

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DO POTENCIAL DE SISTEMAS CENTRALIZADOS  
PARA CONTROLE DE TRÁFEGO NO BRASIL**

**Hélgio Henrique Trindade Filho**

**Porto Alegre, 2002**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DO POTENCIAL DE SISTEMAS CENTRALIZADOS  
PARA CONTROLE DE TRÁFEGO NO BRASIL**

**Hélgio Henrique Trindade Filho**

**Orientador: Dra. Helena Beatriz Betella Cybis**

**Banca Examinadora:**

**Prof. Dr. Luis Antônio Lindau**

**Prof. Dr. Werner Kraus Jr.**

**Prof. Dra. Lenise Grando Goldner**

**Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia como  
requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia – modalidade  
Profissionalizante – Ênfase Sistemas de Transportes**

**Porto Alegre, 2002**

**Este Trabalho de Conclusão foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de mestre em ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo orientador e pelo coordenador do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.**

---

**Prof<sup>a</sup>. Dra. Helena Beatriz Betella Cybis**

Orientador  
Escola de Engenharia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

**Prof<sup>a</sup>. Dra. Helena Beatriz Bettella Cybis**

Coordenadora  
Mestrado Profissionalizante em Engenharia  
Escola de Engenharia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

BANCA EXAMINADORA

**Prof. Dr. Luis Antonio Lindau**  
PPGEP/UFRGS

**Prof. Dr. Werner Kraus Jr.**  
DAS/UFSC

**Prof. Dra. Lenise Grando Goldner**  
UFSC

**Dedico este trabalho à minha família,  
em especial aos meus pais pelo empenho deles na minha formação,  
à minha esposa Simone,  
por estar sempre presente e me apoiando nos momentos importantes de minha vida  
e ao meu filho Lucas,  
que pacientemente muitas vezes esperou por sua hora para brincarmos.**

## **AGRADECIMENTOS**

**Agradeço aos professores do curso, em especial aos amigos**

**Professores Lindau, Senna e Michel.**

**Agradeço a empresa Digicon pelo seu apoio,  
em especial ao Sr. Joseph Elbling e ao Peter Elbling pelo incentivo.**

**Agradeço especialmente a Professora Helena,  
pela sua paciência e dedicação na orientação deste trabalho.**

# ÍNDICE

|  |             |
|--|-------------|
| <b>LISTA DE FIGURAS</b>  | <b>ix</b>   |
| <b>LISTA DE TABELAS</b>  | <b>x</b>    |
| <b>LISTA DE ABREVIATURAS</b>   | <b>xi</b>   |
| <b>RESUMO</b>  | <b>xvi</b>  |
| <b>ABSTRACT</b>  | <b>xvii</b> |
| <br>   |             |
| <b>1 INTRODUÇÃO</b>  | <b>18</b>   |
| <br>   |             |
| <b>2 HISTÓRICO DO CONTROLE DE TRÁFEGO</b>                                      | <b>20</b>   |
| <br>   |             |
| 2.1 HISTÓRICO DOS EQUIPAMENTOS PARA CONTROLE DE TRÁFEGO                        | 20          |
| 2.2 HISTÓRICO DOS SISTEMAS CENTRALIZADOS DE TRÁFEGO                            | 23          |
| 2.2.1 Sistemas de controle de supervisão em tempos fixos                       | 23          |
| 2.2.2 Sistemas de controle operacional em tempos fixos                         | 25          |
| 2.2.3 Sistemas de controle adaptativos: com seleção de planos e tempo real     | 26          |
| <br>   |             |
| <b>3 EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA: EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÃO</b>                       | <b>29</b>   |
| <br>   |             |
| 3.1 RECOMENDAÇÕES DE INSTALAÇÃO E IMPLANTAÇÃO DE SEMÁFOROS                     | 29          |
| 3.1.1 Tipos de Sinalização Semafórica  | 30          |
| 3.1.2 Arranjo Físico   | 30          |
| <br>   |             |
| 3.2 TIPOS DE GRUPOS SEMAFÓRICOS  | 33          |
| 3.2.1 Semáforo convencional com lâmpada incandescente, halógena e LED          | 33          |
| 3.2.2 Semáforo seqüencial ou com informação de tempo                           | 34          |
| <br>   |             |
| 3.3 TIPOS DE CONTROLADORES SEMAFÓRICOS   | 37          |
| 3.3.1 Controlador eletromecânico   | 37          |
| 3.3.2 Controlador eletroeletrônico   | 38          |
| 3.3.2 Controlador eletrônico microprocessado                                   | 39          |
| <br>   |             |
| 3.4 DISPOSITIVOS PARA SENSORIAMENTO DO TRÁFEGO                                 | 41          |
| 3.4.1 Detetores de pressão, e detetores de botão (pedestres)                   | 42          |
| 3.4.2 Detetores magnéticos e detetores por laço indutivo (loop)                | 43          |
| 3.4.3 Detetores por radar e detetores por ultrassom                            | 44          |
| 3.4.4 Detetores por rádio frequência (RF) e por emissão de luz (infravermelho) | 45          |
| 3.4.6 Detetores por assinatura magnética                                       | 47          |
| 3.4.7 Detetores por imagem (vídeo)   | 47          |

|   |    |
|---|----|
| 3.5 SUBSISTEMAS QUE COMPÕEM OS CENTROS DE CONTROLE .....                  | 48 |
| 3.5.1 Central de Controle de Tráfego por Área (CTA) .....                 | 49 |
| 3.5.2 Central de Rádio e Telefone .....                                   | 49 |
| 3.5.3 Circuito Fechado de Televisão (CFTV) .....                          | 49 |
| 3.5.4 Painéis de Mensagens Variáveis (PMV) .....                          | 50 |
| <br>  |    |
| 4 EVOLUÇÃO DOS CRITÉRIOS DE CONTROLE .....                                | 52 |
| 4.1 TIPOS DE CONTROLE DOS SEMÁFOROS .....                                 | 52 |
| 4.1.1 Controle de semáforos em tempos fixos .....                         | 52 |
| 4.1.2 Controle de semáforos atuados por veículos .....                    | 52 |
| 4.1.3 Controle de semáforos semi-atuados por veículos .....               | 53 |
| 4.1.4 Controle de semáforos coordenados .....                             | 53 |
| <br>  |    |
| 5 ANÁLISE DO PANORAMA DOS SISTEMAS AMERICANOS .....                       | 57 |
| 5.1 APRESENTAÇÃO DA INFRAESTRUTURA ITS METROPOLITANA .....                | 57 |
| 5.1.1 Descrição do sistema de gerenciamento de trânsito arterial .....    | 58 |
| 5.1.2 Aplicação dos sistemas adaptativos nos Estados Unidos .....         | 59 |
| 5.2 BENEFÍCIOS OBTIDOS NOS SISTEMAS DE CONTROLE CENTRALIZADO ---          | 63 |
| <br>  |    |
| 6 ANÁLISE DO PANORAMA DOS SISTEMAS DE CONTROLE NO BRASIL ----             | 66 |
| 6.1 HISTÓRICO DOS SISTEMAS CENTRALIZADOS NO BRASIL .....                  | 66 |
| 6.2 ANÁLISE DO PANORAMA DOS SISTEMAS CENTRALIZADOS NO BRASIL ---          | 68 |
| <br>  |    |
| 7 ANÁLISE DOS TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROLE NO BRASIL .....               | 72 |
| 7.1 COMPOSIÇÃO DE UM SISTEMA CENTRALIZADO DE SUPERVISÃO .....             | 72 |
| 7.1.1 CTC – Controle de Tráfego Centralizado (EPTC - Porto Alegre) .....  | 72 |
| 7.2 COMPOSIÇÃO DE UM SISTEMA CENTRALIZADO OPERACIONAL .....               | 74 |
| 7.2.1 CCO – Centro de Controle Operacional (EMDEC – Campinas) .....       | 74 |
| 7.2.2 Benefícios obtidos na cidade de Campinas com a Centralização .....  | 76 |
| 7.3 COMPOSIÇÃO DE UM SISTEMA CENTRALIZADO: SELEÇÃO DE PLANOS --           | 80 |
| 7.3.1 CTA/JF – Controle de Tráfego em Área (Juiz de Fora – MG) .....      | 80 |
| 7.3.2 CTA – Centro de Controle de Tráfego em Área (Curitiba/PR) .....     | 81 |
| 7.3.3 Benefícios obtidos na cidade de Curitiba com a Centralização .....  | 82 |
| 7.4 COMPOSIÇÃO DE UM SISTEMA CENTRALIZADO EM TEMPO REAL .....             | 83 |
| 7.4.1 SEMIN – Semáforos Inteligentes (CET - São Paulo) .....              | 83 |
| 7.4.2 Benefícios obtidos na cidade de São Paulo com a centralização ..... | 85 |
| 7.4.3 CTAFOR – Controle de Tráfego em Área de Fortaleza .....             | 87 |
| 7.4.4 Benefícios obtidos na cidade de Fortaleza com a centralização ..... | 90 |

|  |                  |
|--|------------------|
| 7.5 ANÁLISE TÉCNICO ECONÔMICA PARA OBTENÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO          | --92             |
| 7.5.1 Estudo da BHTRANS para o CTA-BH                                | -----92          |
| a) Comparativo de custos entre tempos fixos e tempo real             | ----- 94         |
| b) Cálculo da relação custo-benefício                                | ----- 96         |
| c) Contraponto aos cálculos e custos apresentados                    | ----- 97         |
| 7.5.2 Relação “custo x benefício” obtido com a implantação do CTAFOR | -----99          |
| 7.5.3 Conclusões sobre as análises dos dois estudos                  | -----100         |
| <b>8 ADEQUAÇÃO DOS SISTEMAS À NOSSA REALIDADE</b>                    | <b>-----102</b>  |
| 8.1 APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA   | -----104         |
| a) Estrutura de implantação em etapas                                | -----105         |
| b) Integração dos diversos sistemas de controle urbano               | -----105         |
| 8.1.1 Estrutura de implantação em etapas                             | -----105         |
| 8.1.2 Etapas crescentes para a central de controle                   | -----108         |
| a) Modo Supervisão   | ----- 109        |
| b) Modo supervisão e operação  | ----- 111        |
| c) Modo adaptativo (realimentado)                                    | -----112         |
| 8.1.3 Distribuição da informação                                     | ----- 112        |
| 8.1.4 Integração dos sistemas de controle urbano                     | ----- 113        |
| 8.1.5 Estimativas de custos para implantação em etapas               | -----114         |
| 8.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A PROPOSTA E CUSTOS ENVOLVIDOS        | -----116         |
| <b>9 CONCLUSÕES</b>  | <b>-----117</b>  |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>                                    | <b>----- 120</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|  |        |
|--|--------|
| Figura 1: Instalação semafórica típica recomendada pela CET-SP -----             | pg. 31 |
| Figura 2: Modelos de grupos semafóricos utilizados no Brasil -----               | pg. 34 |
| Figura 3: Tipo de semáforo seqüencial em uso no Brasil -----                     | pg. 36 |
| Figura 4: Tipo de semáforo com display auxiliar de tempo em uso no Brasil -----  | pg. 36 |
| Figura 5: Controlador eletromecânico de tráfego -----                            | pg. 38 |
| Figura 6: Tipos de modelos de controladores eletrônico e microprocessado -----   | pg. 40 |
| Figura 7: Exemplo de detetor veicular por radar -----                            | pg. 44 |
| Figura 8: Exemplo de detetor veicular por infravermelho -----                    | pg. 46 |
| Figura 9: Exemplo de detetor veicular por imagem -----                           | pg. 47 |
| Figura 10: Foto de Centro de Controle de Tráfego -----                           | pg. 48 |
| Figura 11: Câmera de CFTV instalada no Rio de Janeiro (CET-Rio) -----            | pg. 50 |
| Figura 12: Tipo de painel de mensagem variável PMV -----                         | pg. 51 |
| Figura 13: Coordenação semafórica apresentada em diagrama de tempo e distância – | pg. 54 |
| Figura 14: Centros de Controle de Tráfego americanos -----                       | pg. 59 |
| Figura 15: Centro de Controle em São Paulo (SEMCO) -----                         | pg. 67 |
| Figura 16: Mapa de Campinas com a área controlada pela central CCO -----         | pg. 75 |
| Figura 17: Rotas definidas para medição dos benefícios em Campinas -----         | pg. 77 |
| Figura 18: Gráfico do perfil de tráfego da Av. Andrade Neves -----               | pg. 78 |
| Figura 19: Foto do CTA1 em São Paulo (CET-SP) -----                              | pg. 85 |
| Figura 20: Foto do CTA de Fortaleza (CTAFOR) -----                               | pg. 88 |
| Figura 21: Foto do CFTV do CTAFOR -----  | pg. 89 |
| Figura 22: Foto dos Painéis de Mensagem Variável do CTAFOR -----                 | pg. 89 |

## LISTA DE TABELAS

|   |         |
|---|---------|
| Tabela 1: Vantagens e desvantagens dos diferentes sistemas de controle -----        | pg. 27  |
| Tabela 2: Vantagens e desvantagens dos semáforos antes e depois do cruzamento ---   | pg. 32  |
| Tabela 3: Cidades americanas com sistemas adaptativos (ACS) implantados -----       | pg. 61  |
| Tabela 4: Comparação de custo do SCOOT com um sistema de tempos fixos -----         | pg. 62  |
| Tabela 5: Estimativas de custos dos diferentes sistemas ACS instalados nos EUA ---- | pg. 62  |
| Tabela 6: Benefícios obtidos em cidades que utilizam sistemas centralizados -----   | pg. 64  |
| Tabela 7: Cidades brasileiras com central de tráfego implantada -----               | pg. 70  |
| Tabela 8: Redução de atrasos e tempos de percurso após a centralização -----        | pg. 79  |
| Tabela 9. Velocidade Média na Rota 2403 (Cambuci - Vila Mariana) -----              | pg. 86  |
| Tabela 10. Velocidade Média na Rota 2404 (Vila Mariana - Cambuci) -----             | pg. 87  |
| Tabela 11. Índice de Permanência nas Rotas 2403 e 2404 -----                        | pg. 87  |
| Tabela 12: Volumes veiculares nas rotas N, S, L e O nos horários de pico -----      | pg. 90  |
| Tabela 13: Redução percentual do atraso total -----                                 | pg. 91  |
| Tabela 14: Custos estimados da central de supervisão e operação de tempos fixos --  | pg. 114 |
| Tabela 15: Custos estimados da central adaptativa com seleção de planos (SAP) ----  | pg. 114 |
| Tabela 16: Custos estimados da central adaptativa com controle em tempo real -----  | pg. 115 |
| Tabela 17: Custos estimados dos subsistemas que compõem o centro de controle ---    | pg. 116 |

## LISTA DE ABREVIATURAS

- ACS - Adaptive Control Strategies, refere-se aos sistema realimentados, adaptativos às condições de tráfego, que utilizam algoritmos para efetuar este controle.
- ATS - Automatic Traffic Signals, referia-se na década de 60 aos primeiros equipamentos para controle semafórico automático. Foi utilizada para diferenciar do sistema manual.
- ATSAC – Automated Traffic Surveillance And Control, sistema de controle centralizado utilizado em cidades americanas como Los Angeles.
- ATMS - Advance Traffic Managment Systems, um padrão de sistema centralizado para gerenciamento e controle de tráfego urbano, baseado no princípio de integração de diversos sistemas através da distribuição das informações entre eles.
- BSE – Braslínea Serrel Eletrônica, empresa nacional que comercializa equipamentos e sistemas para controle de tráfego de origem e tecnologia francesa (Serrel).
- CCO – Centro de Controle Operacional, refere-se ao conjunto de sistemas de controle que formam um centro de operações, normalmente composto de central de tráfego, central de rádio e telefone, CFTV, e outros.
- CET-SP – Companhia de Engenharia de Tráfego da cidade de São Paulo, empresa pública responsável pela gestão, operação e fiscalização do trânsito na cidade de São Paulo-SP.
- CET-Rio – Companhia de Engenharia de Tráfego da cidade do Rio de Janeiro, empresa pública responsável pela gestão, operação e fiscalização do trânsito e transporte da cidade do Rio de Janeiro-RJ.
- CFTV – Circuito Fechado de Televisão, subsistema de um centro de controle responsável por transmitir imagens do cruzamento para uma central através de infraestrutura de cabos, centralizador, câmeras e monitores de TV.

CTA - Controle de Tráfego em Área, nomenclatura normalmente utilizada para referir-se a um sistema de controle de tráfego centralizado.

CTAFOR – Controle de Tráfego em Área de Fortaleza, refere-se ao nome do sistema adotado para a instalação do sistema de controle em tempo real (CTA) na cidade de Fortaleza.

CTA/JF – Controle de Tráfego em Área de Juiz de Fora, refere-se ao nome do sistema adotado para a instalação do sistema de controle adaptativo com seleção de planos (CTA) na cidade de Juiz de Fora-MG.

CTC – Controle de Tráfego Centralizado, nomenclatura adotada pela cidade de Porto Alegre referente ao seu sistema de controle centralizado de tráfego.

DATAPROM – Empresa nacional, com sede em Curitiba, fabricante de equipamentos e sistemas para controle de tráfego e transporte.

DIGICON – Empresa nacional, com sede em Gravataí, fabricante de equipamentos e sistemas para controle de tráfego, transporte e estacionamentos (parquímetros).

EMDEC – Empresa Municipal para o Desenvolvimento de Campinas, empresa pública responsável pela gestão, operação e fiscalização do trânsito e transporte da cidade de Campinas-SP.

EPTC – Empresa Pública de Transporte e Circulação, empresa pública responsável pela gestão, operação e fiscalização do trânsito e transporte da cidade de Porto Alegre-RS.

ETTUSA – Empresa de Transporte e Trânsito Urbano S.A., empresa pública responsável pela gestão, operação e fiscalização do trânsito e transporte da cidade de Fortaleza-CE.

GET – Gerência de Engenharia de Tráfego, são gerências regionais da CET-SP que são responsáveis pela operação do trânsito da região. São Paulo possui cinco GETs sendo que cada uma possui uma central de tráfego (CTA).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas, instituto responsável por pela realização do censo nacional para levantamentos de dados como população, renda per capita e outros.

ITACA – Intelligent Traffic Adaptive Control Area, sistema de controle centralizado de tráfego adaptativo em tempo real desenvolvido na Espanha, tem como princípio realizar ajustes nos verde, ciclo e defasagens dos semáforos para se adaptar às condições atuais de tráfego.

- ITS – Intelligent Transportation System, conceito que se define pela aplicação de tecnologias para a melhoria da performance dos sistemas de transportes.
- IVHS – Intelligent Vehicle Highway Systems, programa para desenvolvimento e aplicações relacionadas a infraestrutura de transporte e seus operadores, para veículos individuais e seus usuários, e análise de seus deslocamentos em geral se eles são planejados ou são em rotas. Este programa tem participação de países da Europa, Estados Unidos, Austrália e Japão.
- LED – Light Emission Diode ou Diodo Emissor de Luz, é um componente eletrônico muito utilizado para informações luminosas, como pequenas lâmpadas, nos equipamentos eletrônicos por causa do seu baixo consumo, alta luminosidade e grande durabilidade.
- LQ – Lâmpada Queimada, é uma abreviação codificada utilizada comumente pelos operadores e técnicos de trânsito para comunicar esta falha no cruzamento normalmente por rádio.
- LPCD – Linha Privada para Comunicação de Dados, é uma conexão através de linha telefônica dedicada de alta performance para transmissão de dados.
- MTBF – Mean Time Between Failure, representa o tempo médio entre falhas de um equipamento eletrônico, servindo para medir a sua eficiência em relação a custo de manutenção.
- MTTR – Mean Time To Repair, representa o tempo médio para reparar uma falha de um equipamento eletrônico, servindo para medir sua dificuldade de manutenção.
- PEEK – Empresa inglesa fabricante de equipamentos e sistemas para controle de tráfego. Responsável pela comercialização de sistema SCOOT.
- PHILLIPS – Empresa australiana que fabrica equipamentos e sistemas para controle de tráfego.
- PMV – Painéis de Mensagem Variáveis, subsistema de um centro de controle responsável por apresentar informações aos usuários através de mensagens variáveis na via.
- PROCEMPA – Empresa de Processamentos de Dados do Município de Porto Alegre.
- RTD – Rede de Transmissão de Dados, rede dedicada para interligação de controladores eletrônicos de tráfego entre si e entre o sistema centralizado de controle.

SAP – Seleção Automática de Planos, método utilizado para sistema de controle centralizado de tráfego adaptativo, baseado na seleção ou escolha automática de planos de tráfego predefinidos, segundo análise de sensores de tráfego (detetores). O mesmo que APS (Automated Plan Selection).

SAINCO – Empresa espanhola fabricante de equipamentos e sistemas para controle de tráfego. Responsável pelo desenvolvimento e comercialização do sistema ITACA.

SCATS – Sydney Coordination Automatic Traffic System, sistema de controle centralizado de tráfego adaptativo em tempo real desenvolvido na Austrália, tem como princípio realizar ajustes nos tempos de verde, ciclo e defasagens dos semáforos para se ajustar às condições atuais de tráfego.

SCOOT – Split, Cycle and Offset Optimization Technique, sistema de controle centralizado de tráfego adaptativo em tempo real desenvolvido na Inglaterra, tem como princípio realizar ajustes nos tempos de verde, ciclo e defasagem dos semáforos para se adaptar às condições atuais do tráfego.

SEMCO – Semáforos Coordenados, sistema de controle centralizado de tráfego baseado em tempos fixos coordenados. Este sistema foi implantado na cidade de São Paulo na década de 1980.

SEMIN – Semáforos Inteligentes, nome dado ao programa de implantação dos sistemas de controle de tráfego em área (CTA) adaptativo em tempo real, na cidade de São Paulo, em meados de 1995.

SIEMENS – Empresa alemã fabricante de equipamentos e sistemas para controle de tráfego. Responsável pela comercialização do sistema SCOOT.

SOMA – Sistema de Ônibus Monitorado Automaticamente, nome dado ao projeto de monitoração das linhas de ônibus com informações de horários de chegada nas paradas, tempos de percurso de linha em tempo real, aplicado na cidade de Porto Alegre.

TESC – Empresa nacional, com sede em São Paulo, fabricante de equipamentos e sistemas para controle de tráfego.

TRANSYT – Software baseado em modelo e algoritmo desenvolvido pelo laboratório de pesquisa em transporte inglês, TRRL, para cálculo de interseções minimizando os atrasos e paradas.

TRANSYT 7F – Software desenvolvido no Estados Unidos, baseado no TRANSYT inglês com modelo e algoritmo adaptado as características americanas de controle e otimização.

TRRL – Transportation Road Research Laboratory, laboratório e centro de pesquisa inglês na área de trânsito e transportes, mundialmente reconhecido e respeitado por suas publicações e pesquisas.

## RESUMO

Este trabalho realiza uma análise do potencial dos sistemas centralizados para controle de tráfego no Brasil, executando uma comparação entre as diferentes tecnologias disponíveis, e os conseqüentes resultados obtidos. Estes resultados são apresentados, através de “cases”, na forma de benefícios obtidos, comparados com os custos associados para a implantação de cada sistema. As partes que compõem estes sistemas são apresentadas através de um histórico do controle de tráfego e das evoluções tecnológicas dos equipamentos e dos critérios de controle utilizados. Um resumo dos panoramas atuais, americano e brasileiro, permite uma comparação, quanto à utilização e investimentos em sistemas centralizados para controle de tráfego. Ao final do trabalho é apresentada uma proposta, adequada à realidade brasileira, para implantação de sistemas centralizados de tráfego, baseada em uma metodologia de implantação em etapas, com investimentos e benefícios crescentes, atendendo gradativamente à demanda de cada município.

## **ABSTRACT**

This work makes an analysis of urban traffic control systems and their potential use in Brazil. It presents a comparison between different available technologies and their results. This work presents, case studies, and analyses the benefits and associated costs of implementation of each system. The components of these systems are described through a historic overview of traffic control technology evaluation of equipments and the control features. A summary of today's, American and Brazilian panorama, allows a comparison, of urban traffic control systems regarding their use and investments required. This work also proposes a stepwise methodology for implementation of urban traffic control systems, adapted to the Brazilian reality. This methodology is based on an incremental investment criteria in order to attend increasing demand of traffic city.

# CAPÍTULO 1

*“Sem dúvida alguma o controle de tráfego urbano é uma arte imprecisa” (Clowes, 1980).*

## 1 INTRODUÇÃO:

A maioria das grandes cidades vem sofrendo com o aumento progressivo da frota de veículos em circulação, somado à impossibilidade de se implementar no mesmo ritmo a oferta de capacidade viária. Os congestionamentos, com certeza, um dos principais problemas de trânsito enfrentado pelos municípios, tem cada vez mais aumentado em duração e extensão, penalizando os usuários nos seus deslocamentos. Uma alternativa para controlar este desequilíbrio e reduzir os custos associados aos congestionamentos, tem sido a adoção de sistemas centralizados para o controle do tráfego.

### 1.1 OBJETIVOS

#### 1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consiste na análise comparativa do potencial dos sistemas de controle centralizado de tráfego no Brasil, buscando através de uma revisão da sua evolução, discutir e apresentar alternativas viáveis e adequadas à realidade de cada cidade. Estas alternativas devem ser embasadas principalmente nas relações de benefício e custo, que mesmo difíceis de serem encontradas, devem servir como critério dorsal para a escolha do tipo de sistema a ser implantado.

#### 1.1.2 Objetivos específicos

- a) Realizar uma revisão do histórico dos sistemas de controle de tráfego, apresentando a evolução tecnológica dos equipamentos e componentes deste sistema;
- b) Realizar uma revisão do estado atual da prática do controle de tráfego no Brasil e no mundo, através de estudos de casos;
- c) Construir uma proposta para implantação de sistemas para controle de tráfego adaptado as cidades brasileiras.

### 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO:

No capítulo 2, é apresentado um breve histórico da evolução dos equipamentos e sistemas para controle de tráfego no mundo, basicamente nos Estados Unidos e Inglaterra, que formam os elementos básicos para os sistemas modernos.

No capítulo 3, é destacar a evolução tecnológica dos equipamentos para controle e suas instalações, como os tipos de semáforos, os diferentes controladores de tráfego, os variados sistemas de detecção veicular e finalmente os sistemas centralizados de controle.

No capítulo 4 consiste na apresentação das diferentes utilizações e programações dos semáforos em interseções, ou seja, de forma isolada, coordenada, atuada, semi-atuada e suas variações, de forma a construir os conceitos e os critérios de controle usados nos sistemas centralizados de tráfego, que são foco principal deste trabalho.

O capítulo 5 descreve o panorama atual dos sistemas de controle semafórico nos Estados Unidos, destacando as tendências modernas de sistema centralizados e integrados. Comparativamente.

No capítulo 6 é apresentado o panorama atual dos sistemas de controle semafórico no Brasil. Enquanto no capítulo 7, alguns sistemas instalados em cidades brasileiras serão descritos com o objetivo de propor uma análise da suas estruturas operacionais, bem como apresentar medições de ganhos e benefícios obtidos com a suas implantações. Estes benefícios servirão de base para traçar relações de custo-benefício em novas implantações.

No capítulo 8 é apresentada a proposta de implantação de sistemas centralizados para controle de tráfego. A proposta, dividida em múltiplas etapas, baseia-se na adequação do crescimento da funcionalidade dos sistemas, proporcional aos investimentos e as necessidades operacionais de cada cidade. Serão apresentados para fins de comparação os custos de implantações de cada uma das etapas propostas, para permitir uma visualização da sua viabilidade técnica e financeira, e como um critério comparativo para uma análise técnica e econômica.

## CAPÍTULO 2

### 2 HISTÓRICO DO CONTROLE DE TRÁFEGO

A evolução tecnológica do controle de tráfego no mundo, segundo os principais autores desta matéria, foi certamente um passo importante para a sociedade organizada, e conforme poderá ser observado neste capítulo, esteve sempre dividida em duas importantes correntes de estudos, a inglesa e a americana. É, inclusive, difícil afirmar categoricamente qual dos países realizou antes este invento, bem como as suas evoluções.

Nota-se, entretanto, que estas duas correntes buscam encontrar o melhor benefício na atividade de controle de tráfego, necessária inicialmente para ordenar o trânsito e posteriormente para fazê-lo fluir de forma organizada e eficiente. Atualmente, o controle de tráfego urbano é com certeza uma das ferramentas mais importante para a solução de problemas das cidades, principalmente os relativos aos congestionamentos. Especialmente por ser uma solução que tem por objetivo a racionalização e otimização do uso da infraestrutura viária. A ampliação da sua capacidade, através de obras como alargamentos, viadutos, túneis, está cada vez mais difícil por ser muito dispendiosa. Também em muitos casos estas obras são inviáveis por falta de condições técnicas locais, como mobiliário e geografia urbana, plano diretor, entre outros.

#### 2.1 HISTÓRICO DOS EQUIPAMENTOS PARA CONTROLE DE TRÁFEGO

Antes da chegada dos motores a combustão interna, as carroças necessitavam de muito pouco controle de tráfego. O motor à combustão transformou o tráfego e criou a necessidade de seu controle nas vias, que iniciou com o criação de uma polícia para trânsito. Com a finalidade de facilitar esta tarefa, os sinais de tráfego luminosos, os semáforos como hoje são conhecidos, começaram a ser desenvolvidos no início do século, e na década de 30 o primeiro semáforo automático nos padrões modernos apareceu no Reino Unido. Este primeiro semáforo era um simples dispositivo de tempos fixos onde cada rota recebia um direito de passagem, com um

tempo pré programado numa seqüência pré definida sem qualquer referência para a demanda de tráfego no cruzamento (Clowes,1980).

No entanto o primeiro semáforo que se teve notícia, teria sido instalado em Westminster na Inglaterra, em 1868. Embora sua função fosse a de ordenar os direitos de passagem, este dispositivo era muito diferente dos que conhecemos hoje. O precursor dos semáforos, que era chamado de semáforo-braço (semaphore-arm), possuía lâmpadas de gás para uso noturno, nas cores vermelho e verde. Segundo os relatos, uma explosão ocorrida interrompeu novas experiências por pelo menos meio século. Desta forma, apenas em 1918 o primeiro semáforo com lâmpadas de três cores, operado manualmente, foi instalado em Nova York. (Webster e Cobbe, 1966).

Por volta de 1925 um modelo semelhante foi utilizado pela polícia de Piccadilly em Londres, Inglaterra. E já no ano seguinte, o primeiro semáforo operado automaticamente foi instalado na Grã Bretanha em Wolverhampton. Este semáforo foi importado dos americanos, que teriam aperfeiçoado o invento inglês. Esta geração era chamada pela sigla ATS (Automatic Traffic Signals) para diferenciá-los dos antigos semáforos manuais. Estes semáforos eram baseados num sistema de motor alimentado pela rede de corrente alternada (AC) que definia o ciclo das fases do controlador. Estes controladores eram chamados controladores baseados na fase, hoje conhecidos no Brasil como eletromecânicos e ainda muito utilizados. A limitação deste tipo de controlador é que ele opera apenas em tempos fixos. No próximo capítulo serão apresentados mais detalhes sobre sua operação.

O desenvolvimento natural do método de controle de tráfego, e a exigência de uma maior flexibilidade no controle, caminhou da operação manual para o semáforo automático de tempos fixos (fixed-time signals), onde se definem períodos de “pare e siga” (stop and go) pré-determinados. Estes semáforos eram, e ainda são adequados, para as condições de tráfego simples, mas não se mostraram muito eficientes em interseções onde o volume de tráfego variava consideravelmente. Por isto, surgiram as programações de controle do tráfego, os chamados planos de tráfego. Cada plano pré-definido permite alterações nos tempos de verdes em períodos do dia, para adequar-se a variabilidade do tráfego nos diferentes horários. Em algumas avenidas que possuíam um grande número de cruzamentos, estes semáforos foram interligados, de forma a se obter um período de verde para o avanço ao longo da via (onda verde). Desta forma, grupos de veículos, os chamados pelotões, tinham sua viagem não interrompida quando trafegavam em

velocidade determinada, por uma série de interseções. Este foi o conceito básico para o desenvolvimento da coordenação semafórica.

No Reino Unido esta forma de controle em malha aberta (open loop), ou seja, sem realimentação de sensores, logo abriu caminho para o controle de tráfego com atuação veicular, com veículos sendo detectados por sensores pneumáticos construídos sob o pavimento da via. Porém nesta época nem todos os países seguiram por este caminho, em particular os Estados Unidos tendeu na direção dos sistemas de tempos fixos coordenados, com os semáforos adjacentes interligados. Esta interligação era particularmente conveniente para a malha viária norte-americana (Clowes, 1980).

No entanto, o primeiro semáforo com controle veicular, que se teve notícia, foi fabricado nos Estados Unidos ainda nos anos 30. Neste equipamento a detecção era realizada por microfones instalados ao lado da via que captavam os sons provenientes dos veículos. Porém ocorreram alguns problemas, e o método da utilização de contatos elétricos colocados no caminho dos veículos, foi em seguida testado. Deste método surgiu o princípio utilizado até recentemente em algumas rodovias do Brasil, a detecção com tubos pneumáticos. O ar deslocado em um tubo, pela passagem de um veículo sobre ele, é capaz de ativar os contatos elétricos do sistema colocado à margem da via (Webster e Cobbe, 1966). Outros tipos de detetores, como laços indutivos (inductive loops), radar, magnético e ultra-som também foram usados na Inglaterra já nesta época, e serão descritos com maiores detalhes no próximo capítulo.

O primeiro semáforo atuado por veículo na Gran Bretanha foi instalado em 1932, no cruzamento da Gracechurch Street com a Cornhill na cidade de Londres. Infelizmente a história se repetiu e ocorreu uma explosão no controlador. O semáforo atuado renasce estabilizado, e três anos mais tarde o primeiro sistema interligado (linked systems), constituído por controladores atuados por veículos, foi instalado em Londres e Glasgow. Na década de 60, já existiam em torno de 4.000 semáforos instalados na Grã Bretanha, dos quais mil (1.000) estavam na área da Grande Londres. (Webster e Cobbe, 1966).

## 2.2 HISTÓRICO DOS SISTEMAS CENTRALIZADOS DE TRÁFEGO

O advento da tecnologia do Controle de Processo Computadorizado (Process Control Computer) na década de cinquenta, propiciou que a coordenação de um grande número de semáforos em uma área de uma cidade fosse possível. O surgimento das centrais de controle de área, como são hoje conhecidas no Brasil, foram baseados nos UTCs (Urban Traffic Control). Originalmente as centrais de controle eram denominadas de ATC (Area Traffic Control), mas em meados dos anos 70 esta terminologia foi alterada para UTC, provavelmente para distingui-la dos sistemas de controle de tráfego aéreo já existentes (Air Traffic Control). No entanto no Brasil a nomenclatura original permanece até hoje.

Já na época de seu surgimento, previa-se que estes sistemas centralizados, além do controle dos semáforos, executassem o controle de mensagens, monitorassem estacionamentos de veículos, e provessem a priorização para o transporte público e veículos de emergência como bombeiros, ambulância e polícia. (Clowes, 1980).

### 2.2.1 Sistemas de controle em tempos fixos:

Os UTCs (Controle de Tráfego Urbano) instalados no Reino Unido nos anos sessenta e setenta, eram na grande maioria, sistemas de tempos fixos com laço aberto, ou seja, sem realimentação de sensores (detetores) e foram desenvolvidos baseados em pesquisa do Departamento de Transporte de West London na década de 60. Um dos motivos para não utilizar detetores é atribuída à tecnologia disponível na época, onde a vida média dos detetores após sua instalação era de seis semanas. Já nesta época, as principais cidades do Reino Unido tinham um sistema central UTC instalado ou em estágio avançado de implantação, e algumas cidades menores também estavam avaliando a sua implantação.

O sistema de controle centralizado (UTC) normalmente era baseado em dois mini computadores para o controle do processo. Estes eram conectados via linha dos correios e telégrafos para todos os controladores de tráfego, e detetores de tráfego na área a ser controlada (Controle em Área). Alguns sistemas possuíam uma sala de controle centralizado com um Circuito Fechado de Televisão (CFTV).

A observação do tráfego nos grandes centros levou a constatação de que este era um fenômeno dominado por eventos como os horários de aberturas de fábricas e lojas, ocorrendo em

instantes similares em cada dia. Com isto era possível prever um comportamento futuro do tráfego com razoável precisão na malha e naqueles momentos do dia. Podia se prever também em quais períodos da semana aquele padrão se repetiria. Esta previsão de tráfego pode ser inserida em um modelo da malha viária e os atrasos poderiam então ser calculados.

O segredo do sucesso dos UTCs estava justamente no método de cálculo para otimização dos tempos dos semáforos a partir das informações e dados do tráfego. Muitos métodos foram desenvolvidos e testados até que o Laboratório de Pesquisa de Transporte e Trânsito (TRRL) desenvolveu o programa de computador denominado TRANSYT (Vincent et *al.*, 1980). A programação semaforica que este modelo gera, baseia-se no cálculo dos atrasos em semáforos de tempos fixos e na minimização destes atrasos para os diferentes horários, obtendo-se os planos de tráfego. Este método de cálculo foi o que obteve o maior sucesso e por isto se popularizou em vários países, inclusive no Brasil.

Extensivos estudos publicados sobre a performance deste sistema experimental em West London apresentaram benefícios substanciais. Os testes mostraram reduções em todos os tempos de percurso médio de 10 a 30%. As autoridades do Reino Unido registraram também redução de acidentes com a introdução do sistema de controle de tráfego urbano (Clowes 1980). Estudos em Glasgow apontaram ganhos com estas otimizações na ordem de 50% na redução de atrasos e de 8 a 10% de redução média nos tempos de percurso.

O advento do UTC propiciou uma mudança radical na organização de manutenção dos semáforos. Pelo registro automático de falhas, a organização para manutenção se torna muito mais eficaz, eliminando os tempos para descoberta ou informação do problema por agentes ou usuários de sistema viário. O defeito nos semáforos é uma das maiores causas de atrasos e congestionamentos, e portanto, o melhoramento no nível de serviço pela velocidade de reconhecimento e reparo das falhas quando estas ocorrem, é da maior importância (Hulscher, 1977).

Enquanto os fluxos de horário de pico e fora do pico não se alteravam muito e as filas nos pontos críticos da rede sofriam pequenas variações, o sistema UTC de tempos fixos funcionava muito bem. No entanto, os surgimentos de alguns eventos imprevistos como veículos quebrados, situações de emergência e eventos especiais alteravam estes fluxos significativamente. Como os planos de tempos fixos por sua característica não prevêm estas variações, surgiu a necessidade de permitir a intervenção no sistema através dos operadores, surgindo assim os chamados sistemas centralizados de controle operacional.

### **2.2.2 Sistemas de controle operacional em tempos fixos:**

Na década de setenta na Inglaterra, as centrais baseadas em tempos fixos exigiam dos operadores várias horas de observação em campo para ajuste dos planos. Embora estas revisões fossem efetuadas a cada seis meses, observou-se que ainda assim não eram capazes de prever grandes variações de fluxos de tráfego, causadas por quebra de veículos, acidentes, eventos não previstos ou até um jogo de futebol. A partir disto, verificou-se a necessidade e a possibilidade dos operadores das centrais intervirem nas programações dos sistemas, como por exemplo, alterar a tabela horária para entrada de planos, ou até alterar os tempos dos semáforos.

Neste sistema de controle operacional, o operador dispõe de algumas informações provenientes de detetores veiculares. Os detetores, normalmente colocados nos principais cruzamentos, efetuam contagens e medem a ocupação, permitindo ao operador tomar algumas decisões relativas a alterações de planos. O operador pode eventualmente ainda contar com um sistema de Circuito Fechado de Televisão (CFTV) para habilitá-lo a monitorar o tráfego visualmente. As câmeras são instaladas nas vias e cruzamentos de maior fluxo. As informações de técnicos e agentes de trânsito sobre a situação atual do trânsito podem também auxiliar o operador nestas decisões e ações através de sistema de rádio comunicador.

Com isto, os operadores são capazes de executar algumas ações nos momentos críticos que os planos pré-definidos não resolvem. Estas ações são efetuadas com o acionamento de um plano pré-programado para um horário diferente, ou até mesmo um plano de emergência (prioritário). Desta forma planos especiais deverão estar disponíveis para serem utilizados nestas situações específicas, como por exemplo, um jogo de futebol, ou um determinado nível de fluxo não previsto em um horário de uma via. Os operadores podem também efetuar a alteração nos tempos do plano vigente, modificando a distribuição dos verdes, das defasagens e dos tempos de ciclo.

### **2.2.3 Sistemas de controle adaptativo: com seleção de planos e tempo real:**

Nos anos 70, em algumas partes do mundo, os sistemas já estavam sendo desenvolvidos e utilizados com estratégia de controle em realimentação com malha fechada, baseado nas informações dos detetores veiculares. Existem duas estratégias principais para este tipo de sistema.

A primeira estratégia de controle adaptativa é baseada na seleção automática de planos (SAP), onde o algoritmo mede os estado dos detetores veiculares e um plano de tempo fixo apropriado para aquela condição é selecionado. Isto é similar aos sistemas UTC do Reino Unido descrito anteriormente, com a diferença que a alteração da tabela de tempos é dependente das condições de tráfego nos diferentes momentos do dia. O exemplo mais conhecido de um sistema que foi projetado originalmente com esta filosofia é o SCATS (Sidney Coordination Automatic Traffic Systems), desenvolvido e implementado em Sydney na Austrália (IHT, 1987).

O sistema SCATS foi desenvolvido em 1970 pelo RTA (Roads and Traffic Authority) de New South Wales, Austrália. A operação baseia-se no uso de sensores veiculares, para monitoração do fluxo de tráfego e desta forma modificar os tempos das interseções coordenadas para minimizar paradas e atrasos. O SCATS procura maximizar a capacidade do sistema e minimizar a possibilidade de congestionamento pelo controle da formação de filas. (Taylor, 1998)

A segunda estratégia de controle adaptativa baseia-se em medir todo o tráfego, calcular e alterar os parâmetros dos semáforos em tempo real. O exemplo mais conhecido deste tipo de sistema é o SCOOT (Split Cycle and Offset Optimization Technique). Este sistema começou a ser desenvolvido em 1973 no Reino Unido e foi um excelente exemplo de cooperação entre governo e indústria. (Bretherton et al. 1986). No início da década de 90 já estava operando em pelo menos 40 cidades, incluindo Hong Kong. (Sheperd,1992)

A Tabela 1 resume de forma comparativa as vantagens e desvantagens de cada um dos diferentes tipos de sistemas centralizados de tempos fixos, e os adaptativos com seleção de planos e em tempo real.

**Tabela 1:** Vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de sistemas de controle

| <b>Tipos de Sistemas de Controle</b>            | <b>Vantagens</b>   | <b>Desvantagens</b>   |
|---|--|---|
| <b>Sistema de Tempos Fixos</b>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo custo de instalação e manutenção</li> <li>• Pode ser implementado usando equipamentos de controle não centralizados</li> <li>• Familiaridade para programação pelos técnicos do órgão</li> <li>• Ondas verdes são mais facilmente implementáveis</li> <li>• Pode priorizar tipos de veículos específicos mais facilmente</li> </ul>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessita de grande quantidade de dados para coleta e atualização</li> <li>• Os planos semaforicos necessitam de revisões periódicas</li> <li>• Ruptura de coordenação nas trocas de planos semaforicos</li> <li>• Necessita de atuação do operador em casos de incidentes e variações de fluxo imprevistas</li> <li>• Não permite tratar pequenas flutuações de tempos para os níveis de fluxo</li> </ul> |
| <b>Sistema Adaptativo com Seleção de Planos</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite tratar as variações diárias de níveis de fluxo</li> <li>• Os horários de troca dos planos são mais apropriados</li> <li>• Deve ser mais valioso em rotas arteriais</li> <li>• Possui custo mais baixo que o sistema adaptativo em tempo real, pois necessita de menos detetores</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessita de muito mais dados para serem coletados do que o sistema de tempo fixo</li> <li>• Possibilidade de falhas nos detetores</li> <li>• Necessita decidir no limiar para trocas de planos</li> <li>• Pode trocar de plano por uma decisão errada</li> <li>• Dificuldade de prever todos os planos que serão necessários</li> </ul>   |
| <b>Sistema Adaptativo em Tempo Real</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poucos dados necessários para serem coletados</li> <li>• Resolve os problemas relativos à trocas e revisões dos planos semaforicos</li> <li>• Permite tratar com pequenas e grandes variações os diferentes níveis de fluxo</li> <li>• Atuação automática frente à incidentes</li> <li>• Monitora a situação do tráfego em toda área</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilidade de falhas nos detetores, a qual comprometeria a performance do sistema</li> <li>• Elevado custo de implantação e de manutenção</li> <li>• É imprescindível a central de controle, sem a qual os controladores não operam de forma viável</li> <li>• A manutenção é um item crítico neste sistema</li> </ul>  |

Fonte: (IHT, 1987).

O SCOOT foi o primeiro sistema deste tipo a apresentar conclusivos benefícios sobre os UTC de tempos fixos. Assim como o TRANSYT, este modelo foi desenvolvido pelo TRRL em parceria com empresas britânicas fabricantes de equipamentos para controle tráfego. Estes benefícios são justificados pela sua habilidade de se ajustar às mudanças nos padrões de tráfego.

Basicamente o SCOOT detecta os níveis de tráfego nos cruzamentos e calcula em tempo real os atrasos desta interseção. Este sistema procura, através de pequenas variações nos tempos dos semáforos, uma minimização destes atrasos, mantendo a coordenação das interseções.

Clowes (1980) defende que estes sistemas de controle realimentados por malha fechada deverão ser a melhor solução adotada no futuro, porque nos sistemas sem realimentação, os chamados sistemas de supervisão e operacionais, são necessárias muitas intervenções manuais por operadores especializados. O crescimento da automação e o elevado custo do pessoal especializado, ainda somado a dificuldade de análise dos dados pelo operador para tomadas de decisão, justificam esta tendência futura.

## **CAPÍTULO 3**

### **3 EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DOS EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÃO**

Este capítulo apresenta os elementos considerados básicos para o controle semafórico de tráfego urbano, desde os tipos de semáforos, passando pelos equipamentos para controle de tráfego, pelos detetores de pedestres e veiculares, até os centros de controle de tráfego e seus subsistemas. Os primeiros três elementos são fundamentais para obter-se um controle eficiente de um cruzamento isolado, e em redes coordenadas. A evolução destes elementos e suas variações são mostradas para evidenciar a adequação destes, às necessidades de cada cruzamento ou conjunto de cruzamentos.

Os detetores de pedestres e veículos são elementos muitas vezes tratados como opcionais, mas na análise da aplicação destes sistemas, será observado o quanto são importantes e os ganhos significativos que estes produzem quando bem aplicados.

Na primeira parte deste capítulo são apresentadas as recomendações básicas de instalação e implantação de semáforos do ponto de vista físico, como a posição das colunas, dos braços projetados, do controlador. A norma apresentada refere-se a utilizada e recomendada pela CET-SP, e adotada, por falta de um padrão nacional, por muitas cidades brasileiras, principalmente aquelas do estado de São Paulo.

#### **3.1 RECOMENDAÇÕES DE INSTALAÇÃO E IMPLANTAÇÃO DE SEMÁFOROS**

O artigo 1º. Parágrafo 3º. do Código Brasileiro de Trânsito dispõe que “Os órgãos entidades componentes do Sistema Nacional de Trânsito respondem, no âmbito das respectivas competências, objetivamente, por danos causados aos cidadãos em virtude de ação, omissão ou erro na execução e manutenção de programas, projetos e serviços que garantam o exercício do direito do trânsito seguro”.

Com isto os municípios são os responsáveis pelo planejamento, implantação, manutenção da sinalização semafórica com objetivo de prover segurança e fluidez ao trânsito das cidades. Para tanto serão apresentados a seguir algumas definições de sinalização semafórica, bem como recomendações para uma sinalização adequada e segura adotada pelas principais cidades do Brasil.

O Código de Trânsito Brasileiro (CTB 1997) apresenta os semáforos como instrumentos utilizados para sinalização de interseções de vias e travessias de pedestres, de forma a equacionar os direitos de passagens conflitantes de volumes e demandas de veículos ou pessoas. Este tipo de regulamentação é denominada sinalização semafórica.

### **3.1.1 Tipos de sinalização semafórica:**

A sinalização semafórica de regulamentação é utilizada para controlar o trânsito, alternando os direitos de passagem. É composta de luzes com cores preestabelecidas e agrupadas em um único conjunto denominado grupo focal ou grupo semafórico. O grupo semafórico pode ser disposto verticalmente ao lado da via, neste caso chamado de auxiliar ou repetidor; ou suspenso sobre a via, chamado de principal ou projetado, conforme mostra a Figura 1. Neste último caso, o conjunto pode ser também fixado horizontalmente.

Abaixo seguem as definições das cores segundo consta do Código de Trânsito Brasileiro (CTB,1998) Anexo II :

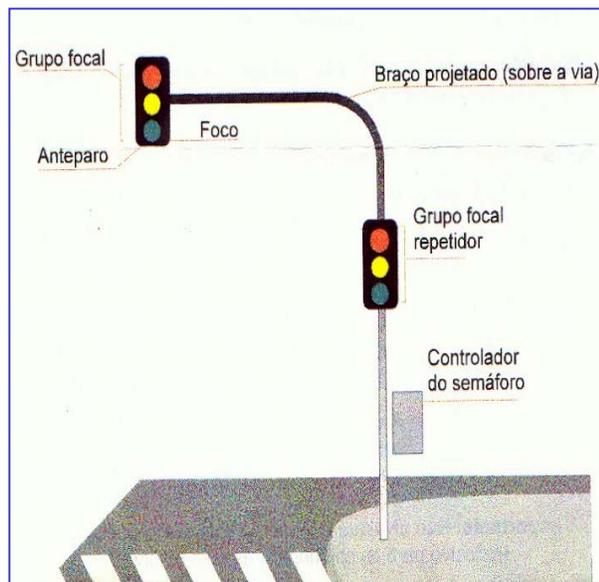
Semáforo Veicular: o verde indica permissão de passagem (prosseguir em marcha); o amarelo significa “atenção” e indica a mudança de situação do direito de passagem; e o vermelho indica parada obrigatória.

Semáforo para Pedestres: o verde indica permissão de passagem; o vermelho intermitente (ou piscante) significa atenção e indica mudança de condição de direito de passagem; e o vermelho significa travessia proibida para pedestres.

### **3.1.2 Arranjo Físico:**

Ao contrário do que ocorre com a sinalização horizontal e vertical, no Brasil não existe um Manual publicado pelo órgão oficial, no caso o DENATRAN, sobre o posicionamento de grupos focais e colunas de sustentação para elaboração de projetos de sinalização semafórica. O Manual de Semáforos, publicado pelo DENATRAN (DENATRAN 1984), trata da programação de tempos e critérios para implantação, mas não aborda a questão do arranjo físico. Neste sentido a referência adotada em São Paulo e em algumas cidades do país é o Manual de Sinalização Semafórica da CET-SP. (Cucci, 1999).

A Figura 1 abaixo mostra a título de exemplo uma instalação típica recomendada pela CET-SP e adotada em muitos municípios brasileiros, com a exemplificação dos focos principal e repetidor. (Ming *et al*, 2001)



**Figura 1: Instalação típica recomendada pela CET-SP. Fonte: (Cucci, 1999).**

Outras diferenças nas instalações dizem respeito ao tipo de coluna de sustentação. Normalmente é recomendado uma coluna em aço galvanizado sem pintura com espessura de 114 a 120mm, mas existem também casos de colunas pintadas de amarelo, verde, preto e outras cores, sendo alguns casos pintadas apenas na base e outros em toda a sua extensão. Encontram-se também casos mais distintos, onde as colunas são verdadeiras obras de arte arquitetônica, chamadas muitas vezes de “totem” para sustentar os grupos semafóricos. Estas exceções são normalmente observadas em cidades turísticas ou históricas, como em Petrópolis e Teresópolis no Rio de Janeiro, Gramado e Canela no Rio Grande do Sul, Campo Grande no Mato Grosso do Sul. Na cidade do Rio de Janeiro existe um projeto chamado “Rio Cidade”, que define para cada bairro uma cor e o estilo das colunas, dos grupos focais e até das luminárias públicas.

Uma outra distinção que possui certa conotação técnica diz respeito ao posicionamento das colunas de sustentação. Estas podem ser colocadas antes ou depois do cruzamento viário. Um estudo da CET-SP resumido na Tabela 2, apresenta algumas vantagens e desvantagens da utilização dos dois casos.

**Tabela 2 – Vantagens e desvantagens dos semáforos antes e depois do cruzamento**

|  | Antes do cruzamento | Após o cruzamento |
|--|---------------------|-------------------|
|--|---------------------|-------------------|

|                            |  |   |
|----------------------------|--|---|
| <p><b>Vantagens</b></p>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>* melhor visibilidade da sinalização pela menor distância entre os focos e a linha de retenção;</li> <li>* maior respeito ao semáforo, devido a impossibilidade de visualização das cores dos focos das outras aproximações;</li> <li>* maior respeito pela faixa de pedestres, pois o avanço sobre ela dificulta a visualização dos focos.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>* mantém o motorista informado da condição das cores a ele dirigidas mesmo após a passagem pela retenção;</li> <li>* é o padrão na maior parte das cidades brasileiras;</li> <li>* melhor visibilidade para os primeiros da fila;</li> <li>* racionalidade no uso de colunas (uma mesma coluna pode sustentar braços projetados voltados para mais de uma aproximação) e grupos focais.</li> </ul> |
| <p><b>Desvantagens</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>* pode transmitir insegurança ao motorista em cruzamentos cuja transversal é muito larga, pois ele estará atravessando-a sem a informação das cores do semáforo;</li> <li>* exige um número maior de grupos focais, pois há necessidade de colocação de grupos repetidores a baixa altura para visualização dos primeiros da fila;</li> <li>* exige, de um modo geral, um maior número de elementos de sustentação, pela dificuldade de aproveitamento de uma mesma coluna para suportar braços projetados para aproximações diferentes.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>* permite, na maioria dos casos, que os motoristas se baseiem nas cores dos outros movimentos, comportamento que pode ser um gerador de acidentes;</li> <li>* a visibilidade é reduzida pela maior distância entre os grupos focais e a linha de retenção.</li> </ul>  |

Fonte: (Cucci,1999).

## 3.2 TIPOS DE GRUPOS SEMAFÓRICOS

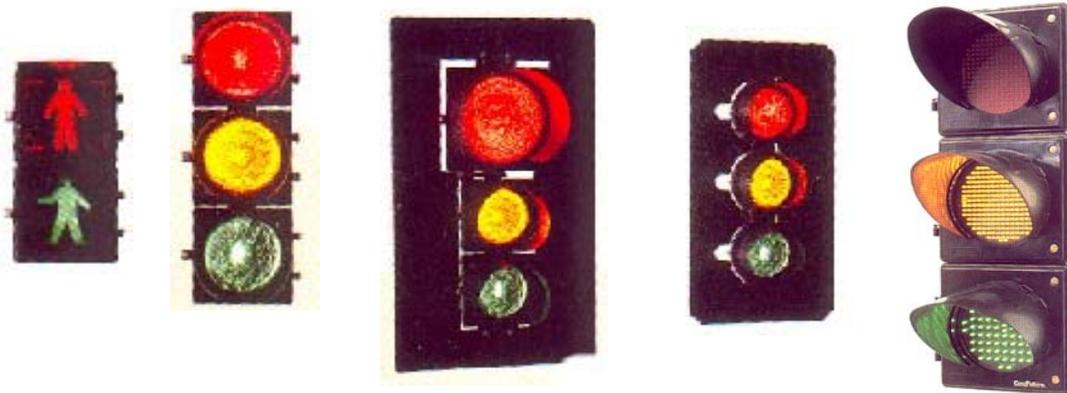
Desde o final da década de 90, estão surgindo algumas alternativas, em muitos casos polêmicas como o semáforo seqüencial, para substituição do tradicional e mundialmente aceito semáforo convencional. Estes novos conceitos se propõem a fornecer informações adicionais ao simples direito de passar ou não. Estes novos dispositivos têm como objetivo informar, de formas distintas, o tempo restante para cada condição atual. Os princípios de funcionamento deste tipo de dispositivo e dos semáforos utilizados no Brasil serão apresentados e analisados a seguir.

### 3.2.1 Semáforo convencional com lâmpada incandescente, halógena e LED:

O semáforo é o conjunto de grupos focais e respectivos suportes, responsável por executar a sinalização semafórica numa interseção ou seção de via (Ejzenberg, 1997). Desta forma o semáforo convencional veicular é composto de três cores (vermelho, amarelo e verde) e o de pedestres de duas cores (vermelho, verde), de modo a alternar os direitos de passagem de cada fluxo, seja veicular ou pedestre, em determinados tempos.

A Figura 2 mostra alguns modelos de grupos semafóricos mais utilizados no Brasil, ilustrando o semáforo para pedestre em formato quadrado, que também existe no formato redondo. Observa-se que os símbolos sugerem a ação que o pedestre deve tomar. Em algumas cidades o símbolo aplicado no foco vermelho é substituído por uma “mão” aberta indicando o “pare”.

A Figura 2 mostra também alguns tipos de semáforos veiculares, com algumas variações como por exemplo sem o anteparo e com o anteparo, adotado por alguns municípios para provavelmente destacá-lo e torná-lo mais visível, além de funcionar como proteção ao sol. Este semáforo se chama modelo “T”. Observa-se também uma variação nos tamanhos das lentes (ou focos) disponíveis em 200mm, que é mais usual nos centros urbanos, e 300mm mais utilizados em rodovias ou vias expressas. É possível também uma combinação de diferentes tamanhos de focos, como é mostrado na Figura 2, onde o foco de 300mm aplicado ao vermelho e nos demais em 200mm. Ainda uma outra variação encontrada em algumas cidades é a adoção de dois focos para o vermelho e os demais com apenas um, é chamado de semáforo modelo “T”.



**Figura 2:** Modelos <sup>(1)</sup> de semáforos utilizados no Brasil. Fonte: (MENG, 1999).

<sup>(1)</sup> Da esquerda para direita: Semáforo para pedestre, Semáforo veicular 200x200x200mm, Semáforo veicular com anteparo 300x200x200mm, semáforo veicular com anteparo 200x200x200 e semáforo veicular com lâmpadas à LED.

### **3.2.2 Semáforo seqüencial ou com informação de tempo:**

Estes tipos de semáforos procuram fornecer aos usuários, motoristas e pedestres, informações sobre o tempo restante das cores vermelha e verde. Dois modelos mais conhecidos serão abordados abaixo, sendo o primeiro conhecido como “semáforo seqüencial” e o segundo como “semáforo com display auxiliar”.

#### ***a) Semáforo Seqüencial:***

Este dispositivo apresenta uma aparência bastante distinta do semáforo convencional, inclusive pelo seu maior número de lâmpadas verdes e vermelhas. Ele foi concebido como um semáforo convencional com as luzes na horizontal, sendo o vermelho à esquerda, o verde à direita. Sobre o vermelho e o verde seguem verticalmente uma fila de quatro lâmpadas da mesma cor, que serão responsáveis por informar o tempo restante de cada condição, como mostra a Figura 3.

O seu princípio de funcionamento é baseado no acendimento de duas lâmpadas simultâneas de mesma cor, sendo que acendem a do extremo inferior e a do extremo superior.

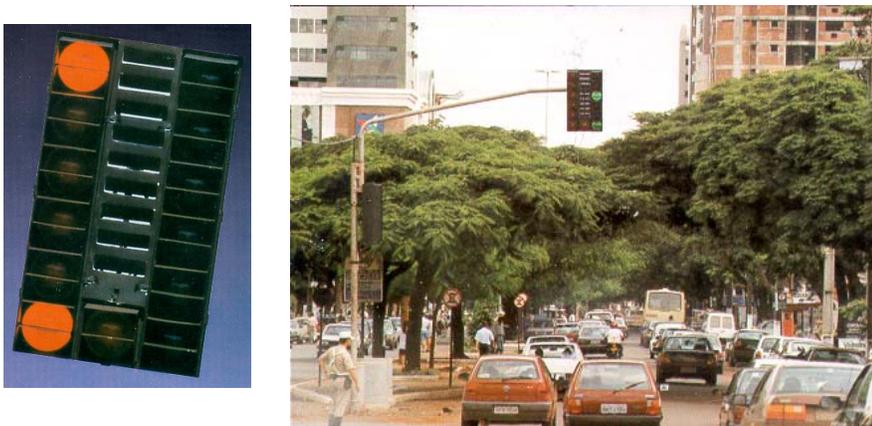
Esta última será responsável por deslocar-se para baixo naquela fila, sempre apagando a atual e acendo a seguinte. Esta cadência inicia-se quando estiver terminando o tempo daquela fase. Quando apagar a última lâmpada antes da principal encerra-se a aquela fase e inicia-se próxima, que será executada da mesma forma. Os tempos definidos para cadência são calculados proporcionalmente a partir do tempo total daquela fase (verde ou vermelho), o que pode causar aos condutores uma insegurança ao executar a travessia, pela não utilização um tempo padrão para esta seqüência.

**- Vantagens apresentadas pelo fabricante e usuários deste tipo de semáforo:**

- Aumento da capacidade, o tempo de verde efetivo é maior e o tempo de verde perdido é menor, pois o motorista utiliza o verde desde o início com maior segurança (Beck, 1995).
- Redução de estresse dos motoristas, causado pela expectativa da mudança na cor dos semáforos convencionais que ocorrem a qualquer momento.
- Quando em sistemas coordenados ou sincronizados de onda verde, estes semáforos informam aos motoristas a sua posição nela, permitindo desta forma ajustar sua velocidade.
- Redução de acidentes causados por colisões e atropelamentos.

**- Desvantagens apontadas por técnicos da área:**

- Não segue a padronização nacional de semáforos, podendo causar confusão aos motoristas até se adaptarem ao novo funcionamento;
- Não é totalmente compatível com diversos controladores de tráfego existentes no mercado e já instalados, inviabilizando a simples substituição do semáforo convencional;
- Não permite o funcionamento em modo atuado, pois se tivermos tempos variáveis pela demanda do tráfego não conseguirá informá-los corretamente;
- Possui o preço muito maior que um semáforo convencional, em alguns casos a diferença pode chegar a ser de até sete vezes o valor do convencional;
- Possui número de lâmpadas muito elevado o que pode aumentar os custos de manutenção;



**Figura 3:** À esquerda em detalhe o semáforo seqüencial e na foto da direita o semáforo instalado em cidade do Paraná. Fonte: (SDM, 1998).

**b) Semáforo com Display auxiliar:**

Este semáforo baseia-se num princípio muito semelhante ao seqüencial do ponto de vista da informação, porém ele é composto do semáforo convencional onde ao seu lado no braço de sustentação é montado um display normalmente numérico com dois dígitos, ou apenas em barras, ambos de LEDs de alta intensidade, conforme mostra a Figura 4. O princípio de funcionamento baseia-se no início do decremento do tempo restante da condição atual (verde ou vermelho) através do display auxiliar, visível pelos motoristas. Para isto o controlador deverá informar ao display qual o tempo de cada condição apresentada naquele semáforo. Em alguns casos, principalmente em semáforo para pedestres, o display pode ficar embutido no próprio foco, no lugar da lâmpada verde, por exemplo, de modo que ao abrir o verde ele inicia a contagem do tempo restante para aquela condição, conforme também mostra a Figura 4. As vantagens e desvantagens apresentadas são muito similares ao do semáforo seqüencial.

**Figura 4:** Tipos de semáforos com display auxiliar de tempo em uso no Brasil.



Fontes: (MENG, 1999) e (JDJ, 1999).

### **3.3 TIPOS DE CONTROLADORES SEMAFÓRICOS**

Os controladores de tráfego têm como sua função básica o controle dos tempos da cada fase que serão executados nos semáforos. Este controle pode ser obtido de forma mais simples baseado em um motor ou em forma mais complexa baseado em microprocessadores. Por isto podemos classificar os controladores de tráfego em uso no Brasil em três tipos básicos, os controladores eletromecânicos, eletroeletrônicos e eletrônicos microprocessados, que possuem características muito distintas do ponto de vista tecnológico e construtivo, e por consequência do ponto de vista da utilização e dos recursos disponíveis.

Com a rápida evolução tecnológica da informática e da engenharia eletrônica computacional, observamos uma tendência para a substituição dos antigos equipamentos eletromecânicos, por equipamentos mais modernos e inclusive fabricados no Brasil. Esta evolução, sem dúvida nenhuma, foi o ponto de partida para modernização do controle semafórico no país, possibilitando o acesso de cidades, inclusive de médio e pequeno porte, às facilidades e benefícios que estes equipamentos proporcionam. As cidades de maior porte, principalmente as capitais ou as com mais 1.000.000 habitantes, já possuem ou estão em fase de implantação de Sistemas de Controle Centralizado, as chamadas Centrais de Tráfego em Área (CTA) só possível com controladores eletrônicos e microprocessados.

#### **3.3.1 Controlador Eletromecânico:**

Este tipo de controlador, desenvolvido há mais de trinta anos, foi à sua época um sistema revolucionário e confiável para o controle e a temporização dos semáforos. Seu princípio de funcionamento baseia-se em um motor síncrono, que ligado a rede elétrica, gira à 60 ciclos por segundo (ou 60 Hz), permitindo a obtenção de uma base de tempo em unidade de segundos com uma precisão bem razoável.

Acoplado ao eixo deste motor através de coroas, tipo engrenagens, estão os acionadores das luzes dos semáforos. A medida que o motor gira, encontra contatos nesta coroa permitindo o acionamento mecânico das luzes. Para cada cor existe uma coroa com haletas, e o tempo de ligado ou desligado daquela cor depende do número de haletas retiradas da coroa, definindo assim as temporizações. Proceda-se da mesma forma para programar o acionamento das outras cores.

Devido a esta estrutura eletromecânica, quanto maior o número de fases, mais complexa fica a sua construção pelo número de motores e eixos, e também mais complexa a programação de tempos. Muitos destes controladores, entretanto estão em funcionamento até hoje. Estes equipamentos normalmente funcionam com apenas um plano, ou seja, não alteram seus tempos de verde ou vermelho em relação ao horário do dia, a não ser quando interligados a um equipamento capaz de trocar os planos. O acionamento das lâmpadas é realizado por dispositivos de contato mecânico (contactoras), que normalmente causam faiscamento e conseqüente desgaste das lâmpadas. Os pontos favoráveis são a robustez e o baixo custo de manutenção, que pode ser realizada por técnicos e eletricitas.



**Figura 5:** Controlador eletromecânico de tráfego. Fonte (Cucci, 1999).

### **3.3.2 Controlador Eletroeletrônico:**

Estes equipamentos foram desenvolvidos para substituir os eletromecânicos. O seu princípio de funcionamento baseia-se na utilização circuitos lógicos digitais em uma placa eletrônica que é responsável pelas temporizações das fases. Com isto eliminou-se o motor síncrono, possibilitando um aumento no número de fases. A programação de tempos é baseada normalmente em contadores digitais sincronizados pela frequência da rede (60Hz) ou em um relógio a cristal de quartzo, e é realizada por micro-chaves que determinam os tempos de cada fase.

O acionamento das lâmpadas varia de acordo com o fabricante, mas em alguns casos já são efetuados por circuitos eletrônicos que preservam a vida útil das lâmpadas. Ainda assim a maioria destes equipamentos funciona em apenas um plano, da mesma forma que os eletromecânicos, e só alteram tempos ao longo do dia se comandados por outro equipamento que envie pulsos avisando-o para trocar a fase atual.

### 3.3.3 Controlador Eletrônico Microprocessado:

A introdução dos microprocessadores trouxe a possibilidade de aumento da capacidade computacional para os equipamentos controladores de tráfego, possibilitando a utilização de algoritmos de controle para interseções isoladas, como por exemplo, o modo atuado para a otimização do cruzamento. O microprocessador permite também, monitoração do funcionamento dos dispositivos vulneráveis, como lâmpadas e detetores, que no caso de apresentarem falhas, possibilita ao controlador realizar ações que mantenham a segurança ou a capacidade da interseção.

Os controladores eletrônicos microprocessados são o que existe atualmente de mais evoluído em controle de tráfego no Brasil. Pode-se chamar de “o estado da arte” em controle semafórico. Estes equipamentos são baseados em tecnologia digital com microprocessadores, portanto são programáveis em todas suas funções. Possuem com isto uma interface amigável e inúmeros recursos para os diferentes tipos de funções. Estes equipamentos possuem uma interface com o operador, composta de teclado e display chamado de programador. O programador é utilizado para entrada de todos parâmetros de programação além de apresentar informações sobre falhas do controlador. Em alguns modelos, o programador pode inclusive ser um computador portátil com sistema operacional dedicado para realizar estas funções.

No mercado nacional e estrangeiro, existem diversos portes destes equipamentos, que normalmente diferem no preço, na capacidade e também na tecnologia empregada, como podemos observar na Figura 6. Os controladores eletrônicos microprocessados normalmente possuem as seguintes características técnicas e operacionais:

- Controlam cruzamento de 2 até 16 fases semafóricas com
- Permitem programação de 2 até 16 estágios;
- Armazenam e executam de 4 até 16 planos;
- Obedecem a uma tabela de até 64 trocas de planos através de horários;
- Possuem entradas para até 4 detetores de pedestre (botoeiras);
- Permitem entrada para até 8 detetores veiculares;
- Possuem interface para comunicação de dados, através de cabo tipo telefônico, para a rede de comunicação propiciando a coordenação e o sincronismo;
- Permitem interligação a uma Central de Controle de Tráfego;

A manutenção destes equipamentos também é muito facilitada pelo recurso de auto-diagnóstico realizado pelo microprocessador, que informa qual o módulo ou placa defeituosa deve ser substituída. Quando conectado a uma central de controle este alarme de falha é informado ao operador em tempo real, que pode solicitar o reparo imediato. Caso não esteja conectado, o equipamento sinaliza a falha em seu programador local. Se a falha for considerada grave, como por exemplo, a queima das lâmpadas vermelhas de um semáforo, o sistema impõe de forma emergencial o modo intermitente (amarelo piscante) no cruzamento para evitar situações de conflito, ou perigosas.

A comunicação de dados, quando estabelecida, permite uma total troca de informações entre o operador e os controladores através do equipamento denominado mestre de uma rede coordenada, ou de uma central de controle. Em ambos os casos quaisquer alterações de planos, tempos, ciclos, e outros parâmetros podem ser facilmente realizados, garantidos por uma sólida consistência das informações inseridas para evitar riscos à segurança na interseção.



**Figura 6:** Tipos de modelos de controladores eletrônicos microprocessados <sup>(1)</sup>.

<sup>(1)</sup> Da esquerda: controlador fabricado pela SAINCO, pela PHILIPS e pela DIGICON.

Fontes: (SAINCO, 2001), (PHILIPS, 1993) e (Digicon, 2001).

Os controladores microprocessados introduziram uma evolução que permitiu utilizar o conceito de previsão do fluxo de trânsito a partir de amostras dos detetores de veículos em pequenos intervalos de tempo, ou alternativamente por um armazenamento de dados históricos e

prevendo os fluxos de tráfego futuro. Estes dois conceitos foram combinados para desenvolver as estratégias de controle mais eficientes (Clowes, 1980).

### 3.4 DISPOSITIVOS PARA SENSORIAMENTO DO TRÁFEGO

A eficiência operacional de um sistema controle de tráfego adaptativo depende da sua capacidade de sensoriar a presença do tráfego. Este sensoriamento é obtido por um dispositivo comumente referido como detetor. Historicamente a necessidade de sensoriar o tráfego levou ao desenvolvimento de diversos tipos de dispositivos, que embora possuíssem o mesmo objetivo básico, diferenciavam-se na tecnologia empregada para sua construção. Estas diferenças determinaram também diferentes aplicações que serão apresentadas nesta parte desta seção.

O primeiro sistema de detecção utilizado no início do século passado era baseado em microfones com amplificadores colocados ao lado da via, no entanto foram logo abandonados por problemas na sua aplicação (Webster e Cobbe, 1966). Este dispositivo de detecção media o nível sonoro da interseção e causava um acionamento elétrico quando este nível ultrapassasse um determinado limite, causado pela detecção dos veículos.

Nas aplicações atuais, os detetores podem ser utilizados sozinhos ou em combinação para medirem variáveis como volume, presença, velocidade e ocupação. Estas medidas são utilizadas como parâmetros de controle para interseções atuadas ou em sistemas de controle de tráfego adaptativos. As decisões normalmente são tomadas pelo controlador local ao qual está conectado o detetor, ou pelo sistema de controle centralizado realimentado, a partir dos dados de entrada obtidos pelos sensores, que serão processados e comparados a parâmetros de controle pré-programados. A decisão resultará em alterações, ou não, nas fases e tempos da interseção.

Os detetores apresentados operam em dois princípios básicos:

- a) força mecânica causa um contato que representa um acionamento;
- b) variação de energia causada por movimento ou presença de um veículo.

### **3.4.1 Detetor de pressão e detetor por botão (Botoeira para Pedestre):**

Nos detetores veiculares por pressão, o peso do veículo causa um fechamento das placas de contato seladas em uma chapa de pressão emborrachada, a qual enviará esta informação ao controlador. As lâminas de contato são fechadas com o peso do veículo quando este se desloca sobre o detetor. Desta forma o detetor por pressão opera satisfatoriamente todos os tipos de veículos. Uma estrutura metálica instalada no pavimento provê o suporte para a chapa de pressão emborrachada e segura-o no local. (FHWA, 1976).

Dependendo da forma como forem instalados, os detetores de pressão podem fornecer uma detecção direcional ou não direcional. Nesta última é necessário apenas um detetor por pista (ou faixa) para informar, através do fechamento de seu contato, que um veículo passou. No caso da detecção direcional serão necessários dois detetores para cada pista, onde a seqüência de fechamento dos contatos de cada um determinará a direção de fluxo veicular. Atualmente são muito poucos utilizados, pois apresentam, como todo sistema de contato mecânico, problemas de desgaste.

Em certos locais, onde o controle de tráfego de pedestre é necessário, os sistemas utilizados para permitir o direito de passagem dos pedestres são os detetores por botão (ou botoeira) (FHWA, 1976). Este tipo de detetor deve ser aplicado preferencialmente em locais onde exista uma grande demanda com alta variação de intensidade, pois permite a interrupção do tráfego veicular nos momentos de maior demanda de pedestres e não interrompe o fluxo quando não existe demanda, por exemplo, em frente às escolas.

O acionamento deste detetor pelo pressionamento do botão, informa ao controlador de tráfego uma solicitação de direito de passagem. Esta demanda será atendida no momento pré-definido do ciclo no plano em execução, evitando com isto uma perda de sincronismo entre as interseções de uma rede semafórica coordenada. Este detetor é amplamente usado no Brasil e no Mundo, pois ainda não possui um substituto economicamente viável.

### **3.4.2 Detetores magnéticos e detetores por laço indutivo (loop):**

Os detetores magnéticos operam baseados na variação das linhas de fluxo do campo magnético terrestre. Um rolo de fio com corpo de altíssima permeabilidade magnética são instalados abaixo da superfície do pavimento. Quando um objeto metálico, como um veículo, se aproxima ou passa sobre este sensor, as linhas de fluxo constantes do campo magnético são deflexionadas pelo veículo. Isto causa uma variação na tensão desenvolvida pelo sensor, e um amplificador traduz esta variação em sinal digital, informando ao controlador de tráfego a detecção de um veículo.

O rolo de fio e o corpo dos detetores magnéticos são normalmente encapsulados em uma proteção de material não condutor e à prova d'água. Normalmente estes detetores podem ser usados para detectar de 1 a 3 faixas de tráfego, dependendo da sensibilidade para qual está programado. Estes detetores não são direcionais, ou seja, não distinguem entre veículos trafegando em direções opostas. A versão direcional deste detetor necessita de dois rolos de fios (sensores) encapsulados juntos. (FHWA, 1976).

Este tipo de detetor não é recomendado para detecção de presença, porque em velocidades muito baixas o sinal não é gerado. Um tipo de detetor magnético denominado medidor magnético, foi desenvolvido para detectar veículos em modo de presença. Neste tipo de detetor o efeito apresentado para o campo magnético terrestre resulta de uma detecção dos metais ferrosos existentes nos veículos.

Já o detetor por laço indutivo (loop) baseia-se em um oscilador que transmite sua própria energia, o campo magnético. Ele opera pelo princípio de que um veículo estacionado ou passando sobre o laço, irá desbalancear o circuito sintonizado e enviar um impulso ao amplificador detetor. Este tipo de detetor ainda é o mais comumente usado para detecção de veículos no mundo inteiro. Por motivo da flexibilidade de seu projeto, o detetor por laço permite a detecção de uma gama enorme de veículos. Os laços são projetados para sentir a presença de veículos e também a sua passagem, além de permitir o cálculo da ocupação de via, da velocidade e do volume sendo determinados pelos sinais fornecidos através deste detetor. (FHWA, 1976).

Os laços normalmente são construídos com características elétricas que combinam o oscilador e o amplificador. O oscilador serve como fonte de energia para o laço, quando o veículo passa ou pára sobre este, e absorve uma quantidade da energia criando um desbalanço

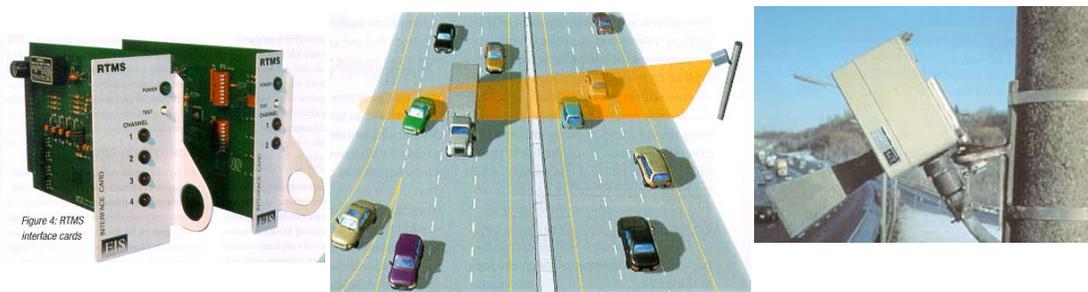
entre o laço e o oscilador. Este desbalanço gera um sinal digital para o controlador de tráfego informando a detecção do veículo.

### 3.4.3 Detetores por radar e detetores por ultrassom:

Os detetores por radar operam pelo princípio chamado de Efeito Doppler, no qual microondas são emitidas em direção a via, de cima para baixo, pelo equipamento detetor. A passagem de um veículo por este feixe irradiado reflete para o sensor (antena) que detecta o veículo. Dois impulsos curtos são notados pelo sensor: um quando o veículo entra na zona de detecção e o outro quando ele sai. (Bruce, 2001).

Basicamente dois tipos de detetores por radar são utilizados como detetor de veículos. Num tipo o sensor (antena) e o equipamento eletrônico são construídos juntos, e são instalados acima da via ou ao lado da via na posição “side-fire”. No outro tipo, o sensor e a parte eletrônica são separados, com a parte eletrônica podendo ser montada em uma altura que facilita a manutenção. Os detetores por radar estão disponíveis com dois tipos de antenas. No caso mais comum, a antena pode ser ajustada para até 3 faixas, enquanto que uma antena opcional com uma banda de detecção mais estreita pode ser usada para detectar tráfego em apenas um faixa. (EIS, 2001).

Na Figura 7 abaixo, observa-se, à esquerda um detalhe dos módulos de detecção por radar que são instalados no controlador, ao centro um esquema do funcionamento do sensor e à direita uma foto com um detalhe do sensor instalado no poste.



**Figura 7:** Exemplo de detetor veicular por radar. Fontes: (Bruce, 2001) e (EIS, 2001).

Já os detetores por ultra-som operam baseados no mesmo princípio dos detetores por radar, ou seja, eles emitem uma energia, neste caso o ultra-som, dentro de uma área, e recebem

uma reflexão emitida pelo veículo. Este detetor transmite pulsos de energia ultra-sônica através de um transdutor instalado acima da via. Esta emissão será refletida de volta para o transdutor, quando da presença de um veículo. O transdutor transforma este sinal em energia elétrica para um transmissor, que envia um pulso ao controlador de tráfego, que interpretará como a presença ou a passagem de um veículo.

#### **3.4.4 Detetores por rádio frequência (RF) e por emissão de luz (Infra-vermelho):**

O detetor por RF normalmente é utilizado com sistema de detecção para ônibus, e consiste em um transmissor de RF no ônibus, um laço receptor colocado sob o pavimento (antena) e um unidade receptora na via. O transmissor do ônibus possui normalmente duas frequências: uma que indica que o ônibus irá parar na próxima interseção para entrada e saída de passageiros. A outra frequência indica que o ônibus estará cruzando a interseção sem a necessidade de parar. A mudança destas frequências é realizada pelo motorista em uma chave encontrada no painel do ônibus. O laço antena sob o pavimento recebe estes sinais de RF e envia para o receptor que está instalado próximo a via. Este receptor interpreta a frequência e envia esta informação para o controlador (ou Central de Controle) que irão determinar uma extensão no tempo de verde do ônibus, ou solicitar a entrada na sua fase correspondente. (FHWA, 1976).

Os detetores por emissão de luz utilizam células fotoelétricas, onde luzes infravermelhas são emitidas em forma de feixe de alta intensidade o qual normalmente são utilizados para detecção de veículos de emergência ou prioritários.

São três os tipos básicos de detetores por emissão de luz: fotoelétrico, por infravermelho e por luz de alta intensidade. Nos dois primeiros tipos são montados como barreiras onde o emissor fica em um lado da via e o receptor no outro. A passagem de um veículo interrompe o feixe de luz emitido e determina a detecção para o receptor, que informa ao controlador. No último tipo, o emissor de luz é instalado no veículo de emergência, e o receptor fica instalado junto ao semáforo nas interseções. Quando o veículo de emergência que possui o emissor aproxima-se da interseção, o receptor o percebe e envia um sinal ao controlador de tráfego, que poderá estender o tempo de verde para aquela fase, ou até solicitar uma fase de emergência ou prioritária.(3M, 2000).

Os elementos que compõem este tipo de sistema para detecção de veículos prioritários são apresentados na Figura 8, bem com um desenho esquemático de sua aplicação e funcionamento.

Segundo informações do fabricante, este tipo de detetor está instalado na cidade de Araraquara – SP nos veículos do Corpo de Bombeiros.

Na Figura 8 abaixo, observam-se no alto à esquerda, em detalhe, os módulos detetores que são instalados no controlador, no alto ao centro o emissor de infravermelho instalado no veículo de emergência e no alto à direita o receptor instalado no semáforo. No desenho esquemático observa-se o funcionamento do sistema.



**Figura 8:** Exemplo de detetor veicular por infravermelho. Fonte: (3M, 2000).

### 3.4.5 Detetores por assinatura magnética:

Os detetores por assinatura magnética possuem como princípio de funcionamento, a análise da variação do campo gravitacional terrestre, quando um corpo metálico passa sobre o sensor. Esta variação forma uma distorção na informação de magnetismo medido para cada veículo. Após anos de análise, definiu-se uma forma de interferência diferente, que resulta em uma assinatura magnética para cada tipo de veículo (Palen, 2001). Com isto determina-se além da passagem de um veículo, também a sua classificação, como automóvel, caminhonete, caminhão com dois eixos, com três eixos, ônibus, etc. A partir do sinal gerado é possível também se determinar com uma boa precisão sua velocidade em um ponto de passagem, pela variação no comprimento de sua assinatura.(Nu-Metrics, 1996).

### 3.4.6 Detetores por imagem (Vídeo):

Este tipo detetor, também chamado de “detetor com laços virtuais”, tem como princípio de funcionamento a utilização de algoritmos para processamento de imagens. Estes permitem a identificação digital de presença de veículos em determinado ponto definido. As imagens processadas por estes algoritmos são obtidas através de câmeras instaladas no local a ser analisado fluxo. Os laços são “virtualmente” colocados na própria imagem nos pontos escolhidos para análise através de um software. Com a combinação de vários pontos de detecção é também possível medir: presença, ocupação, velocidade, tamanho de fila, tempo de viagem e detecção de acidentes. (Traficon, 2000).

A Figura 9 abaixo mostra os laços virtuais aplicados nas imagens captadas.



**Figura 9:** Exemplo de detetor veicular por imagem. Fonte: (Traficon, 2000).

Uma das vantagens deste tipo de detetor, apontada pelos seus fabricantes, está na sua relativa facilidade de instalação, uma vez que é apenas necessário instalar uma câmera do tipo usada em CFTV para monitorar os pontos, sem necessidade cortes no asfalto (Palen, 2001).

Porém no Brasil a instalação da infra-estrutura de transmissão das imagens até um centro de controle, ou até mesmo ao controlador, na maioria das vezes torna-se cara a ponto de inviabilizar este projeto. Com a privatização do sistema de telecomunicações a nova tendência aponta para uma redução nestes custos por uma disponibilização desta infra-estrutura, que utiliza fibra ótica, em forma do serviço de locação de canais de comunicação. Esta, possivelmente, será uma boa alternativa para as futuras instalações destes sistemas.

### 3.5 SUBSISTEMAS QUE COMPÕEM OS CENTROS DE CONTROLE

Os centros de controle de tráfego são normalmente compostos de diversos subsistemas, conforme podemos observar na Figura 10, dependendo da sua abrangência e complexidade. Os subsistemas mais comumente encontrados, como a central de controle de tráfego em área (CTA), a central de rádio e telefone, a central de telecâmeras (CFTV) e o sistema de painéis de mensagens variáveis (PMV), serão apresentados a seguir.



**Figura 10:** Foto de um Centro de Controle de Tráfego. Fonte: (Peek, 2000).

#### 3.5.1 Central de Controle de Tráfego por Área (CTA):

É um conjunto composto de softwares dedicados, microcomputador, impressora, no-break, monitores. Este subsistema é responsável por realizar a interface entre o operador e os

equipamentos de controle semafórico, como controladores de tráfego e detetores. Tem como funções principais, manter informações de configurações e parâmetros dos equipamentos, manter e atualizar um banco de dados com informações operacionais e de falhas do sistema, manter e atualizar um banco de dados com planos pré-definidos e com informações coletadas de detetores, realizar a escolha de planos e/ou realizar cálculos dos tempos semafóricos quando em sistemas realimentados.

### **3.5.2 Central de Rádio e Telefone:**

Composta de um sistema de comunicação via rádio, para estabelecer contato com os diversos agentes que interagem com o trânsito na cidade, por exemplo: fiscais de trânsito, técnicos da manutenção, engenheiros de planejamento, engenheiros de tráfego, operadores da central, etc. Através deste sistema é possível a troca de informações ágil e segura facilitando as operações no trânsito de forma mais eficiente, seja sobre falhas nos semáforos, congestionamentos imprevisíveis, incidentes com veículos, acidentes, etc. Um telefone normalmente é colocado a disposição dos usuários da comunidade para que estes agentes sejam contatados pelos usuários de sistema, para solicitar informações, reclamações, como também informar sobre as possíveis ocorrências já citadas.

### **3.5.3 Circuito Fechado de Televisão (CFTV):**

Composto de câmeras colocadas nos cruzamentos estratégicos, infraestrutura de comunicação (cabos), monitores e controles de movimentos da câmeras, este subsistema serve para uma mais rápida identificação de acidentes e alterações imprevistas no tráfego, como congestionamentos, veículos com problemas mecânicos, estacionados irregularmente, ou outras situações que possam afetar a fluidez e a segurança do tráfego. Este subsistema funciona também como uma realimentação visual para os casos de alterações de tempos dos semáforos pelo operador, bem como para mudanças de estratégias ou imposição de planos.

O CFTV permite verificar em tempo real como está a situação no trânsito naquele momento. As imagens obtidas podem ser gravadas para manter registros 24 horas do dia, e normalmente são disponibilizadas para os usuários do sistema (motoristas, etc) através dos canais abertos de televisão, canais pagos, ou ainda através da internet em site da própria prefeitura ou órgão de controle de tráfego. Boletins informativos também podem ser transmitidos via rádio (AM/FM), a partir das informações recebidas por estas imagens, além de outros dados, relativos a melhoria viária.



**Figura 11:** Foto de uma câmera de CFTV instalada no Rio de Janeiro.

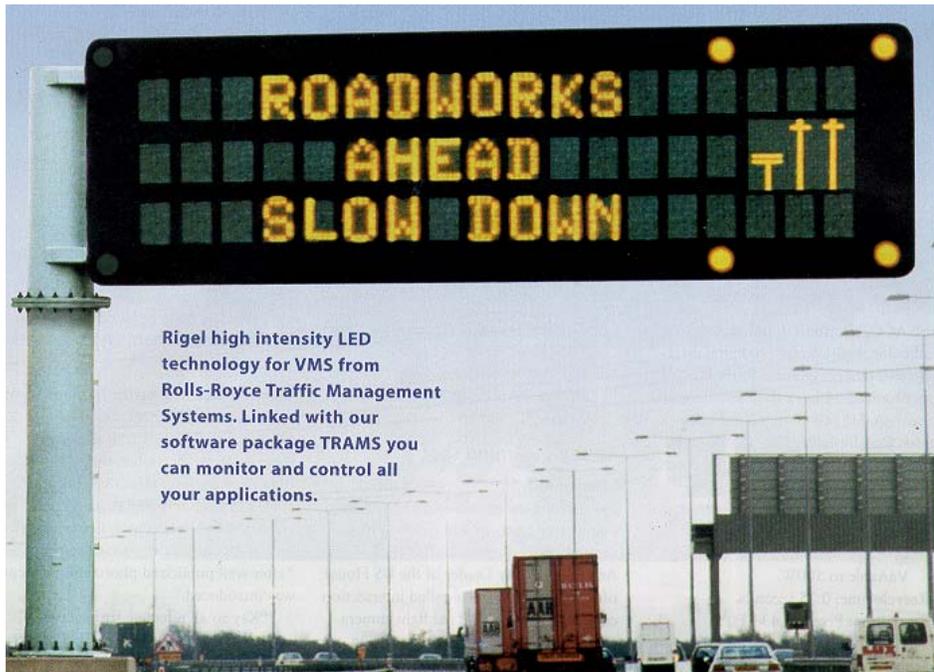
Fonte: (CET-Rio, 2001).

#### **3.5.4 Painéis de Mensagens Variáveis (PMV):**

Os painéis de mensagens variáveis são dispositivos de controle de tráfego auxiliares que, instalados nas principais rotas ou vias de acesso à regiões de grande fluxo de trânsito, têm a função de informar através de mensagens, os motoristas sobre condições do tráfego, como ocorrência de acidentes, congestionamentos, rotas alternativas, trânsito interrompido, enchentes, entre outros, como mostra a Figura 12.

As mensagens utilizadas podem ser reprogramadas a partir do centro de controle que possui as informações atualizadas das condições do trânsito e as repassa aos motoristas. As mensagens devem conter informações relevantes sobre o trânsito, serem curtas e claras para

estimular uma tomada de decisão correta. A utilização de diferentes cores nas mensagens também pode influir nas decisões a alertar motoristas de perigos. Um estudo sobre a influência das palavras e cores utilizadas neste tipo de sistema foi alvo de trabalho desenvolvido por Mont'Alvão et al, (2000).



**Figura 12:** Foto de um tipo de Painele Mensagem Variável instalado em rodovia.  
Fonte: (VMS, 2002).

## CAPÍTULO 4

### 4 A EVOLUÇÃO DOS CRITÉRIOS DE CONTROLE

#### 4.1 TIPOS DE CONTROLE DOS SEMÁFOROS

Essencialmente existem dois tipos básicos de semáforos para uso geral: tempo fixo (fixed-time) e atuado por veículos (vehicle-actuated). Na década de 60, apesar de a maior parte dos semáforos de tempo fixo estarem sendo substituídos pelos atuados na Grã Bretanha, em outros países como Estados Unidos, os tempos fixos ainda eram mais numerosos que os atuados. Um tipo intermediário, chamado semáforo semi-atuado (semi-vehicle actuated), com detetores apenas nas aproximações secundárias, também será abordada neste capítulo. (Webster e Cobbe, 1966)

##### **4.1.1 Controle de semáforos em tempos fixos:**

Nos semáforos de tempos fixo os períodos de verdes, bem como os ciclos, são pré-determinados e com duração sempre fixa. Os controladores são simples e relativamente baratos, mas como são inflexíveis requerem um ajuste na programação de tempos muito cuidadosa. Eles podem ser usados também em sistemas coordenados, e podem ser equipados com planos, que permitem alterações nos tempos em certos períodos do dia, através de uma tabela horária, usada para atender as diferentes condições de tráfego.

##### **4.1.2 Controle de semáforos atuados por veículos:**

Nos semáforos atuados pelo tráfego, os períodos de verde são relacionados as demandas de tráfego, usando detetores que normalmente são instalados em todas as aproximações. Na ausência de demandas o semáforo ficará aguardando na última fase que ocorreu solicitação pela presença de veículos. Com a evolução tecnológica, alguns parâmetros interessantes estão a disposição para refinar a programação dos semáforos atuados: verde mínimo, verde máximo, extensão de verdes, variação dos tempos de entreverdes, seqüência de fases.

#### **4.1.3 Controle de semáforos semi-atuado por veículos:**

Nos semáforos semi-atuados os detetores são instalados apenas nas vias secundárias do cruzamento, e o direito de passagem ficará aguardando preferencialmente na via principal (avenida), sendo transferido para a secundária assim que houver solicitação de demanda nos seus detetores, ou quando os tempos mínimos programados se encerrarem.

#### **4.1.4 Controle de semáforos coordenados:**

Quando dois ou mais cruzamentos estão próximos numa rota de tráfego importante torna-se necessário a sua interligação para reduzir atrasos e prevenir paradas contínuas. A proposta de coordenação dos semáforos serve para passar a maior quantidade de tráfego sem paradas forçadas, enquanto for permitido o direito de passagem para cruzar a interseção. Em alguns casos, o objetivo é conseguir o atraso mínimo em todas as correntes de fluxo. Adicionalmente, a coordenação também pode ser aplicada para prevenir que as filas de veículos de uma interseção aumente tanto a ponto de interferir na outra, causando o efeito de fechar o cruzamento.

Desta forma, na década de 60 Webster classificava os sistemas de controle coordenado em quatro formas possíveis, sendo:

##### ***a) Sistema simultâneo (sincronizado)***

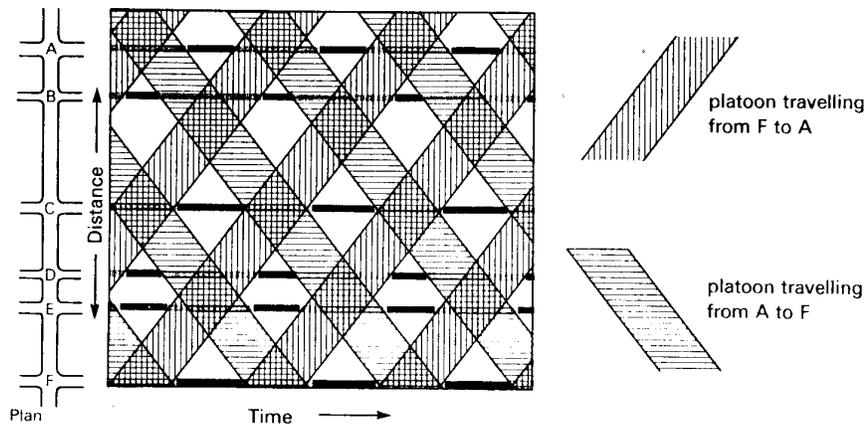
Todos os semáforos de uma determinada seção de tráfego apresentam características semelhantes, com fluxos semelhantes nos mesmos horários. Um ciclo comum é utilizado em todos os semáforos e um controlador mestre é responsável pela coordenação dos demais. Este tipo de sistema estimula o aumento da velocidade de alguns motoristas que tentam ultrapassar o máximo de interseções possíveis antes do semáforo mudar (ou fechar).

**b) Sistema alternado (progressivo limitado)**

Com este sistema, semáforos consecutivos ao longo da via exibem indicações opostas. O objetivo é que os pelotões de veículos trafeguem na metade do tempo do ciclo. Motoristas que excederem a velocidade de projeto do sistema irão parar em cada interseção. Este sistema não é recomendado para vias onde a distância entre os cruzamentos seja muito variável.

**c) Sistema progressivo flexível**

O ciclo de cada interseção é o mesmo neste sistema, porém os tempos de passagem (verdes) são distribuídos para cada cruzamento, de acordo com a velocidade desejada na rota. A intenção é fornecer uma “progressão” dos períodos de verde ao longo da via nos dois sentidos (direções). Este sistema resume-se a uma mistura do “alternado” e do “sincronizado” para obtenção destes resultados, que podem ser observados no diagrama de tempo e distância, conforme mostra a Figura 13.



**Figura 13:** Exemplo de diagrama de tempo e distância utilizado para projeto de semáforos coordenados, com progressão nos dois sentidos da via.

Fonte: (IHT, 1987).

**d) Sistema “Tailor-made”**

Este sistema consiste basicamente na coordenação de interseções adjacentes, onde o mestre está localizado na chamada interseção chave, aquele que necessita maior eficiência e que por isto opera totalmente atuada. A partir desta interseção chave são controlados os

tempos e definidos as mudanças de direito de passagem nas interseções vizinhas. As informações enviadas pela interseção chave (crítica, normalmente chamada de mestre) para a mudança de direito de passagem, podem ser atendidos instantaneamente, ou com uma defasagem dependendo do tempo de percurso entre cada cruzamento. Para a definição desta defasagem existem algumas técnicas que levam em conta o tempo de percurso, a velocidade média de projeto e os tempos de ciclo adotados. Neste trabalho não serão abordados estes detalhes por não ser objetivo principal em análise, porém os métodos da largura de banda do verde (bandwidth method) e o sistema de um quarto de ciclo (quarter-cycle offset system), são aplicados com sucesso desde a década de 60.

Segundo publicações mais recentes, a definição de sistemas coordenados parte do princípio de que semáforos dispostos em um sistema de corredor linear, normalmente propiciam parâmetros de coordenação dos semáforos para produzir o que é chamado de “onda verde” (Sheperd,1992). Isto define a intenção de que o tráfego ultrapasse um conjunto de semáforos subseqüentes no verde sem paradas. Para que este efeito ocorra, o período de verde em uma interseção é temporizado para abrir defasado com relação ao seu antecessor, por um valor igual ao tempo de percurso dos veículos entre cada interseção. Esta é definida como a defasagem progressiva, determinada para as condições de tráfego livre. Este método utiliza o mesmo conceito do sistema progressivo flexível definido por Webster na década de 60, como descrito no ver item “c”.

Recentes estudos realizados nos Estados Unidos apontam que o método da progressão arterial, largamente utilizada neste país, apresentam benefícios significativos no aumento da velocidade de percurso e na redução dos atrasos. Para tanto, os tempos dos semáforos são programados para maximizar a largura contínua da banda de verde uniforme, em ambas direções ao longo de um corredor, com uma velocidade de percurso definida. (Gartner, 1991)

As técnicas mais avançadas para otimização utilizadas nos Estados Unidos são conhecidas como: PASSER – II e MAXBAND. A primeira utiliza um procedimento de pesquisa heurística e a outra utiliza uma técnica de programação matemática muito versátil. Ambas objetivam o cálculo dos tempos de ciclo, defasagens, velocidade de percurso e seqüência das fases para cada interseção, para maximizar a combinação importante das larguras de banda nas duas direções ao longo do corredor. (Gartner, 1991)

Um método alternativo para desenvolver uma coordenação semafórica em área baseia-se no uso do TRANSYT (Vincent *et al*, 1980). Este modelo computacional utiliza um método que determina os planos semafóricos a tempos fixos com o objetivo de minimizar o atraso e o número de paradas de uma rede semafórica. Os principais elementos utilizados são: arco e nó. A hipótese utilizada para este método é de que: todas interseções importantes são semaforizadas; todos os semáforos operam com o mesmo ciclo ou múltiplos deste valor; a distribuição do tráfego nos links de fronteira da área é uniforme, as porcentagens de conversão são constantes ao longo do tempo e os volumes abaixo da capacidade.

Os padrões de tráfego definido nos arcos são: padrão de chegada, padrão de saída e relacionamento entre os padrões. Como parâmetros determinados através deste modelo temos o tempo de ciclo que é imposto; os tempos de verde que são calculados pela proporcionalidade em relação às taxas de ocupação e a defasagem obtida pelo processo de comparação entre várias tentativas na curva padrão de chegada acumulada. Busca do ponto mínimo da função de performance. (Ming *et al.*, 2001)

Ao final deste capítulo podemos observar que a evolução dos critérios de controle nos remete a otimização de redes de tráfego, inclusive com o auxílio de ferramentas e modelos computacionais. Isto atesta a base do desenvolvimento dos sistemas de controle adaptativos, que procuram não apenas otimizar interseções isoladas para a redução de atrasos e paradas, mas sim propiciar um ganho global em uma rede semafórica coordenada. Desta forma é possível obter a minimização dos atrasos e paradas de toda uma área.

## **CAPÍTULO 5**

### **5 ANÁLISE DO PANORAMA ATUAL DOS SISTEMAS AMERICANOS**

Este capítulo apresenta um modelo de sistema baseado na experiência americana para controle e gerenciamento do tráfego urbano, integrando os diferentes sistemas de modo a formar a chamada infraestrutura ITS metropolitana, conforme define a National ITS Architecture (NIA, 2001). Esta infraestrutura contempla todos os sistemas de gerenciamento de informações, emergência, transporte público, pedágios entre outros. Por ser o foco deste trabalho, o capítulo detalhará apenas na análise do sistema de gerenciamento de trânsito arterial, responsável pelo controle do trânsito urbano.

Dentro do sistema de gerenciamento arterial, é apresentada uma análise do atual panorama dos sistemas de controle adaptativos nos Estados Unidos, os chamados ACS (Adaptative Control Strategies). Esta análise mostra que os sistemas adaptativos ainda sofrem algumas restrições, porque os benefícios divulgados destes sistemas ainda não convenceram plenamente os especialistas americanos da Federal Highway Administration (FHWA, 2000). Principalmente em função do alto custo, da alta complexidade do sistema, da grande dependência da comunicação e dos detetores, e do uso de uma interface de operação nada amigável.

No fim deste capítulo será apresentada uma relação com benefícios em diversas cidades do mundo, mostrando algumas informações sobre a performance deste tipo de sistema, quando comparado com um sistema de tempo fixo bem ajustado.

#### **5.1 APRESENTAÇÃO DA INFRAESTRUTURA ITS METROPOLITANA:**

A definição simplificada para ITS (Intelligent Transportation System) se resume na aplicação de tecnologias de comunicação, controle, eletrônica, informática e computação para melhorar a performance dos sistemas de transportes de superfície. Ou seja, é a aplicação de inteligência através da tecnologia e seus recursos disponíveis para facilitar e melhorar as condições dos sistemas de transporte e por conseqüência melhorar a qualidade de vida de seus

usuários. O desenvolvimento do ITS está motivado nas dificuldades sociais, políticas e econômicas de se expandir a capacidade de transporte com a ampliação da infra-estrutura urbana e viária.

O ITS tem como objetivos a redução dos congestionamentos, aumento da segurança, redução de impactos ambientais causados pelos transportes (externalidades), redução do consumo de energia e aumento da produtividade. O ITS envolve pessoas usando informações e tecnologias para salvar vidas, economizar tempo e dinheiro, e aumentar a qualidade de vida das pessoas (FHWA, 2000).

Os componentes da infraestrutura do sistema ITS metropolitano, de acordo com a National ITS Architecture (NIA, 2001), prevê a integração entre os diferentes sistemas inteligentes que compõem esta área, sendo:

- Sistema de Gerenciamento de Trânsito Arterial
- Sistema de Gerenciamento de Trânsito das Freeway
- Sistema de Gerenciamento de Transporte
- Sistema de Gerenciamento de Incidentes
- Sistema de Gerenciamento de Emergências
- Sistema de Pedágios Eletrônicos
- Interseções Rodo-ferroviárias
- Sistema de Pagamento Eletrônico de Transporte
- Sistema de Informação regional multimodal aos usuários
- Sistema de Gerenciamento da Informação

Fonte: (FHWA, 2000).

### **5.1.1 Descrição do sistema de gerenciamento de trânsito arterial:**

Este sistema é responsável por gerenciar o tráfego, composto por diversos dispositivos de detecção e controle, instalados ao longo das vias arteriais urbanas. Incluindo ainda as funções de supervisão e monitoração do tráfego, o controle dos semáforos, os sistemas de informação aos usuários, e os sistemas de fiscalização de velocidade e avanço de vermelho.

A monitoração do tráfego é comumente obtida através de um sistema de câmeras (CFTV) instaladas nas interseções. O sistema de controle dos semáforos normalmente é composto por sistemas adaptativos, chamados de ACS (Adaptative Control Strategies),

semáforos prioritários, utilizados para emergência e para o transporte público, e semáforos de pedestres. O sistema de informações é composto de Painéis de Mensagens Variáveis (PMV), boletins informativos pelo rádio, ou até sistemas de informação dentro dos veículos, como celular e palm-top. Os sistemas de fiscalização são compostos por dispositivos de avanço de semáforos, radares fixos e móveis. A Figura 14 abaixo apresenta dois exemplos de centros de controle norte-americanos.



Figura 14: Fotos de Centros de Controle em operação nos Estados Unidos.

Fonte: (FHWA, 2000).

### 5.1.2 Aplicação dos sistemas adaptativos nos Estados Unidos:

Nesta parte do capítulo serão apresentadas, em forma expositiva, algumas informações divulgadas em dois estudos realizados pela Federal Highway Administration nos anos 2000 e 2001. O principal objetivo proposto nestes estudos foi de avaliar e questionar o atual estágio de utilização de sistemas de transporte inteligentes (ITS) nos Estados Unidos e nos países participantes de programas nesta área.

Neste trabalho, os dados apresentados estão focados na aplicação dos sistemas denominados “ACS” (Adaptative Control Strategies). Os sistemas ACS são sistemas de controle de tráfego que otimizam os tempos dos planos em tempo real, baseado nas condições

correntes de tráfego, demanda e capacidade. Estes sistemas têm sido aplicados para redução de atrasos e aumento da eficiência da interseção.

Embora esta tecnologia esteja disponível há mais de 20 anos, o ACS não está sendo largamente aplicado nos Estados Unidos. Estes sistemas são considerados caros e complicados, e os engenheiros de tráfego não parecem convencidos dos benefícios associados (FHWA, 2000).

Os ACS utilizam algoritmos de otimização da performance dos semáforos. Estes sistemas requerem uma monitoração extensa do tráfego, normalmente com laços detetores e infraestrutura de comunicação, que permita comunicação dos controladores entre a central e entre eles. Os tradicionais ACS utilizados nos Estados Unidos são o SCATS e o SCOOT. A cidade de Los Angeles desenvolveu e está usando um sistema chamado ATSC.

Outros algoritmos estão sendo desenvolvidos e testados nos Estados Unidos, entre eles o OPAC (Optimized Policies for Adaptive Control) e o RHODES (Real-Time Hierarchical Optimized Distributed Effective System). Estes algoritmos estão sendo submetidos a testes operacionais de campo financiados pelo Federal Highway Administration. Ambos utilizam algoritmos para uso em vias arteriais urbanas, sendo que o OPAC, recomendado para condições de saturação de tráfego (over-saturation) está sendo testado em New Jersey, enquanto o RHODES, recomendado para condições de baixa demanda de tráfego (under-saturation), está sendo testado em Tucson, Arizona. Outro novo sistema adaptativo, também desenvolvido para malha viária urbana é chamado RTACL (Real-Time Traffic Adaptive Control Logic), e está sendo testado em Chicago desde o final de 2000.

No entanto, a avaliação americana sobre ACS não é boa. Benefícios têm sido demonstrados em diversas áreas onde os tradicionais sistemas adaptativos, SCATS e SCOOT, estão sendo aplicados, entretanto alguns argumentam que estes sistemas nem sempre são melhores que um bom sistema de tempos fixos com tabela de planos diária. Esta observação pode ser verdadeira onde o tráfego é previsível ou apresenta variações muito pequenas. Outros problemas sobre os sistemas adaptativos são a necessidade de manutenção dos detetores e os problemas de comunicação entre controladores, causados por ruídos, descargas atmosféricas, cabos rompidos e danos nos sistemas de comunicação.

Segundo estudo da FHWA, existiam em 2001 apenas nove implantações de ACS nos Estados Unidos, exceto aquelas dos sistemas em testes (OPAC, RHODES e RTACL), conforme mostra a Tabela 3 abaixo. Um dos primeiros e maiores ACS está instalado em Oakland County

em Michigan, como parte do projeto FAST-TRAC. Este sistema iniciou sua operação em 1992 e possui mais de 350 interseções sob o controle do sistema SCATS. Também em Los Angeles na Califórnia o sistema ATSC inclui 1170 interseções e 4.509 detetores para otimizações dos semáforos em operação desde 1994.

**Tabela 3: Cidades americanas com ACS implantado em 2001.**

| Cidade              | Sistema | Número de Interseções |
|---------------------|---------|-----------------------|
| Los Angeles, CA     | ATSC    | 1170                  |
| Oakland County, MI  | SCATS   | 350                   |
| Hennepin County, MN | SCATS   | 71                    |
| Arlington, VA       | SCOOT   | 65                    |
| Minneapolis, MN     | SCOOT   | 60                    |
| Anaheim, CA         | SCOOT   | 20                    |
| Durham, NC          | SCATS   | Não informado         |
| Broward County, FL  | SCATS   | Não informado         |
| Newark, DE          | SCATS   | Não informado         |

Fonte: (FHWA, 2001).

Constata-se desta forma que os sistemas adaptativos têm aplicações reduzidas nos Estados Unidos, devido a diversos fatores que incluem: alto custo de implantação e manutenção, complexidade operacional, e incertezas dos especialistas quanto aos benefícios produzidos. Uma análise realizada nos sistemas em estudo nos Estados Unidos mostra que os benefícios do ACS dependem muito da condição de tráfego onde são instalados. Em áreas com característica de pequenas variações na demanda de tráfego, os benefícios se comparados ao um bom sistema de tempos fixos são muito pequenos.

Ainda quanto a análise da complexidade dos sistemas ACS, foi apontada a necessidade de treinamentos adicionais para operação dos sistemas, por causa de sua interface não muito amigável. Além disto, diferentes terminologias para parâmetros de programação, muitas vezes regionais, são utilizados, causando problemas aos engenheiros de tráfego.

Outro ponto desta análise aponta que estes sistemas são totalmente dependentes da comunicação e do bom funcionamento dos detetores, pois do contrário, o sistema não funciona satisfatoriamente. Finalmente a questão do custo parece ser o maior obstáculo para popularizar o ACS nos Estados Unidos. As Tabelas 4 e 5 abaixo apresentam uma comparação de custos de operação e manutenção entre o SCOOT e um sistema de tempos fixos, e os custos estimados para os tipos de sistemas instalados ou em testes nos Estados Unidos (FHWA, 2000).

Tabela 4: Comparação de custo do SCOOT com um sistema de tempos fixos

| <b>Equipamento ou Tarefa</b>                 | <b>Custo do SCOOT x Padrão Tempos Fixos</b> |
|--|---|
| Controladores de Tráfego                     | O mesmo custo                               |
| Detetores                                    | Muito maior                                 |
| Instalação dos laços, validação e calibração | Sem custos de operação e manutenção         |
| Atualização dos planos de tráfego            | Reduz                                       |
| Equipamento Central e comunicação            | O mesmo                                     |

Fonte: (FHWA, 2000).

Tabela 5: Estimativas de custos dos diferentes sistemas ACS instalados nos EUA

| <b>Sistema</b> | <b>Hardware da Central (US\$)</b> | <b>Software da Central (US\$)</b> | <b>Controladores de Tráfego (US\$)</b> | <b>Detetores por interseção (US\$)</b> |
|----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|--|
| <b>SCATS</b>   | 30.000                            | 40.000 - 70.000                   | 4.000 - 6.000                          | 5.000- 7.000                           |
| <b>SCOOT</b>   | 30.000                            | Não informado                     | Não informado                          | 5.000 - 7.000                          |
| <b>OPAC</b>    | 20.000 - 50.000                   | 100.000-200.000                   | 4.000 - 6.000                          | Não informado                          |
| <b>RHODES</b>  | 50.000                            | 500                               | Não informado                          | Não informado                          |
| <b>ATSC</b>    | 40.000 - 50.000                   | 1.000 + licença                   | 8.000 - 10.000                         | 5.000 - 10.000                         |

Fonte: (FHWA, 2000).

Com relação ao futuro dos sistemas ACS nos Estados Unidos, a FHWA em seu relatório de 2001, aponta que apenas cinco outras cidades têm expectativa em adotar um sistema de controle adaptativo até 2005. Os sistemas ACS desenvolvidos e atualmente em testes nos Estados Unidos (RHODES, OPAC e RTACL) estão iniciando a apresentar benefícios significativos e são mais fáceis de operar do que os tradicionais (SCOOT e SCATS). Na questão do custo a FHWA considera e defende que a solução seria desenvolver sistemas ACS de baixo custo, que poderiam ser usados em cidades pequenas e médias, e sem a necessidade de se substituir todos os equipamentos de tráfego, como os controladores e detetores já instalados (FHWA, 2000).

## 5.2 BENEFÍCIOS OBTIDOS NOS SISTEMAS DE CONTROLE CENTRALIZADO

Baseado nos resultados publicados na literatura, os sistemas mais avançados para controle de tráfego normalmente providos de controle adaptativo, apresentam significativos benefícios. No entanto, é muito difícil generalizar a expectativa de benefícios para estes sistemas. Os benefícios para uma área individual dependem de um número de variáveis operacionais que são únicas para cada implementação. Variáveis podem incluir o número de interseções ou semáforos em um corredor, distância entre as interseções, tamanho da área de estudo, largura das vias, padrão de demanda veicular, etc. Cabe salientar, que estes benefícios apresentados também dependem da qualidade do sistema de controle original, antes da sua implantação e que deve ser usado como comparativo (antes e depois).

Alguns resultados do relatório do FHWA de 2001, obtidos de valores medidos, como por exemplo: a redução percentual em paradas nos semáforos - serão apresentados a seguir. Toronto, Canadá com o SCOOT, obteve redução da ordem de 10% nos tempos de paradas; em Paris, França, estes tempos tiveram redução da ordem de 22%; já em Oakland, Michigan, com o IVHS (Intelligent Vehicle Highway Systems) este valor atingiu os 30% de redução; em Los Angeles, Califórnia com o ATSC (Automated Traffic Surveillance and Control) foi obtida uma redução dos tempos de paradas em 33% e finalmente em Madrid, Espanha com o ITACA, este valor ultrapassa os 40% atingindo 41% de redução. Segundo o relatório, os sistemas adotados utilizam na maior parte controle adaptativo (realimentado), sendo que em alguns casos foram adotados sistemas de seleção de planos pré-definidos. (FHWA, 2001).

Outros dados, apresentados no mesmo relatório da FHWA de 2001, mediram o percentual de redução dos tempos de percurso e apontaram os seguintes resultados. Em Paris, redução de 2% nos tempos de percurso, em Toronto, esta redução atinge 5%, já em Los Angeles, este valor chega a uma redução de 14% do tempo de percurso; em Detroit, Michigan, o valor atinge 18% de redução e em Madri, o ganho é maior e na ordem de 20% de redução neste tempo.

Os tempos de atrasos medidos nestes estudos, também foram apresentados no relatório do FHWA de 2001 e apontam também reduções significativas. Em Paris, 15% de redução nos atrasos; Toronto, 17% de redução; Los Angeles, este valor atinge 25% de redução nos atrasos em Detroit, Michigan, chega a 37% de redução e em Madri, a redução novamente é maior na

ordem de 44%. A redução de combustível medida e apresentada no relatório apontam, Phoenix, Arizona, com 2% de economia; Paris, na ordem de 6%, Toronto, com uma economia de 10% e Los Angeles, com 13% de economia de combustível.

Resultados de coordenação de semáforos com tempos fixos aplicados em uma congestionada via de Seattle também são descritos e apontam para 7% de redução de atrasos, além de redução de 2,5% das colisões existentes. Outros resultados apresentados por uma coordenação dos semáforos em uma via arterial do Phoenix, Arizona, apontam aumento de 6,2% de aumento na velocidade, 1,6% de redução de consumo de combustível e 6,7% de redução o risco de colisão. A coordenação dos 21 semáforos ao longo da via apresentou também uma redução da ordem de 21% nos atrasos no pico da manhã, enquanto que a simples otimização dos tempos dos semáforos, sem a coordenação apresentaram redução de 16% nos atrasos. A Tabela 6, abaixo, apresenta uma síntese dos benefícios obtidos com a implantação de sistemas centralizados adaptativos em nove cidades americanas e européias.

Tabela 6: Benefícios obtidos em cidades que utilizam sistemas centralizados.

| <b>Cidade</b> | <b>Sistema</b> | <b>Tempos de Paradas</b> | <b>Tempos de Percurso</b> | <b>Atrasos</b> | <b>Consumo de Combustível</b> |
|---------------|----------------|--------------------------|---------------------------|----------------|-------------------------------|
| Toronto       | SCOOT          | -10%                     | -5%                       | -17%           | -10%                          |
| Los Angeles   | ATSAC          | -33%                     | -14%                      | -25%           | -13%                          |
| Paris         | *              | -22%                     | -2%                       | -15%           | -6%                           |
| Madrid        | ITACA          | -41%                     | -20%                      | -44%           | *                             |
| Broward       | SCATS          | *                        | -20%                      | -42%           | *                             |
| Oakland       | SCATS          | -30%                     |                           | -32%           | *                             |
| Detroit       | *              | *                        | -18%                      | -37%           | *                             |
| Phoenix       | *              | *                        | *                         | *              | -2%                           |
| Aberdeen      | SCOOT          | -31,6%                   | *                         | -38,3%         | *                             |

\* Informação desconhecida. Fonte: (FHWA, 2001).

Ainda neste relatório da FHWA, foram apresentados resultados de um teste realizado com SCOOT em Anaheim, Califórnia, numa área que contém os quatro maiores centros de eventos. Para este teste foram definidas rotas, onde os valores médios obtidos variaram de

uma redução de 10% até um acréscimo de 15% nos tempos de percurso. Em outras rotas nesta mesma área os valores médios apresentaram redução de 2% até um acréscimo de 6%. Estes resultados indicaram uma inconsistência na performance do SCOOT, onde também cabe salientar que os detetores foram instalados próximos às interseções, o que é considerado uma posição não comum para este sistema. De qualquer forma ficou evidenciada a dificuldade do sistema a se adaptar a variações extremas de volume de tráfego, que normalmente ocorrem durante eventos maiores.

Como resultado final, observa-se que estes benefícios medidos e apresentados sinalizam algum tipo de ganho nos sistemas, porém as comparações imediatas entre os diferentes resultados não são recomendáveis. Por que estas comparações devem ser feitas apenas nas situações de idêntica metodologia, com utilização de variáveis e dados iguais. Além do mais, a variabilidade na demanda em que estes estudos são feitos, os tornam relativos e não exatos. Outro fato significativo ao analisar estas informações diz respeito às características dos sistemas anteriormente instalados e sua performance em cada cidade ou área, pois estes servem como base de comparação aos benefícios apresentados.

## **CAPÍTULO 6**

### **6 ANÁLISE DO PANORAMA ATUAL DOS SISTEMAS NO BRASIL**

Este capítulo traz uma análise dos sistemas centralizados instalados no Brasil até os dias atuais, partindo de um breve histórico das iniciativas pioneiras nesta área. Esta análise pretende situar as informações da evolução dos sistemas centralizados e compará-la ao panorama atual encontrado no país.

Ao final do capítulo, de forma expositiva, é apresentada uma tabela com as cidades pesquisadas que possuem sistemas centralizados implantados, classificando-os pela estratégia utilizada. Uma informação aproximada do número de interseções controladas por cada sistema nas cidades também é fornecida para uma análise quantitativa do universo abrangido.

#### **6.1 HISTÓRICO DOS SISTEMAS CENTRALIZADOS NO BRASIL**

A evolução dos sistemas de controle centralizados no Brasil começou com a iniciativa da CET-SP (Companhia de Engenharia de Tráfego do Município de São Paulo) que na década de 80 iniciou a implantação do projeto SEMCO, conforme ilustra a Figura 15 (Plessey, 1990). Este projeto pioneiro no país era baseado na centralização de controladores de tempos fixos com detetores para informar aos operadores as condições de fluxo e saturação das vias. Os equipamentos, importados e fabricados pela empresa inglesa Plessey, necessitavam de controle contínuo da Central, pois não possuíam qualquer inteligência local capaz de mantê-los em operação normal. Ou seja, nos casos de falha na comunicação entravam em plano de emergência básico.

Ainda nesta década, a cidade de Curitiba iniciava a implantação de um sistema centralizado com características semelhantes e fabricado pela empresa australiana Philips (Philips, 1993). Este sistema abrangia basicamente o centro da capital paranaense, que ainda hoje possui alguns corredores com estes equipamentos originais. Já no início dos anos 90 a

cidade do Rio de Janeiro iniciou a implantação de seu CTA e criou para gerenciá-lo a CET-Rio (Companhia de Engenharia de Tráfego)(CET-Rio, 2001). Os equipamentos de origem espanhola fabricados pela empresa SAINCO permitem o controle em tempo real a partir do CTA, porém segundo informações da própria CET-Rio, o sistema foi implantado em modo operacional, por opção da própria Companhia, que por ser recém criada não teria condições técnicas de implantar e manter um sistema adaptativo em tempo real (Sainco, 2001).



**Figura 15:** Centro de Controle em São Paulo (Sistema SEMCO) Fonte: (Plessey, 1990).

Nos anos seguintes eram então a vez de cidades como Porto Alegre, Belo Horizonte e Vitória implantarem seus sistemas centralizados de tempos fixos. Estas cidades optaram por sistemas mais simples e de menor investimento, que operam em tempos fixos. Campo Grande preferiu um sistema adaptativo baseado em seleção automática de planos, implantado em meados de 95 na área central da cidade. Composto de controladores de tecnologia francesa (SERREL), porém fabricados na cidade do Rio de Janeiro pela empresa BSE (Braslinea Serrel Engenharia) (BSE, 1995).

Em meados de 1995, a cidade de Juiz de Fora também adotou um sistema de seleção de planos similar a Campo Grande, com software RAHMSES, fornecido e

implantado pela BSE. Uberlândia cidade pólo do chamado triângulo mineiro seguiu a linha de Juiz Fora, que foi a primeira cidade do Brasil a colocar em operação um sistema de seleção de planos. Uberlândia implantou o sistema em 140 interseções que abrangem a maior parte da cidade.

Também em meados da década de 90, São Paulo novamente preparava um novo salto na corrida tecnológica dos sistemas centralizados urbanos. A capital paulista estava iniciando a implantação de cinco CTA adaptativas em tempo real, totalizando em torno de 1500 cruzamentos controlados. Estas CTA foram implantadas em cinco áreas, sendo uma em cada região da cidade, que é dividida em Gerências, as GETs (Gerências de Engenharia de Tráfego). Nestas implantações foram adquiridos e instalados aproximadamente 1200 novos controladores de tráfego, de três diferentes fabricantes, sendo um espanhol, a Sainco Trafico com o sistema ITACA e as outras, a inglesa Peek Traffic e a alemã Siemens ambas com o sistema SCOOT.

Em 1999, a cidade de Fortaleza também inicia a implantação de seu sistema de controle em tempo real SCOOT, da empresa Peek. No total são 168 controladores de tráfego ingleses, responsáveis pelo controle do trânsito da cidade, no chamado CTAFOR (Medeiros, 2000). Outras cidades que iniciaram implantação de sistemas centralizados, no final dos anos 90, foram Ribeirão Preto com uma central de supervisão, Campinas com um sistema operacional e Joinville com um sistema adaptativo de seleção de planos.

## 6.2 ANÁLISE DO PANORAMA DOS SISTEMAS CENTRALIZADOS NO BRASIL

Em meados do ano 2001, e passados estes mais de vinte anos de busca por excelência em controle de tráfego no Brasil, será apresentada a seguir uma análise dos resultados e da situação atual destes sistemas. Esta análise foi baseada em informações obtidas em contatos com os técnicos das cidades e das empresas de gestão de trânsito.

Em Curitiba, o sistema centralizado adquirido da Phillips e seus controladores foram praticamente todos substituídos, pois esta empresa saiu do mercado de controladores de tráfego no Brasil e na América Latina, e sua manutenção ficou inviável. Hoje a capital paranaense possui uma central de tráfego desenvolvida por uma empresa local chamada Dataprom, que aproveitou a saída da Phillips do mercado e o seu conseqüente abandono, para desenvolver controladores compatíveis capazes de suprir a necessidade do município. A

maioria dos controladores instalados na cidade são fabricados por esta empresa e conectados a sua central que funciona como supervisão e operacional. Recentemente, este sistema utilizando o software ANTARES iniciou a operar com seleção de planos em algumas áreas da cidade, como na região do bairro chamado Batel, onde os primeiros resultados estão sendo apresentados (Cannell, 2001).

Em Campo Grande, o sistema implantado está operando hoje apenas baseado em tempos fixos, não realizando as funções de seleção de planos prevista no projeto original. Segundo informações, por falta de manutenção, o que normalmente é associada à falta de verbas e descumprimentos de contratos,

No Rio de Janeiro, até o final de 2001, continuava com o funcionamento operacional do sistema centralizado. Os laços detetores não foram instalados em sua totalidade e o sistema nunca chegou a funcionar de forma adaptativa. Inclusive a expansão do sistema nas áreas seguintes, que hoje totalizam sete, a maior parte delas é composta de equipamentos nacionais fabricados pela Dataprom. E fora destas regiões do CTA, encontram-se controladores também nacionais fabricados pela Digicon e Tesc em redes coordenadas.

Em Juiz de Fora e Uberlândia os seus sistemas centralizados com software RAMHSES estão operando em seleção de planos. Assim como em Porto Alegre, Belo Horizonte e Vitória que optaram por sistemas centralizados em modo supervisão e operação.

Já em São Paulo, não houve a conclusão da implantação dos sistemas em tempo real para todas as CTAs previstas. Apenas as áreas com sistema ITACA foram totalmente implantados, mesmo com os problemas de verbas do município no decorrer da implantação. Os demais sistemas encontram-se em funcionamento em apenas parte das regiões planejadas, e sem uma manutenção adequada. A ausência desta manutenção promove uma perda nos equipamentos por motivo de falhas e defeitos, causando uma redução maior dos cruzamentos já implantados, além de uma grande dificuldade operacional pela mistura de diferentes tipos de sistemas. Até hoje, no ano de 2001, o sistema SEMCO de 1980 é responsável pelo controle de boa parte dos cruzamentos na área do CTA1 que fica nas imediações da Av. Paulista. Os operadores precisam alinhar e mesclar as estratégias de controle, numa malha de sistemas de tempo real, tempo fixo operacional e tempo fixo coordenado, que convivem juntos nesta mesma área. A Figura 15 ilustra a foto da CTA 1, onde observam-se sistemas de tempo real e de tempos fixos de diversas tecnologias.

Em Ribeirão Preto a central de supervisão está evoluindo para operacional e o sistema começa a apresentar resultados nos principais corredores. Em Campinas, a região abrangida pela central operacional foi alvo de estudo de antes e depois e os resultados serão apresentados no próximo capítulo. Na cidade de Joinville, segundo informações de técnicos do IPUJ (Instituto de Planejamento Urbano de Joinville), o sistema implantado está operando com seleção automática de planos.

Na Tabela 7, é apresentado um resumo de informações relativas às cidades brasileiras, que possuem sistemas centralizados implantados, destacando a estratégia de controle adotada e um número aproximado de interseções controladas por cada sistema.

**Tabela 7: Cidades brasileiras com central de tráfego implantada**

| <b>Cidade</b>       | <b>Sistemas Centralizados</b>                                | <b>Estratégias</b>                         | <b>Número de Interseções<sup>(1)</sup></b> |
|---------------------|--|--|--|
| Porto Alegre – RS   | TrafficVision(Digicon )<br>Flexcent (Tesc)                   | Tempos Fixos<br>Tempos Fixos               | 210<br>170                                 |
| Joinville – SC      | Antares (Dataprom)   | Seleção de Planos                          | 150  |
| Curitiba – PR       | Antares (Dataprom)<br>Antares (Dataprom)                     | Seleção de Planos<br>Tempos Fixos          | 24<br>300                                  |
| São Paulo – SP      | SCOOT e ITACA<br>TrafficVision(Digicon )                     | Tempo Real<br>Tempos Fixos                 | 1200<br>35                                 |
| Campinas – SP       | TrafficVision(Digicon )                                      | Tempos Fixos                               | 30   |
| Ribeirão Preto – SP | TrafficVision(Digicon )                                      | Tempos Fixos                               | 60   |
| Rio de Janeiro – RJ | ITACA (Sainco)   | Tempos Fixos                               | 900  |
| Vitória – ES        | TrafficVision(Digicon )<br>Flexcent (Tesc)                   | Tempos Fixos<br>Tempos Fixos               | 40<br>50                                   |
| Belo Horizonte- MG  | TrafficVision(Digicon )<br>Flexcent (Tesc)<br>ITACA (Sainco) | Tempos Fixos<br>Tempos Fixos<br>Tempo Real | 100<br>100<br>0 <sup>(2)</sup>             |
| Juiz de Fora – MG   | RAMHSES (BSE)  | Seleção de Planos                          | 78   |
| Uberlândia – MG     | RAMHSES (BSE)  | Seleção de Planos                          | 140  |
| Campo Grande – MS   | RAMHSES (BSE)  | Seleção de Planos                          | 50   |
| Fortaleza – CE      | SCOOT (Peek)   | Tempo Real                                 | 120  |

Fontes: (EPTC, 2001), (CET-SP,2001), (CET-Rio, 2001), (Medeiros, 2000), BHTRANS, 2001), (Sainco, 2001), e através de informações obtidas com técnicos das cidades em visitas.

<sup>(1)</sup> Os números de interseções instaladas são aproximadas e baseadas em informações obtidas por técnicos das próprias cidades.

<sup>(2)</sup> Sistema ITACA (Sainco) em fase de implantação com previsão de abranger 168 cruzamentos.

Analisando a Tabela 7, podemos observar que várias cidades do Brasil estão investindo na implantação de sistemas centralizados para controle de tráfego. No entanto observa-se que este investimento, na sua grande maioria, está focado principalmente em sistemas de supervisão e operação, e menos em sistemas adaptativos. Isto representa a realidade do panorama atual, que comprova que estes sistemas necessitam de grandes investimentos para sua implantação e manutenção, que a maior parte dos municípios ainda não estão capacitados a realizar. Também podemos observar que os sistemas na sua maioria são baseados em tecnologia nacional.

## CAPÍTULO 7

### 7 ANÁLISE DOS TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROLE NO BRASIL

A seguir serão descritos alguns exemplos de sistemas de tráfego centralizado instalados no Brasil com a composição de seus subsistemas, suas características particulares e sua aplicabilidade. Para cada tipo de sistema centralizado seja de supervisão, operacional, seleção de planos e tempo real, será apresentado pelo menos um exemplo de cidade que o possui. Alguns destes exemplos serão aprofundados com apresentação de resultados obtidos antes e depois de sua instalação, para estimar prováveis benefícios obtidos.

#### 7.1 COMPOSIÇÃO DE UM SISTEMA CENTRALIZADO DE SUPERVISÃO

A definição para sistema centralizado de supervisão baseia-se no princípio de prover troca total de informações entre central de controle e rede de controladores de tráfego, de modo a atualizar e informar quaisquer alterações no seu funcionamento. Caso ocorram problemas ou falhas nos equipamentos e na rede de comunicação, estas são prontamente informadas ao operador através de alarmes específicos. As informações, relativas aos planos e ciclos em funcionamento, seqüências de fases, estágios atuais e modos de operação, também são transmitidas em tempo real ao operador do sistema.

##### 7.1.1 CTC - Controle de Tráfego Centralizado (EPTC - Porto Alegre):

###### Informações do sistema:

A cidade de Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, possui hoje segundo dados do IBGE em torno de 1.500.000 habitantes e uma taxa de motorização de 2,1 habitantes por veículo, totalizando uma frota aproximada de 700.000 veículos. Isto deve ainda ser somado aos veículos da Região Metropolitana composta por cidades como Canoas, Cachoeirinha, Gravataí, Alvorada, Viamão, Esteio, Sapucaia, Guaíba entre outras, que elevam em muito a frota em circulação no município.

O sistema semafórico da cidade possui hoje em torno de 650 cruzamentos semaforizados, sendo aproximadamente 400 centralizados com equipamentos eletrônicos microprocessados, divididos em duas Centrais de Área, que abrangem basicamente as seguintes regiões: Central de Área 1: Centro, Independência, Ipiranga, Protásio Alves e Sertório e a Central de Área 2: Borges de Medeiros, Bento Gonçalves, João Pessoa, Cristóvão Colombo, Benjamin Constant, Farrapos, Assis Brasil e Carlos Gomes. Os demais cruzamentos ainda são controlados por equipamentos eletroeletrônicos muitos deles coordenados pelos cruzamentos centralizados. Não existem controladores eletromecânicos em operação na cidade (EPTC, 2001).

#### Subsistemas que compõem o CTC:

##### a) Centrais de Tráfego de Supervisão:

O CTC de Porto Alegre, situado no prédio da EPTC (Empresa Pública de Transporte e Circulação), é composto de duas centrais de tráfego conforme já descrito. Cada central é composta de um computador tipo PC Pentium e demais periféricos. Cada central possui seu próprio software (programa dedicado) capaz de trocar informações com os equipamentos controladores de tráfego interligados em redes formando as subáreas de controle. A função destas centrais é supervisionar falhas, monitorar o estado operacional dos controladores e executar alterações de parâmetros em off-line, como por exemplo revisões semafóricas com alterações de tempos dos semáforos.

Segundo técnico e operadores da EPTC, este sistema produz ganhos operacionais principalmente de manutenção e programação dos controladores. Embora as centrais permitam, os operadores realizam apenas pequenas interferências em parâmetros programáveis, como tempos, defasagem, ciclo e planos dos semáforos da malha viária. As interferências são realizadas apenas com revisão dos planos semafóricos e não como modificação para solucionar problemas de circulação do tráfego em tempo real.

##### b) Central de Rádio e Telefone:

A EPTC conta com este subsistema para atender reclamações e sugestões de usuários referentes a todo serviço prestado pela empresa. O mesmo sistema é também utilizado pelo CTC, para distribuir as informações aos motoristas das condições atuais de tráfego e dos problemas oriundos de acidentes, congestionamentos, etc. Esta central de rádio está preparada também para receber informações e reclamações de usuários do sistema viário através de um telefone especial.

c) Circuito Fechado de Televisão (CFTV):

A EPTC está testando a utilização deste subsistema através de um ponto de monitoração com câmera na cidade, no cruzamento da Av. Ipiranga com a Av. Silva Só. Este sistema encontra-se em teste em parceria com a PROCEMPA (Empresa de Processamento de Dados do Município) que disponibilizou a infraestrutura de comunicação que possui de fibras óticas dentro de um projeto chamado “Projeto Infovia”.

## 7.2 COMPOSIÇÃO DE UM SISTEMA CENTRALIZADO OPERACIONAL

O sistema centralizado operacional diferencia-se do sistema de supervisão por possuir algumas características adicionais. Este sistema também troca parâmetros com os controladores de tráfego, informando falhas através de alarmes e a situação corrente de funcionamento. As características adicionais são a sua interface dedicada para a operação, com a disponibilidade de modificação de forma simples e rápida dos parâmetros de controle como tempos de verdes, defasagem, tempos de ciclo e seqüência das fases, além da possibilidade de imposição de planos para áreas ou controladores específicos. Para estas alterações é recomendável, embora não obrigatória, a instalação de detetores veiculares para informações de contagem e ocupação, e câmeras de CFTV para visualização do tráfego.

### 7.2.1 CCO - Centro de Controle Operacional (EMDEC - Campinas):

#### Informações do Sistema:

A cidade de Campinas, segunda maior cidade do estado de São Paulo, possui hoje segundos dados do IBGE em torno de 1.200.000 habitantes e uma taxa de motorização de 2,5 habitantes por veículo, totalizando uma frota aproximada de 480.000 veículos. Isto deve ainda ser somado aos veículos da Região Metropolitana composta por cidades como Valinhos, Sumaré, Louveiras, entre outras, que elevam a frota em circulação no município.

O sistema semafórico da cidade possui hoje em torno de 450 cruzamentos semaforizados, sendo que aproximadamente 350 com equipamentos eletrônicos microprocessados. A Central de Área, abrange basicamente a seguinte região: Av. Andrade Neves e arredores com 27 cruzamentos conforme mostra a Figura 16. Os demais cruzamentos da cidade ainda são controlados por equipamentos eletromecânicos (Bonetti Jr, 2000).



**Figura 16:** Mapa com detalhe da Rede Centralizada e foto com vista da Av. Andrade Neves, principal eixo da área controlada. Fonte: (Bonetti Jr, 2000).

Subsistemas que compõem o CCO:

a) Central de Tráfego Operacional:

O CCO de Campinas, operado pela EMDEC, possui uma central de tráfego conforme descrito anteriormente. Esta central é composta de computador tipo PC Pentium, com periféricos e um software dedicado. Este sistema, além das funções da central de supervisão, propicia uma intervenção mais rápida do operador na alteração dos parâmetros responsáveis pela fluidez do trânsito (tempos de verde, defasagens e ciclos), com conseqüente redução de congestionamentos. Desta forma, além dos ganhos na manutenção como no sistema de supervisão, também produz benefícios operacionais do ponto de vista da facilidade de efetuar as interferências na malha viária que serão mostradas a seguir.

b) Central de Rádio e Telefone:

Este subsistema funciona de forma similar ao sistema de Porto Alegre, com uma diferença de estar principalmente focado nas informações de condições de tráfego,

congestionamentos e problemas oriundos de acidentes. Deste forma o sistema de comunicação via rádio é utilizado para a operação do trânsito, através de comunicação com a central. Os técnicos e operadores em campo solicitam modificações de parâmetros e realimentam o operador da central com as informações a respeito dos ajustes efetuados, baseados nas estratégias adotadas. Também é utilizado para receber informações e reclamações de usuários do sistema viário através do telefone.

c) Circuito Fechado de Televisão (CFTV):

A EMDEC possui hoje um ponto de monitoração através de câmera na Av. Andrade Neves através de um teste em parceria com uma empresa que opera a fiscalização eletrônica na cidade. Este sistema utiliza como meio de comunicação uma linha telefônica, o que de certa forma reduz bastante a qualidade da informação e da imagem, por ser quadro a quadro e não em tempo real. Porém esta pode se tornar uma alternativa de baixo custo a ser explorada e avaliada por outros municípios.

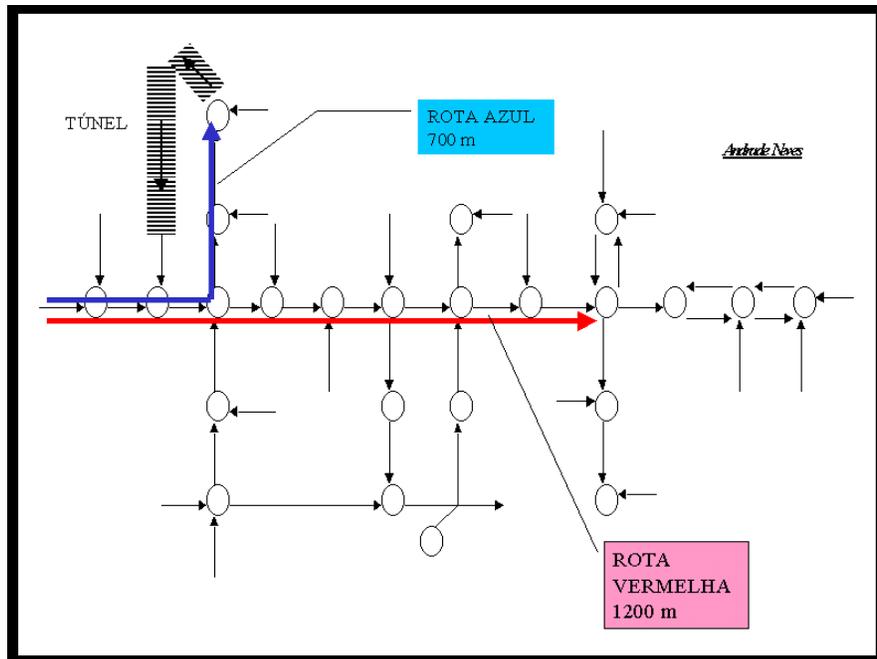
### **7.2.2 Benefícios obtidos na Cidade de Campinas com a Centralização:**

A Cidade de Campinas elaborou este projeto de Centralização já descrito, onde realizou as medições de indicadores escolhidos pela EMDEC, antes e depois da implantação desta Central Operacional. Os principais indicadores escolhidos foram: atrasos e tempo de percurso. Com isto poderemos a seguir observar os resultados obtidos e analisar sua consistência. Para melhor compreensão serão descritos de forma sucinta os passos seguidos para implantação deste sistema centralizado, e ao final serão apresentados os resultados medidos e as conclusões.

Campinas centralizou os controladores da Av. Andrade Neves, uma importante avenida do centro da cidade, através de um projeto elaborado pela EMDEC. Este projeto tinha como objetivo fundamental reduzir os custos operacionais das alterações diárias necessárias na cidade, realizada através da equipe de engenharia, bem como os custos das equipes de manutenção. Através da implantação desta Central, foi possível para EMDEC realizar uma revisão semafórica, utilizando-a como ferramenta operacional nos ajustes em campo das programações efetuadas.

Para avaliar os resultados desta revisão semafórica, foram realizados levantamentos relativos à situação anterior, que servirão de base para comparação com os dados obtidos após a conclusão. Os dados observados de maior relevância para estratégia adotada nesta região, foram

os seguintes: atrasos médios e tempos de percurso nas rotas Azul e Vermelha conforme mostra a Figura 17, e que serão detalhados a seguir.

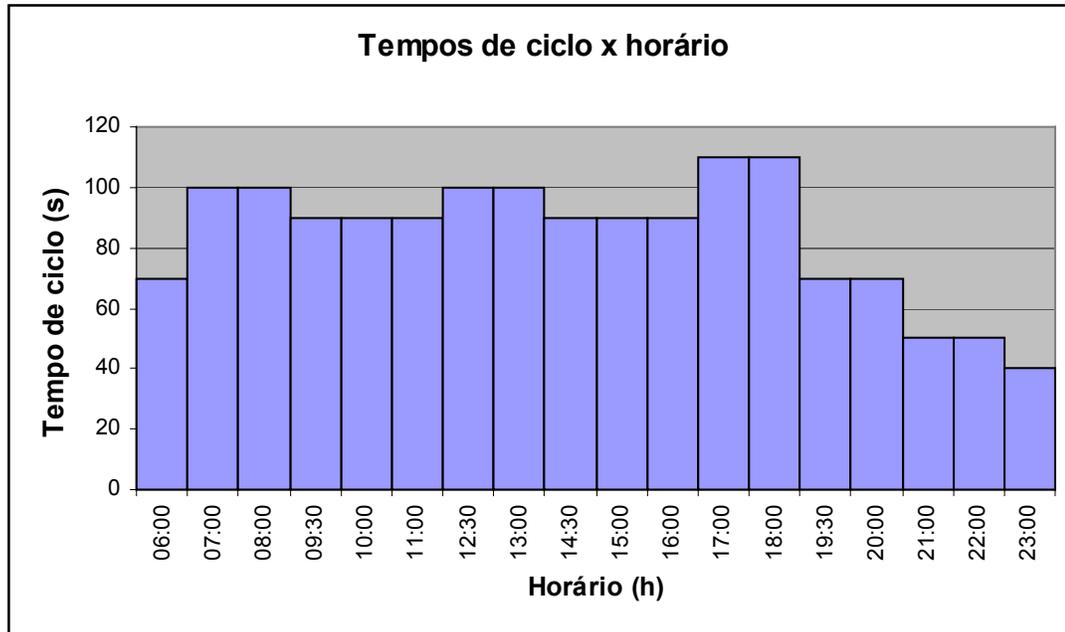


**Figura 17:** Rotas definidas para medição dos benefícios com a centralização.

Fonte: (Bonetti Jr, 2000).

O processo de revisão semafórica partiu de contagens classificadas e cálculo dos fluxos de saturação na área em estudo. A partir destes dados obtêm-se os perfis horários das taxas de ocupação e as faixas horárias dos tempos de ciclo, conforme mostra o gráfico da Figura 18. Estes dados serviram para alimentar o programa TRANSYT 7F para cálculo dos ciclos dos cruzamentos, que origina os tempos de verdes e defasagens otimizados. Estas informações que formam os diferentes planos de tráfego para cada faixa de horários e dias da semana, e que são

chamadas de programação do controlador, são codificadas na Central. A Central tem a função de armazenar os programas de todos os controladores, e enviá-los aos controladores, recebê-los a qualquer momento para compará-los com as informações existentes.



**Figura 18:** Gráfico do perfil de tráfego da Av. Andrade Neves, com a definição dos ciclos adotados para cada faixa de horário. (Fonte: Bonetti Jr, 2000).

Também através da Central o operador poderá alterar qualquer parâmetro do controlador definidos nos planos, de forma permanente ou temporária. Estas características é que definem sua função “operacional”, ou seja, o operador do sistema, de posse de informações obtidas através de rádio comunicador, ou de câmeras de CFTV, ou até mesmo de sensores (detetores) de veículos, pode intervir e alterar parâmetros, como distribuição de verdes no ciclo, defasagens, seqüência de estágios, entre outras.

Esta operação foi realizada em Campinas para os ajustes da revisão semafórica nos tempos fornecidos pelo TRANSYT 7F. Desta forma técnicos e operadores em campo observavam as alterações e o comportamento do trânsito, informavam aos operadores do Centro de Controle, que geravam e implementavam as alterações sugeridas, que então eram novamente analisadas pelos técnicos em campo. Este processo ao seu término encontrava, dentro de uma faixa de ajuste mais fino, a melhor condição para os horários analisados.

O resultado deste processo de revisão semafórica apresentou resultados bem satisfatórios do ponto de vista prático, onde pode ser observada uma redução nos atrasos médios em até 29,35% no pico do almoço, 10,46% de redução no pico da manhã e 13,65% no pico da tarde.

Observou-se também redução nos tempos de percurso, nas duas rotas propostas desta área, a rota azul e a rota vermelha, conforme mostrado na Tabela 8. A rota vermelha, que fica ao longo da principal artéria da rede, a Av. Andrade Neves, apresentou a principal redução no tempo de percurso no pico da tarde em média de quase 1 minuto nas duas faixas, representando uma redução média de 14,66 %, enquanto nos picos da manhã e do almoço houve aumentos destes tempos na ordem de 5% e 1% conforme mostra tabela abaixo.

A rota azul, que é a rota de saída da Av. Andrade Neves em direção a um túnel de saída da cidade, também apresentou ganhos nos tempos de percurso no pico da tarde da ordem de um minuto nas duas faixas, representando uma redução média de 21,23%. Os picos da manhã e do almoço, entretanto apresentaram aumentos nos tempos de percurso na ordem de 18 e 15% conforme mostra tabela abaixo. É importante salientar que o pico da tarde era o de maior congestionamento e duração, e, portanto causava maior desconforto e prejuízos na malha viária. A Tabela 8 mostra um resumo dos resultados obtidos com a implantação do sistema centralizado.

Tabela 8: Redução de atrasos e tempos de percurso após a centralização

|                       | <b>Atrasos médios</b> | <b>Tempo Percurso Rota Vermelha</b> | <b>Tempo Percurso Rota Azul</b> |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Pico Manhã</b>     | -10,46%               | +5,21%                              | +18,67%                         |
| <b>Pico do Almoço</b> | -29,35%               | +0,91%                              | +15,67%                         |
| <b>Pico da Tarde</b>  | -13,65%               | -14,66 %                            | -21,23%                         |

Fonte: (Bonneti Jr, 2000)

Algumas das conclusões apresentadas pela EMDEC ao final do trabalho:

- O Sistema proporcionou maior segurança aos pedestres;
- Com a centralização as intervenções (alterações) nos controladores foram rápidas e cirúrgicas, minimizando os tempos de perturbação no sistema viário;
- O acompanhamento das falhas em tempo real possibilitou maior agilidade na manutenção semafórica;

- Observou-se a necessidade de implantação de um sistema CFTV para otimização do processo de intervenções operacionais.

### 7.3 COMPOSIÇÃO DE UM SISTEMA CENTRALIZADO COM SELEÇÃO DE PLANOS

O sistema centralizado por seleção automática de planos é um sistema adaptativo, pois através de informações dos detetores veiculares, realimenta o software de controle que escolhe, em uma tabela pré-definida anteriormente, qual plano mais indicado para aquela situação de tráfego medida. Este sistema, assim como os anteriores, também troca parâmetros com os controladores de tráfego, informando falhas através de alarmes e a situação corrente de funcionamento, englobando as características de supervisão e operação apresentadas. Este sistema necessita obrigatoriamente de detetores para tomadas de decisões.

#### **7.3.1 CTA/JF – Controle de Tráfego em Área - Juiz de Fora-MG:**

##### Informações do Sistema:

A cidade de Juiz de Fora é a quarta maior cidade de Minas Gerais e um dos mais importante pólo do estado. A cidade possui hoje segundos dados do IBGE em torno de 500.000 habitantes e uma frota aproximada de mais de 170.000 veículos.

O sistema semafórico da cidade possui em torno de 80 cruzamentos semaforizados, sendo que na grande maioria controlados com equipamentos eletrônicos microprocessados e centralizados. Juiz de Fora possui uma Central de Área com seleção de planos que abrange quase a totalidade dos cruzamentos, em torno de 70.

##### Subsistemas que compõem o CTA/JF:

- a) Central de Tráfego com SAP:

O CTA/JF é composto de uma central de tráfego com seleção automática de planos. Esta central é composta de um microcomputador tipo PC Pentium, com periféricos e software dedicado para propiciar a alteração de planos de forma automática, baseado nos parâmetros medidos pelos detetores. Esta central também permite a monitoração de falhas e o estado operacional dos controladores a ele interligados.

O CTA/JF é um sistema realimentado, ou seja, através das informações medidas pelos detetores (sensores) é capaz de tomar decisões para escolha de planos pré-programados para aquela situação específica. Este tipo de sistema produz ganhos, principalmente em malhas com alta variabilidade nos volumes de tráfego. Permite também a interferência do operador para solucionar problemas pontuais na malha viária e também de realizar a manutenção dos equipamentos supervisionados.

b) Central de Rádio e Telefone:

O CTA/JF conta com este subsistema para receber informações de condições de tráfego e problemas oriundos de acidentes, congestionamentos, etc. E como nas outras cidades, receber informações e reclamações de usuários do sistema viário.

### **7.3.2 CTA – Centro de Controle de Tráfego em Área - Curitiba/PR:**

#### Informações do Sistema:

A cidade de Curitiba, capital do estado do Paraná, possui hoje segundos dados do IBGE em torno de 2.500.000 habitantes e uma taxa de motorização de 2,5 habitantes por veículo, totalizando uma frota aproximada de quase 1.000.000 veículos. Isto deve ainda ser somado aos veículos da Região Metropolitana, que elevam esta frota em circulação no município.

O sistema semafórico da cidade possui hoje em torno de 550 cruzamentos semaforizados, sendo que na grande maioria controlados com equipamentos eletrônicos microprocessados. Possuem uma Central de Área que abrange as principais regiões e corredores da cidade. Desde o final de 1999 está sendo testado um sistema chamado ANTARES, que é uma central adaptativa baseada em Seleção Dinâmica de Planos e Geração Dinâmica de Planos, desenvolvida pela empresa local DATAPROM. (Cannell, 2001).

#### Subsistemas que compõem a CTA:

a) Centrais de Tráfego Operacional e com Seleção de Planos:

O CTA de Curitiba é composto atualmente de duas centrais de controle com estratégias diferentes: operacional e SAP. Os sistemas são constituídos de computador tipo PC Pentium e periféricos. Com software dedicado para cada estratégia, que além das funções da central de supervisão e operação já descritas, propicia uma adaptação contínua às variações dos

fluxos de tráfego, pela escolha de planos pré-definidos a cada instante. Este sistema necessita de detetores instalados em todas as aproximações para efetuar a análise dos dados de contagem e ocupação.

b) Central de Rádio e Telefone:

Este subsistema opera de forma similar aos outros já descritos, recebendo informações de condições de tráfego, congestionamentos e problemas oriundos de acidentes. Desta forma o sistema de comunicação via rádio é utilizado para a operação do trânsito através de comunicação com a central. Como nos casos anteriores, este subsistema é utilizado para receber informações e reclamações de usuários do sistema viário através do telefone.

### **7.3.3 Benefícios obtidos na Cidade de Curitiba com a Centralização:**

A área abrangida pelo teste do sistema de seleção dinâmica de planos é formada pela subárea Batel, bairro de grande movimento comercial na cidade. Compõem esta área 36 interseções semaforizadas, na qual os controladores de tráfego locais são interligados e conectados a um concentrador de comunicação de área, responsável por conectá-los ao Centro de Controle. O Centro de Controle é baseado em plataforma Windows NT e permite a operação em redes locais multi-usuários.

No período testado o sistema apresentou resultados significativos, como a redução nos tempos de percurso na ordem de 12% e uma redução de congestionamento na ordem de 87%. (Cannell, 2001). Este parâmetro de congestionamento é medido em quilômetros de forma semelhante a São Paulo, e é obtido pela soma destes quilômetros de filas em cada interseção, a cada instante. Este valor é armazenado e informado aos usuários através da imprensa, internet.

Segundo o estudo, estes resultados foram obtidos com o uso dos dados de tráfego provenientes dos detetores, para gerar um novo plano de tráfego para aquele instante. A cada minuto, o centro de controle gera este novo plano e envia ao controlador, sendo que este plano é o melhor adaptado às condições de fluxo, minimizando os níveis de congestionamento em todas as aproximações. Estas modificações são implementadas de forma gradual, de forma ao sistema buscar um ponto de equilíbrio operacional. (Cannell, 2001).

## **7.4 COMPOSIÇÃO DE UM SISTEMA CENTRALIZADO EM TEMPO REAL**

O sistema centralizado baseado na estratégia de controle em tempo real é assim como o sistema de seleção de planos, um sistema adaptativo, pois de forma similar, através de informações dos detetores veiculares, realimenta o software de controle que atua em tempo real nos tempos programados, modificando-os para a otimização da área abrangida pelo sistema. Como já comentado anteriormente, os parâmetros modificados usualmente são: a defasagem, o ciclo atual e a distribuição de verdes do cruzamento. Este sistema, assim como os anteriores, também troca parâmetros com os controladores de tráfego, informando falhas através de alarmes e a situação corrente de funcionamento, englobando as características de supervisão e operação apresentadas. Este sistema necessita obrigatoriamente de muitos detetores para tomada de decisão.

#### **7.4.1 SEMIN - Semáforos Inteligentes (CET-São Paulo):**

##### Informações do Sistema:

A Cidade de São Paulo, maior cidade do Brasil, é hoje uma das maiores metrópoles do mundo e possui, segundo dados do IBGE, em torno de 9.500.000 habitantes e uma taxa de motorização de 2,1 habitantes por veículo, totalizando uma frota aproximada de 4.500.000 veículos. Devendo-se considerar ainda os veículos da Região Metropolitana principalmente do chamado ABCD Paulista composta por cidades como Santo André, São Bernardo, São Caetano e Diadema, além de outras como Taboão da Serra, Ferraz, Poá, que somados ao intenso tráfego de passagens, pelas principais vias expressas, as chamadas Marginais Tietê e Pinheiros, que são importantes rotas para o interior do estado e outros estados, como Rio de Janeiro, Paraná, Minas Gerais, que com certeza elevam muito esta frota e os problemas de circulação no município.

Com estas proporções enormes de tráfego, o sistema semaforizado da cidade não poderia ser diferente. A cidade de São Paulo possui hoje em torno de 4.500 cruzamentos semaforizados, sendo que aproximadamente 1.500 destes são centralizados com equipamentos eletrônicos microprocessados, em 5 áreas, cada uma com seu próprio CTA (do tipo realimentado em tempo real - SCOOT e ITACA). Os demais cruzamentos, em torno de 3.000, são divididos entre controladores eletrônicos microprocessados, ligados normalmente em rede mestre-escravo ou em centrais de supervisão e operacional, que equivalem a mais ou menos um terço deste total. E os outros dois terços (em torno de 2.000 cruzamentos) ainda são controlados pelos antigos equipamentos eletromecânicos (CET-SP, 2001).

Subsistemas que compõem o CTA (SEMIN):

a) Central de Tráfego com SCOOT ou ITACA:

O SEMIN é composto de cinco CTA instaladas em cada uma das gerências regionais de tráfego (GET) de São Paulo. Cada CTA possui parte de seus cruzamentos instalados em um sistema em tempo real, composto de computador de médio porte tipo Vax ou similar, além de periféricos e terminais de programação. Um software do tipo SCOOT ou ITACA é responsável pelo controle dos cruzamentos, por ser adaptativo e realimentado em tempo real, propicia a alteração de tempos, ciclos e defasagem de forma automática baseado nos parâmetros medidos pelos detetores.

Este sistema é mais eficiente que a seleção de planos pré-programados, pois busca a otimização constante a cada instante medido, com variações pequenas e contínuas nos tempos dos semáforos. Obviamente permite a supervisão de falhas e monitoração do estado operacional dos controladores a ele interligados. O CTA 1 em operação na cidade de São Paulo pode ser observado na Figura 19 a seguir.



**Figura 19:** Foto do CTA 1 em operação na Cidade de São Paulo.

Fonte: (CET-SP, 2000).

b) Central de Rádio e Telefone:

Como nas outras cidades, este subsistema tem a função de receber informações de condições de tráfego e problemas oriundos de acidentes. Este sistema serve também para receber informações e reclamações de usuários do sistema viário.

c) Circuito Fechado de Televisão (CFTV):

A CET possui hoje em torno de 165 pontos de monitoração do trânsito com câmeras em circuito fechado. Estas câmeras estão distribuídas de acordo com as demandas nos cinco CTAs que a cidade possui, numa média de 15 até 30 câmeras em média em cada uma destas áreas.

#### **7.4.2) Benefícios obtidos na Cidade de São Paulo com a Centralização:**

Um estudo apresentado por técnicos da CET-SP no 11º. Congresso Nacional de Transportes Públicos em 1997, que realizou uma análise global dos ganhos iniciais obtidos pelo Sistema ITACA instalado em duas das centrais citadas (CTA-3 e CTA-4). Esta análise foi centrada em uma das vias principais do sistema que pode, segundo os autores, representar uma referência em relação a todo o sistema (Mazzamati, *et al*, 1997).

A Av. Lins de Vasconcelos escolhida para o estudo possui 12 cruzamentos semaforizados, e interliga os bairros Vila Mariana e Cambuci com predominante atividade de comércio e serviços. Esta avenida apresenta mão dupla de direção, com duas faixas de tráfego por sentido e estacionamento permitido nos dois lados em quase toda a sua extensão. O fluxo do tráfego é composto de intensa movimentação de ônibus urbanos, com pontos de paradas a cada 150 à 200m. Pela característica de mão dupla o estudo foi realizado em duas rotas, a Rota 2403 com extensão de 1690m representando o sentido Cambuci - Vila Mariana e a Rota 2404 com extensão de 1910m representando o sentido oposto.

Com isto, a análise na Av. Lins de Vasconcelos, procurou apresentar o levantamento de dados do “Antes - Depois”, das variáveis “velocidade média” e “índice de permanência”, que pode ser associado à “tempo de percurso ou viagem” no trecho medido. As pesquisas foram realizadas nos dias úteis, caracterizando três períodos do dia, das 06:00hs às 10:00hs, das 10:00hs às 16:00hs e das 16:00hs às 21:00hs.

Como resultado médio global destaca-se o incremento na velocidade média nas duas rotas na faixa de 15% e uma redução no índice de permanência médio nas duas rotas na faixa de 13%. As tabelas com os dados “Antes - Depois” das velocidades médias nas duas rotas e o índice de permanência médio. Os resultados são mostrados nas Tabelas 9, 10 e 11.

Tabela 9. Velocidade Média na Rota 2403 (Cambuci - Vila Mariana):

| <b>Horário</b>  | <b>Velocidade Média</b> |                      | <b>Varição em (%)<br/>da Velocidade</b> |
|-----------------|-------------------------|----------------------|---|
|                 | <b>Antes (Km/h)</b>     | <b>Depois (Km/h)</b> |   |
| 6:00 - 10:00hs  | 16,00                   | 20,60                | 28,70                                   |
| 10:00 - 16:00hs | 15,30                   | 19,20                | 25,50                                   |
| 16:00 - 21:00hs | 21,50                   | 21,90                | 1,90                                    |

Fonte: (Mazzamati et *al.* 1997)

Tabela 10. Velocidade na Média Rota 2404 (Vila Mariana - Cambuci):

| <b>Horário</b>  | <b>Velocidade Média</b> |                      | <b>Varição em (%)<br/>da Velocidade</b> |
|-----------------|-------------------------|----------------------|---|
|                 | <b>Antes (Km/h)</b>     | <b>Depois (Km/h)</b> |   |
| 6:00 - 10:00hs  | 20,50                   | 18,80                | -9,00                                   |
| 10:00 - 16:00hs | 12,30                   | 15,40                | 25,20                                   |
| 16:00 - 21:00hs | 13,70                   | 15,70                | 14,60                                   |

Fonte: (Mazzamati et al. 1997)

Tabela 11. Índice de Permanência nas Rotas 2403 e 2404:

| <b>Horário</b>             | <b>Índice</b>                              |   | <b>Varição em (%)<br/>do Índice Perman.</b> |
|----------------------------|--|---|---|
|                            | <b>Permanência<br/>Antes (veíc x hora)</b> | <b>Permanência<br/>Depois (veíc x hora)</b> |   |
| 6:00 - 10:00hs             | 343,76                                     | 332,10                                      | -3,50                                       |
| 10:00 - 16:00hs            | 886,82                                     | 709,46                                      | -25,00                                      |
| 16:00 - 21:00hs            | 563,81                                     | 510,79                                      | -10,40                                      |
| <b>Médio(6:00 - 21:00)</b> |  |   | <b>-13,00</b>                               |

Fonte: (Mazzamati et al. 1997)

### 7.4.3 CTAFOR - Controle de Tráfego em Área de Fortaleza (ETTUSA - Fortaleza):

#### Informações do Sistema:

A Cidade de Fortaleza, capital do Ceará, possui hoje segundos dados do IBGE em torno de 2.000.000 habitantes e uma taxa de motorização de 6,1 habitantes por veículo, totalizando uma frota aproximada de 325.000 veículos. Esta frota também ampliada nos meses de alta temporada por ser a cidade um polo atrativo turístico, inclusive é comprovada a presença de enorme frota de ônibus em circulação (turismo).

O sistema semaforico da cidade conta hoje com 390 cruzamentos semaforizados, e está passando por uma fase de implantação do Sistema Centralizado em tempo real (CTAFOR),

que se iniciou em 1998, e que quando finalizado possuirá aproximadamente 160 cruzamentos centralizados (atualmente está com 68 já em central) (Medeiros, 2000).

Subsistemas que compõem o CTAFOR:

a) Central de Tráfego em tempo real com SCOOT:

O CTAFOR é composto de uma Central de Controle em tempo real do tipo SCOOT. Este sistema propicia a alteração de tempos, ciclos e defasagem de forma automática baseado nos parâmetros medidos pelos detetores em tempo real. É um sistema idêntico ao utilizado na CET-SP e descrito anteriormente. A Figura 20 ilustra o CTAFOR em operação.



**Figura 20:** CTAFOR em operação na cidade de Fortaleza.

Fonte: (Medeiros *et al.*, 2000).

b) Central de Rádio e Telefone:

Este subsistema é idêntico ao descrito anteriormente e utilizado nas outras cidades.

c) Circuito Fechado de Televisão (CFTV):

O CFTV do CTAFOR possui atualmente 30 pontos de monitoração com câmeras localizadas nos principais cruzamentos da cidade, permitindo em tempos real um rápido diagnóstico das condições de tráfego das principais vias, além de auxiliar na operação do sistema central. O CFTV em operação pode ser observado na Figura 21.



**Figura 21:** Detalhe do subsistema de CFTV do CTAFOR – Fortaleza.

Fonte: (Medeiros *et al.*, 2000).

d) Painéis de Mensagens Variáveis (PMV):

Este subsistema é composto por 20 painéis localizados nos corredores arteriais da cidade, permitindo que a Central informe, através deles, as condições do tráfego aos condutores, rotas alternativas, ocorrência de acidentes, obras na vias, além de mensagens educativas de trânsito. A Figura 22 mostra o subsistema PMV do CTAFOR.



**Figura 22:** Via com PMV instalado e a direita o painel em destaque.

Fonte: (Medeiros *et al.*, 2000).

#### 7.4.4 Benefícios obtidos na Cidade de Fortaleza com a Centralização:

Estudos recentes realizados em conjunto com a Universidade Federal do Ceará (Meneses, 2000) apresentam alguns resultados medidos e comparados com a situação anterior ao CTAFOR, inclusive apresentando uma relação de custo-benefício do sistema para uma interseção estudada. Cabe salientar que os resultados obtidos neste estudo, não necessariamente representam o resultado global do sistema na mesma proporção, pois não é possível afirmar se esta única interseção é representativa do impacto deste sistema em toda área abrangida pelo CTAFOR.

Um estudo comparativo da situação antes e depois na interseção da Av. Eng. Santa Júnior x Av. Padre Antônio Tomás, apresentou os seguintes dados da situação pré-CTAFOR: primeiramente este estudo realizou uma avaliação para caracterizar o tráfego veicular na interseção, medindo o volume, a composição e o atraso veicular; também apresentou a evolução volumétrica do tráfego no período de 1997 até o ano 2000; na etapa seguinte foi realizado um trabalho de simulação do atraso veicular com o software HCS. Na situação pós-CTAFOR foram medidos os atrasos veiculares e estimado o valor econômico dos benefícios operacionais do sistema para aquela interseção (Meneses, 2000).

Como um resumo destes dados pré-CTAFOR foram apresentados os volumes veiculares nos horários de pico da manhã, meio dia e da tarde. Os valores para cada sentido da interseção: Norte (N), Sul (S) Leste (L) e Oeste (O) são mostrados na Tabela 12 abaixo.

Tabela 12: Volumes veiculares nas rotas N, S, L e O nos horários de pico

|  | <b>Norte (N)</b> | <b>Sul (S)</b> | <b>Leste (L)</b> | <b>Oeste (O)</b> |
|--|------------------|----------------|------------------|------------------|
| <b>Pico Manhã</b> (7:00 - 8:00hs)      | <b>1300</b>      | <b>1220</b>    | <b>1380</b>      | <b>800</b>       |
| <b>Pico Meio Dia</b> (12:00 - 13:00hs) | <b>1180</b>      | <b>1600</b>    | <b>1080</b>      | <b>840</b>       |
| <b>Pico Tarde</b> (17:15 - 18:15hs)    | <b>1300</b>      | <b>1570</b>    | <b>1000</b>      | <b>1100</b>      |

**OBS:** Valores foram arredondados para efeito de apresentação.

Fonte: (Meneses, 2000)

Em relação a composição dos fluxos, o trabalho observou que em todos os sentidos da interseção, estes são na grande maioria constituídos por automóveis, com o valor médio de

88,92%, sendo o restante composto de ônibus com o valor médio de 3,83%, motos com valor médio de 4,75% e caminhões com 2,5%.

A coleta de dados relativa à variação volumétrica do tráfego no período de 1997 até 2000 apresentou uma redução do volume médio de 11% no sentido Norte e de 4,7% o sentido Sul, um acréscimo no volume médio de 16,67% no sentido Leste e de 23% no sentido Oeste. Observa-se também que os maiores acréscimos são de 27% no sentido Leste no pico da manhã e de 23% e 33% no sentido Oeste no pico da manhã e tarde respectivamente.

Um resumo dos resultados obtidos pelos levantamentos na medição dos atrasos após a implantação do CTAFOR é apresentado na Tabela 13 a seguir.

Tabela 13: Redução percentual do atraso total

|                          | <b>Pico Manhã (PM)</b> | <b>Pico Meio Dia (PMD)</b> | <b>Pico Tarde (PT)</b> |
|--------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|
| <b>Norte</b>             | 12%                    | -2%                        | <b>-52%</b>            |
| <b>Sul</b>               | 9%                     | 21%                        | <b>-32%</b>            |
| <b>Leste</b>             | <b>-68%</b>            | -27%                       | -23%                   |
| <b>Oeste</b>             | 18%                    | 58%                        | <b>-43%</b>            |
| <b>Médias Ponderadas</b> | -8,9%                  | 14,2%                      | -36,2                  |

**OBS: Os valores em negrito representam as maiores reduções nos atrasos totais**

Fonte: (Meneses, 2000).

É importante ressaltar novamente que este resultado embora promissor, não pode ser considerado como representativo de toda a área abrangida pelo CTAFOR, pois a otimização local nem sempre representa a otimização global. O objetivo deste sistema como já foi relatado é promover um ganho nas condições de circulação de uma área.

## 7.5 ANÁLISE TÉCNICO ECONÔMICA PARA OBTENÇÃO DE CUSTO-BENEFÍCIO:

Algumas cidades, com o objetivo de analisar a viabilidade técnico-econômica de implantação de sistemas centralizados realizaram estudos para apurar o prazo de retorno do investimento monetário de cada projeto. Como exemplo para este trabalho, serão apresentados neste capítulo dois estudos pesquisados, por apresentarem a mesma metodologia de cálculo da relação custo-benefício. Os estudos foram realizados pela BHTRANS de Belo Horizonte, para a análise da viabilidade de implantação do projeto do CTA-BH, e pela ETTUSA de Fortaleza para a análise do resultado após a implantação do CTAFOR, ambos sistemas com estratégia de controle adaptativa em tempo real.

### 7.5.1 Estudo da BHTRANS para o CTA-BH:

A estudo técnico-econômico da BHTRANS efetuou sua análise com dados de dois tipos de sistemas, baseado em estratégias de controle em tempos fixos e em tempo real. O objetivo da análise foi a de comparar custos e benefícios obtidos para apontar a estratégia que apresenta a melhor relação custo-benefício, para a centralização dos 168 cruzamentos na região central da capital mineira.

Foi estimado o prazo de dez anos como tempo de vida útil do sistema, devido a evolução tecnológica e ao desgaste dos equipamentos que o compõem. Para o cálculo dos custos sociais, a BHTRANS levou em conta o atraso nos 168 cruzamentos, que foram agrupados em 15 áreas. O cálculo do atraso de cada veículo individual seja automóvel ou ônibus, foi obtido pelo atraso médio para cada área, dividido pelo número de semáforos existentes. BHTRANS (1996). O produto do somatório destes atrasos individuais pelos dez anos de vida útil do sistema levou aos seguintes resultados:

- $A = 30.046 \text{ horas/dia} \times 300 \text{ dias úteis} \times 10 \text{ anos} = 90.138.000 \text{ automóveis.hora/10anos}$
- $O = 3.156 \text{ horas/dia} \times 300 \text{ dias úteis} \times 10 \text{ anos} = 9.468.000 \text{ ônibus.hora/10 anos.}$

Onde: A = Automóvel e O = Ônibus

Para traduzir em valores monetários foram considerados o consumo de combustível e as perdas de horas sociais. Desta forma se obteve, em valores da época do estudo, os seguintes custos para o automóvel, de R\$ 4,75 (quatro reais e setenta e cinco centavos) e para o ônibus de R\$ 38,00 (trinta e oito reais) por cada hora parada. Projetando estes valores para os dez anos de

vida útil do sistema e considerando os atrasos nos 168 semáforos, chegou-se ao valor total de custo de R\$ 788.000.000,00 (setecentos e oitenta e oito milhões de reais).

O estudo considerou, para efeitos de comparação, que o benefício obtido com uma implantação de um sistema de tempos fixos seria de 10% (dez por cento), considerando os dados obtidos em pesquisas em São Paulo após a implantação do sistema SEMCO.

Portanto o benefício total em 10 anos com sistemas de tempos fixos seria:

**Sistemas de Tempos Fixos:**

**Benefício Total: R\$ 788.000.000,00 x 10% = R\$ 78.800.000,00 (tempos fixos)**

Fonte: BHTRANS (1996).

Para o cálculo do benefício a ser obtido com a implantação de um sistema de controle em tempo real, a BHTRANS considerou uma média de estudos de benefícios medidos pelo TRRL que apontavam um valor médio de 18% (dezoito por cento) na redução de atrasos, quando da implantação deste tipo de sistema em cidades que já possuíam centrais de tempos fixos. O estudo, então, estimou que o ganho seria de 26,5%, ou seja, 15% relativos ao ganho do sistema de tempo real, aplicado sobre os 10% do ganho estimado para o sistema de tempo fixo.

Com isto o valor de benefício total estimado para sistemas de tempo real nos 10 anos de vida útil seria:

**Sistema de Tempo Real:**

**Benefício Total = R\$ 788.000.000,00 x 26,5% = R\$ 208.800.000,00 (tempo real)**

Fonte: BHTRANS (1996).

O próximo passo do estudo foi estabelecer os custos dos dois tipos de sistemas para no final comparar a duas relações custo-benefício, a fim de obter a mais vantajosa. Para este passo a BHTRANS estabeleceu algumas premissas:

- para equipamentos importados se aplica uma taxa de 75% decorrente de impostos, importação e outros;
  - o valor para a manutenção do sistema nos dez anos de operação não foi considerado, pois o estudo entendeu que seriam similares ao custo atual;
  - o custo de manutenção dos laços necessários ao sistema de tempo real, foi considerado igual ao custo de elaboração e revisão de planos necessários no sistema de tempos fixos.
- Portanto os dois custos se anulariam.

- todos os custos apresentados envolvem fornecimento, instalação e retirada quando for o caso.

**a) Custos de sistemas de controle em tempos fixos e em tempo real (Fonte: BHTRANS, 1996):**

| <b>CENTRO DE CONTROLE</b> | <b>TEMPOS FIXOS</b> |                         | <b>TEMPO REAL</b> |                         |
|---------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|
| <b>Item</b>               | <b>Quant.</b>       | <b>Preço Total(R\$)</b> | <b>Quant.</b>     | <b>Preço Total(R\$)</b> |
| Computador                | 01                  | 350.000,00              | 02                | 700.000,00              |
| Terminais                 | 03                  | 45.000,00               | 03                | 45.000,00               |
| Impressoras               | 02                  | 5.000,00                | 02                | 5.000,00                |
| Equip. Transmissão Dados  | 01                  | 100.000,00              | 01                | 100.000,00              |
| Equip. No Break e Gerador | 01                  | 45.000,00               | 01                | 45.000,00               |
| Equip. Projetor           | 01                  | 100.000,00              | 01                | 100.000,00              |
| <b>TOTAL</b>              |                     | <b>720.000,00</b>       |                   | <b>1.050.000,00</b>     |

| <b>CONTR. DE TRÁFEGO</b>   | <b>TEMPOS FIXOS</b> |                         | <b>TEMPO REAL</b> |                         |
|----------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|
| <b>Item</b>                | <b>Quant.</b>       | <b>Preço Total(R\$)</b> | <b>Quant.</b>     | <b>Preço Total(R\$)</b> |
| Controladores de Tráfego   | 159                 | 1.700.000,00            | 159               | 1.700.000,00            |
| Instalação e retiradas     | 159                 | 40.000,00               | 159               | 40.000,00               |
| Controladores para reserva | 40                  | 420.000,00              | 40                | 420.000,00              |
| <b>TOTAL</b>               |                     | <b>2.160.000,00</b>     |                   | <b>2.160.000,00</b>     |

| <b>SUBSISTEMA CFTV</b> | <b>TEMPOS FIXOS</b> |                         | <b>TEMPO REAL</b> |                         |
|------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|
| <b>Item</b>            | <b>Quant.</b>       | <b>Preço Total(R\$)</b> | <b>Quant.</b>     | <b>Preço Total(R\$)</b> |
| Matriz e Monitores     | 01                  | 400.000,00              | 01                | 400.000,00              |
| Telecâmeras            | 20                  | 385.000,00              | 20                | 385.000,00              |
| Suportes e ligação     | 20                  | 10.000,00               | 20                | 10.000,00               |
| Infraestrutura e Cabos | 01                  | 815.000,00              | 01                | 815.000,00              |
| <b>TOTAL</b>           |                     | <b>1.610.000,00</b>     |                   | <b>1.610.000,00</b>     |

| <b>SUBSISTEMA PMV</b> | <b>TEMPOS FIXOS</b> |                         | <b>TEMPO REAL</b> |                         |
|-----------------------|---------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|
| <b>Item</b>           | <b>Quant.</b>       | <b>Preço Total(R\$)</b> | <b>Quant.</b>     | <b>Preço Total(R\$)</b> |
| Central de Mensagens  | 01                  | 5.000,00                | 01                | 5.000,00                |
| Modems                | 15                  | 15.000,00               | 15                | 15.000,00               |
| Painéis de Mensagens  | 15                  | 600.000,00              | 15                | 600.000,00              |
| Suportes e Ligação    | 15                  | 60.000,00               | 15                | 60.000,00               |
| <b>TOTAL</b>          |                     | <b>680.000,00</b>       |                   | <b>680.000,00</b>       |

| <b>SEMÁFOROS E LAÇOS</b>        | <b>TEMPOS FIXOS</b> |                         | <b>TEMPO REAL</b> |                         |
|---------------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|
| <b>Item</b>                     | <b>Quant.</b>       | <b>Preço Total(R\$)</b> | <b>Quant.</b>     | <b>Preço Total(R\$)</b> |
| Semáforos, Colunas e Instalação | 159                 | 970.000,00              | 159               | 970.000,00              |
| Laços Detetores                 | 15                  | 50.000,00               | 495               | 1.650.000,00            |
| <b>TOTAL</b>                    |                     | <b>1.020.000,00</b>     |                   | <b>2.620.000,00</b>     |
| <b>TOTAL CUSTOS DIRETOS</b>     |                     | <b>6.190.000,00</b>     |                   | <b>8.140.000,00</b>     |

| <b>CUSTOS INDIRETOS</b>         | <b>TEMPOS FIXOS</b>                |                         | <b>TEMPO REAL</b>                  |                         |
|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| <b>Item</b>                     | <b>Quant.</b>                      | <b>Preço Total(R\$)</b> | <b>Quant.</b>                      | <b>Preço Total(R\$)</b> |
| Engenharia (6%)                 | 01                                 | 370.000,00              | 01                                 | 490.000,00              |
| Inspeção e Testes (3%)          | 01                                 | 170.000,00              | 01                                 | 260.000,00              |
| Manutenção (6%)                 | 01                                 | 370.000,00              | 01                                 | 490.000,00              |
| Treinamento                     | 01                                 | 20.000,00               | 01                                 | 20.000,00               |
| Sobressalentes e Ferram. Espec. | 01                                 | 120.000,00              | 01                                 | 160.000,00              |
| <b>TOTAL CUSTOS INDIRET.</b>    |                                    | <b>1.050.000,00</b>     |                                    | <b>1.420.000,00</b>     |
| <b>TOTAL CUSTOS (D + I)</b>     | <b>7.240.000,00</b>                |                         | <b>9.560.000,00</b>                |                         |
| <b>TOTAL CUSTOS P/ 10 ANOS</b>  | <b>13.000.000,00<sup>(1)</sup></b> |                         | <b>17.100.000,00<sup>(2)</sup></b> |                         |

Fonte: BHTRANS (1996).

Para o cálculo dos custos dos sistemas, considerando o prazo de 10 anos de vida útil do foi aplicado sobre o custo total uma taxa financeira de 6% ao ano, resultando em:

|  |
|--|
| <b>Sistema de Tempos Fixos:</b>  |
| <b>TOTAL DOS CUSTOS (D + I) = R\$ 7.240.000,00 x (1,06)<sup>10</sup> = R\$ 13.000.000,00</b> |
| <b>Sistema de Tempo Real:</b>  |
| <b>TOTAL DOS CUSTOS (D + I) = R\$ 9.560.000,00 x (1,06)<sup>10</sup> = R\$ 17.100.000,00</b> |

Fonte: BHTRANS (1996).

#### **b) Cálculo da relação custo-benefício:**

Para o sistema de controle em tempos fixos o estudo obteve a seguinte relação:

$$\text{Benefício} / \text{Custo} = 78.800.000,00 / 13.000.000,00 = 6,1 \text{ (tempos fixos)}$$

Para o sistema de controle em tempo real o estudo obteve a seguinte relação:

$$\text{Benefício} / \text{Custo} = 208.800.000,00 / 17.100.000,00 = 12,2 \text{ (tempo real)}$$

Fonte: BHTRANS (1996).

Como conclusão final o estudo recomenda a implantação do sistema em tempo real, sob o argumento de apresentar a melhor relação custo-benefício.

**c) Contraponto aos cálculos e custos apresentados:**

Uma análise mais aprofundada, dos dados e cálculos apresentados neste estudo da BHTRANS, sugere pelo menos uma discussão sobre alguns pontos que podem alterar significativamente a conclusão apresentada. Em primeiro lugar os percentuais adotados como benefício obtido em sistemas de tempos fixos (10%) e tempo real (15%), são baseados em dados médios históricos e não necessariamente serão os mesmos na implantação do CTA-BH. Isto ficou evidenciado no capítulo 5, onde foram apresentados os benefícios obtidos em diversas cidades, com diferentes resultados medidos em sistemas de mesma tecnologia.

Ainda sobre este percentual, o estudo considerou como 26,5% a redução de atraso estimada, pois entendeu que como não havia nenhum sistema de tempos fixos, a implantação do sistema em tempo real, somaria as reduções dos dois sistemas, aplicando 15% de redução do tempo real, sobre os 10% do tempo fixo ( $1,10 \times 1,15 = 1,265$ ). Este valor de 26,5% de redução nos atrasos se constitui em mera estimativa, principalmente pela forma incomum que foi obtido, embora razoável conforme mostra a Tabela 6 na página 64. Salienta-se também que estes sistemas apresentam ganhos menores para fluxos veiculares próximos a saturação.

Da mesma forma, algumas das premissas apresentadas no cálculo dos custos são questionáveis, por exemplo, considerar a manutenção do CTA equivalente ao do sistema atual isolado. Na realidade, o custo médio de manutenção de sistemas eletrônicos e informatizados corresponde mais ou menos a 10% dos custos diretos ao ano. No caso de sistemas de controle em tempo real, normalmente é fixado em dólares, e superior aos de sistemas isolados ou de tempos fixos, como mostrado nas planilhas de custo anteriores.

Outros custos apresentados também são questionáveis, como por exemplo os computadores utilizados no centro de controle de sistemas de tempos fixos, são atualmente do tipo PC Pentium compatível, e mesmo com o software central instalado, custam em torno de R\$ 35.000,00 contra os R\$ 350.000,00 do computador para operação do sistema de controle em tempo real. Para os controladores de tráfego, o cálculo considera o mesmo valor para os de operação em tempos fixos e em tempo real. Na prática este valor corresponde aproximadamente a

R\$ 6.000,00 para os controladores que operam em sistemas em tempos fixos e em torno de R\$ 30.000,00 para os controladores importados que operam em sistemas em tempo real.

Com estas observações poderíamos recalcular os custos do sistema de tempos fixos:

Total Centro de controle (revisado) = R\$ 330.000,00

Total de Controladores (revisado) = R\$ 1.234.000,00

Somando aos outros custos diretos, resulta em (revisado): R\$ 4.874.000,00

Os custo indiretos com a manutenção (10%) (revisado): R\$ 1.066.060,00

Total de Custos Diretos e Indiretos (revisados) = R\$ 5.940.060,00

E o total, considerando a taxa financeira de 6% para o período de 10 anos:

**Total dos Custos T. Fixos (revisado) = 5.940.060,00 x (1,06)<sup>10</sup> = R\$ 10.637.743,00**

De forma similar aplicando o novo valor para os controladores de tráfego do sistema de controle em tempo real:

Custo Direto (revisado) = R\$ 11.970.000,00

Custo Indireto com manutenção (10%) (revisado) = R\$ 2.454.300,00

Total de Custos Diretos + Indiretos (revisado) = R\$ 14.424.300,00

E o total, considerando a taxa financeira de 6% para o período de 10 anos:

**Total dos Custos T. Real (revisado) = 14.424.300,00 x (1,06)<sup>10</sup> = R\$ 25.831.724,00**

**Relação Custo-Benefício revisado para sistema de tempos fixos:**

|   |
|---|
| <b>Benefício / Custo = 78.800.000,00 / 10.637.743,00 = 7,41</b> |
|---|

**Relação Custo-Benefício revisado para sistema em tempo real:**

|  |
|--|
| <b>Benefício / Custo = 208.800.000,00 / 25.831.724,00 = 8,08</b> |
|--|

A simples comparação das relações de custo-benefício resultantes destes dois tipos de sistemas, apontam que são praticamente equivalentes. Uma análise destes novos resultados das relações custo-benefício demonstra que existe um ganho considerável na implantação de sistemas em tempo real, porém necessita de um igualmente considerável investimento. O sistema de tempo real produz um benefício em torno de 2,5 vezes maior do que o do sistema em tempos fixos (ou

165% maior), porém com 2,5 vezes a mais de investimento para alcançá-lo (ou 143% a mais). Para este exemplo, o investimento complementar representa algo em torno de 15,2 milhões de reais.

Se ainda considerarmos que a redução dos atrasos estimada não atinja os 26,5%, teríamos provavelmente uma relação de benefício-custo favorável à implantação do sistema de tempos fixos. Cabe lembrar que nesta análise, não está sendo questionada a quantificação dos benefícios considerados, e nem os critérios utilizados em seus cálculos. O objetivo é de apenas mostrar que este estudo econômico da BHTRANS utilizado para viabilização de um sistema centralizado em tempo real, pode ser questionável do ponto de vista de seus critérios e metodologias.

### **7.5.2 Relação custo-benefício obtido com a implantação do CTAFOR:**

O cálculo realizado para a obtenção da relação custo-benefício utilizado para mensurar os resultados obtidos após a implantação do CTAFOR, foram baseados em dados de apenas um cruzamento isolado, conforme descrito no item 7.4.4. deste capítulo. Este estudo utilizou a mesma metodologia do estudo de viabilidade da BHTRANS mostrado anteriormente. Com isto é possível realizar algum tipo de comparação entre os resultados obtidos.

Os cálculos para os custos totais de benefícios levaram em conta o valor das deseconomias totais baseados no consumo e preço do combustível, índice de ocupação dos veículos, salário mensal dos ocupantes, horas trabalhadas por mês e o custo social por hora de atraso. (Meneses 2000). Este cálculo, projetado para dez anos, que é considerado o tempo de vida estimada deste tipo de sistema, resulta em:

$$\text{PM} = \text{R\$ } 1.982.862,00, \text{ PMD} = \text{R\$ } 1.249.458,00 \text{ e } \text{PT} = \text{R\$ } 2.520.960,00$$

**Onde: PM: Pico da Manhã, PMD: Pico do Meio Dia e PT: Pico da Tarde**

Fonte: (Meneses, 2000).

Com estes dados o estudo determina o benefício obtido como:

$$\text{Benefício} = (8,9\% * 1.982.862,00) + (-14,2\% * 1.249.458,00) + (36,2\% * 2.520.960,00)$$

### **Benefício estimado da interseção = R\$ 886.339,88**

Para o cálculo do custo da interseção o estudo levou em conta os seguintes valores para custo direto: custo do centro de controle dividido pelas interseções instaladas, controlador de tráfego, materiais semafóricos, sistema de detecção e obras civis. Para o custo indireto: engenharia, calibração e testes, manutenção, treinamento e sobressalentes. Ao valor total desta soma: R\$ 72.631,02 foi aplicado custo financeiro de 6% ao ano e projetado para os dez anos de vida útil, o que resultou:

$$\text{Custo total da interseção} = 72.631,02 \times (1,06)^{10} = \text{R\$ } 246.353,66$$

O que por fim resulta na relação custo-benefício da interseção:

|   |
|---|
| $\text{Benefício / Custo} = \text{R\$ } 886.339,88 / 246.335,66 = 3,60$ |
|---|

Fonte: (Meneses, 2000).

Na análise deste resultado, cabe lembrar que este estudo foi realizado considerando apenas uma interseção, podendo não ser representativo de toda a área do CTAFOR. Ou seja o benefício global obtido em uma determinada área de abrangência do sistema, pode ser menor ou até maior do que este apresentado. Desta forma devemos sempre considerar estas particularidades em nossas análises e eventuais conclusões.

### **7.5.3 Conclusões sobre as análises dos dois estudos:**

A observação dos resultados deste dois estudos apresentados nos faz refletir sobre as diferenças nas relações custo-benefício, apontando que o benefício financeiro obtido no CTAFOR é menor que o obtido no estudo de BHTRANS. Uma primeira conclusão pode indicar que o valor do tempo em Fortaleza seja menor que em Belo Horizonte, levando em consideração que um vetor importante que compõem este custo é o salário médio local, conforme mostra o estudo de Arruda (Arruda, 1996), com a abordagem do valor do tempo de viagens no Brasil.

Se comprovada esta consideração, podemos concluir que um sistema de controle em tempo real possa ser melhor justificado em cidades onde a renda per capita seja maior e por

conseqüência o valor do tempo também. Já em cidades onde este valor seja mais baixo, um sistema deste porte que necessite de um grande investimento não seria justificado, por não atingir os benefícios esperados.

Outra questão relevante é qual seria a relação custo-benefício se fosse instalado apenas um sistema de controle atuado com detetores nas aproximações deste cruzamento? E por conseqüência, qual seria a relação custo-benefício se fosse implantado um sistema de tempos fixos coordenado na área abrangida pelo CTAFOR?

Sem as respostas para estas questões das etapas anteriores à implantação do sistema de controle em tempo real, não foi possível averiguar o quanto a cidade investiu a mais em dinheiro, e o quanto retornou a mais em benefício se comparássemos com as etapas anteriores à implantação do CTAFOR.

## CAPÍTULO 8

### **8 ADEQUAÇÃO DOS SISTEMAS À NOSSA REALIDADE:**

Uma das alternativas aplicadas para resolver os crescentes problemas de congestionamentos tem sido a otimização e coordenação do tráfego urbano por meio de sistemas centralizados de controle de tráfego (sistemas CTA). Tendo em vista o alto investimento para implantação de sistemas de controle de tráfego, o uso correto de recursos na formação da mais adequada arquitetura do sistema é um desafio e uma obrigação por parte dos tomadores de decisão. Entretanto, essas decisões são freqüentemente tomadas sem critérios técnicos (Leandro *et al.* 2000).

Analisando as experiências nacionais de implantação de sistemas centralizados para controle de tráfego adaptativos em tempo real apresentadas no Capítulo 6, observa-se um panorama atual muito preocupante. Os altos investimentos necessários para implantação e manutenção destes sistemas, normalmente importados e pagos em dólares, tornou este desejo distante e até inviável para a maioria dos municípios brasileiros, mesmo considerando a implementação do novo código de trânsito (CTB, 1997), que destina todas as receitas provenientes de multas e estacionamentos rotativos urbanos ao município.

A evolução tecnológica dos equipamentos nos habilita a desenvolver novas e mais sofisticadas estratégias de controle, e as experiências nos evidenciam que nem sempre resultam em melhoria de performance no sistema. A maior contribuição das novas tecnologias é de habilitar-nos a identificar as características particulares do sistema de tráfego e selecionar a estratégia mais apropriada para cada situação existente. Conforme reconhecida na experiência internacional, muitas vezes a estratégia ideal pode ser a tradicional rede otimizada de tempos fixos, ou um sistema de progressão arterial, e não necessariamente um sistema com estratégia de controle otimizado em tempo real (Gartner, *et al.* 1995).

Na busca por uma solução viável para este impasse, fortalece-se uma alternativa defendida por alguns especialistas e técnicos da área. A adoção de uma solução nacional, com custo de implantação e manutenção em moeda nacional, e que possa ser desenvolvida em etapas gradativas e auto-sustentáveis, de forma a incrementar o nível de retorno e eficiência do sistema na proporção direta da aplicação dos investimentos. Espera-se com isto, um desenvolvimento tecnológico nacional, sustentado por uma base de pesquisa nesta área, formada pelas empresas privadas do setor, pelos órgãos públicos de gestão, pelas universidades e eventualmente por agentes de fomento à pesquisa, responsáveis pelo financiamento deste projeto. Uma proposta de implantação gradativa tende a cumprir os passos intermediários do controle semafórico, de forma a estabelecer o tipo de controle de acordo com o crescimento das necessidades operacionais da malha viária urbana, sem que haja saltos provocando descontinuidade no processo (Bonetti Jr, 2001).

O panorama atual, infelizmente aponta que a maioria das cidades brasileiras, ainda não possui controladores semafóricos adequados e modernos, ou seja, controladores eletrônicos e microprocessados, e muitas vezes nem um planejamento viário básico definido. Assim mesmo, se candidatam, na maioria das vezes por decisões sem critérios técnicos (Leandro et al, 2000) a implantar um “Sistema de Tempo Real”. Isto do ponto de vista técnico e econômico é um salto às etapas e premissas básicas de um bom planejamento.

Outro aspecto relevante mostra que os controladores de tráfego em operação na maioria das cidades brasileiras são de fabricação nacional, nos quais a tecnologia disponível e consolidada permite apenas centralização de supervisão e operação. Portanto, para se implantar um controle em tempo real será necessário trocar os controladores existentes por equipamentos que suportem este tipo de controle. Além destes sistemas exigirem a implementação de detetores, fato que deve ser considerado na análise (Bonetti Jr, 2001).

Neste mesmo sentido, o FHWA (2001) também defende em sua análise dos sistemas ACS nos Estados Unidos, que uma solução viável para o panorama americano seria desenvolver sistemas de baixo custo, para serem usados em cidades pequenas e médias, sem a necessidade de se substituir todos equipamentos de tráfego.

Este capítulo apresentará uma alternativa a ser analisada pelos tomadores de decisão ao planejarem a implantação de uma Central de Tráfego em seus respectivos municípios. Esta

análise valeu-se principalmente de experiências vividas na área de desenvolvimento e comercialização de equipamentos e sistemas para controle de tráfego (Controladores eletrônicos de Tráfego e Centrais de Tráfego) na empresa Digicon S.A. em Gravataí-RS, nos últimos nove anos.

A proposta que será apresentada neste trabalho pode ser aplicada a cidades de qualquer porte. Estas soluções devem ser preferencialmente implantadas em regiões ou áreas do município (Controle de Tráfego em Área), subdividas por características específicas de tráfego, e chamadas de subáreas (normalmente bairros, bolsões, corredores). Com este conceito fica evidenciada a não importância do porte de cidade. Cada cidade pode apresentar no mínimo uma e no máximo quantas áreas de controle central necessitar.

Ao final deste capítulo serão apresentadas algumas informações básicas sobre custos e investimentos para cada uma das etapas propostas em uma tabela, detalhando os investimentos requeridos e suas possíveis modularizações. Custos para manutenção destes sistemas também foram estimados baseados em informações de diversas cidades.

Os conceitos descritos a seguir foram desenvolvidos a partir de experiências das implantações em importantes cidades do Brasil, como: São Paulo, Campinas, Porto Alegre, Ribeirão Preto. A premissa básica utilizada é a de se obter a melhor relação benefício/custo do sistema em cada caso.

## 8.1 APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA

A proposta a ser apresentada tem como filosofia auxiliar aos gestores do trânsito a planejar a implantação de um sistema para controle de tráfego dimensionado de acordo com as necessidades e os recursos técnicos e financeiros disponíveis. A estrutura da proposta e suas etapas podem ser observadas a seguir:

**a) Estrutura de Implantação em etapas:**

a.1) Controladores eletrônicos microprocessados operando em coordenação semafórica através da interligação em rede dos controladores;

a.2) Centralização semafórica através de Centrais de Tráfego em Área (CTA):

- Central de Supervisão, com monitoração de falhas e alterações de programas;
- Central Operacional, idem a supervisão acrescida de modificações nos tempos;
- Central Adaptativa, com estratégia de Seleção de Planos e Tempo Real.

a.3) Subsistemas de Rádio/Telefones, CFTV e PMV;

a.4) Sistema de distribuição das informações, através de Rádio, TV, Internet.

**b) Integração dos diversos sistemas de controle urbano:**

b.1) Sistema de monitoração e gerenciamento do transporte público;

b.2) Sistema de gerenciamento de estacionamentos rotativos urbanos;

b.3) Sistema de gerenciamento de emergências (acidentes, incidentes).

**8.1.1 Estrutura de implantação em etapas:**

Nesta primeira fase de implementação da estrutura básica para um controle expansível e inteligente, pode-se dividir em duas etapas encadeadas. Na primeira etapa define-se o tipo de controlador semafórico a ser utilizado em razão da sua capacidade e de recursos disponíveis, como número de planos, comunicação de dados, detecção veicular, conforme já analisado neste trabalho, que é o controlador eletrônico microprocessado. Nesta etapa os controladores podem também operar modo atuado através de detetores de pedestres e veiculares.

Esta etapa recomenda a interligação destes controladores em rede para propiciar a coordenação semafórica, obtendo-se um sincronismo que pode resultar em onda verde nos corredores principais. Os recursos para obtenção de um sistema coordenado podem ser obtidos por diferentes estratégias, conforme mostrado no capítulo 4 deste trabalho. O modelo TRANSYT permite os cálculos de defasagens e ciclos para sistemas em coordenação semafórica em área. Esta etapa é considerada por Gartner (1995) como o nível mais básico para o controle de tráfego, chamado de “0-LC (Zero-Level Control): Base Control”. Normalmente sua aplicação é para pequenos centros ou seções isoladas em áreas urbanas, com suporte técnico limitado (Gartner, *et al.* 1995).

A segunda etapa da estrutura básica proposta é prevista a interligação destas várias redes de cruzamentos coordenados em uma central de tráfego em área de supervisão através da comunicação com cada elemento da rede. Todas as etapas apresentadas estão baseadas nos incrementos de custo e conseqüentes aumento de benefícios gerados no sistema viário. Segundo Gartner (Gartner, *et al.* 1995), esta etapa corresponde ao primeiro nível de controle “1-LC: First Level Control”.

**1<sup>a</sup>. Etapa:** Instalação de controladores eletrônicos microprocessados em rede de comunicação de dados em determinada região, área ou subárea (coordenação semafórica):

Esta etapa consiste basicamente em realocar e/ou implantar controladores eletrônicos microprocessados na área de abrangência da modernização semafórica a ser implementada. A programação dos planos dos controladores deve ser definida a partir de levantamentos de contagens veiculares e preferencialmente utilizando um software de otimização tipo TRANSYT, definindo assim uma tabela horária mínima para chamada dos plano que devem atender as diferentes demandas veiculares, como por exemplo o pico da manhã, o pico da tarde e o pico da noite, fora do pico e finais de semana.

Ainda nesta etapa recomenda-se estruturar a estratégia de controle de tráfego, interligando os controladores em redes por proximidade física, que normalmente formam as chamadas subáreas, que são regiões da malhas viária com características de tráfego semelhantes. Estas redes, uma vez definidas, propiciarão aos controladores operarem em estratégia coordenada ou sincronizada, onde um equipamento definido como mestre é o responsável por manter os relógios internos de todos de seus escravos em perfeito sincronismo, e que adotando uma estratégia de programação de planos com ciclos iguais ou múltiplos permite-se facilmente a obtenção da chamada “Onda Verde”, onde pelotões de veículos a uma velocidade determinada no projeto, conseguem ultrapassar todos os cruzamentos que estiverem nesta estratégia de coordenação. Esta onda verde mostra muita eficiência na redução de atrasos e paradas, em vias expressas ou corredores onde pode se garantir uma velocidade média, mas torna-se quase sem efeito em situações de saturação, por impossibilidade dos pelotões deslocarem-se na velocidade projetada.

**2ª. Etapa:** Comunicação de dados entre a rede de controladores e a Central (rede telefônica privativa para dados) e instalação da Central de Tráfego em Área (CTA) ou Centro de Controle Operacional (CCO);

Nesta etapa, uma vez que as redes instaladas já operam no sistema de mestre e escravos, permite a interligação do mestre à uma linha telefônica dedicada para transmissão de dados (LPCD Linha Privativa para Comunicação de Dados). Esta interface com o mestre é obtida através de um módulo ou equipamento concentrador de área (módulo ou equipamento responsável pela interface entre a rede de controladores e a Central de Tráfego). Na outra ponta desta linha conecta-se à Central, que é composta de um software dedicado instalado normalmente em um microcomputador que contém um sistema operacional Windows, ficando desta forma pronto para operar em sistema centralizado.

Esta topologia de sistema facilita e flexibiliza a instalação da estrutura de comunicação de dados, pois utiliza LPCD normalmente compradas ou alugadas das concessionárias de serviços telefônicos da região. Esta topologia em comparação com outras arquiteturas representa uma vantagem significativa. Por que ela não necessita de um sistema de comunicação ponto-a-ponto, ou seja, onde cada controlador possui uma ligação direta até a central, passando por um

concentrador de área, funcionando como uma central telefônica. Neste sistema ponto-a-ponto o cabeamento necessário para chamada RTD (Rede de Transmissão de Dados) torna-se elevado, e uma vez instalado, dificilmente pode ser realocado. A topologia proposta permite o deslocamento da central de tráfego a partir da mudança de endereço da linha telefônica locada, de forma similar ao que ocorre com os assinantes das companhias telefônicas, tornando-o mais flexível.

### **8.1.2 Etapas crescentes para a Central de Controle:**

A central de controle propicia diversos níveis de estratégias de controle e considera-se como sua função mais básica a supervisão dos controladores responsáveis pelos semáforos. Esta supervisão fornece pelo menos quatro tipos de informações mais comuns, sendo estas informações de falhas nos equipamentos, lâmpadas queimadas, falhas na rede de comunicação e nos detetores veiculares.

Na segunda etapa de centralização permite ao operador do sistema, desde que devidamente qualificado, a intervenção nos tempos dos cruzamentos a partir de informações levantadas por diferentes formas como agentes de trânsito, CFTV, detetores, etc. Esta fase prevê uma definição de diferentes estratégias de controle, maior número de planos definido para diferentes situações, por exemplo: emergências, prioridades, etc. Em alguns casos a interface desta operação é adaptada a cada cidade, com informações geográficas como mapas, diagramas unifilares, croquis dos cruzamentos, etc.

A terceira etapa parte para adoção de um sistema adaptativo, podendo ser adotada a estratégia de seleção de planos ou tempo real. Para este passo é importante analisar algumas condições para a sua implantação. A primeira condição é de que será necessário a instalação e manutenção de laços detetores veiculares em todos os cruzamentos para prover informações ao sistema. A segunda e também significativa refere-se ao preparo técnico exigido para a operação e manutenção destes sistemas. E a terceira que se refere aos custos associados às duas primeiras, referentes à implantação e manutenção destes.

### **a) Modo Supervisão:**

Consiste no fato do órgão responsável pelo controle do trânsito poder através de um microcomputador centralizar todas as informações de programações (ciclos, tempos, defasagens, planos, trocas, etc) disponíveis no equipamento controlador de tráfego. Estas informações copiadas dos controladores ficam armazenadas no computador central e permitem ao operador do sistema as funções de supervisionar e monitorar o funcionamento total de todos cruzamentos em tempo real, inclusive em modo gráfico (Croquis do cruzamento) com informações vigentes de plano, ciclo, estágio e fases, relógio, tabela horária, sincronismo, imposição (forçamento) de planos e todos os chamados alarmes, ocorrências e falhas nos sistema.

### **- Alarmes de Manutenção:**

Os alarmes de manutenção informam ao operador a necessidade de intervenção de reparo ou manutenção, através da central ou no local, e com isto otimiza os tempos gastos para esta atividade, acionando as equipes de forma pontual e precisa. Além de fornecer um relatório com o histórico detalhado das falhas e ocorrências dos sistema, bem como as suas correções. Isto permite que se meçam os tempos e custos envolvidos nos atendimentos, além de permitir a obtenção dos índices de falhas do sistema, como MTTR (Tempo médio para reparo de uma falha) e o MTBF (Tempo médio entre falhas).

Com a obtenção das informações em tempo real da falhas nos equipamentos e semáforos, normalmente evitam ou reduzem a necessidade de rondas pela cidade em busca de possíveis defeitos nos semáforos, reduzindo o custo de deslocamento das equipes de manutenção preventiva e corretiva. As principais informações obtidas através dos alarmes e ocorrências de falhas são:

- Falha no controlador: o controlador por ser um equipamento eletrônico está sujeito a falhas ou defeitos. Estes são diagnosticados pelo seu sistema operacional que informará ao usuário da Central através de uma mensagem qual o módulo, dispositivo ou parte que apresentou

defeito. Desta forma a equipe de manutenção é acionada com a informação do tipo de intervenção necessária, ou seja, qual módulo, qual dispositivo ou parte que deve ser substituída. Os tempos para este reparo são muito importantes para evitar congestionamentos no trânsito.

- Lâmpadas Queimadas (LQ): a substituição de lâmpadas queimadas é para os órgãos trânsito uma das tarefas mais constantes e caras do ponto de vistas operacional. Algumas cidades, como Belo Horizonte, optaram por realizar uma substituição preventiva antes da queima da lâmpada, baseada em planilha com os tempos estimados de vida útil normalmente fornecida pelo fabricante. Porém, outras cidades executam a substituição somente quando queimam, e para isto normalmente buscam esta informação através de uma ronda diária por toda a cidade na revisão de todos os cruzamentos. O que certamente resulta num trabalho infinito.

O fato de a Central informar aos operadores esta falha auxilia na atuação específica de substituição. A maioria dos equipamentos fabricados no Brasil, informam apenas quando todas as lâmpadas de determinada fase (ou grupo) da cor vermelha queimam, pois se considera este o momento de real perigo, e então normalmente entram em modo intermitente alertando aos motorista que chegam ao cruzamento. Segundo os técnicos da CET-SP, através de um estudo, chegou-se a um valor de U\$ 35,00 a U\$ 40,00 (dólares) como custo para troca de cada lâmpada queimada.

- Falha na Comunicação: este alarme informa ao operador do sistema que determinado controlador ou grupo de controladores não está respondendo aos comandos da Central, o que normalmente implica em perda de coordenação (sincronismo), por falta na recepção de dados de atualização e acertos de relógio. Isto faz com que ocorram derivações pequenas nas defasagens programadas, mas que podem ser o suficiente para causar congestionamentos com a quebra da “onda verde” quando aplicada. Cabe lembrar que normalmente os controladores, mesmo quando perdem sua comunicação com a Central de Tráfego, são capazes de continuar a executar os planos de sua tabela horária, pois estas informações normalmente encontram-se armazenadas nos controladores e não apenas na Central. Apenas aquelas alterações como imposições de planos fora da seqüência horária não serão atendidas nesta situação.

- Falha nos Detetores: para os controladores que estão operando em modo atuado, ou semi-atuado, ou até para estações de amostragem (ou contagem) como sistemas que monitorem o tráfego executando contagens, esta falha indica que determinado laço detetor (sensor veicular) está fora de operação, por problemas físicos como desconexão, rompimento ou até curto-circuito do laço. Neste momento normalmente os controladores, quando em operação no modo atuado, começam a trabalhar com os tempos máximos programados nos estágios associados aos detetores, sem observar as demandas de atuação, ou seja, trabalhando na condição de saturação total.

#### **b) Modo Supervisão e Operação:**

Neste modo é permitido ao operador do sistema, devidamente qualificado, alterar todo e qualquer parâmetro do cruzamento de forma temporária ou definitiva, com o objetivo de modificar a situação atual para otimizar o fluxo/demanda do cruzamento ou subárea, dependendo da estratégia escolhida, buscando reduzir os atrasos e paradas da malha. Para executar a operação do tráfego através da Central de Controle, o operador necessita de uma realimentação que pode ser obtida de três modos: sistema rádio comunicador, câmeras CFTV e informações estatísticas geradas por detetores veiculares. Estes três modos podem ser utilizados individualmente, mas idealmente defende-se a sua aplicação em conjunto, por que para cada tipo de informação o operador poderá atuar diferentemente.

Como ferramenta auxiliar e complementar a operação deste tipo sistema, defende-se o uso de ferramentas para cálculos dos planos em off-line. A ferramenta mais utilizada no mercado brasileiro é o TRANSYT. Com o uso desta ferramenta, o sistema centralizado, coleta as informações do tráfego através dos detetores para contagem, e a partir disto estes dados são retirados em formato de interface ao TRANSYT, que os processa e devolve os novos tempos recalculados também neste mesmo formato. Estes então são realimentados ao programa central, que distribuirá estas informações aos controladores locais em cada um dos seus cruzamentos.

### **c) Modo Adaptativo (Realimentado):**

A opção pela implantação de um sistema adaptativo (realimentado) com atuação e coleta de dados de detetores veiculares do tipo seleção de planos ou tempo real, significa um estágio de evolução significativa para uma cidade. A adoção destes tipos de sistemas deve estar fundamentado em uma análise técnica criteriosa, que definirá a sua necessidade e para isto, deve ser levada em conta a experiência com os sistemas de etapas descritas anteriormente. O cumprimento destas premissas básicas garante uma experiência e conhecimentos para aplicá-los nesta nova etapa.

#### **8.1.3) Distribuição da Informação:**

Esta parte do sistema centralizado de controle é responsável por externar as informações coletadas no sistema que possam ser de interesse dos usuários, e que possam ser assimiladas de forma a auxiliá-los na suas decisões de rotas, horários, etc. Os meios para divulgação ou distribuição destas informações, usualmente utilizados pelos órgãos de trânsito são:

- a) Boletins informativos: através de uma rádio (AM/FM) informações sobre o trânsito como congestionamentos, acidentes, obras, etc, são passados aos motoristas durante todo o dia.
- b) Circuito de TV (CFTV): captam imagens em pontos estratégicos da cidade em tempo real e estas imagens podem ser cedidas ou comercializadas com as emissoras de televisão aberta ou fechada. Com isto as imagens do centro de controle são levadas a público informando de forma visual a situação no trânsito.
- c) Informações de Detetores: os detetores colocados em pontos estratégicos para contagem, volume e ocupação podem ser associados a gráficos ou mapas simplificados da cidade, onde permita visualizar as condições de trafegabilidade das vias principais.

Normalmente são três níveis de informações associadas: trânsito bom, lento e congestionado, que podem ser associado a cores: verde, amarelo e vermelho por exemplo.

- d) Painéis de Mensagens Variáveis: normalmente utilizados para informar aos motoristas sobre problemas pontuais como fechamentos de túneis, pistas, acidentes, etc, e também sugestão de rotas alternativas, velocidade da onda verde, e outras.
- e) Internet: através de um Site ou Home Page na internet consegue englobar todas estas informações descritas até aqui, e disponibilizá-las a usuários que acessem a página. Isto permite que sejam concentradas todas informações, de áudio, vídeo, escritas, e visuais como mapas, esquemáticos, rotas, planos de emergência, obras, acidentes, e tudo que for necessário e disponível para informação.

#### **8.1.4 Integração dos Sistemas de Controle urbano:**

Esta fase prevê uma integração entre os diversos sistemas e dispositivos eletrônicos ligados direta ou indiretamente às informações e decisões referentes a trânsito e transporte. Por exemplo: Sistema de Controle de Tráfego em Área (CTA), Sistema de Controle de Itinerários de Transporte (Exemplo: SOMA), Sistema de Bilhetagem Eletrônica, que possuem informações de origem e destino de passageiros embarcados, Sistemas de Fiscalização Eletrônica (Pardais e Caetanos) que possuem informações de contagens veiculares, Sistema de Controle de Estacionamento na Via Pública (Parquímetros) que possuem informações de uso e demanda de vagas, horários, rotatividade. Esta integração contempla os mais modernos modelos de sistemas utilizados no mundo, como ATMS (Advanced Traffic Management System) entre outros.

### 8.1.5 Estimativas de custos das diferentes etapas definidas de implantação:

Esta parte do capítulo apresentará as estimativas de custos de implantação para cada uma das etapas descritas na proposta apresentada. Os custos foram baseados em valores de mercado extraídos de editais e lista de preços de fabricantes dos equipamentos. O objetivo destas tabelas de custos é auxiliar na quantificação da ordem de grandeza dos investimentos para cada uma das etapas e logicamente associá-lo ao benefício estimado.

Para esta estimativa será considerada uma área, composta por 100 controladores de tráfego, com 04 (tempos fixos e SAP) e com 08 (tempo real) detetores veiculares cada, interligados por uma rede de dados de 32 km e conectados a uma central de tráfego de diferentes estratégias.

Os custos de manutenção destes sistemas de controle, não serão apresentado de forma discriminada, no entanto devem ser considerados como um percentual dos valores de implantação do sistema. Normalmente este valor oscila na ordem de dez a doze por cento (10 - 12%) dos valores totais dos equipamentos instalados. Os valores apresentados são baseados em estimativas de preços extraídas de editais de licitação de diversas cidades.

As Tabelas 14, 15 e 16 apresentam as estimativas dos diferentes tipos de sistemas, sendo a primeira operando em tempos fixos, a seguinte em seleção de planos e a última em tempo real. A Tabela 17 apresenta um resumo das estimativas de custos dos subsistemas de painéis de mensagens variáveis e circuito fechado de televisão.

Tabela 14: Custos estimados da central de supervisão e operação de tempos fixos

| <b>Macro Etapas</b>                           | <b>Quant.</b> | <b>Valor Unitário (US\$)</b> | <b>Valor Total (US\$)</b> |
|---|---------------|------------------------------|---------------------------|
| 1 <sup>a</sup> . Controladores Eletrônicos    | 100 un.       | 2.200,00                     | 220.000,00                |
| 2 <sup>a</sup> . Rede de Dados                | 32 km         | 1.000,00                     | 32.000,00                 |
| 3 <sup>a</sup> . Central Tráfego Supervisão   | 01 un.        | 20.000,00                    | 20.000,00                 |
| <b>Total das Etapas (1,2 e 3)</b>             |               |                              | <b>272.000,00</b>         |
| 4 <sup>a</sup> . Detetores de Tráfego (laços) | 400 un.       | 500,00                       | 200.000,00                |
| <b>Total das Etapas (1,2,3 e 4)</b>           |               |                              | <b>472.000,00</b>         |

\* **Valor por cruzamento das etapas 1,2,3 e 4:** US\$ 472.000,00 / 100 = US\$ 4.720,00

Tabela 15: Custos estimados da central adaptativa com seleção de planos (SAP):

| <b>Macro Etapas</b>                 | <b>Quant.</b> | <b>Valor Unitário (US\$)</b> | <b>Valor Total (US\$)</b> |
|-------------------------------------|---------------|------------------------------|---------------------------|
| 1ª. Controladores Eletrônicos       | 100 un.       | 7.000,00                     | 700.000,00                |
| 2ª. Rede de Dados                   | 32 km         | 1.000,00                     | 32.000,00                 |
| 3ª. Central Tráfego SAP             | 01 un.        | 50.000,00                    | 50.000,00                 |
| <b>Total das Etapas (1,2 e 3)</b>   |               |                              | <b>782.000,00</b>         |
| 4ª. Detetores de Tráfego (laços)    | 400 un.       | 1.000,00                     | 400.000,00                |
| <b>Total das Etapas (1,2,3 e 4)</b> |               |                              | <b>1.182.000,00</b>       |

\* Valor por cruzamento das etapas 1,2,3 e 4: US\$ 1.182.000,00 / 100 = US\$ 11.820,00

Tabela 16: Custos estimados da central adaptativa com controle em tempo real

| <b>Macro Etapas</b>                 | <b>Quant.</b> | <b>Valor Unitário (US\$)</b> | <b>Valor Total (US\$)</b> |
|-------------------------------------|---------------|------------------------------|---------------------------|
| 1ª. Controladores Eletrônicos       | 100 un.       | 12.000,00                    | 1.200.000,00              |
| 2ª. Rede de Dados                   | 32 km         | 4.000,00                     | 124.000,00                |
| 3ª. Central Tráfego Tempo Real      | 01 un.        | 200.000,00                   | 200.000,00                |
| <b>Total das Etapas (1,2 e 3)</b>   |               |                              | <b>1.524.000,00</b>       |
| 4ª. Detetores de Tráfego (laços)    | 800 un.       | 1.250,00                     | 1.000.000,00              |
| <b>Total das Etapas (1,2,3 e 4)</b> |               |                              | <b>2.524.000,00</b>       |

\* Valor por cruzamento das etapas 1,2,3 e 4: US\$ 2.524.000,00 / 100 = US\$ 25.240,00

Tabela 17: Custos estimados dos subsistemas que compõem o centro de controle

| <b>Subsistema</b>                   | <b>Quant.</b> | <b>Valor Unitário (US\$)</b> | <b>Valor Total (US\$)</b> |
|-------------------------------------|---------------|------------------------------|---------------------------|
| Painéis de Mensagens Variáveis      | 15 un.        | 25.000,00                    | 375.000,00                |
| Circuito Fechado de Televisão       | 20 un.        | 35.000,00                    | 700.000,00                |
| <b>Total das Etapas (1,2,3 e 4)</b> |               |                              | <b>1.075.000,00</b>       |

Estão inclusos nas tabelas acima os custos de mão de obra para instalação dos equipamentos, com controladores, central, rede de dados, detetores, PMV e CFTV. Estão inclusos também custos com computador e periféricos necessários para a operação da Central de Tráfego.

## 8.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A PROPOSTA E OS CUSTOS ENVOLVIDOS:

Uma análise profunda desta proposta, avaliando ganhos obtidos em cada uma das etapas e os seus respectivos investimentos, representa uma questão importante a ser considerada. Observamos que os sistemas adaptativos, principalmente aqueles baseados em estratégia de controle em tempo real, exigem um investimento econômico e técnico muito grande, não apenas na implantação, mas também na sua manutenção. E em contrapartida nem sempre apresentam os resultados esperados, principalmente se não houver uma manutenção adequada nos laços e na rede de comunicação, pois o sistema operaria em condições menos favoráveis do que os de tempos fixos.

De outro lado, observamos que sistemas de supervisão e operação conseguem produzir ganhos na redução de atrasos e tempos de viagem, e principalmente na centralização de informações de falhas, que reduz os custos e tempos para o reparo. Estes benefícios, somados aos baixos custos destes sistemas, muito inferior aos de tempo real, muitas vezes o credenciam a ser a solução adequada.

Em resumo podemos concluir que sistemas adaptativos são justificados em situações ou áreas específicas, mas não quando a rede viária está muito próxima de sua capacidade e qualquer incidente acarreta em um impacto muito grande, necessitando uma ação imediata. No entanto podem ser recomendados nas situações onde a variabilidade na demanda de tráfego é muito grande e de difícil previsão.

No entanto sistemas de supervisão e operacionais com apoio de uma equipe bem treinada e com eventual utilização de um CFTV, conseguem solucionar relativamente bem grande parte destes problemas de congestionamentos das cidades.

## CAPÍTULO 9

### 9 CONCLUSÕES:

Este trabalho apresentou a evolução histórica do controle de tráfego semafórico, apresentando a evolução dos seus elementos como semáforos, controladores e detetores, e a evolução das estratégias de controle adotadas, que culminam nas centrais de controle de tráfego (CTA). Uma apresentação dos resultados de adoção de sistemas centralizados em diversos países, principalmente nos Estados Unidos foi analisado para a formação de uma possível comparação com a nossa situação. Para ilustrar o panorama nacional no controle de tráfego centralizado, foram mostradas experiências de diversas cidades que utilizam tecnologias distintas em seus sistemas, apresentando resultados de benefícios obtidos. A partir destas análises foi apresentada uma proposta de implantação gradativa de sistemas centralizados, com investimentos e benefícios crescentes.

Ao encerrar este trabalho é possível apontar como primeira conclusão, que no Brasil ainda estamos buscando através de iniciativas isoladas, soluções independentes para os problemas de trânsito de cada cidade. Ou seja, não existe um programa ou política nacional norteadora das ações dos municípios para modernização da centralização de tráfego, como verificado nos países como Estados Unidos, Japão e na Europa. Aliás, isto é observado nas esferas mais básicas e elementares que compõem estes sistemas, como nos semáforos, nos controladores, nas normas de implantação, na medição de resultados, onde não existe um padrão definido em nível nacional.

Outra observação conduz a eminente carência de estudos técnicos e bem embasados para avaliações da situação antes e depois da implantação de um sistema centralizado, de forma a formarmos a cultura de mensurar através de parâmetros técnicos, a eficiência de um determinado sistema. Infelizmente, estes estudos ou não existem de forma abrangente, ou não são muito confiáveis por apresentar argumentos frágeis e discutíveis. Certamente a falta destes estudos, propicia a falta de critérios técnicos para definição de uma implantação de sistema centralizado de tráfego no Brasil.

Ainda com relação a esta deficiência técnica para análise de desempenho dos sistemas centralizados, conclui-se que a ausência de critérios técnicos, fomenta a utilização de sistemas inadequados à situação proposta, como por exemplo a aplicação de sistemas tecnologicamente muito evoluídos, com os conseqüentes altos investimentos e custeio, para, na maioria dos casos, resolver uma situação de falta de revisão semafórica, ou até mesmo a falta de uma programação semafórica bem elaborada. Em grande parte dos casos a atuação veicular não foi testada antes da escolha de um sistema adaptativo. Importante salientar que até mesmo nos Estado Unidos, país comprovadamente rico, estes sistemas adaptativos tipo SCOOT e SCATS são considerados muito caros de implantar e manter, além de serem difíceis de operar por sua interface não amigável.

Nossa realidade de país em desenvolvimento, com elevadas taxas de pobreza e desemprego decidem-se, na maioria das vezes sem critérios técnicos, implantar um sistema adaptativo, projetado para condições européias ou americanas, por interesses políticos. Mesmo avaliando a eficácia de tais sistemas, que como foi mostrado, apresentam resultados muito promissores, quando bem aplicado em situações favoráveis. No entanto, como contraponto, foi também apresentado que sistemas de tempos fixos bem ajustados, para determinadas situações de tráfego previsíveis, com possibilidade de intervenções pelo operador para alterar aquelas situações imprevistas, também produzem ganhos bem significativos. Ou seja, o importante é mensurar e avaliar tecnicamente qual tipo de sistema mais adequado para aplicar em determinada situação, e para isto é fundamental avaliar a relação de custo-benefício de uma forma consistente.

Para atingir este estágio de análise técnica, os municípios deveriam desenvolver a implantação, de acordo com a proposta apresentada, em etapas crescentes para a centralização do controle de tráfego. Assim, ela estará credenciando-se de forma gradativa e auto-sustentada, a medida que seus conhecimentos e seus benefícios são ampliados. Esta relação cresce na proporção da necessidade de cada área ou município, procurando garantir sempre a melhor relação custo-benefício. O passo dado na posição seguinte em cada uma das etapas, garante o amadurecimento para fazê-lo, enquanto o salto de etapas, muitas vezes do nível mais baixo, dos controladores eletromecânicos, para o nível máximo, dos sistemas de tempo real, é muitas vezes difícil de assimilar, e de reverter em caso de arrependimento.

Finalmente, a busca de integração de equipamentos e sistemas, desponta como o caminho inteligente e viável, para a integração dos diversos recursos hoje disponíveis. Esta integração resulta em dados e informações fundamentais para as tomadas de decisão. O tratamento e a divulgação destas várias informações aos usuários do sistema viário, permite que

estes planejem melhor suas ações e decisões, como por exemplo a escolha de rotas pelos motoristas e a escolha de horários de ônibus pelos passageiros. Isto poderá contribuir para a previsibilidade do tráfego, onde os gerenciadores do sistema, devido a uma necessidade, como congestionamentos causados por acidentes ou alagamentos, orientem os motoristas na adoção de caminhos alternativos, evitando o agravamento do problema já existente. Estas informações, como visto ao longo deste trabalho, podem ser divulgadas por diferentes meios, onde cada um tem a sua melhor aplicabilidade. Constata-se que o melhor é utilizar o maior número de meios possíveis para obter o maior alcance nos diferentes segmentos dos usuários.

Os assuntos abordados neste trabalho foram explorados dentro do enfoque proposto, no entanto durante o período desta pesquisa foi identificado a necessidade de um maior detalhamento de algumas questões, que ficam como sugestões para novos trabalhos. Os pontos principais para estes estudos aprofundados seriam a avaliação de resultados de implantação de novas tecnologias de detecção no Brasil; cálculos e avaliações estudos de custos e benefícios, utilizando o valor do tempo de viagens e as externalidades associadas; e a utilização de novas ferramentas para a simulação e o planejamento de tráfego.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3M (2000) Catálogo de produtos: ITS Transportation solutions worldwide, 3M Safety and security systems division, 3M Minesota, USA, 2000 ([www.3m.com/its](http://www.3m.com/its)).
- Arruda, J.B.F. (1996) Valor do tempo de viagem para avaliação de projetos de transportes no Brasil: um estudo comparativo, Universidade Federal do Ceará, Trabalhos vencedores do Prêmio CNT de Produção Acadêmica, Transporte em Transformação, São Paulo, SP, Edição 1998.
- Beck, R. (1995) Análise do impacto do semáforo com informação auxiliar de tempo sobre a capacidade das interseções: um estudo de caso, relatório técnico, Universidade Federal de Brasília (UNB).
- BHTRANS (1996) Análise técnica e econômica da implantação de um sistema CTA em Belo Horizonte. Relatório técnico da BHTRANS.
- Bonetti Jr., W. e Pietrantonio, H. (2001) Utilização de semáforos atuados pelo tráfego, Paper Relatório técnico, USP, Setembro de 2001.
- Bonetti Jr., W. (2000) Análise de desempenho de revisão semfórica utilizando centralização operacional. Relatório Técnico apresentado no 15º. Congresso Nacional de Transporte e Trânsito em Gramado, Novembro 2000.
- Bretherton, R.D.; Bowen, G.T.; Burton, P.G. e Wood, K. (1986) The use of SCOOT for traffic managment. *Transport and Road Research Labiratory, UK*, Second International Conference on Road Traffic Control 15-18 April 1986, Institution of Eletrical Engineers, UK.
- Bruce, R. (2001) A watching brief, *Traffic Technology International*, pg. 43 – 46, Oct/Nov 2001, UK & International Press, UK.
- BSE (1995) Catálogo de produtos: Controlador de trânsito microprocessado HODOS 32, BSE Braslínea Serrel Eletrônica, São Paulo, SP, Brasil, 1995.
- Cannell, A. (2001) How to move a million cars, *Traffic technology international*, pg. 60 - 62, Aug/Sep 2001, UK & International Press, UK.
- CET-Rio, (2001) Companhia de Engenharia de Tráfego do Rio de Janeiro, site: [www.cetrio.rj.gov.br](http://www.cetrio.rj.gov.br).
- CET-SP, (2001) Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo, site: [www.cetsp.sp.gov.br](http://www.cetsp.sp.gov.br).

- Clowes, D.J. (1986) Urban Traffic Control: Past, Present and Future. *Transport and Road Research Laboratory, UK*, Second International Conference on Road Traffic Control 15-18 April 1986, Institution of Electrical Engineers, UK.
- Código de Trânsito Brasileiro-CTB (1997), Lei Nº. 9.503 de 23 de setembro de 1997.
- Cucci Neto, J. (1999) Projeto Semafórico: Legislação, Arranjo Físico e Sinalizações Relacionadas - extraído do CTB e Manual Sinalização Semafórica CET-SP.
- DENATRAN (1984) Manual de Sinalização de Trânsito – Manual de Semáforos. Brasília, 1984, 2a. edição (Coleção Serviços de Engenharia, Volume 4).
- Digicon (2001) Catálogo de Produtos: Soluções de controle de tráfego, Digicon S.A. Gravataí, RS, Brasil, 2001 ([www.digicon.com.br](http://www.digicon.com.br)).
- Digicon (2002) Manual de programação, instalação e operação – controlador de tráfego CD200 Plug in, Digicon S.A. Gravataí, RS, Brasil, 2002 ([www.digicon.com.br](http://www.digicon.com.br)).
- EIS (2001) Catálogo de Produtos: The simple solution to traffic detection – RTMS Remote Traffic Microwave Sensor, EIS Electronic System Inc., Toronto, Ontário, Canadá, 2001 ([www.rtms-by-eis.com](http://www.rtms-by-eis.com)).
- Ejzenberg, S. (1995) Reprogramação de semáforos: método baseado em observação de campo, Notas Técnicas Vol.1, “Semáforos”, pags. 3-7, Companhia de Engenharia de Tráfego (CET), SP.
- EPTC, (2001) Empresa Pública de Transporte e Circulação de Porto Alegre, site: [www.eptc.com.br](http://www.eptc.com.br).
- Fallendorf, M. (1997) Public Transport Priority within SCATS – a simulation case study in Dublin, at 67<sup>th</sup> Annual Meeting of Institute of Transportation Engineers, Boston, USA.
- Federal Highway Administration (1976) Traffic Control System Handbook – USDOT United States Department of Transportation, USA.
- Federal Highway Administration (2000) What have we learn about Intelligent Transportation System?. United States Department of Transportation. Washinton D.C. June 2001.
- Federal Highway Administration (2001) Intelligent Transportation System Benefits: 2001 Update. United States Department of Transportation. Washinton D.C. June 2001.
- Gartner, N.H., Stamatiadis, C. e Tarnoff, P.J. (1995) Development of advanced traffic signal control strategies for intelligent transportation systems: a multi-level design. University of Massachusetts - Lowell.

- Gartner, N.H. (1991) Road Traffic Control: Demand Responsive, Concise Encyclopedia of Traffic and Transportation Systems, University of Massachusetts Lowell, USA.
- Gartner, N.H. (1991) Road Traffic Control: Progression Methods, Concise Encyclopedia of Traffic and Transportation Systems, University of Massachusetts Lowell, USA.
- Hulscher, F.R. (1977) Reliability Aspects of Road Traffic Signals. Traffic Engineering and Control, 3, pg 98 – 101.
- IHT - Institution of Highways and Transportation (1987) Roads and Traffic in Urban Areas, United States Department of Transportation, USA, Washington DC.
- JDJ (1999) Catálogo de Produtos: Sinalizadora Digital, JDJ Sistemas Tecnológicos Ltda, Vera Cruz, RS, Brasil, 1999 ([www.jdj.com.br](http://www.jdj.com.br)).
- Leandro, C.H.P., Campos, V.B.G., Loureiro, C.F.G. (2000) Procedimento Multicriterial para caracterização física de um sistema de Controle de Tráfego Urbano, Working Paper, XIV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Segurança e Controle de Tráfego (XIV ANPET), Gramado, RS, Brasil
- Mac Lennan, C. e Routledge, I.W. (1995) The Development of urban traffic management and control (UTCM) system. 23<sup>rd</sup> PTRC European Transport Forum.
- Mazzamati, M.V., Vinciprova Neto, D.V., Bahú, R.C., Winkel, A.Z. (1997) Controle de semáforos em tempo real - Resultados da implantação e operação em São Paulo. Relatório Técnico, apresentado no 11º. Congresso Nacional de Transportes Públicos da ANTP em Belo Horizonte.
- Medeiros, F.C., Rangel, F., Luna, M. (2000) CTAFOR - Controle de Tráfego em Área de Fortaleza. Relatório Técnico da ETTUSA - Empresa de Trânsito e Transporte Urbano de Fortaleza S.A., 2000.
- Meneses, H.B. (2000) Avaliação preliminar dos benefícios operacionais do controle semaforico centralizado em tempo real, Universidade Federal do Ceará.
- Meng (1999) Catálogos de Produtos: Temporizador visual para sinalização de pedestre TEMPASS, Meng Engenharia, Comércio e Indústria Ltda, São Paulo, SP, Brasil, 1999 ([www.meng.com.br](http://www.meng.com.br)).
- Ming, S.H., Vilanova, L.M., Espel, M. e Pichiello, V. (2001) Manual de sinalização semaforica – Critérios de programação. Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET-SP). São Paulo.

- Mont'Alvão, C., Braga, M.G.C., Moraes, A. (2000) Painéis de Mensagens Variável: Forma de apresentação da informação e preferência dos motoristas a influência de palavras e das cores, Working Paper, XIV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Segurança e Controle de Tráfego (XIV ANPET), Gramado, RS, Brasil.
- NIA (2001) National ITS Architecture, United States Department Of Transportation (USDOT), USA ([www.iteris.com/itsarch](http://www.iteris.com/itsarch)).
- Nu-metrics (1996) Catálogo de Produtos: Eletronics for intelligent highways, Nu-metrics technology center, Uniontown, PA, USA, 1996 ([www.nu-metrics.com](http://www.nu-metrics.com)).
- Palen, J. (2001) A watching brief, Traffic Technology International, pgs. 43 – 46, Oct/Nov 2001, UK & International Press, UK.
- Peek (2000) Catálogo de Produtos: Close loop traffic managment system CLMATS, Peek Traffic Systems Inc., Flórida, USA, 2000 ([www.peek-traffic.com](http://www.peek-traffic.com)).
- Philips (1993) Catálogo de Produtos: PSC Traffic Controler, Philips Traffic Systems Pty. Limited, Sydney, Austrália, 1993.
- Plessey (1990) Catálogo de Produtos: Urban Traffi Control System Fixed Time and SCOOT, Plessey Controls Limited, Dorset, UK, 1990.
- Sainco (2001) Catálogo de Produtos: Sistema de Control del Trafico Interurbano, Abengoa Sainco Trafico, Madrid, Espanha, 2001 ([www.saincotrafico.com](http://www.saincotrafico.com)).
- Salter, R.J. and Hounsell, N.B. (1996) Highway traffic analisys and design, Third edition.
- SDM (1998) Catálogo de Produtos: O semáforo com informação de tempo, SDM Comércio e Montagem de Componentes eletrônicos Ltda., Maringá, Paraná, Brasil, 1998.
- Sheperd, S.P. (1992) A review of traffic signal control. Institute for Transport Studies (ITS). The University of Leeds. Working Paper 349.
- Siemens (2001) Catálogo de Produtos: Urban Traffic Control Systems, Siemens Traffic Controls Limited, Dorset, UK, 2001 ([www.siemenstraffic.com](http://www.siemenstraffic.com)).
- Taylor, W.C. e Wilshon, B. (1998) A before and after study of delay at selected intersections in South Lyon. FAST-TRAC evaluation. Intelligent Transportation System Laboratory, University of Michigan, USA.
- Tesc (2000) Catálogo de Produtos: Sistemas para Controle de Tráfego, Tesc Indústria e Comércio Ltda., São Paulo, SP, Brasil, 2000 ([www.tesc.com.br](http://www.tesc.com.br)).
- Traficon (2000) Catálogo de Produtos: Traffic Vision for a Vision on Ttraffic, Traficon USA, Virgínia, USA, 2000 ([www.traficon.com](http://www.traficon.com)).

- Vincent, R.A.; Mitchell, A.I. e Robertson, D.I. (1980) User guide to TRANSYT version 8. *Transport and Road Research Laboratory*.
- Webster, F.V., and Cobbe, B.M. (1966) Traffic Signals, Road Research Technical Paper 56, HMSO, London.
- Whittingham, M.L. (1986) Loops for surveillance. *Plessey Controls Limited, UK*, Second International Conference on Road Traffic Control 15-18 April 1986, Institution of Electrical Engineers, UK.
- Wood, K. e Baker, R.T. (1992) Using SCOOT weightings to benefit strategic routes. Transport Research Laboratory.