

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**Priorização  
do Transporte Público  
em Intersecções SemafORIZADAS**

Autor: Nicolau Pizzolante Neto

**Campinas  
2003**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**Priorização  
do Transporte Público  
em Intersecções SemafORIZADAS**

Autor: Nicolau Pizzolante Neto

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Bandeira Guimarães

Dissertação de mestrado apresentada à comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Geotecnia e Transportes.

**Campinas, S.P.  
2003**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**Priorização  
do Transporte Público  
em Intersecções SemafORIZADAS**

Autor: Nicolau Pizzolante Neto

**Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:**

**Prof. Dr. Carlos Alberto Bandeira Guimarães  
Presidente e Orientador / FEC - UNICAMP**

**Prof. Dr. Antonio Clovis Pinto Ferraz  
EESC - USP**

**Prof. Dr. Orlando Fontes Lima Júnior  
FEC - UNICAMP**

**Campinas, 26 de Junho de 2003**

## **Dedicatória**

*A meus pais, Maria de Lourdes e Atílio em memória, e à minha filha Carolina. Aos primeiros, pelo carinho, dedicação, idealismo e honestidade, que me propiciaram caminhos de formação - pessoal e profissional. À Carolina, por me ter sido sempre forte motivação de vida.*

## **Agradecimentos**

- Ao Professor Dr. Carlos Alberto Bandeira Guimarães, meu orientador, pelo apoio recebido no decorrer deste trabalho.
- À Profa Dra. Maria Lucia Galves e Prof. Dr. Orlando Fontes Lima Júnior, pelas observações formuladas na qualificação desta dissertação.
- À Doutoranda Rose Lílian Curi Ramia Pizzolante, pela participação em trechos do texto.
- À Paula Mendes, funcionária da secretaria da Pós-Graduação da FEC, por sua dedicação e competência, demonstradas na prontidão e eficiência com que fui invariavelmente tratado.
- Aos funcionários da secretaria de Pós-Graduação.
- Ao Eng. Gustavo Ruy Fowler, por informações prestadas e pela disponibilização de material da CTA 5, da Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo.
- Ao Eng. Flávio Pucci Cabral Júnior, da CET de São Paulo - CTA 5 - por dados fornecidos.

Desvendar mistérios é apenas aprender um pouco mais. É tão somente a oportunidade de passar para o mistério seguinte (*Nicolau Pizzolante Neto*).

## Sumário

	<b>Página</b>
Lista de Figuras .....	ix
Lista de Tabelas .....	xi
Lista de Gráficos .....	xiii
Resumo .....	xiv
Abstract .....	xv
Lista de Abreviaturas e Símbolos .....	xvi
1 Introdução .....	1
1.1 Considerações iniciais .....	1
1.2 Objetivos .....	3
1.2.1 Objetivos Gerais .....	3
1.2.2 Objetivos Específicos .....	3
1.3 Organização do trabalho .....	3
1.4 Contextualização do problema .....	4
2 Revisão Bibliográfica .....	22
3 Metodologia .....	37
3.1 Fatores de Prioridade para Ônibus .....	37

3.2	Priorização - Conceito e Modos operacionais .....	43
3.3	Procedimentos para Priorização dos Ônibus .....	56
3.3.1	Pré - Sinais .....	56
3.3.2	Controle para Ônibus com Uso de Detectores - com e sem Localização Automática de Veículos .....	71
4	Estudo de Caso .....	92
4.1	Pré - Sinais .....	92
4.2	Priorização de Ônibus, Integrada a Controles de Semáforos	107
5	Bibliografia .....	126

## Lista de Figuras

<b>figura</b>	<b>Descrição</b>	<b>pagina</b>
1.4.1	Idade da Frota de Veículos Automotores - RMSP .....	11
1.4.2	Impactos Esperados para Planos de Transporte	17
3.2.1	Intersecção Típica para CTA - Esquemático .....	55
3.3.1.1	Lay Out Típico para Pré - Sinal Categoria A	58
3.3.1.2	Lay Out Típico para Pré - Sinal Categoria B	58
3.3.1.3	Relações entre $r_p$ , $g_p$ , $r_m$ , $g_m$ , $C$ .....	61
3.3.1.4	Locação de Veículos sem e com Pré - Sinal (Categorias A e B)	68
3.3.2.1	Elementos para Controle Sem Informações AVL .....	74
3.3.2.2	Posição do Laço Detector Relacionado a Estimativas de Filas	79
3.3.2.3	Elementos do Sistema de Controle em Ambiente AVL .....	83
4.1.1	Programação de Controlador de Tráfego .....	94
4.1.2	Planos Semafóricos .....	95
4.1.3	Planos Semafóricos .....	96
4.1.4	Tabela Horária de Planos Semafóricos .....	97
4.2.1	Estratégia de Controle para Ônibus .....	108
4.2.2	Esquema de Posicionamento de Detectores .....	109

4.2.3	Estágios e Fases .....	111
4.2.4	Planos Semafóricos .....	112
4.2.5	Planos Semafóricos .....	113

## Lista de Tabelas

<b>tabela</b>	<b>descrição</b>	<b>pagina</b>
1.1	Viagens Diárias Motorizadas RMSP (vezes mil) .....	6
1.2	Evolução da Demanda Modal de passageiros na RMSP .....	7
1.3	Frota de Ônibus no Transporte Coletivo da RMSP .....	8
1.4	Frota Metropolitana de Veículos .....	10
1.5	Ônibus na Emissão dos Poluentes Gerados de Fontes Móveis .....	13
1.6	Principais Poluentes, Fontes e Efeitos .....	14
1.7	Relatório de Qualidade do Ar .....	14
1.8	Divisão Modal e Renda .....	19
1.9	Estimativas dos Custos Externos dos Transportes (% do PIB) .....	20
3.1	Exemplos Numéricos de Ocorrências de Ônibus .....	38
3.2	Relação de Tempos e Velocidades (automóveis x ônibus) .....	40
3.3.2.1	Tabela Comparativa sem AVL .....	86
3.3.2.2	Tabela Comparativa com AVL .....	87
4.1.1	Av. Francisco Morato - Fluxo de Veículos .....	98
4.1.2	Formulação Analítica - Pré-Sinais .....	100

4.1.3	Tempos de Semáforos .....	102
4.1.4	Tempo Ganho para Pré - Sinal Categoria A .....	103
4.1.5	Tempo para Pré - Sinal Categoria B .....	103
4.1.6	Tempo para Veículos Não - Prioritários na Categoria A .....	103
4.1.7	Tempo para Veículos Não - Prioritários na Categoria B .....	103
4.1.8	Tamanhos para Áreas de Avanço dos Ônibus .....	104
4.1.9	Formulação Analítica para Pré - Sinais Categoria B .....	106
4.2.1	Apresentação do Problema - Dados de Fluxo de Veículos .....	109
4.2.2	Análise de Filas .....	116
4.2.3	Cálculo da Extensão de Fila de Veículos .....	116
4.2.4	Informações Operacionais .....	119

## Lista de Gráficos

<b>gráfico</b>	<b>Descrição</b>	<b>página</b>
3.3.1.1	Pré - Sinal Categoria A .....	65
3.3.1.2	Pré - Sinal Categoria B .....	70

## **Resumo**

Pizzolante, Nicolau, Neto. "Estudo para Priorização de Veículos Coletivos Sobre Pneus, em Intersecções SemafORIZADAS". Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2003, 130 páginas. Dissertação de Mestrado.

O ônibus, principal meio de transporte de passageiros nas áreas urbanas brasileiras, recebe, em geral, tratamento idêntico aos veículos de pequeno porte em meio ao trânsito. Exceções, como faixas exclusivas e outras providências, geralmente em vias arteriais, ocupam leitos carroçáveis sem otimizar seu uso, criando áreas, que deixam, desnecessariamente, de atender a demandas de fluxo. Pode-se priorizar a passagem dos ônibus e adequar para isso o uso da via.

O presente estudo vem ao encontro dessa premissa, com tecnologias de baixos custos, que são os Pré - Sinais e o Controle Adaptativo de Semáforos, o último, com ou sem Locação Automática de Veículo, que associadas a sistemas preexistentes, como controle de tráfego em área ou mesmo controladores trabalhando isolados, vão beneficiar no número transportado de passageiro/km/hora, sem detrimento relevante no movimento dos veículos pequenos. Estudos analíticos, com base em dados reais de via e fluxos, demonstraram essa condição.

**Palavras-chave:** pré-sinais, sistema inteligente de transportes, controle de semáforos, locação automática de veículos, ônibus inteligente, controle de tráfego, transporte urbano sobre pneus.

## **Abstract**

Pizzolante, Nicolau, Neto. "Studying to priority the transportation, in intersection with traffic lights." Campinas, Civil Engineering University, Government University from Campinas, 2003, 130 pages. Master's Degree Dissertation.

The bus, the main means of transportation in Brazilian urban areas, has the same attention of small vehicles concerning the traffic. Exceptions such as, special lanes and other measures, in general arterial highway, they take roabed without doing better its use, creating areas, which don't help the necessary flow. We can give priority for buses and adapt the road for that.

The present study deals with this ussue: low cost technologies, which are the pre-traffic system and the traffic light adaptable control; the last one with or without automatic vehicle located system which associated to the pre existing ones, that is area traffic control or controler working isolately, will benefit the number of people transported per hour, without disturbing the movement of small vehicles. Analytical studies, based in real road flow show this condition.

**Key Words:** pre-traffic lights, intelligent transportation system, traffic light control, automatic vehicle location system, intelligent bus, traffic control, urban transport on wheels.

## **Abreviaturas e Símbolos**

AVSI.....	Sistema Avançado de identificação de veículos
BID .....	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BIRD .....	Banco Intern. para a Reconstrução e Desenvolvimento (Banco Mundial)
BNDES .....	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CCO .....	Centro de Controle operacional
CEE .....	Comunidade Econômica Européia
CET .....	Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo
CETESB .....	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CFTV .....	Circuito Fechado de Televisão
CMSP .....	Companhia do Metropolitano de São Paulo
CO .....	Monóxido de Carbono
CONAMA .....	Conselho nacional de meio Ambiente
CTA 5 .....	Centro de Controle de Tráfego em Área - 5 - Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo
DETRAN .....	Departamento Estadual de Trânsito
EMTU .....	Empresa metropolitana de Transportes Urbanos
HC .....	Hidrocarboneto
IPI .....	Imposto sobre Produtos Industrializados

ITS .....	Intelligent Transportation System
MP .....	Material Particulado
Nox .....	Óxido de Nitrogênio
OCDE .....	Organização para Cooperação e Desenvolvimento econômico
OMS .....	Organização Mundial da Saúde
PIB .....	Produto Interno Bruto
PITU .....	Plano Integrado de Transporte Urbano
PMA .....	Percurso Médio Anual
PRODESP .....	Processamento de Dados do estado de São Paulo
RMSP .....	Região Metropolitana de São Paulo
Sox .....	Óxido de Enxofre
SP Trans .....	São Paulo - Transporte
STM .....	Secretaria dos Transportes Metropolitanos
USP .....	Universidade de São Paulo

# **1 - INTRODUÇÃO**

## **1.1 - Considerações Iniciais**

O ser humano, em seu ambiente, tem relação direta com transporte, que, por sua vez, pode ser visto segundo duas fases históricas distintas. A primeira precede a Revolução Industrial, na qual houve aproveitamento da força motriz humana, e, a seguir, da tração dos animais, das correntes de água e dos ventos. A utilização de quadrúpedes representou progresso considerável, porém dependia da abundância desses animais em estado selvagem, da sua distribuição, de pastagens e da sua capacidade de adaptação a diversas condições. Além disso, em geral, as estradas estavam relacionadas a governos interessados no rápido deslocamento de tropas. Os romanos construíram grande rede de estradas pavimentadas com o intuito de facilitar movimentos militares.

Já no século XVIII, o crescimento do conhecimento e da organização permitiu, em seu final, construção de estradas modernas para a época. Na Inglaterra, grupos obtinham fundos para sua construção e conservação, por meio da implantação de um sistema de pedágio, que amortizava os custos de construção e manutenção pelo recebimento de uma taxa fixa.

Num segundo momento histórico, motores de combustão e eletricidade passa-

ram a fornecer força motriz e a substituir as modalidades anteriores de tração. Os bondes puxados por animais, utilizados até meados do século XIX, na Inglaterra, Estados Unidos e depois em vários outros países, foram substituídos pelos de tração elétrica, que conseguiam cobrir distâncias maiores, passando a competir com as estradas de ferro suburbanas. Por sua vez, os bondes foram sendo substituídos pelos trólebus – ônibus elétricos que prescindiam dos trilhos. Isso até o advento do automóvel, veículo sem movimentos limitados dentro do leito viário.

Considerando-se que movimento humano ou de bens busca propósitos específicos, objetivam-se nos dias atuais um melhor aproveitamento dos espaços viários e adequação de frotas, para economia de escala e minoração de dificuldades para a coletividade. Essa prática, se relacionada com o transporte urbano de passageiros em veículos coletivos sobre pneus, controlados em tempo real, com aplicativos inteligentes, proporcionará uma melhora do serviço, com redução de transtornos na via pública, apresentando também maior atratividade para o usuário. O emprego de métodos e tecnologias que identifiquem os ônibus em meio ao trânsito geral – com capacidade para transportar grande número de pessoas em comparação com veículos pequenos - pode oferecer aos coletivos preferência de passagem nos pontos semaforizados.

O uso de tecnologias pode, pela confiabilidade da programação, pelo aumento do número de viagens e pelo conforto - além de possíveis ganhos nos custos do ponto de vista do usuário e também do fornecedor dos serviços - tornar o transporte coletivo atraente a um maior número de pessoas, atingindo, inclusive, camadas da sociedade que permaneceriam recalcitrantes à sua utilização em condições mais precárias. O tempo do quilômetro percorrido será afetado positivamente, pois controles dos ônibus levarão a um melhor desempenho frotas e usos do viário. Condições urbanísticas, tais como uso e ocupação do solo, sua evolução e velocidade, além de outras condições, não se podem deixar de considerar.

Não seria possível, segundo HERNANDEZ, 1997, a existência de cidades sem a

instituição do transporte. Nas sociedades modernas, estruturas existentes ou outras emergentes ficam sujeitas a seu funcionamento efetivo e se desenvolvem dependendo de boas ou más condições, que as beneficiem, ou tragam, na segunda hipótese, dificuldades. A questão é a maneira possível de integrar e articular o transporte de uma sociedade, como serviço essencial e adaptado à sua condição específica. Essa questão básica e complexa implica a necessidade de se conhecerem as interações entre os membros de uma sociedade num dado momento. Aponta quanto se necessita conhecer e avaliar as estruturas comerciais, transações financeiras, atividades culturais, distribuição das oportunidades de trabalho e demais atividades que exigem interações entre pessoas.

## *1.2 – OBJETIVOS*

### **1.2.1 Objetivos Gerais**

Análise Comparativa de desempenho do transporte coletivo de passageiros em cruzamentos urbanos semaforizados, com e sem priorização.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Viabilizar o transporte coletivo conjugado a sistemas de controle de tráfego, permitindo prioridade controlada para passagem de ônibus em cruzamentos semaforizados.

## **1.3 - Organização do Trabalho**

Este trabalho consta de seis capítulos. O primeiro, com uma breve abordagem histórica, focaliza as condições do transporte no Brasil e, em particular, na Região Metropolitana de São Paulo, como pólo de oferta e demanda de viagens. Apresenta ainda aspectos que o relacionam com questões de poluição ambiental, além de determinar os objetivos do trabalho. O segundo constitui uma revisão bibliográfica, com base principalmente em textos de congressos, publicações científicas e experiências havidas no exterior. O capítulo terceiro aborda efeitos, técnicas e condições que permitem o esta-

belecimento de prioridade para os ônibus. Nesse capítulo são expostas as teorias que proporcionam as condições para nossos estudos de prioridade dos transportes coletivos sobre pneus em meio ao fluxo de veículos. São teorias para pré-sinais e priorização dos ônibus com e sem Localização Automática de Veículos. O quarto capítulo apresenta a utilização prática das condições expostas, segundo situações reais de fluxo de veículos e utilização dos tempos de semáforos, adequando-os às premissas consideradas e comparando os resultados obtidos com aqueles hoje existentes. A dissertação se encerra com os capítulos quinto – Bibliografia – e sexto, que exhibe o cronograma.

#### **1.4 - Contextualização do problema**

Transportar pessoas, mesmo para oferta circunscrita a uma área metropolitana, deve ter variações quanto à forma de prestação dos serviços, inclusive em relação ao "*modus operandi*". A frequência de operação nas zonas urbanas deve prever serviços sujeitos a variações que reflitam condições de demanda, devendo manter-se funcionando, ainda que num patamar mínimo, para atender à população em horários e dias de baixa procura.

Os limites da zona urbana, muitas vezes imprecisos, necessitam de transportes que vão se adequando continuamente. A administração pública e os concessionários de transporte de passageiros convivem, portanto, com problemas de difícil solução. O passageiro é sempre o alvo tanto dos acertos quanto das impropriedades que ocorrem. A eficiência na captação do passageiro, a entrega em seu destino no menor tempo possível, o atendimento das demandas nos horários de pico sem multiplicação excessiva das unidades de transporte, minimizando-se suas ociosidades fora dessas condições e a justiça tarifária são questões básicas a serem tratadas.

Os problemas referentes à captação, são em numerosos casos, causados pela pulverização das origens da demanda, pois zonas geradoras de viagens não são muito concentradas. Já os destinos podem ser tratados como áreas com menor dispersão, por

serem os pólos de atração de viagens, regiões geralmente definidas. Não se pode deixar de considerar o retorno das viagens. Nesse contexto, planejamento e administração de transportes apresentam dificuldades que aumentam com a expansão das cidades, sobretudo, se essa expansão for desordenada, o que provoca pressões de demanda pelo serviço. Crescimento demográfico cria pólos de geração e atração de viagens, porém áreas de pequena densidade e demanda acabam recebendo o benefício sem condições de usá-lo adequadamente.

Tem-se, ainda, que picos de demanda surgem da necessidade de grandes massas se locomoverem em horários próximos, provocando, nesses períodos, saturação das unidades de transporte. Não há, para essa situação, solução definitiva, podendo-se apenas empreender ações para a minimização do problema. Se os serviços forem oferecidos com frequências bem estabelecidas e constantes – oferta regularizada de passagens – o usuário passará a confiar na chegada de unidades de transporte em momentos programáveis. Outra forma de atendimento nos horários de pico é a implementação da frota normal com veículos expressos que poderão ter tarifas diferenciadas e serem desativados em outros horários. Poderá haver poucos pontos de parada, com conseqüente aumento da velocidade média, procedimento que pode ser eficaz para operações suburbanas. Além desses métodos, uma outra forma, sem dúvida polêmica, seria o estabelecimento de tarifas especiais fora dos horários de grande demanda.

Outra dificuldade nesse processo é a questão tarifária, pois ela deve ser adequada tanto para o usuário como para o prestador dos serviços. Em uma economia de mercado, o estabelecimento de uma tarifa justa envolve o conflito de interesses entre o empresário e o usuário, este último representado pelo poder público. Assinala-se que tarifas subavaliadas descapitalizam os prestadores de serviços, provocando sua degradação. Por outro lado, é necessário que elas não lesem a economia popular.

Devem ser bem estabelecidos, também, no tocante à oferta do transporte, à origem e ao destino dos movimentos, assim como à tecnologia a empregar tanto em re-

lação aos veículos como às vias. A esse respeito, deve-se levar em conta que existem componentes físicos e conceituais para as viagens. Entende-se por conceituais as motivações das viagens e, por físicos as vias e as formas de viabilizar movimentos. A tecnologia de transporte urbano abrange, portanto, de acordo com essa conceituação, grande gama de agentes, que devem estar conveniente e adequadamente distribuídos para atender às demandas existentes.

No estudo das condições brasileiras atuais, segundo dados fornecidos pelo Governo do Estado de São Paulo – Secretaria de Estado do Meio Ambiente (1995) – verificou-se, nos últimos 30 anos, o crescimento do transporte individual, diante da relativa estagnação dos transportes coletivos na Região Metropolitana da Grande São Paulo RMSP. Sua evolução mostra, em 1967, o transporte individual respondendo por 32% das viagens motorizadas, e por 45% em 1995. Em contrapartida, o transporte coletivo, em 1976, representava 68% das viagens realizadas e 55%, em 1995.

Com 8.050 km<sup>2</sup> de área a RMSP concentra cerca de 6 milhões de empregos. É a mais importante região econômica do país, gerando aproximadamente 20% do PIB nacional, porém com distribuição espacial desigual e irregular de empregos. Os dados da Secretaria do Meio Ambiente mostram que as atividades da RMSP geram cerca de 30 milhões de deslocamentos individuais/dia. A tabela 1.1 indica a evolução quantitativa e percentual representativa das ocorrências de viagens, segundo dados obtidos até o ano de 1995.

**Tabela 1.1 – Viagens Diárias Motorizadas RMSP (vezes mil)**

<b>MODO</b>	<b>1967</b>	<b>%</b>	<b>1977</b>	<b>%</b>	<b>1987</b>	<b>%</b>	<b>1995</b>	<b>%</b>
COLETIVO	4.894	68	9.759	61	10.343	55	12.455	55
INDIVIDUAL	2.293	32	6.240	39	8.473	45	10.283	45
TOTAL	7.187	100	15.999	100	18.816	100	22.738	100

A tabela 1.2 mostra a evolução da demanda, em um período de cinco anos, dos deslocamentos executados por vários modais: metrô, trem, ônibus (diesel e trólebus). Não estão disponíveis dados de deslocamentos em peruas, o mais recente advento.

**Tabela 1.2 – Evolução da Demanda Modal de passageiros na RMSP  
(PASSAG./ MIL/ ANO)**

ANO	ÔNIBUS		METRÔ	TREM
	DIESEL	TRÓLEBUS **		
1990	2.524.322	82.946	609.386	290.248
1991	2.288.828	72.285	665.026	312.169
1992	2.175.320	68.419	623.945	240.345
1993	2.185.346	70.559	608.619	224.874
1994	2.213.704	71.612	623.808	245.193
1995	2.426.607	78.426	694.028	254.162

\*\* demanda conjunta, transportada pela EMTU/ SP e SP Trans.

O documento indica que os números não apresentam alterações significativas, evidenciando a estagnação relativa do setor diante do aumento das viagens motorizadas. Nota-se também que os sistemas eletrificados (não - poluentes), no período, oscilaram em torno de 30% do total das passagens utilizadas. Sabe-se, atualmente, que a RMSP enfrenta um crescimento de cerca de 1.000 veículos motorizados/dia, aumentando os congestionamentos e lentidões no tráfego, que potencializam novas fontes de emissões poluidoras.

A frota de ônibus diesel circulante na área atinge cerca de 46.000 unidades (incluindo o microônibus e ônibus rodoviários de longo percurso), e a usada para transpor-

te na RMSP é de 22.200 veículos. A tabela 1.3 apresenta a distribuição dessa frota.

**Tabela 1.3 – Frota de Ônibus no Transporte Coletivo da RMSP**

FROTA	OCORRÊNCIA (%)
Capital/SP Trans	49,56
Linhas Metropolitanas	14,41
Fretamentos Metropolitanos	24,77
Municípios da RMSP	11,26

Fonte: SP Trans e STM (Secretaria de Transportes metropolitanos)

A frota brasileira cresce em ritmo acelerado e, segundo pesquisa mundial, a América do Sul é a região do planeta que teve o maior incremento (proporcional) de produção de veículos na última década do século XX. Uma ideia concreta disso resulta de um sucinto exame da história da indústria automobilística no Brasil (FERRO,1998).

No início da década de 1970, com o chamado "*milagre brasileiro*", houve grande expansão das vendas. Em seguida, veio a crise do petróleo, que provocou redução da taxa de crescimento, crise da dívida e queda dramática nas vendas de veículos. A indústria passou por uma série de fusões, saíram empresas como DKW e Chrysler, e entraram novas. A Fiat e a Volvo vieram nos anos 1980. Houve a fusão da Volkswagen com a Ford, formando a Autolatina. A Mercedes Benz está aqui desde o final da década de 1950, a GM e a Ford, montando caminhões, desde a década de 1920, e produzindo automóveis a partir dos anos 1960.

Nos anos 1980, houve queda do mercado doméstico e aumento de exportações – foi a chamada "década perdida" em termos automobilísticos. A indústria tinha capacidade de produzir 1.200.000 veículos/ano, mas apenas a metade era consumida inter-

namente, ficando 50% de capacidade industrial ociosa. O Brasil então, passou a exportar. No início dos anos de 1990, o nível de vendas era inferior ao da década de 1970. A população e a economia cresceram; no entanto, e as vendas de veículos continuaram estagnadas.

O grau de modernidade do produto da indústria automobilística é dado pela idade do "*design*", que é o tempo em que ele está em produção. No Brasil, na época, era de 12 anos, enquanto a média mundial era de 3 a 4 anos e no Japão, de 2,5 anos. Resultado: crise da indústria e produtos brasileiros defasados em relação ao resto do mundo! Com a abertura no mercado, os primeiros importados, mesmo com altas alíquotas de imposto de importação, encontraram um baixo nível de produtividade da indústria nacional, custos e impostos altos, qualidade ruim e obsolescência de produtos e processos. Em 1992 ocorreu a ruptura dessa situação.

O início do processo se deu por intermédio da Câmara Setorial Automobilística de 1992, que originou o acordo tripartite: governo, sindicatos dos trabalhadores e indústria, provocando um grande "*boom*" de vendas, que tem se mantido nos últimos anos. O acordo de 1992 significou uma redução de 22 % no preço do produto final para o consumidor, metade disso se constituindo de impostos, metade margem de lucro, que, evidentemente é muito difícil de conhecer. De qualquer maneira, admitindo-se que a indústria tenha reduzido em 11% sua margem de lucro, começou um período de expansão, que continuou em 1993 com o carro popular. O Fusca, incentivado pelo governo Itamar Franco, significou um incremento adicional, com nova queda do IPI. As demais montadoras, aproveitando-se dos incentivos do governo, lançaram ou incrementaram no mercado seus carros ditos populares. O advento do Plano Real deu continuidade à expansão de vendas.

Então tivemos: acordo, regime dos carros populares, Plano Real, estabilização da economia, fazendo com que, em 1992, de um patamar de 800.000, se atingisse em 1995 mais de 1.600.000 unidades/ano, dobrando as vendas de carros novos em quatro

anos. A participação dos veículos populares na venda de automóveis no mercado interno cresceu de 23% em 1993 a 54% em 1995. No período 1992 - 97, foram comercializados mais veículos que em toda a década de 1980, e a tendência atual é as vendas continuarem crescendo. Dados do governo do Estado de São Paulo - Secretaria de Estado do Meio Ambiente - destacam que nesse estado estão cerca de 40% da frota automotiva do país, e a participação relativa da Região Sudeste no mercado brasileiro, que no ano de 1990 era da ordem de 60%, vem aumentando, tendo em 1996 atingido um índice aproximado de 64,5%. Esse crescimento do mercado global, além de fatores sócio-econômicos (que fogem do escopo deste trabalho), gerou investimentos maciços no Brasil.

A frota da RMSP é da ordem de 5,5 milhões de veículos, segundo dados da Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET), e na cidade de São Paulo saem diariamente às ruas cerca de 2,8 milhões deles, esgotando a capacidade do sistema viário. Aproximadamente metade é constituída de veículos com mais de dez anos de idade, e 93% são movidos a gasolina e a álcool. A seguir, a situação é ilustrada com tabela da composição da frota metropolitana de veículos, mediante a indicação de seus percentuais de ocorrência.

**Tabela 1.4 – Frota Metropolitana de Veículos**

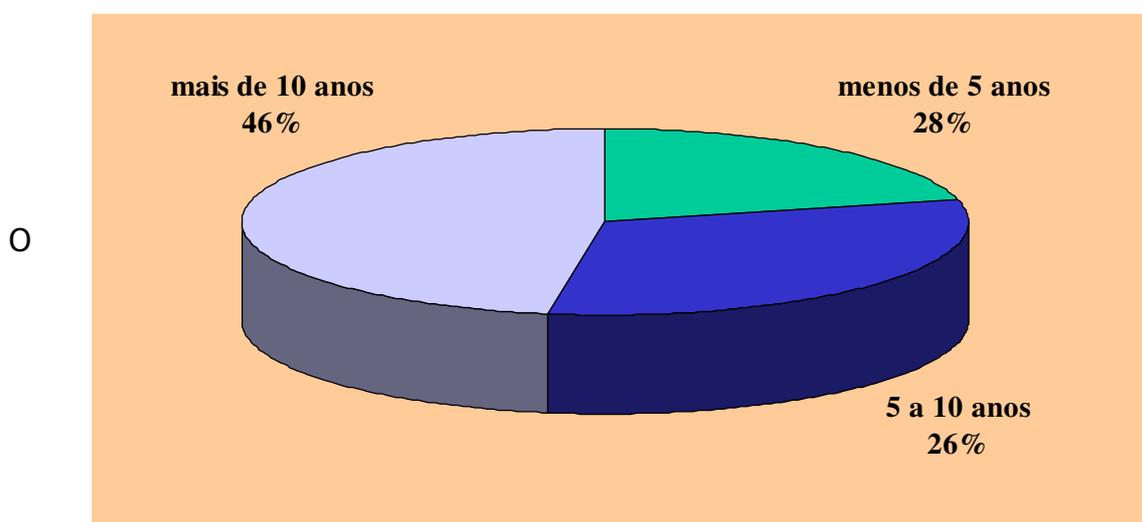
ciclo	tipo de combustível	percentagem
Otto	Álcool	28,83
	Gasolina	64,19
	Total	93,02
Diesel	Caminhões	4,07
	Camionetas	1,71
	Ônibus	0,44
	Microônibus	0,76
	Total	6,98
	Total geral	100,0

**Fonte: Detran, Janeiro de 1996, publicação no Respira São Paulo.**

O decreto n.º 40.700 do Governo do Estado de São Paulo, de março de 1996, instituiu o “Programa Operativo de Controle da Poluição do Sistema de Transportes do Estado de São Paulo”, objetivando integrar as políticas estaduais e municipais de transportes, trânsito de veículos, energia, uso e ocupação do solo, saúde e meio ambiente. Uma política estadual que visa integrar e direcionar esforços permanentes de prevenção e combate, dentre outras, a poluição atmosférica e sonora. Devem existir, para sua implementação, instrumentos legais que previnam a geração ou o agravamento da poluição veicular, além de mecanismos econômicos para promover a manutenção ou a melhoria da qualidade do ar e ambiente sonoro, sem deixar de resguardar sua importância nos processos sociais. Importante também é considerar a composição da frota de veículos automotores quanto à sua idade, o que é ilustrado na figura 1.4.1.

**figura 1.4.1 - Idade da Frota de Veículos Automotores – RMSP**

**Fonte: Departamento de Análises – PRODESP – 1995**



decreto criou o “Comitê Consultivo de Controle da Poluição do Sistema de Transporte do Estado de São Paulo”, com representantes das Secretarias dos Transportes, Transportes Metropolitanos, Energia, Saúde, Ciência e Tecnologia, Desenvolvimento Econômico, Educação, Segurança, Meio Ambiente, Fazenda, além de mais órgãos federais e municipais, Coordenadoria da Defesa Civil, Greenpeace, Universidade de São Paulo

(USP), Ibama, Instituto de Engenharia e outros. O comitê apresentou documento denominado "Diretrizes para o Controle Integrado da Poluição do Sistema de Transportes no Estado de São Paulo", com 33 propostas de ações estruturais de curto, médio e longo prazos.

O documento de discussão pública "Por Um Transporte Sustentável" assinala que as maiores fontes emissoras de poluição urbana são os veículos automotores, os processos industriais, queimas de resíduos e a movimentação ou estocagem de combustíveis. O grande poluidor atmosférico é a frota de veículos. Dados referentes a 1995 na RMSP, quando a emissão de CO foi de 1.814,5 toneladas, informam que, desse total, 1.732 toneladas vieram de fontes móveis, e apenas 38,6 toneladas se originaram de emissões industriais. Estamos falando, nesse caso, de um único fator de poluição, porém em casos como material particulado (MP), fontes fixas têm preponderância.

O tipo de utilização do veículo deve ser levado em consideração. Um automóvel particular roda menos que um táxi; um caminhão de entregas é mais usado que um outro de mudanças, e um ônibus de transporte coletivo tem uso intensivo. A unidade PMA – Percurso Médio Anual – é parâmetro que pode ser empregado para indicar diferenças de utilização. É sabido que um ônibus de transporte coletivo urbano tem PMA médio de 80.000 km, e um automóvel, da ordem de 12.000 km (cerca de seis vezes menor). Portanto, embora a frota de ônibus represente apenas 0,4% do total de veículos na RMSP, ela é responsável pela emissão de maior quantidade proporcional de poluentes. Isso, mesmo sem levar em conta fatores como tipo de combustível, estado de conservação, idade, condições de manutenção, etc. É importante também o fato de que ônibus urbanos tendem a confluir maciçamente para regiões centrais, provocando concentração de poluentes em seus corredores de acesso e em áreas limítrofes.

**Tabela 1.5 – Ônibus na Emissão dos Poluentes Gerados de Fontes Móveis – 1995 (1000 t/ ano)**

poluentes	frota automotora	frota de ônibus	emissão relativa (%)
CO	1731,9	31,59	1,82
HC	371,1	5,15	1,39
Nox	436,8	23,07	5,28
Sox	85,7	4,83	5,64
MP	40,7	1,44	3,54

Frota de ônibus metropolitanos:  $\cong$  22.200 veículos

O Estado de São Paulo responde por 39% do consumo nacional de gasolina, 24,3% do óleo diesel e por cerca da terça parte do consumo nacional de álcool combustível. O consumo de óleo lubrificante em 1994 foi de 647.000 m<sup>3</sup>, dos quais 215.000 m<sup>3</sup> no Estado de São Paulo. A cidade de São Paulo apresenta uma razão de 2,18 habitantes/veículo (1995), equivalente a países desenvolvidos como Suécia e Bélgica.

Crescem os congestionamentos. A média em 1996, à exceção dos meses de férias escolares, foi de 85 km nos picos da manhã e de 124 km à tarde. Estima-se um desperdício de 2,4 milhões de horas/dia em deslocamentos na região metropolitana, com prejuízo avaliado na ordem de 6 milhões de dólares/dia (pesquisa da Companhia do Metropolitano). Os números disponíveis permitem avaliar impactos ambientais nas grandes cidades, particularmente em São Paulo, onde 14 anos de medições de poluentes efetuados pela Cetesb detectaram muitas vezes condições inaceitáveis para a saúde humana. O ruído ocasionado pelo tráfego é intenso. Poluição sonora pode afetar a audição das pessoas, além de atingi-las psicologicamente. É fato reconhecido pela OMS – Organização Mundial de Saúde – que São Paulo figura dentre as cidades mais barulhentas do mundo, e níveis médios de ruído perto a 85 dB são comuns nas proximidades de vias arteriais de trânsito. A seguir, anexamos dados que possibilitarão uma visualização crítica na RMSP quanto a aspectos de uso do viário nos processos poluentes.

**Tabela 1.6 – Principais Poluentes, Fontes e Efeitos.**

poluentes	principais fontes	efeitos
Monóxido de Carbono (CO)	Veículos (95%)	Liga-se à hemoglobina e diminui oxigenação do sangue
Dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> )	Indústrias e veículos	Coriza, danos irreversíveis aos pulmões, acidifica o solo, danos a corpos d'água e patrimônio
Ozônio (O <sub>3</sub> )	Ação da luz solar sobre hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio(queima de combustíveis)	Causa de envelhecimento precoce, reduz resistência a infecções, irrita nariz e garganta.
Material Particulado	Veículos diesel, desgaste de pneus, freios, indústrias	Doenças respiratórias e do coração, asma, bronquite, carcinogênicas
Hidrocarbonetos (HC)	Queima incompleta e evaporação de combustíveis	Aumento de câncer do pulmão irritam pele e aparelho respiratório
Aldeídos	Veículos	Irritam olhos, nariz e garganta cancerígenos(emissões veiculares)
Óxidos de nitrogênio (Nox)	Combustão em geral, veículos	Infecções, alterações celulares desconforto respiratório

**Tabela 1.7 –Relatório de Qualidade do Ar em 1995**

Fonte emissora		Poluentes (%)				
		CO	HC	Nox	Sox	Partículas
escape de veículos	Gasolina	49	19	10	8	10
	Álcool	17	9	5		
	Diesel	28	21	81	77	30
	Táxis	2	2	1		
	Motos,	2	1			

Carter e evaporações	Gasolina		31			
	Álcool		9			
	Motos e similares		1			
Transferência de combustí- vel	Gasolina		3			
	Álcool		1			
Processos Industriais (1990)		2	3	3	15	10
Aerossóis secundários						25
Ressuspensão de partículas						25

A resolução Conama Nº3, de 28/3/1990, estabelece os padrões nacionais de qualidade do ar – não consideramos necessário introduzi-la aqui. Mas o exame dos valores percentuais assinalados mostra a preponderância dos veículos automotores sobre outros agentes nos processos de poluição aérea.

Como já foi dito, não é possível a existência de sociedades humanas, nos moldes atuais, sem transporte institucionalizado. Surge o aspecto do planejamento, pelo qual se estabelecem as prioridades e as formas de compatibilizar o transporte com cada agrupamento urbano ao qual se destina. Pois, se examinado em um conjunto urbano, no qual se busca solucionar aspectos referentes a ele, devem-se considerar as finalidades e as prioridades para planejamento e posteriores ações a serem implementadas.

Numa visão sistêmica, é necessário pensar na abrangência do transporte coletivo por meio de projetos técnicos e institucionais, empreendimentos de infra-estrutura, estratégias para solução de problemas de trânsito, uso e ocupação do solo, aspectos ambientais, sócio-econômicos e outros. Devem ser envolvidos os vários setores da sociedade civil, na busca de adequação de seus parâmetros. Cabe ao administrador conciliar

correntes que inevitavelmente se formam, e, dentro de um plano de metas, buscar o benefício público. Do ponto de vista do usuário, transporte é custo. Perda! Na verdade, esse serviço essencial não agrega valor nem a produtos, nem a serviços. Está-se, portanto, tratando de algo que deve ser sempre minimizado. Quanto menor seu emprego, melhor! Porém, do ponto de vista prático, devemos buscar a otimização de seu uso.

Planificar, implantar e operar transporte de pessoas significa encaminhar recursos com o objetivo de melhorar a qualidade da infra-estrutura existente, maximizando o retorno social desses investimentos, pelo maior e melhor acesso das populações aos benefícios. No Brasil, pode ser também um meio de procurar favorecer as pessoas de baixa renda. É necessário viabilidade econômica nos empreendimentos, tentando-se obter a melhor relação custo benefício, tanto no que se refere à implantação, como aos aspectos da operação e manutenção, com a racionalidade de projetos. Bancos de fomento, como BNDES, BIRD e BID, além de outros, podem participar dos projetos, porém costumam-se condicionar apoios financeiros a aprovações técnicas. Um bom plano de transporte não pode deixar de lado aspectos como segurança do tráfego e de pedestres, sistemas modernos de sinalização semafórica (preferencialmente coordenados por centrais computadorizadas), meio ambiente etc. Deve-se priorizar o enfoque multimodal e, dessa forma, fazer a adequação do "mix" de investimentos. Custos sempre são um forte fator limitante.

No Brasil, o transporte sobre pneus prepondera aos demais por características que vão desde custos de implantação envolvidos (altos para sistemas sobre trilhos e bastantes menores nos demais), facilidades técnicas de implantação e operação, como por aspectos de gestão ou culturais e até da sua evolução histórica no país. Documento da Secretaria de Estado dos Transportes Metropolitanos trata do Programa Integrado de Transportes Urbanos – PITU.

Não se pode deixar de levar em consideração, hoje em dia, os congestionamentos, que são, sobretudo nos grandes centros, cada vez mais agressivos à qualidade de

vida, e começam também a afetar cidades menores, que até então os desconheciam. Existe, portanto, necessidade generalizada de serem melhoradas, aos menores custos, as condições de eficiência e conforto, incentivando o usuário do automóvel a utilizar o transporte coletivo, de forma a aliviar os efeitos do excesso de ocupação de vias cujas modificações são difíceis e de preços elevados. Citam-se alguns impactos necessários em um plano de transporte: redução do tempo de viagem, economia pela redução de horas gastas nos deslocamentos, qualidade do ar, poluição sonora, consumo de combustíveis, acidentes de tráfego e com pedestres, acessibilidade e criação de oportunidades pela melhor distribuição e facilidade das viagens, uso do solo, qualidade do transporte coletivo, uso do sistema viário. Para uma visualização mais didática, mostra-

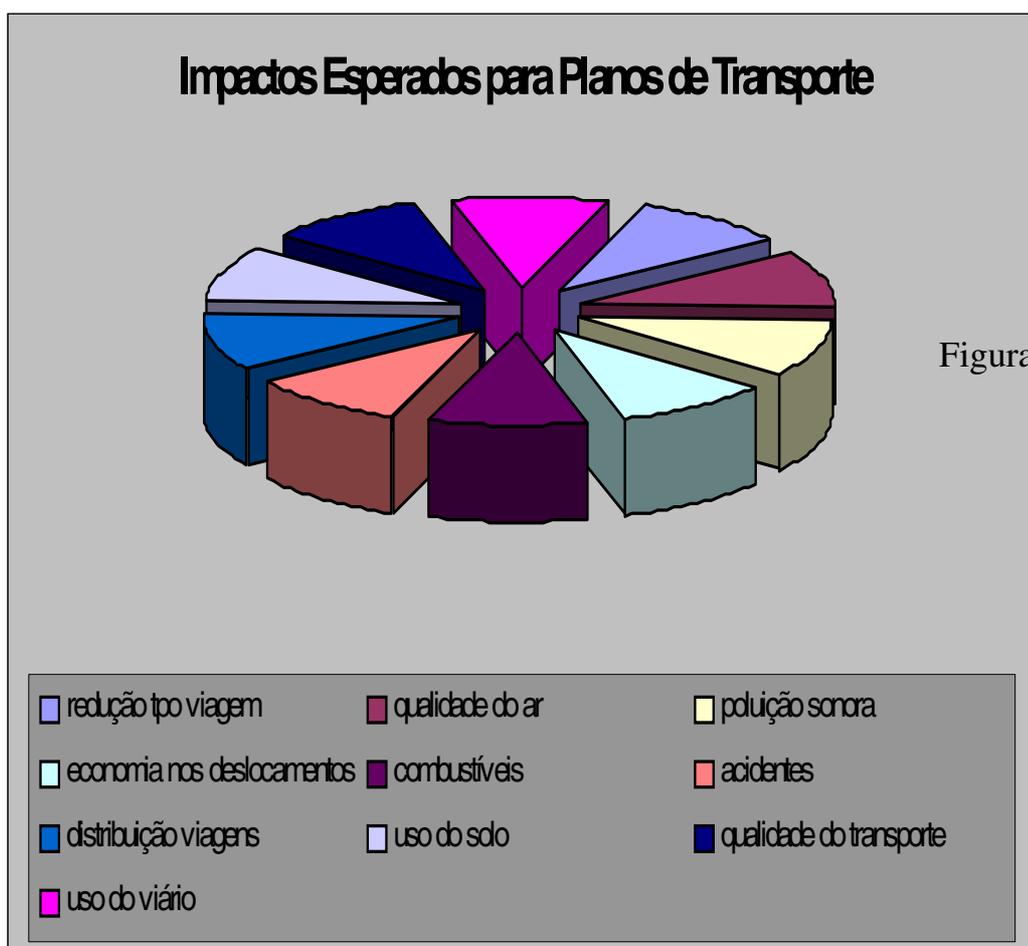


Figura 1.4.2

mos essas condições na figura 1.4.2.

Na seqüência, serão ainda usadas, como parâmetros, as condições da região metropolitana de São Paulo.

No Brasil, o sistema de transporte coletivo predominante, como já mostrado nas tabelas anteriores, é o ônibus. O grande competidor do ônibus é o transporte individual, cuja participação tende a aumentar, por razões que já tivemos o cuidado de expor, a despeito de vários inconvenientes que acarreta (com exceção das viagens a pé).

O transporte individual por veículos automotores representa na sociedade brasileira, além de um novo conforto, um ponto de corte. O indivíduo, ao adquirir um automóvel, muda seu espaço de atuação. Parte dessa atração é por se relacionar com o vital conceito de liberdade. Há uma relação do homem com o veículo que vai além da sua utilidade. Isso ocorre na maioria das sociedades; na nossa, apresenta peculiaridades agravantes. O automóvel transporta, mas serve também para socializar. É um equipamento que, teoricamente, permite ir para onde e vir de onde se quer e na companhia de quem se quer. Esse uso atraente do espaço, com função tão diversificada, leva a relações subjetivas e intensas, impedindo que se substitua o automóvel pelo transporte coletivo. No Brasil, a sociedade se divide em duas categorias: aqueles que usam ônibus ou outro transporte coletivo e aqueles que não usam. Quando o passageiro de ônibus passa a ter automóvel, muda o conforto, os horários, as pessoas com quem encontra no seu trajeto, a sociabilização etc. É um corte que não existe em países com menos disparidade entre ricos e pobres. Aqui, ter automóvel significa ascensão social de influência e desdobramentos grandes. Isso excluiu o metrô, que é mais confortável e pode ser usado tanto por ricos quanto por pobres (WILHEIM, 1998).

Custo do combustível, congestionamentos (com conseqüente perda de horas no trânsito), dificuldade para estacionar, desgaste do veículo e as próprias políticas de transporte, obrigam os usuários a encontrar alternativas, até mesmo abandonar o carro

em favor do coletivo. De forma geral, as administrações municipais investem na expansão e modernização do sistema viário e pouco no transporte público. Não se aumenta de forma programada a oferta de ônibus, e os investimentos nessa área, em geral, se limitam à recuperação e modernização de equipamentos.

A tabela 1.8 do governo do Estado de São Paulo, em levantamento feito para o ano de 1987, relaciona a renda mensal familiar e demonstra que com o aumento da renda por domicílio, cresce o número de automóveis e se reduzem as viagens em transporte público.

**Tabela 1.8 - Divisão Modal e Renda (1987)**

Renda familiar mensal (US\$)	% da população	Divisão modal (%)		
		público	privado	a pé
< 240	20,13	37,3	8,8	53,9
240 – 480	28,1	40,1	13,3	46,6
480 – 900	26,0	39,6	24,6	35,8
900 – 1800	17,2	33,3	41,4	25,3
> 1800	7,9	19,6	66,0	14,4

CMSP, 1987 apud Vasconcelos, E. Transporte Urbano nos Países em Desenvolvimento, 1996, pág. 48.

Dados oficiais mostram que, em São Paulo, a velocidade média do trânsito diminuiu e os congestionamentos cresceram. Considerada a frota total de veículos, fica constatado que os automóveis consomem oito vezes mais espaço viário que os ônibus. Para realizar mudanças que importem no uso do transporte público em lugar do indivi-

dual, é necessário torná-lo atraente, conveniente, confiável, pontual e fácil de utilizar. Saturação do tráfego não é algo que ocorra somente aqui, visto que países desenvolvidos também sofrem com o problema. Administrá-lo significa melhorar a qualidade de vida do cidadão, e há necessidade de torná-lo sustentável, inclusive no que se refere a seus custos sociais.

Estudos do Ministério do Trabalho do Brasil afirmam que cada dez minutos adicionais gastos no trajeto casa – trabalho representam redução de 4% na produtividade do funcionário. A União Européia, visando minorar os problemas mais importantes dos transportes – congestionamentos, poluição atmosférica e ruído – entende que devem ser analisadas condições de formação de preços levando-se em conta custos externos.

**Tabela 1.9 – Estimativas dos custos externos dos transportes  
(percentagens do PIB)**

Poluição atmosférica	0,4%
Ruídos	0,2%
Acidentes	1,5%
Congestionamentos	2,0%

Fonte: OCDE (1994) apud CEE e estudos vários. Para formação correta e eficiente de preços dos transportes. Opções de políticas para internalização dos custos externos dos transportes na União Européia. Livro Verde, Bruxelas, 1995

Os congestionamentos tendem a ser combatidos com a expansão da capacidade viária, o que, de per si, raramente resulta em solução duradoura. Essa ação apresenta vários inconvenientes. Requer grandes investimentos e, em geral, a ampliação da capacidade viária tende a ser rapidamente absorvida pelo crescimento da frota e o aumento do número de viagens, ocasionados pelos ganhos de tempo inicialmente gerados. Re-

centes estimativas do Departamento de Transportes Britânico, que realiza rotineiramente projeções de crescimento de tráfego, levaram à conclusão de que não haveria como as cidades ampliarem sua capacidade viária a ponto de atender à demanda crescente. Na tendência atual, o número de veículos por quilômetro só tem aumentado, fazendo crescerem os congestionamentos em intensidade, duração e distribuição geográfica. Conclui-se, então, que se deve substituir o "prever e prover" (*"predict and provide"*) por prever e evitar (*"predict and prevent"*), sobretudo no que tange ao transporte individual. Isso significa que previsões de aumento de frota não devem ser consideradas base para expansão da rede viária, mas devem-se alterar as políticas de transporte.

Ao discorrermos sobre as tendências existentes, esboçamos o delineamento do intrincado conjunto de fatores associados, inclusive vários aspectos referentes à poluição ambiental. Fica, portanto, a idéia da necessidade de adoção de medidas de infraestrutura que ampliem as condições do gerenciamento do transporte público, trazendo eficiência e atratividade maiores.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A *Enciclopédia Barsa*, em seu volume 15, págs 174 – 195, leva às origens dos meios de transporte, informando dados históricos de seu uso desde tempos remotos. Começa em épocas em que o homem não usava nem mesmo os animais para carga. “Quando os aborígenes da Austrália viram de longe os primeiros estrangeiros com animais carregados, pensaram que se tratasse de suas mulheres. Na sociedade primitiva eram sempre elas que se encarregavam das mudanças dos pertences domésticos, toda vez que o grupo se transferia de um lugar para outro” (Barsa, Vol. 15, pág. 176).

Após essa citação, vem-se rapidamente aos tempos atuais, em que os dados classificam e discorrem sobre três tipos de meios de transporte: terrestre, marítimo (ou fluvial) e aéreo. Este estudo se ateve ao terrestre, por lhe ser pertinente, e, especialmente ao transporte de pessoas no meio urbano.

Nos contextos da atualidade, são objeto de exame aspectos operacionais, tais como dimensionamento de frotas (para veículos coletivos), demanda de passagem e suas variações, no transcorrer dos dias ou mesmo épocas, se aspectos sazonais houver, critérios para estabelecimento de tarifas justas, tecnologias comumente utilizadas ou relações entre o poder público e fornecedores de serviços (HERNANDEZ,1997: xxii).

Constitui-se em objeto de estudo: a adequação das vias para o transporte sobre pneus (urbano) segundo seus tipos, capacidade de absorção de fluxos de tráfego, sinalizações existentes, uso do solo, compatibilização entre vias e veículos, com considerações da geometria de leitos carroçáveis/curvas existentes. Também foram estudados rendimentos de sistemas, correlacionando essas variáveis, examinando velocidades de percurso, níveis de serviços prestados e seus custos (Molinero, 1996: 13).

Dados oficiais do Governo do Estado de São Paulo, em publicações da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, por meio de estudos ou de coleta de informações existentes no decorrer dos seus anos de atuação, mostram uma realidade brasileira em condições assustadoras naquilo que se refere à relação direta entre o trânsito de veículos automotores, os congestionamentos e as emissões de poluentes, tanto gasosos como particulados, na Região da Grande São Paulo. Esse trabalho preciso e detalhado, feito com acuidade, elucida, segundo parâmetros definidos internacionalmente, mensurações – RMSP – mostrando condições graves quanto aos seus aspectos poluidores. São feitos estudos comparativos entre diferentes fontes poluidoras, tais como indústrias e veículos automotores, sendo estes últimos classificados em relação ao porte, tipo de utilização, quantidades e idades das frotas.

São quantificadas com bastante precisão diversas situações, tais como as viagens motorizadas diárias, em transporte coletivo e individual, sua evolução modal ano após ano. Os dados dessas pesquisas, com valores das emissões poluentes provocadas por esses veículos, permitem análises que mostram a frota automotora, em grande parte dos casos, como a grande causadora de poluição. (Governo do Estado de São Paulo – Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 1997).

Os pensamentos de insígnies urbanistas, modernos conhecedores da realidade da Grande São Paulo e planejadores nas questões urbanas da atualidade, são expostos a seguir (Plano de Transporte Público de São Paulo – SP Trans, 1998):

Wilheim, J., em sua palestra "O Desenvolvimento e o Transporte Sustentável" versou sobre as condições atuais da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e suas tendências, abordando de forma concomitante questões sociais e físicas da RMSP. Os comentários abrangem evolução de espaços físicos, crescimento populacional e suas formas de evolução, imigrações, migrações, aspectos sócio-econômicos, cidadania entre outras. Fala das infra-estruturas, por causa da ocupação dos espaços, que induzem a maneira como serão formados leitos viários; da participação dos veículos automotores, classificando os particulares e os coletivos; dos aspectos socializantes dos automóveis nas movimentações; e das participações e investimentos governamentais.

A profa. Rolnick, R., discorrendo sobre "Políticas de Urbanização e as Políticas de Transporte", oferece um panorama do desenvolvimento da pequena vila com cerca de 30.000 habitantes, nos idos de 1850, passando pelo período de maior adensamento populacional de sua história, com cerca de 110 habitantes por hectare em 1900 – início das ferrovias, ao redor das quais se concentravam as populações – até os processos da industrialização moderna.

As montadoras de veículos automotores, os pólos industriais na zona sul e ABC, surgimento das rodovias Dutra, Anchieta e Anhangüera, os caminhos seguidos para as alocações dos recursos para formação de infra-estrutura urbana, preferencialmente em direção à zona sul/sudeste da cidade, são colocados na forma de quadro da moderna tendência de evolução da cidade de São Paulo e, conseqüentemente, de sua região metropolitana.

O prof. Ferro, J.R. - "Perspectivas da Indústria Automobilística para a Produção de Veículos de Transporte coletivo Urbano" - desenvolveu seu trabalho comentando a indústria automobilística brasileira, abordando sua implantação, desenvolvimento, crises provocadas por fatores político - econômicos, adoção de políticas de produção no atendimento dos vários segmentos de mercado que iam surgindo à medida que ocorriam transformações da sociedade de consumo. Explica os períodos passados, atuais e ten-

dências, nos aspectos de variação das quantidades produzidas e dos tipos de automóveis – populares ou de luxo – assim como os modelos e quantidades de ônibus para atendimento dos mercados.

Cadaval, M. – consultor de vários organismos internacionais - falou das questões específicas do transporte coletivo, em sua conferência "Políticas de Transporte Coletivos no Brasil". Os trabalhos versaram sobre aspectos econômicos referentes à oferta de serviços de transporte coletivo por ônibus no Brasil. Foram considerações a respeito da questão do IPK – Índice de Preço por Quilômetro Rodado –, de aspectos tarifários, do poder aquisitivo das populações perante as relações salários/preço dos transportes. Abordou o transporte coletivo como serviço essencial, os incentivos a seu uso, tal como as condições disseminadas hoje, de certa forma no mercado, ou seja, do poder público assumir custos mediante subvenções, o vale transporte como poderoso item para garantir que sejam usados os ônibus pelos trabalhadores, aspectos de custos e dificuldades empresariais etc.

Prof. Malta, C. trouxe aspectos de planos do passado e novos planejamentos em sua palestra "A Cidade que Desejamos". Comenta sobre o Plano Metropolitano de Desenvolvimento Integrado em 1970 e as idéias que se formaram naquela oportunidade. "Naquela ocasião, o Plano Urbanístico Básico definiu 480 Km de metrô, 180 Km de trens subúrbios melhorados e cerca de 600 Km a 800 Km de vias expressas em padrão californiano. Esse sistema de circulação ficaria pronto dentro de 20 anos, portanto até 1988. A cidade cresceu e o zoneamento desordenado não levou em consideração a redução da oferta de circulação". Diz também que essas premissas estabeleciam o transporte coletivo como fator fundamental para movimentação massiva de passageiros, e não o automóvel. Até mesmo em virtude das crises do petróleo.

Estende raciocínios com relação aos planejamentos das grandes auto-estradas (estilo californiano) para escoamentos em grandes volumes e com rapidez dos automóveis, conjugadas a adensamentos imobiliários, com critérios bem estabelecidos, em vez

daqueles que acabaram por vigorar, em detrimento da qualidade de uso da cidade, favorecendo quase unicamente os processos de especulação imobiliária.

Programa atual de governo prevê Gestão do Transporte Integrado, com uso coordenado de sistemas sobre pneus e sobre trilhos. Esses estudos fornecem dados de acidentes com pessoas, fatais ou não, tempos de locomoção, consumo de combustíveis e expectativas de investimentos governamentais para criação de infra-estruturas e expansão racional dos sistemas de transporte. Obras foram programadas, com prazos de implantação e previsões de custos (Plano Integrado de Transportes Urbanos – PITU, 1995).

Descrição de um projeto em Leicester, Inglaterra, onde foi testada a prioridade para ônibus em um cruzamento semaforizado. O processo utilizado foi de dotar os ônibus de transmissores fixados na parte inferior da carroceria, com detecção por meio de laços indutivos colocados no pavimento e acréscimo de circuitos no controlador de tráfego, adicionando e complementando as funções existentes. Nessa experiência, a priorização não considerou aspectos para minimizar os prejuízos para os demais fluxos do cruzamento. Os benefícios para os ônibus foram consideráveis. Os dados numéricos estabelecidos mostraram que os tempos antes e depois, para que fosse cruzada a intersecção, passaram de uma faixa entre 9 – 66 segundos para outra entre 9 – 31 segundos, em média (Department of the Environment, London, 1972).

Fundamental para esses procedimentos é o conceito de detectores de veículos. *Traffic Detector Handbook* fundamenta os conceitos e equipamentos que refletem o atual estado da arte e avanços em tecnologias para detecção de veículos. Seu objetivo é planejar, projetar, executar e manter detectores. Contém as tecnologias vigentes sobre o assunto, com ênfase para suas variadas aplicações (Federal Highway administration, 1990).

A fibra ótica vem progressivamente substituindo os cabos metálicos nos siste-

mas para transmissão de dados, imagens e sons. Nas redes, a propagação de radiações óticas, tipos de formação de *backbones* (espinha dorsal) óticos, seus vários tipos de utilização dentro de um sistema, fibras multimodo e monomodo, derivações, atenuações óticas, fusões, testes básicos em terminais, relativos a serviços de implantação e manutenção, vão se tornando parte integrante dos sistemas de transporte. (Wirth,A, 1998).

Em Londres, foram feitos registros da operação de ônibus em corredores congestionados onde foi "construído," durante vários dias, um quadro de seu funcionamento em locais específicos. As condições de "pior caso" foram consideradas. Foram registradas informações obtidas a partir de testes de campo, discutindo os movimentos dos ônibus, esperas impostas aos passageiros e tendências à criação de pelotões. Foram estudadas também as atividades relacionado às paradas, níveis de demanda e mudanças de passageiros. O estudo evidenciou que o comportamento dos passageiros e a confiabilidade dos serviços estão intimamente ligados e ambos devem ser considerados nas propostas de novas estratégias para operação dos ônibus (Nelson, J.D. 1992).

A priorização em cruzamentos semaforizados, pela alteração de tempos de fases, pode ser aplicada com pelotões de veículos. Não são todos os casos em que a priorização beneficia as condições locais do tráfego como um todo. O crescimento do número de ônibus faz aumentar o número de prioridades concedidas, prejudicando as vias transversais. Pequenas distâncias entre intersecções, à medida que o fluxo do tráfego aumenta, pode ser um fator crítico, fazendo inclusive com que os efeitos da prioridade sejam pequenos ou mesmo sem significado real (Daniel, J. 1997).

Sistemas Avançados de Identificação de Veículos (AVSI) podem determinar suas aproximações a sistemas semaforicos, por meio do envio de informação para o controlador local, que estará em condições de identificá-lo. Esse sistema permite avaliar o desempenho de cada veículo, individualmente. É necessário estabelecer estratégias para essa operação, de forma que as mudanças dos semáforos por causa da prioridade (extensões de verde ou outras), não venham a prejudicar sobremaneira os demais fluxos.

Isso pode ser feito mediante modelos de microssimulação (Kamyab, A. 1995).

O Sistema Inteligente de Transportes (ITS) permite controle, gerenciamento, operação segundo informações recebidas em tempo real ou não. Estas, advindas do “veículo inteligente”, que possui a bordo equipamentos de comunicação, permitem monitorá-lo a partir do Centro de Controle Operacional (CCO).

O veículo tem a bordo equipamentos de comunicação e/ou interface com o CCO, estações e outros veículos, inclusive, o que permite a seu operador conhecer as posições e velocidades relativas (informação existente também no CCO) dos veículos vizinhos.

Computadores de bordo, identificadores de veículos e equipamentos ao longo das vias, nos trajetos, como sensores e redes de comunicações de dados (Fibras Óticas) e/ou imagens (Circuito Fechado de Televisão – CFTV), fazem o intercâmbio de informações e gestão das frotas pelo CCO, estando as informações disponíveis, em grande parte, nas estações (Gerland, H.E. 1995).

Comportamentos dos ônibus ao longo das suas rotas são estudados segundo parâmetros básicos. Nos países em desenvolvimento, circulam em maior número que nos desenvolvidos, e o estudo foi voltado principalmente para essas regiões. Os ônibus e os demais veículos interagindo resultam em variados problemas. Cada um deles típico para uma situação, dependendo de condições locais, porém o tempo de percurso de um ônibus é composto por: movimento, paradas, cruzamentos semaforizados, congestionamentos. Situações anormais (acidentes, manifestações etc) não foram consideradas. O estudo equaciona esses termos mensurando cada um deles (Gibson, J. Baeza, I. 1989).

Na cidade de Nova York, o serviço de ônibus, em locais de congestionamentos, tem dificuldade para obter eficiência desejável. Essa deficiência traz embutidos custos

sociais e monetários, que podem ser reduzidos com o aumento da eficiência. A propósito dessa questão, realizou-se estudo baseado em análise por regressão linear, que apresenta método para medição das vantagens em diminuir os tempos de percurso ao longo de uma determinada rota, durante o pico da manhã.

Esse trabalho pode ser usado para qualquer horário ou situação, dentro de rotas de ônibus preestabelecidas, o que significa em custos a melhoria desses serviços. A redução de 145 minutos para 131 minutos de tempo de trajeto forneceu, pelos estudos realizados, economia de cerca de US\$ 246.000/ano (McKnight, C.E. 1997).

A automação parcial ou total dos veículos como ônibus ou caminhões (Importante potencial do Intelligent Transportation Systems) pode seguir três diferentes diretrizes principais:

- Informação obtida a partir do sensor com equipamentos localizados;
- além do anterior, adicionam-se informações de veículo a veículo ou ponto fixo de controle geral;
- informações a partir de equipamentos nas auto - pistas, que fornecem dados perenes ou ocasionais da via de tráfego.

Nova classe de sensores aplicada nos veículos tem surgido, como Sensores de infravermelho com aplicação comercial em frotas de transporte, principalmente nos comboios de caminhões (Kanellakopoulos, I. Nelson, P. Stafsudd, O. 1999).

As nações têm nos sistemas de transporte um dos suportes de sua economia. Robustez econômica é sustentada por condições de viagens rápidas e com potencial de crescimento nos volumes de escoamento.

Nos dias atuais, dedica-se especial empenho em gerenciar sistemas de transporte de maneira efetiva e eficiente, que permitam aplicações de estratégias de controle e monitoramento. Isso porque é simplesmente inviável continuar adicionando capacidade sob as condições tradicionais de nossos sistemas de transporte. Custos e disponibili-

des de terrenos nas áreas congestionadas, procedimentos de preservação ambiental, incluindo questões relativas à qualidade do ar, ruídos e outras, obrigam a que sejam revistas as políticas de transporte. Planejamentos multi - modais passam a ser necessários. Nesse contexto, o Intelligent Transportation System (ITS) se torna uma ferramenta indispensável (Siwek, S.J. Siwek & Associates, 1997).

Sistemas de Automação de vias expressas devem detectar acidentes ou outros obstáculos ou emergências. Têm a finalidade de gerir o tráfego em condições de limitação da sua capacidade. O fator principal desses sistemas é a forma como os sensores, as comunicações e as funções de controle e comando podem ser distribuídos entre os veículos, a via de tráfego (em geral nas suas laterais) e o centro de operações do tráfego (Jacoby, C. Rantowich, N. McKendree, T. Schuster, S. 1996).

Os ônibus, trabalhando em conjunto com um sistema de trilhos, são um enfoque de planejamento integrado do transporte. Na Índia, a urbanização em larga escala ao lado de um sistema inadequado de locomoção acabou por gerar congestionamentos de tráfego, estacionamento em condições ruins e deteriorações ambientais nas suas maiores cidades. O enfoque de integração dos modais deve levar em conta a massa desejada de transporte. A cidade de Hyderabad, com 263 rotas e uma frota de 1.200 ônibus, tem muitas dificuldades quanto à cobertura pelos serviços de ônibus, em todas as suas áreas. Zonas com características de produção e outras de atração de viagens apresentam, em muitos casos, superposições de linhas. Verificou-se ainda que, na ocorrência simultânea de ambos os modais (trilhos – ônibus) em um mesmo corredor de tráfego, em geral, é dada pelo usuário preferência para o transporte sobre trilhos. Planejamentos baseados nas premissas de integração entre os dois tipos permitirão uso mais adequado das frotas e demais recursos de transporte e vias carroçáveis, com conseqüente melhoria nas ofertas e nas demandas de passagens (Chari, S.R. Moorthy, N.V.R., 1993).

Foram registrados impactos na implementação de faixas exclusivas de ônibus

em Bay Street, no centro de Toronto (Canadá), por meio de simulação com uso do TRANSYT-7F. Foram analisadas, também, as operações adjacentes do tráfego. O TRANSYT-7F, baseado na teoria das filas, foi usado para simular o tráfego “antes” e “depois” da implementação do projeto. A análise demonstrou que a deterioração do desempenho do tráfego adjacente foi maior que as vantagens obtidas pelos ônibus.

Por outro lado, o número de passageiros em Bay Street cresceu muito no período da manhã e se manteve quase inalterado à tarde. Isso foi acompanhado por crescimento do número de ônibus e diminuição do volume de tráfego adjacente, embora não haja evidências concretas de que os novos passageiros tenham vindo da redução do tráfego vizinho. A experiência, porém, se mostrou vantajosa no resultado final (Shalaby, A.S., 1999).

Nas primeiras experiências, realizadas na década de 1970, o conceito de priorizar a passagem dos ônibus nos sinais de tráfego, pouco levava em conta os fluxos concorrentes, o que provocava sérios problemas a essas correntes de tráfego. Por outro lado, paradas em semáforos correspondem a cerca de 20% dos tempos de trajeto dos ônibus. As prioridades podem ser classificadas em:

- passivas, em que planos predeterminados são utilizados sem presença do veículo para ativá-los;
- ativas, que ocorrem apenas com a presença dos ônibus.

As estratégias de prioridade podem ser também:

- ♦ incondicionais, que são dadas aos ônibus sempre que são detectados;
- ♦ condicionais, para as quais são levados em consideração fatores como fluxos concorrentes, programações, tamanhos de fila e outros.

Prioridade pode ser analisada pelo de modelo de simulação. Análise feita na importante intersecção Texas Avenue e Southwest Parkway na Universidade do Texas mostrou os resultados que seguem:

Dados medidos em campo, comparados aos da modelagem, se mostraram um

pouco menores para as relações veículo/ciclo grandes. Para veículo/ciclo  $> 0,85$ , essas diferenças se tornaram mais evidentes. Nesse caso, quanto menor a relação, mais os valores medidos se aproximavam das previsões da modelagem (Sunkari, S.R, Beasley P.S. Urbanick II, T. Fambro. D.B., 1985).

Na cidade de Portland, Oregon (EUA), fez-se estudo de avaliação da priorização de ônibus em sinais de tráfego, denominado Projeto Piloto Powell Boulevard, no qual foram examinadas duas diferentes técnicas.

A primeira, com extensões de verde ou retorno antecipado do verde - nesse projeto, tanto as extensões como os retornos mais cedo do verde ocorriam em 10 segundos nos ciclos semaforicos "fora de pico" e em 20 segundos nos períodos de "pico".

A segunda técnica, fura - filas, foi usada apenas em faixas exclusivas de ônibus ou saídas à direita para os demais veículos, exceto os ônibus. Essa opção permitia, quando da aproximação dos ônibus, passagem paralela à fila de veículos parados através de sinal verde, seu exclusivo, para frente. O corredor testado tinha apenas duas milhas de extensão, muito menor que o trajeto todo dos ônibus e, portanto, não eram esperados resultados significativos em economia de tempo. Os resultados obtidos mostraram redução nos tempos gastos pelo passageiro ao longo do trecho. A segunda conclusão foi de leve diminuição do tempo de percurso durante os períodos de pico (Hunter-Zaworski, K. Kloos, W.C. Danaher, AR.).

As políticas de transporte no Reino Unido enfatizam as questões ambientais. É encorajado o uso de transporte público em vez do automóvel. As estratégias de transporte para Londres visam, além de outros objetivos, promover, na maior escala possível, a utilização de meios de transporte não - poluentes e facilitar o acesso às regiões centrais e de negócios. Hoje em dia, as iniciativas de criar prioridades para os ônibus são importante ferramenta para protegê-los dos congestionamentos. A rede de priorizações em Londres cobre aproximadamente 65% dos locais de pior tráfego para os ôni-

bus. Adicionalmente, providenciaram-se muitas áreas de estacionamento, de forma a manter livres essas rotas.

"Se o ônibus fizer contribuição significativa para reduzir congestionamentos, se tornará um modo atraente, particularmente para os usuários dos carros" (Gardner, K. Cobain, P.A.).

O objetivo do Governo em relação à política de transporte para Londres é atrair para o transporte coletivo o usuário do automóvel, o que pode ser conseguido com uma combinação de ações que vão melhorar a confiabilidade, a imagem e a percepção dos serviços de ônibus. Estudos recentes do Departamento de Transporte Londrino demonstraram que priorizar os ônibus nos Projetos Uxbridge Road e North Docklands trouxe consideráveis economias de tempo nas jornadas dos ônibus e confiabilidade para os passageiros e operadores. Não existem definições fixadas sobre os tipos de prioridades a serem usadas na malha projetada. Podem ser os pré-sinais, faixas de ônibus nos contra- fluxos, detectores nas aproximações semaforicas etc.

Em geral, é ainda muito cedo para detalharmos os benefícios obtidos pelas implantações do London Bus Priority Network – LBPN, porém, num exemplo recente, 270 metros de faixa de ônibus ao longo da Romney Road, em Greenwich, resultou em redução na jornada do domingo (o dia mais congestionado) de 8 para 2 minutos (Haiward,G. 1997).

A criação do "Super Ônibus" em duas áreas principais em Leeds se baseia nos controles de tempos de jornada e na priorização do transporte público. Esse nome foi dado para o serviço que usa um sistema de rota dotada de controles. Esse tipo de rota "inteligente" tem sido elemento - chave nas estratégias de transporte público desde 1991. A partir de 1995, foram construídos 1.700 metros de rotas dedicadas ao uso por veículos especialmente adaptados. Sua essência é a completa segregação do restante do tráfego por meio de barreiras físicas. Prioridade total é também assegurada nos pon-

tos semaforizados, localizados nas seções de término das barreiras. Passageiros puderam ter redução de 10 minutos em trajeto que levava anteriormente 25 minutos. Algumas rotas congestionadas, porém, não têm condição de suportar essa tecnologia, tanto por fatores econômicos referentes à sua implantação como por questões de acomodação física de seus equipamentos.

Localização Automática de Veículos, controle de sinais de tráfego, técnicas de discriminação de veículo são necessários para adoção do sistema nos trechos escolhidos. O "Super Ônibus" de Leeds teve enorme sucesso e é seguramente parte das estratégias futuras de transporte da cidade (Jones, S. 1998).

Análise comparativa de um serviço de ônibus suburbano proposto para operação regular *versus* operação priorizada é apresentado para a área metropolitana de Detroit. Essa tecnologia envolve o uso de ônibus dotados de equipamentos específicos, tais como transmissores, laços detectores no pavimento e sistemas de controle em tempo real. A premissa básica é que alta qualidade nos serviços de trânsito tem grande potencial de penetração no mercado correntemente dominado pelo automóvel.

Os autores desenvolveram procedimentos de identificação de mercados na privatização do trânsito em viagens suburbanas, que resultaram em 5 setores para privatização do trânsito. Os estudos mostraram que as estratégias podem reduzir deficiências operacionais; e como os serviços eram dirigidos principalmente para ônibus "expressos", com paradas reduzidas, houve significativa redução nos tempos de ciclo. Redução de ciclo leva à diminuição de frotas, resultando em baixo custo operacional. Não foram feitos grandes esforços nas análises dos fluxos nas ruas que cruzam esse corredor principal (Khasnabis, S. Chaudhry, B.B.).

Os pré-sinais e os esquemas de relocação de filas em Park View Road, um trecho de 200 metros, são parte do projeto Uxbridge Road, cujo principal objetivo é comprovar medidas referentes a operações prioritárias de ônibus. Essas considerações de

medições referentes a prioridades de ônibus na extensão de Uxbridge Road, que é de 13 milhas, estabeleceu o conceito de "rota verde", por onde cerca de 65.000 passageiros/dia viajam em 12 rotas de ônibus. A prioridade para ônibus nesse trecho envolve relocação de filas por meio de detectores, que podem diminuir ou aumentar a fase de verde nos sinais voltados para o tráfego da Park View Road. A finalidade é livrar os ônibus dos congestionamentos. Os resultados mostraram que o desempenho obtido com uso de pré-sinais e relocação de filas foi positivamente significativo, justificando seu projeto e instalação (Metzger, D.D.G.T.).

Nas áreas urbanas com congestionamentos severos de tráfego e altas frequências de ônibus, estes são geralmente priorizados em relação a outros veículos. O conceito de pré-sinais operando com detectores permite controles em tempo real e fazem com que os ônibus adentrem uma área de avanço na intersecção principal, próxima à linha de parada, permitindo que passem à frente do restante dos veículos, de forma a reduzir o tempo de parada em semáforo. Três diferentes categorias de pré-sinais têm tido comprovação de oferecer melhores resultados para ônibus. São denominadas categorias A, B e C.

A categoria A permite passagem livre para os ônibus na sua faixa exclusiva, enquanto semaforiza, antes da intersecção principal, os demais veículos, retendo-os um pouco antes do cruzamento e, portanto, do semáforo principal. Contrastando com A, a categoria B controla também a passagem dos ônibus por semáforo. Quando o pré-sinal da faixa dos ônibus fica no vermelho, é permitida a passagem dos outros veículos e vice-versa. A categoria C de trabalho com pré-sinais, intermediária entre as duas primeiras, tem detectores na faixa dos ônibus, que acionam à sua aproximação o semáforo, de maneira a lhe ser dado o verde e ficando no vermelho para os demais veículos.

Essa técnica de projeto tem duas possibilidades principais de críticas. A primeira é a potencial perda de capacidade da caixa da intersecção; a segunda é que o trafego

bloqueado pode atingir a intersecção anterior. Os dimensionamentos dos tempos, inclusive levando-se em consideração os demais veículos, tanto circulantes no mesmo sentido que os ônibus como os das ruas que cruzam, são fundamentais. Outro fator de suma importância é o dimensionamento da área de avanço dos ônibus.

Fazendo-se um enfoque analítico pode-se, com adoção de parâmetros que podem ser medidos ou avaliados, obter, antes da aplicação do sistema, estimativas de demoras, tamanhos de filas de tráfego a serem relocados, área de avanço de ônibus e os demais itens necessários aos projetos (Wu, J. Hounsell, N.).

O advento do "Gerenciamento Avançado de Sistemas de Tráfego - ATMS" aumentou o potencial para maximizar a eficiência dos transportes por ônibus, com implementação de estratégias que induzem maior demanda mediante melhor suprimento e confiabilidade dos serviços. O tratamento preferencial para os usuários de ônibus é uma das mais promissoras técnicas para suprimento de passagens, porém é necessária uma avaliação rigorosa das complexas interações com os automóveis nas várias condições de tráfego. O texto aborda o sistema de "Locação Automática de Veículos - AVL" em relação a informações advindas de detectores de ônibus. O uso do AVL rapidamente vem se revelando uma útil ferramenta no controle das programações, das demoras de passageiros, de veículos etc. Os modelos criados, mesmo não dando prioridade absoluta aos ônibus, utilizando algoritmos em tempo real em vez de estratégias previamente especificadas, como comumente é feito, demonstraram a superioridade dos sistemas com uso do AVL (Chang, G.L, Vasudevan, M. Su, C.C.).

### **3. METODOLOGIA**

A pesquisa bibliográfica para priorizar veículos em meio ao tráfego, abrangendo os componentes de tempo de percurso dos coletivos, influências de congestionamentos, adensamentos de tráfego e outros, resultou no exame de várias técnicas internacionalmente utilizadas e suas evoluções. A exposição conceitual tratou das formas de gerenciamento do tráfego e priorização em condições de sistemas auto-responsivos ou não. Foram analisadas duas modernas teorias, utilizadas atualmente: com uso de Pré-Sinais e por meio da detecção dos ônibus, sem localização e com detecção automática.

#### **3.1 - Fatores de Prioridade para os Ônibus**

Os principais componentes do tráfego sobre pneus em qualquer parte do mundo, - ônibus e automóveis – têm, na sua interação, problemas de diferentes naturezas e ênfases. À proporção que aparecem, dependem das condições locais. Estudos estimaram vários fatores com efeitos na movimentação de ônibus urbanos. Essas verificações detectaram que, em geral, o número de ônibus é relativamente pequeno nas cidades do chamado mundo desenvolvido, à exceção de distritos centrais ou de negócios, onde é grande e afeta sobremaneira o comportamento do tráfego. Em contrapartida, os ônibus costumam ser numerosos na maioria dos países em desenvolvimento, chegando, em alguns corredores, a quase a metade dos veículos circulantes. O quadro 3.1 mostra exemplos de lugares e condições de ocorrências.

**Tabela 3.1 - exemplos numéricos de ocorrências de ônibus**

	<b>Até 120 ônibus/hora</b>	<b>Acima de 120 ônibus/hora</b>
<b>Acima de 600 automóveis/hora</b>	Londres, Paris	São Paulo, Bangcoc

Cada problema gerado será de diferente tipo, e as soluções, específicas para cada local. Hoje, refletindo situações surgidas na indústria dos transportes em passado recente, a qualidade do ar, além de outras condições referentes ao meio ambiente, tem sido catalisadora de mudanças de métodos e enfoques de análise da parte de profissionais de transporte e no estabelecimento de políticas e decisões de investimentos. As considerações passam a levar em conta uma redução das condições (e fontes) geradoras de substâncias tóxicas, otimização do uso das reservas energéticas e demais recursos naturais, na busca de "justiça ambiental", preservação de patrimônios históricos, culturais, espaços abertos, paisagens, espécies ameaçadas, *habitat* selvagem, qualidade das águas etc.

A contrapartida é que discussões ambientais devem considerar o fato de que os veículos automotores são o principal meio de movimentação. A combinação de fatores existentes leva os profissionais de transporte a conclusões que se devem concentrar as energias, inclusive coletivas, na identificação de formas eficientes de gerenciamentos, para operar e manter os sistemas de transportes.

Altos fluxos de ônibus implementam para seu uso "de fato", sancionadas legalmente ou não, uma ou mais faixas de tráfego. Isso é aceito pelos motoristas de automóveis, que relutam em se misturar aos coletivos, por causa de prováveis paradas, pois além dos cruzamentos, grande parte dos tempos de percurso ocorrem para embarque e desembarque de passageiros.

O movimento dos ônibus em áreas urbanas é interrompido nas intersecções pa-

radas, que são os locais em que ocorre redução da velocidade média. Então, conforme GIBSON & BAEZA, 1989, o tempo total gasto por eles, num trajeto qualquer, deve ser formado por três componentes: tempo de movimento, tempo despendido nos cruzamentos semaforizados e aquele das paradas. Temos:

$$t_{total} = t_m + t_i + t_p ; \quad (1)$$

onde:  $t_{total}$  - tempo usado pelo ônibus para percorrer um trajeto de comprimento L

$t_m$  - tempo em movimento;

$t_i$  - tempo gasto nas intersecções;

$t_p$  - tempo gasto nas paradas.

Cada um desses tempos corresponde a fenômenos físicos que podem ser trabalhados inclusive por meio de modelagens. Na seqüência, pelas definições da mecânica clássica, representam eles: o tempo de viagem ( $t_{total}$ ), para trafegar ao longo da rota de comprimento L, em função da velocidade média ( $V_m$ ) do percurso e das paradas nos cruzamentos ( $d_i$ ) e pontos ( $d_p$ ) e tempos eventualmente perdidos em congestionamentos ( $d_c$ ). Teremos, então:

$$t_{total} \equiv \frac{L}{V_m} + \sum_{k=1}^{ni} d_{ik} + \sum_{k=1}^{np} (d_{pk} + d_{ck}) \quad (2)$$

Onde:  $L$  - comprimento da rota considerada;

$V_m$  - velocidade média do ônibus em movimento;

$d_i$  - tempo de espera em cruzamento;

$d_p$  - tempo despendido nas paradas;

$d_c$  - tempo despendido em congestionamentos, se houverem.

O desempenho dos ônibus depende da demora em cada elemento "k", cuja contribuição é função de regulações do tráfego e demandas de veículos ou passageiros. O segundo e terceiro termos da equação 2 representam relações de ônibus - carros e ônibus - ônibus.

Em áreas urbanas densas, os congestionamentos de tráfego dificultam um serviço de ônibus rápido e confiável. Baixas velocidades reduzem a eficiência dos espaços para o tráfego e acrescentam custos, monetários ou não. Estudos de McKNIGHT, 1997, a respeito do impacto dos congestionamentos sobre os serviços de ônibus, feitos na cidade de Nova York, afirmam que condições deficientes de atendimento provocam acréscimos de custos sob várias formas. O mais óbvio é o custo não-monetário. O segundo é que sua deficiência irá incrementar outras formas de transporte, como táxis, peruas, carros particulares etc. Dessa maneira, será reduzido o montante de dinheiro para suporte dos serviços, além de que aumentarão os congestionamentos com conseqüentes custos sociais. Mas há um custo monetário mais imediato para as companhias de ônibus, pois, para manter a mesma capacidade por hora (com intervalos constantes entre dois carros consecutivos), devem estar circulando mais ônibus, com mais funcionários e maior gasto de combustíveis, além de outras despesas, porque os congestionamentos vão demandar maior tempo gasto no mesmo percurso.

De 1982 até 1992, o afluxo de veículos para Manhattan cresceu em média 11,7%, com conseqüente decréscimo médio de 5,3% nas velocidades dos fluxos. Os serviços de ônibus sofreram com o aumento dos veículos. Parte disso se devia ao aumento do número de passageiros que subiam e desciam, porém os efeitos dos congestionamentos eram sensíveis. Fez-se, então, estudo que buscou isolar o efeito congestionamentos dos outros, com utilização do método de regressão linear para análises, relacionando os tempos de viagem de automóveis (considerados fator de congestionamentos) e de ônibus. O tempo médio medido para viajar o espaço de 1 (uma) milha e suas correspondentes velocidades é mostrado na tabela 3.2:

**tabela 3.2 - relação de tempos e velocidades - automóveis x ônibus**

tempo (minutos/milha)	ônibus	auto- móveis	velocidade (mi/h)	ônibus	auto- móveis
<i>Média</i>	11,0	6,1	<i>Média</i>	5,5	9,8
<i>Mínima</i>	4,7	2,8	<i>Mínima</i>	2,2	5,2
<i>Máxima</i>	27,0	11,5	<i>Máxima</i>	12,7	21,4

Nota-se que as diferenças são menores quando as ruas estão mais congestionadas. Os dados demonstram que as velocidades sofrem maior diferencial percentual para ruas mais congestionadas, o que é também consistente, pois os ônibus são duplamente afetados: em primeiro lugar pela baixa velocidade do fluxo todo, e, em segundo, pela interferência do movimento dos outros veículos quando das paradas nos pontos. Teremos como variável dependente o tempo gasto pelos ônibus por milha percorrida. A equação final será:

$$BT = 2,5 + 0,7AT + 0,007PASS + 0,4BS$$

onde:

*BT*: tempo médio (minutos), por milha, para ônibus, entre pontos controlados, no período de 1 hora;

*AT*: tempo médio por milha, para autos viajando entre pontos controlados, no período de 1 hora;

*PASS*: embarque de passageiros de ônibus por milha, no período de 1 hora;

*BS* : número de paradas por milha, na rota considerada.

O modelo constata que a redução do congestionamento trará melhoria do tempo da milha percorrida pelo ônibus. A equação prevê ainda o embarque de passageiros ao longo do percurso considerado, e a ausência dessa demanda trará distorções de resultados, fazendo que se distanciem das condições de realidade efetiva. O modelo pode ser usado na estimativa de tempos de viagem dos ônibus sob diferentes condições de congestionamento.

Essa situação é ilustrada por M<sup>c</sup>KNIGHT, pelo exame de uma determinada rota, localmente denominada M104. Sua extensão é de 12,4 milhas e vamos analisar o pico da manhã, quando as velocidades dos automóveis variam entre 3,4 mi/hora e 13,5 mi/hora. Os ônibus têm programação para operar com intervalos entre 3 a 4 minutos e devem transportar entre 2.400 e 2.500 passageiros de 6 AM a 10 AM.

No horário da manhã, a programação prevê viagens de 145 minutos, incluindo 10% de tempo de descanso no ponto final para veículos que não estejam atrasados. Os

intervalos entre carros, apesar de sofrerem alguma variação, devem prover 18 ônibus por hora/local. Então:

$$N = V * T = (18 \text{ ônibus / minuto}) * 145 \text{ minutos} = 44 \text{ ônibus.hora}$$

N → quantidade de ônibus em operação

V → programação

T → tempo de percurso

Calculamos a seguir o tempo de operação dessa frota ( $T_{\text{operação}}$ ):

$$T_{\text{operação}} = \left( \frac{44 \text{ ônibus} * 145 \text{ minutos}}{60 \text{ minutos}} \right) \cong 106 \text{ ônibus.hora}$$

Com o uso do modelo de regressão, faremos uma estimativa sob uma diferente condição de tráfego. Se considerarmos autos trafegando a 13,5 mi/hora e mesma carga de 139 passageiros embarcando por milha, numa previsão de 9,6 minutos/ milha para os ônibus, o novo tempo de viagem será:

$$T_{\text{viagem}} = (12,4 \text{ milhas} * 9,6 \text{ minutos/ milha}) (1 + 0,1)$$

$$T_{\text{viagem}} = 131 \text{ minutos}$$

Levando o tempo para as condições já estabelecidas anteriormente, teremos:

$$N = V + T = 18 \text{ ônibus/ 60 minutos} * 131 \text{ minutos} = 40 \text{ ônibus}$$

portanto:

$$T_{\text{operação}} = \left( \frac{40 \text{ ônibus} * 131 \text{ minutos}}{60 \text{ minutos}} \right) \cong 87 \text{ ônibus . hora}$$

O custo marginal do fornecimento do serviço de ônibus é função do acréscimo do número de veículos, horas de veículo e distâncias percorridas, e o estudo na cidade de Nova York determinou, naquela situação, cada hora adicional de veículo a um custo de US\$ 29,00 (1995). A milhagem não era afetada por congestionamentos. O acréscimo devido ao congestionamento, em 19 horas no pico da manhã, considerando-se 250

dias úteis anuais, representam naquela rota 4.750 horas de operação. Ao custo previsto, isso irá representar cerca de US\$ 137.750,00 anuais. Se a análise for estendida para o pico da tarde e outras rotas em operação, os custos serão, como visto, altamente significativos.

Os valores para o Brasil não serão os mesmos, porém os parâmetros aos quais se devem considerar são semelhantes. Daqui se depreende o significado de minimizar efeitos negativos do tráfego sobre os ônibus. Salienta-se ainda que outros custos como economia de tempo e confiabilidade não estão levados em conta.

### **3.2 - Priorização - Conceitos e Modos Operacionais**

Grandes gamas de sistemas podem ser implementados para priorizar o tráfego de determinados veículos. Faixas exclusivas ou prioridade em semáforos, dentre outros, dentro do possível, protegem os veículos - alvo dos congestionamentos.

Prioridade em semáforos é um método de tratamento preferencial, por meio da alteração dos planos de tráfego de uma determinada via. A espera nos semáforos é fator essencial nas viagens de ônibus em vias arteriais e, segundo estudos feitos, representa, em geral, de 10 a 20% do tempo gasto no trajeto e se aproxima de 50% de toda a espera do veículo. Esse método, se introduzido, visa proteger os ônibus de demoras provocadas por congestionamentos ou lentidões do trânsito, por conseguinte aumentará a confiabilidade nos serviços e proporcionará melhora na acessibilidade para passageiros. A imagem dos serviços, das frotas, e a diminuição dos custos operacionais e do tempo gasto pelos passageiros (e seus custos) são benefícios esperados.

Isso pode tornar o ônibus um meio de transporte atrativo, com conseqüentes aumentos de demanda de passageiros (com maior oferta de viagens), que, além de aliviar o trânsito geral, poderá fazer que, com qualidade, seja parte fundamental do gerenciamento de estratégias gerais de transporte intermodal.

Esse conceito não é novo, pois no início do ano de 1962, na cidade de Washington D.C., foi conduzida uma primeira experiência a respeito. Afirmações complementando esse dado dizem que a primeira intersecção semaforizada atuada por ônibus, dando a ele prioridade sobre um semáforo, ocorreu em Los Angeles no ano de 1970. A esses experimentos se seguiram outros, em várias cidades americanas. Buscava-se rapidez para vencer travessias em intersecções determinadas. Nesses experimentos, era dada pequena ou nenhuma atenção para outros movimentos do tráfego no local. Em geral, o método trazia bons resultados para os ônibus e demais veículos que trafegassem na mesma direção, provocando, porém, esperas, nem sempre desejáveis ou pertinentes, para as vias que cruzavam.

Prioridades vão reduzir paradas nos semáforos, diminuir tempos das viagens, aumentar velocidades médias ou instantâneas dos ônibus. Devem melhorar condição para planejamentos, com menos variação das programações preestabelecidas, fazendo crescer a confiabilidade da operação, com reflexos positivos do ponto de vista do usuário, do empresário e da qualidade dos serviços. As condições de prioridade são tratadas de forma idêntica por vários trabalhos e autores, e os tratamentos prioritários podem ser assim classificados:

#### **A. Prioridade Passiva**

Na prioridade passiva, planos com tempos preestabelecidos são usados para beneficiar alguns e determinados movimentos, mesmo sem a presença de veículos no local. São necessários conhecimentos prévios das condições de operação do trânsito, para determinar o tratamento a ser implementado. São processos de custos baixos e que podem ser facilmente inseridos nas operações. Citamos os seguintes procedimentos:

##### **↳ ajuste de extensão de ciclo**

Redução de fases não - objeto de prioridades, diminuindo esperas e trazendo benefícios ao trânsito dos veículos nos sentidos de fluxo considerados para obterem privilégios.

#### ↳ **subdivisão de fases**

Dividir uma fase de movimento prioritário em várias, fazendo-a repetir-se com menor duração dentro de um mesmo ciclo diminui esperas sem redução do tempo integral do ciclo.

#### ↳ **planos de temporização em áreas vizinhas**

Permite tratamento prioritário através de uma progressão preferencial, que pode ser feita projetando o ajuste dos semáforos, num procedimento coordenado, sistematizado e utilizando o tempo de viagem dos ônibus.

#### ↳ **liberação de veículos**

Beneficiar ônibus com livre passagem em conversões de sinais, através de faixas exclusivas de tráfego, fases especiais de semáforo ou rotas especiais livres.

### **B. Prioridade Ativa**

São tratamentos que serão levados a efeito apenas na presença física do ônibus. Existem basicamente quatro tipos, que podem ser usados de forma combinada ou isoladamente. Essas estratégias podem incluir o conceito de compensação, na qual os movimentos não-prioritários, ou seja, que não favorecem os ônibus, podem receber adicionais de verde, aumentando seu tempo, nos ciclos que se seguem àquele no qual houve supressão ou redução dessas fases. Dessa forma, se minimizarão efeitos negativos sobre fases de tráfego que tenham sido consideradas não-prioritárias. Seguem-se os quatro tipos:

#### ↳ **extensão de fase**

A extensão de fase é aplicada quando o ônibus chega à intersecção com o semáforo verde para seu movimento, porém próximo ao final do período de tempo normal. A detecção de sua aproximação, fará automaticamente, a extensão do verde, permitindo sua passagem sem espera, o que em circunstâncias normais aconteceria, com prejuízos do tempo de viagem e, conseqüentemente, à eficiência do transporte. Normalmente, os tempos para extensão são limitados a um máximo.

#### ↳ **início precoce ou truncamento do vermelho**

O início precoce de fase é usado quando a chegada do ônibus na intersecção ocorre no vermelho do semáforo. Sua aproximação faz que seja truncado (diminuído o

tempo normal) o vermelho e reduzido o tempo de fases para os movimentos alheios ao ônibus, dando a ele, o mais rapidamente, verde semaforico e maior fluidez para o transporte coletivo.

#### ↗ **fase especial**

Ocorre quando uma pequena fase de verde é inserida dentre as fases normais, que são para isso postergadas.

#### ↗ **supressão de fase**

Para favorecer a passagem dos ônibus, quando detectada sua aproximação, uma ou mais fases, não - prioritárias e de baixa demanda, podem ser omitidas da sequência normal. Isso fará com que a espera seja mínima para o ônibus.

As fases suprimidas poderão receber compensações de tempos nos ciclos seguintes, minimizando prejuízos havidos para o tráfego controlado por elas. Em outros casos é feita pura e simplesmente sua supressão, voltando a atuar em ciclos seguintes, sem qualquer compensação.

Segundo esses autores, a prioridade ativa pode ser feita ainda sob dois diferentes conceitos, que consideramos indispensáveis abordar no escopo deste trabalho: prioridade incondicional e prioridade condicional.

Prioridade Incondicional: é dada sempre que o detector envia ao controlador sinal de presença do ônibus. Com a detecção e após os intervalos necessários aos fluxos ou segurança, para outras fases veiculares e de pedestres, é feita alteração privilegiando o veículo detectado. Esse tipo é usado para veículos de emergência, pois tem efeitos extremamente negativos para o tráfego transversal, se usada continuamente.

Prioridade Condicional: essa estratégia leva em conta limites dos efeitos indesejáveis da anterior, mediante ao exame detido de fatores pertinentes, que podem ser as programações, as ruas que cruzam (no nosso caso, podem ser as que não têm tráfego de ônibus), tamanho da fila, tempo decorrido desde a última prioridade dada, posição do ciclo na qual o ônibus foi detectado, etc.

Estaremos a seguir, mesmo que de forma genérica, identificando condições de

implementação de prioridade em corredores. Buscam-se relações entre prioridade em semáforos e outros fatores críticos como: intervalos entre ônibus, volumes das vias arteriais e seus cruzamentos, localização de paradas, tempos de entrada e saída de passageiros, espaçamento entre intersecções consecutivas e movimentação de pedestres. O impacto da prioridade em semáforo depende das condições geométricas e operacionais na própria intersecção e no corredor.

O crescimento de volume dos ônibus resulta no aumento do número de solicitações para prioridades a serem dadas. Os procedimentos adotados podem, e normalmente devem, estabelecer os intervalos em que deve ser aplicada. Isso implica que, em corredores com grande quantidade de ônibus, algumas formas de prioridade ativa, repetindo-se no atendimento da sua demanda, poderão comprometer outros fluxos, com prejuízos graves para eles. Assim, com o crescimento do volume de ônibus, deve ser estabelecido um limite superior, para inserções de prioridades; caso contrário, poderão ser deterioradas ou mesmo inviabilizadas condições para tráfego nas vias que cruzam.

As priorizações se efetivarão de tempos em tempos, criando-se e respeitando-se períodos, em que as fases atuam normalmente, sem as mudanças provocadas pelos ônibus. A cada período (por exemplo, de dois ou três ciclos), se obtém a condição de priorizar aos ônibus no ciclo seguinte, após que, volta-se à situação inicial (sem prioridades), à qual se segue a repetição das condições para que haja prioridade novamente, e assim por diante.

Os espaçamentos entre intersecções são críticos, em nosso estudo, para altos volumes de tráfego, pois, nesses casos, a menor distância entre elas pode fazer que os ônibus sejam impedidos de exercer os benefícios da prioridade, por causa de filas existentes e provindas da intersecção localizada no ponto inferior da rota (jusante). Por outro lado, quando diminui o espaço entre intersecções, aumenta a necessidade de se implantar a condição de prioridade e facilitar a movimentação de todos os veículos a partir das intersecções inferiores. À medida que o espaçamento entre cruzamentos aumenta,

a prioridade tende a ter efeitos melhores, mesmo sob altos volumes de demanda da via arterial. Isso deixa de ocorrer nas situações em que as filas existentes provoquem efeitos semelhantes àqueles de pequeno espaçamento entre cruzamentos consecutivos.

A entrada e saída de passageiros nos pontos, nas paradas à esquerda da via, podem impactar negativamente e não devem ser usadas nas implementações de prioridades dos ônibus em sinais, mormente, para volumes grandes de passageiros. Paradas à direita das vias são mais comumente usadas. Existem situações em que o volume de pedestres deve ser levado em conta. Quando a prioridade é iniciada, o controlador de tráfego precisa percorrer fases determinadas até entrar nas de verde mínimo, seja para pedestres ou veículos. Apesar de o volume de pedestres não impactar diretamente o aproveitamento da prioridade dada, quando existirem em grande número na intersecção, será necessário assegurar, em projeto, fases que lhes permitam se movimentar com segurança.

Com o surgimento da tecnologia ITS (Intelligent Transportation Systems), despertou-se novo interesse na sinalização para priorizar ônibus. Sobre o tema, podemos afirmar que sistemas ITS têm por objetivo fazer a integração para gerenciamento de operação do tráfego de forma centralizada. Essa operação integrada pode ser compartilhada ou não, entre órgãos públicos que tenham interesse ou necessidade de interagir com a atividade. A concepção funcional dos sistemas ITS deve estar em acordo com premissas de um SGT - Sistema de Gerenciamento de Tráfego - e deverá ser de arquitetura aberta e modular, abrangendo dados, voz e imagem.

O ITS é estruturado hierarquicamente e sob visão macrossistêmica, tem dois ou três níveis principais. Essa visão básica da operação geral do ITS é pertinente para nosso assunto.

Os equipamentos de campo, dentre os quais fazemos destaque aos controladores semafóricos, se constituem no primeiro nível. Os controladores são unidades instala-

das nas intersecções e têm função de se comunicar (conversar) com os concentradores de área, caso eles façam parte da estrutura funcional, ou então, diretamente com o Centro de Controle Operacional (CCO), na inexistência desses. Nesse nível está o sistema Semafórico, que pelos controladores locais, conectados a sensores de fluidez (detectores) distribuídos ao longo das vias, monitorará o tráfego na área abrangida.

O sistema de semáforos centralizados será constituído por equipamentos e programas (hardware e software) que permitam obtenção de dados do tráfego, "online/real-time" e envio de ordens para mudança dos tempos de verde/vermelho de acordo com a relação entre demanda e capacidade de fluidez, resultando numa operação inteligente, de acordo com padrões estabelecidos.

Os controladores operacionalizam as funções semaforicas, do(s) cruzamento(s) sob sua responsabilidade e são os elementos físicos, para os quais são encaminhados dados de campo, tais como, contagens de veículos, e outros, que eles repassam, através de rede de transmissão de dados, direta ou indiretamente, como comentado, segundo a existência ou não dos nós concentradores, ao CCO.

O segundo nível funcional, quando dessa forma for montada a arquitetura do sistema, o que ocorre nas modernas concepções, serão os concentradores de área (ou nós concentradores). Esses são equipamentos instalados também, em geral, em campo e têm a atribuição de agrupar sob sua tutela um grupo de controladores locais. Sua função, a partir do momento em que recebem os dados de vários controladores é se comunicar por meio de um único canal com o CCO. Esses equipamentos têm ainda, função e condição de atuar, substituindo precariamente, ou seja, com recursos reduzidos, mas assegurando um funcionamento mínimo do sistema, em caso de falha grave, que o CCO fique temporariamente inoperante.

O terceiro e último nível da operação será o Centro de Controle Operacional (CCO), que estará interligado a todas as ramificações do sistema, portanto, a cada con-

trolador local, através dos concentradores de área, ou na não - existência destes, de forma direta. O CCO emite comandos aos equipamentos e orientações/ordens a equipes de campo. Como estabelece a especificação Técnica para o Projeto Básico para Adequação de Sistema de Controle de Tráfego por Área – CTA – para a cidade do Salvador, elaborado pelo Instituto para o Desenvolvimento dos Transportes – IDT e Protran Engenharia S/C Ltda, a integração funcional entre os vários elementos do sistema (CCO com demais equipamentos) está prevista da seguinte forma:

- Os controladores de semáforos e os detectores de tráfego serão agrupados em regiões e conectados aos nós concentradores, de acordo com seu posicionamento geográfico;
- Os nós concentradores comunicam-se com o CCO, através de anel de transmissão de dados ("backbone"), hoje em dia, em geral, composto de elementos em fibras óticas (nas concepções mais antigas eram de cabos metálicos, tipo telefônico), ao computador de gerenciamento de comunicações;
- No CCO, um gerenciador de comunicações fará o acesso ao sistema de semáforos (pela rede de transmissão de dados), recebendo informações de campo (detectores), analisando-as por meio de simulações e transmitindo ordens para os controladores de tráfego.

Os controladores de tráfego ligados à CTA deverão ter concepção voltada para se integrarem à arquitetura do sistema.

Os dados sobre a intensidade de tráfego nas vias da área controlada, informando o volume, a ocupação e o grau de congestionamento, de maneira geral, será feita de preferência por detectores do tipo laço indutivo, pelo seu menor custo de implantação/manutenção e pelo domínio deste tipo de tecnologia pelas equipes de instalação.

Projetos prevendo outros dois tipos de detectores deverão ser definidos na fase do projeto básico, em função das características dos locais, notadamente em relação a

tipos e condições dos pavimentos, para os quais, implantação de laços indutivos não seja recomendável tecnicamente.

Num sistema CTA, conforme padronizações já sistematizadas internacionalmente e, desde longo tempo, adotadas pela Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo, tanto no seu projeto SEMCO – Semáforos Coordenados, onde se excluem os trabalhos em tempo real, pois na época, início da década de 80, o software adquirido não tinha sido desenvolvido para atuar nessa condição, mas incluída essa situação nas especificações técnicas, de implantações recentes, o sistema de semáforos deverá operar de três modos básicos:

- ♦ modo central: os semáforos operam de acordo com programação enviada pelo computador central, on-line, em tempo real;
- ♦ modo local/coordenado: os semáforos operam de acordo com programação interna dos controladores, recebendo por cabo, pulso de sincronismo de relógio de um controlador mestre ou concentrador de região;
- ♦ modo isolado: os semáforos operam de acordo com programação interna dos controladores, sem receber pulso de sincronismo de relógio.

O sistema centralizado, dotado de software de controle do tipo adaptativo, se atualiza ciclo a ciclo, de acordo com as condições do tráfego coletadas pelos detectores de veículos, alterando tempos de ciclo, de verde e defasagens. O sistema semafórico, conforme condições já previstas para a cidade de São Paulo e especificadas para a cidade do Salvador, além de outros municípios brasileiros, deverá em seu software e hardware, ter dispositivos que permitam estabelecer prioridade de passagem, para veículos de emergência, tipo ambulâncias, bombeiros e polícia, pelo reconhecimento da sua aproximação/chegada, através de detectores específicos, tais como "transponder" padrão AVI – Automatic Vehicle Identification. Observamos que a condição de criação de preferências não tem sido exercida na cidade de São Paulo.

No nosso estudo, usaremos esses atributos para analisar condições de priorização para os ônibus. Estaremos, portanto, fazendo uso das atribuições do AVL – Automatic Vehicle Location e também do uso de pré-sinais.

O sistema, com capacidade de executar controles preventivos dentro de um horizonte projetado, permite otimizar para vários fluxos os tempos semafóricos. Para atuar sobre as (variadas) presenças de veículos, pode ser adaptado e exercer preferências aos fluxos de ônibus, compatibilizando programações de frotas e considerando paradas existentes.

O controle de intersecções se compõem de quatro módulos (CHIANG, 1994):

- ① módulo dinâmico de tamanho de fila;
- ② módulo local de otimização de tráfego;
- ③ módulo de mudanças de programa para atendimento dos ônibus;
- ④ módulo de adequação ou salto de estágio.

O “módulo de previsão dinâmica de comprimento de fila” foi desenvolvido mediante técnicas de análise ativa de redes e recebe enfoque de monitorar a distribuição espacial das condições de tráfego, prevendo, como diz o próprio nome, tamanho de filas, para todo o horizonte espaço - temporal considerado, com finalidade de melhorar condições funcionais do sistema.

O “módulo de local de otimização”, projetado para minimizar o tamanho de filas, é formulado e resolvido, por intermédio de métodos dinâmicos de programação. Propicia condições adaptativas, para que haja respostas a flutuações de tráfego. Essas podem ser feitas, por exemplo, a cada 3 segundos, conforme os critérios funcionais que se estabeleçam e dos recursos do software utilizado. Os dois outros módulos têm função local e complementam, permitindo numa instância o controle preferencial de veículos em trânsito e em outra, na seqüência, alterações das fases, que forem necessárias.

Essa sistemática pode ser estendida a redes, desde que uma “arquitetura inteli-

gente de controle” seja desenvolvida para que haja integração efetiva, possibilite expansões convenientes, com confiabilidade operacional e adaptatividade a congestionamentos. Modelos de avaliação podem ser conduzidos através de simulações experimentais. Citamos que a questão, no que se refere ao Software, é de suma importância, pois cada um deles tem características gerais a todos e aspectos particulares sobre a forma operacional, que é individualizada e depende da sua concepção, inclusive na maneira de acessar os dados disponíveis. Não cabe aqui fazermos preleções a respeito, pois vários são os Softwares com essa finalidade.

Procuraremos sempre focar situações nas quais os recursos semafóricos da sinalização permitam sua operação em tempo real. Porém, também serão nosso objeto, condições de tempos fixos.

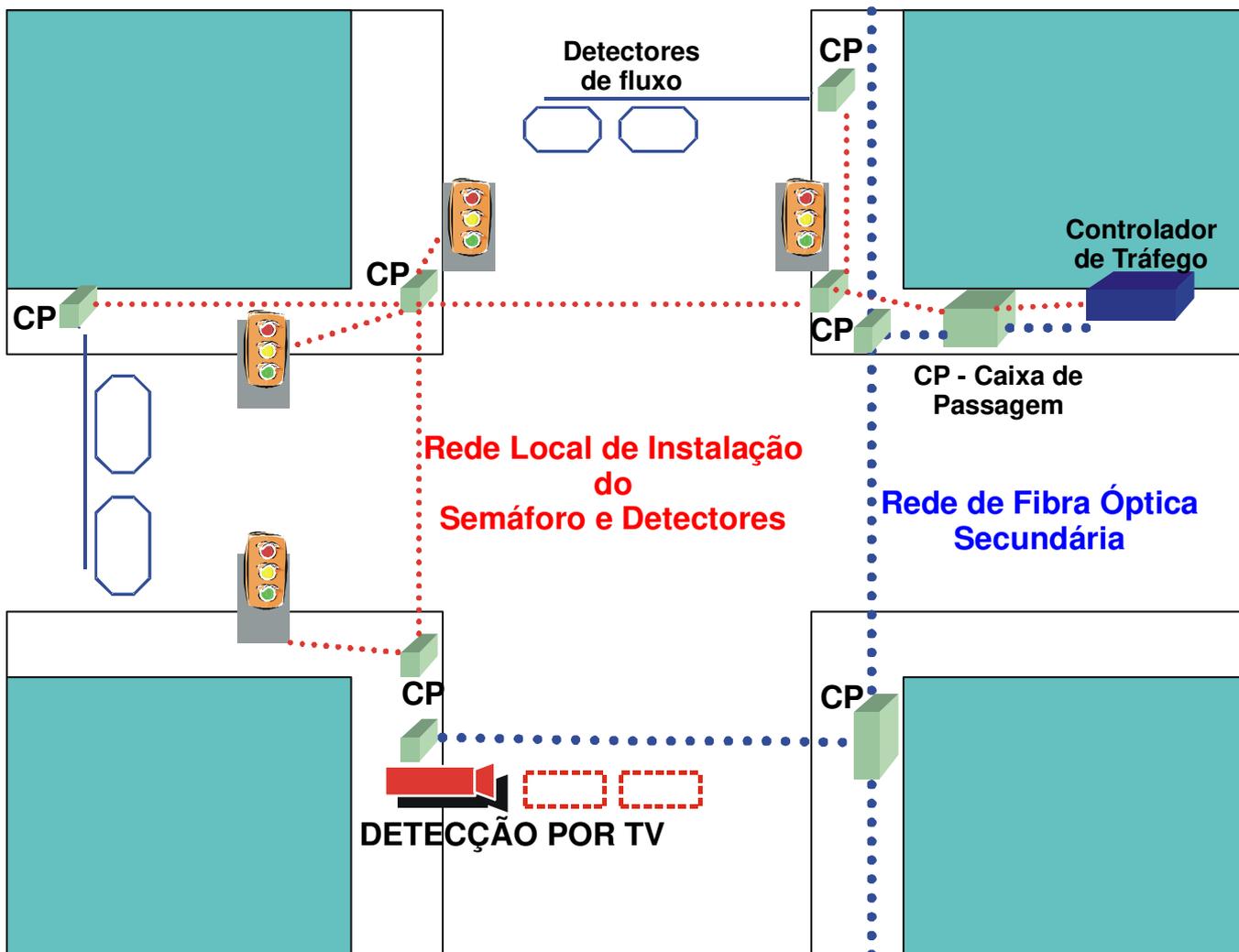
Nos dias de hoje, existem no mercado internacional várias empresas comerciais, detentoras de Softwares, que, intrinsecamente, devem produzir resultados semelhantes nas operações do *ITS*, apesar de elaborados sob diferentes concepções. No nosso caso de estudo, recorreremos aos vários trabalhos, internacionalmente elaborados e/ou executados, com conceito de “Controle de Semáforo em Tempo Real”, dentro de filosofia *ITS* e outros, que funcionando em tempos fixos, permitem operar priorizações seletivas de veículos.

Estaremos sempre visando operar, com simultaneidade, semáforos de uma determinada área ou setor do viário, para otimizar seu desempenho quanto ao tráfego. Os tempos calculados em “tempo real” são obtidos em simulações feitas no CCO, por softwares específicos, que fornecem os melhores ciclos, frações de verde e defasagens. Os tempos semafóricos não são fixos e não são feitas programações “off line”.

Nossos estudos abrangem sistemas de seleção dinâmica de planos, que também fundamentados nas informações dos detectores, escolhem dentre planos fixos, pois, incapazes de adequar os parâmetros de campo aos planos semafóricos em tempo real,

buscam dentre os preexistentes o que melhor se ajustar. Não eliminam cálculos "off line", de planos de tempos fixos. Também sistemas de atuação e microrregulação ou controle de fila, baseados em demanda, que não operam em tempos fixos e com base nas informações dos detectores, são passíveis de receber e atuar com priorizações seletivas de veículos.

A prioridade aos ônibus pode, ainda, ser feita localizada em um único cruzamento, desde que julgada adequada, necessária e o local controlado por equipamento que permita alterações de estágios e fases.



### INTERSEÇÃO TÍPICA CTA - Esquemático

*retirado da especificação Técnica para o Projeto Básico para Adequação de Sistema de Controle de Tráfego por Área – CTA – para a cidade do Salvador (Inst. Desenvolvimento dos Transportes/ Protran Eng.)*

figura 3.2.1

### **3.3 Procedimentos para Priorização dos Ônibus**

Serão estudados, métodos para estabelecimento de prioridade para ônibus em semáforos. O sistema ITS e outros responsivos admitem veículos com recursos a bordo que viabilizam sua operação de forma diferenciada, dando-lhes maior autonomia no tráfego em relação aos demais veículos. Uma questão fundamental para o assunto é a condição de "cooperação - interação, veículo para veículo ou veículo para leito viário". Estudos sobre o assunto classificam, segundo os desenvolvimentos dessas relações, em três categorias:

- (a) Sistemas Autônomos, que dependem apenas das informações obtidas a partir de sensores localizados no próprio veículo em relação a objetos estacionários ou outro veículo em movimento.
- (b) Sistema Cooperativo, que recebe informações transmitidas por veículos próximos, permitindo o tráfego em grupos e outras aplicações.
- (c) Sistemas de Autopistas Automatizadas, em que os veículos recebem informações obtidas a partir da infra - estrutura da via, tais como, condições do tráfego, geometria da pista, etc. Esse sistema é de implantação difícil e cara.

#### **3.3.1 Pré - Sinais**

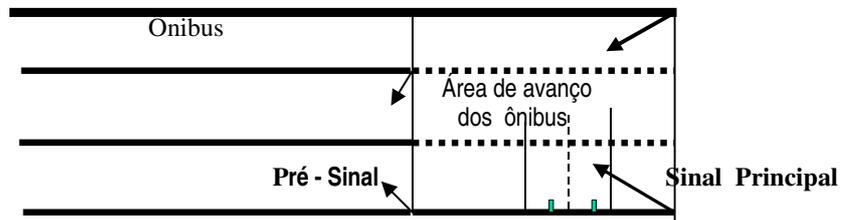
Métodos para priorizar ônibus têm sido estudados desde os anos 60. A "faixa exclusiva", tradicional, que reserva espaço de rodagem, passou a ser usada desde os anos 70. Estaremos estudando o conceito de "pré-sinal" conforme HOUNSELL; WU, 1998.

Esse conceito tem despertado interesse nos estudos para otimização da prioridade para os ônibus e, segundo essa diretriz, são instalados semáforos antes dos cruzamentos, nas faixas de circulação dos ônibus ou nas faixas vizinhas. Sua função é ad-

ministrar fluxos, priorizando os ônibus junto à intersecção seguinte. Pode ser associado a técnicas, como o sistema ITS ou outras, além de ser facilmente compatível com conceitos e procedimentos, advindos do conhecimento local do trânsito.

Apesar de existirem muitos pré-sinais instalados (não no Brasil!), poucas publicações existem sobre seu projeto e operação. Esse conceito será abordado analiticamente, o que permite prévia avaliação de efeitos. Identificamos três formas de instalação dos pré-sinais, com diferentes modos operacionais e impactos. O objetivo dos pré-sinais é dar prioridade aos ônibus, para áreas de avanço, pertencentes à linha de parada (stop line), evitando filas e reduzindo tempos de espera, em uma intersecção semaforizada. Em dois particulares tipos de situações, esses sinais prévios proporcionam maiores benefícios.

O primeiro, quando os movimentos dos ônibus devem ocorrer, a partir de paradas laterais à pista, em direção ao centro da via para virar à direita na intersecção principal. Pré-sinais evitarão que tenham de forçar passagem, por vezes, em filas de tráfego congestionado, criando um espaço vazio no qual ele se posiciona sem dificuldades. O segundo caso é o uso do pré-sinal como ferramenta de relocação de filas, onde congestionamentos próximos a intersecções semaforizadas podem tornar esses locais inconvenientes para localização de faixas para ônibus, particularmente se a largura da via for inadequada. Com auxílio de pré-sinais, entretanto, é possível se estabelecer faixa para ônibus em local à montante. Essa pode ser levada a efeito, se instalado um pré-sinal no final da faixa de ônibus, para controlar o tráfego não prioritário e dessa forma criar uma área livre entre este e a intersecção principal, onde os ônibus passam a ter acesso mais fácil que os demais veículos. Três diferentes categorias de projeto para uso de pré-sinal têm sido implementadas, todas com características operacionais distintas entre si. Serão aqui denominadas pelas letras A, B e C. Na categoria A (vide figura), o pré-sinal controla apenas o tráfego não - prioritário, não atuando sobre os ônibus. Em contrapartida, nos Pré-sinais da Categoria B, os ônibus são também controlados na entrada da caixa de parada, que dá acesso à intersecção principal.



Lay Out Típico de Pré - Sinal Categoria A

Figura 3.3.1.1

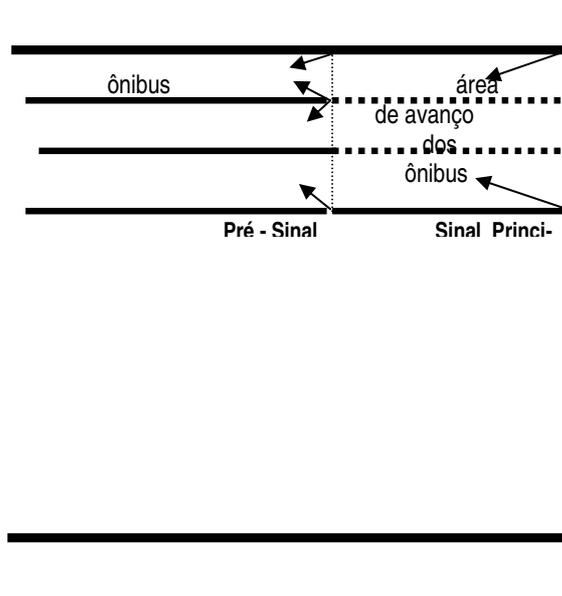


Figura 3.3.1.2 Lay Out Típico de Pré - Sinal - Categoria B

Quando o pré-sinal Categoria B na faixa dos ônibus entra em fase vermelha, os veículos não - prioritários recebem liberação de passagem e vice-versa. Uma condição intermediária, que não é considerada nesta exposição é aquela em que o ônibus dá passagem a tráfego não - prioritário no final da sua faixa de rolamento.

Nas situações em que as pistas na “área de avanço dos ônibus” forem em número maior que aquelas disponíveis antes do pré-sinal, serão melhores os benefícios obtidos em sua operação. Nas categorias A e B, os tempos de semáforos do pré-sinal e da intersecção principal são coordenados para se obter eficiência máxima. No caso B, a coordenação pode ser feita entre a intersecção principal e os ônibus ou com os veículos não-prioritários. Um pré-sinal, categoria C, é também definido segundo um “lay out” semelhante àquele de B, excetuando-se os casos em que detectores são instalados na pista dos ônibus. Esse caso, quando da aproximação dos ônibus do pré-sinal, faz que seja dado vermelho ao tráfego não-prioritário, permitindo acesso dos ônibus, livre de impedâncias, ao cruzamento. A seguir, o pré-sinal da faixa dos ônibus passa por sua vez para o vermelho, deixando que o tráfego não - prioritário, após o posicionamento do ônibus numa faixa apropriada, passe para a área de avanço e atinja a intersecção principal sinalizada. O tempo de espera em um Pré - Sinal categoria C depende da coordenação entre o mesmo para os ônibus e o sinal principal.

Se os ônibus puderem acionar o sinal verde, tanto no pré-sinal como no semáforo principal, terá prioridade total e não sofrerá nenhuma demora. Se, ao contrário, se for possível acionar apenas o pré-sinal, terá demora referente ao tempo de parada no sinal da intersecção. Esperas para veículos não - prioritários, na categoria C, têm análise difícil, pois eles não são detectados. Estaremos aqui abordando os pré-sinais categorias A e B. Neste estudo serão usados enfoques analíticos, desenvolvidos para otimização de tempos pré-sinais e as demoras dos veículos em aproximações por eles controladas.

Salientamos dois problemas potenciais, para os quais é preciso se resguardar quando de projetos de pré-sinais. O primeiro deles é a potencial perda de capacidade, pelo impedimento criado pelo pré-sinal, para que veículos atinjam a intersecção, em tempo de fazer uso dos tempos de verde. O segundo é que as filas do tráfego reaplicado, para trás dos ônibus, podem bloquear a intersecção anterior (a montante). Esses problemas podem ser resolvidos com trabalhos cuidadosos, por meio de estimativas corretas para realocação das filas do tráfego, no pré-sinal, de forma que este priorize os

ônibus, fazendo uso da integral capacidade do sinal principal. Para se evitarem perdas de capacidade na intersecção, duas providências, que citamos a seguir, devem ser adotadas.

### ❶ Providência 1

Os veículos não - prioritários, ao chegar à linha de parada do pré-sinal, quando o sinal principal estiver no vermelho, serão descarregados na linha de parada do sinal principal, de forma a irem preenchendo a "área de avanço dos ônibus" antes do início do verde principal. Nesse caso, sinal principal e pré-sinal estarão coordenados para o tráfego não - prioritário e assegura que não haja perda de capacidade da intersecção principal. Temos:

$$r_m \times v_d = (r_m - r_p) S_1 N_p; \quad (\text{equação 1})$$

onde :  $r_m$  → tempo de vermelho no sinal principal;

$r_p$  → tempo de vermelho no pré - sinal;

$v_d$  → razão de demanda dos veículos não - prioritários;

$S_1$  → veículos/seg/faixa (base de saturação);

$N_p$  → nº de faixas no pré - sinal para os veiculos não - prioritários

### ❷ Providência 2

Não serem mantidas filas residuais na linha de parada do sinal principal no final dos seus tempos de verde. A capacidade da intersecção é igual à demanda existente. Essa situação descreve um grau de saturação  $\rho = 1$ . Se  $\rho < 1$ , usualmente, não é justificada faixa para ônibus ou instalação de pré - sinais. Se  $\rho > 1$ , por um período de tempo, haverá uma fila de tamanho significativo, na faixa dos ônibus e, nesse caso, haverá benefícios significativos na instalação de pré - sinais. Nestas afirmações não estão consideradas as chegadas e partidas de veículos, o que é justificável por causa do regime de interesse ( $\rho = 1$ ) e pela proximidade do pré - sinal e da intersecção principal, fatores que deverão produzir mínimos pelotões de partida.

$$g_m S_1 N_m = c(v_d + v_{db}) \quad (\text{equação 2})$$

onde:  $g_m \rightarrow$  tempo de verde no sinal principal;

$c \rightarrow$  tempo de ciclo;

$N_m \rightarrow$  n° de faixas na linha de parada do sinal principal

$v_{db} \rightarrow$  razão de fluxo dos ônibus (ônibus/seg.)

$S_1 \rightarrow$  base de saturação de faixa (veículos/seg/faixa)

Entretanto, a experiência nas condições reais de funcionamento dos pré-sinais, os efeitos estocásticos, pode mostrar necessidade de se instalarem detectores de veículos, para garantir benefícios máximos. Introduzimos, agora, o cálculo dos tempos para os pré-sinais nas categorias A e B, para um dado e conhecido tempo de ciclo  $C$ , da intersecção principal. Essas intersecções são controladas por meio dos dois procedimentos comentados anteriormente. Temos que:

$$g_m = C \frac{(v_d + v_{db})}{S_1 N_m} \quad (\text{eq. 3})$$

Da figura:

$$r_m = C - g_m \quad (\text{eq. 4})$$

Substituindo 3 em 4:

$$r_m = C \left[ 1 - \frac{v_d + v_{db}}{S_1 N_m} \right] \quad (\text{equação 5})$$

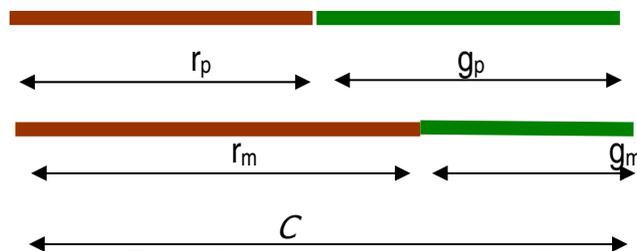


Figura 3.3.1.3

Da temporização da equação 1, temos:

$$r_p = \left( 1 - \frac{(v_d)}{S_1 N_m} \right) r_m \quad (\text{eq. 6})$$

da figura temos:

$$g_p = C - r_p \quad (\text{eq. 7})$$

Substituindo 6 em 7:

$$g_p = g_m + \frac{v_d r_m}{S_1 N_p} \quad (\text{eq. 8})$$

Na categoria B, a faixa dos ônibus é também controlada por pré-sinais que têm a seguinte relação com o tráfego não - prioritário:

$$g_{pb} = r_p \quad (\text{eq. 9}) \quad \text{e} \quad r_{pb} = g_p \quad (\text{eq. 10})$$

onde:  $g_{pb}$  e  $r_{pb}$  são os tempos de verde e vermelho para os pré-sinais categoria B. substituindo 6 e 8 em 9 e 10, respectivamente:

$$g_{pb} = \left( 1 - \frac{v_d}{S_1 N_p} \right) r_m \quad (\text{equação 11})$$

$$r_{pb} = g_m + \frac{v_d r_m}{S_1 N_m} \quad (\text{equação 12})$$

Estabelecidos os pré-sinais, estaremos discutindo seus benefícios para os ônibus, nas categorias A e B. Esse benefício para os ônibus é definido pela diferença entre os tempos de espera nos cruzamentos semaforizados. Intersecções com e sem pré-

sinal, pois, sem ele, os veículos vão chegar aleatoriamente e terão todos o mesmo tempo médio de espera, para atravessar. Estarão sendo analisadas três situações, a saber:

- a) Demora dos ônibus na ausência de pré-sinal;
- b) Demora dos ônibus ou sua redução com pré-sinal categoria A;
- c) Demora dos ônibus ou redução da demora com instalação de pré-sinal categoria B.

a) Demora dos Ônibus na Ausência de Pré - Sinal

Admitindo que as chegadas de veículos ocorram de forma aleatória, todos terão o mesmo tempo médio de espera. A demora total por ciclo, sem pré-sinal,  $D_{(normal)}$  será dada pela área do triângulo ADF da figura A.

$$D_{(normal)} = 1/2 (C^2 (v_d + v_{db}) - g_m C (v_d + v_{db})) \quad (\text{equação 13})$$

$$D_{(normal)} = \frac{1}{2} C (v_d + v_{db}) r_m \quad (\text{equação 14})$$

A demora média por veículo ( $d_{normal}$ ), sem pré-sinal será:

$$d_{(normal)} = \frac{\frac{1}{2} C (v_d + v_{db}) r_m}{C (v_d + v_{cb})} \quad (\text{equação 15})$$

Ou seja:

$$d_{(normal)} = \frac{1}{2} r_m \quad \text{equação 16} - \text{que fornece a média de espera por veículo, na ausência de pré-sinal.}$$

b) Demora dos ônibus ou sua redução com pré-sinal categoria A;

Para os casos de instalação categorias A, os veículos não - prioritários são retidos na linha do pré-sinal por um período de tempo de vermelho ( $r_p$ ), em cada ciclo,

dando prioridade aos ônibus, para que avancem até a intersecção sem impedimentos. A seguir, apresentamos os gráficos de "demanda X tempo" em uma intersecção normalmente sinalizada e com instalação de pré-sinais da categoria A. Os gráficos foram superpostos, para facilitar interpretações qualitativas e podermos visualizar as condições de trabalho comparadas, entre uma intersecção sob condições de priorizar ônibus com pré-sinal categoria A, e o local sem se buscar priorização. Faremos, agora, o estudo local, com pré-sinal, categoria A instalado.

No gráfico, a linha AH representa a chegada acumulada dos ônibus, AG a dos veículos não - prioritários. A entrada total de veículos na região da linha de parada do sinal principal segue a linha ABCD. O segmento DF fornecerá a razão de passagem dos veículos na intersecção estudada.

Teremos duas situações diferentes, provocando um total de espera (DCA). Os ônibus que chegarem no tempo  $r_p$ , terão espera (DCA1) no sinal principal, dada pela área ABEF (vide figura).

$$(DCA1) = ABEF \quad (\text{equação 17})$$

Se sua chegada se der durante  $g_p$ , sem acesso prioritário ao avanço, a espera (DCA2) crescerá, pois ficará inserido no trânsito geral até se iniciar novo ciclo e novamente o tempo " $r_p$ " do pré-sinal. A condição não - prioritária de parada será obtida pela área BCDE corrigida por fator multiplicador ( $< 1$ ), que leva em conta o tempo de ciclo  $C$ , as razões de entrada de ônibus e veículos não - prioritários e o verde do pré-sinal.

$$DCA 2 = BCDE \frac{g_p v_{db}}{(C v_d + g_p v_{db})} \quad (\text{equação 18})$$

A espera total para os ônibus será:

$$DCA = DCA1 + DCA2 \quad (\text{equação 19})$$

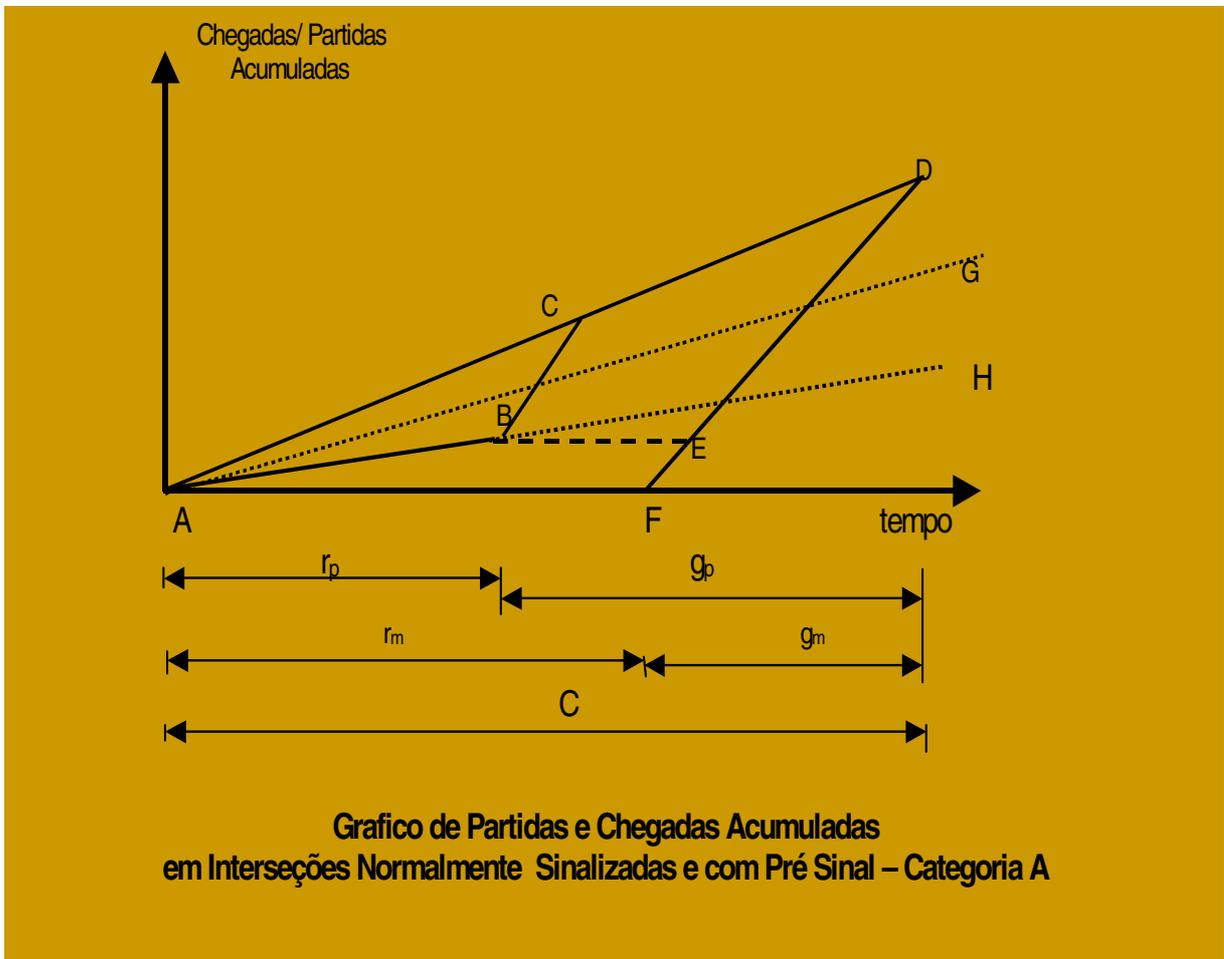


Gráfico 3.3.1.1 - pré - sinal categoria A

As áreas ABEF e BCDE podem ser estimadas pelas seguintes equações:

$$ABEF = r_p v_{db} / 2 * [2 r_m - r_p + (g_m r_p v_{db} / C(v_d + v_{db}))] \text{ (equação 20)}$$

$$BCDE = [1/ 2 C( v_d + v_{db})] \{ r g_p C v_d^2 + [ 2 r_m g_p C + r_p C(g_m - g_p)] v_d v_{db} + r_m g_p^2 v_{db}^2 \} \text{ (equação 21)}$$

O tempo médio de espera  $d(CA)$  será:

$$d(CA) = \frac{D(CA)}{Cv_{db}} \quad (\text{equação 22})$$

substituindo, tem-se:

$$d(CA) = [1/2C(v_d+v_{db})(Cv_d + g_p v_{db})] \{v_d v_{db}(2r_m C^2 - r_m r_p C) + + v_d^2(r_m C^2 - r_p^2 g_m) + v_{db}^2(r_m g_p C)\} \quad (\text{equação 23})$$

Para  $r_p = 0$ , condição de ausência de pré-sinal, teremos  $d(CA) = r_m/2$ , como já descrito anteriormente.

A redução de tempo obtida com o uso do pré-sinal categoria A será sempre:

$$d(CA) = d(\text{normal}) - d(CA), \quad (\text{eq. 24})$$

então:

$$\Delta d(CA) = \{ g_m r_p^2 v_d^2 / [ 2 C ( v_d + v_{db} ) ( C v_d + g_p v_{db} ) ] \} \quad (\text{equação 25})$$

A equação final mostra que o tempo de espera dos ônibus está diretamente relacionado e cresce com o crescimento dos parâmetros  $g_m$  e  $r_p$ .

c) Demora dos ônibus ou redução da demora com instalação de pré-sinal categoria B.

Na categoria B, as demoras dos veículos prioritários ocorrem por dois fatores:

- ♦ parada no pré-sinal localizado na faixa dos ônibus;
- ♦ parada no sinal principal.

Os gráficos de "demanda X tempo" apresentam as condições de operação para essa situação. A linha AC da figura indica a fila de ônibus formada durante o tempo  $r_{pb}$ . A linha CE é a chegada acumulada e AJB, as partidas dos ônibus no pré-sinal. O tempo total de espera por ciclo (DB1) será dado pela soma das áreas ACJ e BDE.

$$DB1 = ACJ + BED \quad (\text{equação 26})$$

AJB fornece as partidas acumuladas do pré-sinal em direção ao sinal principal e BFD as chegadas de veículos não prioritários do pré-sinal á interseção principal. Como os ônibus tomam as posições de frente nas filas do sinal principal e são os primeiros a serem descarregados no verde, a demora no sinal principal DB2 é a área AJBEK (figura B). A demora total (DB) será:

$$DB = DB1 + DB2 = ACJ + BED + AJBEK \text{ (equação 27)}$$

Considerando-se essas áreas, teremos que:

$$DB = \frac{Cv_{db}}{2} (2r_m + g_p - r_p) \text{ (equação 28)}$$

A demora média será:

$$d(CB) = \frac{D(CB)}{Cv_{db}} ; \text{ (equação 29)}$$

$$d(CB) = 1/2 (2r_m + g_p - r_p) \text{ (equação 30)}$$

função de  $r_m, g_p, r_p$ .

A economia de tempo de espera para os ônibus será:

$$Dd(CB) = d(\text{normal}) - d(CB) \text{ (equação 31)}$$

$$Dd(CB) = (r_m + g_p - r_p) / 2 \text{ (equação 32)}$$

ou seja:

Para  $r_m$  constante, a relação de  $r_p$  e  $g_p$ , vai determinar a redução ou não do tempo de espera.

O uso do sistema irá gerar impactos sobre os veículos não prioritários, pois, mesmo otimizando as relações entre os tempos verde/vermelho para pré-sinais e cruzamento, as alterações irão modificar negativamente os fluxos dos veículos comuns. O tempo médio de parada para veículos não prioritários crescerá. Poderão ter esperas em dois intervalos de tempo, independente da categoria usada, A ou B. Elas ocorrerão:

- ♦ no pré-sinal;
- ♦ no sinal do cruzamento.

Isso pode ser observado se assumirmos que o tráfego chega aleatoriamente e as filas ocorrem da mesma maneira, tendo como parâmetro as condições geométricas e as ordens de chegada. Se o pré-sinal for categoria A e os ônibus chegarem durante seu vermelho ( $r_p$ ), terão acesso liberado até a área de avanço e, portanto, tomarão as posições de frente na fila formada defronte ao semáforo da intersecção. Os veículos não - prioritários ficarão no fim das filas, o que não ocorreria sem uso do pré-sinal.

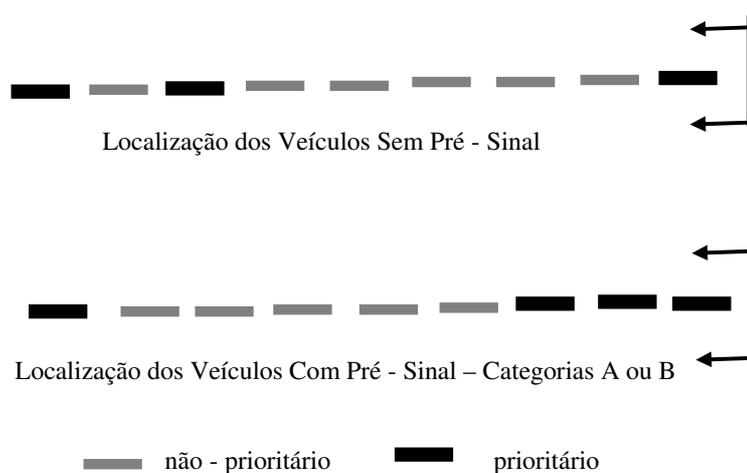


Figura 3.3.1.4

Isso irá reduzir o tempo médio de demora para os ônibus e aumentar a espera para veículos não - prioritários. Mesmo que não permaneçam veículos não - prioritários para o ciclo seguinte, a alteração nas posições relativas nas filas trarão acréscimo de tempo de espera para os veículos comuns.

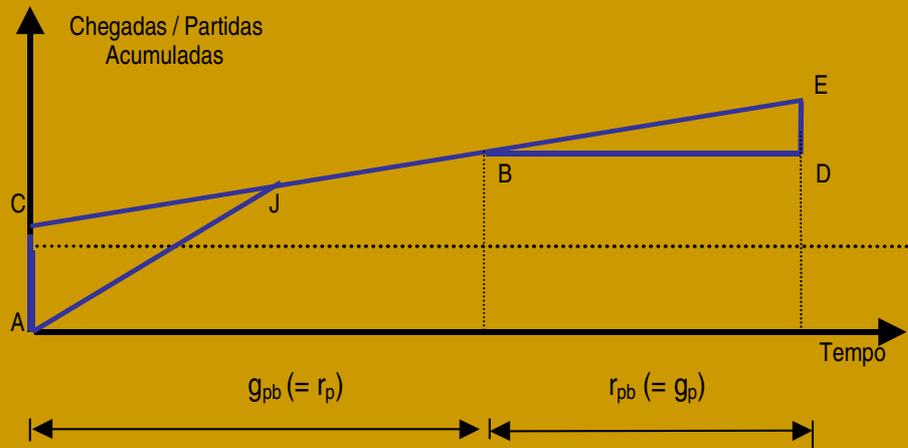
Nos casos B, os ônibus que chegam no período de vermelho do pré-sinal ( $r_{pb} = g_p$ ) não podem adentrar na área de avanço e liberar espaços até o verde  $g_{pb}$ , que virá apenas no ciclo seguinte.

O tamanho da área de avanço dos ônibus é importante elemento para os projetos de intersecções controladas por pré-sinais. Os estudos mostram benefícios importantes com uso do pré-sinal, quando são aplicados apenas no tráfego não - prioritário. Nos casos em que são submetidos à ação da categoria B, podem ocorrer desvantagens para

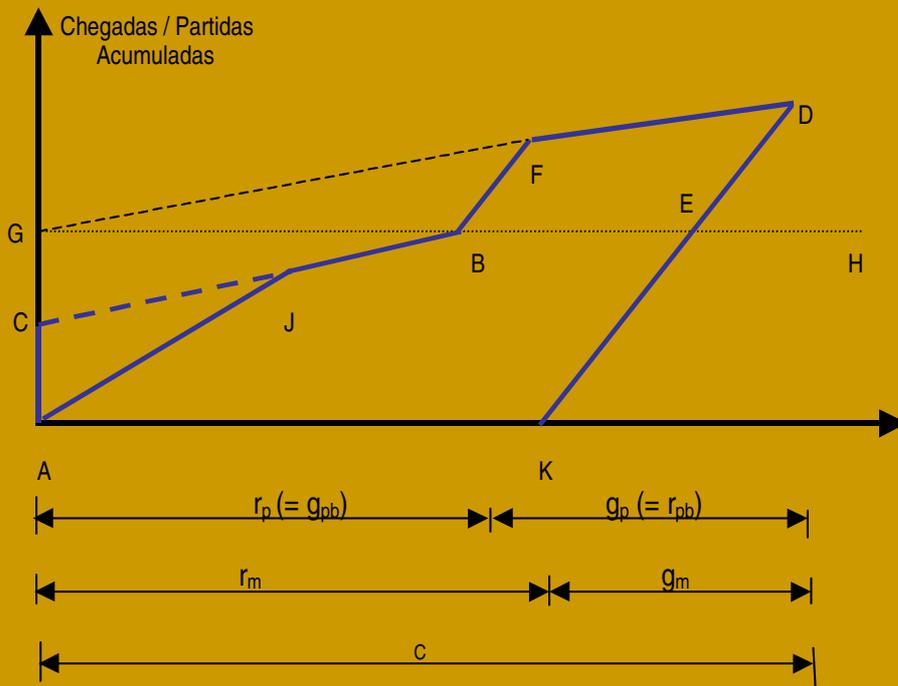
os ônibus, a menos que se coloquem detectores específicos, que possam assinalar suas presenças e em seguida priorizá-las. Quanto maior o período de vermelho para veículos não prioritários, no pré-sinal, maior o benefício obtido por os ônibus.

Na categoria A, a economia de tempo é obtida pela relocação dos veículos, no tráfego do sinal principal, com pequeno atraso para os veículos comuns. Mas, a demora total no semáforo considerado vai permanecer inalterada.

No caso B, apesar de os ônibus se posicionarem na parte de frente das filas do semáforo do cruzamento, aqueles que chegam durante o tempo  $r_{pb} = g_p$  (vermelho para ônibus no pré-sinal) são parados por ele até o novo ciclo, quando irão obter verdes ( $g_{pb}$ ) e passar. Não estão considerados processos estocásticos, que podem ser importantes para controles em tempo real e onde as demandas de tráfego estarão usando a capacidade do local. A implementação de pré-sinal, nesses casos, demandará atenção para detecção de veículos, de forma a se obter o desempenho mais adequado.



**CHEGADAS / PARTIDAS ACUMULADAS  
DOS ÔNIBUS  
EM PRÉ SINAL – CATEGORIA B**



**CHEGADAS / PARTIDAS ACUMULADAS  
EM INTERSEÇÃO COM PRÉ SINAL – CATEGORIA B**

**Gráfico 3.3.1.2 - Pré - Sinal Categoria B**

### **3.3.2 Controle para Ônibus, com Uso de Detectores – Com e Sem Sistema de Localização Automática de Veículos (Automatic Vehicle Location - AVL)**

Condições de tráfego, continuamente se deteriorando, têm sido preocupação para engenheiros e estudiosos do setor, além de enorme problema e desconforto para as populações urbanas. O advento dos "Sistemas Avançados de Gerenciamento de Tráfego - ATMS" e os Sistemas Avançados de Informações de Tráfego - ATIS, além daquele já estudado, dos pré-sinais, oferecem potencial para maximizar, evidentemente dentro de condicionamentos próprios de cada local de aplicação, a eficiência do transporte existente, com expectativas de conseqüentes crescimentos de demanda. Nesses casos, portanto, é necessário implementar condições favoráveis, tanto no que se refere ao suprimento de transporte quanto ao atendimento às novas demandas.

Tratamento preferencial para usuários e adequação de semáforos, com adaptação dos seus tempos ao movimento de ônibus são uma das mais promissoras estratégias para redução de congestionamentos. Temos, entretanto, de reconhecer que tratamento preferencial do veículo coletivo vem em detrimento do uso do transporte individual ou mesmo de carga (carros, caminhões, etc). Isso, porque não estamos tratando de aumentar a oferta dos espaços, mas sim, de implementação de estratégias aliadas à tecnologia de ponta, no sentido de otimizar o uso do existente, sejam frotas ou leitos carroçáveis.

No estudo a seguir, examinaremos a adequação do tráfego, com detectores, onde, em vez de serem usadas estratégias previamente especificadas, criamos campos de decisão que se baseiam em desempenhos, que levam em conta as programações existentes para os ônibus, suas previsões de demora nos pontos, inclusive aquelas provocadas por passageiros. São contabilizadas demanda e oferta de passagens, visando ao transporte coletivo atraente para o público em geral.

Estudos feitos sobre Controle Adaptativo de Semáforos – CAS (CHANG; SU; VA-

DUSEVAN, 1996), buscam otimizar uso dos tempos para o tráfego de ônibus e reduzir congestionamentos. No nosso estudo, portanto, ao nos referirmos ao CAS, estaremos relacionando-o às condições preferenciais para tráfego de ônibus. Devemos ter ciência de que estratégias com tratamentos preferenciais aos usuários de ônibus, em detrimento dos passageiros de carros, com implementação da estratégia CAS, envolve questões sensíveis, concernentes ao público em geral. Isso implica na necessidade de se avaliarem as possíveis relações entre o trânsito e os usuários dos carros sob várias condições de tráfego. Devem ser focadas, nessa linha de estudo, principalmente, os seguintes tópicos:

⊗ Integração do Planejamento dos Ônibus e o Controle Adaptativo de Semáforos

Assegura que o controle ótimo do sinal minimiza não apenas a demora do veículo, mas também a do passageiro. Os estudos existentes, à exceção de alguns poucos, não atuam em condições acíclicas nos sistemas CAS.

⊗ Avaliar as Condições Necessárias para Operação dos Ônibus, a Partir das Perspectivas de Gerenciamento do Trânsito.

Faz-se comparação das relações entre planos concorrentes de sinais, a condição, antecipada ou atrasada, em que se aproxima um ônibus, em relação à programação existente, levando-se em consideração fatores relevantes.

Incorporação de Informações a partir da AVL (Automatic Vehicle Location) no projeto de adequação Ônibus e CAS (Controle Adaptativo de Semáforos)

Numa primeira instância, estudaremos o controle adaptativo que utiliza apenas as informações dos detectores de ônibus e não das condições do AVL. Na situação a seguir, acrescentamos os dados fornecidos pelo AVL e poderemos formular versões modificadas da lógica de controle adaptativo. Os sistemas estudados aqui podem ser transpostos para condições de rede.

## **Primeiro Caso: Atendimento Prioritário aos Ônibus, Integrado a Controle de Semáforos, sem Uso das Informações AVL**

Essa estratégia, segundo CHANG, SU e VADUSEVAN, para efetivamente ser executada, deve ter as seguintes propriedades quanto ao algoritmo de controle:

- (a) Incorporar como função de controle e adaptação de semáforos as condições em que operam os ônibus;
- (b) Usar tanto a lógica do algoritmo de controle em tempo real, como estratégias pré-especificadas, tais como, extensão de verde, início mais cedo e/ou fase especial para ônibus, se houver;
- (c) Imposição e inserção automática de verde mínimo, após qualquer decisão que tenha provocado alterações. O tempo mínimo de verde deve ser estabelecido tendo em vista de dois fatores, a saber:
  - I. Segurança dos motoristas e pedestres;
  - II. Condições existentes do tráfego.
- (d) Habilitação de uma função de medida de desempenho, para avaliação do sistema, baseado na condição corrente do tamanho de filas, fatores de carregamento de vias por ônibus e suas demoras programadas.

Devem ser estabelecidas as relações entre os principais componentes do sistema integrado, no qual se inclui o módulo de preenchimento de condições para operação dos ônibus. A integração desses módulos habilita o sistema a exercer controle adaptado, baseado em demanda detectada em tempo real. As interações do módulo funcionais para os ônibus e as condições locais de otimização permitirão ao sistema operar tanto na ausência dos ônibus, como, quando da chegada deles. A figura a seguir apresenta esquematicamente, as relações interativas entre os vários componentes do sistema.

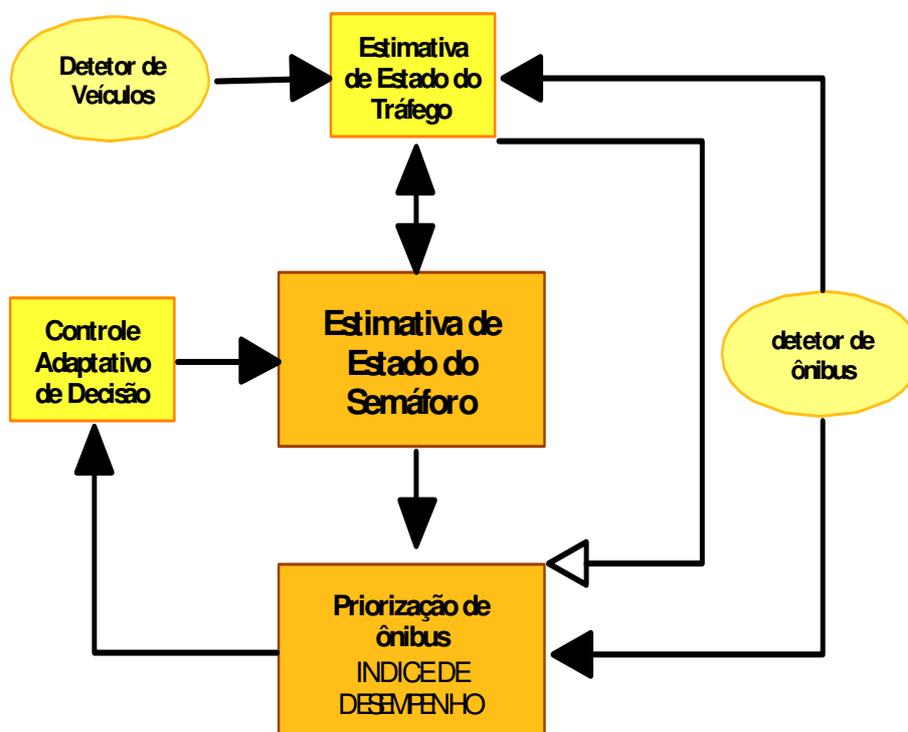
O processo de interação da figura mostra que a entrada das informações em tempo real é feita pelos detectores, tanto para veículos privados como para os ônibus e serve para estimar as chegadas, as descargas de fluxo, tamanhos de fila em cada mo-

mento considerado, mediante do módulo de estimativa de estado do tráfego, baseado no estado do semáforo. Essa estimativa é empregada para determinar a estratégia adaptativa ótima de controle, para as condições detectadas.

Se algum ônibus é identificado pelo sistema controlador de veículos, faz-se a avaliação da oferta de favorecer sua passagem, dentre as decisões de controle. A decisão resultante é usada avaliada diante do estado existente do sinal, para definições do passo e tempos de fase seguintes. O modelo será válido em condições normais e sem ocorrências de acidentes, pois, nesses casos, o problema se altera até que desapareçam os congestionamentos e os fluxos se estabilizem.

**Figura 3.3.2.1 -**

**Elementos para Controle Sem Informações AVL**



**Sistemas de Detecção (Vigilância sobre Passagem)**

A operação dos sistemas de controle adaptativo necessita dos seguintes tipos de detectores:

☞ Detectores de Veículos

Deve um primeiro conjunto ser instalado numa posição a 36,60 metros da linha de retenção, abrangendo todas as faixas e, dessa forma, permitir a avaliação das extensões de filas.

Um segundo conjunto será implantado a 15,25 metros, em cada uma das faixas de tráfego, contado a partir da intersecção à montante, para que se possam avaliar os fluxos de chegada, quando os detectores do conjunto anterior estiverem sob espaço ocupado pelos veículos.

☞ Detectores de Ônibus

Devem ser colocados em duas posições.

A primeira delas é próximo à linha de retenção, em cada uma das faixas de rolamento, para fazer a detecção das partidas/passagens dos ônibus.

São colocados também, à distância de 36,60 metros da linha de retenção, em todas as faixas de tráfego, para reduzir incertezas adicionais de chegada, por perdas devidas à carga/descarga, mudanças de pista de rolamento, ou fatores como movimentos de mudança de direção (curvas) e estacionamento indevidos. A Segunda posição deve ser em cada uma das faixas de rolamento, na linha de retenção, para detectar as partidas dos ônibus.

## **Módulo para Estimativa de Estado do tráfego**

A estimativa das condições do tráfego para otimização de sinalização, associada a priorizar os ônibus, inclui o tamanho de fila normalmente ocorrente, a demanda esperada e os fluxos anteriormente descarregados.

A determinação do tamanho das filas é vital para a adoção de uma função que defina critérios, de adequação dos movimentos dos ônibus. É um dos fatores decisivos nas decisões sobre controle de semáforos e **crítico** no estabelecimento de duração dos

tempos mínimos de verde. Neste módulo, os dados obtidos pelos detectores são usados para estimar fluxos de chegada e de descarga; conseqüentemente, os tamanhos de fila para cada etapa, no tempo. A fila estimada é usada no módulo que fornece o *Índice de Desempenho*.

### Estimativa de Filas

O tamanho da fila numa determinada etapa no tempo é determinado a partir de seu comprimento no tempo imediatamente anterior, adicionando-se o número de chegadas e subtraindo-se o fluxo de descarga no período considerado. Entretanto, se calculada a fila no semáforo vermelho, o fluxo de descarga será zero. O tamanho da fila será obtido pela equação apresentada a seguir, que é usada para determinar tanto as filas de carros de passageiros como as formadas pelos ônibus. O número de chegadas na faixa de rolamento  $L$ , fornecida pelos detectores à jusante, no estágio  $k$  e fase  $i$  -  $A_l^i(k)$  e o fluxo de descarga na faixa  $L$ , na fase  $i$  estágio  $k$  -  $d_l^i(k)$  - serão estimados em tempo real e relacionados com o estado de controle de semáforo.

$$Q_l^i(k+1) = \max\{Q_l^i(k) + A_l^i(k+1) - d_l^i(k+1); 0\} \text{ (equação 1)}$$

$$\forall l \in P^i; \forall P \in i; \forall i \in H$$

onde :

$H$  → conjunto de fases na intersecção controlada;

$P^i$  → conjunto de faixas de rolamento, na fase  $i$ ;

$l$  → pista de rolamento;

$Q_l^i(k)$  → tamanho estimado da fila na etapa  $k$ , fase  $i$  e faixa  $l$  de rolamento;

$A_l^i(k)$  → nº de chegadas assinaladas pelo detector próximo à linha de retenção na etapa  $k$  e fase  $i$ , faixa de rolamento  $l$ ;

$d_l^i(k)$  → fluxo de descarga na faixa  $l$ , na etapa  $k$  e fase  $i$ .

Se a fila estiver sobre os detectores à jusante na aproximação considerada, os fluxos de chegada serão determinados pelos detectores localizados à montante.

$$A_l^i(k) = q_{l,d}^i(k-1) \quad \text{se } Q_l^i(k) \leq D_1 \text{ (equação 2)}$$

$$A_l^i(k) = a_{l,1}^i(k) \quad \text{se } D_2 \geq Q_l^i(k) \geq D_1 \text{ (equação 3)}$$

onde :  $q_{l,d}^i(k)$  é o fluxo de tráfego da faixa l, detectado pelo detector de jusante, d, no instante do estágio k, e fase i. Esse termo é medido em tempo real;  
 $a_{l,1}^i(k)$  número de chegadas na faixa l, movendo - se sobre box l a partir dos detectores superiores no tempo do estágio k na fase i. Esse valor é estimado a partir de informações dos detectores superiores.

O fluxo de descarga  $d_l^i(k)$ , em uma fase "i" controlada, depende da decisão de adaptação e do estado do sinal. Dependendo do estado do sinal, verde ou vermelho e da decisão de controle, o fluxo descarregado se torna igual à razão do fluxo de saturação para os tempos de verde ou amarelo.

Pode ser aproximadamente traduzido pela seguinte expressão:

$$d_l^i(k) = T[1 - \phi^i(k)]\{S_{l,g}^i[1 - \xi^i(k)] + S_{l,y}^i \xi^i(k)\} T S_{l,g}^i \xi^i(k) \phi^i(k) \text{ (equação 4)}$$

PARA :

T → tempo de duração de um passo (segundos);

S → razão de saturação para fluxo no tempo de verde, na faixa l, fase i;

$\xi^i$  → 1 se o sinal da fase i é conectado ao final de tempo do passo k

0 em qualquer outra situação;

$\phi^i(k)$  → 0 se o estado do sinal for verde para fase i e estágio k

1 se estado do sinal é vermelho para fase i e estágio k.

## Determinação de Estado do Semáforo

Esse módulo monitora o estado do semáforo, computa o tempo de verde já decorrido e estima a duração do tempo verde mínimo em tempo real. A lógica usada é função do estado do sinal, em uma fase "i", num dado estágio "k".

O tempo de verde já decorrido na fase *i* do estágio *k* é computado pela equação que se segue:

$$U^i(k) = [U^i(k-1) + T][1 - \xi^i(k-1)] \quad \forall i \in H; \text{ (equação 5)}$$

$U^i(k) \rightarrow$  tempo de verde já usado pela fase  $i$ , no final do tempo do estágio  $k$

O primeiro termo marca os tempos de verde já utilizados na fase  $i$  no final do estágio  $k-1$ . Baseando-se na decisão de controle,  $\xi(k-1)$ , o tempo de verde é acrescido por  $T$  segundos ou então reduzido a zero. Isso, conforme mostrado no segundo termo.

Por sua vez, o verde mínimo é recomendado para que seja o menor possível para que o motorista possa ter reações seguras às mudanças de sinal. Deve ser também suficientemente longo para descarga de uma fila média em cada fase  $i$ . A seguir, demonstra-se uma representação matemática desse valor.

$$G_{\min}^i = t_{sd}^p + \left( \max \left\{ \left( \frac{D_1}{L_v + S_d} + 1 \right)_{i}^{avg} Q_i^i(k) \right\} \right) \left( \frac{3600}{q_s^i} \right) \text{ (equação 6)}$$

$$\forall l \in P^i, \forall P^i, \forall i \in H$$

ONDE :

$G_{\min}^i \Rightarrow$  verde mínimo, em segundos, para fase  $i$ ;

$t_{sd}^p \Rightarrow$  início de espera para passageiros de carros (seg.);

$D_1 \Rightarrow$  distância entre detectores à jusante e linha de retenção (36,60 m);

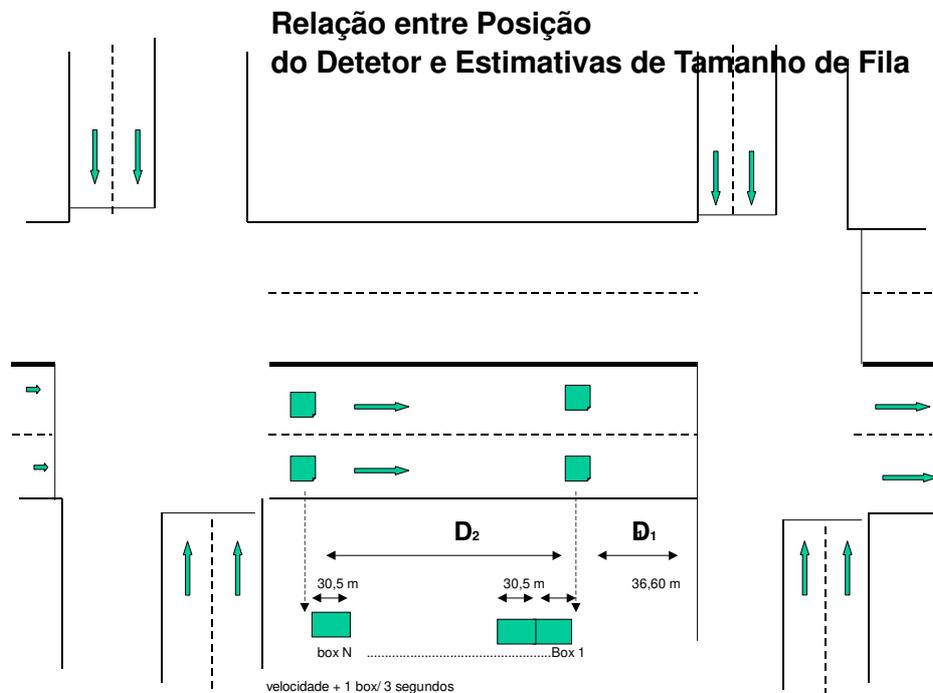
$L_v \Rightarrow$  tamanho médio dos veículos (m);

$S_d \Rightarrow$  distância entre a traseira e a frente de 2 (dois) veículos seqüentes parados;

$q_s^i \Rightarrow$  razão de saturação por faixa (vphpl).

Pode-se ver, portanto, que o verde mínimo se compõe dos seguintes elementos:

- (a) A demora para partida  $t_{sd}^p$ , devido a relações de complementação entre os sinais (primeiro termo);
- (b) A maior dentre as duas expressões, para descarregar com segurança as filas segundo suas extensões médias: o primeiro termo fornece o número de veículos que vão ocupar a extensão  $D_1$  e o segundo, o comprimento médio de fila para todas as faixas na fase  $i$  no estágio  $k$ .



**Figura 3.3.2.2**

O *tempo máximo de verde* deve permitir o atendimento de condições de saturamento. Pode ser adequado às variações que ocorrem ao longo do dia, tais como, o pico da manhã, o pico da tarde, os horários entre picos, os períodos noturnos e domingos ou feriados. A figura seguinte mostra condições de fluxo associadas a detectores de veículos.

A maior parte das literaturas sobre ESTRATÉGIAS DE CONTROLE não considera atrasos nas programações dos ônibus, quando tratam das condições de decisão, quanto à sinalização semaforica, na sua priorização em relação aos fluxos de tráfego. Portanto, nesses casos, a decisão de mudança de fase pode não estar otimizada. Isso pode ser retificado pela adoção de um *Índice de Desempenho (PI)* com condições de avaliar os efeitos de cada decisão. Com vistas a esse novo parâmetro, são considerados nessa análise: demora de passageiros –  $C_{pd}^i$ , demora dos veículos -  $C_{vd}^i$ , e demora em rela-

ção à programação (schedule) feita -  $C_{sd}^i$ . Em uma intersecção de múltiplas fases, o valor  $PI$  é baseado na soma dos  $PI^i$ , das várias fases "i" em competição, dentro do conjunto  $H$ .

$$PI = \sum_{i \in H} PI^i \quad (\text{equação 7})$$

Cada  $PI^i$  representa a soma que resulta dos fatores devidos a decisões de controle de semáforo, que consideram demoras devidas a passageiros ( $C_{pd}^i$ ), devidas a veículos ( $C_{vd}^i$ ) e falhas que ocorrem nas programações feitas ( $C_{sd}^i$ ). O Índice de Desempenho é fundamentalmente uma média ponderada das condições de demora dos passageiros, veículos e da programação prevista, em que os pesos estão associados aos custos unitários de cada uma das categorias de demora. Esses custos devem ser determinados caso a caso. Na forma analítica, teremos a seguinte equação:

$$PI^i = c_p C_{pd}^i + c_v C_{vd}^i + c_{bs} C_{sd}^i ; (\text{equação 8})$$

ONDE :

$c_p \Rightarrow$  custo da unidade de tempo por atraso de passageiro;

$c_v \Rightarrow$  custo da unidade de tempo por atraso de veículo;

$c_{bs} \Rightarrow$  custo da unidade de tempo por atraso na programação do ônibus.

Se  $PI$  for negativo, a decisão tomada com prioridade para os ônibus não terá sido favorável para a intersecção e deve ser alterada. Se  $PI \geq 0$ , então o verde em curso pode ser estendido por um tempo  $T$  (segundos). Deve-se mencionar que, se uma seqüência de ações em conexão e seqüência são tomadas com base no índice  $PI$ , sem que se resguarde tempo mínimo de verde, sendo  $PI < 0$ , o sistema poderá mudar para o vermelho, mesmo que a fila no verde ainda seja longa. O verde mínimo pode não ser necessário para a nova fase de verde. A nova fase de vermelho, no entanto, deverá aguardar que se cumpram os tempos de verde mínimo. Isso pode levar a atrasos e congestionamentos. Entretanto, para obtenção de eficiência operacional, é essencial que a fila em espera seja descarregada minimamente em uma determinada extensão. Isso pode ser obtido fazendo-se a descarga de uma fila média.

## **Segundo Caso: Sistema Prioritário aos Ônibus, Integrado a Controle de Semáforos, com Utilização de Informações AVL**

No caso anterior, o sistema emprega detectores de ônibus para identificá-los em meio à miscelânea dos veículos formadores da corrente de tráfego.

Porém, com a rápida emergência do AVL como ferramenta para gerenciamento dos transportes, os atrasos devidos aos passageiros, veículos e programações, foram adequados para ônibus, em posições que não atingiram os detectores de jusante. No caso anterior, sem as informações AVL, o modelo não consegue prever demoras para os passageiros desses ônibus.

As informações vindas do AVL permitem que o modelo básico anteriormente exposto receba aprimoramentos, tais como, o conhecimento e avaliação de demoras prováveis, mesmo se a fila se estender além do detector a 36,60 m ou mesmo do detector anterior.

A figura A apresenta os principais elementos de um controle adaptativo sob ambiente AVL. Nos processos de controle, a exemplo da versão anterior, a informação em tempo real vinda dos detectores, é usada para estimar os fluxos de chegada e descarga e, conseqüentemente, os comprimentos das filas de carros de passageiros, baseados no estado de sinal existente e índices de formação de filas.

AVL identifica os ônibus e assim fornece informações essenciais para estados de preferência dos ônibus, no Módulo de Índice de Desempenho. As funções do AVL e da análise do Módulo das Filas de Ônibus são descritas. Os demais módulos são idênticos aos do caso anterior.

O sistema AVL elimina incertezas sobre chegadas de ônibus; localiza-os exatamente e permite observações acuradas sobre afluxos para carregamento de filas.

As seguintes informações podem ser usadas no Módulo de Computação de Comprimento de Filas e no Módulo do Índice de Desempenho:

1. Número de Ônibus no Trecho Controlado;
2. Localização de cada Ônibus;
3. Número de Passageiros dos ônibus;
4. Estado do Ônibus em Relação à sua Programação;
5. Velocidade do Ônibus.

**O Módulo para Cômputo de Comprimento de Fila**, os ônibus competindo por prioridade, segundo condições de atrasos de passageiros, das programações e veículos no Módulo de Índice de Desempenho, são determinados da maneira seguinte:

1. Número de veículos nas filas são fornecidos pelas informações AVL;
2. Os ônibus que se encontram aquém das filas são também incluídos no **PI**, caso eles possam ser acrescentados a ela, em uma fase seguinte, i.e., em **T** segundos.

Podem ser determinadas velocidades de ônibus antes de atingirem as filas e por meio dessa informação, saber se vai ou não engrossá-las. Os tamanhos de fila são determinados em cada fase.

Nesse processo, como na versão anterior, as informações em **tempo real**, advindas dos detectores de veículos, são usadas para estimativas de fluxos de chegada e descarga. **AVL** facilita a identificação dos ônibus, dando informações essenciais para as decisões.

## **LÓGICA DE CONTROLE - SUMÁRIO**

A lógica do controle é resumida a seguir:

- I. No estágio  $k$  e fase  $i$ , o sistema verifica os tempos mínimo e máximo de verde;



- IV. Ônibus aguardando por prioridade é considerado, com ausência de **AVL**, se detectado a 36,60 m e, portanto, próximo à linha de retenção. Na presença de **AVL**, será considerado, caso esteja numa região, na qual irá se juntar à fila em um tempo **T**, dentro de um estágio de controle.
- V. Verifica o benefício de estender o verde, nas condições de **PI** propostas;
- VI. Se **PI**  $\leq 0$ , a priorização não será favorável à intersecção e outra decisão deverá ser tomada. Caso contrário, o tempo de verde será estendido por **T** segundos.
- VII. O controle lógico faz uso das condições em TEMPO REAL do tráfego ao invés de estratégias preestipuladas. Nas condições expostas, fica intrinsecamente estabelecido que nenhuma parada de ônibus poderá estar entre o detector a 36,60 m e a linha de retenção.

### **Exemplo Ilustrativo**

Experiências de **SI MULAÇÃO** feitas avaliaram a eficiência dos sistemas sob várias condições de tráfego. Todo fluxo foi gerado pelo software **TRAF - NETSIM**.

Apresentaremos breve resumo desse estudo de Simulação.

A inserção de dados e os resultados obtidos com essa tecnologia é que permitirão conclusões que confirmam a veracidade das equações estudadas e sua proximidade das realidades no campo.

#### **Conceituação Utilizada:**

A rede estabelece uma extensão de 305 metros, com duas faixas de tráfego em cada direção e uma parada de ônibus localizada a 183 metros a partir da linha de retenção. Não há baias para os ônibus.

Como facilidade para o funcionamento do sistema proposto, a detecção foi feita pela instalação dos laços às distâncias de 36,60 metros e 289,75 metros, por faixa em

cada uma das direções. O semáforo é de duas fases, permite conversões à esquerda, verde mínimo de 15 e máximo de 60 segundos, com 3 segundos de amarelo.

Foram simuladas duas rotas e os dados experimentais coletados após 10 minutos do início da operação e durante 90 intervalos de tempo, cada um, com 3 segundos de duração. Os volumes de tráfego variaram entre 300, 500 e 1000 vphpl (*veículos por hora por faixa*). A descarga média dos ônibus foi adotada de 180 segundos (20 ônibus/hora) e 120 segundos (30 ônibus/hora). Adotou-se volume constante de entrada do tráfego, pois, o propósito do experimento é testar o modelo. Na ausência de **AVL** são usados os seguintes parâmetros de medidas de tráfego, obtidos do NETSIM:

1. Tamanho da fila no início do experimento;
2. Número de passageiros dos carros que chegam, a partir das informações advindas dos detetores próximos (36,60 m) e distantes (289,75 m) da linha de retenção;
3. Número de chegadas, dadas pelo detector a 36,60 m, para incluir os ônibus na função prioridade e estimar o tamanho das filas.

Os ônibus no presente exemplo vão competir pela prioridade, apenas se detectados pelos laços localizados a 36,60 m. O número médio de passageiros em cada ônibus foi estimado em 15 pessoas com desvio padrão de 2,5. Atraso de programação foi assumido entre 0 e 10 minutos, uniformemente. Quando usado o AVL, a presença dos ônibus será indicada por ele e o sistema vai agir com informações mais abrangentes.

## **Avaliação do Desempenho**

Baseado nos dados obtidos foram empregados os seguintes procedimentos:

### **1. Comparativo entre Controle Adaptativo e Atuado**

O desempenho foi testado com base nas somas dos tamanhos de fila que resultaram a cada 3 segundos (duração de cada passo considerado no modelo), na intersecção toda, em 90 passos. Como **NETSIM** não inclui prioridade para ônibus, o modelo foi

visto sem esse efeito e com atuação para automóveis nos volumes de 500 e 1000 vphpl e média de tempo de chegada dos ônibus de 180 segundos.

## 2. Controle Adaptativo com e na Ausência de Prioridade

Analisada a efetividade do controle adaptativo sem priorização, o objetivo era estudar o desempenho do modelo proposto. Foi então computada a demora de passageiros em 90 passos de tempo, na intersecção, como resultado do controle de semáforo, com e sem prioridade para ônibus, para os passageiros dos carros, nos volumes de carros de 300, 500 e 1000 vphpl e os ônibus demorando 120 ou 180 segundos para chegar. Discussão de Resultados:

### (a) Na Ausência de AVL,

a lógica de controle adaptativo mostra resultados superiores aos de controle atuado, conforme as simulações do NETSIM. Os resultados do Controle Adaptativo, mesmo sem considerar especificamente a operação dos ônibus, são superiores ao Controle Atuado, sob quaisquer condições de tráfego. Os resultados demonstraram, ainda, que o modelo proposto funciona melhor sob condições de volumes de tráfego moderados, perdendo efetividade, sob congestionamentos crescentes. O desempenho do algoritmo, utilizando-se o segundo critério, nos 90 passos para a lógica de Controle Adaptativo com e sem priorização, está listado na tabela 3.3.2.1 para várias situações.

Volume de Tráfego (vphpl)	Tempo Médio de Chegada dos Ônibus (Seg)	% de acréscimo na demora para o modelo sem priorização
300	180	85,00
300	120	81,10
500	180	45,34
500	120	33,88
1000	180	1,37
1000	120	7,46

**Tabela 3.3.2.1 Comparativa sem AVL**

Como pode ser visto, o modelo com acionamento para os ônibus é bastante superior àquele sem atenção especial aos ônibus, em todas as condições de volume.

Para volumes de 300 vphpl, com chegadas a cada 120 ou 180 segundos, o algoritmo, sem priorizar ônibus, chega a provocar demoras entre 80% e 90% superiores aos que o priorizam. Para volumes de tráfego em torno de 1000 vphpl, nas mesmas condições de chegada dos ônibus, essa superioridade fica em numa faixa que varia de 1% a 10%.

Os decréscimos no benefício, quando o estado do tráfego é de congestionamento, ocorre porque, além das condições desfavoráveis de movimentação, passageiros nas filas de ônibus, em pequena quantidade, competem pela prioridade, com longas filas de carros.

#### (b) Sistema Adaptativo Com Uso de Informação AVL

A demora total dos passageiros para a lógica adotada é indicada na tabela 3.3.2.2, na qual fica demonstrada a superioridade do modelo com função de priorizar ônibus sobre as condições de não priorizá-lo, para todas as condições do tráfego.

Volume de Tráfego (vphpl)	Tempo Médio de Chegada dos Ônibus (Seg)	% de acréscimo na demora para o modelo sem priorização
300	180	71,03
300	120	64,23
500	180	12,11
500	120	5,80
1000	180	15,41
1000	120	3,04

**Tabela3.2.2 - quadro comparativo com AVL**

## Conclusões

Os estudos de pré-sinais e do controle adaptativo integrado, ambos, levam a concluir que sua aplicação melhora o desempenho dos tempos de percurso dos ônibus, pois, em quase toda condição, reduz sua espera nos semáforos. Foram estudados os fluxos concorrentes e a priorização é determinada evitando penaliza-los, não dificultando outros sentidos do tráfego. Espaços do leito viário são ocupados pelos veículos circulantes, sem distinção e sem exclusividade, como "*faixas exclusivas para ônibus*" ou outras formas de priorização incondicionais, por produzirem, quase sempre, resultados indesejáveis ao transporte feito pelos não - privilegiados. A tabela 1.1 mostra tendências na Região Metropolitana de São Paulo, onde a viagem diária motorizada tem no transporte individual um dos principais componentes.

O estudo objetiva a melhora do número transportado de passageiros/km/hora e considera que os ônibus, pela quantidade de pessoas que carrega ou pelo seu potencial de carregar, sejam priorizados em relação aos demais veículos na travessia de semáforos. Os espaços do leito viário são disponibilizados a todos os veículos, sem exceção, porém, a engenharia de tráfego terá ferramentas importantes, adaptáveis a variadas circunstâncias de uso. Sua condição funcional pode ser alterada sempre que necessário, sendo adequada a demandas relacionadas à quantidade ou tipo dos veículos, condições do leito carroçável etc. Sistemas de controle centralizado em tempo real utilizarão essas ferramentas em condições operacionais otimizadas, pois têm arquivos com informações que permitem adequações precisas e rápidas. Sistemas centralizados e com controle em tempos fixos também terão vantagens operacionais, pois, apesar de não admitirem atualizações remotas, seus arquivos de informações permitirão a programação de controladores, inclusive com variações ao longo do dia (se necessário), que trarão benefícios aos fluxos priorizados. Intersecções isoladas também serão favorecidas pela aplicação das tecnologias expostas.

Os pré-sinais, tipos A e B, possibilitam estruturações adequadas, quando da

aproximação de veículos ao cruzamento em intersecções semaforizadas. O caso A sempre será favorável ao ônibus, pois a chegada ao cruzamento dos veículos comuns pode ser retida através de semáforo específico que antecede o principal localizado na intersecção e por canalização anterior que os posiciona nas faixas convenientes. Não é necessário que a via tenha faixa exclusiva para os ônibus. Essa canalização, se criada, ordena os veículos na caixa de chegada e deve ser dimensionada pela engenharia que vai considerar fatores como a distância entre essa intersecção e outra semaforizada, mais próxima, à montante, número de faixas de tráfego, geometria da via, volume e composição do fluxo principal, fluxos concorrentes etc. Pela própria definição funcional, o tipo A, ao favorecer os ônibus vai atrasar os demais veículos, inclusive os que trafegam na mesma direção. Esse efeito será balanceado pelos dimensionamentos feitos.

O pré-sinal categoria B apresenta desempenho favorável aos ônibus apenas sob parâmetros convenientemente dispostos, podendo sua implantação ser desfavorável. Cada local deve ser dimensionado e o exame analítico mostra que seu uso pode ser conveniente desde que a combinação de fatores intervenientes receba tratamento adequado. Sua aplicação pode ser viável em horários determinados e não ao longo de todo o período, o que reforça o uso de pré - sinais integrados a sistemas centralizados de gerenciamento de tráfego.

Para controle adaptativo integrado, foram formulados dois modelos com preferência para ônibus e controle das funções semaforicas, na presença e na ausência de tecnologia AVL. Não foi dada prioridade absoluta aos ônibus. Nessa modelagem, foram usados algoritmos em tempo real em lugar de estratégias preespecificadas, tipicamente utilizada nas lógicas mais convencionais de privilegiar ônibus. Segurança dos motoristas e pedestres e minimização dos tamanhos de fila foram fatores decisivos. As decisões de controle de semáforo se basearam no Índice de Desempenho.

Os dados experimentais comprovaram a superioridade do modelo de controle adaptativo proposto sem priorização sob a lógica simulada pelo **NETSIM**, em todas as

situações de tráfego. Mais ainda, os algoritmos com a função prioridade tiveram resultados favoráveis tanto na ausência como na presença de AVL. Pode-se concluir, portanto, que a lógica de controle proposta tem desempenho favorável, sob todos os estados de volumes de tráfego, em ambas as versões. Finalmente, deve-se deixar patenteado que este estudo tem como principal objetivo investigar a integração potencial de priorizar ônibus com condições de adaptatividade dos semáforos. Apesar de termos aqui uma condição restrita de aplicabilidade, pode-se extrapolar para condições de modelagem de rede, com uso do AVL, para projetar controle de sinais dentro de horizontes de tempo conhecidos.

O exame de uma outra condição de uso do AVL (Horxbury, 1999) mostra que o uso histórico de seus dados, na identificação de segmentos de rotas de ônibus, beneficia suas condições, pela determinação de locais ou trechos, onde ocorrem desvios de programação. Essa forma de análise usa os dados AVL para contar passageiros, calcular a razão de sua chegada nas paradas e estimar essas condições mensais ou anuais, além das velocidades dos ônibus entre paradas. A razão de chegada de passageiros pode ser usada para se avaliarem os tempos dispendidos nas paradas. Estimar uso de paradas com AVL é mais interessante em matéria de custos do que a vigília, que exige muita mão de obra.

O uso das informações AVL fornece resultados semelhantes aos demais, porém o conjunto de dados é superior a qualquer outro, sem acréscimo de custos. Companhias estão usando esses dados para obter em tempo real, informações localizadas, para controle de rotas e de passageiros. A função principal do AVL, que é relacionar informações em tempo real, de localização de ônibus, permite também aos controladores das rotas melhorar sua eficiência de trabalho. Com as informações fornecidas, podem ser criados registros das posições dos ônibus, ao longo dos dias, em intervalos de tempo que se deseje. Esses dados armazenados, mesmo que não sejam em tempo real, podem ser usados de várias formas. Citemos alguns exemplos:

- (a) As informações podem fornecer as regiões críticas dos trajetos, identificando setores nos quais os ônibus falham com frequência em suas programações;
- (b) Velocidades, trecho a trecho;
- (c) Podem ainda ser usadas para fornecer horários que usualmente têm longos intervalos (gaps) de serviço;
- (d) Avaliações estatísticas.

Esse conjunto de utilizações dentro dos universos de uso permite que haja reprogramações de operação, que podem ser dinâmicas, com reduções em custos operacionais e outros. Como citado neste trabalho, reduções de tempos de viagem, com conseqüentes diminuições das frotas, implicam em ganhos, de várias espécies, dentre os quais estão os financeiros. No entanto, **AVL** não pode fornecer informações, tais como, motivos de demoras, se ocorrem em virtude de interrupção da via, congestionamentos, acidentes ou outros. Essa informação deverá ser visual e poderá ser também facilmente obtida se tivermos, em funcionamento concomitante, um Circuito Fechado de Televisão – CFTV.

## **4 - ESTUDO DE CASO**

### **4.1 - Pré Sinais**

A priorização neste estudo, como já exposto, será com uso dos pré-sinais dos tipos A e B, levando-se também em conta os comportamentos do tráfego todo, sob as novas condições de trabalho. Serão examinados e testados situações e fluxos, ocorrentes na cidade de São Paulo, pelas equações referendadas em capítulo anterior. Os dados são de fluxos veiculares e tempos semafóricos, utilizados em importante corredor de tráfego, pela CET - São Paulo.

O objeto de análise será o cruzamento da Av. Professor Francisco Morato x Avenida dos Três Poderes. A Avenida Professor Francisco Morato, entrada/saída de rodovias entre o Sul do país e São Paulo, liga bairros densamente povoados e regiões centrais e apresenta movimentação diversificada de veículos, cada um deles, em volumes consideráveis. Os dados, fornecidos pela Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo - CTA - 5 (Controle de Tráfego em Área - 5), foram obtidos em contagens, na sua gestão em área sob controle de tráfego em tempo real. Não se levarão em conta situações anormais, ou seja, abalroamentos, enchentes ou outras. Serão abrangidas condições de pico de tráfego e situações menos carregadas, para que sejam examinados

comportamentos diante de variações dos fluxos, mantidas as condições geométricas da via.

Será anexada na íntegra, a programação usada para operar a intersecção em questão, pela Companhia de Engenharia de Tráfego - CET, de São Paulo, de cuja inserção faz-se breve relato de conteúdo. Composto de quatro laudas, o documento indica em sua primeira página, o local estudado, a geometria da via, das ruas convergentes, número de pistas de tráfego, estágios e fases, tipo de controlador em operação. Esse último, de fabricação nacional de última geração, permite trabalhos em central de tempos fixos ou de forma atuada, isoladamente em controle local, porém, sem possibilidade de ser conectado a software de tempos reais. Essa região da cidade controlada de forma centralizada e em tempos reais, tem difícil obtenção de peças de reposição para os controladores importados e instalados no projeto inicial encerrado em 1998. Salienta-se que os equipamentos tiveram baixa exigência para com o índice de nacionalização de componentes. Também, não existe nos controladores de tráfego no Brasil, de diferentes marcas, protocolo para uniformizar entrada de dados de operação, o que possibilitaria conexão a centrais de tempos (reais ou não) a equipamentos variados. Nos modos atuais, substituições serão sempre feitas pelo fabricante, pois não há similaridade entre marcas.

Nas folhas complementares, estão os planos semaforicos de 1 a 8, e as fases dos grupos semaforicos. Desconsideramos sábados e domingos, por terem pouco significado. Os fluxos selecionados correspondem aos planos de tráfego 1 ou 5. Na seqüência é feito o exame das equações dos sistemas de pré-sinais, sua avaliação e análise.





<b>GET</b>	<b>PLANOS SEMAFÓRICOS - FLEXCON III</b>	<b>NUMENC</b>	
	<b>FOLHA 2</b>		
RUE		UP ROTE	COD ORZAM
LOCAL Av. Prof. Fernando Pinato e Av. Dos Três Rios		SET	PER
DEPARTAMENTO CTAS	AUTOR DO PROJETO FLAVIO	AUTOR DA REVISÃO	APPROVAÇÃO ELIANA
		X EMISSÃO REVISÃO 12/07/01	

TABELA DE CORES DOS GRUPOS SEMAFÓRICOS																									
		INTERVALOS																							
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<b>GRUPOS</b>	1	V	A	R	R	R	R																		
	2	V	A	R	R	R	R																		
	3	V	A	R	R	R	R																		
	4	R	R	R	V	A	R																		
	5	V	A	R	R	R	R																		
	6	R	R	R	V	A	R																		
	7	V	A	R	R	R	R																		
	8	R	R	R	V	A	R																		
	9																								
	10																								
	11																								
	12																								
SEQUÊNCIA DE ENTRADAS		↓			Z																				

TABELA DE PLANOS																									
INTERVALOS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
TIPO			P	S	S																				
MODALIDADE			φφ		φφ																				
UP REGULAV. LOCAL																									

TEMPORIZAÇÃO																								
PLANO	MODAL.	CICLO	DETRAS.	DETRAS. MIN.	PERIODO																			
1					N																			
					m																			
2	φ	φφ	φφ	φφ	N	65	4	1	25	3	2													
					m																			
3	φ	φ	φ	φ	N	65	4	1	25	3	2													
					m																			
4	φ	φ	φ	φ	N	65	4	1	25	3	2													
					m																			
5	φ	φ	φ	φ	N	80	4	1	20	3	2													
					m																			
6	φ	φ	φ	φ	N	65	4	1	25	3	2													
					m																			
7	φ	φ	φ	φ	N	50	4	2	11	3	2													
					m																			
8	φ	φ	φ	φ	N	60	4	1	20	3	2													
					m																			

<b>Tempo</b>		<b>N</b> = tempo normal	<b>m</b> = tempo mínimo de sincronismo
--------------	--	-------------------------	----------------------------------------

Vol 0 - 518 171

figura 4.1.3 Planos Semafóricos

**TABELA HORÁRIA**

PLANO	DIA DA SEMANA							HORÁRIO			PLANO	DIA DA SEMANA							HORÁRIO		
	DOM	2ª	3ª	4ª	5ª	SAB	DI	HORA	MIN	SEG		DOM	2ª	3ª	4ª	5ª	SAB	DI	HORA	MIN	SEG
1		X	X	X	X	X	X	05	30	00											
2		X	X	X	X	X	X	09	00	00											
3		X	X	X	X	X	X	13	30	00											
4		X	X	X	X	X	X	14	00	00											
5		X	X	X	X	X	X	16	30	00											
6		X	X	X	X	X	X	20	30	00											
7								X	00	00	00										
8	X							08	00	00											
2	X							16	00	00											

**LEGENDA DE PROGRAMAÇÃO DO FLEXCON III**

CORES DOS GRUPOS		TABELA DE VERDES CONFLITANTES		RELÓGIO PRINCIPAL	
X = APAGADO	0	f = CONFLITANTE = C	VISOR	0 = CRISTAL	
R = VERMELHO	1	0 = NÃO CONFLITANTE = N		1 = FREQUÊNCIA DE REDE	
A = AMARELO	2	NÚMERO DO CONTROLADOR		TIPO DE INTERVALO	
V = VERDE	3				
r = VERMELHO PISCANTE	4	00 = ISOLADO		E = SECUNDÁRIO	+0
a = AMARELO PISCANTE	5	01 = REDE / MESTRE		P = PRINCIPAL	+1
v = VERDE PISCANTE	6	02 a 99 = REDE / ESCRAVO		SA = SECUNDÁRIO ALTERNATIVO	+2
MODALIDADE DO PLANO			MODALIDADE DO INTERVALO PRINCIPAL		
			00 = ATENDIMENTO OBRIGATÓRIO E DURAÇÃO FIXA		
01 = ISOLADO ATUADO			10 = ATENDIMENTO COM DEMANDA E DURAÇÃO FIXA		
02 = ISOLADO / ATUADO 2 (com sequência lógica)			11 = ATENDIMENTO COM DEMANDA E DURAÇÃO VARIÁVEL		
10 = SINCRONIZADO / FIXO					
11 = SINCRONIZADO / ATUADO					

Figura 4.1.4 – Planos Semafóricos

## APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA - TABELA 4.1.1

**Corredor - Avenida Francisco Morato**

**Dados de Fluxo - Fornecidos pela CET - São Paulo - GET 5 / CTA 5**

<i>hora</i>	<b>Bairro - Centro</b>							<b>Centro - Bairro</b>						
	<i>au -to</i>	<i>ônibus urb.</i>	<i>ônib. fretado</i>	<i>caminhão</i>	<i>moto</i>	<i>acumulado</i>	<i>equivalente</i>	<i>auto</i>	<i>ônibus urb.</i>	<i>ônibus fretado</i>	<i>caminhão</i>	<i>moto</i>	<i>acumul</i>	<i>equival</i>
<i>8,0 - 9,0</i>	1736	233	9	25	326	2329	2596	993	188	14	33	43	1271	1506
<i>17,0 - 18,0</i>	1305	167	28	19	114	1633	1847	1509	176	16	21	255	1977	2190
<i>pior hora</i>	3341	400	24	9	262	4036	4469							

existente - 3 pistas de rolamento/direção fluxo

simulação com 4 pistas

<b>Dados</b>		<b>B - C</b>		<b>C - B</b>			<b>B - C</b>		<b>C - B</b>	
		caso 1	caso 2	caso 1	caso 2	pior hr.	caso 1	caso 2	caso 1	caso 2
nº faixas p/ veic. não prioritarios	<b>Np</b>	2	2	2	2	2	3	3	3	3
nº faixas de parada no sinal principal	<b>Nm</b>	3	3	3	3	3	4	4	4	4
tempo de ciclo Normal (seg.)	<b>C</b>	125	80	125	80	125	125	80	125	80
Saturação de Faixa (veic/seg./faixa)	<b>S1</b>	0,72	0,51	0,42	0,61	1,24	0,72	0,51	0,42	0,61
demanda de veiculos não priorit.(veic/seg)	<b>Vd</b>	0,59	0,42	0,31	0,51	1,02	0,59	0,42	0,31	0,51
demanda de veiculos priorit.(veic/seg)	<b>Vdb</b>	0,13	0,09	0,10	0,10	0,22	0,13	0,09	0,10	0,10

1 -os movimentos pertinentes são aqueles na direção C-B e B-C, na Av. Professor Francisco Morato por um lado e os demais movimentos de outro lado, pois a análise a ser feita é referente aos fluxos dos ônibus nessa pista. Dessa forma, devem ser considerados nesse tipo de estudo, os movimentos na direção de fluxo de ônibus e os outros. No cruzamento em questão é exatamente isso que ocorre, mas, em casos de maior número de fases essa consideração permanece válida.

2 - Os valores de C, serão considerados com exclusão dos tempos de amarelo e vermelhos geral, pois esses estágios, que são extremamente necessários para a estabilização com segurança dos fluxos de tráfego, não são considerados na formulação de pré sinais. Assim, no trabalho teremos:  $C = C_{total} - TEMPO_{amarelos} - TEMPO_{vermelho\ geral}$

3 - Planos que serão estudados: Plano 1 para o caso 1 e Plano 5 para os casos 2 e 3, por serem essas temporizações utilizadas nos horários de fluxo analisados.

4- Anexo a esta os planos semafóricos - material fornecido por gentileza da CET - Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo, Gerência de Engenharia de Tráfego 5.

5- Volume Equivalente = autos + 2 \* ônibus + 2 \* caminhões + motos ( condição de trabalho utilizada pela CET - São Paulo)

FORMULAÇÃO ANALÍTICA		Corredor - Avenida Francisco Morato TABELA 4.1.2									
		B - C		C - B		B - C	B - C		C - B		
ITEM	FÓRMULAS	caso 1	caso 2	caso 1	caso 2	hr mais carreg	simulação p/: Nm=4; Np=3				
verde para interseção principal	$Gm=C(vd+vdb)/(S1Nm)$	41,67 <b>42</b>	26,67 <b>27</b>	41,67 <b>42</b>	26,67 <b>27</b>	41,67 <b>42</b>	31,25 <b>31</b>	20,00 <b>20</b>	30,51 <b>31</b>	20,00 <b>20</b>	
vermelho para interseção principal	$Rm = C - Gm$	83,33 <b>83</b>	53,33 <b>53</b>	83,33 <b>83</b>	53,33 <b>53</b>	83,33 <b>83</b>	93,75 <b>94</b>	60,00 <b>60</b>	94,49 <b>94</b>	60,00 <b>60</b>	
vermelho para pré sinal	$Rp = Rm[1-(vd/(S1Np))]$	49,15 <b>49</b>	31,49 <b>31</b>	52,07 <b>52</b>	30,95 <b>31</b>	49,06 <b>49</b>	68,14 <b>68</b>	43,53 <b>44</b>	71,25 <b>71</b>	43,28 <b>43</b>	
verde para pré sinal	$Gp=Gm+(VdRm)/(S1Np)$	75,85 <b>76</b>	48,51 <b>49</b>	72,93 <b>73</b>	49,05 <b>49</b>	75,94 <b>76</b>	56,86 <b>57</b>	36,47 <b>36</b>	53,75 <b>54</b>	36,72 <b>37</b>	
verde para pré sinal categoria B	$Gpb = Rm[1-(vd/S1Np)]$	49,15 <b>49</b>	31,49 <b>31</b>	52,07 <b>52</b>	30,95 <b>31</b>	49,06 <b>49</b>	68,14 <b>68</b>	43,53 <b>44</b>	71,25 <b>71</b>	43,28 <b>43</b>	
vermelho para pré sinal categoria B	$Rpb=Gm+(VdRm)/(S1Nm)$	64,46 <b>64</b>	41,23 <b>41</b>	62,51 <b>63</b>	41,59 <b>42</b>	64,52 <b>65</b>	50,46 <b>50</b>	32,35 <b>32</b>	47,94 <b>48</b>	32,54 <b>33</b>	
demora média dos ônibus na categoria A	$d(CA)= \{VdVdb(2RmC^2- RpRmC)+Vd^2(RmC^2- Rp^2Gm)+Vdb^2(RmGpC)\}/\{2C(Vd+Vdb)(CVd+GpVdb)$	39,33 <b>39</b>	25,17 <b>25</b>	39,40 <b>39</b>	25,17 <b>25</b>	39,33 <b>39</b>	43,42 <b>43</b>	27,78 <b>28</b>	43,96 <b>44</b>	27,76 <b>28</b>	
economia de tempo no pré sinal categ A	<i>variação</i> $d(CA)=(GmRp^2Vd^2)/\{2C(Vd+V$	2,33 <b>2,33</b>	1,49 <b>1,49</b>	2,27 <b>2,27</b>	1,50 <b>1,50</b>	2,33 <b>2,33</b>	3,46 <b>3,46</b>	2,22 <b>2,22</b>	3,29 <b>3,29</b>	2,24 <b>2,24</b>	
demora média dos ônibus na categoria B	$d(CB)= 1/2(2Rm+Gp-Rp)$	96,69 <b>97</b>	61,84 <b>62</b>	93,76 <b>94</b>	62,38 <b>62</b>	96,77 <b>97</b>	88,11 <b>88</b>	56,47 <b>56</b>	85,75 <b>86</b>	56,72 <b>57</b>	
economia de tempo dos ônibus na categ B	<i>variação</i> $d(CB)= 1/2(Rp-Rm-Gp)$	-55,02 <b>-55</b>	-35,18 <b>-35</b>	-52,10 <b>-52</b>	-35,71 <b>-36</b>	-55,11 <b>-55</b>	-41,23 <b>-41</b>	-26,47 <b>-26</b>	-38,50 <b>-39</b>	-26,72 <b>-27</b>	
demora média veíc. não priorit. c/ pré sinal cat. A	$dnp(CA)=\{RmC^2Vd^2+[Rp^2C+(2C+Rp)RmGp]VdVdb+RmGpCVdb^2\}/\{2C(Vd+Vdb)(CVd+GpVd$	42,18 <b>42</b>	27,00 <b>27</b>	42,42 <b>42</b>	26,95 <b>27</b>	42,17 <b>42</b>	47,64 <b>48</b>	30,48 <b>30</b>	48,31 <b>48</b>	30,44 <b>30</b>	
aumento de tempo dos não priorit. na categ A	<i>variação</i> $dnp(CA)= (Rp^2GmVdVdb)/\{2C(Vd+Vdb)(CVd+GpVdb)\}$	-0,51 <b>-1</b>	-0,33 <b>0</b>	-0,76 <b>-1</b>	-0,29 <b>0</b>	-0,50 <b>-1</b>	-0,76 <b>-1</b>	-0,48 <b>0</b>	-1,06 <b>-1</b>	-0,44 <b>0</b>	
demora média dos não priorit. pré sinal cat. B	$dnp(CB)= (RmVd+CVdb)/[2(Vd+Vdb)]$	45,41 <b>45</b>	29,08 <b>29</b>	46,87 <b>47</b>	28,81 <b>29</b>	45,36 <b>45</b>	49,70 <b>50</b>	31,76 <b>32</b>	50,97 <b>51</b>	31,64 <b>32</b>	
aumento de tempo dos não priorit. na categ B	<i>variação</i> $dnp(CB) = - (GmVdb)/[2(Vd+Vdb)]$	-3,74 <b>-3,74</b>	-2,41 <b>-2,41</b>	-5,20 <b>-5,20</b>	-2,14 <b>-2,14</b>	-3,70 <b>-3,70</b>	-2,82 <b>-2,82</b>	-1,76 <b>-1,76</b>	-3,72 <b>-3,72</b>	-1,64 <b>-1,64</b>	

Os resultados das equações, relacionando os volumes equivalentes com variáveis, como tempos de semáforos para o sinal principal, para o pré-sinal e suas consequências nos fluxos de ônibus e automóveis, nos levam a conclusões que passamos a comentar.

Verifica-se que dado um tempo de ciclo, os tempos de verde para o sinal principal não variam significativamente, por causa de mudanças dos volumes de veículos. Isso vai ocorrer simulando aumentos/diminuições no número de faixas de tráfego. Na verdade, o ciclo de verde para o sinal principal permanece constante, para condições fixas da geometria do leito carroçável. De forma geral, as proporções dos diversos tipos de veículos se mantêm aproximadamente constantes, pois não há transporte coletivo atrativo para que haja abandono do automóvel pelo ônibus, por mais incômodos que sejam os congestionamentos ou outras dificuldades de seu uso.

Fica evidenciado, também, que priorizar os veículos coletivos não necessariamente interfere de maneira significativa no tráfego não - prioritário ou concorrente. Os tempos de verde em relação ao sinal principal têm se mostrado pequenos se comparados com a extensão do ciclo, para obtenção de resultados favoráveis.

Da mesma forma que os tempos encontrados para os semáforos da intersecção principal, aqueles dos pré-sinais não mostram, também, grandes variações quando a geometria do leito carroçável não se altera, sendo pouco sensíveis às flutuações de volume. Essa condição demonstra que pode ser feita a otimização do uso de uma via, pois estabelecidos os parâmetros necessários, o engenheiro de tráfego optará por aumentá-los ou reduzi-los, conforme prioridades de cada local e horário.

Os modernos recursos, cada vez mais comuns nas cidades brasileiras, como o *Intelligent Transportation System*, sistemas de controles por imagens - *CFTV* e outros em tempo real, permitem adequação momento a momento do estabelecimento de pré-sinais, fazendo que seu uso possa ser adequado continuamente, pois permitem seu

acionamento ou modificação, conforme as condições de tráfego. O pré-sinal pode ser usado também em cruzamentos isolados, de forma bastante vantajosa. Os casos analisados mostram que os pré-sinais de categoria A desde logo proporcionam vantagens para os coletivos, ao contrário daqueles da categoria B, que têm maior intervalo de atuação negativa, sendo mesmo vedado seu uso em determinados locais. Dependem, portanto, de estudos mais detalhados para aplicação.

Uma vez demonstradas variações ou sua ausência, mediante das tabelas de equações para os pré-sinais, selecionaremos os casos: 1 direção C - B, 1 na direção B - C e a simulação para o caso 1 direção C - B, para análises mais detalhadas dos resultados obtidos. Esse procedimento busca tornar os resultados facilmente visualizáveis. As condições desprezadas para a formação das novas tabelas ocorrem por não apresentarem fatos diferentes ou significativos além daqueles contidos nesses exemplos, sendo repetições das situações caracterizadas nestes.

As variações mais significativas são o tempo total de ciclo e as pistas de rolamento disponíveis, no total e para os veículos não - prioritários. A hora mais carregada, que contém situações de fluxo extremas não mostra como podem ser vistas diferenças significativas em relação às demais e será também, por isso, não considerada nos passos seguintes.

<b>Tempos Semafóricos</b>				
<b>Situações Consideradas</b>	$R_m$	$G_m$	$R_p$	$G_p$
Caso1 / C- B	83	42	52	73
Caso 1 / B - C	83	42	49	76
Simul 1 / C - B	94	31	68	57

**Tabela 4.1.3**

<b>Tempo Ganho para Pré - Sinal Categoria A</b>			
<b>Situações Consideradas</b>	demora média dos ônibus	ganho de tempo	ganho em percentagem
Caso1 / C- B	39	2,27	5,8%
Caso 1 / B - C	39	2,33	6,0%
Simul. 1 / C - B	43	3,46	8%

Tabela 4.1.4

<b>Tempo para Pré Sinal Categoria B</b>			
<b>Situações Consideradas</b>	demora média dos ônibus	variação de tempo	em percentagem
Caso1 / B - C	97	-55	-131%
Caso 1 / C - B	97	-52	-116%
Simul. 1 / C - B	88	-41	- 87%

Tabela 4.1.5

<b>Tempo para Veículos Não - Prioritários na Categoria A</b>			
<b>Situações Consideradas</b>	demora média	variação de tempo	em percentagem
Caso1 / C- B	42	-1	-2,3%
Caso 1 / B - C	42	-1	-2,3%
Simul. 1 / C - B	48	-1	-2,0%

Tabela 4.1.6

<b>Tempo para Veículos Não - Prioritários para Categoria B</b>			
<b>Situações Consideradas</b>	demora média	ganho de tempo	ganho em percentagem
Caso1 / B - C	45	-3,74	-8,30%
Caso 1 / C - B	47	-5,20	-11,06%
Simul. 1 / C - B	50	-2,82	-5,64%

Tabela 4.1.7

<b>Situações Con-</b>	<b>Tamanho da Área de Avanço dos Ônibus</b>
<b>sideradas</b>	$L=(v_d+v_{db}) * r_m * H / N_m$ , H= 5,5 m - espaço de veículo (adotado)
Caso1 / C - B	110 ml
Caso 1 / B - C	62 ml
Simul. 1 / C - B	93 ml

Tabela 4.1.8

As condições analisadas mostram, para categoria A, sensível melhora nos tempos dos ônibus na travessia da intersecção considerada.

Fica também evidenciado que verde e vermelho dos pré-sinais e sinais principais são referendados aos tempos totais de ciclo e obedecem a relações que pouco variam em função das demandas. Outro fator preponderante é o número de faixas de rolamento, que para mesmos tempos de ciclo, apresentam variações percentuais significativas, pela maior oferta de espaços junto às áreas de avanço para ônibus e, portanto, seu acesso aos sinais principais e assim a melhores condições de travessia da intersecção semaforizada.

Levando-se em conta que trabalhamos com veículos equivalentes e que nessas considerações os ônibus têm peso 2, enquanto um automóvel ou moto tem ponderação 1, sendo sua capacidade de transporte muitas vezes maior que a do automóvel, podemos tecer rápida avaliação do quanto pode ser acrescida à capacidade das vias, desde que oferecidas condições atrativas de transporte, pelos veículos coletivos, com a possível troca do transporte individual pelos veículos coletivos. Faremos a seguir breve extrapolação.

Nas condições atuais de uso da via, se tomarmos como número base em horários entre picos, como hipótese, que o número de passageiros dos ônibus seja de 15 pessoas por unidade e usando-se a informação de melhoria de 6% de economia de tempo na travessia de determinado cruzamento, estaremos permitindo maior número

de ônibus trafegando na mesma unidade de tempo, com ganho superior ao de outros veículos em relação à quantidade de passageiros transportados.

Nessa proposição teríamos cada passageiro num único cruzamento se beneficiando em cerca de 2,33 segundos, que multiplicados pelo número adotado de pessoas, em média, por coletivo e pelo seu número em circulação no tempo de 1 (uma) hora, dará o ganho de tempo de viagem (acumulado) num só cruzamento, nesse período. Essa condição crescerá muito em horários de maior densidade do tráfego e o uso de pré-sinais em vários locais pode trazer benefício para uma ou mais rotas de ônibus, podendo agir numa soma de benefícios.

Para estudo das condições de uso dos pré-sinais categoria B, consideraremos como ponto de partida, a equação de demora média dos ônibus e correspondente variação do tempo de espera para atravessar uma determinada intersecção. Estarão fixadas as características geométricas da intersecção, o tempo total de ciclo e os tempos das fases intermediárias. Pelas equações, o uso desses pré-sinais implica em maiores tempos de verde para o sinal principal, com conseqüente redução do vermelho, já que os ciclos totais serão constantes. Serão menores tempos de vermelho para não - prioritários e maiores seus verdes, gerando também, uma relação adequada de tempos de verde e vermelho para o pré-sinal na faixa dos ônibus que serão tanto menores quanto maiores forem os sinais assemelhados da intersecção principal.

A equação de variação, economia ou aumento de tempo, dos ônibus em um pré-sinal categoria B que aqui repetimos,  $\Delta d(CB) = 1/2(R_p - R_m - G_p)$ , indica que uma vez mantido  $R_m$  constante, o engenheiro de tráfego pode variar os tempos  $R_p$  e  $G_p$  de forma a planejar os tempos de espera para ônibus em cruzamento controlado pelo método B. Conseqüentemente, haverá influências nas demandas dos veículos não - prioritários no mesmo sentido e fluxo e em todos os veículos dos fluxos concorrentes.

A engenharia de tráfego terá importante ferramenta de gerenciamento. Reiteramos que as técnicas modernas como ITS, CFTV e outras vão facilitar sua operação e otimizar o funcionamento.

#### FORMULAÇÃO ANALÍTICA - Pré Sinais Categoria B

fazendo: $R_m = cte$ ; $R_p$ crescente; $G_p$ decrescente		B - C		
ITEM	FÓRMULA	caso 1	caso 1	caso 1
verde para intersecção principal	$G_m = C(vd + vdb) / (S1Nm)$	41,67 <b>42</b>	41,67 <b>42</b>	41,67 <b>42</b>
vermelho para intersecção principal	$R_m = C - G_m$	83,33 <b>83</b>	83,33 <b>83</b>	83,33 <b>83</b>
vermelho para pré - sinal	$R_p = R_m[1 - (vd / (S1Np))]$	70,00 <b>70</b>	90,00 <b>90</b>	105,00 <b>105</b>
verde para pré-sinal	$G_p = G_m + (VdR_m) / (S1Np)$	75,85 <b>40</b>	72,93 <b>30</b>	22,00 <b>22</b>
verde para pré-sinal categoria B	$G_{pb} = R_m[1 - (vd / S1Np)]$	70,00 <b>70</b>	90,00 <b>90</b>	105,00 <b>105</b>
vermelho para pré-sinal categoria B	$R_{pb} = G_m + (VdR_m) / (S1Nm)$	64,46 <b>64</b>	62,51 <b>63</b>	64,52 <b>65</b>
demora média dos ônibus na categoria B	$d(CB) = 1/2(2R_m + G_p - R_p)$	68,33 <b>68</b>	53,33 <b>53</b>	41,83 <b>42</b>
economia de tempo dos ônibus na categ B	<i>variação</i> $d(CB) = 1/2(-R_m + G_p - R_p)$	-26,67 <b>-27</b>	-11,67 <b>-12</b>	-0,17 <b>0</b>
demora média dos não - priorit. pré-sinal cat. B	$d_{np}(CB) = (R_m Vd + C Vdb) / [2(Vd + Vdb)]$	45,41 <b>45</b>	46,87 <b>47</b>	45,36 <b>45</b>
aumento de tempo dos não - prioritários na categ B	<i>variação</i> $d_{np}(CB) = - (G_m Vdb) / [2(Vd + Vdb)]$	-3,74 <b>-3,74</b>	-5,20 <b>-5,20</b>	-3,70 <b>-3,70</b>

Tabela 4.1.9

As variações demonstram decréscimo nas condições negativas para os ônibus nos pré-sinais categoria B e que, se alterando de forma conveniente, o engenheiro de tráfego pode obter resultados positivos para o fluxo de passageiros. A conclusão é ser o pré-sinal importante ferramenta para o engenheiro de tráfego, permitindo corredores monitorados com favorecimento aos veículos coletivos, de forma conveniente e adequada para cada local e suas demandas.

## 4.2 - Priorização de Ônibus, Integrado a Controles de Semáforos, Sem Informações de Localização Automática de Veículos

Este estudo amplia condições de controle, em relação ao anterior dos pré-sinais e prevê ações moduladas na prioridade de passagem para os ônibus. Estar-se-á introduzindo o conceito físico e funcional dos laços detectores de veículos, que aqui, associados a conjuntos de módulos de análise e decisão, segundo parâmetros estabelecidos previamente, permitirão acionar, nos cruzamentos, controladores de trânsito, modificando tempos de semáforo para melhor desempenho na passagem dos veículos coletivos de passageiros. O estudo examinará 1 (uma) intersecção isoladamente, testando, segundo dados disponíveis, condições de fluxos na cidade de São Paulo. O objeto será a Av. Professor Francisco Morato x Rua Alvarenga, com dados fornecidos pela Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo - CTA - 5 (Controle de Tráfego em Área - 5). Esse local é ligado ao posto de observação e contagem nº 1, localizado entre Avenida Lineu de Paula Machado e Rua Professor Carlos Ferreira.

A estratégia de trabalho identifica caminhos diferentes e cria processos interativos para oferta de prioridade dos ônibus. As condições, a partir de um *estágio k - fase i*, levam ao exame do tempo de verde já decorrido que, sendo inferior ao máximo e superior ao mínimo, verifica a existência de ônibus solicitando prioridade. Se houver um ou mais, ou mesmo não existindo ônibus, nessa fase, na caixa de aproximação do semáforo, será testado o *desempenho do sistema (PI)*, de forma a verificar sua condição ótima ou não. Caso a otimização exista, se dará extensão de verde atualizando os tempos  $U(k)$ , propiciando aos ônibus preferência para passar o cruzamento. Se não existir a *condição ótima*, será encerrado o tempo de verde e o ciclo se repetirá. Não existindo essa condição, de  $U(k)$  estar entre  $G_{min}$  e  $G_{max}$ , as ações serão conduzidas através de dois caminhos ao início, com nova situação de estágio e fase, repetindo-se os exames que levarão a priorizar, ou não, os ônibus.

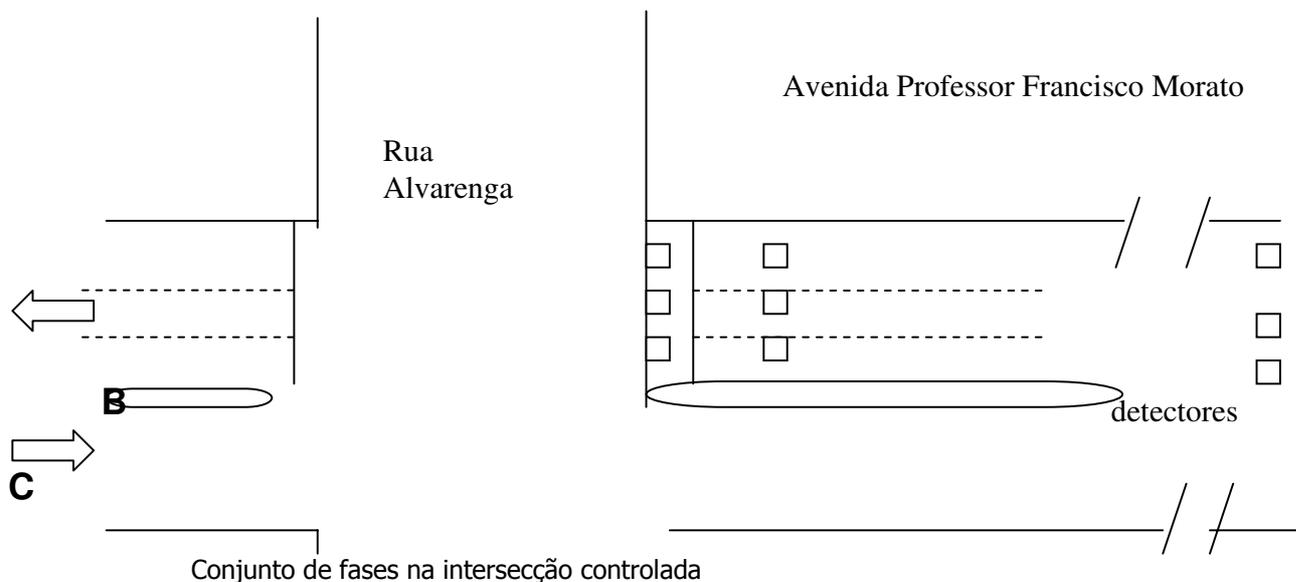


Introduz-se a programação usada pela CET - São Paulo, em três laudas, da intersecção referendada. A exemplo da anterior, dos pré-sinais, os dados são similares e ela se compõe, de três fases semaforicas ajustadas segundo 6 (seis) planos de tráfego, que operam em diferentes horários entre 2ª feira e sábado. São, também, introduzidas condições do tráfego, em dois períodos de 1 (uma) hora, sentido Centro - Bairro, entre 7 e 9 horas da manhã. Medição feita no dia 21 de Agosto de 2000 para trecho entre Av. Francisco Morato x R. N. Sra. Do Caminho

APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA							
Corredor - Avenida Francisco Morato x Rua Alvarenga							
Dados de Fluxo - Fornecidos pela CET - São Paulo - GET 5 / CTA 5							
Centro - Bairro							
hora	auto	ônibus urbano	ônibus fretado	caminhão	moto	acumulado	equivalente
7,0 - 8,0	2001	185	35	17	61	2299	2536
8,0 - 9,0	1556	202	17	15	73	1863	2097

Tabela 4.2.1

Figura 4.2.2



## NOTAÇÕES UTILIZADAS

$H$	Conjunto de fases na intersecção controlada
$P^i$	Conjunto de faixas de rolamento, na fase $i$
$Q_i^j(k)$	Tamanho estimado da fila na etapa $k$ , fase $i$ e faixa $l$ de rolamento
$A_i^j(k)$	chegadas assinaladas pelo detector próximo à linha de retenção na etapa $k$ , fase $i$ e faixa $l$
$d_i^j(k)$	Fluxo de descarga na faixa $l$ , etapa $k$ , fase $i$
$q_{l,d}^j$	Fluxo na faixa $l$ recebido pelo detector de jusante, estágio $k$ e fase $i$
$a_{l,i}^j(k)$	Chegadas na faixa $l$ , sobre detectores de jusante no estágio $k$ e fase $i$
$T$	Tempo (segundos) de duração de ciclo
$S_{l,g}^i$	Razão de saturação para tempo de verde na faixa $l$ , fase $i$
$S_{l,y}^i$	Razão de saturação para tempo de amarelo na faixa $l$ , fase $i$
$\xi$	1 se fase $i$ tiver conexão com final do estágio $k$ ; 0 em qualquer outra situação
$\phi^j(k)$	0 se o estado do sinal for verde para fase $i$ e estágio $k$ ; 0 em qualquer outra situação
$PI$	Índice de Desempenho
$U^j(k)$	Tempo de verde já usado pela fase $i$ no estágio $k$
$G_{min}^i$	Verde mínimo (segundos) para fase $i$
$G_{max}^i$	Verde máximo (segundos) para fase $i$
$t_{sd}^p$	demora para partida de carros de passageiros (segundos)
$t_{sd}^b$	demora para partida de carros de ônibus (segundos)
$L_v$	Tamanho médio dos veículos
$S_d$	Distância entre veículos
$q_s^j$	Razão de saturação por faixa (vphpl)
$q_{l,u}^j(k)$	fluxo na faixa $l$ , detectado pelo detector à montante no estágio $k$ , fase $i$
$q_{l,d}^j(k)$	fluxo na faixa $l$ , detectado pelo detector à jusante, no estágio $k$ , fase $i$
$B_i^j(k)$	número de ônibus detectados na faixa $l$ , estágio $k$ , fase $i$
$P_{j,i}^j$	número de passageiros em um ônibus $j$ , faixa $l$ , estágio $k$ , fase $i$
$PQ_i^j(k)$	fila estimada de carros de passageiros na faixa $l$ , estágio $k$ , fase $i$
$R_{ik}$	tempo mínimo de espera fase $i$ de verde
$AR^i$	tempo de vermelho para fase $i$ (segundos)
$Y^i$	tempo de amarelo para fase $i$
$D_{j,i}^j(k)$	retardo na programação para ônibus $j$ , faixa $l$ , fase $i$ , para fim do verde – estágio $k$
$D_{j,i}^{j''}(k)$	demora total para ônibus $j$ , faixa $l$ , fase $i$ , para extensões de verde do estágio $k$
$F_{j,i}(k)$	número de veículos antes do ônibus $j$ , faixa $l$ , estágio $k$ , fase $i$
$n_p$	Nº médio de passageiros nos carros de passeio
$SD_{j,i}^j(k)$	Retardo na programação do ônibus $j$ , na faixa $l$ , estágio $k$ , fase $i$

CET	PROGRAMAÇÃO DE CONTROLADOR FLEXCON III		NUMERO	
	FOLHA 01			
LOCAL	VALOR	COORDENAD	FOUR	
Av. Prof. Francisco Morato e R. Alvarado	5	B+	Q. 013	
DEPARTAMENTO	AUTOR DO PROJETO	AUTOR DA REVISÃO	APROVAÇÃO	Y EMISSÃO REVISÃO 13/05/03
CTA-S	Alvares			

DIAGRAMAÇÃO DE ESTÁGIOS			
1	2	3	4
5	6	7	8

criar uma referência gráfica

PROGRAMA BÁSICO												
S E N A R I O	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
	01	14	C									
	02		C									
	03											
04												
05												
06												
07												
08												
09												
10												
11												
12												

GRUPOS	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
COR PISCANTE	2	A	0									
VERDE DE SEGURANÇA	6	6	6									

Nº NA REDE	RELÓGIO PRINC.	Nº DE GRUPOS
	Elétrica	2

figura 4.2.3 - Estágios e Fases

<b>CET</b>	<b>PLANOS SEMAFÓRICOS - FLEXCON III</b>		NÚMERO		
	FOLHA 2				
TÍTULO		IPRIDE	COO C/UTAM	FOUR	
LOCAL		DET	SEC	RS	
Av. Prof. Francisco Mota, s/n. Alvorada		5	34	Q-013	
DEPARTAMENTO	AUTOR DO PROJETO	AUTOR DA REVISÃO	APROVAÇÃO	X EMISSÃO REVISÃO	
CTP-5	Ricardi			13/05/03	

		TABELA DE CORES DOS GRUPOS SEMAFÓRICOS																								
		INTERVALOS																								
GRUPOS		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
	1	V	A	R	R	R																				
	2	V	A	R	R	R																				
	3	R	R	V	A	R																				
	4																									
	5																									
	6																									
	7																									
	8																									
	9																									
	10																									
	11																									
	12																									

		TABELA DE PLANOS																							
		INTERVALOS																							
INTERVALOS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
TIPO		P	S	P	S	S																			
MODALIDADE		CO		CO																					
SEQUÊNCIA LÓGICA																									

		TEMPORIZAÇÃO																											
		PLANO	MODAL	SELO	DEFAS	DELO MAX	TEMPO																						
1	10	34		40	N	100	4	25	3	2																			
2	10	30		40	N	65	4	26	3	2																			
3	10	20		40	N	77	4	26	3	2																			
4	10	40		40	N	65	4	26	3	2																			
5	10	30		40	N	65	4	26	3	2																			
6	10	10		40	N	57	4	26	3	2																			
7	10	22		40	N	53	4	26	3	2																			
8	10	20		40	N	56	4	25	3	2																			

Tempo  
N = tempo normal      m = tempo mínimo de sincronismo

figura 4.2.4 - Planos Semafóricos

TABELA HORÁRIA																				
PLANO	DIA DA SEMANA							HORÁRIO			PLANO	DIA DA SEMANA							HORÁRIO	
	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	HCIA	MO	DES		DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	HCIA	MO
1	X	X	X	X	X	X		05	30	00										
2		X	X	X	X	X		09	00	00										
3		X	X	X	X	X		13	30	00										
4		X	X	X	X	X		14	00	00										
5		X	X	X	X	X		16	30	00										
6		X	X	X	X	X		21	00	00										
7							X	00	00	00										
8	X							08	00	00										
5	X							16	00	00										
6	X							20	00	00										

LEGENDA DE PROGRAMAÇÃO DO FLEXCOM III					
CORES DOS GRUPOS		TABELA DE VERDES CONFLITANTES		RELÓGIO PRINCIPAL	
X = APAGADO	0	1 = CONFLITANTE = C	WSOR	0 = CRISTAL	
R = VERMELHO	1	0 = NÃO CONFLITANTE = N		1 = FREQUÊNCIA DE REDE	
A = AMARELO	2	NÚMERO DO CONTROLADOR		TIPO DE INTERVALO	
V = VERDE	3	00 = ISOLADO		S = SECUNDÁRIO	-S
r = VERMELHO PISCANTE	4	01 = REDE / MESTRE		P = PRINCIPAL	-P
a = AMARELO PISCANTE	5	02 a 99 = REDE / ESCRAVO		SA = SECUNDÁRIO ALTERNATIVO	-SA
v = VERDE PISCANTE	6				
MODALIDADE DO PLANO			MODALIDADE DO INTERVALO PRINCIPAL		
00 = ISOLADO / FIXO			00 = ATENDIMENTO OBRIGATÓRIO E DURAÇÃO FIXA		
01 = ISOLADO ATUADO			01 = ATENDIMENTO OBRIGATÓRIO E DURAÇÃO VARIÁVEL		
02 = ISOLADO / ATUADO 2 (com seqüência lógica)			10 = ATENDIMENTO COM DEMANDA E DURAÇÃO FIXA		
10 = SINCRONIZADO / FIXO			11 = ATENDIMENTO COM DEMANDA E DURAÇÃO VARIÁVEL		
11 = SINCRONIZADO / ATUADO					

figura 4.2.5 - Planos Semafóricos

Apresentadas as informações do tráfego, far-se-á a avaliação de fila num instante de fluxo. Essa condição, para ser obtida, necessita de definições complementares, que estamos apresentando como dados do problema.

São instalados 3 conjuntos de detectores para os ônibus, a saber:

- ♦ O primeiro deles a cerca de 25,0 metros da faixa de retenção;
- ♦ Segundo a montante da intersecção e 15,0 metros da intersecção anterior;
- ♦ O terceiro, na faixa de retenção, para determinar as partidas do ônibus.

A consideração inicial em nossos estudos será a estimativa de fila  $Q_l^i(k+1)$ .

Essa, será o somatório da fila remanescente da fase semafórica anterior  $Q_l^i(k)$  mais a chegada de veículos, diminuídos os fluxos de descarga para o caso de sinal verde ou zero, se o semáforo estiver no vermelho.

Essa explicação se deve, pois consideraremos como aproximação, que a fila  $Q_l^i(k)$ , seja calculada no estágio anterior. Esse cálculo se dará, por meio das chegadas antes do verde da fase anterior, descontados os fluxos de descarga quando da abertura do verde do semáforo, acrescidos da continuação das chegadas durante esse mesmo período de tempo. No caso em estudo, a fase a ser considerada é a 1, com tempo total de ciclo de 144 segundos, sendo 100 de verde e 9 segundos para os ciclos intermediários, como amarelo ou vermelho total. Será necessária a determinação de verde mínimo.

Como não dispomos de recursos para exames das condições em tempo real, ou mesmo, segundo pequenos intervalos, mais convenientes, as hipóteses são formuladas na continuidade dos trabalhos. Os passos configurados serão os mesmos daqueles com medições em tempo real. As hipóteses consideradas são:

- ♦ Os dados de fluxo fornecidos são totalizados de hora em hora, condição inadequada para este processo interativo, no qual os intervalos de tempo se referem a 1 plano de tráfego e durações de fases e/ou estágios.
- ♦ Para utilizarmos os dados de fluxos totalizados, para condição didática, sua distribuição no tempo será considerada uniforme. Estaremos usando, por serem *veículos equivalentes*, dados que correspondem à média aritmética ponderada.
- ♦ A condição ideal seria efetuar medições em tempo real, para que as adequações fossem orientadas, conforme demandas instante a instante.
- ♦ O exposto, comparativamente, para efeitos didáticos adequados, cria 4 hipóteses no estudo das condições de prioridade. Isso, estabelecendo 4 (quatro) diferentes índices para fluxos de saturação ( $S_{l,g}^i$ ) dos tempos de verde.
- ♦ A adequação para  $S_{l,g}^i$  é conveniente, pois, esse índice, que depende da via (informação não disponível), mesmo pertinente, não poderia mostrar as variações que ocorrem em condições operacionais diversas. A adoção de diferentes índices para os fluxos de saturação tem finalidade didática.
- ♦  $C_{l,y}^e$ - índice para fluxos de saturação dos tempos de amarelo, não será considerado, pois, nesse tempo secundário dos semáforos, os fluxos de descarga serão inexistentes.
- ♦ Será feita a adequação de tempos de verde mínimo.
- ♦ Existirá tempo de verde máximo.

Na equação:

$$Q_l^i(k+1) = \max\left\{Q_l^i(k) + A_l^i(k+1) - d_l^i(k+1); 0\right\}$$

$$\forall l \in P^l; \forall P^i \in i; \forall i \in H$$

Não será considerada, como instância inicial, fila residual de estágio anterior a  $Q_l^i(k)$ . A partir dessa hipótese, calcularemos pelas demandas, fila formada no vermelho e no amarelo e sua redução no tempo de verde. Assim, a análise levará em consideração um ciclo todo, a partir do qual determinaremos o valor de  $Q(k+1)$

## ANÁLISE DE FILAS - CONSIDERADOS CICLOS COMPLETOS

determinação da fila do ciclo anterior - fazendo 1º termo da equação

$$Q(k) = 0; \text{ fila} = \max. A(K+1) - d(k+1)$$

CÁLCULO DE A(K+1) - Carregamento da Caixa do Semáforo

Hora de contagem	N	veic/hora	veic/seg	Tverm	Tamarel	Tverm. Geral	Tverde	nº veic.	proporção ônibus	Nº de ônibus	nº veic/faixa
7,0 - 8,0	3	2.536	0,70	35,00				24,66	0,1028	2,53	8,22
	3	2.536	0,70		4			2,82	0,1028	0,29	0,94
	3	2.536	0,70			5		3,52	0,1028	0,36	1,17
	3	2.536	0,70				100,00	70,44	0,1028	7,24	23,50
<b>carregamento TOTAL (VEIC.)</b>								<b>101</b>		<b>10</b>	<b>34</b>
Tabela 4.2.2											

$$d_l^i(K) = T \left[ 1 - \phi^i(k) \right] \left\{ S_{l,g}^i \left[ 1 - \xi^i(k) \right] + S_{l,y}^i \xi^i(k) \right\} + T S_{l,g}^i \xi^i(k) \phi^i(k)$$

Em d(k) adotaremos vários valores para S<sub>l,g</sub><sup>i</sup> para os fluxos ocorrentes de forma a examinar (para efeito didático) situações diversas.

CÁLCULO DE $d_l^i(K)$ (Usaremos três ciclos seqüentes)													
S <sub>l,g</sub> <sup>i</sup>	1º ciclo					2º ciclo (seqüencial)					3º ciclo (seq.)		
	Tverde	descarga total/faixa	fila existente/faixa	fila remanescente (veic/faixa)	ônibus retidos	fila inicial/faixa	fila formada durante o ciclo	Fila total	descarga total/faixa	fila remanescente (veic/faixa)	ônibus retidos	fila remanescente (veic/faixa)	ônibus retidos
1,24	100	41	34	0	0	0	34	34	41	0	0	0	0
0,98	100	33	34	1	0	1	34	35	33	3	0	5	2
0,91	100	30	34	4	0	4	34	38	30	7	2	15	4
0,84	100	28	34	6	1	6	34	40	28	12	4	24	8
0,70	100	23	34	11	1	11	34	45	23	21	7	43	12

Tabela 4.2.3

A tabela mostra tendências no transcorrer dos ciclos, com chegadas distribuídas homogeneamente durante o período de contagem (1 hora). Essa premissa não corresponde à realidade, porém é condição didática a ser utilizada. Utilizaremos, como indica-

do na tabela, escolha dos dados que serão usados na continuação do estudo (linha hachurada).

O estado do sinal ( $\phi^i$ ) é um binário. O primeiro termo da equação representa a decisão de controle no final do estágio ( $k-1$ ) e o segundo termo trata do estado do sinal na fase  $i$ , com valores ( $\phi^i$ ) de 0 (zero) ou 1 (um).

O exame do verde decorrido pode levar a que ele seja acrescido em  $T$  segundos, ou então, reduzido a zero. As condições se verificarão com base na decisão de controle tomada.

$$G_{\min}^i = t_{sd}^p + \left( \max \left\{ \left( \frac{D_1}{L_v + S_d} + 1 \right), t_l^{avg} Q_l^i(k) \right\} \right) \left( \frac{3600}{q_s^l} \right)$$

Teremos:

$D_1 = 25,0$  ms (adotado);  $L_v = 6,0$ m (veículos equivalentes);  $S_d = 3,5$  ms,  $Q_l^i(k) = 15$  (adotado na tabela -  $S_{l,g}^i = 0,91$ ),  $t_{sd}^p = 3,5$  seg,  $q_s^l = 0,473$

$$G_{\min}^i \text{ condição adotada} = 29 \text{ segundos}$$

A posição dos laços em relação à faixa de retenção influi diretamente, pois, maior distancia implica em mais veículos detectados numa mesma fase para um mesmo fluxo, implicando em maiores  $G_{\min}$ . Cabe à engenharia de tráfego determinar as posições dos laços, para obtenção de prioridade conveniente, sem afetar o tráfego concorrente de forma significativa.

Determinado  $G_{amem}$ , faz-se a avaliação da função *DESEMPENHO (PI)*, para com a decisão a ser tomada. Essa será dada pelo somatório de condições diretamente correlacionadas com o tempo dos veículos, tempo dos passageiros e programações dos ôni-

bus estabelecidas previamente. Cada  $PI^i$  é a soma das condições devidas à decisão de controle de sinal para demoras de passageiros ( $C_{pd}$ ), demoras de veículos ( $C_{vd}$ ) e demoras nas programações dos ônibus ( $C_{sd}$ ).

$$PI = \sum PI^i = c_p C_{pd} + c_v C_{vd} + c_{bs} C_{sd}$$

A avaliação depende dos custos envolvidos para cada uma das condições e está além deste estudo, pois obedece a parâmetros não conhecidos e particulares para cada local ou situação. Adotamos para nossos cálculos que:  $c_p = c_v = c_{bs} = 1$ , ou seja, todos os elementos que compõem o cálculo de PI recebem a mesma ponderação (peso).

*Cálculo de  $C_{pd}^i$  - demora de passageiros*

$$C_{pd}^i = R^i(k) \sum_l \left[ n_p PQ_l^i(k) + \sum_{j=1}^{B_l^i(k)} P_{j,l}^i(k) \right] - T \sum_l \left[ n_p PQ_l^i(k) + \sum_{j=1}^{B_l^i(k)} P_{j,l}^i(k) \right]$$

O tempo mínimo de espera, numa fase, para um novo verde é dado pela seguinte equação:

$$R^i(k) = Y^i + AR^i + G_{\min}^i$$

*Cálculo de  $C_{vd}$  - demora de veículos*

$$C_{vd}^i = \left[ t_{sd}^p \left( \sum_l PQ_l^i(k) \right) + t_{sd}^b \left( B_l^i(k) \right) \right] - \left[ t_{sd}^p \left( \sum_l PQ_l^i(k) \right) + t_{sd}^b \left( \sum_l B_l^i(k) \right) \right]$$

*Cálculo de  $C_{sd}$  - demora de programação*

$$C_{sd}^i = \sum_l \sum_j D_{j,l}^i(k) - \sum_l \sum_j D_{j,l}^i(k)$$

$$D_{j,l}^i(k) = R^i(k) + t_{sd}^b + \left[ F_{j,l}^i(k) - d_l^i(k) + 1 \right] \frac{3600}{q_s^l} + SD_{j,l}^i(k-1)$$

$$D_{j,l}^i(k) = T + t_{sd}^b + \left[ F_{j,l}^i(k) - d_l^i(k) + 1 \right] \frac{3600}{q_s^l} + SD_{j,l}^i(k-1)$$

Os cálculos de aplicação das equações de avaliação do **PI terão** por médias, obtidos para o transporte por ônibus, pela SP Trans de São Paulo no ano de 2002. Os números não incluem informações de Dezembro, não disponíveis na data.

Passageiros transportados em 2002	971.442.305
Média diária de passageiros transportados	2.961.594
Média de passageiros transportados em dias úteis	3.579.437
Média de passageiros transportados aos sábados	2.038.706
Média de passageiros transportados aos domingos	1.202.200
Frota média em operação (ônibus)	9.314
Viagens realizadas - Total Geral	31.231.443
Viagens realizadas / dia / ônibus (≅ 31.231.443 viagens / 9314 ônibus*11 meses* 30 dias)	11
Passageiros/veículo/dia	378
Passageiros/veículo/viagem (média)	34
Número de passageiros em veículos não - prioritários***	1,2

Tabela 4.2.4

\*\*\* Adotado: dado de entidades públicas de São Paulo e Campinas.

Os dados são médias na cidade de São Paulo e não situações do corredor "Professor Francisco Morato". Essa condição é pertinente em nosso trabalho.

A intersecção considerada é monitorada por 2 estágios e 3 fases. Fases 1 e 2 controlam movimentos da Avenida Prof. Francisco Morato e saídas (direita e esquerda) para a Rua Alvarenga (diagrama de estágios e fases). Pela Rua Alvarenga, via secundária, não trafegam linhas regulares de ônibus, escopo deste estudo e, portanto, nossa atenção fica apenas para movimentos da Av. Prof. Francisco Morato. Nossa intersecção tem uma só direção e dois sentidos de movimento dos ônibus. Caso houvesse maior número de movimentos, teria que avaliar cada  $PI^i$ . Nota-se, portanto, que esses estudos devem ser feitos de forma individualizada, pelas particularidades existentes, em virtude de quantidades e qualidades dos fluxos em vias concorrentes, coordenando-se a multiplicidade de estágios e fases. Reportamo-nos à teoria já exposta, de supressão de fases, se conveniente.

## CÁLCULO DE PI

- o *Cálculo de  $C_{pd}^i$*  - demora de passageiros

Analisando o exemplo em discussão para a equação de  $R^i(k)$ , temos que

$G_{\min}^i \subset AR^i$ . Portanto, nesse caso:

$$R^i(k) = Y^i + AR^i \quad \text{onde: } AR^i = 40 \text{ segundos; } Y^i = 4 \text{ segundos (estágios/fases)}$$

$$R^i(k) = 44 \text{ segundos}$$

O primeiro termo da equação leva em conta a espera do passageiro de forma a concatenar fases seguidas, numa condição de pior caso, *ou seja*, após terminar o verde da **fase objeto**, avalia-se o tempo de espera para um novo verde. O segundo termo considera **T segundos** de extensão de verde, caso seja dado à fase  $i$ , descontando o efeito desse período de tempo na espera determinada anteriormente. Essa equação, cumpre salientar, determina os valores de espera total para todos os passageiros retidos. No nosso caso particular, temos **T= 0**. Então:

$$R^i(k) = 44 \text{ seg.} \quad n_p = 1,2 \text{ passag.} \quad PQ_l^i(k) = 7 \quad P_{j,l}^i(k) = 34$$

nº de ônibus no período:  $2/3 = 0,67$  ônibus/retidos faixa de tráfego **a cada 2 ciclos completos**

$$C_{pd}^i(1) = 1865,6 \text{ segundos} = 1865,6/60 = 31,1 \text{ minutos/faixa de tráfego}$$

Considerou-se que as chegadas se dêem num fluxo uniforme; dessa forma, as descargas não feitas provocarão acúmulo de filas. A condição ideal de exame de situação seria um software que fizesse interações sucessivas, de acordo com contagens efetuadas pelos laços detectores.

o *Cálculo de  $C_{vd}$*  - demora de veículos

$$t_{sd}^p = t_{sd}^b = 3,5 \text{ seg; } PQ_l^i(k) = 7; B_l^i(k) = 1$$

$$C_{vd} = 28 \text{ segundos}$$

$C_{vd}$  é calculado segundo as considerações seguintes:

- Se terminado o verde, os veículos em fila nessa fase,  $i$ , sofrerão demora expressa no 1º termo da equação, tanto para veículos prioritários como não - prioritários.
- Se houver extensão de verde na fase corrente, então os veículos enfileirados na fase  $i'$  (**seguinte**), terão acréscimo de espera igual ao segundo termo da equação, que, conseqüentemente, será diminuído do 1º termo, para determinar a espera dos veículos.
- O segundo termo da equação, na condição deste trabalho, é igual a zero.

o *Cálculo de  $C_{sd}$* - demora de programação.

O primeiro termo calcula a demora dos ônibus a partir de quando o verde termina na fase  $i$ , enquanto o segundo determina o tempo de decréscimo de espera se houver extensão de verde, em detrimento do início da fase de vermelho.

O fim do tempo de verde numa fase  $k$  causará as demoras seguintes:

- Tempo mínimo de verde seguinte se houver conexão de seqüência entre as fases.
- Tempo de demora para partida dos ônibus -  $t_{sd}^b$
- Tempo para descarregar a fila de veículos à frente dos ônibus, antes da intersecção.

$$R^i(k) = 44 \text{ seg.} \quad t_{sd}^b = 3,5 \text{ seg,} \quad F_{j,l}^i(k) = 4 \quad \text{Adotamos 4 à frente do}$$

ônibus e três atrás para o exemplo, para uma fila total de 7 veículos não - prioritários.

$$d_l^i(K) = 30 \text{ veic/faixa/ciclo semaforico - vide tabela}$$

$SD_{j,l}^i(k-1)$  não consideramos nenhum valor para essa informação, pois não temos qualquer informação histórica sobre programações dos ônibus. Essa informação existirá nas situações e condições operacionais de fato e deverá ser levada em consideração nesses casos.

$$C_{sd} = 44 + 3,5 + (4 - 30 + 1) * 0,473 = 35,7 \text{ segundos}$$

Como nas situações anteriores, em nosso caso, o segundo termo da equação, por estarmos tratando de uma rua concorrente secundária, não tem afetado o estudo. Com **AVL**, a identificação e locação de ônibus, a partir de distâncias maiores, possibilitam controles de programação mais rigorosos, em vez de análises de uma distribuição uniformizada.

## CONCLUSÕES - COMENTÁRIOS

Em nosso estudo, foram examinadas formas de atuar sobre o fluxo de veículos em favor dos ônibus, e portanto, do transporte coletivo. Constatou-se que com *investimentos muito baixos*, em aplicações tecnológicas, são criadas importantes ferramentas de gerenciamento do transporte e seu uso sistematizado pode aumentar eficiência do viário e frota.

Nos pré-sinais, o monitoramento inclui a experiência do engenheiro de tráfego de forma mais ativa que no monitoramento com ou sem localização automática de veículos, que por sua vez, com ou sem a presença de AVL, sistematiza procedimentos e propicia segundo parâmetros flexíveis, poder de decisão sobre tempos semaforicos.

Segurança para veículo e pedestre, redução de filas são resultados esperados, apesar do conhecimento de fatores como excesso de veículos, comportamento do motorista, acidentes, deficiências viárias, da sinalização e outros que influenciam negativamente os fluxos. Porém, pode-se concluir que as estratégias expostas apresentam desempenho positivo para todos os volumes e condições de tráfego.

As teorias, aplicadas com dados fornecidos pela Companhia de Engenharia de tráfego de São Paulo – CET, levaram a conclusões importantes, obtidas por intermédio de médias de medidas reais de fluxo de veículos. Nos pré – sinais as equações usadas mostram mudanças de tempos e vantagens obtidas na aplicação do tipo A, e condições para que o tipo B se torne fator positivo para os ônibus, variando-se o vermelho( $R_p$ ) e o verde ( $G_p$ ) do pré – sinal, uma vez fixado o tempo de ciclo. Os resultados (conforme dados da tabela 4.1.1 – Apresentação do Problema), obtidos na formulação analítica (tabelas 4.1.2 e 4.1.9) podem ser adequados pela engenharia de tráfego com mudanças nos tempos do pré – sinal ou do sinal principal.

Fica mostrado que a instalação do sistema de pré – sinais do tipo A reduz sempre a demora dos ônibus, enquanto a categoria B pela condição de introduzir sinais que

os retêm, necessita adequação dos tempos de verde e vermelho para ciclos pré - fixados do sinal principal. Isso faz que os pré – sinais do tipo B, nem sempre fator positivo, sejam porém, ferramentas práticas e importantes quando usados adequadamente. Sua conveniência pode ser apenas em períodos determinados do dia – por exemplo, como hipótese, os horários de pico – devendo ser desativados fora dessas condições. Conjugados a sistemas inteligentes de tráfego, são versáteis, pois, as análises de fluxo momento a momento e a capacidade de alteração remota dos tempos, permite adequações convenientes. O engenheiro, com uso das equações estará capacitado a calcular parâmetros, sempre que necessite.

Apesar do exemplo tratar de região da cidade de São Paulo onde o controle do tráfego é feito em tempo real por meio de central com capacidade de gerar algoritmos de ocupação, fluxos e outros no intervalo de tempo que se queira, os dados disponíveis foram as médias - condição desfavorável para pré – sinais. Portanto, mesmo em cruzamentos isolados, se as programações conjugam seus tempos ao dos sinais principais, a aplicação de pré – sinais é vantajosa.

A seguir, analisando-se a técnica de monitorar os tempos de semáforo pela aproximação dos veículos aos quais se quer dar prioridade, assinala-se que deve ser coordenada por software para fazer interações momento a momento, com informações a intervalos de tempo adequados (pequenos) e executados conforme a demanda. Sistemas inteligentes de controle de tráfego, quando providos os veículos de transmissores indicando aos detectores instalados na via pública a sua chegada, são adequados.

No estudo apresentado, a teoria foi aplicada em dados médios do fluxo medido no intervalo de 1 hora na Avenida Francisco Morato, como se chegadas de veículos fossem uniformes. Não leva em conta a demanda real para fazer interações momento a momento e criar variações dos tempos semafóricos e dessa forma melhor aproveitar o espaço carroçável da via pública. A condição de aplicação desse processo verifica e testa cada Índice de Desempenho – **PI**, que por sua vez indica a necessidade ou não das al-

terações semafóricas. Os fluxos convergentes, além de critérios econômicos, que dependem de características de cada local, são considerados e essa forma de administrar o transporte faz com que as ações sejam requisitadas pela própria demanda.

Intersecções com várias direções de tráfego, devem ser avaliadas por meio de simulação, que vai calcular todos valores dos índices de desempenho ( $PI^i$ ), gerando controle efetivo dos tempos com dados tomados em intervalos adequados. Apesar dos critérios serem idênticos, não foram analisadas situações com vários fluxos, que, conforme as fases que concorram em um ciclo, podem modificar a priorização para situações que as condições locais levem a índices de desempenho desfavoráveis, tais como, variações horárias de demanda, eventos ou outras. O sistema será capaz de responder adequadamente a esses fatores modificadores.

## 5 – BIBLIOGRAFIA

AKYILDIZ, Ian F.; LIEBEHERR, Jörg; TANTAWI, Asser N.; Dual bus MASN's with multiple-priority traffic. In: IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Oct. 1993; v 11; i8; p. 1202 – 1213. ISSN: 0733-8716.

AL-SAHILI, Khaled A.; Bus preemption signal (BPS): application of advanced public transportation system (APTS). 1995. 177 p. Tese de doutorado, Michigan State University.

AL-SAHILI, Khaled A.; TAYLOR, William C. Evaluation of bus priority signal strategies in Ann Arbor, Michigan. In: Transportation Research Record, il1554, p. 74-79; Set 1996.

ASCE, M.; CHAUDHRY, Bharat B.; KHASNABIS, Snehamay. Bus pre-emption: A real time control strategy for privatized transit operation In: Transportation Technologies Applications, xii, 484 p. i 11; 22 cm, New York, 1991 ISBN: 0872628183.

BAEZA, I.; GIBSON, J. Bus-stops, congestion and congested bus-stops. In: Traffic Engineering + Control, Junho, 1989, p. 291 – 296.

BEASLEY, P.S.; FAMBRO, D.B.; SUNKARI, S.R.; URBANIK, T.II. Model to evaluate the impacts of bus priority on signalized intersections. In: Transportation Research Record, julho, 1995, i 1494, p. 117 – 123. ISSN: 0361-1981.

BELL, M.G.H.; BROOKES, D.W.; NELSON, J.D. Approaches to the provision of priority for public transport at traffic signals: a European perspective. In: Traffic Engineering + Control, Set 1993, p. 426 – 431.

BURTON, Robert; HOUNSELL, Nicholas. Bus Priority and UTC systems: the PROMPT project, In: Traffic Engineering & Control, Set 1993; v 34; i 9; p.602 – 604; ISBN 0-7803-1236-8.

CADAVAL, M. Políticas de Transporte Coletivo no Brasil. In: Evento São Paulo Transportes. São Paulo, maio de 1998.

CERVERO, Robert; GORHAM, Roger. Commuting in Transit versus automobile neighborhoods, In: Journal of the American Planning Association, 1995, p. 210 – 225.

CHANG, Gang-Len; CHIH-CHIANG, Su; VASUDEVAN, Meenakshy. Bus preemption under adaptative signal control environments. In: Transportation Research Record, Julho 1995, i 1494, p.146 – 154. ISSN: 0361 – 1981

---

\_\_\_\_\_, Modelling and evaluation of adaptative bus-preemption control with and without automatic vehicle location systems. In: Transportation Research A., v 30, Nº 4, p. 251 – 268, 1996.

CHARI, S.R., MOORTHY, N.V.R. Public Transport route network planning – integrated approach. In: Indian roads congress journal, 1993, 54 (1). P. 183 – 197.

CHIH-CHIANG, Su. Adaptative traffic signal control system. Tese de doutorado, University of Maryland, 1994; 222 p.

COBAIN, Paul A., GARDNER, Kevin. Bus priorities: A solution to urban congestion? In: Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Transport. Novembro, 1997, v 123, i 4, p. 205 – 212. ISSN: 0965-092X.

COOMBE, Denvil; TURNER, David. Transport strategy in Ipswich. In: Traffic Engineering + Control. March, 1992 p. 159 – 166.

DANAHER, Alan R., HUNTER-ZAWORSKI, K.M., KLOOS, W.C. Bus priority at traffic signals in Portland: the Powell Boulevard pilot project. In: Transportation Research Record, Julho, 1995, i 1503, p. 29 – 33. ISSN: 0361-1981.

DANIEL, Janice. Bus signal priority along congested corridors. In: proceedings of the conference on traffic congestion and traffic safety in 21st century, 1997, p. 417 – 423.

DESSOUKY, Maged; HALL, Randolph; MOURIKAS, Karen; NOWROOZI, Ali. Bus dispatching at timed transfer transit stations using bus tracking technology. In: Transportation Research – Parte C 7, 1999, p. 187 – 208.

Enciclopédia Barsa , Encyclopaedia Britannica Consultoria Editoriais Ltda. 1988, v. 15; p.174-195.

FERRO, J. R. Perspectivas da Industria Automobilística para a produção de Veículos de Transporte Coletivo Urbano. In: Evento São Paulo Transporte. São Paulo, maio de 1998.

GERLAND, Horst E. Intelligence on board – Modern approach to transit fleet management. In: STEPS forward. Proceedings of the second world congress on intelligent transport systems, 1995, v 2, p. 963 – 968.

GOLOB, Thomas F.; WISSEN, Leo van. A joint household travel distance generation and car ownership model. In: Transportation Research B, v 23B,Nº 6; p. 471 – 491, 1989, Great Britain.

HAHNE, Ellen L.; MAXEMCHUK, Nicholas F. Fair access of multi priority traffic to distributed-queue dual-bus networks. In: Proceedings – IEEE Infocom, 1991, v2, p.889 – 900. ISBN: 0-87942-694-2.

HANSON, Susan (Ed.) The geography of urban transportation. New York, 1995; 478 p., 2<sup>nd</sup> edição. ISBN: 1-57230-017-5.

HARLOW, C.; PENG, S. automatic vehicle classification system with range sensors. In: Transportation Research Part C 9, 2001, p. 231 – 247.

HAYWARD, Gordon. Developing the London bus priority network. In: proceedings of Institution of Civil Engineers, Transport. Novembro, 1997, v 123, i4, p. 213 – 219. ISSN: 0965-092X

HERNANDEZ, Angel Alceda. La Operacion de los Transportes. Corporacion Mexicana de Impresión S.A., bajo supervision de la Secretaria de Transportes y Vialidad del Departamento del Distrito Federal. México, 1997.

HONG, Seung Ho; RAY, Asok. Analysis of the priority scheme in token bus protocols. In: Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Transport, Proceeding of the 1989 American Control Conference; 1989, p.511 – 516.

HORBURY, A.X. Using non-real-time automatic vehicle location data to improve bus services. In: Transportation Research Part B 33, 1999, p. 559 – 579.

HOUNSELL, N.: WU, Jianping. Bus priority using pre-signals. In: Transportation Research A., v 32, Nº 8, p. 563 –583, 1998.

JACOBY, C.; MCKENDREE, T.; RANTOWICH, N.; SCHUSTER, S. Allocation of intelligence between the vehicle and the infrastructure on the automated high-

way system. In: Intelligent transportation: realizing the benefits, 1996, p. 601 – 605.

JONES, Simon. Creating the superbus with ITS – experiences in Leeds. In: Proceedings of the 1998 IEE Seminar on Using ITS in Public Transports and in emergency services, 1998, 1 524, p 3/1- 3/3. ISSN: 0963-3308

KAMYAB, Alireza. Evaluation of automatic vehicle specific identification (AVSI) in a traffic signal control system. Tese de doutoramento, Iowa State University, 1995. 175 p.

KANELLAKOPOULOS, I.; NELSON, P.; STAFSUDD, O. Intelligent sensors and control for commercial vehicle automation. In: Annual Reviews in Control 23, 1999, p. 117 – 124.

LIMA, Almir W. J. Redes de computadores telecomunicação/comunicação via FIBRAS ÓTICAS voz/ dados/ imagem. Editora Book Express Ltda. Rio de Janeiro, 1998.

LONDON. Department of the Environment. Bus Priorities at traffic Control Signals. Bus demonstration Project – Summary Report Nº 1 – Bus Detection, London, 1972.

MALTA, Cândido. A Cidade que Desejamos. In: Evento São Paulo Transportes. São Paulo, junho de 1998.

MCDONALD, M.; MONTGOMERY, F. O. Urban traffic control in Europe In: Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Transport. February, 1996; v 117; i 1; p. 50 – 56. ISSN: 0965-092X.

MCKNIGHT, C.E. The impact of congestions on New York City bus services. In: Traffic Congestion and Traffic Safety in the 21<sup>st</sup> century, 1997, Chicago, i 11, p. 424 – 430.

METSGER, Daniel D.G.T. Bus gate pre signal and queue relocation: the park view road bus priority scheme. In: Advanced technologies in transportation engineering, xviii, 724 p., i 11. ISBN: 0784401462.

MEXICO. Secretaria de Transportes y Vialidad del Departamento del Distrito Federal. Transporte Publico: Planeación, Diseño, Operación y Administración. Mexico, D.F., Julio, 1996.

NELSON, J.D. Some observations on the impaired operation of buses in central urban corridors. In: Mathematics in transport planning and control, 1992, p. 297 – 306.

PRETTY, R.L. A review of intersection traffic signal timing programs. In: Traffic Engineering + Control, University of Queensland, Set 1993, p. 429 – 430.

ROLNICK, Raquel. Políticas de Urbanização e as Políticas de Transporte. In: Evento São Paulo Transporte. São Paulo, Maio de 1998

São Paulo. Governo do estado de São Paulo, Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Por um Transporte Sustentável – Documento de discussão pública. São Paulo, fevereiro de 1997.

São Paulo. Secretaria de Estado dos Transportes Metropolitanos de São Paulo. Relatório PITU – Programa Integrado de Transportes Urbanos. São Paulo, 1995.

São Paulo. Secretaria Municipal dos Transportes. Edital de Concorrência Nº 03/93 – SMT. Fornecimento e instalação de equipamentos de controle de tráfego em área do sistema CTA. São Paulo, 1993, 577 p.

SHALABY, Amer S. Simulating performance impacts of bus lanes and supporting measures. In: Journal of Transportation Engineering, Set.-Out. 1999, v 125, i5, p. 390 – 397. ISSN: 0733-947X.

SIWEK, S.J.; SIWEK, S.J. & ASSOCIATES. Integrated transportation management systems anvironmental considerations and issues. In: Second national symposium on integrated transportation management systems, 1997, p. 76 – 81.

SUCHAROV, L.J.(Ed.). Urban Transport and the environment for the 21<sup>st</sup> century. In: Computacional Mechanics Publications, U.S.A, 1995, p. 476. ISBN 1-56252-247-7.

THONG, C. M.; WONG, W.G. Using GIS to design a traffic information database for urban transport planning. In: Computing, Environmental and Urban Systems, vol. 21, nº 6, p. 425 – 443, 1997.

USA- U.S.Department of transportation. Federal Highway Administration – **Traffic Detector Handbook**, Second Edition. JULY, 1990. Nº. FHWA-IP-90-002.

WILHEIM,J. O Desenvolvimento e o Transporte Sustentável. In: Evento São Paulo Transporte. São Paulo, maio de 1998.

