas de índice de congestionamento</li><li>• Micro e meso simulações na rede de tráfego</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Avaliação do estado da área controlada (volumes, tempos de viagem, incidentes ocorridos, condições climáticas, velocidades)</li><li>• Informação aos usuários (velocidade, tempos de viagem, guia de rotas, etc)</li><li>• Configuração do uso das faixas de tráfego</li><li>• Aplicação de dispositivos de controle de tráfego</li><li>• Programação de semáforos</li><li>• Espaçamento e localização de paradas de ônibus</li><li>• Frequência de um serviço de ônibus</li></ul>

Para tomada de decisão em relação ao tráfego urbano, são necessários conhecimentos de engenharia de tráfego que serão tratados no item seguinte.

#### 4.3 A ENGENHARIA DE TRÁFEGO

O *Institute of Transportation Engineers* (ITE) define a engenharia de transportes como uma aplicação de tecnologias e de princípios científicos para o planejamento, o projeto funcional, a operação, e o gerenciamento da infra-estrutura para qualquer modo de transporte para prover um movimento de pessoas e bens mais seguro, rápido, confortável, conveniente, econômico e ambientalmente compatível (ROESS *et al.*, 1998).

A engenharia de tráfego é definida pelo ITE como a parte da engenharia de transportes que trata do planejamento, do projeto geométrico e das operações de tráfego em ruas, avenidas e rodovias, suas redes, terminais, suas áreas lindeiras e sua relação com os outros modos de transporte (ROESS *et al.*, 1998).

#### 4.4 COMPONENTES DOS SISTEMAS DE TRÁFEGO

Segundo ROESS *et al.* (1998), os componentes dos sistemas de tráfego são:

- Motorista;
- Veículo;
- Via;
- O meio ambiente geral; e
- Dispositivos de controle.

Cada um desses componentes influencia na prática da engenharia de tráfego. O motorista possui uma variedade de características (tempo de reação, limites de visão, tempos de caminhada, etc.) que devem ser consideradas no projeto de sistemas eficientes e seguros. Além disso, há uma variabilidade considerável nestas características, algumas das quais podem ser relacionadas com fatores

identificáveis (exemplo: idade) enquanto outros são aleatórios. Igualmente, o veículo possui características que devem ser levadas em consideração, como raio-de-giro, padrões de aceleração e de desaceleração, condições dos pneus, dentre outras. Estas características diferem de acordo com o tipo de veículo e também apresentam alguma aleatoriedade. Características do sistema viário também são críticas, incluindo inclinações, curvas, materiais da superfície e outros.

O meio ambiente é freqüentemente levado em consideração como um conjunto de condições que levam o motorista, o veículo ou as características da via a variarem sistematicamente. Por exemplo, pavimentos molhados resultam em diferentes fricções e, portanto, diferentes distâncias de frenagem. A escuridão influencia na visão.

Os dispositivos de controle de tráfego (como marcas, sinais e semáforos) comunicam-se com os motoristas e devem ser colocados de modo uniforme e compreensível. Além disso, é importante que estejam localizados e sejam dimensionados para uma variedade de motoristas que devem fazer uso destes dispositivos sob diversas condições.

Segundo SILVA (2001a), os sistemas de tráfego são baseados, classicamente, em três pilares, conhecidos como os três **Es**, do inglês: *Engineering* (Engenharia), *Education* (Educação) e *Enforcement* (Fiscalização). É fundamental não perder de vista que qualquer solução só terá resultado se esses três elementos atuarem combinadamente.

Para o planejamento e a operação dos sistemas de tráfego, é necessário o levantamento de dados sobre o tráfego, que pode ser feito de forma manual ou automática. A forma de levantamento é definida de acordo com fatores como: o tipo de dado a ser levantado, o tempo necessário para a realização da pesquisa e recursos financeiros disponíveis para a sua realização. No item a seguir, são apresentados os parâmetros sobre o tráfego mais relevantes para a engenharia de tráfego, além de aspectos relativos ao levantamento destes parâmetros.

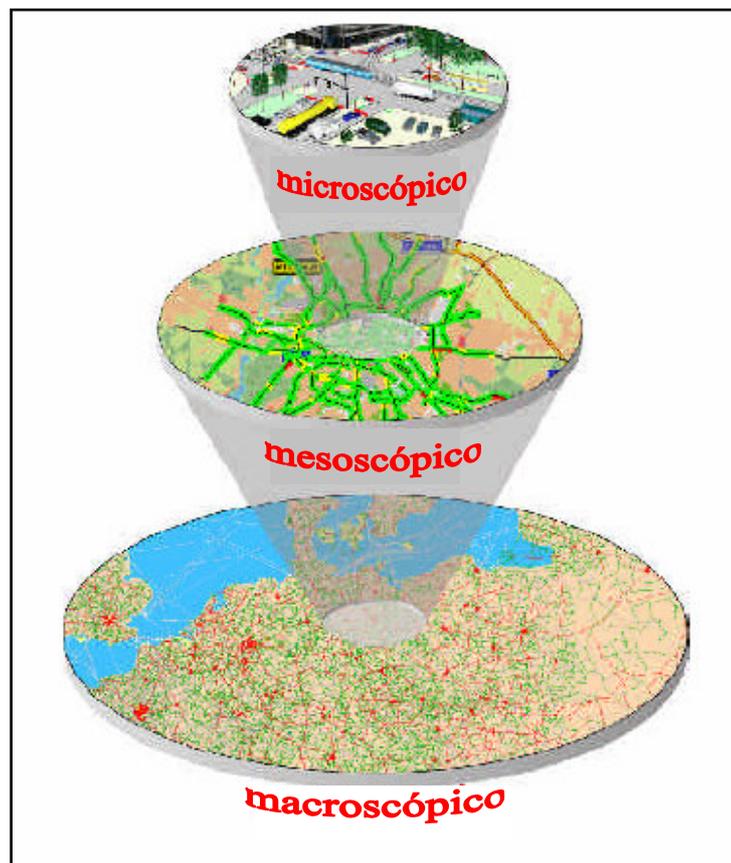
#### 4.5 CARACTERÍSTICAS E LEVANTAMENTOS DE PARÂMETROS DAS CORRENTES DE TRÁFEGO

Para uma melhor compreensão da importância dos parâmetros das correntes de tráfego, é necessário conhecer as diferentes abordagens na realização das análises de tráfego.

De acordo com (SILVA, 2001b), são três as abordagens básicas da análise de tráfego:

- a) Abordagem Macroscópica: objetiva descrever o comportamento geral das correntes de tráfego;
- b) Abordagem Mesoscópica: as unidades analisadas nesta abordagem são agrupamentos de veículos que se formam nos sistemas viários;
- c) Abordagem Microscópica: é relativa à interação entre dois veículos consecutivos numa corrente de tráfego.

A figura a seguir ilustra a abrangência de cada um desses três níveis de análise.



**FIG. 4.2 Níveis de análise do tráfego**

Fonte: Adaptado de PTV-VISION (2004)

Exemplos de parâmetros macroscópicos são: volume ou taxa de fluxo, velocidade e densidade. Intervalo de distância (*space headway* ou espaçamento) e intervalo de tempo (*time headway*) são parâmetros microscópicos porque se aplicam a pares de veículos dentro da corrente de tráfego (SILVA e JAQUES, 2001).

É importante que haja uma distinção dos parâmetros das correntes de tráfego quando ao regime do fluxo, que pode ser ininterrupto ou interrompido.

Fluxo ininterrupto: é a condição na qual um veículo percorre um trecho de uma faixa ou via e não é obrigado a parar por nenhuma causa externa à corrente de tráfego. Nesta condição, a corrente de tráfego resulta da interação entre os veículos e destes com as características geométricas e o ambiente geral da via (SILVA e JAQUES, 2001)

Fluxo interrompido: é a condição na qual um veículo percorrendo um trecho de uma faixa ou via é obrigado a parar por causas externas à corrente, tais como sinalizações de interseções. Em vias operando como semáforos, por exemplo, o fluxo de tráfego depende não só da interação entre os veículos e entre estes e as características gerais da via, mas é diretamente afetado pelos tempos dos semáforos. Devido às interrupções periódicas no fluxo de tráfego promovidas pelos semáforos, o fluxo corre em pelotões. À medida que se afastam do semáforo, os pelotões tendem a se dispersar. (SILVA e JAQUES, 2001).

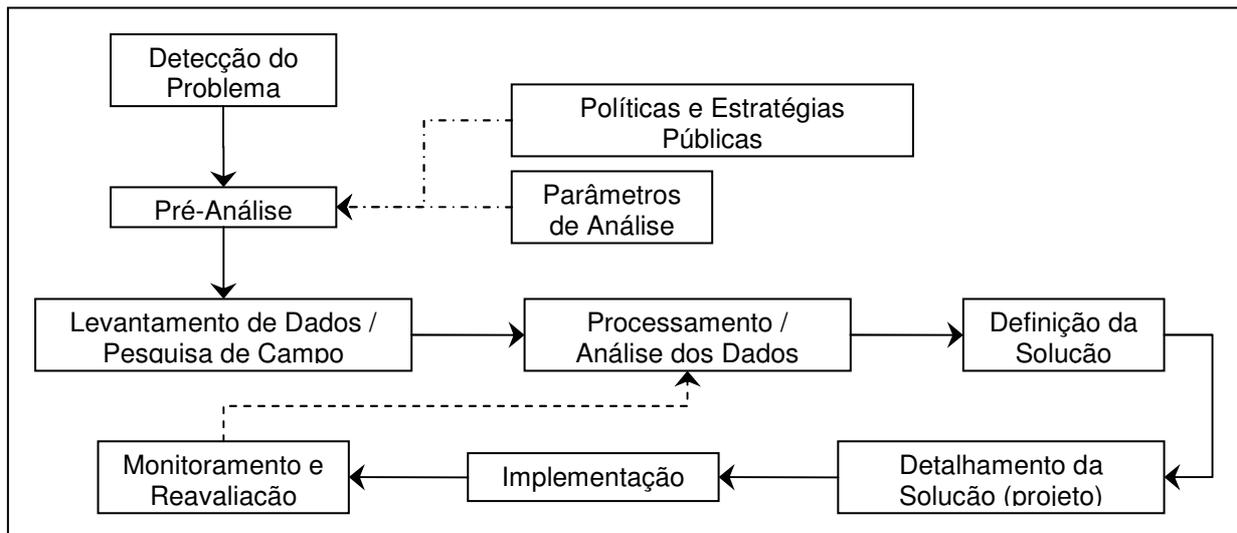
O fluxo interrompido é mais complexo do que o fluxo ininterrupto devido à dimensão de tempo envolvida na alocação de espaço em correntes de tráfego conflitantes. Em uma via de fluxo interrompido, o fluxo usualmente é dominado por pontos de uma operação fixa, como semáforos e sinais de parada. Estes controles têm diferentes impactos no fluxo como um todo. O estado operacional do tráfego em uma via de fluxo interrompido é definido pelas seguintes medidas (TRB, 2000):

- a) Volume e taxa de fluxo;
- b) Fluxo de saturação e intervalos entre chegadas (*headways*);
- c) Variáveis de controle (placas pare ou controle semafórico);
- d) Gaps (aberturas) disponíveis nas correntes de tráfego conflitantes; e
- e) Atrasos.

Conforme apresentado em TRB (2000), volume e taxa de fluxo são parâmetros comuns a ambos os tipos de fluxo (ininterrupto e interrompido), mas velocidade e densidade são aplicadas principalmente ao fluxo ininterrupto. Alguns parâmetros

relacionados com a taxa de fluxo, como espaçamento e *headway*, também são usados para ambos os tipos de fluxo. Outros parâmetros, como fluxo de saturação ou o *gap*, são específicos para fluxo interrompido.

Quanto aos levantamentos de campo para obtenção de dados de tráfego, é importante destacar que o processo global da engenharia de tráfego tem uma série de passos encadeados, dos quais a pesquisa ou o levantamento de dados é dos mais importantes. Esse encadeamento está ilustrado na figura a seguir:



**FIG. 4.3** Processo global da engenharia de tráfego.

Fonte: MONTEIRO (2004).

A detecção de algum problema no trânsito, leva a um pré-julgamento da questão, em termos dos parâmetros fundamentais como segurança, fluidez e qualidade de vida. Em função deste pré-julgamento e das políticas e estratégias públicas, decide-se ou não estudar o problema.

Para o estudo de um problema de trânsito, são necessários levantamentos de dados nos quais são coletados dados acerca do local objeto de estudo e seus usuários. É importante considerar aspectos como: seleção dos tipos de dados a serem levantados de acordo com cada situação e de dimensionamento e qualidade das amostras necessárias.

Após a coleta dos dados, é necessário realizar um processamento e a análise dos mesmos a fim de definir a solução mais adequada, a qual será mais bem detalhada em um projeto, que deverá ser implantado, monitorado e reavaliado.

Diversos tipos de levantamentos de dados são realizados na prática da engenharia de tráfego, dentre eles:

- Volumes de tráfego;
- Velocidades;
- Tempos de viagem;
- Atrasos em Interseções;
- Densidades;
- *Headway* e espaçamento;
- Capacidade viária;
- Acidentes;
- Estacionamentos;
- Movimentação de mercadorias e de trânsito;
- Pedestres;
- Origem/destino;
- Ocupação de veículos;
- Observância da sinalização; e
- Inventário Viário.

De acordo com ROESS *et al.* (1998), os levantamentos mais comuns são os seis primeiras da lista acima.

A seguir são apresentados aspectos relevantes dos principais parâmetros de análise do tráfego e de pesquisas necessárias para a sua obtenção.

#### 4.5.1 VOLUME E TAXA DE FLUXO

Volume e taxa de fluxo são duas medidas que quantificam o número de veículos passando por uma faixa de tráfego ou via durante um dado intervalo de tempo. Estes termos são definidos em TRB (2000) como a seguir:

Volume: o número total de veículos que passam sobre um dado ponto ou seção de uma via durante um dado intervalo de tempo. Volumes podem ser expressos em termos anuais, diários, horários ou em períodos sub-horários.

Taxa de fluxo: é a taxa horária equivalente com a qual veículos passam sobre um ponto ou seção de uma faixa ou via durante um dado intervalo de tempo de menos de uma hora (usualmente de 15 minutos que são expandidos para 1 hora).

Assim, volumes observados por períodos inferiores a uma hora são geralmente expressos como uma taxa equivalente de fluxo. Por exemplo, 1000 veículos observados em um período de 15 minutos podem ser expressos como 1000 veículos / 0.25 hora = 4000 veículos por hora.

Volume e taxa de fluxo são variáveis que quantificam a demanda, isto é, o número de veículos, ocupantes ou motoristas (usualmente expressos como o número de veículos) que desejam usar uma dada facilidade durante um período específico. O congestionamento pode influenciar na demanda e às vezes, os volumes observados refletem a restrição de capacidade da via ao invés da demanda real.

A relação entre o volume horário e a máxima taxa de fluxo dentro da hora é definida como o Fator de Hora-pico (FHP), ou seja:

$$FHP = \frac{\text{volume horário}}{\text{máxima taxa de fluxo}} \quad \text{EQ. 4.1}$$

Para períodos de 15 minutos a equação fica:

$$FHP = \frac{V}{4 \times V_{15}} \quad \text{EQ. 4.2}$$

onde:

V = volume horário (vph)

V<sub>15</sub> = volume máximo de 15 minutos dentro da hora (veículos).

Quatro tipos de volumes diários são amplamente utilizados (SILVA e JACQUES, 2001):

- a) Volume de tráfego diário médio anual (VDMA): é o volume médio diário em um dado local, determinado a partir de observações realizadas em um ano completo;
- b) Volume de tráfego diário médio (VDM): é o volume médio diário em um dado local, determinado a partir de observações realizadas em um período inferior a um ano (exemplo: 6 meses, 1 semana);
- c) Volume de tráfego diário médio anual em dias úteis (VDMAU): é o volume médio diário em um dado local, determinado a partir de observações realizadas nos dias úteis em um ano completo (260 dias);
- d) Volume de tráfego médio em dias úteis (VDMU): é o volume médio diário em um dado local, determinado a partir de observações realizadas nos dias úteis em um período inferior a um ano.

De acordo com CET-SP (1982), dentre as principais utilizações dos dados de volume tráfego estão:

- a) Verificação da demanda que solicita uma via ou interseção: estes dados permitem saber quantos veículos passam em uma determinada seção da via e os padrões de variação de chegadas destes veículos, classificação de movimentos de conversão (ir em frente, conversão à esquerda, conversão à direita, dentre outras) e a composição do fluxo quanto ao tipo de veículos (exemplo: automóveis, ônibus e caminhões);
- b) Comparação da demanda com a capacidade que a via oferece;
- c) Análise dos dispositivos de controle necessários para uma interseção ou trecho de via, como no caso da decisão sobre a instalação de semáforo;
- d) Cálculo dos tempos de verde necessários à operação de um semáforo;
- e) Classificação de vias segundo a função (local, coletora, arterial) e para verificação da importância relativa entre várias vias ou locais;
- f) Análise de acidentes por meio da comparação com outros dados, como velocidade pontual; e
- g) No caso específico de fluxos de pedestres, são imprescindíveis para o dimensionamento de calçadas, passarelas e logradouros públicos, cálculo de tempos de travessia em interseções semaforizadas e a análise de acidentes envolvendo pedestres.

SPÍNDOLA e GRISALES (1994) apresentaram uma relação de formas de utilização dos dados de volumes de tráfego, conforme apresentado na tabela a seguir.

**TAB. 4.2 Utilidades para os dados de volumes de tráfego**

<b>Funções</b>	<b>Utilizações</b>
Planejamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Classificação sistemática de redes viárias</li> <li>- Estimção das variações anuais dos volumes de tráfego</li> <li>- Modelos de alocação e distribuição de trânsito</li> <li>- Desenvolvimento de programas de manutenção, melhoras e prioridades</li> <li>- Análises econômicas</li> <li>- Estimção da qualidade do ar</li> <li>- Estimção do consumo de combustíveis</li> </ul>
Projeto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicação em normas de projeto geométrico</li> <li>- Requerimentos de novas vias</li> <li>- Análise estrutural de superfícies de rolamento</li> </ul>
Engenharia de tráfego	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análise de capacidade e níveis de serviço das vias</li> <li>- Caracterização de fluxos veiculares</li> <li>- Zoneamento de velocidades</li> <li>- Necessidade de dispositivos para o controle do tráfego</li> <li>- Estudos de estacionamentos</li> </ul>
Segurança	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cálculo de índices de acidentes e de mortalidade</li> <li>- Avaliação de melhorias de segurança</li> </ul>
Pesquisa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Novas metodologias sobre capacidade</li> <li>- Análises sobre apoio, programas ou dispositivos para o cumprimento das normas de trânsito</li> <li>- Estudos sobre o meio ambiente e energia</li> </ul>
Usos comerciais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hotéis e restaurantes</li> <li>- Urbanismo</li> <li>- Auto-serviços</li> <li>- Atividades recreativas e desportivas</li> </ul>

Fonte: adaptado de SPÍNDOLA e GRISALES (1994)

#### 4.5.1.1 PESQUISA DE VOLUMES DE TRÁFEGO (CONTAGEM DE VEÍCULOS)

O objetivo da pesquisa de volumes de tráfego (contagem) é determinar a quantidade, a direção e a composição do fluxo de veículos ou pedestres que utilizam uma seção ou interseção do sistema viário, numa unidade de tempo. O período

básico de referência é de uma hora, embora possa ter qualquer duração julgada conveniente. No caso de uma hora, o fluxo é chamado volume ou volume horário e constitui-se numa espécie de “representante”, de “identificador” do local (CET-SP, 1982).

Há dois locais básicos para a realização de contagens: as interseções e os trechos entre interseções. As contagens em interseções visam obter, além da quantidade, a direção dos movimentos (CET-SP, 1982).

A contagem de veículos pode ser feita de forma manual, com a utilização de contadores manuais mecânicos ou de forma automática.

A contagem manual é feita por observação direta no campo. São usados formulários padronizados, nos quais pesquisadores contratados anotam o número de veículos passantes de acordo com as dimensões e os movimentos realizados.

Na contagem realizada com contadores mecânicos manuais, cada veículo que passa é computado apertando-se um dos botões disponíveis no contador mecânico. Diferentes botões são usados para movimentos específicos (esquerda, direita, retorno, etc.) e para classificação dos veículos (automóveis, caminhões, ônibus, etc.).

A contagem automática de veículos é realizada com a utilização de detectores de veículos instalados na via, os quais podem ser de vários tipos e estão apresentados com maior detalhamento no capítulo 3 desta dissertação.

#### 4.5.2 VELOCIDADE

A velocidade é definida como uma taxa de movimento expressa como distância por unidade de tempo, geralmente em quilômetros por hora (km/h). Na caracterização da velocidade de uma corrente de tráfego, deve ser usado um valor representativo, pois uma larga distribuição de velocidades individuais é observável. No *Highway Capacity Manual* (HCM), a velocidade média de viagem é usada como a medida de velocidade, pois esta é facilmente computada da observação de veículos individuais dentro da corrente de tráfego e é a medida de melhor relevância estatística na relação com outras variáveis (TRB, 2000).

A velocidade média de viagem é computada dividindo-se o comprimento do segmento de via em consideração pelo tempo médio de viagem dos veículos que o percorrem. Se  $t_1, t_2, \dots, t_n$  tempos de viagem são medidos de “n” veículos passando por um segmento de comprimento L, a velocidade média de viagem é computada usando-se a seguinte expressão (TRB, 2000):

$$S = \frac{nL}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{L}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} = \frac{L}{t_a}$$

**EQ. 4.3**

onde:

S = velocidade média de viagem (km/h)

L = comprimento do segmento de via (km)

$t_i$  = tempo de viagem do i-ésimo veículo a atravessar a seção (h)

n = número de tempos de viagem observados

$t_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$  = tempo médio de viagem sobre L (h)

Outros conceitos sobre velocidade são:

- a) Velocidade média no tempo: É determinada pela média aritmética das velocidades individuais dos veículos, medidas em um ponto (ou seção) da via durante um determinado intervalo de tempo (SILVA e JACQUES, 2001).
- b) Velocidade média no espaço: É definida como a média das velocidades dos veículos que ocupam um determinado trecho da via durante um intervalo de tempo definido.

Embora os volumes de tráfego sejam importantes para quantificação dos valores de capacidade, a velocidade (ou seu recíproco tempo de viagem) é uma importante medida da qualidade do serviço de tráfego fornecido ao motorista. Também é uma importante medida de efetividade definindo níveis de serviço para diversos tipos de facilidades, como rodovias rurais de duas faixas, vias urbanas, segmentos de vias expressas e outros (TRB, 2000).

Muitos sistemas de informação ao motorista utilizam a velocidade para informar sobre as condições do tráfego. Diferentemente do fluxo e da taxa de ocupação, a velocidade por si só fornece uma boa noção das condições: altas velocidades significam tráfego fluido, enquanto baixas velocidades significam tráfego lento. (PRANZL, 1999).

#### 4.5.2.1 PESQUISA DE VELOCIDADE PONTUAL

Velocidade pontual é definida como a velocidade instantânea com a qual os veículos passam por um ponto. Os estudos de velocidade pontual são realizados com a finalidade de medir este valor, quase sempre sob condições de fluxo leve. Na medição desta velocidade quase sempre se está interessado em medir velocidades que os motoristas selecionam livremente quando não impedidos pela densidade do tráfego (ROESS *et al.*, 1998).

O estudo da velocidade pontual está sempre ligado aos aspectos de segurança do tráfego, direta ou indiretamente. Dentre os tipos de estudos mais comuns, estão (CET-SP, 1982):

- a) Estudo de locais críticos ou de altos índices de acidentes, para comparar as velocidades reais com as ideais (em termos de segurança) e tentar relacioná-los com os acidentes;
- b) Determinação da velocidade de segurança nas aproximações de interseções e nas curvas;
- c) Determinação de elementos para o projeto geométrico de vias, como curvaturas, superelevação, etc;

- d) Estudo da efetividade de projetos de tráfego ou da implantação de dispositivos de sinalização (estudo antes/depois);
- e) Determinação de locais de ocorrência de velocidade excessiva para fins de implantação de fiscalização seletiva;
- f) Verificação de tendências nas velocidades de vários tipos de veículos através de levantamentos periódicos em locais selecionados;
- g) Dimensionamento dos dispositivos de sinalização (altura de letras, setas, etc.) e escolha do seu posicionamento;
- h) Cálculo do tempo de limpeza (amarelo) dos semáforos;
- i) Determinação da distância de visibilidade e das zonas de “não ultrapassagem”.

#### 4.5.2.2 PESQUISA DE VELOCIDADE E RETARDAMENTO

Essa pesquisa tem como objetivo medir a velocidade e os retardamentos de uma corrente de tráfego ao longo de uma via, a fim de conhecer a facilidade/dificuldade da corrente para percorrer essa via (CET-SP, 1982).

A medida da velocidade refere-se à velocidade média no espaço, igual à distância percorrida dividida pelo tempo médio gasto, e difere, portanto, da velocidade média no tempo, objeto da pesquisa de velocidade pontual (CET-SP, 1982).

A medida desta velocidade é normalmente indireta, obtida através do tempo de percurso ao longo do trecho analisado e colhida por meio de amostras. Paralelamente, são anotados também os tempos perdidos, resultantes das paradas dos veículos, que fornecem os chamados retardamentos. Pode ser realizada tanto para o tráfego geral da via quanto para veículos específicos, como o ônibus.

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

- a) Análise do desempenho de uma rota, da sua eficiência em fazer passar o tráfego, identificação de locais congestionados e seu relacionamento com características geométricas e de sinalização;
- b) Avaliação do impacto de alterações em uma rota, através dos estudos do tipo antes-depois;

- c) 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, dentre outros;
- d) Estudos de capacidade e nível de serviço das rotas, com o objetivo de estabelecer valores-padrão característicos do sistema analisado;
- e) Levantamento dos tempos de percurso nos limites do sistema, para uso nos modelos de distribuição e atribuição de tráfego.

#### 4.5.3 DENSIDADE

A densidade é definida como o número de veículos ocupando um dado comprimento da via ou faixa de tráfego em um dado instante (SILVA e JACQUES, 2001). Isto é,

$$D = \frac{n}{L}$$

**EQ. 4.4**

onde:

D = densidade, em veículos/km

n = número de veículos

L = comprimento do trecho, em km

Medir diretamente a densidade é considerado difícil, requerendo um ponto de visão privilegiado para se fazer fotografias, filmagens ou observar comprimentos de via significantes. Mas esta característica pode ser computada a partir da velocidade média de viagem e da taxa de fluxo, as quais podem ser medidas mais facilmente (TRB, 2000).

Para condições de tráfego não-saturado a densidade por ser obtida a partir da seguinte relação (TRB, 2000):

$$D = \frac{V}{S}$$

EQ. 4.5

onde:

V = taxa de fluxo (veic/h)

S = velocidade média de viagem (km/h)

D = densidade (veic/km)

A densidade é um parâmetro crítico para vias de fluxo ininterrupto porque caracteriza a qualidade das operações de tráfego. Ela descreve a proximidade dos veículos entre si e reflete a liberdade de realização de manobras dentro da corrente de tráfego (TRB, 2000).

#### 4.5.4 ESPAÇAMENTO (SPACE HEADWAY)

É a distância entre veículos sucessivos na corrente de tráfego, medida a partir de um ponto comum de referência nos veículos (ex: pára-choques dianteiro). O valor médio de todos os espaçamentos entre os veículos em um trecho corresponde ao inverso da densidade da corrente de tráfego neste trecho. Desta forma, pode-se definir a relação:

$$K = \frac{1000}{e_m}$$

EQ. 4.6

onde:

K = densidade, em veículos/km

$e_m$  = espaçamento médio, em m/veículo.

#### 4.5.5 INTERVALO DE TEMPO (TIME HEADWAY)

É o tempo entre veículos sucessivos na corrente de tráfego, medido a partir da passagem de um ponto comum de referência nos veículos em um determinado ponto da faixa de trânsito. O volume de tráfego em uma dada seção da via é igual ao inverso do *headway* médio dos veículos que passam pela seção. Assim:

$$Q = \frac{3600}{h_m}$$

EQ. 4.7

onde:

Q = volume, em vph

$h_m$  = *headway* médio, em seg/veic

#### 4.5.6 ATRASOS EM INTERSEÇÕES (*DELAY*)

O objetivo da pesquisa de atraso em interseções é avaliar o tempo gasto mais pelos veículos causado pela interseção, seus dispositivos de controle e pelo tráfego presente. Esta noção de tempo a mais se refere à diferença entre o tempo livre de percurso, ou seja, feito à velocidade constante (sem impedimentos) e o tempo real incluindo todas as desacelerações, paradas e acelerações envolvidas na passagem pela interseção (CET-SP, 1982).

Há várias formas de utilização dos dados de atraso nas interseções, sendo as principais (CET-SP, 1982):

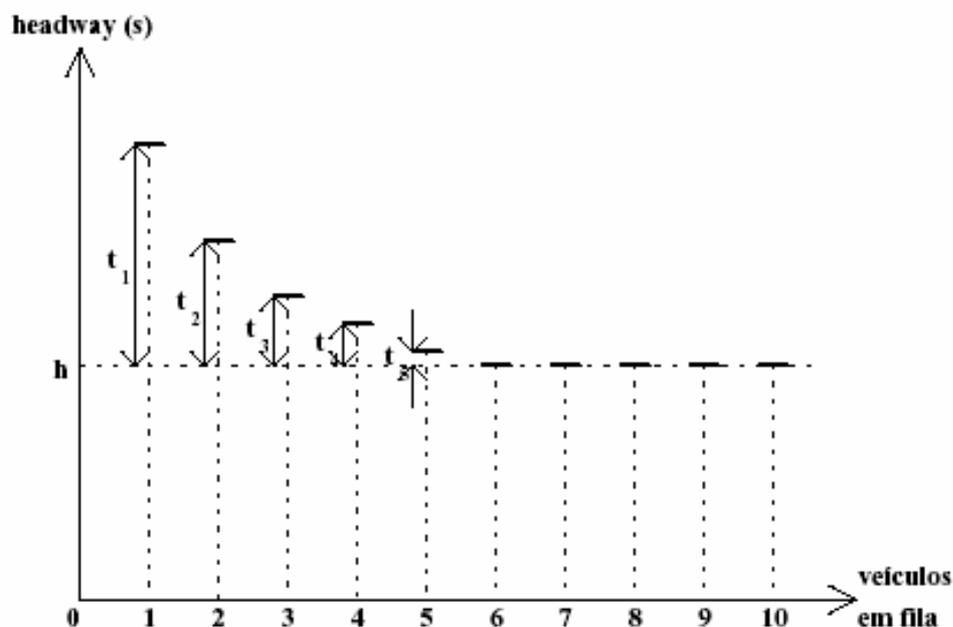
- a) Avaliação da operação de uma dada interseção com dispositivos de controle;
- b) Avaliação do tipo antes-depois de uma interseção na qual foi realizada alguma alteração;
- c) Avaliação dos custos envolvidos na operação da interseção, normalmente relacionando o atraso com o consumo de combustível e tempo perdido pelas pessoas envolvidas.

O atraso em interseções semaforizadas é de particular interesse pois ele é uma medida de efetividade usada para quantificar o nível de serviço (ROESS *et al.*, 1998).

#### 4.5.7 TAXA DE FLUXO DE SATURAÇÃO E TEMPO PERDIDO

Para um melhor entendimento da definição de fluxo de saturação, pode-se observar o gráfico da figura a seguir, apresentado em TRB (2000), em cujo eixo das abscissas aparecem os veículos enfileirados na aproximação considerada. A ordenada representa, para cada veículo, o tempo decorrido desde a passagem do veículo anterior até a sua própria passagem pela linha de parada.

No caso do veículo 1, este tempo começa a ser contado no início do verde do semáforo. Percebe-se que o *headway* tende a se estabilizar num valor  $h$  a partir de uma certa altura da dissipação da fila (no caso, a partir do veículo 6). A taxa de fluxo correspondente a esta região do gráfico de *headway*  $h$  é o fluxo de saturação  $S$ .



**FIG. 4.1 Representação da saída de veículos em uma interseção.**

Fonte: TRB (2000) *apud* SILVA e GASPARINI (2001).

Assim, o fluxo de saturação representa o número de veículos por hora por faixa que pode passar numa determinada aproximação se o ciclo tem 100% de verde para ela e o fluxo tem demanda máxima, sem interrupção e é dado pela seguinte expressão:

$$S = \frac{3600}{h}$$

EQ. 4.8

onde:

S = taxa de fluxo de saturação (veic/h)

h = *headway* de saturação (s)

Cabe ressaltar que o *headway*, neste caso, é o intervalo de tempo entre a passagem de dois veículos consecutivos de uma corrente de tráfego em uma seção determinada de via.

Os tempos  $t_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 5$ ), que excedem o *headway* h, correspondem aos tempos perdidos devido a reação dos conjuntos motorista/veículo à mudança da indicação luminosa. À medida que "i" é incrementado, o valor de  $t_i$  decresce. O somatório dos tempos  $t_i$  corresponde ao que se conhece por tempo perdido no início do verde. Segundo (TRB,2000) *apud* (SILVA e GASPARINI, 2001), contribui também com o tempo perdido total a parcela correspondente ao tempo de entreverdes destinado pela programação semafórica à "limpeza" da interseção antes da concessão de direito de passagem a outro movimento veicular.

#### 4.5.8 FILAS

Uma fila é formada em uma aproximação de uma interseção semaforizada quando a demanda excede a capacidade no início de um período de verde efetivo. Devido às chegadas de veículos durante as fases de vermelho, alguns veículos podem não liberar a interseção durante a fase de verde.

Existem seis características básicas em todo processo de filas (SINAY, 2003):

- a) Caracterização das chegadas dos usuários ao sistema (exemplo: média de chegadas por unidade de tempo);
- b) Caracterização do serviço realizado (exemplo: média de atendimentos por unidade de tempo);
- c) Disciplina da fila (ordem de atendimento dos usuários que chegam ao sistema);

- d) Capacidade do sistema (limitações físicas de alguns processos impostos pelas dimensões da área de atendimento;
- e) Número de postos de atendimento em paralelo;
- f) Número de serviços realizados.

As características da fila podem ser modeladas variando-se a taxa de chegada, a taxa de serviço e os tempos dos planos semaforicos. Em situações reais, taxas de chegada e taxas de serviço estão constantemente em mudança. Estas variações complicam o modelo, mas relações básicas não mudam.

#### 4.5.9 TEMPOS DE VIAGEM

Enquanto velocidades e tempos de viagem são medidas inversas, o seu uso como medidas de engenharia de tráfego difere. Velocidades são medidas com mais frequência em pontos. A intenção de tais estudos é determinar as velocidades que os motoristas selecionam quando não estão retidos pelo congestionamento de tráfego. Assim, tais estudos são geralmente feitos sob condições de fluxo livre (tráfego leve). Estudos de tempo de viagem em segmentos são geralmente feitos especificamente para avaliar a extensão e as causas dos congestionamentos ou atrasos ao longo de uma rota. Velocidade e/ou tempo de viagem são frequentemente usados como medidas de qualidade do serviço de tráfego, visto que ambos são imediatamente discerníveis aos motoristas e afetam seu conforto e comodidade (ROESS *et al.*, 1998).

De acordo com ROESS et al. (1998), a informação de tempo de viagem pode ser usada para vários propósitos:

- a) Identificar problemas em locais onde são observados altos tempos de viagem e atrasos;
- b) Medir o nível de serviço em vias arteriais, com base em velocidades de tráfego e tempos de viagem;
- c) Fornecer dados para modelos de alocação do tráfego, com foco nos tempos de viagem em *links* como um fator determinante para a escolha de uma rota por um motorista;

- d) Fornecer dados de tempo de viagem para avaliações econômicas em projetos de transportes;
- e) Desenvolver mapas e outras descrições de congestionamento de tráfego em uma área.

#### 4.5.10 TAXA DE OCUPAÇÃO DA VIA

A taxa de ocupação (ou ocupância) pode ser definida como a percentagem de tempo que um determinado ponto da via está sendo ocupado por veículos (PRANZL, 1999).

A taxa de ocupação é uma variável que, medida isoladamente, fornece um grau de informação bem maior do que o fluxo, no que se refere às condições de tráfego. O Departamento de Transportes do Estado de Washington (EUA) possui diversos detectores instalados nas rodovias do estado e criou a escala apresentada na TAB. 4.3 a seguir. Esta escala utilizou como base a taxa de ocupação para determinar as condições de tráfego (PRANZL, 1999).

**TAB. 4.3 Escala para estimar as condições de tráfego a partir das taxas de ocupação**

<b>Taxa de Ocupação</b>	<b>Condição de Tráfego</b>
0 – 15%	Livre
15% - 22%	Moderado
22% - 35%	“pesado”
35% ou maior	“anda e pára”

Fonte: Departamento de transportes de Washington, 1998 *apud* PRANZL, 1999.

A taxa de ocupação é a variável de tráfego mais importante para os sistemas de detecção automática de incidentes que utilizam laços indutivos como coletores de dados (PRANZL, 1999).

#### 4.5.11 PESQUISA DE CAPACIDADE VIÁRIA

A capacidade de uma via é a taxa horária máxima com a qual pessoas ou veículos podem atravessar um ponto ou uma seção uniforme de uma via durante um determinado intervalo de tempo sob as condições razoavelmente favoráveis da via, do tráfego e de controle (baseada em HCM, 2000).

A determinação da capacidade viária pode ser feita através de vários métodos, dentre eles estão o método do *Highway Capacity Manual* (HCM) cuja última versão está apresentada em TRB (2000) e o Método de Webster (WEBSTER, 1958).

Cada método exige que seja coletado um conjunto de dados sobre o sistema viário e o tráfego para a sua aplicação. Para a análise da capacidade por meio das metodologias do HCM, é necessário que sejam registrados os seguintes conjuntos de dados (SILVA & GASPARINI, 2001):

**TAB. 4.4 Categorias de dados para análise de capacidade com o HCM.**

<b>Categoria de dados</b>	<b>Descrição</b>
Volumes de tráfego	Volumes ou taxas de fluxo para cada movimento em cada aproximação. No caso de se registrarem os volumes, é necessário conhecer também o Fator de Hora Pico (FHP). É aconselhável ainda se conheça a composição dos fluxos veiculares.
Geometria	Para cada aproximação, é necessário coletar os seguintes dados: <ul style="list-style-type: none"><li>• Greides</li><li>• Número e largura das faixas</li><li>• Movimentos que acontecem em cada faixa</li><li>• Existência ou não de estacionamento ao longo do meio-fio</li><li>• Existência ou não de faixas de acumulação e suas respectivas extensões</li><li>• Existência ou não de ilhas para canalização dos fluxos</li><li>• Existência ou não de pontos de parada de ônibus</li></ul>

Continuação da TAB.4.4.

Condições do Tráfego	<p>Para cada aproximação devem ser registrados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Percentagem de veículos pesados (deve ser estimada, no caso de não se ter a composição veicular das correntes de tráfego)</li> <li>• Número de manobras de estacionamento (entrada e saída das vagas) por hora numa extensão de até 70m da linha de parada,</li> <li>• Número de paradas por hora de ônibus nos pontos também até o limite de 75 m da linha de parada</li> <li>• Fator de Hora Pico (quando for o caso)</li> <li>• Número de pedestres por hora conflitando com os movimentos de giro à direita</li> <li>• Existência ou não de botoeira para travessia de pedestres</li> <li>• Diagrama de estágios incluindo a temporização</li> <li>• Informação quanto ao semáforo ser tempo fixo ou atuado pelo tráfego</li> <li>• Tipo de distribuição das chegadas dos veículos</li> </ul>
----------------------	--

Fonte: Adaptado de (SILVA & GASPARINI, 2001).

#### 4.5.12 PESQUISA DE ORIGEM/DESTINO (OD)

Uma das etapas de grande importância nas análises e estudos de planejamento e operação do sistema viário é a determinação da quantidade de deslocamentos realizados entre pontos de uma cidade ou região, em decorrência da necessidade de se realizar atividades fora da residência. Tradicionalmente, o número de viagens entre diferentes locais é expresso em matrizes bidimensionais, denominadas matrizes origem-destino (OD), nas quais cada elemento representa o número de viagens entre uma origem e um destino específicos (DEMARCHI e BERLOCINI, 2004).

De acordo com CASCETTA (1984) *apud* (DEMARCHI e BERLOCINI, 2004), existem três métodos para a determinação de matrizes OD. O primeiro método consiste em estimar o número de viagens de cada célula da matriz diretamente a partir de entrevistas domiciliares, entrevistas em locais da própria rede viária, monitoramento de veículos, ou alguma combinação dos procedimentos mencionados. O segundo método baseia-se na definição de um modelo ou conjunto

de modelos analíticos, através dos quais as viagens são estimadas sinteticamente a partir de informações relativas aos pares de OD. O modelo gravitacional e o modelo de oportunidades intervenientes (descritos por ORTÚZAR, 1990), são exemplos de modelos empregados para estimar a distribuição de viagens entre pares OD.

Segundo DEMARCHI e BERTOCINI (2004), quando não existem recursos suficientes para a coleta dos dados necessários à aplicação dos métodos mencionados, existe um terceiro método, descrito por CASCETTA (1984). Neste método, o número de viagens entre pares OD pode ser estimado a partir de contagens volumétricas obtidas em diversos locais da rede viária. A sua vantagem em relação aos demais é de que os volumes de tráfego podem ser obtidos de maneira relativamente simples e com menor custo a partir de sensores permanentes, no caso de redes monitoradas por uma central de controle de tráfego, ou através de filmagem, sensores portáteis ou mesmo contagens manuais, no caso de redes não monitoradas.

#### 4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversos são os parâmetros de interesse na engenharia de tráfego. Cada um deles com sua importância dentro do processo de planejamento e operação dos sistemas de tráfego. A periodicidade e a abrangência dos levantamentos de campo para obtenção destes parâmetros difere de acordo com o horizonte de planejamento requerido.

É importante considerar que, além das formas tradicionais de obtenção de informações sobre o tráfego, com os avanços tecnológicos é possível automatizar parte destas coletas, resultando em economia de recursos e em bases de dados mais completas e mais confiáveis. Podem ser usados os dados coletados por detectores de veículos. Diversas equações foram especialmente desenvolvidas para este fim e diversos trabalhos sobre este assunto foram citados no capítulo 3 desta dissertação.

Os parâmetros mais importantes na elaboração do procedimento proposto são aqueles que podem ser obtidos de forma automatizada, como velocidade, volume de tráfego, tempos de viagem, densidade e taxa de ocupação da via.

É importante ressaltar que os parâmetros sobre o tráfego podem ser relacionados de forma a possibilitar a obtenção de informações sobre as correntes de tráfego. A possibilidade de utilizar estas relações aumenta o leque de oportunidades para aproveitamento dos dados coletados por detectores de veículos. Uma referência sobre este aspecto é a revisão bibliográfica realizada por SILVA (2001b).

Cabe lembrar a importância desses parâmetros na utilização de metodologias como as descritas no Highway Capacity Manual-HCM (2000) para, por exemplo, análise de níveis de serviços de vias.

## 5. PROCEDIMENTO PROPOSTO

### 5.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo propõe-se um procedimento de apoio à tomada de decisão para escolha ou adaptação de um sistema de controle de tráfego, visando subsidiar os órgãos gestores do tráfego urbano na escolha de um sistema de controle que atenda as necessidades de informações para o planejamento do transporte além da própria operação do sistema. Pois, conforme a pesquisa apresentada até este capítulo, vê-se a necessidade de diferentes dados sobre o tráfego no planejamento do mesmo como forma de melhorar a circulação nos centros urbanos e conseqüentemente melhorar a qualidade de vida destes centros. E também que os dados para elaboração deste planejamento podem ser obtidos através de equipamentos já implantados ou disponíveis no mercado para gerência de tráfego. Desta forma, Espera-se, por meio deste procedimento, auxiliar no conhecimento dos requisitos necessários para:

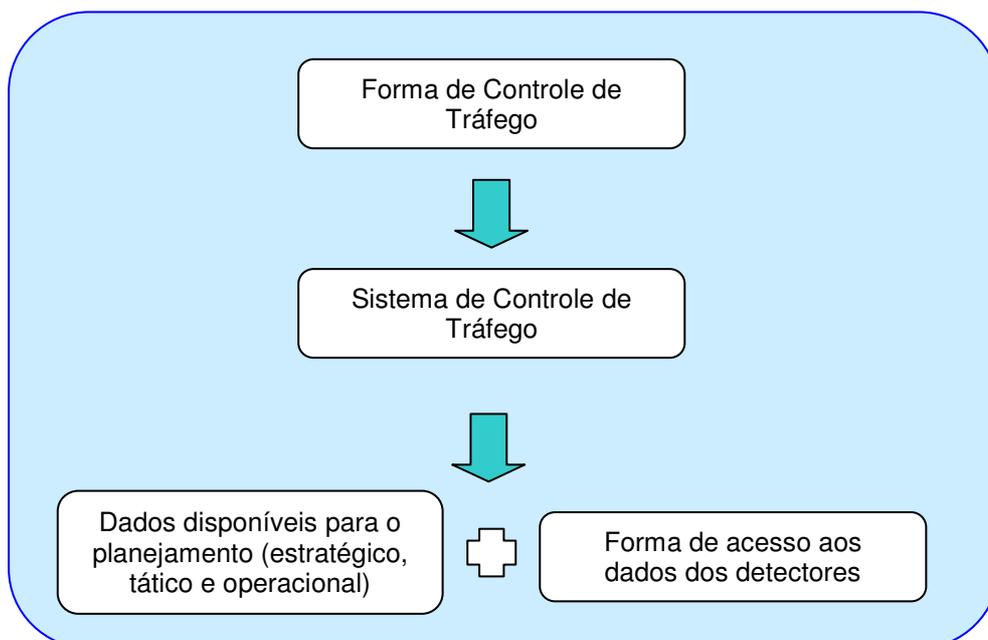
- a) A escolha do sistema de controle de tráfego a ser adotado: pois, ao se conhecer melhor as características dos detectores de veículos, pode-se fazer uma análise crítica dos pacotes oferecidos no mercado em relação aos seus sistemas de detecção e as informações fornecidas por seus softwares;
- b) A forma de obtenção desejada para os dados de tráfego: aspectos como agregação, períodos de coleta, tipos de dados. Isto em função da apresentação das diferentes formas de acesso a estes dados e outros aspectos envolvidos nesta obtenção.

O procedimento, conforme dito acima, baseou-se nos três capítulos anteriores, os quais possuem enfoques diferentes, porém interligados, cujas conclusões permitiram consolidar os conhecimentos adquiridos no procedimento proposto.

## 5.2 PROCEDIMENTO USUAL NA ESCOLHA DE SISTEMAS DE CONTROLE DE TRÁFEGO E DE OBTENÇÃO DE DADOS

Usualmente, conforme ilustrado na FIG. 5.1, a obtenção de dados do tráfego é uma consequência da forma de controle a ser adotada e do sistema escolhido, ou seja, a decisão se faz inicialmente sem a preocupação com o tipo de dado que possa ser fornecido pelo sistema para fins além do controle propriamente dito. Sendo assim, os formatos dos dados e a facilidade de acesso aos mesmos só são observados ao surgir o interesse na sua utilização para o planejamento, após a implantação do sistema.

Neste sentido, o sistema refere-se ao conjunto *software* + dispositivos de controle. Como estes sistemas são oferecidos por empresas como “pacotes” fechados, a aplicação dos dados dos detectores de veículos é feita, na medida do possível, a partir do que é propiciado pelo sistema de controle escolhido.



**FIG. 5.1 Processo usual**

Entretanto, a escolha do sistema de controle de tráfego deve estar interligada com os objetivos da utilização dos dados fins além deste controle, como o planejamento em seus diferentes níveis (estratégico, tático e operacional). Sendo assim, na escolha do sistema de controle de tráfego, sugere-se que seja levado em consideração o item “dados necessários para o planejamento”, invertendo, deste modo, as etapas da escolha deste tipo de sistema.

### 5.3 O PROCEDIMENTO PROPOSTO

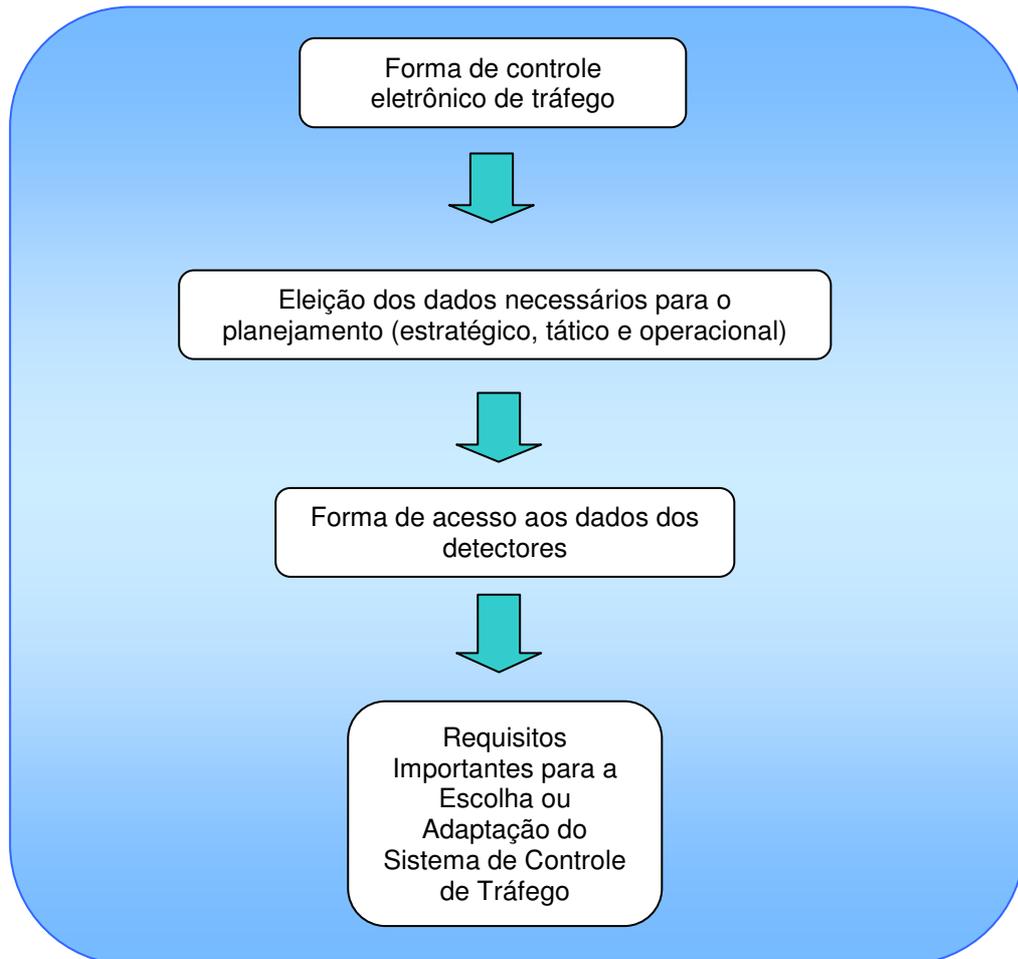
Conforme apresentado no item anterior, no processo tradicional, os planejadores trabalham com os dados disponíveis para o planejamento, coletados a partir dos detectores de veículos. Na presente proposta, as necessidades dos planejadores são levadas em consideração desde o início do processo de seleção do sistema de controle de tráfego a ser empregado ou mesmo na adaptação dos sistemas existentes. Em ambos os casos, obviamente, o sistema de controle será escolhido levando-se em consideração o tipo de controle desejado (controle de velocidade, ou o controle do direito de passagem em interseções semaforizadas).

Este procedimento visa apoiar planejadores e operadores tanto na escolha de novos sistemas de controle de tráfego como na adaptação dos sistemas e práticas existentes. E a sua aplicação pode trazer benefícios para pesquisadores e operadores dos sistemas de transportes.

### 5.4 ETAPAS DO PROCEDIMENTO

O procedimento é iniciado a partir da necessidade de escolha de um sistema de controle de tráfego. O sistema a ser escolhido poderá ser relativo ao controle de interseções semaforizadas ou relativo ao controle de velocidade e, de acordo com a seqüência proposta na FIG. 5.2, o procedimento compreende os seguintes passos:

1. Definição da forma de controle a ser empregada
2. Eleição dos dados necessários para o planejamento em seus diferentes níveis.
3. Definição dos requisitos mínimos quanto a forma de acesso aos dados.
4. Apresentação dos requisitos importantes para a escolha ou adaptação do sistema de controle de tráfego a ser implantado.

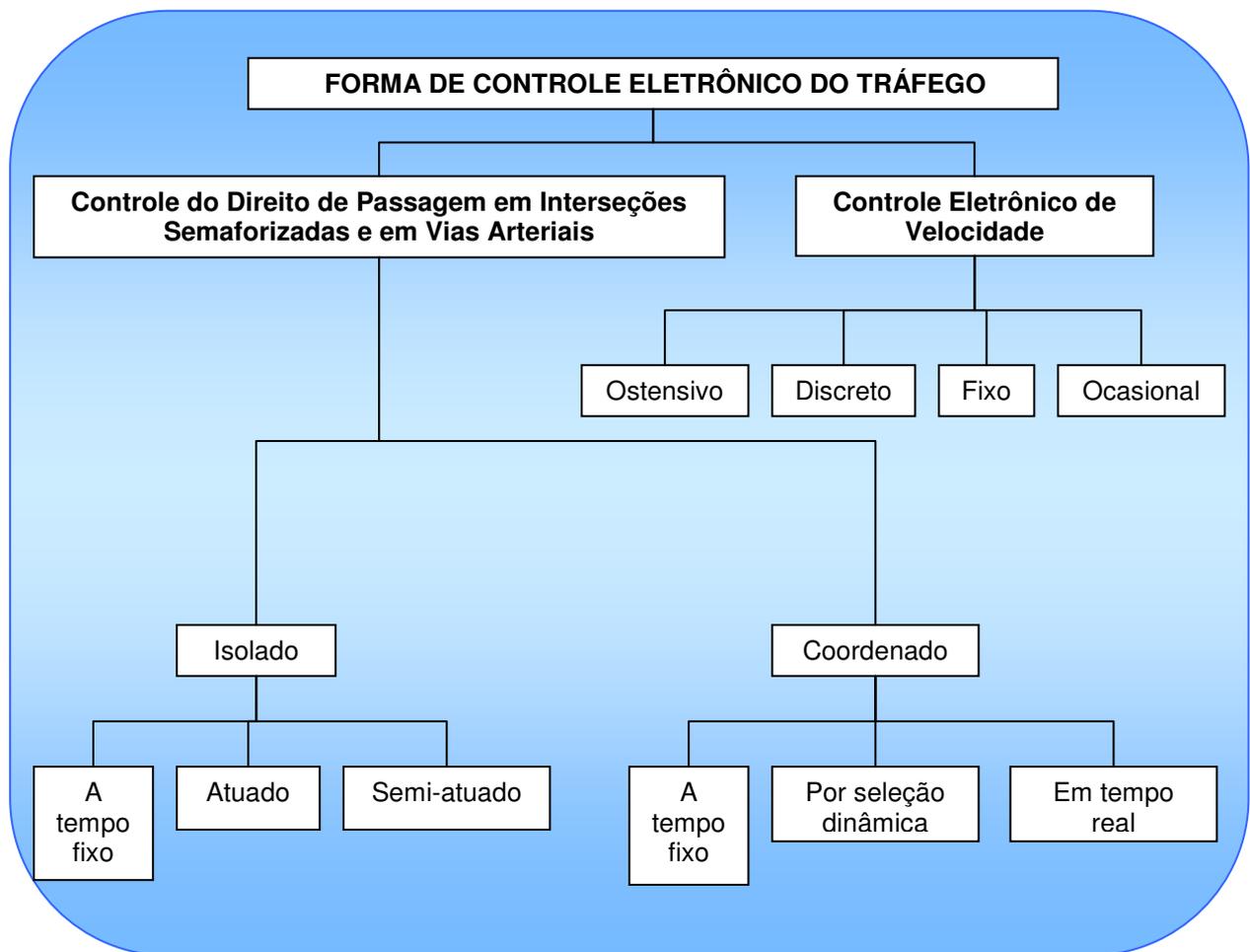


**FIG. 5.2 Procedimento proposto**

Cada caixa da figura acima pode ser detalhada para que se mostrem as opções de escolha inerentes a cada uma, conforme mostrado a seguir.

#### 5.4.1 DEFINIÇÃO DA FORMA DE CONTROLE DO TRÁFEGO A SER EMPREGADA

Existem diferentes formas de controle de tráfego, conforme apresentado no capítulo 2 desta dissertação. Na figura abaixo, estão apresentadas as formas consideradas para a elaboração do procedimento.



**FIG. 5.3 Formas de controle de tráfego em vias urbanas**

É importante ressaltar que, no controle do direito de passagem em interseções semaforizadas e em vias arteriais, as modalidades “atuado” e “semi-atuado” são realizadas necessariamente com o emprego de detectores de veículos. Já no controle “a tempo fixo” normalmente não são empregados detectores.

Por outro lado, no controle eletrônico de velocidade sempre são empregados detectores de veículos.

#### 5.4.2 ELEIÇÃO DOS DADOS NECESSÁRIOS PARA OS DIFERENTES NÍVEIS DE PLANEJAMENTO

É importante considerar o conjunto de dados necessário para os diferentes níveis de planejamento dos transportes nas áreas urbanas, para que sejam desenvolvidos e implantados sistemas de controle eletrônico do tráfego mais completos e flexíveis.

A cada nível de planejamento estão associadas diferentes estratégias de ação e, para cada estratégia, de acordo com as atividades a serem exercidas, há a necessidade de um conjunto de dados para o planejamento, conforme apresentado no capítulo 4.

A maioria dos dados coletados automaticamente é importante para todas as estratégias de ação dentro do planejamento. Sendo assim, o que se altera de acordo com cada nível para os mesmos tipos de dados são os intervalos de coleta e a precisão para a utilização destes dados. Dados com mesma precisão e intervalo de coleta podem ser utilizados em diferentes níveis. Sendo assim, dados como volumes de tráfego, velocidades médias, tempos de viagem, distâncias viajadas por veículos, movimentos de conversão, classificação de veículos quanto ao porte e densidade, são interessantes para diferentes fins quando coletados com diferentes intervalos de agregação e com diferentes áreas de abrangência.

Portanto, é importante definir os tipos de dados e suas características relevantes, como formatos de saída e intervalos de agregação. A definição destas características deve se basear principalmente nas formulações matemáticas que serão utilizadas na análise para planejamento (estratégico, tático e operacional), algumas delas apresentadas no capítulo 4.

### 5.4.3 DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS MÍNIMOS QUANTO A FORMA DE ACESSO AOS DADOS DE DETECTORES DE VEÍCULOS

Além da definição do conjunto de dados a ser fornecido pelo sistema de controle, é importante definir como se deseja ter acesso a estes dados em termos de seus formatos, intervalos de agregação e meios de acesso.

Como visto anteriormente, os mesmos tipos de dados podem ser úteis para diversos fins de acordo com seus intervalos de agregação ou mesmo pela não agregação dos mesmos (dados brutos).

No Diagrama de Fluxo de Dados (DFD) a seguir (FIG. 5.4), pode-se ver um exemplo do caminho percorrido pelos dados coletados em campo pelos detectores e dos parâmetros que podem ser obtidos a partir desses dados para serem aplicados em operação e planejamento.

Nos círculos estão representados os estágios (processos) e as setas representam os dados que entram e os que saem em cada estágio.

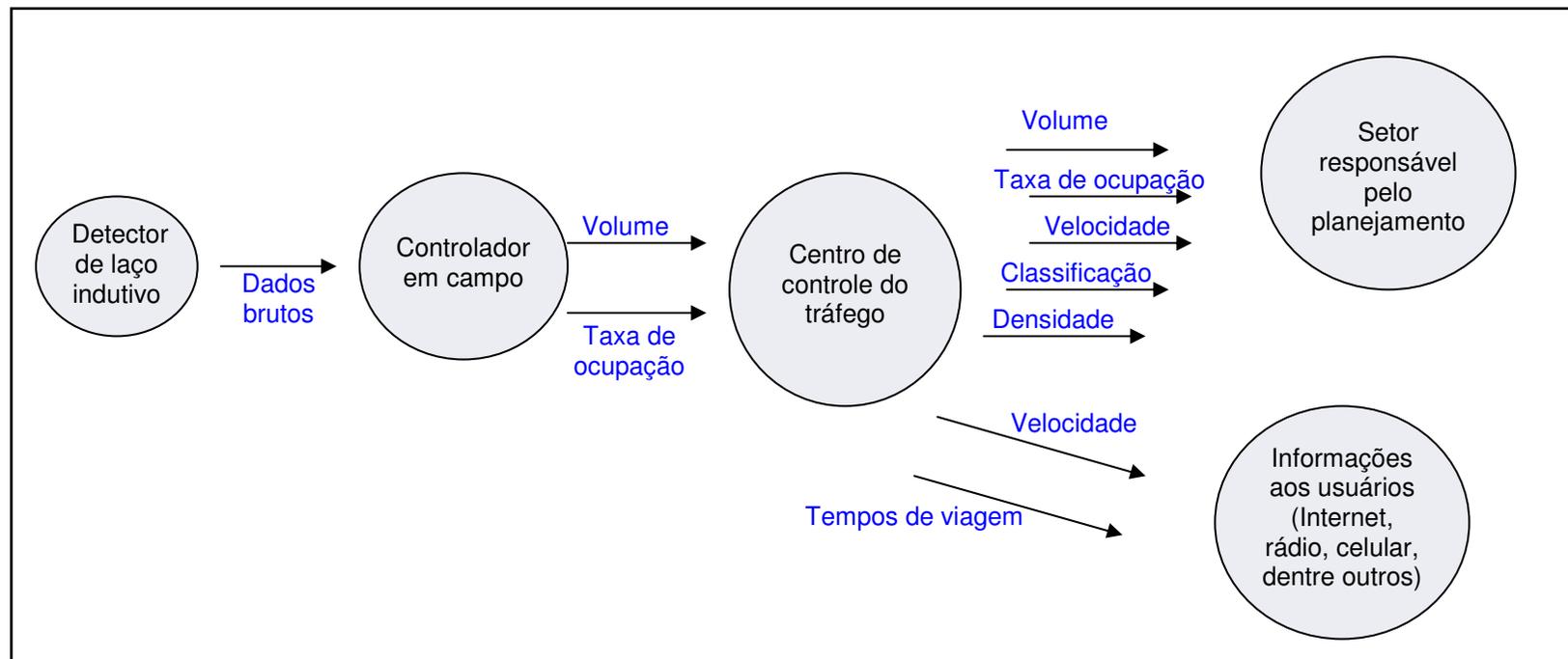
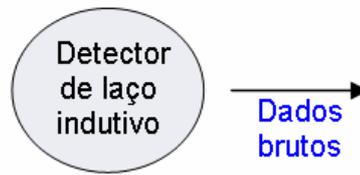


FIG. 5.4 Fluxo de dados para o controle de tráfego

Conforme pode ser visto na FIG. 5.5, no primeiro estágio, saem do detector dados na forma bruta (tal como exemplificado também na FIG. 3.3).



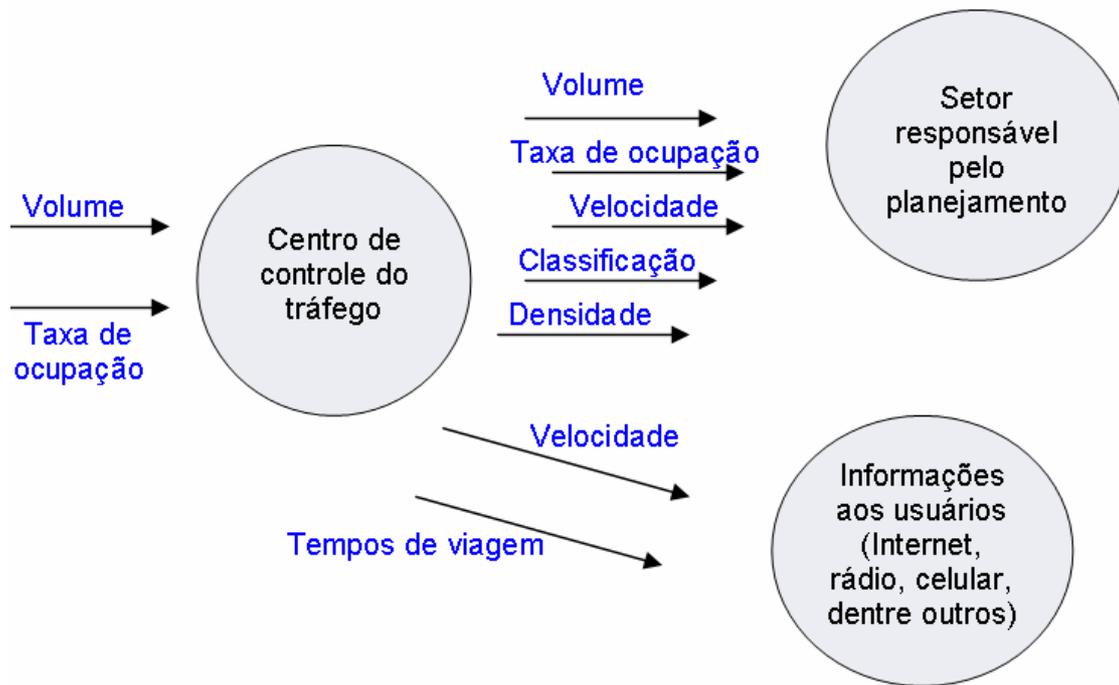
**FIG. 5.5 Estágio 1 – Dados brutos saindo do detector**

No estágio 2 estes dados brutos chegam ao controlador (semafórico ou não) e, a partir de um pré-processamento desses dados no próprio controlador já podem ser emitidas informações como volume e taxa de ocupação.



**FIG. 5.6 Estágio 2 – Controlador em campo**

No terceiro estágio, que ocorre no centro de controle do tráfego, os dados de volume e taxa de ocupação são utilizados para o controle do tráfego propriamente dito e então podem ser utilizados para obtenção de outros parâmetros que podem ser enviados tanto para informações aos usuários quanto para o setor responsável pelo planejamento (estratégico, tático e operacional).



**FIG. 5.7 Estágio 3 – Centro de controle de tráfego**

É importante ressaltar que pode ser necessário interceptar este fluxo em diferentes estágios conforme a necessidade de obtenção dos dados quanto aos seus formatos e intervalos de agregação. Pode ser interessante para um pesquisador obter os dados na sua forma bruta para então trabalhar com os mesmos

Na tabela a seguir pode-se ter uma noção das oportunidades e desafios quanto a forma de obtenção desses dados.

A importância deste item dentro do procedimento está relacionada com o nível de capacitação dos funcionários que irão trabalhar com os dados do sistema para o planejamento e para outras aplicações.

Os dados fornecidos pelos detectores de veículos podem ser obtidos a partir de diferentes níveis, conforme apresentado na tabela a seguir:

**TAB. 5.1 Formas de acesso aos dados coletados por detectores de veículos**

<b>Forma de acesso</b>	<b>Oportunidades</b>	<b>Desafios</b>
<b>A partir dos controladores instalados em campo</b>	Conhecendo-se os protocolos utilizados para comunicação entre os controladores e a central de controle, pode-se editar a saída de dados dos controladores, obtendo-se os tipos e formatos de dados necessários.	Esta forma de obtenção exige, do profissional que vai utilizar os protocolos, <sup>2</sup> pesados conhecimentos de informática e de eletrônica.
<b>A partir dos softwares das centrais de controle de tráfego</b>	Alguns softwares permitem a captação de dados coletados por detectores de veículos e a sua conversão para formatos que permitam a sua utilização no planejamento (em planilhas eletrônicas, por exemplo), outros já não apresentam esta facilidade.	Pode ser necessário um grande conhecimento do software utilizado para o controle de tráfego e de linguagens de programação.
<b>A partir de páginas da Internet</b>	Esta é uma nova modalidade de obtenção dos dados. Fornecedores de detectores, que em algumas cidades são responsáveis pela operação dos mesmos já disponibilizam dados coletados por estes dispositivos (volume, velocidade e taxa de ocupação) via Internet. Esses dados podem ser importados e utilizados em planilhas eletrônicas.	Exige conhecimentos de programação, mas não requer nenhum conhecimento de protocolos de comunicação nem de software de controle de tráfego.

Na FIG. 5.8, é apresentado um fluxograma para o procedimento proposto. É importante ressaltar que o procedimento é aplicável aos casos em que for detectada a necessidade de utilização de coleta automatizada de dados utilizando-se detectores de veículos. Sendo assim, a primeira questão a ser considerada é se, para a forma de controle pretendida, há ou não a necessidade do emprego destes detectores.

No caso de serem utilizados detectores de veículos, parte-se para a definição dos dados necessários para os diferentes níveis de planejamento, para a definição da forma desejada para o acesso a estes dados e então define-se o conjunto de requisitos importantes do ponto de vista do controle de tráfego propriamente dito e do ponto de vista dos planejadores.

---

<sup>2</sup> Protocolo de comunicação é um conjunto de regras para codificar e transmitir uma mensagem entre dispositivos eletrônicos. Para que dois dispositivos possam se comunicar é necessário que utilizem o mesmo protocolo de comunicação.

A partir deste conjunto de requisitos faz-se uma pesquisa com fornecedores de sistemas de controle de tráfego sobre a existência de algum sistema que seja satisfatório. Caso a resposta seja positiva, o procedimento é encerrado, caso contrário é analisada a possibilidade de adaptação de sistemas existentes. Caso não seja possível esta adaptação, é avaliado se é possível o desenvolvimento de algum sistema que atenda aos requisitos necessários. Caso este desenvolvimento não seja possível, inicia-se novamente o procedimento, podendo-se reduzir o nível de exigência para a obtenção de uma solução possível.

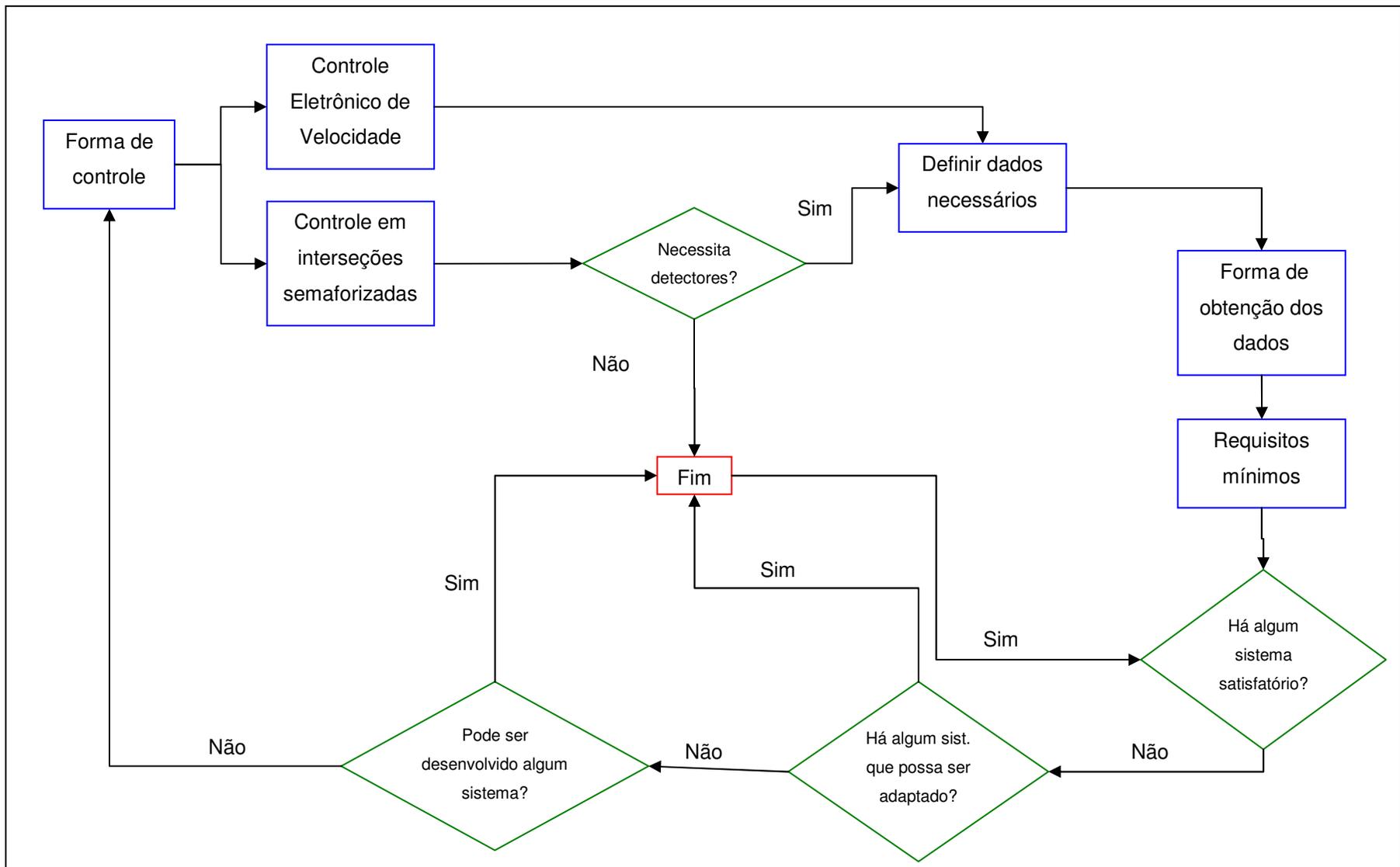


FIG. 5.8 Fluxograma para procedimento proposto

## 5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No procedimento proposto, buscou-se salientar a necessidade de considerar a possibilidade de utilização dos dados coletados por detectores de veículos para fins além do controle do tráfego propriamente dito.

É importante definir quais são os requisitos do ponto de vista do planejamento (estratégico, tático e operacional) para a escolha ou adaptação de sistemas de controle de tráfego em vias urbanas. O tipo e os formatos dos dados disponíveis para o planejador tem que ser uma premissa e não uma consequência da escolha de um sistema de controle.

Cabe ressaltar que o procedimento visa chamar atenção para a preocupação de definir requisitos quanto aos tipos de dados e as formas de acesso aos mesmos para que futuras aplicações destes possam ser realizadas de forma mais eficiente. No entanto, requisitos como compatibilidades com outros sistemas a serem implantados e relação custo/benefício de cada sistema devem ser levados em consideração.

## 6. EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE DADOS COLETADOS POR DETECTORES DE VEÍCULOS

### 6.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem por objetivo mostrar como os dados coletados por dispositivos eletrônicos podem ser utilizados para o fornecimento de informações para os planejadores e para os usuários do sistema viário.

Inicialmente, é apresentada uma análise dos dados sob o ponto de vista do planejador e um exemplo de cálculo do nível de serviço em uma via expressa. Finalmente, é mostrado um exemplo de fornecimento de informações aos usuários.

### 6.2 DADOS EMPREGADOS

Conforme apresentado no capítulo 2, o setor de planejamento da CET-SP recebe dados coletados por detectores de veículos, empregados para o controle eletrônico de velocidade, instalados em diversos locais da cidade. Estes dados são enviados pela empresa que opera os controladores eletrônicos de velocidade para a CET-SP via Internet durante todo o dia e o acesso à página que contém os dados não é aberto ao público.

Para a elaboração das análises e exemplos de aplicação, foi utilizada uma amostra desses dados, referente ao km 9 da pista expressa da Marginal Pinheiros, no sentido Castelo Branco/Interlagos. Os dados obtidos referem-se ao período entre as 11:00 do dia 24/11/2004 e as 10:00 do dia 25/11/2004. Esta amostra de dados foi fornecida em formatos *php* e *html*, que são os mesmos formatos nos quais os funcionários da CET-SP têm acesso aos dados.

Conforme mostrado no anexo 1, foram fornecidos dados de volume de tráfego, velocidade média e taxa de ocupação com intervalos de agregação de 1 hora e de 1

minuto, durante 24 horas. Também foram fornecidos dados de distribuição de veículos quanto ao porte (classificados em moto, pequeno, médio e grande), além de dados de distribuição de veículos por faixa de velocidade.

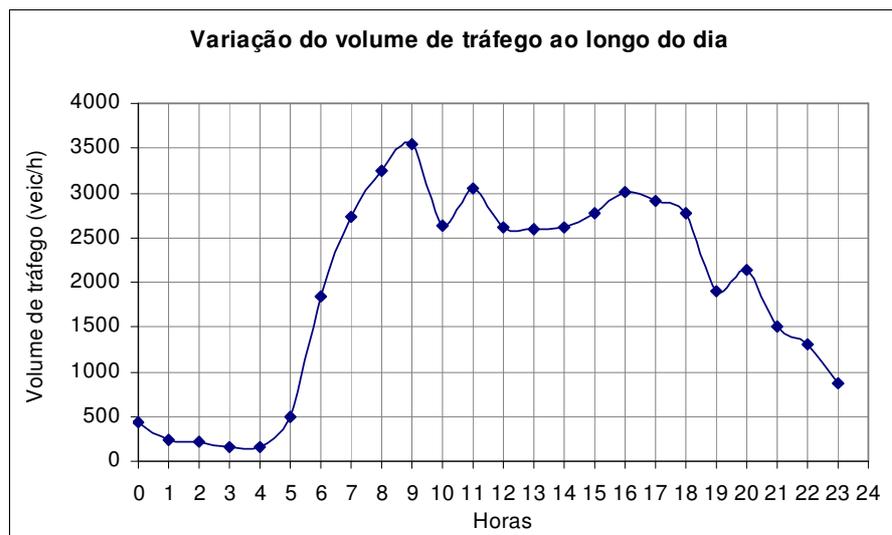
Nas tabelas referentes a volume de tráfego, velocidade e taxa de ocupação pode-se observar que foi fornecida também uma classificação sobre as condições do trânsito, cuja forma de defini-las não foi esclarecida pela empresa fornecedora dos dados.

### 6.3 ANÁLISE E EMPREGO DOS DADOS PARA O PLANEJAMENTO

Os dados obtidos foram transferidos para um software de planilha eletrônica por meio do recurso “importar dados externos”.

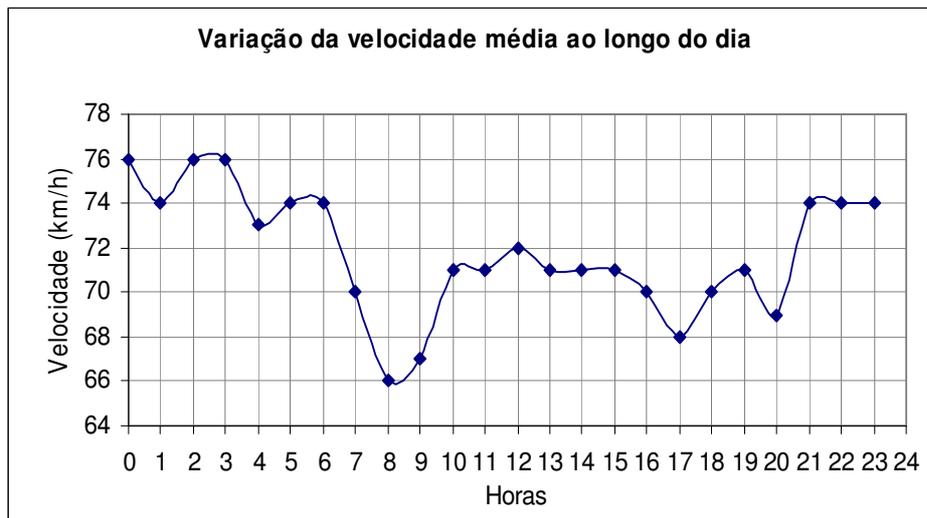
Após a importação dos dados, partiu-se para a análise dos mesmos, com o auxílio de gráficos elaborados para melhor visualização. Os gráficos elaborados podem ser observados da FIG. 6.1 à FIG. 6.6 a seguir.

A FIG. 6.1 se refere à variação do volume do tráfego ao longo do dia. Pode-se observar que é possível identificar informações relevantes como o horário mais “carregado” do dia e os horários com menores volumes de tráfego no ponto observado.



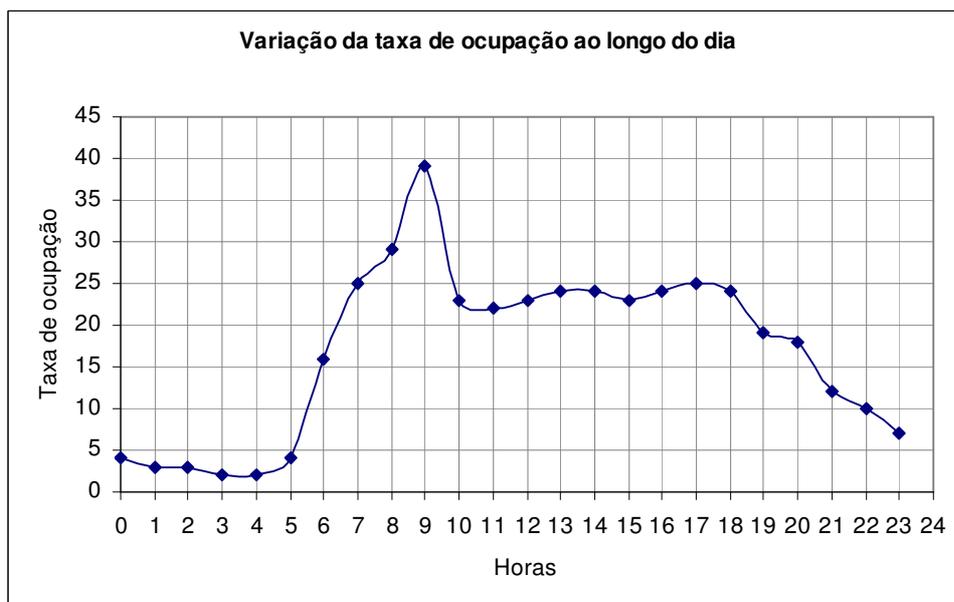
**FIG. 6.1** Variação do volume de tráfego ao longo do dia

Na FIG 6.2, é mostrada a variação da velocidade média dos veículos ao longo do dia. Pode-se observar que estes valores se situam aproximadamente entre 66 e 76 km/h. Segundo a CET-SP, o limite de velocidade na via da qual foi extraída a amostra de dados é de 90 km/h. Sendo assim, percebe-se que a maioria dos motoristas respeita o limite de velocidade imposto pela fiscalização eletrônica.



**FIG. 6.2** Variação da velocidade média ao longo do dia

Na FIG. 6.3 é apresentada a variação da taxa de ocupação da via ao longo do dia para o local observado.



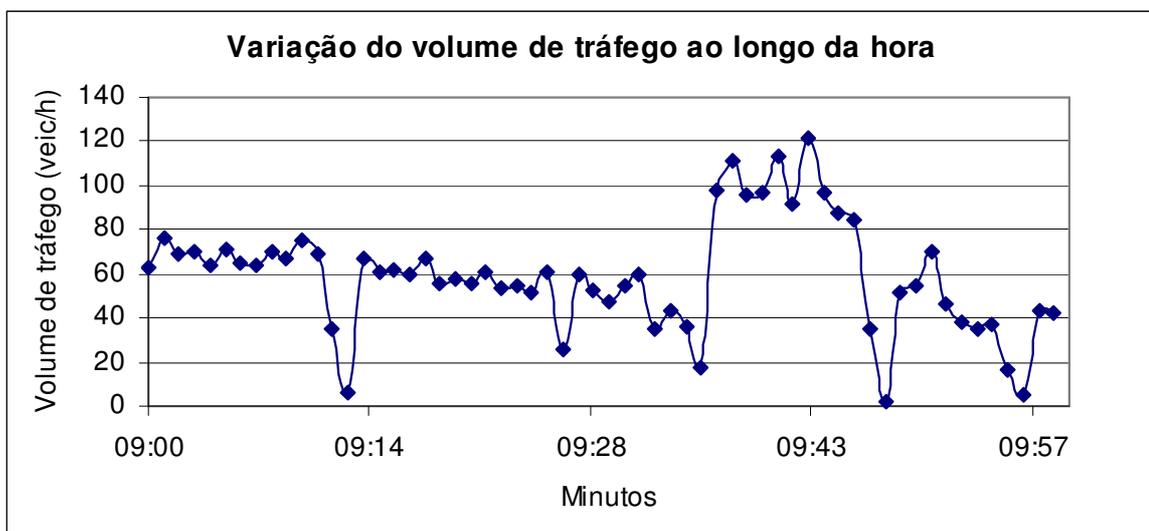
**FIG. 6.3** Variação da taxa de ocupação ao longo do dia

É importante observar que, como foi apresentado no capítulo 4, a taxa de ocupação é uma variável que, medida isoladamente, fornece um grau de informação bem maior do que o fluxo. O Departamento de Transportes do Estado de Washington criou uma escala (vide FIG. 4.2) que utilizou a taxa de ocupação como base para determinar as condições do tráfego.

Observando-se os três gráficos acima, percebe-se que há coerência entre eles. Às 9:00, quando foi detectado o maior volume de tráfego, também foram obtidos a maior taxa de ocupação da via e um dos menores valores para a velocidade média de tráfego.

Conforme apresentado no capítulo 4, volume e taxa de fluxo são variáveis que quantificam o número de veículos, ocupantes ou motoristas que usam uma dada facilidade durante um período específico e são os dados de maior utilidade imediata.

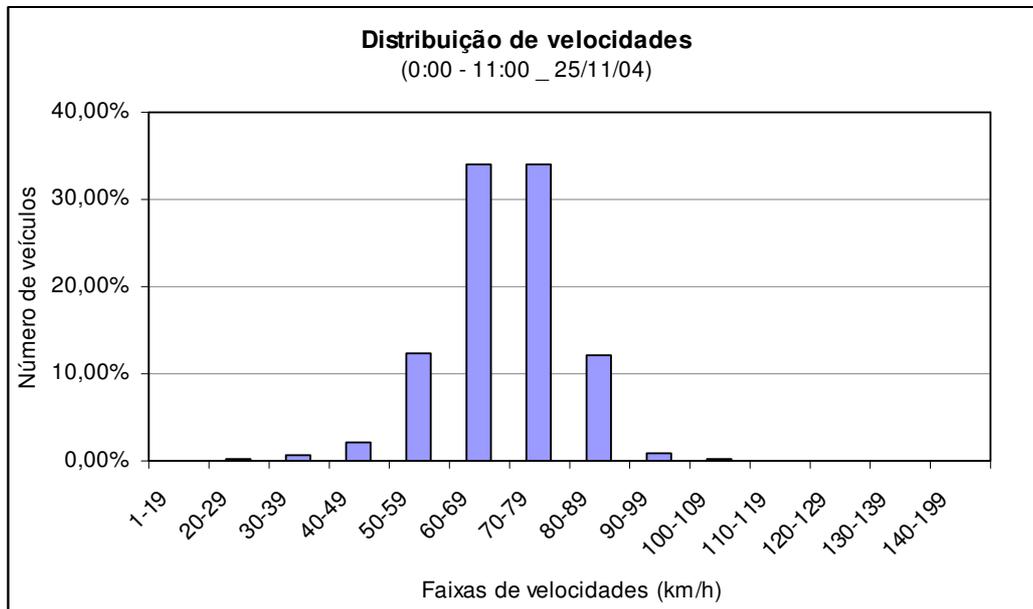
De informações úteis para o planejamento de tráfego, pode-se obter a hora pico para o dia, uma vez que os dados acima também podem ser acessados em intervalos de agregação de 1 minuto, conforme mostrado no anexo 1 e na FIG. 6.4 a seguir.



**FIG. 6.4 Variação do volume de tráfego ao longo das 9:00**

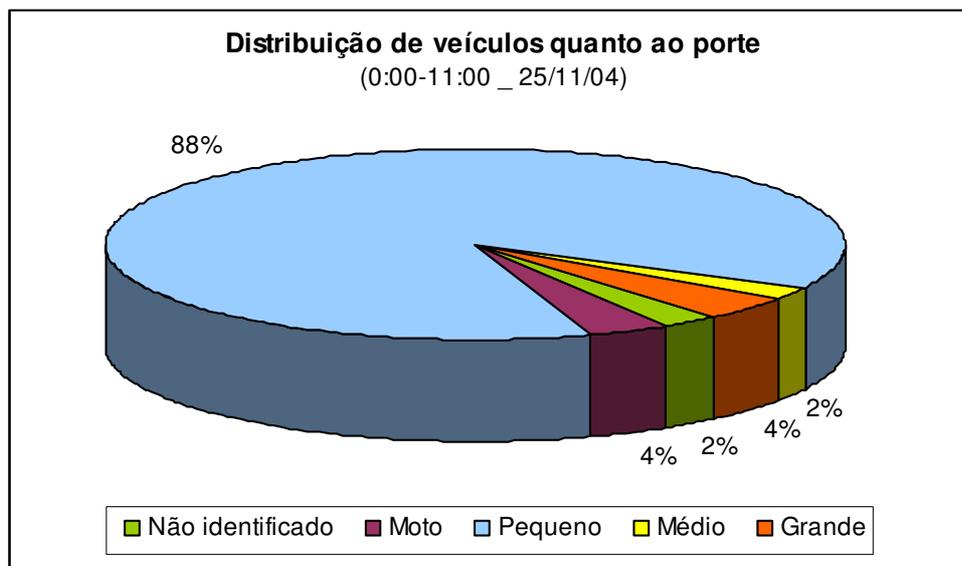
A partir dos dados de velocidade organizados em faixas de valores, identificou-se as velocidades mais praticadas na via. Na FIG. 6.5, pode-se observar que cerca de 70% dos motoristas passam pelo ponto monitorado com velocidades entre 60 e 79 km/h e que o percentual de veículos que excedem o limite de velocidade da via (90 km/h) é em torno de 1% do total de veículos. Cabe ressaltar que, neste gráfico,

não foram utilizados valores médios e sim observações individuais, o que explica a diferença entre os valores máximos de velocidades deste gráfico para os apresentados na FIG. 6.2.



**FIG. 6.5 Distribuição de velocidades medidas**

Na FIG. 6.6, pode-se observar a classificação da frota de veículos quanto ao porte, informação útil, por exemplo, para a identificação do percentual de veículos pesados trafegando no trecho observado ao longo do dia, subsidiando ações relativas ao controle deste tipo de tráfego na via.

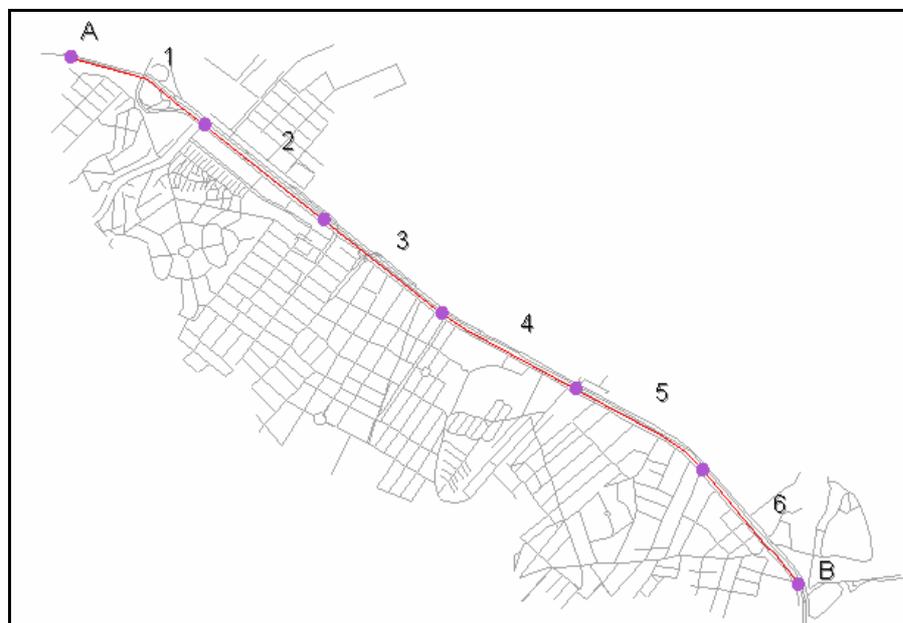


**FIG. 6.6 Distribuição dos veículos detectados quanto ao porte**

O armazenamento de dados e a obtenção dos mesmos em tempo real possibilitam diversos tipos de aplicação. Dentre elas, está o cálculo do nível de serviço de uma via, útil para o planejador, e o tempo de viagem para o usuário, informação que pode ser obtida pela Internet. Estes tipos de aplicações foram exemplificados conforme a seguir.

### 6.3.1 DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE SERVIÇO EM UMA VIA EXPRESSA

A aplicação dos dados coletados por detectores de veículos para o planejamento de tráfego foi exemplificada, neste item, por meio da determinação do nível de serviço em uma via expressa. Para tanto, foi utilizada a amostra de dados fornecida pela CET-SP. Como não foi possível a obtenção de informações sobre a geometria da via expressa na qual estes dados foram coletados, considerou-se estes dados como sendo pertencentes a uma via expressa de múltiplas faixas, apresentada na FIG. 6.7, compreendida entre o trecho AB.



**FIG. 6.7 Via selecionada para a realização do exemplo de aplicação**

A determinação do nível de serviço na via se deu com base na metodologia para cálculo de capacidade e nível de serviço para rodovias (e vias expressas) de múltiplas faixas do *Highway Capacity Manual* (HCM) (TRB,2000). Para a aplicação desta metodologia, são necessárias informações sobre as características da via e dados de volumes de tráfego, velocidade e classificação quanto ao porte.

Basicamente, esta metodologia consiste em:

- Segmentar a via expressa buscando a obtenção de segmentos homogêneos com tamanho mínimo de 760m;
- Determinação da velocidade de fluxo livre (VFL);
- Determinação da taxa de fluxo horária máxima;
- Determinação do nível de serviço na via.

A análise foi realizada para apenas 1 sentido de tráfego, que neste caso foi o sentido AB.

A seguir, é detalhada a aplicação da metodologia:

a) Segmentação da via expressa:

A via foi segmentada em trechos de 1 km de extensão (vide FIG. 6.7) , com três faixas de tráfego por sentido. Considerou-se que esta via possui topografia plana e que predominam viagens casa-trabalho/trabalho-casa.

Para a determinação do nível de serviço foi considerado o trecho A-1, para o qual foram empregados dados da amostra obtida.

b) Determinação da Velocidade de Fluxo Livre (VFL)

A VFL pode ser obtida de duas formas:

1 – quando é possível coletar dados de velocidade para um volume de tráfego inferior a 1400 cp/hora/faixa, pode-se utilizar o valor médio da velocidade medida como o valor da VFL.

2 – quando não é possível obter dados de velocidade para volumes inferiores a 1400 cp/faixa/hora, a VFL é estimada sem realização de medidas em campo.

Como há dados de velocidade coletados durante todo o dia, foi escolhido um horário no qual o volume de tráfego na via foi inferior a 1400 cp/hora/faixa e utilizou-se a velocidade média medida pelo detector de veículos para este horário.

A escolha do horário foi realizada observando-se a FIG. 6.1 e os dados referentes às velocidades observadas por hora e por minuto. Pode-se observar que no período entre as 1:00 e 5:00 da manhã, foram medidos os menores volumes de tráfego. Observando-se os dados de velocidade para este período, constatou-se que a variação nas velocidades medidas era pequena e que não havia interferência de congestionamentos. Sendo assim, as velocidades praticadas pelos motoristas eram livremente escolhidas estando sujeitas apenas à limitação imposta pela fiscalização eletrônica (90 km/h) Sendo assim, para uma amostra de 167 veículos observados entre 3:00 e 4:00 da manhã, a velocidade média observada foi de 76 km/h. Portanto, adotou-se  $VFL = 76 \text{ km/h}$ .

Cabe ressaltar que, conforme apresentado no HCM (TRB, 2000), recomenda-se que seja empregada uma amostra de pelo menos 100 veículos para a determinação da VFL.

c) Cálculo da taxa de fluxo horária máxima:

O cálculo da taxa de fluxo é realizado a partir da seguinte equação:

$$T_f = \frac{V}{FHP \cdot N \cdot fHV \cdot fP} \quad \text{EQ. 6.1}$$

onde:

V = volume de tráfego por sentido na hora-pico

FHP = fator de hora-pico

N = número de faixas por sentido de tráfego

fHV = fator de veículos pesados

fP = fator de população

Sendo assim, para o cálculo da taxa de fluxo horária máxima, é necessário determinar o volume de tráfego na hora-pico da via e conhecer a classificação dos veículos quanto ao porte. Estas informações foram obtidas, neste exemplo, a partir dos dados fornecidos pela CET-SP, conforme descrito a seguir.

A partir da FIG. 6.1, identificou-se o período dentro do qual se encontra a hora-pico, que, neste caso, foi adotado como entre 7:00 e 10:00. Para este período, conforme pode ser visto na TAB. 6.1, os dados de volume foram agrupados em intervalos de 15 minutos. Em seguida, foram obtidos os volumes totais para cada hora e foi identificada então a hora-pico, que é aquela com maior volume total. Esta hora corresponde ao período de 8:45 às 9:45 e o respectivo volume de tráfego é de 3781 veículos/h. Cabe ressaltar que este volume é relativo ao sentido de tráfego AB.

**TAB. 6.1 Cálculo do volume de tráfego na hora-pico**

<b>Horário</b>	<b>Vol Total</b>	<b>Volume hora</b>	<b>Período</b>
7:00 - 7:15	525		
7:15 - 7:30	773		
7:30 - 7:45	605		
7:45 - 8:00	863	2766	
8:00 - 8:15	801	3042	
8:15 - 8:30	1126	3395	
8:30 - 8:45	517	3307	
8:45 - 9:00	866	3310	
9:00 - 9:15	929	3438	
9:15 - 9:30	826	3138	
9:30 - 9:45	1160	3781	8:45 - 9:45
9:45 - 10:00	679	3594	

Com base nos dados de classificação fornecidos pelos detectores, foram calculados os percentuais de veículos pesados e de veículos recreacionais. Os veículos pesados correspondem aos veículos “grandes” e os veículos recreacionais foram considerados como sendo os veículos “médios” da tabela TAB. 6.2.

**TAB. 6.2 Classificação dos veículos quanto ao porte**

Classificação dos veículos quanto ao porte						
Horas	* S / I / P	Moto	Pequeno	Médio	Grande	Total
<u>0</u>	17	13	377	10	28	445
<u>1</u>	14	9	202	5	16	246
<u>2</u>	9	4	181	10	23	227
<u>3</u>	14	9	113	9	22	167
<u>4</u>	14	10	93	8	27	152
<u>5</u>	47	20	330	34	71	502
<u>6</u>	62	40	1.549	59	125	1.835
<u>7</u>	46	58	2.455	48	116	2.723
<u>8</u>	42	68	3.015	48	79	3.252
<u>9</u>	52	123	3.233	68	61	3.537
<u>10</u>	79	182	2.553	92	93	2.999
<u>11</u>	31	72	915	30	37	1.085
Total	427	608	15.016	421	698	17.170
* S / I / P = Sem Informação de Porte Veicular						
<b>Sem informação</b>	<b>Motos</b>	<b>Autos</b>	<b>Veículos recreacionais</b>	<b>Veículos pesados</b>		
2,5%	3,5%	87,5%	2,5%	4,1%		

O FHP foi obtido multiplicando-se por 4 o volume dos 15 minutos mais carregados da hora-pico e dividindo-se o resultado pelo volume de tráfego na hora pico. Como pode ser observado abaixo  $FHP = 0,81$ .

$$FHP = \frac{4 \times \text{Volume dos 15 minutos mais carregados da hora - pico}}{\text{volume na hora - pico}} = \frac{4 \times 1160}{3781} = 0,81$$

O fHV é obtido a partir da tabela 21-8 do HCM, apresentada no anexo 2, na qual são dados fatores de equivalência de veículos pesados para carros de passeio. Estes fatores são utilizados na EQ. 6.2 apresentada a seguir.

$$fHV = \frac{1}{(1 + (PT * (ET - 1) + PR * (ER - 1)))} \quad \text{EQ. 6.2}$$

onde:

PT = percentual de caminhões e ônibus na corrente de tráfego

PR = percentual de veículos recreacionais na corrente de tráfego

ET = fator de equivalência para caminhões e ônibus

ER = fator de equivalência para veículos recreacionais

Assim, consultando-se a TAB. 6.2 tem-se  $PT = 4,1\%$  e  $PR = 2,5\%$  do tráfego e consultando-se a tabela 21-8 do HCM, apresentada no anexo 2, obteve-se  $ET = 1,5$  e  $ER = 1,2$ . Logo, obteve-se  $fHV = 0,98$ .

Como se trata de uma via na qual predominam as viagens casa-trabalho/trabalho-casa, o fator de população ( $fP$ ) pode ser considerado igual a 1.

Logo, a taxa de fluxo horária máxima será:

$$Tf = \frac{3781}{0,81 * 3 * 0,98 * 1} = 1586 \text{ cp/hora/faixa}$$

d) Determinação do nível de serviço da via:

O nível de serviço da via foi obtido consultando-se a tabela 21-2 do HCM, apresentada no anexo 2, entrando-se com os valores encontrados para a VFL e a taxa de fluxo horária máxima.

Sendo assim, para uma  $VFL = 76 \text{ km/h}$  e uma taxa de fluxo horária máxima de  $1586 \text{ cp/hora/faixa}$ , foi obtido para a via o nível de serviço D.

A informação sobre o nível de serviço é importante para aplicações como a elaboração de relatórios de impacto urbano para instalação de novos empreendimentos nas cidades e para o planejamento de novas vias com características semelhantes da analisada. É útil também para a avaliação do desempenho do controle de velocidade, que pode trazer benefícios quanto a segurança, mas também pode ocasionar congestionamentos em certos horários. Vale ressaltar que, em alguns países, já se utiliza o controle de velocidade com limites variáveis durante o dia, os quais são trocados na central de controle e informados aos motoristas via painéis de mensagens variáveis, tendo como consequência o equilíbrio entre a redução de acidentes e a manutenção de níveis de serviço aceitáveis.

#### 6.4 CÁLCULO DE TEMPOS DE VIAGEM

Conforme apresentado no capítulo 3, além da utilidade dos dados para o planejamento, existe a possibilidade empregá-los para fins operacionais. Uma

dessas aplicações é a obtenção de tempos de viagem, que é um tipo de informação relevante para usuários que desejam realizar deslocamentos nas vias urbanas.

Conforme apresentado no capítulo 4, velocidade e/ou tempo de viagem são freqüentemente usados como medidas de qualidade de serviço do tráfego, visto que ambos são imediatamente discerníveis aos motoristas e afetam seu conforto e comodidade. Pode-se comparar uma informação como “o tráfego do trecho A para o trecho B está livre” (seguindo-se, por exemplo, a classificação da FIG 4.2), que está repleta de subjetividade para o usuário que a interpreta, com a informação “tempo médio de viagem do trecho A para o trecho B = 15 minutos”, que é menos sujeita a interpretações discrepantes entre os usuários.

Além da sua aplicação operacional, os tempos de viagem são informações utilizadas no planejamento e, portanto, o seu armazenamento em base de dados é importante.

Sendo assim, além das análises descritas no item anterior, será mostrado um exemplo no qual foram calculados tempos de viagem em uma via expressa para alguns horários selecionados dentre todos os fornecidos pela CET-SP.

Para isso, foi utilizada a seguinte equação, também apresentada no capítulo 03:

$$T(g) = \frac{L(g)}{L(ef)} * \left( \frac{OCC(g)}{q(g)} \right)$$

onde:

T(g) = Tempo de viagem no segmento g

L(g) = Comprimento do segmento g

L(ef) = Comprimento médio efetivo do veículo (obtido por amostras de dados previamente coletadas na via)

OCC(g) = Taxa de ocupação do segmento g

q(g) = Velocidade do veículo em um fluxo de tráfego uniforme ao longo do segmento, usando as informações de ocupação e fluxo sobre o segmento<sup>3</sup>.

A equação de tempo de viagem empregada no exemplo deste capítulo é aplicável a vias expressas com detectores de veículos igualmente espaçados

---

<sup>3</sup> Velocidade medida pelo detector ou calculada em função de dados de fluxo e taxa de ocupação coletados por um detector no momento da passagem do veículo.

instalados na via. Os tempos de viagem ponto a ponto são obtidos somando-se os tempos de viagem nos segmentos ao longo do caminho de pontos.

De acordo com TUROCHY e SMITH (2002), o comprimento efetivo de um veículo é calculado a partir da soma do seu comprimento (medido pelo detector) e do comprimento da área de detecção do detector. Normalmente, adota-se um valor médio para este comprimento, ou seja, um comprimento médio efetivo.

Sendo assim, como não se dispunha de informação sobre o modelo de detector utilizado, foi adotado um comprimento médio efetivo de 7,5m para os veículos que passam sobre os detectores. Este é o valor empregado pelo Departamento de Transportes da Califórnia (BANKS, 2003).

Para o exemplo deste trabalho, foi utilizada a mesma via fictícia do exemplo de cálculo do nível de serviço. Foram considerados, então, 6 trechos fictícios em uma via expressa com detectores de veículos instalados em intervalos de 1 km (vide FIG. 6.7). Os pontos em cor lilás representam os detectores de veículos. No trecho 1, que se inicia no ponto “A”, foram inseridas as informações de tempos de viagem (em minutos) calculadas a partir dos dados da amostra da CET-SP. Nos demais trechos foram utilizados dados fictícios.

Sendo assim, os mapas a seguir foram gerados a partir de uma base que foi alimentada em um dos pontos com as informações de tempos de viagem calculadas a partir dos dados reais e nos outros pontos com tempos de viagem fictícios. Os tempos de viagem foram calculados.

É importante que as informações estejam disponíveis para os usuários durante todo o dia, sendo assim, é necessário estabelecer um período de atualização dos mesmos. Em situações já existentes, como no caso do site da CET-SP (<http://www.cetsp.com.br>), as informações sobre a fluidez do tráfego são atualizadas em média a cada 30 minutos das 7:00h às 20:00h de segunda a sexta-feira.

Como exemplo, foram apresentadas quatro situações distintas, com o tráfego apresentando diferentes carregamentos, conforme pode ser visto a seguir.

Na TAB. 6.3 são apresentados os atributos de cada trecho em que os tempos de viagem foram calculados.

TAB. 6.3 Atributos dos trechos considerados no trabalho

Trecho	Comprimento (km)	Tempo4:00	Tempo9:00	Tempo16:00	Tempo21:00
1	1.00	2.32	49.52	27.83	16.23
2	1.00	3.21	51.07	30.10	15.54
3	1.00	2.34	53.87	32.65	13.21
4	1.00	4.10	52.31	33.12	16.20
5	1.00	5.23	54.89	29.98	11.51
6	1.00	6.12	57.22	30.54	10.17

Nos mapas a seguir, são apresentados os tempos de viagem para diferentes horários do dia. Foram criadas escalas de cores e, quanto maiores os tempos de viagem, mais escuras são as cores no mapa.



FIG. 6.8 Tempos de viagem às 4:00



FIG. 6.9 Tempos de viagem às 9:00



FIG. 6.10 Tempos de viagem às 16:00



**FIG. 6.11 Tempos de viagem às 21:00**

Como as informações apresentadas nas figuras acima são úteis para os usuários do sistema viário, é interessante apresentá-las de uma forma acessível a um grande número de pessoas. Sendo assim, foi montada uma página da Internet com as informações sobre os tempos de viagem. A página pode ser acessada no endereço [www.luceliafp.hpg.ig.com.br](http://www.luceliafp.hpg.ig.com.br) e pode ter suas partes visualizadas nas FIG. 6.12, FIG. 6.13 e FIG. 6.14 a seguir.

Na FIG. 6.12 é apresentada a página inicial, que contém os links para as informações apresentadas nas FIG. 6.13 e FIG. 6.14.

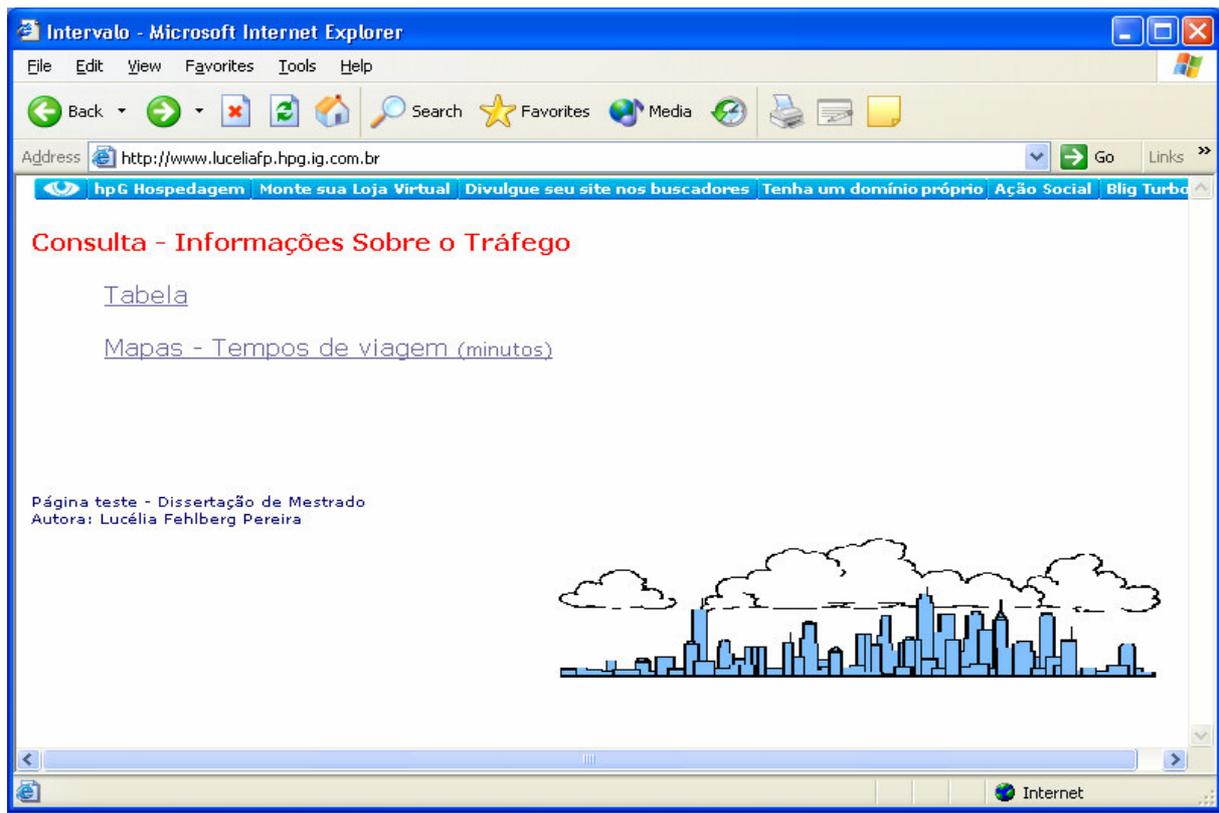


FIG. 6.12 Página principal

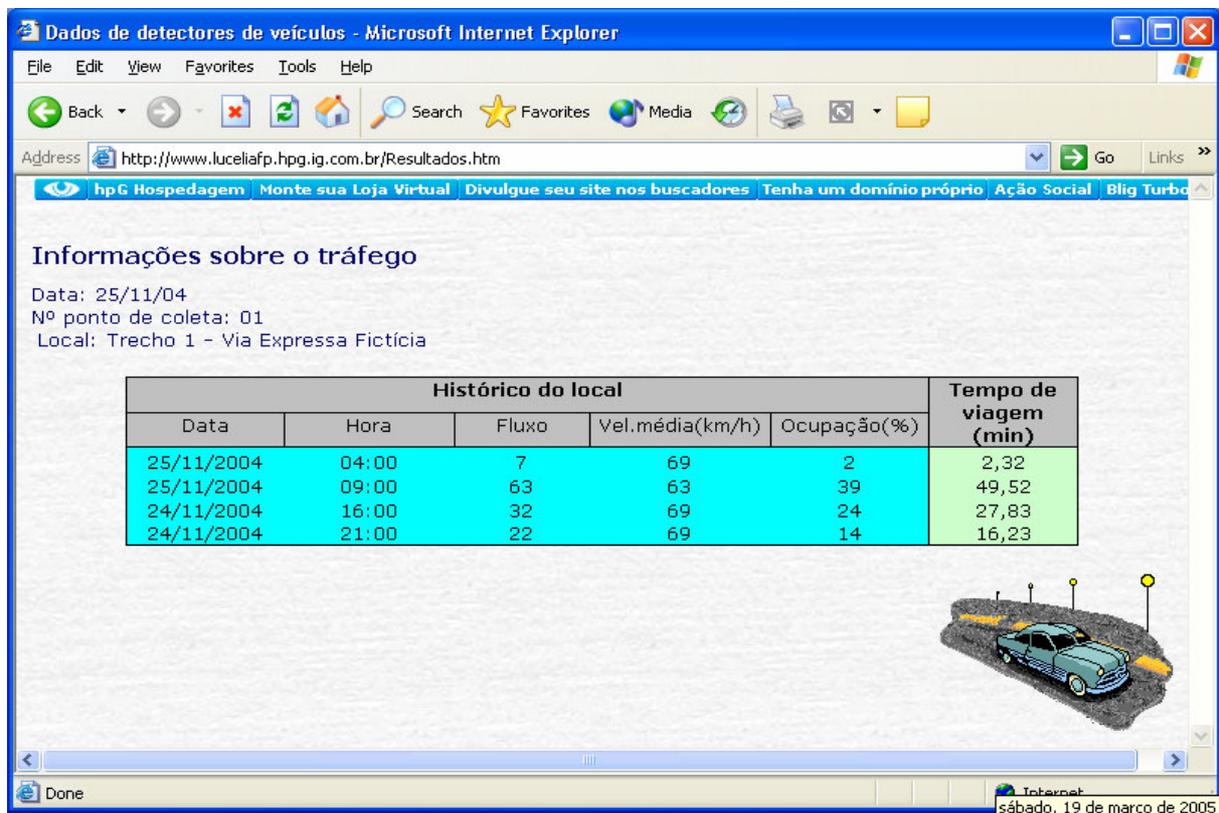
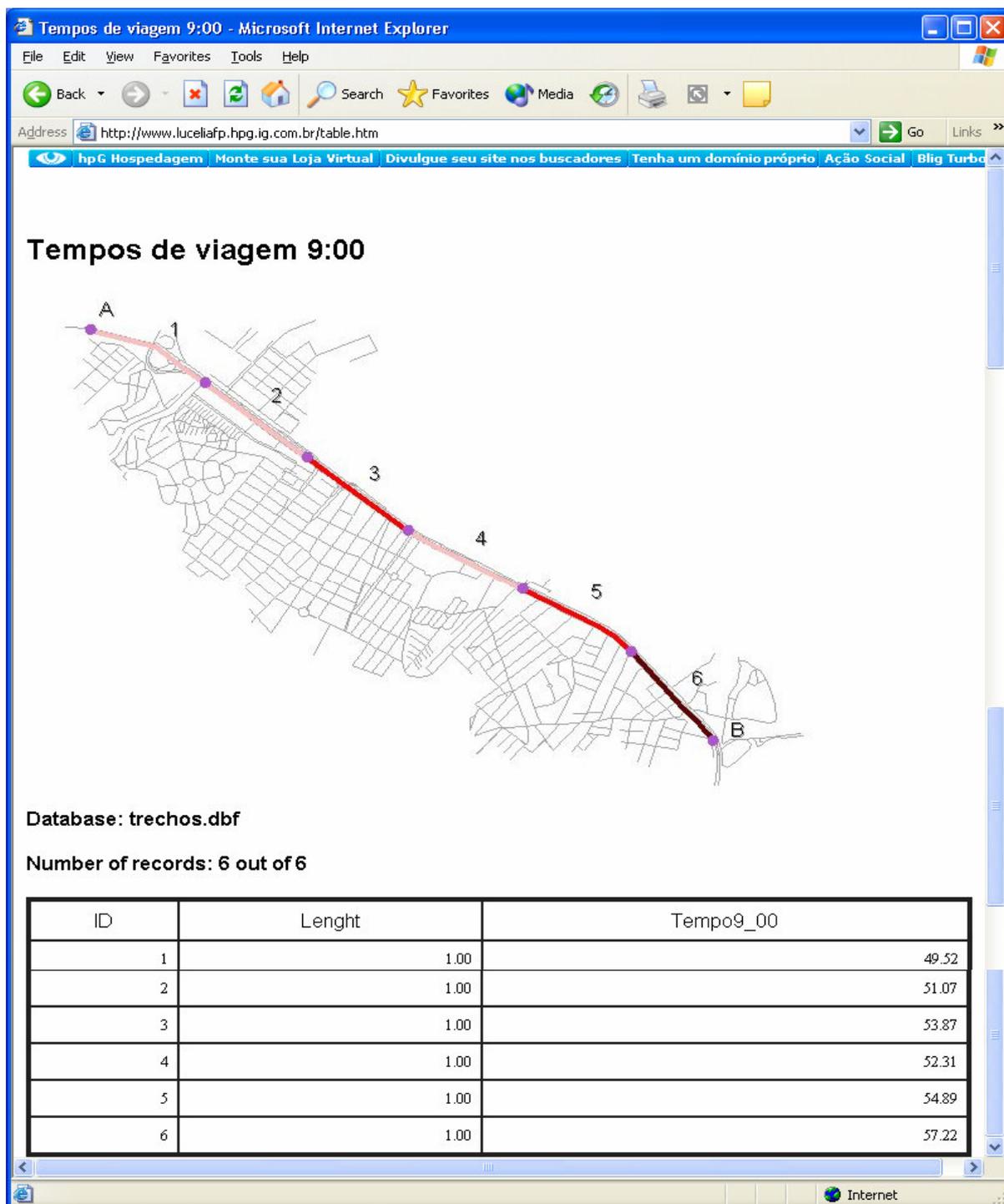


FIG. 6.13 Tela apresentando a tabela de dados sobre o tráfego



**FIG. 6.14** Mapa associado aos dados apresentados na tabela

Pode-se observar que esta página contém alguns itens em inglês. Isso se deve ao fato de que a ferramenta utilizada possui uma forma padronizada de apresentação do mapa a qual não foi possível modificar.

## 6.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, foram feitas duas demonstrações do emprego de dados de detectores de veículos. Muitas outras poderiam ser feitas e sistemas de apresentação de informações aos usuários muito mais evoluídos já existem, como foi apresentado no capítulo 3. O que se pretendeu com estes exemplos foi mostrar que realmente é possível aplicar, com relativa simplicidade, dados de detectores de veículos fornecidos via Internet.

No desenvolvimento dos exemplos, a conversão dos dados para diferentes formatos e a transferência dos mesmos para diferentes aplicativos não foi feita de forma automatizada. Entretanto, existe a possibilidade de se automatizar estas operações, o que tornaria mais rápido o processo de obtenção das informações.

A equação utilizada neste capítulo tem limitações relativas a sua aplicabilidade em vias arteriais, já que é assumida uniformidade de velocidades nos segmentos viários, uma condição que é claramente violada em vias arteriais (SHBAKLO *et al.*, 1992).

O valor adotado para o comprimento médio efetivo dos veículos certamente não condiz com as condições brasileiras, uma vez que a composição da frota americana difere da frota brasileira. Sendo assim, sugere-se, a elaboração de trabalhos que visem investigar valores para este comprimento no Brasil. Além disso, alguns autores afirmam que é melhor considerar comprimentos médios efetivos variáveis - e não um valor médio - para que os cálculos de tempos de viagem sejam mais realistas.

É importante ressaltar que a tabela do anexo 2 foi obtida com base nas relações entre fluxo, velocidade e densidade para vias expressas e que não necessariamente estas relações se verificam para o caso de uma via com controle eletrônico de velocidade, na qual o comportamento dos motoristas é influenciado pela presença destes dispositivos. Sendo assim, deve-se tomar cuidado em utilizar o resultado obtido, pois pode ser necessário fazer ajustes no mesmo para que seja mais condizente com a realidade.

## 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 7.1 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um procedimento de apoio a tomada de decisão quanto ao tipo de sistema de controle de tráfego a ser implantado visando o uso do mesmo como instrumento de auxílio ao planejamento de tráfego.

Foram caracterizados os diferentes tipos de equipamentos de controle de tráfego, identificando vantagens e desvantagens. Constatou-se que em diversas cidades, já existem centros de controle de tráfego com ampla utilização de dispositivos como câmeras de vídeo, detectores de laços indutivos e painéis de mensagens variáveis. Não existe um dispositivo eleito como o ideal. Para cada situação, pode-se utilizar um ou mais tipos de detector de veículos ou de dispositivo de informações aos usuários e se obter resultados satisfatórios.

Verificou-se que os detectores de veículos podem fornecer diversos tipos de dados importantes para o planejamento e que os tipos de dados fornecidos variam de acordo com a tecnologia de detecção adotada.

Existe um grande potencial para utilização desses dados no planejamento do tráfego e que, muitas vezes, é desperdiçado pela falta de uma análise dos sistemas de controle disponíveis no mercado sob o ponto de vista do planejador.

Por meio da revisão bibliográfica do capítulo 3 e dos exemplos práticos apresentados no capítulo 6, pode-se ter uma idéia dos tipos de aplicações que podem ser feitas com os dados de detectores de veículos. É importante ressaltar que apenas uma parte dos trabalhos internacionais sobre a utilização desses dados foi considerada neste trabalho, o que mostra a existência de grande interesse neste assunto no Exterior. O mesmo não se pode afirmar ainda quanto ao Brasil, onde iniciativas isoladas foram observadas e em estágios muito aquém dos atingidos internacionalmente.

As aplicações de controle de tráfego no Brasil ainda são isoladas, não havendo uma padronização dos sistemas de controle adotados, ao contrário do que ocorre nos Estados Unidos e na Europa, onde os órgãos responsáveis por este controle têm tomado medidas para a padronização de símbolos, equipamentos e *softwares* utilizados.

A utilização relativamente pequena de detectores de veículos nos sistemas de controle de tráfego brasileiros, o emprego de *softwares* para controle do tráfego em poucas cidades e o pouco armazenamento dos dados coletados por detectores são fatos que mostram que há ainda muito a ser estudado e desenvolvido no Brasil em termos de controle de tráfego. Evidencia-se a necessidade de estudos que busquem conhecer melhor esse tipo de sistema e a forma de coleta e utilização dos dados coletados por eles, visando estabelecer padrões para sua implantação.

Embora a necessidade de dados possa indicar o tipo de detector mais adequado, a escolha do detector está ainda associada aos sistemas de controle de tráfego oferecidos no mercado. No caso do controle de tráfego em interseções semaforizadas, os detectores de laços indutivos são a tecnologia mais difundida e praticamente todos os sistemas oferecidos no mercado utilizam este tipo de detector para a coleta dos dados necessários para a programação semafórica. No caso do controle de velocidade, a variedade de detectores empregados é maior e, portanto, maior também é a liberdade na sua escolha.

A coleta automatizada de dados permite a realização de análises com maior nível de detalhamento uma vez que as coletas podem ser realizadas continuamente, o que seria inviável no caso de coletas manuais. No entanto, o emprego de detectores de veículos não elimina a necessidade de estudos de campo, já que estes detectores estão limitados à sua área de atuação e captam apenas uma pequena parte das informações relevantes para o planejamento de tráfego.

Observou-se que a maioria das aplicações dos dados de dispositivos de controle de tráfego se dá na parte operacional do controle de tráfego. Quanto ao planejamento, poucas aplicações foram encontradas.

Em visitas realizadas, constatou-se uma certa descrença de técnicos brasileiros de que os dados coletados por detectores de laços indutivos possam realmente ser empregados para fins além do controle eletrônico propriamente dito, em função dos problemas enfrentados com a manutenção dos laços indutivos. Técnicos relataram

que estes detectores se rompem com facilidade e que a manutenção implica em interrupção do tráfego. Entretanto, observou-se por meio da revisão bibliográfica realizada nesta dissertação, que, apesar de existirem limitações no emprego deste tipo de detector, há diversos trabalhos realizados por pesquisadores e órgãos gestores do tráfego nos quais é demonstrada a utilização dos dados de detectores de laços indutivos para diferentes fins.

Diversos são os parâmetros de interesse na engenharia de tráfego, cada um deles com sua importância dentro do processo de planejamento e operação dos sistemas de tráfego. Na elaboração do procedimento proposto, considerou-se como mais importantes os parâmetros que podem ser obtidos de forma automatizada, como velocidade, volume de tráfego, tempos de viagem, densidade e taxa de ocupação da via.

Quanto ao planejamento do tráfego, observou-se que a periodicidade e a abrangência dos levantamentos de campo difere de acordo com o horizonte e o nível de planejamento requerido, assim como os níveis de agregação dos dados. Portanto, na escolha da forma de obtenção dos dados dos detectores é importante considerar estes aspectos.

Considera-se que o procedimento proposto pode ser útil tanto para planejadores e operadores dos sistemas de tráfego e que seu emprego pode auxiliar tanto na escolha de sistemas de controle de tráfego a serem implantados como na adaptação dos sistemas de controle existentes. Cabe ressaltar que não se trata apenas do planejamento do controle do tráfego e sim do planejamento de transportes em seus diferentes horizontes, já que a aplicação do procedimento tem como uma de suas consequências o fornecimento de bases de dados mais confiáveis e completas aos pesquisadores.

Para a implantação de sistemas de controle de tráfego são necessários investimentos pesados e a utilização dos dados coletados para a sua operação vem como mais um benefício a ser considerado na avaliação econômica destes investimentos.

## 7.2 RECOMENDAÇÕES

Desenvolver estudos mais detalhados sobre a aplicabilidade dos dados coletados por detectores de veículos, desenvolvendo métodos adequados as condições brasileiras.

Investigar sobre o comprimento médio efetivo dos veículos adequado às condições brasileiras.

Recomenda-se fazer uma maior divulgação entre os profissionais que trabalham com o planejamento do tráfego da existência e das potencialidades da coleta automatizada de dados, com o objetivo de possibilitar um melhor emprego dos sistemas existentes e de fornecer subsídios para a implantação de novos sistemas visando a otimização do uso dos recursos públicos aplicados para este fim.

Em termos das aplicações apresentadas, recomenda-se automatizar a transferência dos dados entre os aplicativos para tornar o processo de publicação das informações sobre tempos de viagem mais dinâmicos e simples.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AQUINO, W., de AQUINO, N. B. e PEREIRA, W. F., **Considerações sobre o Uso de ITS**. Revista de Transportes Públicos, ANTP, Ano 23, 2º semestre, p. 33-37, 2001.
- AREM, B. V., VLIST, M. J. M., MUSTE, M. e SMULDERS, S. A., **Travel time estimation in the GERDIEN project**. International Journal of Forecasting, v.13, p.73-85, 1997.
- BANKS, J. H., AMIN, M. R., **Test of a behavioral theory of multi-lane traffic flow queue discharge flows**. TRB 2003 Annual Meeting CD-ROM, 2003.
- BARBOSA, H. M. e MONTEIRO, P. R. S., **Redutores Eletrônicos de Velocidade – Impactos no Desempenho do Tráfego**. XIV Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes - ANPET, Anais, Gramado - RS, 2000.
- BELL, C. M., **The Evolution of Traffic Control Schemes**. Transportation Research Group, University of Nottingham, Nottingham, UK, 1995.
- BERTAZZO, A., CARDOSO, G. e SAUERESSIG, M., **Controladores Eletrônicos de Velocidade: Metodologia para sua Implementação e Hierarquização dos Trechos Críticos**. Empresa Pública de Transportes e Circulação – EPTC, 2002.
- BERTINI, R.L., **Generating Performance Measures from Portland’s Archived Advanced Traffic Management System Data**. Transportation Research Board, 81<sup>st</sup> Annual Meeting, Washington D.C., January, 2002.
- BHTRANS [on line]. Disponível: <http://www.bhtrans.pbh.gov.br> [capturado em 31 maio 2004].
- BOCANEGRA, C. W. R., CYBIS, H. B. B., JACQUES, M. A. P e STUMPF, M. T., **Comparação de modelos que determinam a velocidade junto a barreiras eletrônicas**. XVIII Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes – ANPET, Anais, Florianópolis - SC, 2004.
- BONSALL, P. e BELL M., **Information Technology Applications in Transport**, NusciencePress, Utrecht, Netherlands, 1987.
- BRASIL - Ministério da Justiça, **Programa Brasileiro de Segurança no Trânsito – PBST**. Documento Básico, 1997.
- BRETHERTON, D., WOOD, K. e RAHA, N., **Traffic Monitoring and Congestion Management in the SCOOT Urban Traffic Control System**. Transportation Research Board, The 77th Annual Meeting, Washington, D.C., USA, 1998.
- BRYDIA, R. E.; TURNER, S. M., EISELE, W. L. e LIU, J. C., **Development of an ITS Data Management System**. Transportation Research Board, The 77th Annual Meeting, Washington D.C., USA, 1998.

- CAMBRUZZI, E. e JUNIOR W. K., **Avaliação Experimental da Infra-estrutura Computacional para Sistemas Inteligentes de Transporte**. Artigo apresentado no XVII ANPET, Rio de Janeiro, 2003.
- CANNELL, A., **A taste of discipline: Brazil's electronic enforcement efforts**. Traffic Technology International, p. 65-69, August/September, 2001.
- CARTER, E.C. e HOMBURGER, W.S., **Introduction to Transportation Engineering**. Introduction to Transportation Engineering, Arlington, Virginia, USA, 1978.
- CASCETTA, E., **Estimation of Trip Matrices from Traffic Counts and Survey Data: a Generalized Least Squares Estimator**. Transportation Research, v. 16B, n. 4-5, p. 289-299, 1984.
- CASTLE ROCK CONSULTANTS **Automated Traffic/Truck Weight Monitoring Equipment (Weigh-in-Motion)**, FHWA-DP-88-76-006, May, 1988.
- CAVALCANTI, A. Q. B., **Central De Operação de Trânsito de Baixo Custo**. XV Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes - ANPET, Anais, Campinas - SP, 2001.
- CET-SP – COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO DE SÃO PAULO, **Pesquisa e Levantamentos de Tráfego**, Boletim Técnico 31, 1982.
- CHEN, G., WILSON, J., MECKLE, W. e COOPER, P., **Evaluation of photo radar program in British Columbia**. Accident Analysis and Prevention 32, p. 517–526, Canada, 2000.
- CLOWES, D. J., **Real Time wide area traffic control**. Revista Traffic Engineering & Control, 1985.
- COIFMAN, B. e CASSIDY, M., **Vehicle reidentification and travel time measurement on congested freeways**. Transportation Research Part A, v. 36, p. 899–917, 2002a.
- COIFMAN, B., DHOORJATY, S. e LEE, Z., **Estimating median velocity instead of mean velocity at single loop detectors**. Transportation Research Part C, v. 11, p.211-222, 2003.
- COIFMAN, B., **Estimating Travel Times and Vehicle Trajectories on Freeways Using Dual Loop Detectors**, Transportation Research Part A, v. 36, 2002b.
- COIFMAN, B., **Improved Velocity Estimation Using Single Loop Detectors**, Transportation Research Part A, v. 35, p.863-880, 2001.
- COIFMAN, B., **Real Time Travel Time Measurement Using Dual Loop Speed Traps**. PATH Conference, October 15, 1999.

- DAHLGREN, J.; TURNER, S. e GARCIA, R. C., **Collecting, Processing, Archiving and Disseminating Traffic Data to Measure and Improve Traffic Performance**. Transportation Research Board, The 81 th Annual Meeting, Washington, D.C., USA, 2002.
- DAILEY, D. J., **A Statistical Algorithm for Estimating Speed from Single Loop Volume and Occupancy Measurements**. Department of Electrical Engineering, University of Washington, Seattle, USA, 1999.
- DAILEY, D. J., MEYERS, D., POND, L. e GUIBERSON, K., **Traffic Data Acquisition and Distribution (TDAD) – Final Research Report**. University of Washington, Seattle, Washington, EUA, may, 2002.
- DAILEY, D. J., **Travel Time Estimates Using a Series of Single Loop Volume and Occupancy Measurements**. Transportation Research Board, 76th Annual Meeting, Washington, D.C., USA, January 1997.
- DAVIS, G. A. e NIHAN, N.L., **Using Time-Series Designs to Estimate Changes in Freeway Level of Service Despite Missing Data**, Transportation Research Part A, v. 18A. n. 5/6, pp 431-438, 1984
- DEMARCHI, S. H. e BERTONCINI, B. V., **Determinação de Matrizes O/D Sintéticas a partir de Contagens Volumétricas**. XVIII Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes – ANPET, Anais, Florianópolis, 2004.
- DEMARCHI, S. H., **Influência dos Veículos Pesados na Capacidade e Nível de Serviço de Rodovias de Pista Dupla**, São Carlos, Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.
- DEMASTERS, **RTMS**. [on line]. 2004. Disponível: <http://www.demasters.com.br> [capturado em 29/03/2004]
- DER [on line]. Disponível: <http://www.der.pe.gov.br/lombadas/objetivo.htm> [capturado em 16 jun. 2004]
- DGT – Dirección General de Trafico, Funciones DGT. Disponível: <http://www.dgt.es> [Capturado em 05 ago 2003].
- DIA, H. e ROSE, G., **Development and Evaluation of Neural Network Freeway Incident Detection Models Using Field Data**. Transportation Research Part C, vol 5, p.313-331, 1997.
- DUTRA, C. B. e DEMARCHI, S. H., **Métodos de Coordenação Semafórica: Estado da Arte Versus Estado da Prática em Cidades Brasileiras**. Comunicação Técnica, XVIII Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes – ANPET, Anais, Florianópolis, 2004.
- EC – The European Commission, **Experiences in Belgium, Spain and United Kingdom**. Disponível: <http://europa.eu.int> [capturado em 24 maio 2004]

- ERTICO - European Road Transport Telematics Implementation Coordination Organization, **ITS basics.** Disponível em [http://www.ertico.com/its\\_basi/its\\_basi.htm](http://www.ertico.com/its_basi/its_basi.htm), Capturado [15 mar 2004].
- FARIELLO, B. G., **Travel Time Projects in North America.** Texas Department of Transportation, EUA, 2001.
- FELICI, G.; RINALDI, G.; SFORZA, A.; TRUEMPER, K., **Intelligent Traffic Control: A Logic Programming Approach and a Real Application.** Ricerca Operativa 30, p. 39-60, 2001.
- FHWA - Federal Highway Administration – **Detection Technology for IVHS, USA,** 1995.
- FHWA – Federal Highway Administration, **A Summary of Vehicle Detection and Surveillance Technologies used in Intelligent Transportation Systems.** FHWA Intelligent Transportation Systems Program Office, USA, 2003.
- FHWA – Federal Highway Administration, **Innovative Traffic Control - Technology and Practice in Europe.** International Technology Exchange Program, USA, August, 1999.
- FHWA – Federal Highway Administration, **Traffic Management Centers – The State-of-the-Practice,** Task A Final Draft Paper for Design of Support Systems for Advanced Traffic Management Systems, USA, 1993.
- FRAMARIM, C. S., CARDOSO, G. e LINDAU, L. A., **O Impacto dos Controladores Eletrônicos de Velocidade na Redução dos Acidentes.** Anais do XVII - ANPET - Congresso da Associação Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes, 2003.
- GAULT, H. E., **An on-line measure of delay in road traffic computer-controlled systems,** Revista Traffic Engineering & Control, p. 384-389, July 1981.
- GENEIDY, A. E. e BERTINI, R.L., **Toward Validation of Freeway Loop Detector Speed Measurements Using Transit Probe Data.** Proceedings of the IEEE 7<sup>th</sup> Annual Conference on Intelligent Transportation Systems, Washington, D.C., 2004.
- GERMANI, E., NETO, F. M., SCATENA, J. C., KAYAL, M., BELDA, R. e SANTOS, S. dos, **Planejamento de Transportes.** Apostila do Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica – USP, São Paulo, 1973.
- GOLD, P. A., **Fiscalização Eletrônica de Velocidade.** Publicação , 2003.
- GURALNIK, V. e SRIVASTAVA, J., **Event Detection from Time Series Data.** Department of Computer Science, University of Minnesota, San Diego CA, USA, 1999.
- HALVORSEN, D., **Finger on the Pulse – Piezos on the Rise.** Traffic Technology

- International, June/July, 1999.
- HARLOW, C. e PENG, S., **Automatic Vehicle Classification System With Range Sensors**. Transportation Research Part C, v. 9, p. 231-247, 2001.
- HENRY, L. C. e RECKER, L. W. **PARAMICS Plugin Document – Loop Data Aggregator**. PATH ATMS Center, University of California, Irvine, 2003.
- HUO, H. e LEVINSON D., **Effectiveness of VMS Using Empirical Loop Detector Data**. Project Report, July, 2002.
- INRO Consultants, **EMME2 Transportation Planning System**, disponível em <http://www.inro.ca/products/e2brenagl.pdf>, acessado em 25/07/2004.
- ITS BRASIL [on line]. 2004. Disponível: <http://www.itsb.org.br> [capturado em 22 jul. 2004]
- ITSA – Intelligent Transportation Society of America, **What is ITS?** [on line]. 2003. Disponível: <http://www.itsa.org> [capturado em 14 maio 2004]
- JIMÉNEZ, A. L. e LOPEZ, V. R. T., **Sistemas Inteligentes de Transporte: La Integración e Intercambio de Información en el Marco del Proyecto Euroregional ARTS**. CIT – VI Congreso de Ingeniería del Transporte, Anais, Barcelona, 2004.
- KIKUCHI, S. e D. MILJKOVIC, **A Method to Pre-Process Observed Traffic Data: Application of Fuzzy Optimization Concept**. Transportation Research Board, The 78 th Annual Meeting, Washington, D.C., USA, 1999.
- KLEIN, L. A., **Data Requirements and Sensor Technologies for ITS**. Norwood, MA, Artech House, 2001.
- KLEIN, L.A., **Vehicle Detector Technologies for Traffic Management Applications** [on line]. 1997. Disponível: [http://www.itsonline.com/detect\\_pt1.html](http://www.itsonline.com/detect_pt1.html) e [http://www.itsonline.com/detect\\_pt2.html](http://www.itsonline.com/detect_pt2.html) [capturado em 14 maio 2004]
- KWON, J., VARAIYA, P. e SKABARDONIS, A., **Estimation of Truck Traffic Volume from Single Loop Detector Using Lane-to-lane Speed Correlation**. Transportation Research Board, 82<sup>th</sup> Annual Meeting, Washington, D.C, USA, January 2003.
- LAM, J. e JOHNSON, W., **Back from the Brink**, ITS International, November/December, p. 57-61, 1997.
- LEANDRO, C. H. P., **Procedimento Multicriterial para Estruturação e Caracterização de Sistemas Centralizados de Controle de Tráfego Urbano**, Dissertação: Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia, 2001.

- LIU, H. X., RECKER, W. e CHEN, A., **Uncovering the contribution of travel time reliability to dynamic route choice using real-time loop data**. Transportation Research Part A 38, p. 435–453, 2004.
- LOUREIRO, C. F. G.; LEANDRO, C. H. P. e OLIVEIRA, M. V. T., **Sistema Centralizado de Controle do tráfego de Fortaleza: ITS Aplicado à Gestão Dinâmica do Trânsito Urbano**, Anais do XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Natal, RN, Comunicações Técnicas, p. 19-26, 2002.
- MARQUES, V., **Utilizando o TMS (Transportation Management System) para uma Gestão Eficaz de Transportes**. [on line]. Disponível: <http://www.coppead.ufrj.br/pesquisa/cel/new/fr-public.htm> [capturado em 19 ago. 2004]
- MARQUEZ, A. M., **Control de Transito Urbano**. Editorial Limusa, Mexico, 1979.
- MARSTON, P. P., **Changeable Message Signs: Avoiding Design and Procurement Pitfalls**. Public Roads, v. 57, n.2, 1993.
- MARTIN, P. T., **Detector Technology Evaluation**. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Utah Traffic Lab, November 2003.
- MARTIN, P. T., PERRIN J. e KALVANI, V., **Real Time Measures of Effectiveness**. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Utah Traffic Lab, USA, June 2003
- MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia, **Diretrizes Estratégicas do Fundo Setorial de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Setor de Transportes Terrestres e Hidroviários – CT Transportes**, Brasil, Novembro de 2002.
- MEDEIROS, F. das C., RANGEL, F. e LUNA, M. dos S. **Documento Descritivo do CTAFOR. ETTUSA**. Prefeitura Municipal de Fortaleza, Ceará, 2000.
- MEIRELLES A. A. C., **Sistemas de Transportes Inteligentes: aplicação da telemática na gestão do trânsito urbano**. Revista Informática Pública, n. 1, p. 107-118, Belo Horizonte, 1999.
- MENESES, H. B., CARVALHO, L. E. X. e LOUREIRO, C. F. G., **TRANSCOOT: Uma Interface Lógica para Modelar e Georeferenciar dados Dinâmicos do Tráfego Urbano**, Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes – ANPET, Anais, Rio de Janeiro, 2003.
- MENESES, H. B., **Interface Lógica em Ambiente para Base de Dados de Sistemas Centralizados de Controle de Tráfego Urbano em Tempo Real**, Dissertação: Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.
- MICHALOPOULOS, P.G., JACOBSON R.D., ANDERSON C.A. e BARBARESSO

- J.C., **Integration of Machine Vision and Adaptive Control in the Fast-Trac IVHS Program**. 72nd Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, D.C., Jan. 1993.
- MONTEIRO P. R. S., **Gestão do Tráfego com o uso de dispositivos eletrônicos de controle de velocidade**. Dissertação: Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia, 2004.
- MOON, Y., LEE, J. e KIM, T. J., **Development of Advanced Technologies for Real Time Traffic Information Based on Multi-Type Detectors**, The Korea Transport Institute, 2003.
- MORAIS L. L. e GEYER C. F. R **Framework para suporte a interoperabilidade entre Sistemas de Controle de Tráfego Urbano e Controladores de Campo**. [on line] Disponível: <http://www.inf.ufrgs.br/procpar/disperso/its/projlin.htm>. [Capturado 15 dez 2003].
- MORAIS, L. L., **Estudo Sobre Tecnologias de Computação Aplicadas a Sistemas de Controle de Tráfego Urbano**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Informática, Curso de Pós-graduação em Ciência da Computação, Trabalho Individual, Porto Alegre, março de 1999.
- OLIVEIRA, M. G. S. e RIBEIRO, P. C. M, **Aplicação de sistemas de informações geográficas em coordenação semafórica**. Transporte em Transformação II – Trabalhos vencedores do prêmio CNT produção acadêmica, Ed. Makron Books/Confederação Nacional do Transporte, p. 96 - 109, 1997.
- OLIVEIRA, M. G. S., **Produção e Análise de Planos Semafóricos de Tempo Fixo usando Sistemas de informações Geográficas**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.
- ORTÚZAR, J. D. e WILLUMSEN, L. G., **Modelling Transport**. John Wiley & Sons, Whichester, 1990.
- OTA - Office of Technology Assessment, **Advanced Vehicle/Highway Systems and Urban Traffic Problems**. Washington, USA, September, 1989
- PALACHARLA, P. V. e NELSON, P. C., **Application of fuzzy logic and neural networks for dynamic travel time estimation**. International Transactions in Operational Research, v. 6, p.145-160, 1999.
- PERKONS [on line]. 2004. DISPONÍVEL: <http://www.perkons.com.br/index.php> [capturado em 15 set. 2004].
- PETTY, K. F., BICKEL, P., OSTLAND, M., RICE, J., SCHOENBERG, F. e JIANG, J., RITOV, Y, **Accurate Estimation of Travel Times From Single-Loop Detectors**. Transportation Research Part A, v. 32, n. 01, p. 1-17, 1998.
- PRANZL, M., **Os painéis de mensagem variável como fonte de informação das**

**condições de tráfego: Uma metodologia de suporte ao operador**,  
Dissertação: Mestrado em Engenharia de Transportes, COPPE/UFRJ, 1999.

PTV-VISION, **Integration & Innovation with Ptv Vision**. Publicação, Disponível:  
[www.itc-world.com](http://www.itc-world.com), [capturado em 6 jul. 2004]

PUIGPELAT, A. M. e LÓPEZ, J. L., **DGT Architecture for Traffic Data Management Systems**, Proceeding of the 4<sup>th</sup> International Conference on Application of Advanced Technologies in Transportation Engineering, Capri, Italy, June 27-30, 1995.

QUIROGA, C. A. e BULLOCK, D., **Travel time studies with global positioning and geographic information systems: an integrated methodology**.  
Transportation Research Part C 6, pg. 101-127, 1998.

REBELO, J. J., **Gestão de Tráfego de Vias Urbanas com Características Rodoviárias – Marginais dos Rios Tietê e Pinheiros**. XVII Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes – ANPET, Anais, Rio de Janeiro, 2003.

RIBEIRO, Paulo César Martins. **Planos estatisticamente robustos calculados pelo programa TRANSYT**. Anais do IV Congresso da ANPET, Rio de Janeiro, 1992.

ROBERTSON, D.I., **TRANSYT: A Traffic Network Study Tool**. Report LR 253, Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, U.K.

ROESS, R. P., McSHANE, W. R. e PRASSAS E. S., **Traffic Engineering**. Prentice Hall, 2<sup>nd</sup> ed., United States of America, 1998.

SÁ, V. B. C de, **Contribuição à Aplicação dos Sistemas Inteligentes de Transportes no Gerenciamento de Estacionamentos na Cidade do Rio de Janeiro**. Dissertação: Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, COPPE/UFRJ, 1999.

SAGBERG, F., **Automatic enforcement technologies and systems**. The Escape Project, Technical Research Centre of Finland (VTT), Finland, May 2000.

SANTOS, D. B. L. M. e JACQUES M. A. P., **Impacto dos Conjuntos Fuzzy sobre o Desempenho dos Controladores Semafóricos**. XVII Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes – ANPET, Anais, Rio de Janeiro, 2003.

SHBAKLO, S., BHAT, C., KOPPELMAN, F., LI, J., THAKURIAH, P., SEN., A., ROUPHAIL, N., **Short-Term Travel Time Prediction**. Advance Project Report TRF-TT-01, Illinois University Transportation Research Consortium, Northwestern University Transportation Center, The University of Illinois at Chicago and Urban Transportation Center, August 21, 1992.

SHERALI, H. D., NARAYANAN, A. e SIVANADAN, R., **Estimation of origin–destination trip-tables based on a partial set of traffic link volumes**.

- Transportation Research Part B, v. 37, p.815–836, 2003.
- SHEU, J. e RITCHIE, S. G., **A new methodology for incident detection and characterization on surface streets**. Transportation Research Part C, vol 6, p.315-335, 1998.
- SHLADOVER, S. E., **Pathfinders**. **Traffic Technology International**, p. 53-58, April/May- 2002.
- SILVA, P. C. M. e GASPARINI, R., **Análise de Capacidade de Interseções em Nível**. Apostila, Centro de Formação em Recursos Humanos em Transportes – CEFTRU, Universidade de Brasília, Brasília, 2001.
- SILVA, P. C. M. e JAQUES, M. A., **Introdução à Engenharia de Tráfego**, Apostila, Centro de Formação em Recursos Humanos em Transportes – CEFTRU, Universidade de Brasília, Brasília, 2001.
- SILVA, P. C. M., **Elementos dos Sistemas de Tráfego**, Apostila, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, 2001a.
- SILVA, P. C. M., **Teoria do Fluxo de Tráfego**. Apostila, Centro de Formação em Recursos Humanos em Transportes – CEFTRU, Universidade de Brasília, Brasília, 2001b.
- SINAY, M.C.F., **Notas de Aula**. Disciplina: Métodos de Otimização II. Mestrado em Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia, 2003.
- SOLOMON, M., **A Review of Automatic Incident Detection Techniques**. ADVANCE Program Technical Report NU-1d.1–1 [on line]. 1991. Disponível: <http://ais.its-prgram.anl.gov/reports/REPORTS.html> Aug [capturado em 12 ago. 2004]
- SPÍNDOLA, R. C. M. R. e GRISALES, J. C., **Ingenieria de Trânsito – Fundamentos e Aplicaciones**, 7ª edición, Ed. Alfaomega, México, 1994.
- TRB – Transportation Research Board, **Highway Capacity Manual 2000**, National Research Council, Washington, D.C., 2000.
- TRL - Transportation Research Laboratory, **TRANSYT 11 user guide**, 1999.
- TTI – Texas Transportation Institute, **Houston TranStar Annual Report – 2003**. Houston, Texas, USA, October 2004.
- TUROCHY, R. E., SMITH, B. L., **Alternative Approaches to Condition Monitoring in Freeway Management Systems**. Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, Virginia, EUA, January 2002.
- VEMURI, A. T. e POLYCARPOU, M. M., **Short-Term Forecasting of Traffic Delays in Highway Construction Zones Using On-Line Approximators**. Mathl. Comput. Modelling, v. 27, n. Q-11, p. 311-322, 1998.

- VIANNA, M. M. B., **A Telemática e o Gerenciamento Integrado de Estacionamentos: Uma Estrutura de Procedimentos**. Dissertação: Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, COPPE/UFRJ, 2000.
- WANG Y. e NIHAN N. L., **Can Single-Loop Detectors Do the Work of Dual-Loop Detectors?**, Journal of Transportation Engineering, ASCE, Março/Abril, p.169-176, 2003.
- WEBSTER F.V., **Traffic Signal Settings**. Road Research Laboratory Technical Paper n. 39, HMSO, London, 1958.
- WEBSTER, F. V. e COBBE, B. M., **Traffic Signals**. Road Research Technical Paper, HMSO, London, 1966.
- WINICK R. M., **Using ITS-derived data for Transportation Planning, Programming, and Operations**. North American Travel Monitoring Exhibition Conference, Charlotte, May, 1988.
- WOOTTON, J. R. e ORTIZ A. G., **Intelligent Transportation Systems: A Global Perspective**. Mathl. Comput. Modelling, v. 22, n. 4-7, p. 259-268, Elsevier Science, 1995.
- WORLD BANK, **Institution Building for Traffic Management**. Artigo Técnico n. 8, Washington D.C., Estados Unidos da América, Janeiro de 1983.
- WRIGHT D. A., **Applications of data and information from U.K. Urban Traffic Control Systems**. Revista Traffic Engineering+Control, April, 1995, p. 200-205.
- WSA – Wilbur Smith Associates, **Application of Advanced Technologies to Data Collection for Transportation Planning**. NYSMPO SCI Data Study Steering Committee, USA, August 2002.
- ZHANG, X. e RICE, J. A., **Short-term travel time prediction**. Transportation Research Part C, v. 11, p.187–210, 2003.
- ZILIASKOPOULOS A. K. e WALLER S. T., **An Internet-based geographic information system that integrates data, models and users for transportation applications**. Transportation Research Part C, p.427-444, 2000.
- ZWET V. E., **A statistical method for estimating speed from single loop detectors**, Institute for Transportation Studies, UC Berkeley, McLaughlin Hall, 2003.

## 9. ANEXOS

## 9.1 AMOSTRA DE DADOS FORNECIDA PELA CET-SP

## 9.2 TABELAS DO *HIGHWAY CAPACITY MANUAL* (HCM)

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)