

SP 18/01/80

NT 051/80

Programação de Semáforos a Tempo Fixo para Ônibus

Eduardo Antonio Moraes Munhoz

1. Apresentação

Dado o atual estágio de desenvolvimento e implantação do programa Semco, onde a utilização do programa Transyt vem sendo cada vez mais freqüente, torna-se bastante oportuna a reprodução em Nota Técnica, do trabalho apresentado no II Congresso Nacional de Transportes Públicos da ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos - realizado em Porto Alegre de 12 a 16 de agosto de 1979 -, que aborda o uso do Transyt e a prioridade para o transporte coletivo na programação semafórica.

Além disso, visa estimular a divulgação do Transyt entre o pessoal técnico da CET, para que seja incentivado o debate de seus resultados, porque essa troca de informações permitirá estabelecer um consenso quanto à sua utilização como ferramenta básica de trabalho no desenvolvimento da programação semafórica.

2. Introdução

Dentre os vários projetos de Engenharia de Tráfego, alguns têm como finalidade aumentar a fluidez do sistema viário da cidade. Disso resultam medidas e esquemas de tráfego que visam facilitar a movimentação e o escoamento de veículos numa dada região.

Como normalmente a relação entre as pessoas transportadas pelo espaço viário utilizado é maior para ônibus do que para automóveis, é razoável supor que a eficiência global dos sistemas de transportes poderá ser incrementada, se for dado ao transporte coletivo, prioridade de circulação sobre os demais veículos. Além disso, os crescentes problemas de congestionamento nos grandes centros urbanos, juntamente com os efeitos da atual crise energética, mobilizam a alocação de recursos em projetos que resultam numa economia do tempo de percurso da viagem e redução do consumo de combustível.

Esses fatores se conjugam no sentido de incentivar cada vez mais o desenvolvimento e implantação de projetos cuja concepção tenha por base a movimentação de pessoas em vez de veículos.

Atualmente, as principais medidas de prioridade para o transporte coletivo por ônibus, são:

- a. Faixas exclusivas no fluxo: faixas de tráfego reservadas para os ônibus que trafegam no mesmo sentido que o tráfego geral;
- b. Faixas exclusivas no contra-fluxo: faixas de tráfego numa via de mão única reservada para os ônibus que trafegam no sentido oposto ao do tráfego geral;
- c. Conversões exclusivas: autorização para efetuar movimentos normalmente proibidos aos demais veículos (por exemplo: conversão à esquerda); e
- d. Programação semafórica: ajuste dos tempos de começo e fim de verde das fases de um semáforo, de forma a favorecer a passagem dos ônibus.

Além dessas medidas, outras vêm sendo estudadas e propostas, como por exemplo as ruas reservadas exclusivamente para circulação de ônibus e pedestres e o projeto Comonor, que é a ordenação dos ônibus em comboios pré-fixados, com o objetivo de aumentar o rendimento do embarque de passageiros nos pontos de parada.

Das medidas de prioridade acima mencionadas, a programação semafórica é uma das que apresentam maior facilidade de implantação, pois sua execução e possíveis modificações, consiste basicamente em alterações da programação interna dos controladores de tráfego e eventuais arranjos de grupos focais dos semáforos. Este tipo de prioridade pode ser feita de várias maneiras, dentre as quais:

- a. Controlador atuado - existem vários tipos de controladores atuados que determinam a presença de um ônibus numa das aproximações do cruzamento e, de acordo com a indicação luminosa do semáforo, atuam no sentido de ativar o início da fase verde correspondente, ou retardar seu término;
- b. Fases especiais - em cruzamentos onde a autorização de um movimento facilite ou reduza o percurso do ônibus, diminuindo seu tempo de viagem, pode-se criar uma fase especial para utilização de ônibus; e
- c. Defasagem de sistemas de semáforos coordenados a tempo fixo - em vias onde haja circulação de ônibus (faixa exclusiva ou não) e cujos semáforos estejam coordenados. Uma alteração de suas defasagens que considere a velocidade dos ônibus e os tempos de parada nos pontos, diminuirá o atraso dos ônibus nos semáforos e, conseqüentemente, o tempo de viagem.

O presente trabalho tem por objetivo mostrar os resultados obtidos com a implantação de uma programação semafórica, com prioridade para ônibus na área da Av. Paulista.

A coordenação dos semáforos foi feita utilizando-se o programa computacional Transyt/6, desenvolvido pelo TRRL (Transport and Road Research Laboratory) órgão de pesquisas de tráfego da Inglaterra.

3. Descrição do programa Transyt

O programa Transyt é um método para elaborar planos de tráfego de tempo fixo (ciclo constante), com o objetivo de permitir que fluxos conhecidos de veículos percorram a rede viária com o mínimo de interrupção e atraso em seu trajeto.

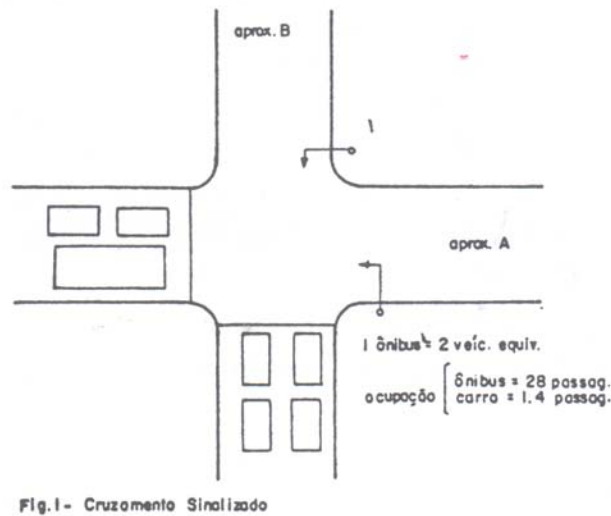
Basicamente o programa simula o comportamento dos veículos em trechos de vias e, por meio de uma função de otimização, define os tempos de verde para cada fase dos cruzamentos, bem como suas defasagens. Assim, o Transyt consiste essencialmente em dois elementos: um modelo comportamental do fluxo de tráfego e um modelo matemático de otimização.

Entretanto, os benefícios resultantes da coordenação e sincronismo de semáforos obtidos pelo Transyt distribuem-se igualmente sobre todos os veículos da rede, uma vez que o critério principal para otimização é a minimização do atraso veicular, que é determinado em função da formação/distribuição das filas nas aproximações do cruzamento.

Neste processo, a distinção entre as diferentes classes de veículos (automóveis, ônibus, caminhões etc.) é feita em termos espaciais por meio do fator de equivalência em unidades de veículos - hora/hora.

Como exemplo ilustrativo da diferença entre os dois conceitos, considere-se um cruzamento como o mostrado pela figura 1, no qual compõem-se supostamente, o tráfego das aproximações A e B de 1 ônibus/2 automóveis e 4 automóveis, respectivamente.

Figura 1 - cruzamento sinalizado



A tabela abaixo mostra os valores de atraso ocorridos no cruzamento, para cada 1 segundo de espera:

	Aproximação A	Aproximação B	A/B
Atraso veicular (veic. Eq-seg/seg)	4 (1x2+2)	4 (1x4)	1
Atraso passageiro (pessoa - seg/seg)	30,8 (28+2x1,4)	5,6 (4x1,4)	5,5

Em relação ao atraso veicular, ambas as aproximações são equivalentes. Porém, em termos de atraso por pessoa, a aproximação A é mais crítica que a B e isso deverá ser refletido por meio de uma penalização (fator de ponderação) adequada.

A fim de se considerar o atraso causado aos passageiros, o Trtl desenvolveu uma outra versão do programa Transyt, que determina planos de tráfego com o objetivo de minimizar o tempo total de viagem das pessoas na rede, favorecendo, dessa forma, os veículos com maior índice de ocupação. Além disso, as vantagens proporcionadas ao transporte coletivo superam amplamente as eventuais restrições impostas ao tráfego dos demais veículos. A principal característica desse novo programa, que é uma extensão do método básico, é a simulação em separado do comportamento de diferentes tipos de veículos numa corrente de tráfego misto. No processo de otimização, os veículos são penalizados em função de sua ocupação média. A importância de se simular o comportamento do ônibus em separado pode ser compreendida por um simples exemplo. As figuras 2 e 3 mostram um diagrama espaço x tempo da progressão de uma corrente de tráfego unidirecional entre dois semáforos adjacentes, que estão operando

Com um mesmo tempo de ciclo (semáforos coordenados). O movimento do pelotão de tráfego está representado por uma faixa pontilhada; e a trajetória de um ônibus que cruza o semáforo 1 no centro do pelotão é indicada pela linha cheia; a velocidade do ônibus é ligeiramente inferior à do pelotão e, além disso, existe um ponto de parada entre os semáforos. Conseqüentemente, o ônibus chega ao semáforo 2 após o pelotão principal.

Caso o ônibus não fosse considerado isoladamente, o período de verde do semáforo seria ajustado de forma a garantir a progressão do pelotão e o ônibus sofreria um atraso aos demais veículos do pelotão.

Certamente, devem ser tomados alguns cuidados na penalização do atraso dos ônibus, de forma a se estabelecer um balanceamento entre sua redução, pois a prioridade aos ônibus não deve causar congestionamento em vias com alto grau de saturação.

Os testes de validação do programa, efetuados na cidade de Glasgow (Escócia), mostraram que os planos de tráfego produzidos pela nova versão, aumentaram a velocidade média do percurso dos ônibus em cerca de 8%, em comparação com a obtida pelo Transyt normal.

Paralelamente os benefícios serão maiores se comparados a planos de tráfego calculados por métodos menos eficientes que o Transyt.

Figura 2 – Diagrama ESPAÇO x TEMPO considerando o comportamento do ônibus em relação à progressão do pelotão de tráfego.

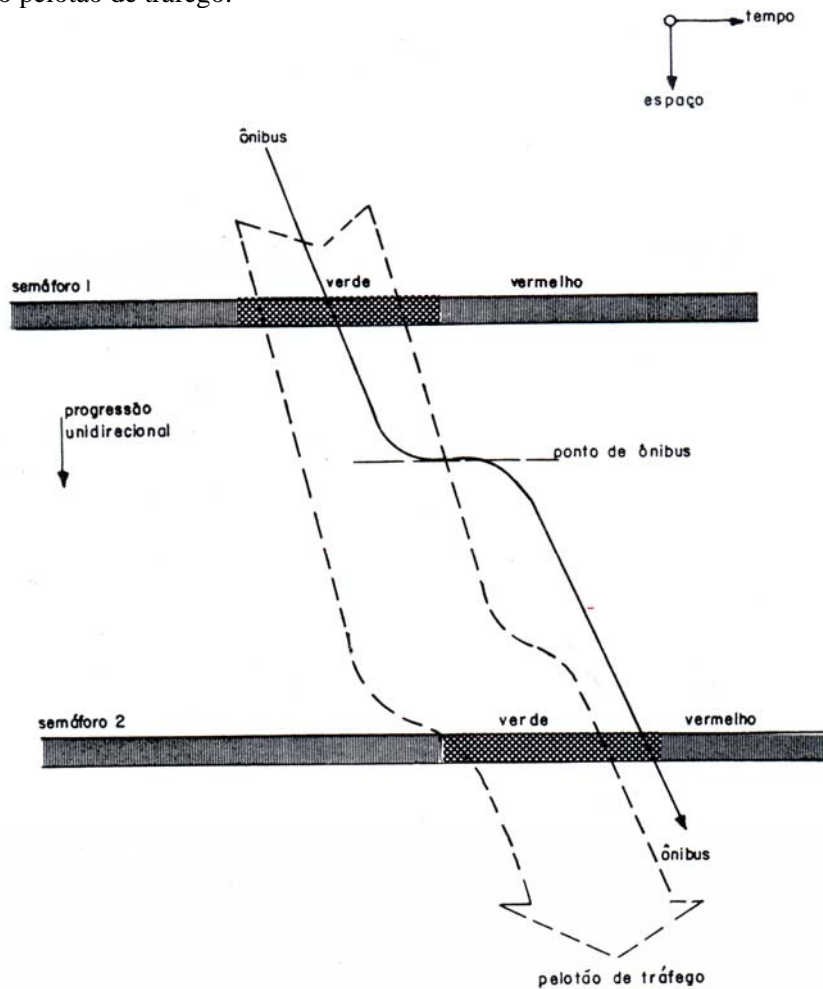


Fig. 2 - Diagrama ESPAÇO X TEMPO considerando o comportamento do ônibus em relação à progressão do pelotão de tráfego.

Figura 3 – Diagrama ESPAÇO x TEMPO considerando apenas a progressão do pelotão de tráfego.

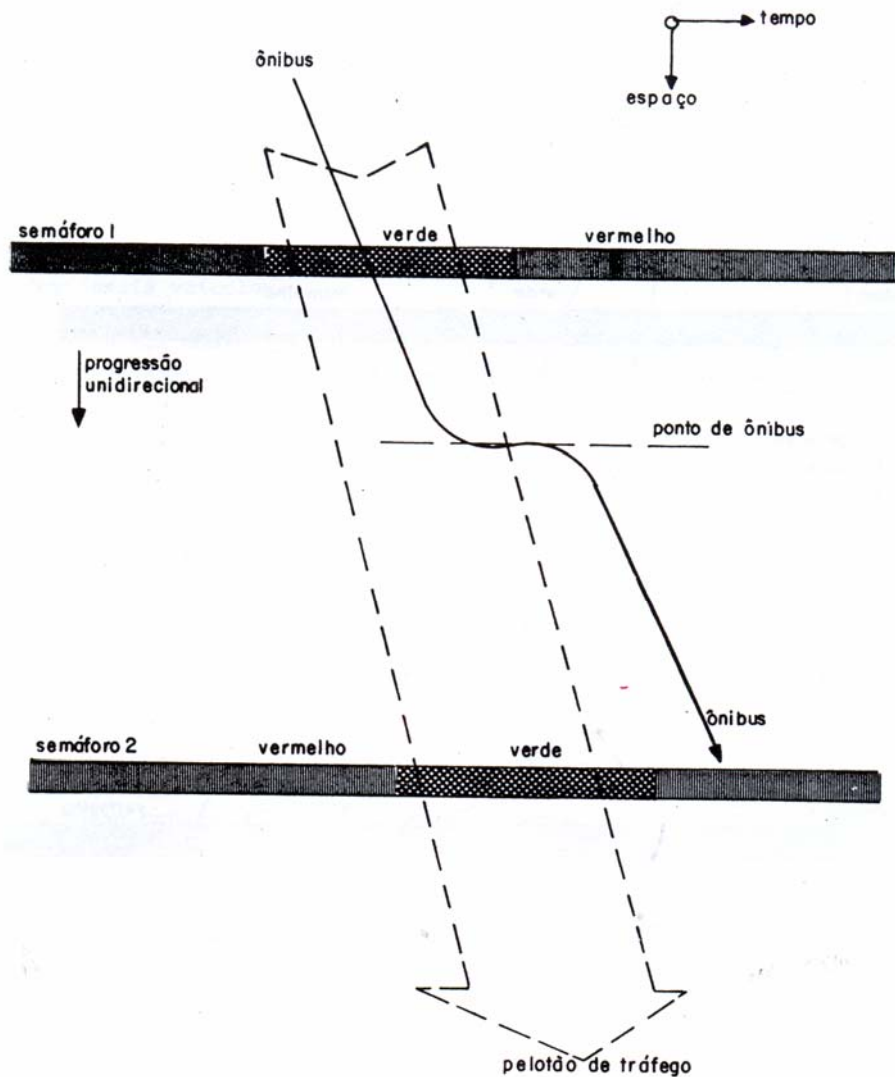


Fig. 3 - Diagrama ESPAÇO X TEMPO considerando apenas a progressão do pelotão de tráfego

4. Aplicação na avenida Paulista

Em São Paulo, o Transyt com prioridade para ônibus foi utilizada na programação do corredor da Avenida Paulista.

Esta via tem dois sentidos de tráfego, cada um com três faixas de circulação para autos e uma faixa exclusiva para ônibus, separadas fisicamente por tachões. O corredor tem 13 interseções semaforizadas, controladas por equipamento do tipo Eagle-EF, o que permite a utilização de três diferentes planos de tráfego ao longo do dia. Os planos foram elaborados para atuarem no pico da manhã, pico da tarde e fora de pico.

Para o processamento do programa, adotou-se como fator de penalização do atraso dos ônibus o coeficiente 20, ou seja, a relação entre atraso de ônibus e automóvel é de 20:1.

A implantação desta nova programação do sistema foi feita em junho de 77. As medidas de eficiência e observação foram coletadas no final do mês de junho e em agosto e setembro/77, servindo o período de férias, para observação das possíveis falhas e para que se providenciassem as devidas correções. Os dados levantados consistiam em:

- Contagem manual do fluxo veicular nas interseções sinalizadas; e
- Velocidade e retardamento para autos e ônibus na faixa exclusiva.

Deve-se observar que, apesar da programação ter sido implantada numa área, as pesquisas de avaliação da performance - antes e depois - foram efetuadas nas três principais vias do sistema: Av. Paulista, Al. Santos e Rua São Carlos do Pinhal/Cincinato Braga.

Da análise dos resultados, chegou-se às seguintes conclusões:

1. A faixa exclusiva de ônibus cujo fluxo é de 140 ônibus/hora de pico e 130 ônibus/hora fora de pico, apresentou um incremento de 27,4% (de 16,96 para 21,61 Km/h) na velocidade média diária, além de uma redução de 44% (de 172 para 94 seg.) no tempo total de espera nos semáforos no período de pico. Os valores diários foram obtidos por meio da ponderação dos valores para os três períodos de pesquisa - pico da manhã, pico da tarde e fora de pico;
2. A velocidade média diária dos demais veículos na Av. Paulista aumentou em 24% (de 21 para 26 Km/h); e
3. As durações dos picos da manhã e da tarde foram reduzidas de 1 (uma) hora cada um.

	Antes	Depois
Pico Manhã	07h00 - 09h00	07h00 - 08h00
Pico Tarde	17H00 - 19h30	17h45 - 19h15

As tabelas 3.1 e 3.2, a seguir, complementam com detalhes os resultados obtidos.

Tabela 3.1 - Avaliações - Antes e Depois - do desempenho dos ônibus na Av. Paulista (em cada sentido)

PERÍODO	Tempo Médio Total De Percurso (seg.)			Atraso Médio Total Nos Semáforos (seg.)			Tempo Total Gasto Na Rede (veículo-hora/hora)			Velocidade Média de Percurso (Km/h)			
	Antes	Depois	%	Antes	Depois	%	Antes	Depois	%	Antes	Depois	%	
PM	P C	593	589	---	130	81	37,69	46,12	45,81	---	16,17	16,27	---
	C P	542	455	16,05	141	90	36,17	42,15	35,38	16,06	17,69	21,07	19,10
PT	P C	637	591	7,22	180	83	53,89	49,54	45,96	7,23	15,05	16,22	7,77
	C P	877	739	15,73	239	123	48,53	68,21	57,48	15,73	10,93	12,97	18,66
FP	P C	536	430	19,77	---	---	---	38,71	31,05	19,73	17,88	22,29	24,66
	C P	528	412	21,97	---	---	---	38,13	29,75	21,93	18,15	23,27	28,21

Sentido P/C - Paraíso-Consolação

Sentido C/P - Consolação-Paraíso

PM - Pico da Manhã

PT - Pico da Tarde

FP - Fora de Pico

Tabela 3.2 - Avaliações - Antes e Depois - para autos na Av. Paulista

PERÍODO		Tempo Médio Total de Percurso (seg.)			Distância Média Total Percorrida (veículo - Km/hora)			Tempo Total Gasto na Rede (veículo - hora/hora)			Velocidade Média de Percurso (Km/h)		
		Antes	Depois	%	Antes	Depois	%	Antes	Depois	%	Antes	Depois	%
PM	P C	538	310	42,38	6843,9	8255,3	20,62	384,1	266,9	30,51	17,81	30,93	73,66
	C P	351	349	---	6790,2	6790,6	---	241,8	247,2	---	27,31	27,47	---
PT	P C	804	578	28,11	6071,6	7323,2	20,61	509,2	441,5	13,29	11,92	16,58	39,09
	C P	439	423	---	6697,4	7056,9	5,36	306,7	311,4	---	21,83	22,66	---
FP	P C	425	356	16,23	4527,1	5459,1	20,58	200,7	202,7	---	22,55	26,93	19,12
	C P	443	371	16,25	4660,2	5858,6	25,71	215,3	226,7	5,29	21,64	25,84	19,40

 Eduardo Antonio Moraes Munhoz
 Chefe de Departamento A - DCE - GEN