

11

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

CONSIDERAÇÕES SOBRE OPERAÇÃO DE ÔNIBUS URBANO
EM FAIXAS EXCLUSIVAS

POR

JOSÉ GLAUCO APOLIANO ANDRADE DIAS

TESE SUBMETIDA
COMO REQUISITO PARCIAL
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM CIÊNCIAS

Assinatura do Orientador da Tese



Rio de Janeiro
Fevereiro, 1979

À MINHA FAMÍLIA

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Anselmo Braun, Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia-IME, orientador deste trabalho e de cuja colaboração dependeu os termos a que se chegou.

Ao Ministério dos Transportes, onde o autor exerce a Função de Assessoramento Superior, pela liberação e apoio, imprescindíveis à participação neste Programa de Pós-Graduação e Mestrado.

Ao Instituto Militar de Engenharia, Seção de Engenharia de Construção (s/2) e Coordenação de Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Transporte pelas condições oferecidas no decorrer do Programa.

Aos colegas do IME pela troca de informações e pelo incentivo dado ao autor.

Aos Engenheiros Ion de Freitas e José Carlos Mello pela atenção dispensada ao autor e pelas sugestões oferecidas.

Aos funcionários do Ministério dos Transportes pela colaboração nos trabalhos de datilografia, desenhos e montagens desta dissertação.



SUMMARY

The implantation of private roadways for buses is one of the main measures to be adopted with the aim of giving a special treatment to the public transportation. As a result of this measure we can obtain better attendance or maintainment of a level of work adequate to attend an special strip of demand. The benefits to the communities will be translated, among others in: reduction of operational costs, reduction in time of trips, regularity and punctuality, confort to the usuaries.

On this present study we propose procedures with the aim to evaluate the consequences of the implantation of a private roadway, during the time of trip by bus. To determine this time, we based on changes of conditions of bus operation or, before the implantation of the roadway, in mixed traffic, imagining conditions of continuous flood, in a system of great volume of traffic which afeter an exclusive roadway, under a system of little volume.

Studying an specific case and its conclusions we arrive at satisfactory results, in the supposition simplifier made.

ÍNDICE

SUMÁRIO	iii
LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
SIMBOLOGIA	xi
CAPÍTULO I	
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Objetivos e Resumo	1
1.2 - Considerações Gerais sobre Faixas Exclusivas para Ônibus.	6
CAPÍTULO II	
2 - PROCEDIMENTOS PARA A DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE VIAGEM POR ÔNIBUS.	22
2.1 - Considerações Gerais	22
2.2 - Descrição	23
2.3 - Procedimento para Determinação do Tempo de Perc <u>u</u> rs <u>o</u> .	26
2.4 - Procedimento para Determinação do Tempo em In <u>te</u> rse <u>ç</u> ã <u>o</u> .	37
2.5 - Procedimento para Determinação do Tempo em Pa <u>ra</u> da para Atendimento de Usuá <u>ri</u> os.	57
2.6 - Procedimento para Determinação do Tempo em Ace <u>l</u> eração e Desaceleração.	63
CAPÍTULO III	
3 - APLICAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS A UM CASO ESPECÍFICO	73
3.1 - Descrição	73
3.2 - Aplicação do Procedimento para Determinação do Tempo em Perc <u>u</u> rs <u>o</u> .	76

3.3 - Aplicação do Procedimento para Determinação do Tempo em Interseção.	77
3.4 - Aplicação do Procedimento para Determinação do Tempo em Parada.	79
3.5 - Aplicação do Procedimento para Determinação do Tempo em Aceleração e Desaceleração.	80
3.6 - Apresentação e Análise dos Resultados.	82
CAPÍTULO IV	
4 - CONCLUSÕES	84
CAPÍTULO V	
5 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	88
BIBLIOGRAFIA	90

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1:	PERCENTUAL DE VIAGENS POR MODO EM CIDA <u>D</u> ES BRASILEIRAS	1
QUADRO 2:	POTÊNCIA DE TRANSPORTE E OCUPAÇÃO DE ESPAÇO	3
QUADRO 3:	ALGUMAS FAIXAS EXCLUSIVAS EM USO NA EU <u>R</u> OPA	17
QUADRO 4:	ALGUMAS FAIXAS EXCLUSIVAS EM OPERAÇÃO EM LONDRES	18
QUADRO 5:	TEMPO GANHO EM FAIXA EXCLUSIVA EM FLUXO	19
QUADRO 6:	TEMPO GANHO EM FAIXA EXCLUSIVA EM CON <u>T</u> RA FLUXO	20
QUADRO 7:	FAIXAS EXCLUSIVAS NO BRASIL	21
QUADRO 8:	NÚMERO DE PASSAGEIROS POR PARADA	59
QUADRO 9:	NÚMERO DE PARADAS POR QUILOMETRO	60

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1:	MELHORIAS AO TRANSPORTE PÚBLICO	4
FIGURA 2:	FAIXA PARA ÔNIBUS À DIREITA DO FLUXO NORMAL - EM FLUXO	10
FIGURA 3:	FAIXA PARA ÔNIBUS NO MEIO DO FLUXO NORMAL - EM FLUXO	11
FIGURA 4:	FAIXA PARA ÔNIBUS À ESQUERDA DO FLUXO NORMAL - EM FLUXO	11
FIGURA 5:	FAIXA PARA ÔNIBUS À DIREITA DO FLUXO NORMAL - EM CONTRA FLUXO	12
FIGURA 6:	FAIXA PARA ÔNIBUS À ESQUERDA DO FLUXO NORMAL - EM CONTRA FLUXO	13
FIGURA 7:	REPRESENTAÇÃO DE UMA VIAGEM POR ÔNIBUS EM VELOCIDADE X TEMPO	24
FIGURA 8:	REPRESENTAÇÃO DE UMA VIAGEM POR ÔNIBUS EM VELOCIDADE MÉDIA DO FLUXO X TEMPO	25
FIGURA 9:	MODELO DE GREENSHIELDS	28
FIGURA 10:	RELAÇÃO VELOCIDADE X VOLUME RELAÇÃO VOLUME X DENSIDADE	32
FIGURA 11:	RELAÇÃO VELOCIDADE X VOLUME	34
FIGURA 12:	RELAÇÃO VOLUME X DENSIDADE	34
FIGURA 13:	TEMPO DE PERCURSO POR ÔNIBUS, EM TRÁFEGO MISTO E FAIXA EXCLUSIVA	36
FIGURA 14:	RELAÇÃO VOLUME X DENSIDADE E VELOCIDADE	39
FIGURA 15:	ESPAÇO X TEMPO E VELOCIDADES	40
FIGURA 16:	VEÍCULOS X TEMPO	43
FIGURA 17:	TEMPO EM INTERSEÇÃO EM TRÁFEGO MISTO	53
FIGURA 18:	TEMPO EM INTERSEÇÃO, EM FAIXA EXCLUSIVA	56
FIGURA 19:	TEMPO DE ATENDIMENTO DE USUÁRIOS EM PARADA	62
FIGURA 20:	TEMPO EM ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO	72
FIGURA 21:	CORREDOR PARA APLICAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS	74

LISTA DE TABELAS

TABELA	1: TEMPO EM PERCURSO - TRÁFEGO MISTO	35
TABELA	2: TEMPO EM PERCURSO - FAIXA EXCLUSIVA	35
TABELA	3: FORMULÁRIO PARA d_p, t_d, t_n, t_i , - TRÁFEGO MISTO	49
TABELA	4: DISTÂNCIA MÁXIMA DE PERTURBAÇÃO DO TRÁFEGO	49
TABELA	5: TEMPO DE OCORRÊNCIA DA DISTÂNCIA MÁXIMA DE PERTURBAÇÃO	50
TABELA	6: TEMPO DE NORMALIZAÇÃO	50
TABELA	7: TEMPO EM INTERSEÇÃO - TRÁFEGO MISTO	51
TABELA	8: TEMPO VERMELHO - VALORES MÁXIMOS	52
TABELA	9: RELAÇÃO G/C - VALORES MÍNIMOS	52
TABELA	10: RELAÇÃO G/C - VALORES MÍNIMOS	54
TABELA	11: FORMULÁRIO PARA d_p, t_d, t_n, t_i , - FAIXA EXCLUSIVA	54
TABELA	12: TEMPO EM INTERSEÇÃO - FAIXA EXCLUSIVA	55
TABELA	13: TEMPO EM INTERSEÇÃO - FAIXA EXCLUSIVA	55
TABELA	14: TEMPO EM PARADA	61
TABELA	15: DESEMPENHO EM ACELERAÇÃO	64
TABELA	16: DESEMPENHO EM DESACELERAÇÃO	65
TABELA	17: TEMPO GASTO EM ACELERAÇÃO POR INTERRUPTÃO	65
TABELA	18: TEMPO PERDIDO EM DESACELERAÇÃO POR INTERRUPTÃO	66
TABELA	19: TEMPO PERDIDO EM ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO POR INTERRUPTÃO	66
TABELA	20: TEMPO PERDIDO EM ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO POR INTERRUPTÃO-TRÁFEGO MISTO	67
TABELA	21: TEMPO EM ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO - TRÁFEGO MISTO	68

TABELA 22: TEMPO PARA O TEMPO EM ACELERAÇÃO E DE SACELERAÇÃO FACE A RESTRIÇÃO DE 60Km/h PARA A VELOCIDADE MÁXIMA	68
TABELA 23: TEMPO EM ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO POR INTERRUPÇÃO - FAIXA EXCLUSIVA	69
TABELA 24: TEMPO EM ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO POR INTERRUPÇÃO - FAIXA EXCLUSIVA	69
TABELA 25: TEMPO EM ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO - FAIXA EXCLUSIVA	70
TABELA 26: TEMPO EM PERCURSO NO CORREDOR	77
TABELA 27: TEMPO EM INTERSEÇÃO DO CORREDOR	79
TABELA 28: TEMPO EM ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO NO CORREDOR	81
TABELA 29: TEMPO DE VIAGEM NO CORREDOR	82
TABELA 30: TEMPO DE VIAGEM NO CORREDOR	83
TABELA 31: PORCENTAGEM DO TEMPO DE VIAGEM GANHO COM A FAIXA EXCLUSIVA	85

SIMBOLOGIA

- Y - velocidade
- Z - volume
- X - densidade
- Y_0 - velocidade correspondente ao volume máximo
- Z_0 - volume máximo
- X_0 - densidade correspondente ao volume máximo
- Y_f - velocidade de fluxo livre ($X=0$)
- X_j - densidade máxima
- C - capacidade ($=Z_0$)
- t - tempo
- T_v - Tempo de viagem
- t_p - tempo de percurso/km
- T_p - Tempo de percurso no corredor
- t_i - tempo em interseção
- T_i - Tempo em interseção no corredor
- t_a - tempo em parada para atendimento de usuário/km
- T_a - Tempo em parada para atendimento de usuário no corredor
- t_{ij} - tempo numa interseção j
- t_{as} - tempo por parada para usuário embarcando
- t_{ae} - tempo por parada para usuário desembarcando
- P_k - nº de paradas para atendimento de usuário/km
- i_k - nº de interseção sinalizadas/km
- t_{ad} - tempo em aceleração e desaceleração/km
- T_{ad} - Tempo em aceleração e desaceleração no corredor
- u_e - nº de usuáries por parada embarcando

- u_s - nº de usuários por parada desembarcando
 θ_i - Tempo médio perdido por interseção
 θ_{ad} - tempo em aceleração e desaceleração em cada pa
rada
 C - Tempo de ciclo
 G - Tempo verde do ciclo
 G/C - relação tempo verde por ciclo
 F_c - proporção de tempo verde utilizado na descarga
de veículos afetados pela paralização de tráfego
 Y_I - velocidade média de fluxo contínuo numa situa
ção I
 Z_I - volume
 X_I - densidade
 Y_R - velocidade da onda de recuperação pela libera
ção de veículos
 Y_{IP} - velocidade da onda de parada por interseção do
fluxo
 Y_{IO} - velocidade da onda de retorno a situação inicial
 t_d - tempo de ocorrência do último veículo a parar
tendo em vista interrupção do fluxo de veícu
los em relação ao início desta interrupção
 d_p - distância da interseção em que o último veícu
lo para
 t_u - tempo de ocorrência da normalização à situação
inicial
 d - distância
 W - nº de veículo
 W_A - nº de veículo afetado com parada pela interrup
ção de fluxo de veículos.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

1.1 - Objetivos e Resumo

O constante crescimento urbano e em decorrência a crescente necessidade de transporte, principalmente às áreas centrais, exige do planejador a procura de soluções para este difícil problema face a inadequabilidade destas áreas, ao excessivo aumento do número de veículos e carência de recursos.

Assim a racionalização contínua e gradual dos meios empregados no transporte é um dos objetivos principais a ser atingido, ou seja, à crescente demanda do serviço de transporte deverá haver um crescente aumento na oferta, com a finalidade de se manter um mesmo nível do serviço adequado.

O transporte público urbano, com exceção de poucos centros, é feito no Brasil exclusivamente pelo ônibus. No quadro 1 verifica-se que a participação de viagens por ônibus em relação ao veículo privado é geralmente superior a 70%¹.

QUADRO 1

PERCENTUAL DE VIAGENS POR MODO EM CIDADES BRASILEIRAS

	Porto Alegre	São Paulo	Belo Horizonte	Recife	Rio de Janeiro
Condutores de Autos	24,80	17,80	19,20	16,00	14,60
Passageiros de Autos	9,50	8,00	10,80	7,70	6,20
Passageiros de Ônibus	65,70	74,20	70,00	76,30	79,20

FONTE: GEIPOP

Há ainda a registrar o fato do ônibus já ter sua tecnologia perfeitamente assimilada, pela indústria nacional.

No entanto, para caracterizar ainda mais a importância do ônibus na solução dos problemas de transporte urbano, apresenta-se o quadro 2 retirado do estudo feito pela Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes - GEIPOT, Projeto de Inovações na Tecnologia de Transportes Urbanos¹, onde é mostrado uma comparação entre o automóvel e o ônibus (80 lugares) no que diz respeito a potência de transporte e ocupação de espaço.

Obviamente, não se pretende aqui estar comparando o ônibus com o automóvel, mas reforçar a necessidade de tratamento diferenciado entre os dois sistemas, isto é, caracterizar a importância do ônibus como serviço público e na busca de soluções colocá-lo em situação prioritária no contexto do tráfego em geral, visando fundamentalmente aumentar o potencial de transporte de pessoas em corredores, aliviando congestionamento da via e reduzindo necessidades e custos nesta via. Não se deve esquecer também a manutenção de níveis de qualidade de serviço afim de que o usuário do sistema, ônibus, não o compare desfavoravelmente com o veículo privado.

Herbert S. Levinson e William F. Hoey, estabelecem, no seu trabalho, A Otimização do Uso de Ônibus em Vias Urbanas², uma escala para utilização de vários tipos de tecnologia e operação de transporte público, em função da intensidade no corredor de tráfego e de atividades no centro. Tais tipos são aqui descritos em ordem crescente de sua aplicação e são mostrados na Figura 1.

1 - Engenharia de Tráfego

QUADRO 2

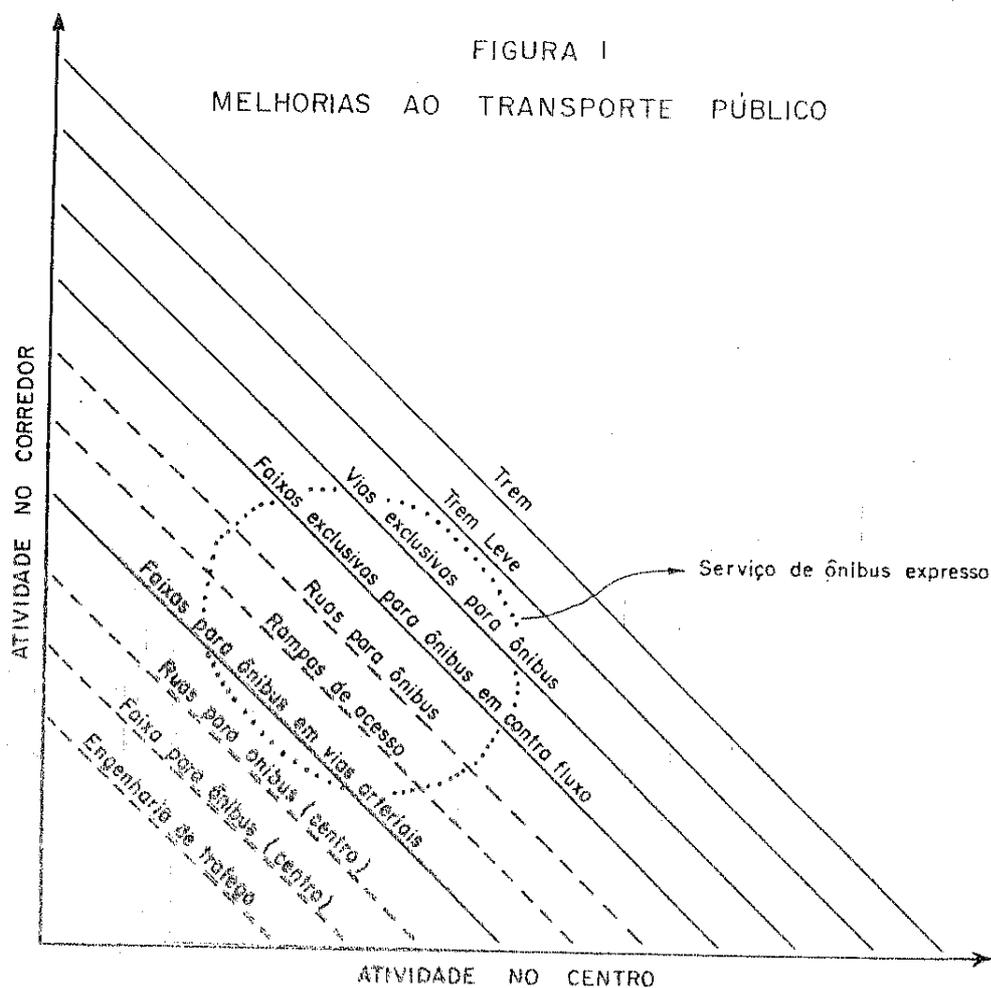
POTÊNCIA DE TRANSPORTE E OCUPAÇÃO DE ESPAÇO

M O D O	VELOCIDADE COMERCIAL (Km/h)	POTÊNCIA DE TRANSPORTE POR FAIXA (pass./h km/h)		OCUPAÇÃO DO ESPAÇO VIÁRIO* (m ² /pass.)			
		TAXA DE OCUPAÇÃO					
		100%	67%	33%	100%	67%	33%
Automóvel	10	48.000	32.000	16.000	6,2	9,4	18,7
	20	120.000	80.000	40.000	10,0	15,0	30,0
	30	180.000	120.000	60.000	15,0	22,5	45,0
	40	240.000	160.000	80.000	20,0	30,0	60,0
	50	300.000	200.000	100.000	25,0	37,5	75,0
Ônibus (80 lugares)	10	96.000	64.000	32.000	3,1	4,7	9,4
	20	192.000	128.000	64.000	6,3	9,4	18,8
	30	288.000	192.000	96.000	9,4	14,1	28,1

FONTE: EPF/LAUSANNE - ITEP

* Para este cálculo considerou-se uma largura de via de 3,00 m e um headway de 30 s para automóveis.

- 2 - Faixas exclusivas para ônibus na área central
- 3 - Ruas para ônibus na área central
- 4 - Faixas para ônibus nas vias arteriais
- 5 - Rampas
- 6 - Ruas para ônibus
- 7 - Faixas em contra fluxos em vias expressas
- 8 - Vias exclusivas para ônibus
- 9 - Trem



Verifica-se, assim, uma grande variação no tratamento específico para ônibus, afora outros não citados, como por exemplo, a operação de ônibus em comboio.

Visando pois, atender a uma faixa de corredores de sentido único, para cidades de porte médio, e como um primeiro tratamento prioritário ao sistema de transporte coletivo urbano, ônibus, de acordo com o apresentado na figura 1, o presente trabalho se resume em uma proposição de procedimentos para a determinação de tempo viagem de ônibus em tráfego misto e faixa exclusiva.

O acesso do planejador a este tipo de trabalho o possibilita avaliar uma melhoria de prioridade ao transporte coletivo atingindo não somente objetivos puramente econômicos, em termos de redução de tempo do usuário e custos de operação, como também a outros adicionais, quais sejam, política energética, melhoria do meio ambiente, alteração na divisão modal em favor do transporte público, melhoria dos níveis de serviço ao usuário, etc.

Os procedimentos para o cálculo do tempo de viagem por ônibus são fixados no Capítulo II e apresentados divididos de acordo com os tempos característicos da viagem como se verá posteriormente, quais sejam:

- Tempo em percurso
- Tempo em interseção
- Tempo em parada para atendimento de usuários
- Tempo em aceleração e desaceleração

Em seguida, no Capítulo III, é apresentado uma aplicação destes procedimentos em um determinado corredor, mostrando-se a variação do tempo de viagem com a implantação da faixa exclusiva, devido exclusivamente a mudança nas condições de operação do ônibus em menor volume de tráfego.

No Capítulo IV são apresentadas as conclusões do trabalho visando a importância do tratamento prioritário

do transporte público e caracterizando as situações de implantação da faixa exclusiva.

Finalmente trata o Capítulo V das sugestões para futuros trabalhos.

1.2 - Considerações Gerais sobre Faixas Exclusivas para Ônibus.

A separação dos diversos tipos de tráfego aumenta a capacidade viária de uma malha de transporte³, através da melhor ordenação e de um mais perfeito disciplinamento dos fluxos de tráfego podendo-se dizer que o fluxo torna-se mais uniforme como menos "turbilhonamentos".

As alternativas para o desenvolvimento do sistema de transportes urbanos são resumidas nestas três medidas principais⁴:

a) Desenvolvimento da malha existente

Para particularmente as áreas centrais, este tipo de medida ao tentar acompanhar o crescimento do veículo exige investimentos crescentes e dado normalmente a formação urbana anterior ao aparecimento do veículo privado leva a descaracterização desta área central afora as grandes despesas com desapropriação.

b) Sistemas de ferrovias urbanas

Os sistemas de ferrovia urbana, particularmente subterrânea, são geralmente lembradas como a solução para o transporte urbano, quando a demanda atinge a certos níveis. No entanto, tal sistema exige altíssimos investimentos e é inflexível no que tange a mudanças de origens e destinos. Sendo assim, seu uso é restrito a corredores de grande tráfego em áreas de alta densidade populacional.

Para sistemas existentes, há a necessidade de se assegurar ao transporte estudos unificados com as linhas de ônibus visando a otimização do conjunto.

c) Racionalização do uso de vias existentes

- Medidas objetivando a restrição do uso do veículo privado nas áreas centrais:

- proibição a circulação de veículos e/ou controle de estacionamentos,
- implantação de áreas de estacionamento fora do centro com facilidade de transbordo para transporte público,
- incentivo ao uso de uma taxa de ocupação maior para o veículo privado,
- controle do uso do solo,
- aplicação de técnicas de cobrança de taxa para uso de facilidades urbanas.

- Medidas objetivando a melhoria do transporte público:

Tendo em vista o grande conflito com o veículo privado, as medidas para a melhoria do transporte público devem visar fundamentalmente a prioridade deste sobre aquele. Entretanto, os melhoramentos do transporte por ônibus podem ser feito num primeiro grupo de medidas com o objetivo de se alcançar bons níveis de serviço através de, melhorano conforto, aumento da área servida. O segundo grupo são medidas visando melhorar as condições de operação (velocidade, regularidade) do transporte público. Sem dúvida, para se alcançar este objetivo a medida mais destacada é a separação do transporte público, ônibus do restante do tráfego.

1.2.1-Separação do transporte público, ônibus, do restante do tráfego.

Os principais tipos de prioridades para ônibus com separação horizontal do restante do tráfego são: vias exclusivas para ônibus (bus way), ruas exclusivas para ônibus e faixas exclusivas para ônibus (bus lane).

Define-se como vias exclusivas para ônibus como o tratamento prioritário, em geral, no centro de vias expressas, com os cruzamentos em diferentes níveis. É geralmente usada para atendimento de linhas expressas.

Ruas exclusivas para ônibus é outro tipo de tratamento preferencial para ônibus onde a separação do restante do tráfego é total. Geralmente são utilizadas nas zonas centrais para soluções localizadas e tendo em vista principalmente a dificuldade de ampliação do espaço viário. Por outro lado, tendo em vista, a prioridade nestas áreas centrais dada aos pedestres, este tipo de tratamento permite ao ônibus o acesso total, melhorando a atratividade do transporte público.

Faixas exclusivas para ônibus é o tipo de tratamento preferencial com separação de tráfegos em que são mantidos os cruzamentos em mesmo nível e que pode-se dizer início a política de segregação, sendo caracterizadas pelos baixos investimentos necessários e pela possibilidade de atender ao crescimento gradual da demanda de transporte. O melhoramento, com a implantação da faixa exclusiva, é alcançado através dos seguintes objetivos principais:

- redução dos custos de operação
- aumento da velocidade comercial do transporte público, especialmente nas horas de maior demanda,

- manutenção de uma maior regularidade de horário.

1.2.2-Faixas Exclusivas⁴

- Tipos

As faixas exclusivas podem ser classificadas de acordo com os seguintes critérios:

- sua orientação em relação ao sentido tráfego,
- sua posição na via,
- seus dispositivos de separação do restante do tráfego.

Dependendo de sua orientação em relação ao tráfego adjacente pode-se dividir as faixas exclusivas para ônibus em dois tipos:

- faixas em fluxo, onde o sentido do tráfego de ônibus é o mesmo do tráfego adjacente restante e,
- faixas em contra-fluxo, onde o sentido do tráfego do ônibus, na faixa exclusiva, é contrário ao tráfego adjacente restante.

Quanto a posição na via, as faixas exclusivas para ônibus podem estar:

- no centro da via
- na lateral da via

Finalmente quanto aos dispositivos de separação do tráfego, as faixas exclusivas podem estar segregadas por:

- marcação horizontal, através de linha longitudinal aplicada na superfície viária,
- separação física de fácil transposição nos casos de emergência, como exemplos, meio-fio baixo, ta_lchões, etc

- separação física total, através de blocos de concreto, meios fios, cones de borracha, etc.

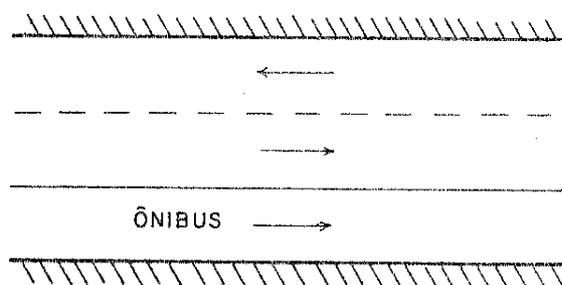
Todas as faixas situadas no centro da via, como também as faixas de contra-fluxo devem ter separação bem destacada.

Pode-se citar os tipos mais comuns de faixas exclusivas para ônibus encontradas:

- Faixas em fluxo
 - faixa para ônibus à direita do fluxo normal

Mostrada na figura 2

FIGURA 2



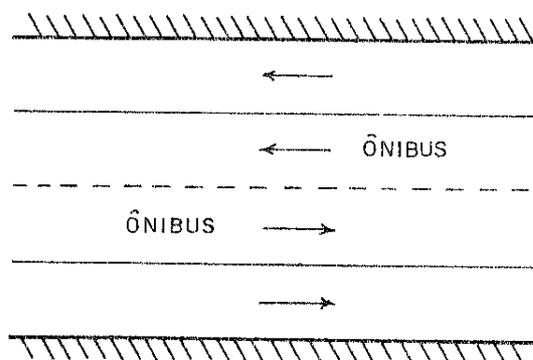
É o tipo mais comum de faixa para ônibus, não envolve nenhum problema em particular

- faixa para ônibus no meio do fluxo normal

Mostrada na figura 3

FIGURA 3

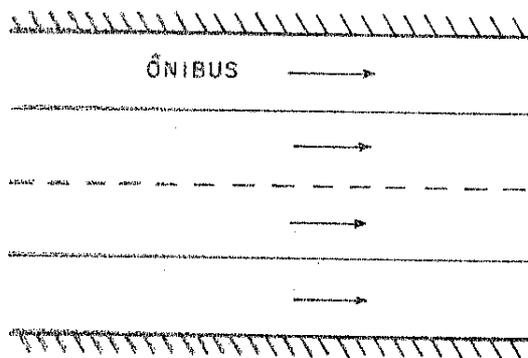
FIGURA 3



Se houver necessidade de paradas para atendimento de usuários impõe-se a existência de ilhas nos locais de paradas. Causará alguns problemas a entrada e saída do ônibus da faixa exclusiva. Estas mesmas considerações são válidas para o caso da faixa exclusiva para ônibus, nesta situação, mas de sentido único.

- faixa para ônibus à esquerda do fluxo normal
Mostrada na figura 4

FIGURA 4



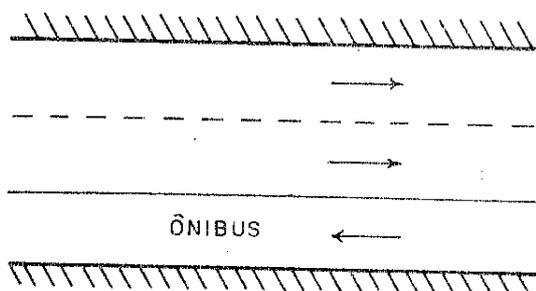
Acontece, neste tipo, os mesmos problemas apontados no anterior no caso de atendimento de usuários. É usado para simplificar os movimentos de retorno à esquerda de ônibus e nos casos de problemas de carga e descarga de mercadorias à direita.

- Faixas em contra-fluxo

- faixa para ônibus à direita do fluxo normal

Mostrada na figura 5

FIGURA 5



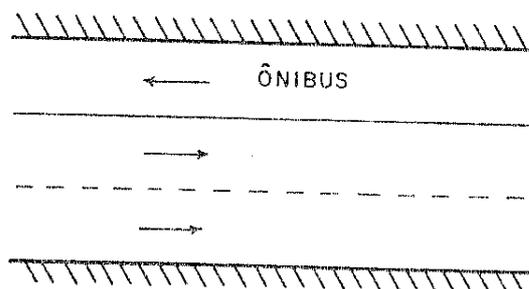
Este tipo apresenta problemas na entrada e saída da faixa. Há a necessidade de ilha nos locais de atendimento de usuários. Envolve problemas nos cruzamentos.

- faixa para ônibus à esquerda do fluxo normal

Mostrada na figura 6

FIGURA 6

FIGURA 6



Exemplo clássico de faixa para ônibus em contra-fluxo. Não envolve problema, afora os específicos da faixa em contra-fluxo.

- Critérios para a implantação de faixa exclusiva para ônibus.

A diminuição do tempo de uma viagem por ônibus em áreas urbanas tem limite. Não se pode esperar, com a implantação de faixas exclusivas para ônibus, nos centros urbanos velocidades muito superior a 15 km/h nas áreas centrais e a 20 km/h nos bairros afastados⁴. Isto é devido aos seguintes fatores:

- restrição na velocidade máxima (60 km/h),
- atendimento de usuários ao longo do percurso de viagem,
- interseções sinalizadas causando a retenção do tráfego.

Por estas razões, sua implantação somente se justifica onde se detectar uma capacidade inadequada, pela ocorrência de constantes congestionamentos prejudicando sensivelmente a operação do transporte público. Assim pode-se considerar como condições básicas à implantação de faixa exclusiva em uma determinada via⁴:

- espaço suficiente, ou seja, nº de faixas adequado,
- ocorrência constante de engarrafamento, e retenções com formação de filas consideráveis,
- número elevado de ônibus por hora.

Estes critérios, segundo o estudo Projeto de Inovações na Tecnologia de Transportes Urbanos, do GEIPOT¹, são expostos do seguinte modo:

- proibição de estacionamento ao longo do meio-fio,
- existência de pelo menos duas outras faixas para o restante do tráfego,
- o número de usuários de ônibus igual ou superior ao número de passageiros transportados por automóvel na via,
- fluxo de pelo menos 30 a 40 ônibus por hora por sentido na hora de pico, ou cerca de 300 ônibus em 24 horas.

Para a minimização dos fatores restritivos a diminuição do tempo de viagem outras medidas prioritárias podem ser tomadas acompanhando sempre o crescimento da demanda⁴:

- interseções (cruzamento)

- fase de semáforo exclusivo para o ônibus em faixa exclusiva,
- semáforo com controlador de tempo ou fase permitindo ao ônibus cruzar a interseção durante o primeiro tempo verde após sua chegada,
- estudo do sistema de sinalização para o fluxo de ônibus.

- atendimento de usuários

- estudo de "lay-out" para o embarque de passageiros,

- formação de comboio de ônibus, para os locais onde já ocorram filas de ônibus aguardando o acesso de passageiros,
- paradas seletivas,
- paradas alternadas.

A experiência de implantação de faixas exclusiva para ônibus.

Theodoro Gevert⁵, no seu trabalho Tecnologia de Transporte de Massa resume alguns valores para o volume apresentado em tratamentos prioritários para ônibus:

- a) 140 ônibus por hora, para a operação em faixas exclusivas com paradas normais,
- b) 140 a 300 ônibus por hora, para operação em faixas exclusivas, com paradas fora da faixa e principais cruzamentos em níveis diferentes,
- c) 400 ônibus por hora, para operação em faixas exclusivas, com formação de comboio de 3 ônibus,
- d) 500 ônibus por hora, para operação em vias exclusivas com parada fora da faixa,
- e) 1200 a 1450 ônibus por hora, para operação em pista de teste em condições ideais, com paradas fora da faixa,
- f) 175 ônibus por hora, com o maior valor obtido nos EUA, com parada na faixa. No Brasil, para o caso de operação de ônibus em faixa exclusiva, com paradas na faixa, há um consenso em se tomar como capacidade da faixa exclusiva valores em torno de 120 ônibus por hora, tendo em vista, principalmente, as características de atendimento do usuário nestas paradas.

Para melhor configuração dos tipos, volumes e outras características da experiência estrangeira na operação de faixa exclusiva para ônibus anexou-se ao presente trabalho os quadros 3 e 4 contidos no estudo Projeto de Inovações na Tecnologia de Transportes Urbanos, do GEIPOT¹. Nos quadros 5 e 6 são apresentados os ganhos de tempo com a operação de ônibus em faixa exclusiva contidos no estudo da Organization for Economic Cooperatios and Development-OECD, Bus Lane and Busway Systems⁴.

No Brasil, ainda não há uma conscientização da importância do tratamento prioritário para o ônibus. Os esforços são dirigidos na otimização do fluxo de tráfego geral e não do fluxo de usuários do sistema, ou seja, as considerações são feitas sobre o número de veículos e não o número de passageiros, que levaria a destacar o papel do ônibus no sistema de transporte urbano. Para uma visão do uso de faixa exclusiva, com suas características, no Brasil, é apresentado o Quadro 7.

QUADRO 3

ALGUMAS FAIXAS EXCLUSIVAS (buslines) EM USO NA EUROPA

LOCAL	CONFIGURAÇÃO	FLUXO DE ÔNIBUS P/HORA	EFETOS NO SISTEMA ÔNIBUS	EFETOS NO SISTEMA AUTOMÓVEL	BENEFÍCIOS ECONÔMICOS	OBSERVAÇÕES	
		FORA DO PICO					PICO
READING INGLATERRA Kings Road - 1968 -	1 Faixa em contra-fluxo em sistema de mão única. Estação: 1000m. 24 h. de operação	40	40	Redução de 2 a 4 minutos no tempo de viagem por ônibus usando a faixa exclusiva. Sem alterações nos horários fora do pico. Redução de 6 a 8 minutos no tempo de viagem por ônibus usando o sistema de mão única. Redução de 1 a 2 minutos nos horários fora do pico.	---	---	---
READING INGLATERRA Comprehensive Traffic Management Scheme - 1968/70 -	4 Faixas em contra-fluxo incorporadas ao sistema de mão única. 120-270 m de comprimento. 24 h. de operação			Redução de 2 a 5 minutos de viagem pelos ônibus na área central.	Redução de 0,5 a 2,5 minutos no tempo de viagem por automóvel no sentido Leste/Oeste	Taxa de retorno de 30% no primeiro ano	Somente ônibus na via comercial principal. Restrição de uso para os demais veículos.
MANCHESTER INGLATERRA Flexibility - 1971 -	Faixa no sentido do fluxo. Automóveis desviados em torno do sistema mão única. Trânsito permitido aos ônibus.	140	65	Redução de 1 minuto no tempo de viagem por ônibus usando a faixa. Aumento de 1 minuto no tempo de viagem para os demais. Redução de 1 minuto no tempo de viagem por ônibus continuamente usando o sistema de mão única	Redução de 1 minuto no tempo de viagem por automóvel no sentido Sul/Norte. Aumento de 0,5 minutos no tempo de viagem pelos automóveis nas outras vias. (Decréscimo de 10% nos fluxos na área).	---	Redução de 9% no número de passageiros de ônibus no pico e 14% fora do pico.
DUBLIN IRLÂNDIA Fairview - 1971 -	Faixa no sentido do fluxo. Três curtas faixas para ônibus alimentadores (feeder). Comprimento total: 3,4 km. Pico de manhã.	145	(175 durante a expedição)	Redução de 2 minutos de tempo de viagem por ônibus usando a faixa exclusiva. Aumento de 13% na preferência dos usuários pelo sistema	Aumento de 2,5 minutos pelos automóveis (Fluxo reduzido em 30%)	Média de tempo de viagem por passageiro no longo da faixa reduzida de 1 minuto. 270 h de tempo de passageiro reduzidas durante o pico.	Redução de tarifa. 30 ônibus extras durante a expedição
PARIS FRANÇA - 1964/6 -	33 faixas (até 1/1/68). Comprimento total: 12 km. Muitas são faixas no sentido do fluxo.	35	100	Aumento de 4 a 40 km/h nas velocidades.	Redução frequente no tempo de viagem dos automóveis.	---	Cerca de 60% das faixas exclusivas foram estabelecidas eliminando-se os estacionamentos de automóveis.
MARSEILLES FRANÇA	Várias buslines. Comprimento total: 5,2 km	20	120	Aumento de 1 a 4 km/h nas velocidades. 1% a 4% de aumento na preferência dos usuários pelas rotas usando as faixas exclusivas. 5% de decréscimo nos demais	---	---	---

Fonte: Transport and Road Research Laboratory, Inglaterra

QUADRO 4

ALGUMAS BUSLANES (Faixas Exclusivas) EM OPERAÇÃO EM LONDRES

BUSLANE (Faixa Exclusiva)	INÍCIO DE OPERAÇÃO	COMPRIMENTO (METROS)	TIPO E DIREÇÃO	PERÍODO DE OPERAÇÃO	NÚMERO MÁXIMO DE ÔNIBUS P/HORA
VAUXMALL BRIDGE ROAD (de Francis Street até John Islip Street)	17.07.1972	585	Fluxo normal (direção sul)	13.00 - 19.00 h. Segunda a Sexta- feira	48
CAMBERWELL GREEN (WEST SIDE) (de Camberwell Road até Denmark Hill)	07.08.1972	150	Fluxo invertido (direção sul)	24 horas	110
UPPER STREET (de Islington Green até Ducan Street)	28.08.1972	235	Fluxo normal (direção sul)	06.00 - 11.00 h. Segunda a Sexta- feira	135
KINGSLAND ROAD I (de Cromer Street até Old Street)	12.12.1972	270	Fluxo normal (direção sul) com táxi	08.00 - 10.00 h. Segunda a Sexta- feira	67
KINGSLAND ROAD II (de Englefield Road até Stamford Road)	30.04.1973	166	Fluxo normal (direção norte) com táxi	16.30 - 18.30 h. Segunda a Sexta- feira	76
KENSINGTON ROAD a) de Queens Gate até Palace Gate b) de Palace Gate até Royal Garden Hotel	16.04.1973	a) 152 b) 274	Fluxo normal (direção oeste)	16.00 - 18.30 h. Segunda a Sexta- feira	a) 66 b) 79
PICCADILLY (de Piccadilly Circus até St. James's Street)	13.05.1973	440	Fluxo invertido (direção oeste)	24 horas	81
BRIGHTON ROAD, CROY- DON (de Haling Park Road até Nottingham Road)	27.08.1973	450	Fluxo normal (direção norte)	08.00 - 09.30 h. Segunda a Sexta- feira	40
FINCHLEY ROAD II a) de Swin Cottage até Gol- dhurst Terrace b) de Canfield Gardens até Ly- mington Road c) de Lyngcroft Gardens até Fortune Green Road	15.11.1973	a) 260 b) 415 c) 375	Fluxo normal (direção norte) com táxi	16.00 - 18.30 h. Segunda a Sexta- feira	a) 58 b) 35 c) 35
QUEENSTOWN ROAD (de Praire Street até Queen's Road Station)	17.12.1973	710	Fluxo normal (direção norte) com táxi	07.30 - 09.30 h. Segunda a Sexta- feira	24
KENNINGTON HIGH STREET (de Phillimore Gardens até Derry Street)	06.04.1974	428	Fluxo normal (direção leste)	08.00 - 10.00 h. 16.00 - 18.30 h. Segunda a Sexta- feira	91
ST. JOHN'S HILL (de Bar Street, perto de Plough Road até Sevrus Road)	15.07.1974	215	Fluxo normal (direção leste) com táxi	07.30 - 09.30 h. Segunda a Sexta- feira	54
EVELYN STREET (de Rolt Street até Grove Road)	04.11.1974	000	Fluxo normal (direção oeste) com táxi	07.00 - 10.00 h. Segunda a Sexta- feira	31
TRAFALGAR SQUARE (na parte ocidental)	19.05.1975	100	Rua exclusiva para ônibus e tá- xis (direção norte)	24 horas	95
NEW OXFORD STREET (de Blomfield Street até St. Giles's Circus)	08.06.1975	350	Fluxo invertido (direção oeste)	24 horas	63
STRAND (de Adam Street até White's Street)	18.05.1975	200	Fluxo normal (direção oeste) com táxi	24 horas	117

PONTE: LONDON TRANSPORT
TRAFFIC OFFICE (LUBES)
03.04.1974 a 26.05.1970

QUADRO 5
TEMPO GANHO EM FAIXA EXCLUSIVA EM FLUXO

LOCALIDADES	COMPRIMENTO (m)	Tempo ganho na Hora Pico		VELOCIDADE (Km/h)
		Segundos	Porcentagem	
<u>OTTAWA</u>				
Albert	1.260	68	16,4	11,5
Rideau Street (eastbound)	1.600			
(westbound)	1.600	88	35	
Slater	1.260	60	19	
<u>TORONTO</u>				
Eglinton Avenue east	2.575	35		15
	2.575	25		
<u>COPENHAGEN</u> Ganho médio de 1,5 min/Km				
<u>MADRID</u> Aumento médio de 25% na velocidade				
<u>NEW YORK</u>				
Fifth Avenue (86th-35th Streets)	4.022		42	
First Avenue (34th-72nd Streets)	3.060		27	
<u>DALLAS</u>				
Post Worth Avenue	3.000	180		
Harry Wines Boulevards	3.200	120		
<u>SAN FRANCISCO</u>				
Geary	2.400		46	
<u>PARIS</u>				
Quai du Louvre and Quai de La Megisserie	1.030	274	54	15,3
Boulevard St. Michel	670	139	36	9,8
Rue de Rivoli	1.000	94	20	9,6
Rue Beaubourg	900	69	26	15,4
Rue de Clichy	680	24	17	23
Rue de Sevres	750	25	13	16,4
Grands Boulevards	1.000	117	33	15,8
Av. Ledru Rollin	200	48	45	12
Av. de Versailles	760	33	21	21,2
Rue St. Lazare and de Chateaudun	1.140	131	27	12,1
Av. de Fontainebleau	690		123 (com paradas)	18,1
			135 (sem paradas)	20,9
Ganho médio de 2,7 min/km na Hora Pico e 1,5 min/km fora da Hora Pico				
<u>LONDON</u>				
Vandhall Bridge	675	420	65	9,7
<u>MANCHESTER</u>				
Oxford Road	900	6	4	10,8
<u>MILAN</u>				
Corso 22 Marzo (faixa no centro da via)	1.300		28	
Aumento de 20% na velocidade				

Fonte: OECD

QUADRO 6
TEMPO GANHO EM FAIXA EXCLUSIVA EM CONTRA FLUXO

LOCALIDADES	COMPRIMENTO (m)	Tempo ganho na Hora Pico		VELOCIDADE (km/h)
		Segundos	Porcentagem	
<u>PARIS</u>				
Bd. St. Michel	630	90	30	10.8
Av. Montaigne	660	315	56	9.5
<u>TOULOUSE</u>				
Rue d'Alsace Lorraine	800		50	11
<u>LILLE</u>				
Rue Faidherbe	240		250	14
<u>MARSEILLE</u>				
Rue de Rome	700		200	15
Av. de Toulon	700		180	15
Rue de Paradis	1.000		230	20
<u>TOTTENHAM</u>				
High Road	780	144	33	15
<u>READING</u>				
King's Road	920	103	26	8.4
<u>AMSTERDAM</u>				
			70	17
<u>MADRID</u>				
Sanchez Bastillo	180		10	
<u>SAN JUAN</u>				
	18,500	2,500	37	12.7
<u>BOLOGNA</u>				
Via Saragozza	2,250		20	

Fonte: OECD

QUADRO 7
FAIXAS EXCLUSIVAS NO BRASIL

	Extensão (Km)	Sentido	Tipo de Faixa	Separação Física	Largura Faixa	Frequência Média (ônibus/hora)	Nº de Linhas	Passageiros p/ dia	Data Implementação	Comentários
Goiânia	8,5	duplo	canteiro central	tartarugão		40	1	120.000	jan/77	
Manaus	4 (x 2)	duplo	rua exclusiva		8 m (tot. rua)		41		jul/79	
Salvador	5	único	no fluxo a direita	signalização horizontal	5 m				1974	praticamente desativadas
	3,2	único	no fluxo a direita	signalização horizontal	4,5 m				1976	praticamente desativadas
São Paulo	1,5	único	rua exclusiva		4 m	200			1979	em implantação
	13 (x 2)	duplo	no fluxo a direita	tachão	3,3 m	220				
	7	duplo	misto C. Garcia			450	114	600.000	1976	
	12	único	contra fluxo	tachão	3,5 m	300			1976	
	11	único	no fluxo a direita	tachão	3,3 m	100			1976	
Total	2 (x 2)	duplo	rua exclusiva			200			1976	
	60									

Fonte: EBTU

CAPÍTULO II

2. PROCEDIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE VIAGEM POR ÔNIBUS

2.1 - Considerações Gerais

Os procedimentos aqui propostos permitem uma primeira visão das consequências de implantação de faixa exclusiva, em fluxo, no tempo de viagem de ônibus, para as condições já previamente descritas, no Capítulo I, quais sejam, corredor urbano de sentido único em cidade de médio porte, com crescimento na demanda de transporte e como um primeiro tratamento prioritário na operação do transporte coletivo, ônibus, visando atender a esta crescente demanda, tendo em vista simplesmente, a mudança dos níveis de volume da operação do ônibus.

Com todos procedimentos, é possível determinar-se a variação do tempo de viagem por ônibus, com a implantação da faixa exclusiva, conhecendo-se o volume de veículos em tráfego misto na via e a frequência de ônibus, a distância percorrida, as características de sinalização luminosa em cada interseção, de atendimento ao usuário.

Não se levou em consideração os aspectos ou impactos no tráfego em geral tendo em vista que, na área de aplicação deste trabalho normalmente encontrar-se-ão vias adjacentes que com melhoramentos irão proporcionar a absorção destes impactos. Assim, o presente trabalho será uma contribuição ao estudo mais amplo de áreas onde estão inseridos corredores nos quais se deseja implantar faixas exclusivas.

Para facilitar o desenvolvimento do trabalho os tempos característicos de uma viagem a serem descritos mais adiante foram considerados pela unidade de comprimento,

tendo-se adotado o quilômetro, para o caso. Também ao se falar em capacidade ou volume da via está se supondo este valor por faixa de rolamento.

2.2 - Descrição

A aplicação dos Procedimentos, ora propostos, irá permitir a comparação dos tempos de viagem por ônibus, em tráfego misto e em faixa exclusiva sem levar em consideração os seguintes aspectos:

- . tempos em congestionamentos, atritos e retenções.
- . a interferência do veículo privado, automóvel, quando da formação de fila pela interrupção da via, no tempo de atendimento de usuário em parada.
- . a interferência de uma interseção, quando da formação de fila, sobre a anterior.

Para tanto, caracterizou-se uma viagem por ônibus segundo os seguintes tempos gastos:

- . tempo em percurso - T_p
- . tempo em interseções - T_i
- . tempo em parada para atendimento de usuários - T_a
- . tempo em aceleração e desaceleração - T_{ad}

A soma destes tempos irá traduzir o tempo total de viagem (T_v) em um determinado corredor, nas condições de fluxo contínuo.

$$T_v = T_p + T_i + T_a + T_{ad} \quad (V)$$

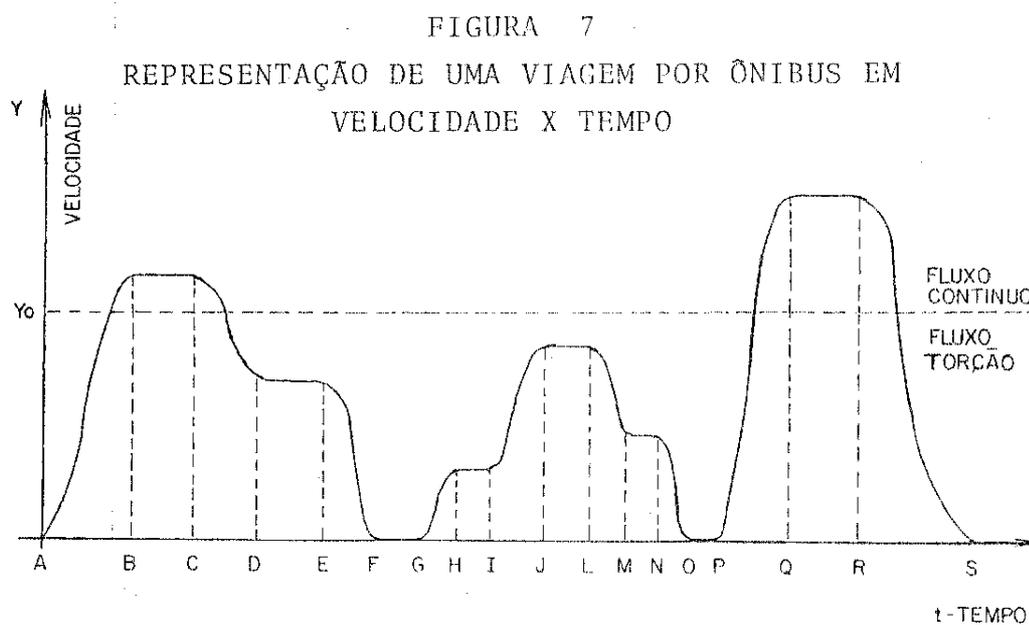
Determinado o tempo de viagem por ônibus em tráfego misto e em faixa exclusiva, a diferença entre estas duas situações representará a variação pretendida.

Como cada divisão do tempo de viagem tem seu procedimento de cálculo próprio, estabeleceu-se as seguintes

subdivisões:

- procedimento para a determinação do tempo em percurso
- procedimento para determinação do tempo em interseção
- procedimento para a determinação do tempo em parada para atendimento de usuários
- procedimento para a determinação do tempo em aceleração e desaceleração.

Uma viagem por ônibus, pode ser representada conforme a Figura 7.



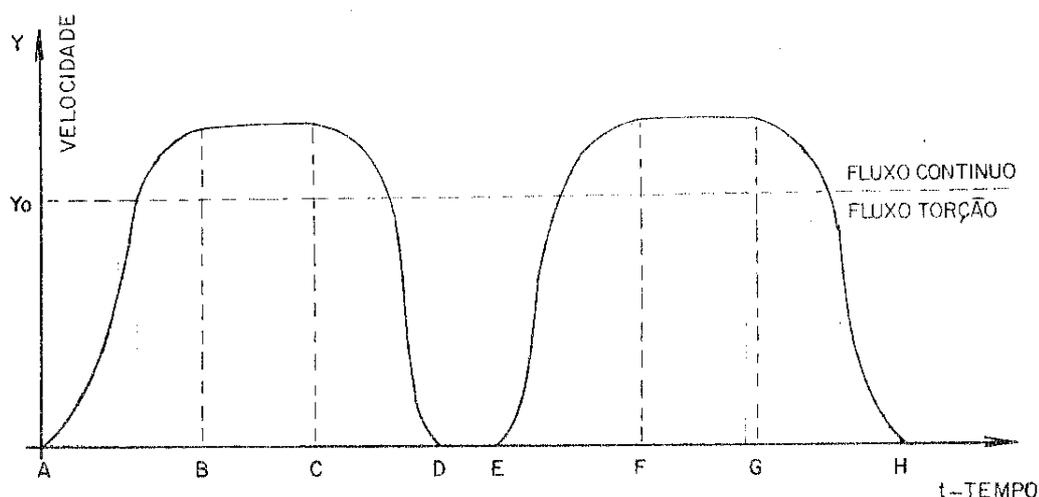
Pode-se caracterizar os diversos tempos de uma viagem no gráfico anterior:

- Tempo em percurso: BC
- Tempo em interseção: FG, OP
- Tempo em parada: FG, OP

- Tempo em acel. e desacel.: AB, CD, EF, GH, IJ, LM, NO, IQ, RS
- Tempo em congestionamento: FG, OP
- Tempo em retenção: DE, HI, JL, MN, QR

Verifica-se assim, a complexidade de uma viagem. Para simplificação dos cálculos e tendo em vista a finalidade do trabalho, modelou-se a viagem segundo a figura 8 apresentada a seguir, onde estão caracterizadas todas as etapas da viagem:

FIGURA 8
REPRESENTAÇÃO DE UMA VIAGEM POR ÔNIBUS EM
VELOCIDADE MÉDIA DO FLUXO X TEMPO



- Tempo em percurso: BC, FG
- Tempo em interseção: DE
- Tempo em parada: DE
- Tempo em acel. e desacel.: AB, CD, EF, GH

Na elaboração do presente trabalho para o cálculo do tempo total de viagem as seguintes suposições foram sugeridas:

- 1 - No procedimento para determinação do tempo de percurso considera-se a via urbana arterial como prioritária. Não se leva em conta as outras atividades decorrentes da operação do ônibus quais sejam influência de interseções sinalizadas, paradas, aceleração e desaceleração.
- 2 - Posteriormente, ao se levar em conta a existência de interseções, é calculado o tempo médio gasto nesta, por veículo. Supõe-se um tratamento inicial no sistema de sinalização existente, com a finalidade de se minimizar os efeitos de uma interseção sobre outra, não considerando as situações em que a extensão da fila de veículo de uma conflite com a operação da outra. Concluindo, adotou-se para cada interseção e, dependendo de suas características de sinalização, o tempo gasto na interseção como o tempo médio gasto por cada veículo.
- 3 - O efeito da parada sobre o tempo gasto na mesma, pelo ônibus, é dependente das variáveis: Número de passageiros por parada e Número de paradas por quilômetro, já que houve fixação para o tempo de acesso e saída do usuário do ônibus.
- 4 - Para a determinação do tempo gasto em aceleração e desaceleração foi adotado um modelo representado por uma curva de desempenho de um ônibus urbano constante do livro Transportation and Traffic Engineering Handbook - TTEH⁶.

2.3 - PROCEDIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PERCURSO

2.3.1 - Descrição

As variáveis utilizadas para se analisar a situação do fluxo de tráfego foram:

- Volume de tráfego - Z
- Velocidade média do deslocamento do fluxo de tráfego - Y
- Densidade de veículos - X

Através da Equação da Continuidade ($Z=XY$) e de modificação no Modelo de Greenshields,^{7,8} das relações velocidade x volume e volume x densidade, baseou-se o procedimento em pauta, mantendo-se as seguintes características para as últimas:

- As curvas representativas das relações citadas são parábolas do 2º grau.
- As curvas representativas das relações citadas atingem um volume máximo.
- Para volume nulo a velocidade é dita de fluxo livre e a densidade é nula ou máxima.

As alterações consideradas fundamentam-se nas observações contidas no Highway Capacity Manual - HCM, para vias arteriais urbanas, sobre aquelas relações a partir do que estabeleceu-se as seguintes premissas:

- validade das relações somente para fluxo contínuo,
- relação velocidade x volume assimétrica em relação a Y_0 ,
- relação volume x densidade assimétrica em relação a X_0 .

2.3.2 - Modelo de Greenshields^{7,8}

- Formulação

Relação velocidade x densidade - Figura 9

$$Y = Y_f - \frac{Y_f}{X_j} X \quad (2)$$

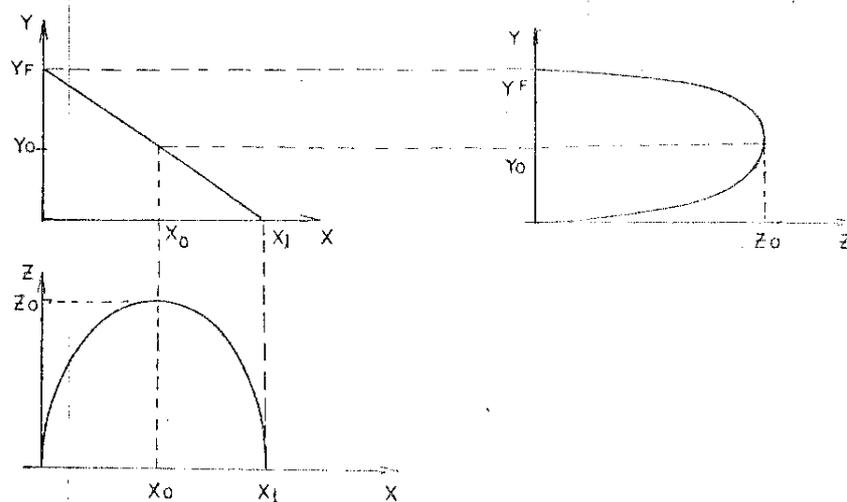
Relação velocidade x volume - Figura 9

$$Y^2 - Y_f Y + \frac{Y_f}{X_j} Z = 0 \quad (3)$$

Relação volume x densidade - Figura 9

$$Z = \frac{Y_f}{X_j} X^2 + Y_f X \quad (4)$$

FIGURA 9
MODELO DE GREENSHIELDS



2.3.3 - Desenvolvimento do Procedimento para a Determinação do Tempo de Percurso

2.3.3.1 - Formulação matemática

Face as características e premissas adotadas as relações terão a seguinte formulação:

Relação velocidade x volume

$$Y^2 + AY + BZ + C = 0 \quad (5)$$

Relação volume x densidade

$$Z = DX^2 + EX \quad (6)$$

- Condições

A - Relação velocidade x volume

1a. Z é máximo $p/Y=Y_0$

2a. $Z=0$ $Y=Y_f$

3a. $Z=Z_0$ $Y=Y_0$

• 1a. condição

como

$$\frac{dZ}{dY} = 0 \quad p/Y=Y_0$$

tem-se

$$2Y + A + B \frac{dZ}{dY} = 0$$

mas

$$\frac{dZ}{dY} = 0 \quad p/Y=Y_0$$

resulta daí

$$A = -2Y_0 \quad (7)$$

• 2a. condição

com

$$Z=0 \quad \text{para } Y = Y_f$$

tem-se

$$Y_f^2 + AY_f + C = 0$$

mas pela 1a. condição

$$A = -2Y_0$$

tem-se

$$C = -Y_f^2 + 2Y_o Y_f \quad (8)$$

• 3a. condição

como

$$Z = Z_o \text{ para } Y = Y_o$$

tem-se

$$Y_o^2 + AY_o + BZ_o + C = 0$$

mas

$$A = -2Y_o$$

e

$$C = -Y_f^2 + 2Y_o Y_f$$

resulta

$$Y_o^2 - 2Y_o^2 + BZ_o - Y_f^2 + 2Y_o Y_f = 0$$

e

$$B = \frac{(Y_f - Y_o)^2}{Z_o} \quad (9)$$

tendo-se finalmente a relação velocidade x volume

$$Y - 2Y_o Y + \frac{(Y_f - Y_o)^2}{Z_o} - Y_f^2 + 2Y_o Y_f = 0 \quad (10)$$

$$Y_o \leq Y \leq Y_f \text{ fluxo contínuo}$$

B - Relação volume x densidade

1a. Z é máximo $f/X = X_o$

2a. $Z=0$ $X=0$

3a. $Z=Z_o$ $X=X_o$

• 1a. condição

como

$$\frac{d_z}{d_x} = 0 \quad p/X = X_o$$

tem-se
$$\frac{dz}{dx} = 2DX + E$$

mas

$$\frac{dz}{dx} = 0 \quad p/X=X_0$$

resulta daí

$$2DX_0 + E = 0 \quad (11)$$

o 3a. condição

como

$$Z=Z_0 \quad \text{para} \quad X=X_0$$

tem-se

$$Z_0 = DX_0^2 + EX_0$$

como pela 1a. condição

$$E = - 2DX_0$$

tem-se

$$Z_0 = DX_0^2 - 2 DX_0$$

$$D = - \frac{Z_0}{X_0^2} \quad (12)$$

e

$$E = \frac{2 Z_0}{X_0} \quad (13)$$

tendo-se finalmente a relação volume x densidade

$$Z = - \frac{Z_0}{X_0^2} X^2 + \frac{2 Z_0}{X_0} X \quad (14)$$

$$0 \leq X \leq X_0$$

mas como

$$X_0 = \frac{Z_0}{Y_0}$$

pode-se representar

$$Z = \frac{-Y_o^2}{Z_o} X^2 + 2Y_o X \quad (15)$$

2.3.3.2 - Representação gráfica

Relação Velocidade x Volume - Figura 10

$$Y^2 - 2Y_o Y + \frac{(Y_f - Y_o)^2}{Z_o} Z - Y_f^2 + 2Y_o Y = 0$$

$$Y_o \leq Y \leq Y_f \quad (16)$$

$$Z = 0 \quad Y = \frac{Y_f}{0}$$

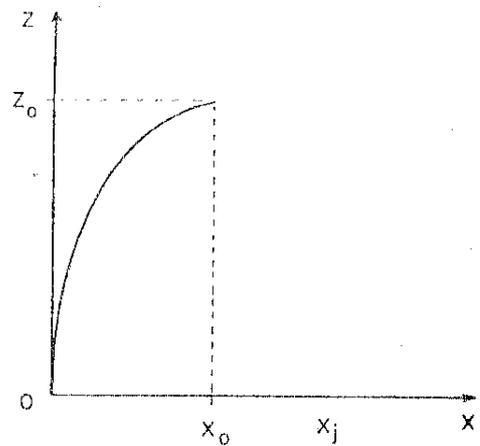
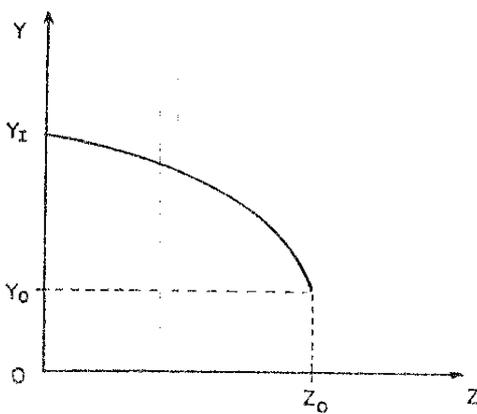
Relação Volume e densidade - Figura 10

$$Z = \frac{-Y_o^2}{Z_o} X^2 + 2Y_o X$$

$$0 \leq X \leq X_o \quad (17)$$

$$Z = 0 \quad X = \frac{X_j}{0}$$

FIGURA 10
 RELAÇÃO VELOCIDADE X VOLUME
 RELAÇÃO VOLUME X DENSIDADE



2.3.3.3 - Fixação dos principais parâmetros

- Volume ótimo - Z_o

Baseado na metodologia do HCM⁹ para uma via urbana e levando-se em conta as seguintes hipóteses simplificadoras:

- área plana
- % caminhões nula
- % ônibus nula
- afastamento lateral nulo
- acostamento nulo
- via urbana
- nível de serviço E

Acha-se o valor da capacidade da via $C=Z_o=1600$ vh/faixa

- velocidade ótima - Y_o

Com base ainda na metodologia desenvolvida pelo HCM⁹ para vias arteriais urbanas $Y_o=25$ km/h

- velocidade de fluxo livre (Y_f) e densidade máxima (X_j)

Para a fixação dos valores da velocidade de fluxo livre e da densidade máxima adotou-se valores já pesquisados por Freenshields⁷ e assim tem-se:

$$Y_f = 74 \text{ Km/h}$$

$$X_j = 121 \text{ v/Km}$$

2.3.3.4 - Substituição dos parâmetros adotados

- formulação matemática

- relação velocidade x volume - Figura 11

$$Y^2 - 50Y + 1,50Z - 1776 = 0$$

- relação volume x densidade - Figura 12

$$Z = -0,39 x^2 + 50x$$

- Representação gráfica

FIGURA 11
Relação Velocidade x Volume

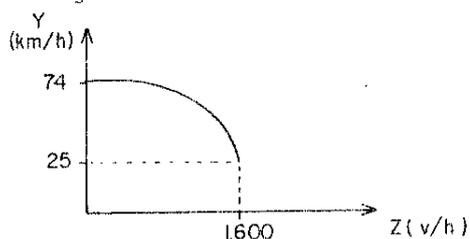
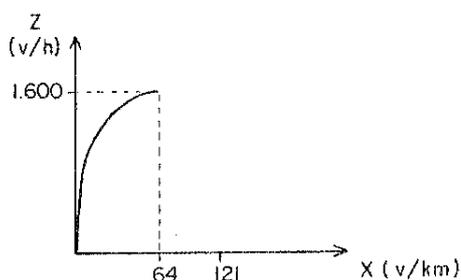


FIGURA 12
Relação Volume x Densidade



2.3.3.5 - Cálculo do tempo de percurso por quilômetro

- Apresentação matemática

A - Tráfego misto

Como o tempo de percurso por quilômetro é inverso da velocidade, levando-se em consideração a relação volume x velocidade tem-se a fórmula matemática representativa do tempo de percurso por quilômetro em função do volume na via:

$$(1,50z - 1776) t_p^2 - 50 t_p + 1 = 0 \quad (18)$$

A Tabela apresenta a tabulação desta fórmula para valores característicos de volume e restrição de 60 Km/h.

TABELA 1
TEMPO EM PERCURSO - Tráfego Misto

Z (vh)	TEMPO EM PERCURSO (s)	
	sem restrição de vel. máx.	com restrição de 60 km/h
200	50,8	60
300	52,0	60
400	53,4	60
600	56,5	60
800	60,4	60
1000	65,4	60

B - Faixa Exclusiva

Para a formulação do tempo de percurso em faixa exclusiva há necessidade de na equação representativa do tempo de percurso no item anterior se fazer as devidas correções de equivalência entre o ônibus e o veículo privado, que segundo o HCM, para as condições aqui enunciadas apresenta o valor 1,6, e assim ter-se-á:

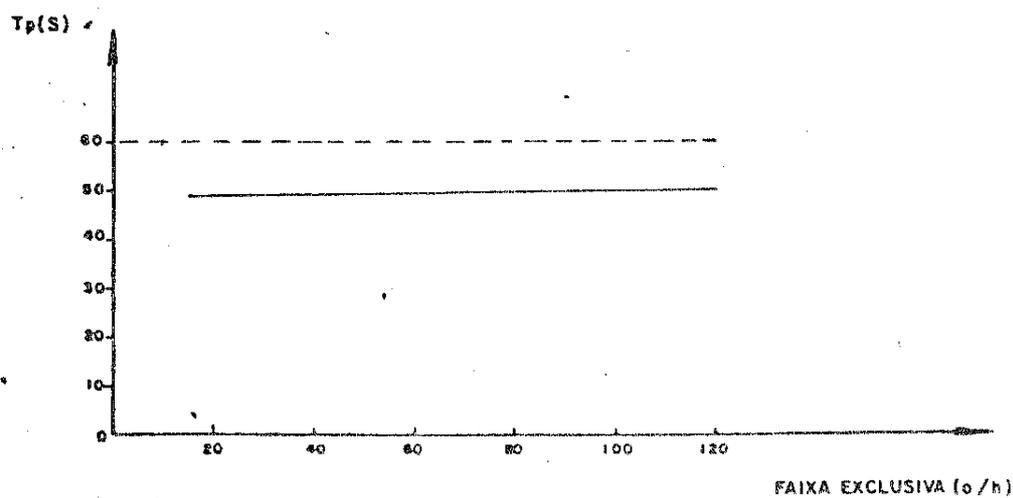
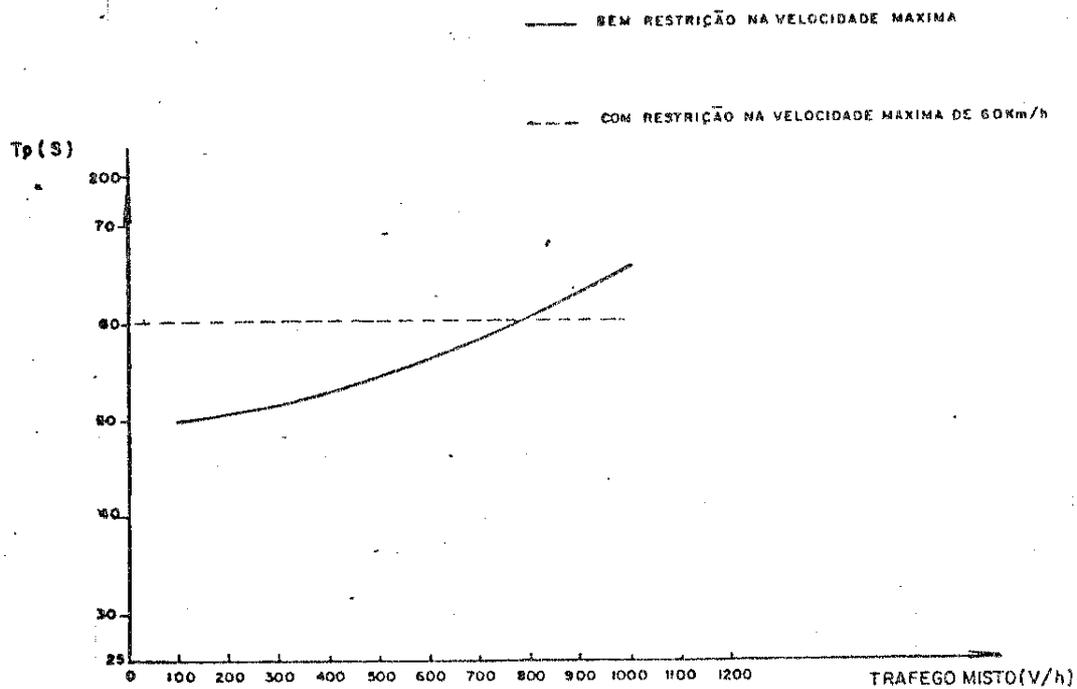
$$(2,40Z - 1776) t_p^2 - 50 t_p + 1 = 0 \quad (19)$$

A tabulação desta fórmula com valores característicos de volume de ônibus está representado na Tabela 2.

TABELA 2
TEMPO EM PERCURSO - Faixa Exclusiva

Z (oh)	TEMPO DE PERCURSO (s)	
	sem restrição de veloc. máx.	com restrição de 60 Km/h
20	49,0	60
40	49,3	60
60	49,7	60
80	50,0	60
100	50,4	60
120	50,7	60

FIGURA 13
TEMPO DE PERCURSO POR ONIBUS, EM TRÁFEGO MISTO
E FAIXA EXCLUSIVA



- Representação gráfica

A apresentação gráfica dos tempos de percurso é mostrada na Figura 13

2.4 - PROCEDIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DO TEMPO EM INTERSEÇÃO

2.4.1 - Descrição

Para a elaboração desta parte utilizou-se a seguinte metodologia:

1) Por meio das relações básicas do Modelo de Greenshields, ajustadas no modelo anterior, deduziu-se método para cálculo de tempos gastos por restrições ao fluxo de tráfego.

2) As interrupções cíclicas causadas por sinalização existente em interseções foram consideradas como restrições ao fluxo de tráfego.

3) Por conseguinte os tempos utilizados pelos veículos em interseções são calculados através daquele método, estabelecendo-se que o tempo utilizado por um veículo na interseção é o tempo médio gasto por veículo nesta restrição ao fluxo de tráfego.

Com isto, pode-se caracterizar numa interseção as seguintes situações:

- A Via está com um determinado volume e sua correspondente velocidade.
- O semáforo na interseção bloqueia o tráfego na via, formando-se a partir daí em sentido contrário ao fluxo, uma onda de parada.

- A liberação permitida pelo semáforo provoca na via o reinício do fluxo de veículos na interseção, com uma velocidade correspondente ao volume ótimo ou capacidade. Forma-se nova onda, agora de recuperação dos veículos em fila, em sentido contrário ao do fluxo, pois este volume é superior ao inicial, havendo assim uma descarga de veículos superior a chegada. Encerrando-se a formação de fila, surge uma onda final de recuperação para o volume inicial, obviamente no sentido do fluxo.
- Ao atingir a interseção, esta onda final de recuperação faz com que as condições de operação voltem as condições iniciais.
- Para um ciclo de semáforo, caso as condições de operação não retornem às iniciais, elas tendem para o congestionamento pois sempre haverá em cada ciclo uma retenção de um determinado número de veículos havendo acúmulo cada vez maior. Esta situação não está sendo tratada no trabalho, visto que conforme assinalado anteriormente os procedimentos aqui propostos tratam do tráfego em regime de fluxo contínuo.

2.4.2 Desenvolvimento do Tratamento para Determinação do Tempo em Interseção

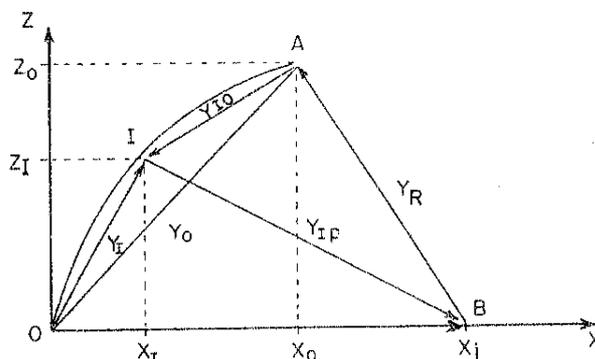
2.4.2.1 Formulação

Seja a Relação volume x densidade já definida anteriormente:

$$Z = 0,39 x^2 + 50x$$

e mostrada graficamente a seguir na Figura 14.

FIGURA 14
 RELAÇÃO VOLUME x DENSIDADE e VELOCIDADE



A velocidade para uma determinada situação I será representada pelo vetor que passa na origem e neste ponto I, assim tem-se:

$$Y_I = \vec{OI} = \begin{pmatrix} 0 & (0,0) \\ I & (x_I, z_I) \end{pmatrix} \quad (20)$$

No caso de uma paralização de tráfego, como dito anteriormente, a velocidade será nula e a densidade veículo será x_J (máxima). A velocidade será representada graficamente pelo vetor OB e a velocidade da onda de recuperação pela diferença entre os vetores OI e OB, ou seja

$$Y_{IP} = \vec{OI} - \vec{OB} = \begin{pmatrix} I & (x_I, z_I) \\ B & (x_J, 0) \end{pmatrix} \quad (21)$$

Na liberação de tráfego a velocidade de fluxo será Y_0 e será representada no gráfico pelo vetor OA:

$$Y_0 = \vec{OA} = \begin{pmatrix} 0 & (0,0) \\ A & (x_0, z_0) \end{pmatrix} \quad (22)$$

formando-se assim a onda de recuperação dos veículos afetados cuja velocidade será dada pela diferença entre os vetores OA e OB:

$$Y_R = \vec{OB} - \vec{OA} = \begin{pmatrix} B & (x_J, 0) \\ A & (x_0, z_0) \end{pmatrix} \quad (23)$$

Posteriormente o fluxo passará as condições haven do portanto a onda de recuperação à situação inicial, re apresentada no gráfico pelo vetor AI, dado por:

$$Y_{I0} = \vec{OA} - \vec{OI} = \begin{pmatrix} A & (x_0, z_0) \\ I & (x_I, z_I) \end{pmatrix} \quad (24)$$

Os valores destas diversas velocidades são:

$$\bullet Y_I = \frac{Z_I}{X_I} \quad (25)$$

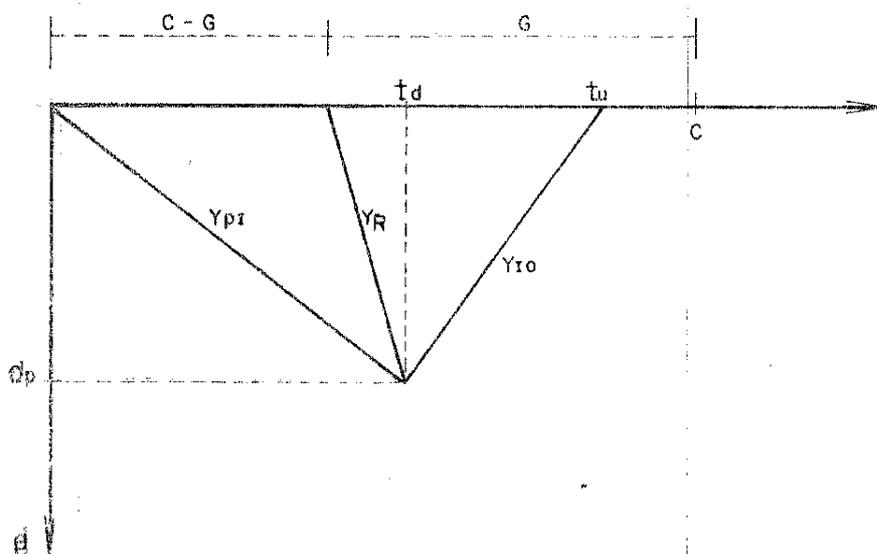
$$\bullet Y_{IP} = \frac{-Z_I}{X_J - X_I} \quad (26)$$

$$\bullet Y_R = \frac{Z_O}{X_O - X_J} \quad (27)$$

$$\bullet Y_{IO} = \frac{Z_I - Z_O}{X_I - X_O} \quad (28)$$

Tendo-se definido todas as velocidades envolvidas e levando-se em consideração uma paralização cíclica de tempo igual a C-G onde C é o ciclo e G o tempo de liberação. Num gráfico de espaço x tempo para uma interseção tem-se a representação das velocidades, onde a origem das ordenadas é o início da interseção e a contagem de tempo inicia-se com a interrupção do tráfego, figura 15.

FIGURA 15
ESPAÇO X TEMPO E VELOCIDADES



No encontro das velocidades da onda de parada e recuperação tem-se o ponto (t_d, d_p) que representará o tempo de distância máxima de paralização de veículos, pois se verifica que a partir daí tal fato não mais se verificará. A volta a situação inicial na interseção ocorrerá quando a onda de recuperação atingir a interseção e será representada no gráfico por t_n .

• determinação de d_p e t_d

O ponto (t_d, d_p) é a interseção das direções das velocidades das ondas de parada e recuperação. Como a reta da onda de parada é dada por $d = Y_{PI} t$ e da de recuperação por $d = Y_R t - Y_R (C-G)$ na interseção ter-se-á:

daí

$$Y_{PI} t_d = Y_R t_d - Y_R (C-G)$$

$$t_d = \frac{Y_R}{Y_R - Y_{PI}} (C-G) \quad (29)$$

e

$$d = \frac{Y_R Y_{PI}}{Y_R - Y_{PI}} (C-G) \quad (30)$$

• determinação do tempo de normalização - t_n

Considerando-se F_c a proporção de tempo verde utilizado pelo fluxo até a normalização pode-se dizer que: o tempo de normalização é igual ao tempo vermelho mais esta proporção de tempo verde utilizado, ou seja, matematicamente:

$$t_n = (C-G) + F_c G$$

$$t_n = C - G (1 - F_c) \quad (31)$$

Por outro lado tem-se que

- o número de veículos que se aproximam no tempo t_n é igual

$$W_I = Z_I t_n$$

- o número de veículos que ultrapassam a interseção até a normalização de tráfego após a liberação de tráfego

$$W_O = Z_O F_C G$$

- com estes valores são iguais dado que a situação se normalizou

$$W_I = W_O$$

daí

$$Z_I t_n = Z_O F_C G$$

e substituindo t_n chega-se finalmente a

$$F_C = \frac{Z_I}{Z_O - Z_I} \frac{1 - G/C}{G/C} \quad (32)$$

e

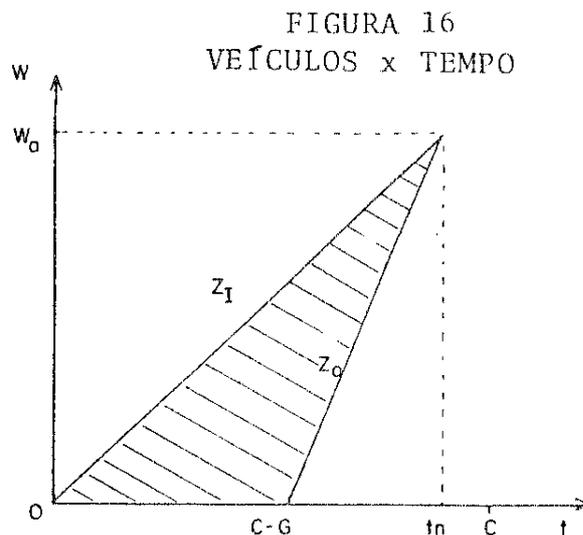
$$t_n = \frac{Z_O}{Z_O - Z_I} (C - G) \quad (33)$$

- Determinação do tempo em interseção - t_i

O número de veículos afetados (W_A) por um ciclo de paralização de tráfego será o número de veículos que aproximam-se durante o tempo em que houve perturbação a situação inicial, ou seja:

$$W_A = Z_I t_n \quad (34)$$

Seja um gráfico de veículos (W) x tempo (t), figura 16.



O número de veículos que chegam a interseção durante a perturbação do sistema será, como dito anteriormente $Z_I t_n$, no entanto após a liberação, o regime de fluxo se encontra na situação ótima, ou seja, o volume de veículos neste tempo será Z_0 até o tempo de normalização quando voltará a situação inicial. Assim o tempo total perdido no ciclo de paralização será representado pela área hachureada e será:

$$PT = Z_I t_n \frac{C - G}{2} \quad (35)$$

Finalmente o tempo médio perdido por cada veículo será o tempo perdido total dividido pela interseção durante o ciclo ou seja:

$$\bar{T} = \frac{PT}{Z_I C} \quad (36)$$

2.4.2.2 Substituição dos valores notáveis já prefixados

- Cálculo das velocidades

- velocidade da onda de parada

$$Y_{PI} = \frac{-Z_I}{X_J - X_I}$$

como

$$X_I = \frac{Z_I}{Y_I}$$

tem-se

$$Y_{PI} = \frac{Z_I Y_I}{Z_I - X_J Y_I}$$

mas

$$X_J = 121 \text{ v/km}$$

então

$$Y_{PI} = \frac{Z_I Y_I}{Z_I - 121 Y_I} \quad (37)$$

- velocidade de recuperação

$$Y_R = \frac{Z_O}{Y_O - X_J}$$

como

$$X_O = \frac{Z_O}{Y_O}$$

tem-se

$$Y_R = \frac{Z_O Y_O}{Z_O - X_J Y_O}$$

mas

$$Z_O = 1600 \text{ v/h}$$

$$Y_O = 25 \text{ Km/h}$$

$$X_J = 121 \text{ v/km}$$

então

$$Y_R = -28 \text{ km/h} \quad (38)$$

- velocidade da onda de recuperação à situação inicial

$$Y_{IO} = \frac{(Z_o - Z_I) Y_o Y_I}{Z_o Y_I - Z_I Y_o}$$

mas

$$Z_o = 1600 \text{ v/h}$$

$$Y_o = 25 \text{ km/h}$$

então

$$Y_{IO} = \frac{Y_I (1600 - Z_I)}{64 Y_I - Z_I} \quad (39)$$

- Cálculo da distância máxima de paralização de tráfego e seu tempo de ocorrência

- distância - d_p

$$d_p = \frac{Y_R Y_{PI}}{Y_R - Y_{PI}} \quad (C-G)$$

mas

$$Y_R = - 28 \text{ km/h}$$

e

$$Y_{PI} = \frac{Z_I Y_I}{Z_I - 121 Y_I}$$

assim

$$d_p = \frac{Z_I Y_I}{Z_I - 121 Y_I + \frac{Z_I Y_I}{28}} \quad (C-G) \quad (40)$$

• tempo - t_d

$$t_d = \frac{Y_R}{Y_R - Y_{PI}} \quad (C-G)$$

mas

$$Y_R = - 28 \text{ Km/h}$$

e

$$Y_{PI} = \frac{Z_I Y_I}{Z_I - 121Y_I}$$

assim

$$t_d = \frac{Z_I - 121 Y_I}{Z_I - 121Y_I + \frac{Z_I Y_I}{28}} \quad (C-G) \quad (41)$$

- Cálculo do tempo de normalização - t_n

$$t_n = \frac{Z_o}{Z_o - Z_I} \quad (C-G)$$

como

$$Z_o = 1600 \text{ v/h}$$

tem-se

$$t_n = \frac{1600}{1600 - Z_I} \quad (C-G) \quad (42)$$

O valor da proporção de tempo verde uti
zidado (F_c) será:

$$F_c = \frac{1600}{1600 - Z_I} \cdot \frac{1 - C/G}{G/C} \quad (43)$$

- Cálculo do tempo médio perdido por cada veículo

• número de veículos afetados com paralização

$$W_A = Z_I t_n$$

como

$$t_n = \frac{1600}{1600 - Z_I} (C-G) \quad t_n \leq C$$

então

$$W_A = \frac{1600 Z_I}{1600 - Z_I} (C-G) \quad (44)$$

• perda total de tempo

$$PT = Z_I t_n \frac{C - G}{2}$$

mas como

$$t_n = \frac{1600}{1600 - Z_I} (C-G)$$

então

$$PT = \frac{800 Z_I}{1600 - Z_I} (C-G)^2 \quad (45)$$

o tempo médio perdido por cada veículo

$$\bar{T} = \frac{PT}{Z_I C}$$

mas como $PT = \frac{800 Z_1}{1600 - Z_I} (C-G)^2$

então

$$t_i = \bar{T} = \frac{800}{1600 - Z_I} \frac{(C-G)^2}{C} \quad (46)$$

2.4.3 - Cálculo do tempo em interseção em tráfego misto

2.4.3.1 Fixação de limites

Para o cálculo do tempo em interseção elaborou-se tabelas e gráficos em função das variáveis características da operação do ônibus urbano, quais sejam: volume por faixa na via, ciclo e tempo verde. Assim foi necessário a fixação de limites compatíveis com valores encontrados em estudos concluídos em cidades brasileiras.

Foram as seguintes variáveis delimitadas:

- volume de veículos $Z \leq 1100$ vh
- volume de ônibus $Z \leq 120$ op
- ciclo $60 \text{ s} \leq 120 \text{ s}$
- relação C/G $0,50 \leq G/C \leq 0,70$

2.4.3.2 Cálculo de d_p , t_d , t_n e t_i para variação do volume

A tabela 3 apresentada é básica no desenvolvimento das outras definitivas no cálculo das variáveis d_p , t_d , t_n e \bar{T} . Foi elaborada com base na relação volume x velocidade

cidade, já fixada anteriormente, $Y^2 - 50Y + 1,52 - 1776 =$
 $= 0$, e fazendo-se o volume assumir os seguintes valores:
 1100, 1000, 800, 600, 400 v/h.

TABELA 3

FORMULÁRIO PARA d_p , t_d , t_n , t_i - TRÁFEGO MISTO

	V O L U M E (v/h)				
	1100	1000	800	600	400
d_p (m)	4,88(C-G)	4,14(C-G)	2,81(C-G)	1,85(C-G)	1,10(C-G)
t_d (s)	1,64(C-G)	1,53(C-G)	1,36(C-G)	1,24(C-G)	1,14(C-G)
t_n (s)	3,20(C-G)	2,67(C-G)	2,00(C-G)	1,60(C-G)	1,33(C-G)
t_i (s)	$1,67 \frac{(C-G)^2}{C}$	$1,33 \frac{(C-G)^2}{C}$	$1,00 \frac{(C-G)^2}{C}$	$0,80 \frac{(C-G)^2}{C}$	$0,67 \frac{(C-G)^2}{C}$

Com limitação de 60 km/h é irrelevante a variação dos termos constantes apresentados nas fórmulas da Tabela 3.

Em seguida fazendo C assumir os valores 120,90,60 s e a relação G/C os valores 0,70, 0,60,0,50 chega-se às Tabelas definitivas 4,5,6 e 7.

TABELA 4

DISTÂNCIA MÁXIMA DE PERTURBAÇÃO DO TRÁFEGO - d_p (m)

		V O L U M E (v/h)				
C(s)	G/C	1100	1000	800	600	400
60	0,50	146	124	84	55	33
	0,60	117	99	67	44	26
	0,70	88	75	51	33	20
90	0,50	220	186	126	83	50
	0,60	176	149	101	66	40
	0,70	132	112	76	50	30
120	0,50	293	248	169	111	66
	0,60	234	199	135	89	52
	0,70	176	149	101	67	40

TABELA 5
TABELA DE OCORRÊNCIA DA DISTÂNCIA MÁXIMA DE PERTURBAÇÃO - t_d (s)

		V O L U M E (v/h)				
C(s)	G/C	1100	1000	800	600	400
60	0,50	50	46	41	37	34
	0,60	40	37	33	30	27
	0,70	30	28	24	22	21
90	0,50	74	69	61	56	51
	0,60	60	55	49	45	41
	0,70	45	41	37	33	31
120	0,50	99	92	82	74	68
	0,60	79	73	65	60	55
	0,70	59	55	49	45	41

TABELA 6
TEMPO DE NORMALIZAÇÃO - t_n (s)

		V O L U M E (v/h)				
G(s)	G/C	1100	1000	800	600	400
60	0,50	96	80	60	48	40
	0,60	77	64	48	38	32
	0,70	58	48	36	29	24
90	0,50	144	120	90	72	60
	0,60	115	96	72	58	48
	0,70	86	72	54	43	36
120	0,50	192	160	120	96	80
	0,60	154	128	96	77	64
	0,70	115	96	72	58	48

TABELA 7
 TEMPO EM INTERSEÇÃO - t_i (s)
 TRÁFEGO MISTO

C (s)	G/C	VOLUME (v/h)				
		1100	1000	800	600	400
60	6,50	25,1	20,0	15	12	10
	0,60	16,0	12,8	9,6	7,7	6,4
	0,70	9,0	7,2	5,4	4,3	3,6
90	0,50	37,6	29,9	22,5	18	15
	0,60	24,0	19,2	19,2	15,5	9,6
	0,70	13,5	10,8	8,1	6,5	5,4
120	0,50	50,1	39,9	30	24	20
	0,60	32,1	25,5	19,2	15,4	12,8
	0,70	18,0	14,4	10,8	9,6	7,2

A determinação do tempo em interseção pode ser feita através da Figura 17.

2.4.3.3 Tabelas Complementares

Elaborou-se as Tabelas 8,9 para permitir uma verificação mais aprofundada das restrições de distância entre interseções e do tempo de paralização do tráfego tempo vermelho.

Limitação no tempo vermelho devido a distância entre interseções.

Para a elaboração da tabela 8 fez-se d_p igual a distância entre interseções (d_i), assumindo os valores 250, 200, 150, 100 e 50 m e tabelou-se o correspondente valor máximo para o tempo de paralização (tempo vermelho), de forma a atender uma das suposições consideradas para o desenvolvimento do Procedimento proposto, qual seja, a fila gerada por uma interseção não interferir na interseção anterior.

TABELA 8
TEMPO VERMELHO - VALORES MÁXIMOS (s)

Distância Entre Interseção (m)	V O L U M E (v/h)				
	1100	1000	800	600	400
50	10	12	18	27	45
100	20	24	36	54	91
150	31	36	53	81	136
200	41	48	71	108	182
250	51	60	89	135	227

A limitação na relação G/C é devido a restrição de o tempo de normalização ser inferior a ciclo $t_n \leq C$

A relação G/C deve ser superior aos valores apresentados na tabela 9

TABELA 9
RELAÇÃO G/C - VALORES MÍNIMOS

G/C	V O L U M E (v/h)				
	1100	1000	800	600	400
	0,69	0,63	0,50	0,38	0,25

No caso destes valores apresentados tem-se uma proporção de tempo verde utilizado (F_c) até a normalização igual a unidade. Para a variação deste Fator a Tabela 10 fornece os valores mínimos de G/C, com base nas fórmulas já desenvolvidas.

$$t_n = C - G (1 - F_c)$$

$$t_n = \frac{1600}{1600 - Z_I} (C - G)$$

FIGURA 17
TEMPO EM INTERSEÇÃO,
EM TRAFEGO MISTO

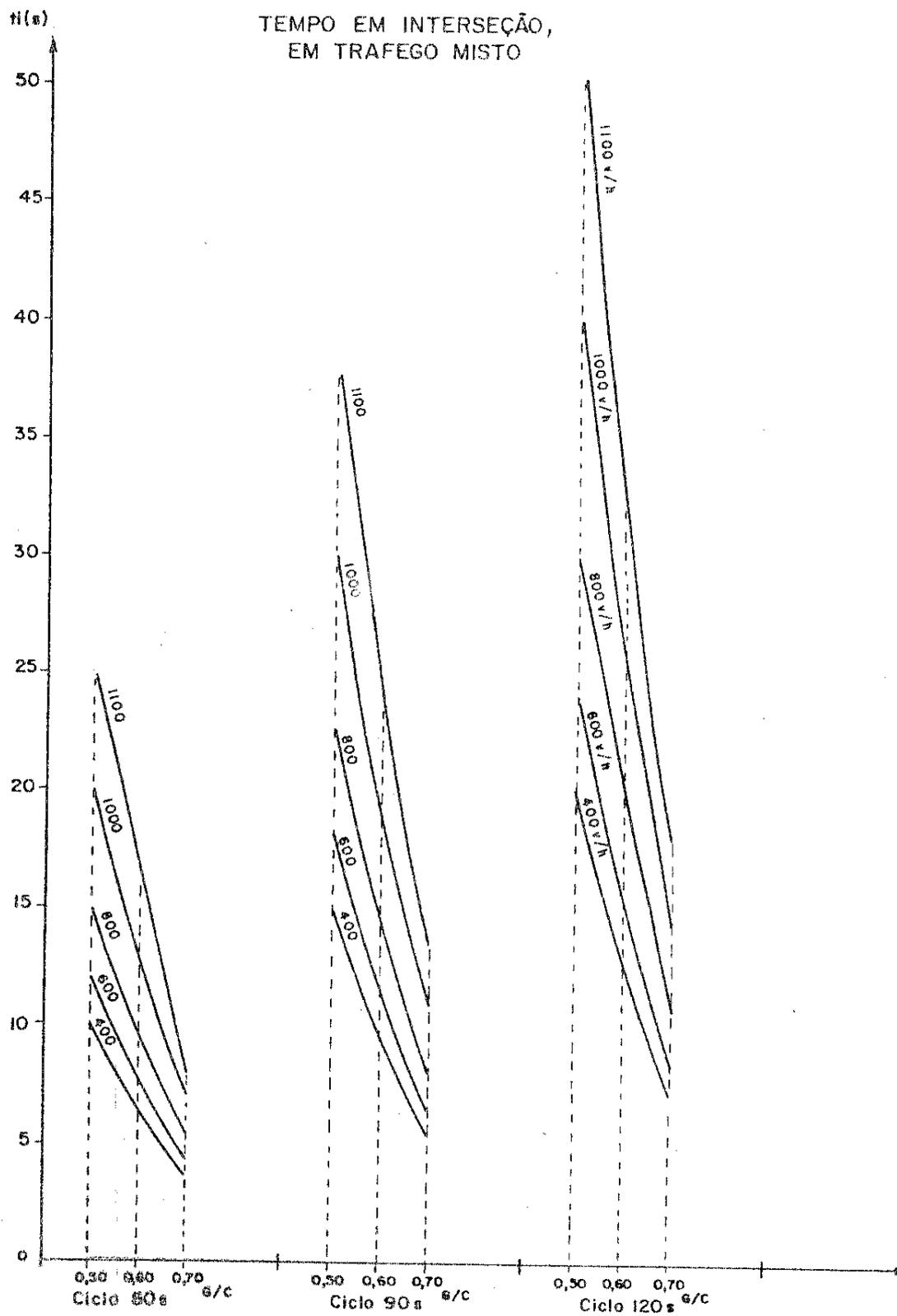


TABELA 10
 RELAÇÃO G/C - VALORES MÍNIMOS

F _c	VOLUME (v/h)				
	1100	1000	800	600	400
1	0,69	0,63	0,50	0,38	0,25
0,80	0,72	0,68	0,56	0,43	0,29
0,60	0,79	0,74	0,63	0,50	0,35
0,40	0,85	0,81	0,71	0,60	0,45

2.4.4 - Cálculo do tempo em interseção para ônibus em faixa exclusiva.

2.4.4.1 - Fixação de limites

As variáveis envolvidas terão a mesma variação já fixada para a situação de tráfego misto.

2.4.4.2 - Valores de d_p , t_d , t_n e t_i para variação do fluxo de ônibus.

Elaborou-se a tabela 11 apresentada a seguir fazendo a frequência de ônibus assumir os seguintes valores 120, 100, 80, 60, 40 em função de G e C.

TABELA 11
 FORMULÁRIO PARA d_p , t_d , t_n , t_i - FAIXA EXCLUSIVA

	ÔNIBUS (o/h)				
	120	100	80	60	40
d_p (m)	0,45(C-G)	0,37(C-G)	0,29(C-G)	0,22(C-G)	0,14(C-G)
t_d (s)	1,07(C-G)	1,05(C-G)	1,04(C-G)	1,03(C-G)	1,02(C-G)
t_n (s)	1,14(C-G)	1,11(C-G)	1,09(C-G)	1,06(C-G)	1,04(C-G)
t_i (s)	$0,57 \frac{(C-G)^2}{C}$	$0,56 \frac{(C-G)^2}{C}$	$0,54 \frac{(C-G)^2}{C}$	$0,53 \frac{(C-G)^2}{C}$	$0,52 \frac{(C-G)^2}{C}$

- Tabela com valores de t_i (s)

Tendo em vista que o tempo de normalização e o comprimento de fila formada no sistema de operação de ônibus em faixa exclusiva é pouco relevante face ao restante do tráfego, tabelou-se apenas os valores do tempo médio em cada interseção.

TABELA 12

TEMPO EM INTERSEÇÃO - FAIXA EXCLUSIVA - t_i (s)

G/S	G/C	ÔNIBUS (o/h)				
		120	100	80	60	40
60	0,50	8,6	8,4	8,1	8,0	7,8
	0,60	5,5	5,4	5,2	5,1	5,0
	0,70	3,1	3,0	2,9	2,9	2,8
90	0,50	12,8	12,6	12,2	11,9	11,7
	0,60	8,2	8,1	7,8	7,6	7,5
	0,70	4,6	4,5	4,4	4,3	4,2
120	0,50	17,1	16,8	16,2	15,9	15,6
	0,60	10,9	10,8	10,4	10,2	10,0
	0,70	6,2	6,0	5,8	5,7	5,6

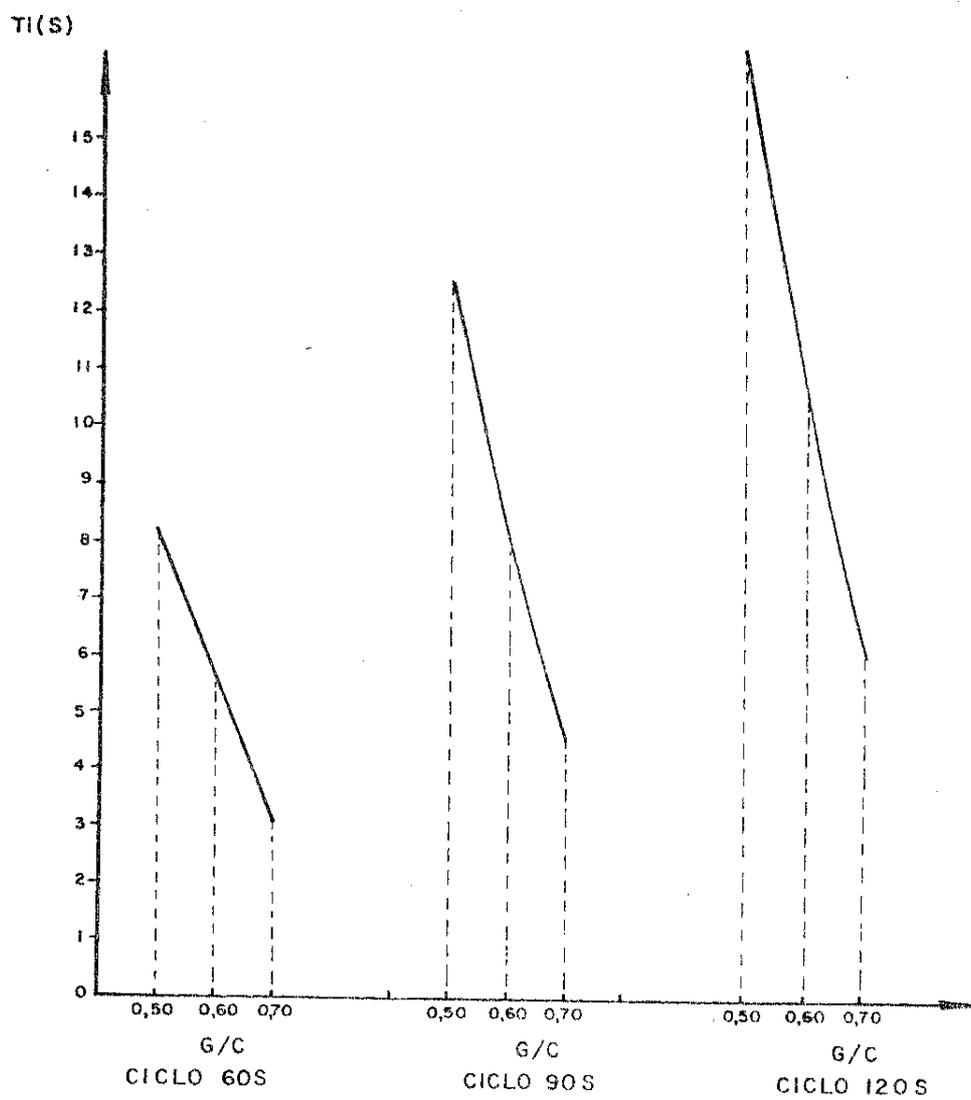
Verifica-se assim a pouca variação no tempo de interseção com a variação no fluxo de ônibus. Pode-se, em termos médios, para a variação no fluxo no ônibus de 120 a 40 ônibus, ter a tabela 13 para o tempo em interseção.

TABELA 13

TEMPO EM INTERSEÇÃO - FAIXA EXCLUSIVA - t_i (s)

C (s)	G/C	120/40 (o/h)
60	0,50	8
	0,60	5,3
	0,70	3
90	0,50	12,5
	0,60	8
	0,70	4,5
120	0,50	16,5
	0,60	10,5
	0,70	6

FIGURA 18
TEMPO EM INTERSEÇÃO, EM FAIXA EXCLUSIVA



A determinação do tempo utilizado em interseção com faixa exclusiva pode ser feito através do gráfico na Figura 18.

2.5 - PROCEDIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DO TEMPO EM PARADA PARA ATENDIMENTO DE USUÁRIOS

2.5.1 Descrição

O Procedimento desenvolvido nesta parte do trabalho permite a determinação do tempo utilizado por quilômetro, no atendimento dos usuários de ônibus em paradas.

As variáveis consideradas são caracterizadas como relativas a parada propriamente dita e a linha do ônibus.

As variáveis características da parada propriamente dita são:

- O tempo médio necessário para cada passageiro entrar ou sair do ônibus;
- O número médio de passageiros por parada entrando ou saindo do ônibus.

A principal característica quanto a linha de ônibus é o número de paradas existente no quilômetro.

No procedimento em pauta, fixou-se o tempo médio por passageiro para embarque ou desembarque, variando-se o número de passageiros por parada e o número de paradas por quilômetro, dentro de limites compatíveis com valores encontrados nos estudos do GEIPOT.^{10, 11, 12,}

No Projeto de Inovações na Tecnologia de Transporte Urbanos¹, realizado por aquele Órgão, determinou-se para ônibus convencionais, o tempo médio de embarque de 2s/pass.; em ônibus com portas mais largas este tempo, em

linhas de ônibus expressos, em Curitiba, baixou para 1,8 s/pass.

O HCM⁹ apresentou o tempo médio por passageiro nas paradas, em geral com um único operador no ônibus, conforme a listagem que se segue.

Tipo	Características	Tempo (s)
Desembarque	● Poucos transbordos e pouca bagagem	1,5 a 2,5
	● Alguma bagagem e muito transbordos	2,5 a 4
	● Muita bagagem	4 a 6
Embarque	● Passagem de pagamento rápido	2 a 3
	● Passagem de pagamento demorado	3 a 4
	● Tarifas com passagem adquirida antecipadamente	4 a 6
	● Tarifas diferenciadas por trajeto pagas no ônibus	6 a 8

Segundo Antonio Valdes Gonzalez-Rolsan, no seu livro *Ingenieria de Trafico*¹³, estudos realizados em Madrid revelaram que o tempo utilizado pelo usuário varia de 1,7 a 4 s, com média de 2,5 s para embarque de 1,3 a 2,3 s. para desembarque. Por outro lado, nos estudos realizados pela SAPSA, no Projeto Funcional de Faixas Exclusivas para ônibus na Zona Sul da Cidade do Rio de Janeiro, para a Companhia do Metropolitano do Rio de Janeiro - Metro Rio¹⁴, chegou-se aos seguintes resultados:

- ônibus vazio	$t_{ae} = 2.1454 u_e - 0,7796$
	$t_{as} = 1.3618 u_s + 1.0591$
- ônibus médio	$t_{ae} = 2.5066 u_e - 0,7796$
	$t_{ae} = 1.4693 u_s + 1.5171$
- ônibus Cheio	$t_{ae} = 2.5881 u_e - 1.9783$
	$t_{as} = 1.5365 u_s + 2.0797$

onde definiu-se:

- Ônibus vazio: caracterizado por estar no máximo com todos os passageiros sentados.
- Ônibus médio: caracterizado por estar com os as sentos totalmente ocupados e poucos passageiros em pé.
- Ônibus Cheio: caracterizado por estar repleto de passageiros.

Verifica-se assim pouca variação no tempo médio de embarque (2,14s a 2,58s) e de desembarque (1,36 a 1,54s) com a ocupação do ônibus.

2.5.2 - Limites de variação para as variáveis envolvidas.

2.5.2.1-Número de passageiros por parada.

Nos levantamentos do Projeto de Inovações na Tecnologia de Transportes Urbanos¹, obteve-se os valores apresentados no quadro 8 para o número de passageiros por parada:

QUADRO 8
NÚMERO DE PASSAGEIROS POR PARADA

Cidade	Nº médio de passagei <u>ros</u> parada
Porto Alegre	2,6 a 4,6
Curitiba	5,8 a 7,3
Brasília	5,8
Salvador	3,9 a 9,6
Recife	2,8 a 5,0

Assim para este trabalho far-se-á uma variação no número de passageiros por parada de 2 a 10 pass/parada.

2.5.2.2 - Número de paradas por quilômetro.

Do estudo realizado pelo GEIPOT, citado anteriormente¹, são transcritos os dados mostrados no quadro 9

QUADRO 9
NÚMERO DE PARADAS POR QUILOMETRO

Cidade	Distância média entre paradas (m)	Nº paradas/Km
Salvador	339-600	2,9-1,7
Recife	424-751	2,4-1,3
Porto Alegre	240-433	4,2-2,3
Curitiba	560-583	1,8-1,7
Brasília	520	1,9

Assim para o trabalho far-se-á uma variação de 0 a 5 para o número de paradas por quilômetro.

2.5.3 - Desenvolvimento do Procedimento para a Determinação do Tempo em Parada.

2.5.3.1 - Formulação matemática.

O tempo médio utilizado em paradas para atendimento de usuários será determinado pelo produto das variáveis:

- tempo médio de embarque ou desembarque por parada.
- número médio de embarque ou desembarque por parada será fixado com base no estudo mencionado anteriormente realizado pela SAPSA para o Metrô-Rio¹⁴ e dependerá do número de passageiros embarcados ou desembarcados, para o ônibus médio.

Assim tem-se para o tempo de embarque por parada:

$$t_{ae} = 2,51 u_e - 0,78 \quad (47)$$

e para o tempo de desembarque por parada

$$t_{as} = 1,47 u_s + 1,52 \quad (48)$$

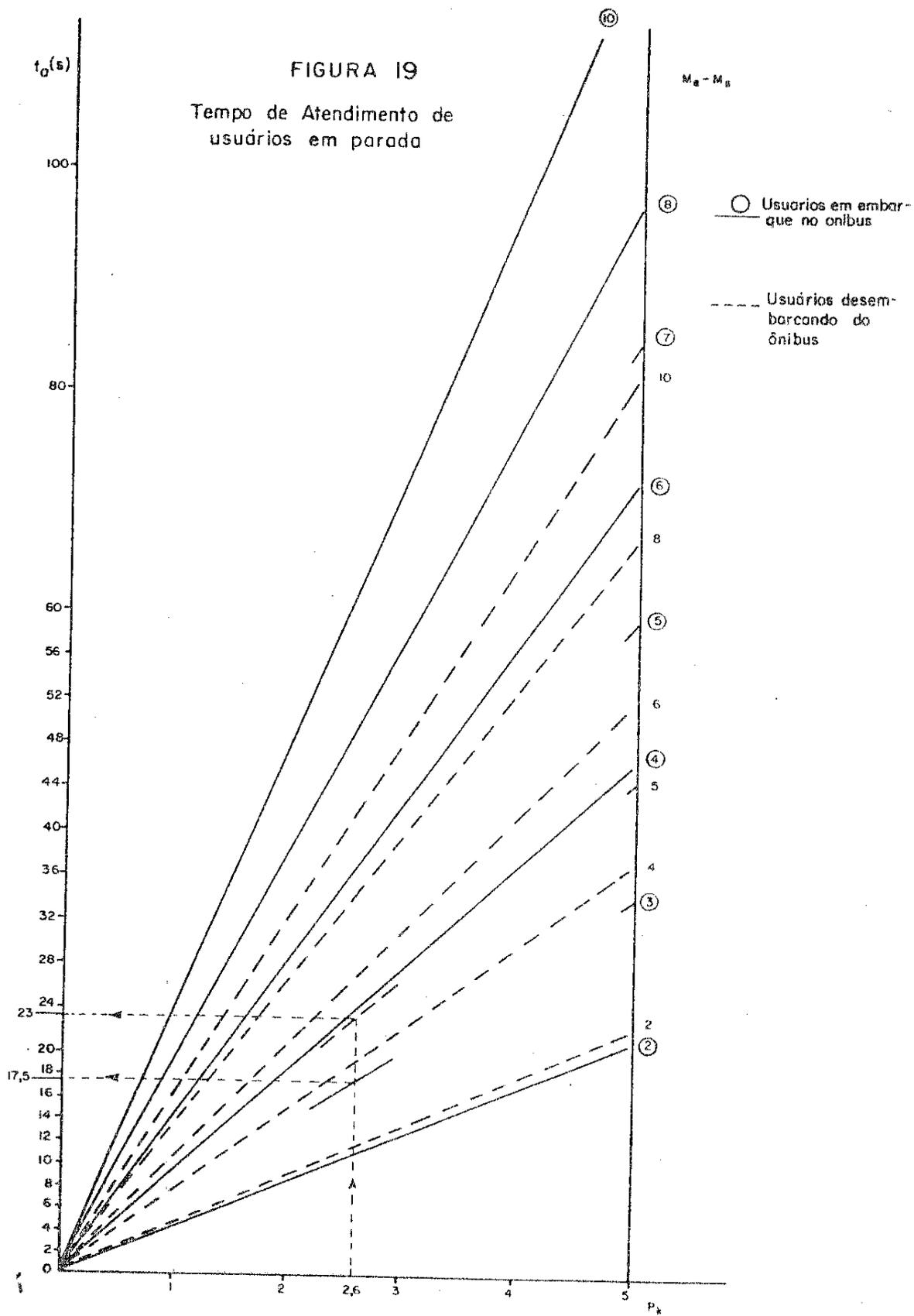
Na comparação destes dois tempos será tomado o maior que com o produto pelo número de paradas por quilômetro determinará o tempo utilizado em parada por quilômetro para atendimento de usuário. Resumindo tem-se:

$$t_a = t_{ae} \text{ ou } s \cdot p_k \quad (49)$$

Como a variação do número de paradas por quilômetro e do número de passageiros por parada embarcando ou desembarcando chega-se à tabela 14 apresentada a seguir para o tempo em parada por quilômetro para atendimento de passageiro.

TABELA 14
TEMPO EM PARADA - t_p (s)

	Nº de usuários	Nº de paradas por quilômetro				
		1	2	3	4	5
EMBARQUE	2	4,2	8,5	12,7	17,0	21,2
	4	9,3	18,5	27,8	37,0	46,3
	6	14,3	28,6	42,8	57,1	71,4
	8	19,3	38,6	57,9	77,2	96,5
	10	24,3	48,6	73,0	97,3	121,6
DESEMBARQUE	2	4,5	8,9	13,4	17,8	22,3
	4	7,4	14,8	22,2	29,6	37,0
	6	10,3	20,7	31,0	41,4	51,7
	8	13,3	26,6	39,8	53,1	66,4
	10	16,2	32,4	48,7	64,9	81,1



2.5.3.2 Representação gráfica

Graficamente representou-se o tempo utilizado em parada por quilômetro com as variações do número de passageiros por parada e do número de paradas por quilômetro pré-fixados anteriormente.

Para cálculo daquele tempo entra-se na figura 19 com o nº de passageiros embarcando ou desembarcando por parada e o número de paradas por quilômetro e valor achado será o tempo utilizado por quilômetro.

2.6 - PROCEDIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DO TEMPO EM ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO

2.6.1 - Descrição

O tempo gasto em aceleração ou desaceleração é caracterizado como a diferença dos seguintes tempos:

- tempo em que o veículo acelera ou desacelera, ou de uma velocidade compatível com as condições de fluxo,
- tempo necessário para percorrer a distância gasta na situação anterior com aquela velocidade constante do fluxo.

Segundo a TTEH⁶, as taxas normais de aceleração e desaceleração e taxas de mudança de aceleração e desaceleração (instantânea - solavanco) no tráfego deve ser relacionada com as condições de tolerância homem com passageiro em pé. Assim, as taxas de aceleração e desaceleração tem como limites, superiores 4,8 e 5,6 km/h/s, para passageiro em pé sem apoio das mãos. A taxa máxima de solavanco permissível é de 4,8 km/h/s.

Por outro lado, F.D. Hobbs, no seu livro Traffic Planning and Engineering¹⁵, limita às taxas médias de de

saceleração entre 3,6 a 10,8 km/h/s iniciando-se com valores mais baixos e chegando na parada final a 12,60 km/h/s. Taxas acima destes valores causarão desconforto para passageiros em pé e em torno de 18 km/h/s há o perigo de deslocamentos de embrulhos. Em parada de emergência, onde as taxas superam os 21,6 km/h/s (6m/s^2) e aproximando-se de 36 km/h/s em algumas superfícies, podem causar lesões aos seus ocupantes.

No estudo, realizado pela SAPSA para o Metrô-Rio¹⁴, citado anteriormente, utilizou-se uma aceleração constante de 3,20 km/h/s e uma desaceleração constante de 9,61 km/h/s.

2.6.2 - Desenvolvimento do Procedimento para Determinação do Tempo de Aceleração e Desaceleração

2.6.2.1 - Formulação Matemática

Para o procedimento aqui proposto, adotou-se para as taxas de aceleração e desaceleração os valores médios para cada velocidade encontrados em uma curva de comportamento para um ônibus apresentado no TTEH⁶ do qual se tirou as tabelas 15,16 para diversas velocidades de operação.

TABELA 15

DESEMPENHO EM ACELERAÇÃO

Variação de vel. (km/h)	Tempo em aceleração (s)	Aceleração média (km/h/s)	Distância percorrida (m)
0-10	1,6	6,2	4
0-20	4,5	4,3	23
0-30	7,1	4,3	50
0-40	11,4	3,6	101
0-50	17,2	2,9	186
0-60	23,0	2,5	288
0-70	30,0	2,3	400
0-80	40,0	2,0	700

TABELA 16
DESEMPENHO EM DESACELERAÇÃO

Variação de vel. (km/h)	Tempo em aceleração (s)	Aceleração média (km/h/s)	Distância percorrida (m)
10-0	4,7	2,2	2,5
20-0	7,1	2,9	6,8
30-0	9,6	3,3	13,5
40-0	12,0	3,3	23,7
50-0	14,0	3,6	37,3
60-0	16,9	3,6	57,6
70-0	19,4	3,5	93,0
80-0	22,0	3,6	130,0

De posse destes dados, considerando a distância percorrida à velocidade constante inicial, tem-se o tempo necessário que o veículo levaria para percorrer esta mesma distância. A diferença destes tempos é o tempo perdido em cada situação. Isto será representado nas Tabelas, 17, 18, 19.

TABELA 17
TEMPO PERDIDO EM ACELERAÇÃO POR INTERRUPÇÃO

Variação de vel. (km/h)	Tempo necessário a vel. constante (s)	Tempo perdido (s)
0-10	1,4	0,2
0-20	4	0,5
0-30	6	1,1
0-40	9,1	2,3
0-50	13,3	3,9
0-60	17,2	5,8
0-70	20,6	9,4
0-80	31,5	8,5

TABELA 18
TEMPO PERDIDO EM DESACELERAÇÃO POR INTERRUPTÃO

Variacão de velocidade (km/h)	Tempo necessàrio a vel.constante (s)	Tempo perdido (s)
10 - 0	0,9	3,8
20 - 0	1,2	5,9
30 - 0	1,6	8,0
40 - 0	2,1	9,9
50 - 0	2,7	11,8
60 - 0	3,5	13,4
70 - 0	3,8	14,6
80 - 0	5,9	16,6

TABELA 19
TEMPO PERDIDO EM DESACELERAÇÃO E ACELERAÇÃO POR INTERRUPTÃO

Variacão de velocidade (km/h)	Tempo Perdido Total (s)
10-0-10	4,0
20-0-20	6,4
30-0-30	9,1
40-0-40	12,2
50-0-50	15,7
60-0-60	19,2
70-0-70	24,0
80-0-80	25,1

- Tráfego misto

Com relação volume x densidade já fixada no modo
lo para cálculo de tempo em percurso:

$$Y^2 - 50Y + 1,50Z - 1776 = 0$$

e as variações de volume também já fixadas anteriormente para o tráfego misto tem-se numa aproximação linear os tempos perdidos em aceleração e desaceleração para os diversos volumes apresentados na tabela 20.

TABELA 20
TEMPO EM ACELERAÇÃO E DESEMPENHO POR INTERRUPTÃO
TRÁFEGO MISTO

Volume (vp)	Tempo Perdido (s)			Tempo total com restrição de 60 km/h (s)
	Aceleração	Desaceleração	Total	
1100	4,4	12,2	16,6	16,6
1000	4,9	12,6	17,5	17,5
800	5,7	13,3	19,0	19,0
600	7,1	13,9	21,0	19,2
400	8,5	14,3	22,8	19,2

Para um certo volume de veículos por faixa, a de terminação do tempo perdido em desaceleração e aceleração será feita através do produto do tempo unitário encontrado na tabela pela soma do nº de paradas e o nº de interseções por quilômetros:

$$t_{ad} = \theta_{ad} (i_k + P_k) \quad (50)$$

A tabulação do tempo em aceleração e desaceleração por quilômetros em tráfego misto é apresentada na Tabela 21 para a variação de volume e nºs de paradas e interseções sinalizadas por quilômetro:

TABELA 21

TABELA 21
TEMPO EM ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO (s/km) - Tráfego Misto

Nº de paradas e interseções sinalizadas	V O L U M E (v/h)				
	1100	1000	800	600	400
1	16,6	17,5	19,0	21,0	22,8
2	33,2	35,0	38,0	42,0	45,6
3	49,8	52,5	57,0	63,0	68,4
4	66,4	70,0	76,0	84,0	91,2
5	83,0	87,5	95,0	105,0	114,0
6	99,6	105,0	114,0	126,0	136,8
7	116,2	122,5	133,0	147,0	159,6
8	132,8	140,0	152,0	168,0	182,4
9	149,4	157,5	171,0	189,0	205,2

Com a restrição de 60 km/h para a velocidade máxima os valores do tempo em aceleração e desaceleração por quilômetro não devem ultrapassar aos valores relacionados na Tabela 22.

TABELA 22
VALORES PARA O TEMPO EM ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO FACE A RESTRIÇÃO DE 60 km/h PARA A VELOCIDADE MÁXIMA

Nº de paradas e interseções sinalizadas	Tempo em acel. e desac. (s)
1	19,2
2	38,4
3	57,6
4	76,8
5	96,0
6	115,2
7	134,4
8	153,6
9	172,8

- Faixa Exclusiva

Utilizando-se o mesmo método anterior, usando-se a variação no volume de ônibus, em faixa exclusiva tem-se a Tabela 23.

TABELA 23

TEMPO EM ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO POR INTERRUPÇÃO-Faixa Exclusiva

Volume (o/h)	Tempo Perdido (s)			Tempo perdido total com restrição 60 km/h (s)
	Aceleração	Desaceleração	total	
120	9,1	15,3	24,4	19,2
100	9,1	15,2	24,3	19,2
80	9,2	15,1	24,3	19,2
60	9,2	15,0	24,3	19,2
40	9,3	14,9	24,2	19,2
20	9,3	14,8	24,1	19,2

Conclui-se que não há variação no tempo com a variação de volume e assim fixou-se a Tabela 24 o tempo em aceleração e desaceleração por quilômetro.

TABELA 24

TEMPO EM ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO POR INTERRUPÇÃO-Faixa Exclusiva

Volume (o/h)	Tempo Perdido (s)		
	Aceleração	Desaceleração	T o t a l
20/120	sem restrição na velocidade máxima		
	9,2	15,1	24,3
	com restrição dos 60 km/h		
	5,8	13,4	19,2

Com o número de paradas para atendimento e interseções por quilômetro determina-se o tempo perdido em aceleração e desaceleração através do produto com o tempo unitário aqui encontrado:

$$t_{ad} = 24,3 (i_k + P_K) \quad (51)$$

e com restrição de 60 km/h para a velocidade máxima na via:

$$t_{ad} = 19,2 (i_k + p_k) \quad (52)$$

A tabulação do tempo em aceleração e desaceleração por quilômetro em faixa exclusiva é apresentada na Tabela 25 em função do nº de parada e interseções sinalizadas por quilômetro.

TABELA 25
TEMPO EM ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO (S/km)-FAIXA EXCLUSIVA

Nº de paradas e interseções sinalizadas/Km	Tempo em aceleração e desaceleração (s)
1	24,3
2	48,6
3	72,9
4	97,2
5	121,5
6	145,8
7	170,1
8	194,4
9	218,7

Para o problema da restrição de 60 Km/h, na velocidade máxima, devem ser obedecidos os valores estabelecidos no item anterior que trata do tempo em aceleração e desaceleração na condição de tráfego misto.

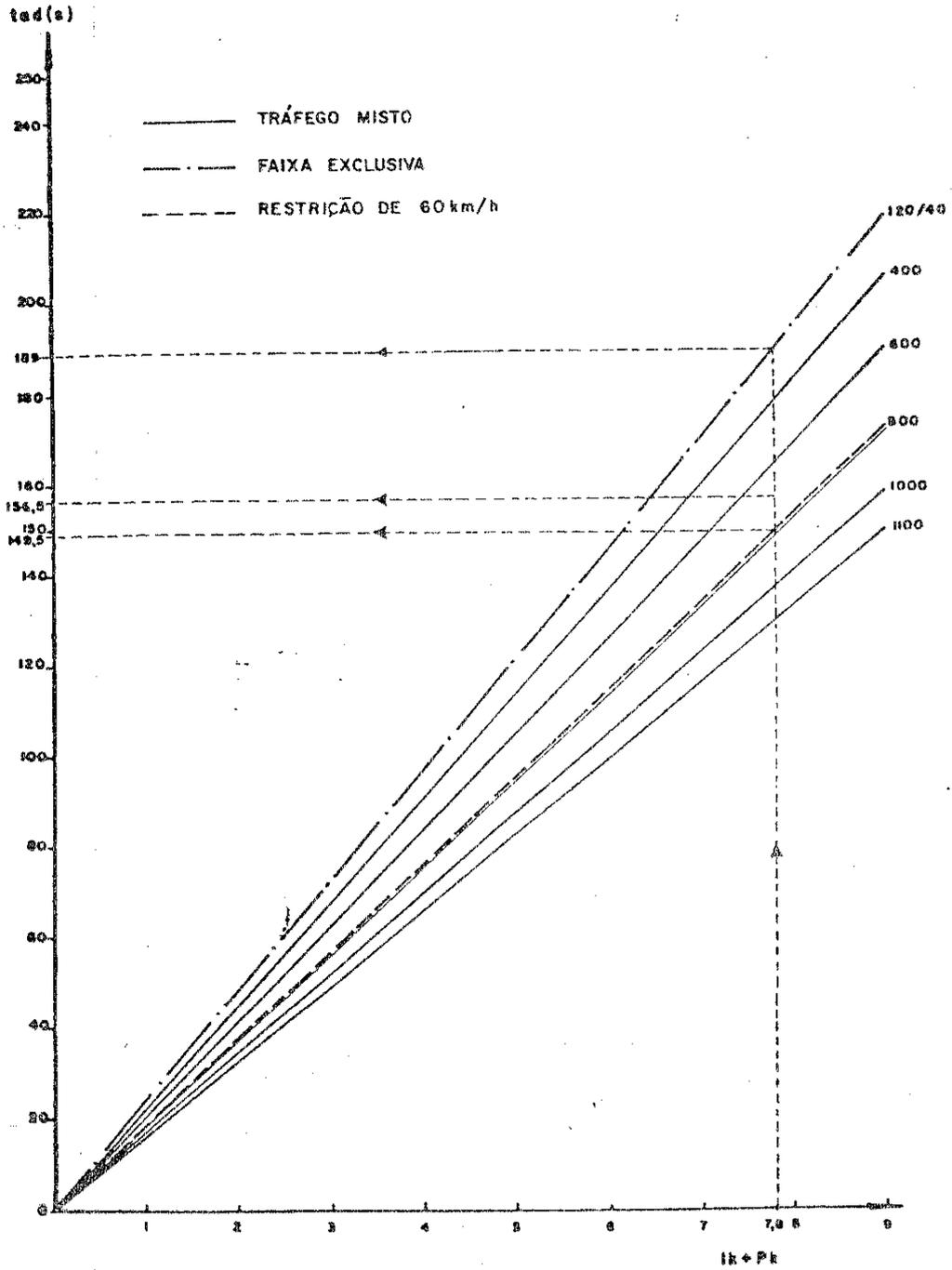
2.6.2.2 - Representação Gráfica

Graficamente representou-se o tempo utilizado em aceleração e desaceleração (t_{ad}) por quilômetro em função do volume de veículos e do número de interrupções (paradas e interseções) por quilômetro.

Para o cálculo daquele tempo encontra-se na Fi
gura 20 com as variáveis mencionadas acima.

A reta representativa da restrição na velocida
de máxima (60 km/h) não deve ser ultrapassada, no caso
de sua validade.

FIGURA 20
 TEMPO EM ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO



CAPÍTULO III

3 - APLICAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS A UM CASO ESPECÍFICO

3.1 - Descrição

Os dados para a presente aplicação foram obtidos no escritório do GEIPOT, em Fortaleza. Para aplicação dos procedimentos utilizou-se o corredor de tráfego, de sentido único, na zona central da cidade de Fortaleza, da rua Liberato Barroso no trecho compreendido entre as ruas Oto de Alencar e 24 de Maio.

O corredor em pauta possuir as seguintes interseções, no sentido do fluxo de tráfego, num comprimento total aproximado de 1,024 Km:

- Rua Oto de Alencar
- Rua Conselheiro Estelita
- Rua Agapito dos Santos
- Rua Padre Mossoró
- Rua Tereza Cristina
- Rua Princesa Izabel
- Avenida do Imperador
- Avenida Tristão Gonçalves
- Avenida 24 de Maio

Destas interseções somente 4 são sinalizadas, a saber:

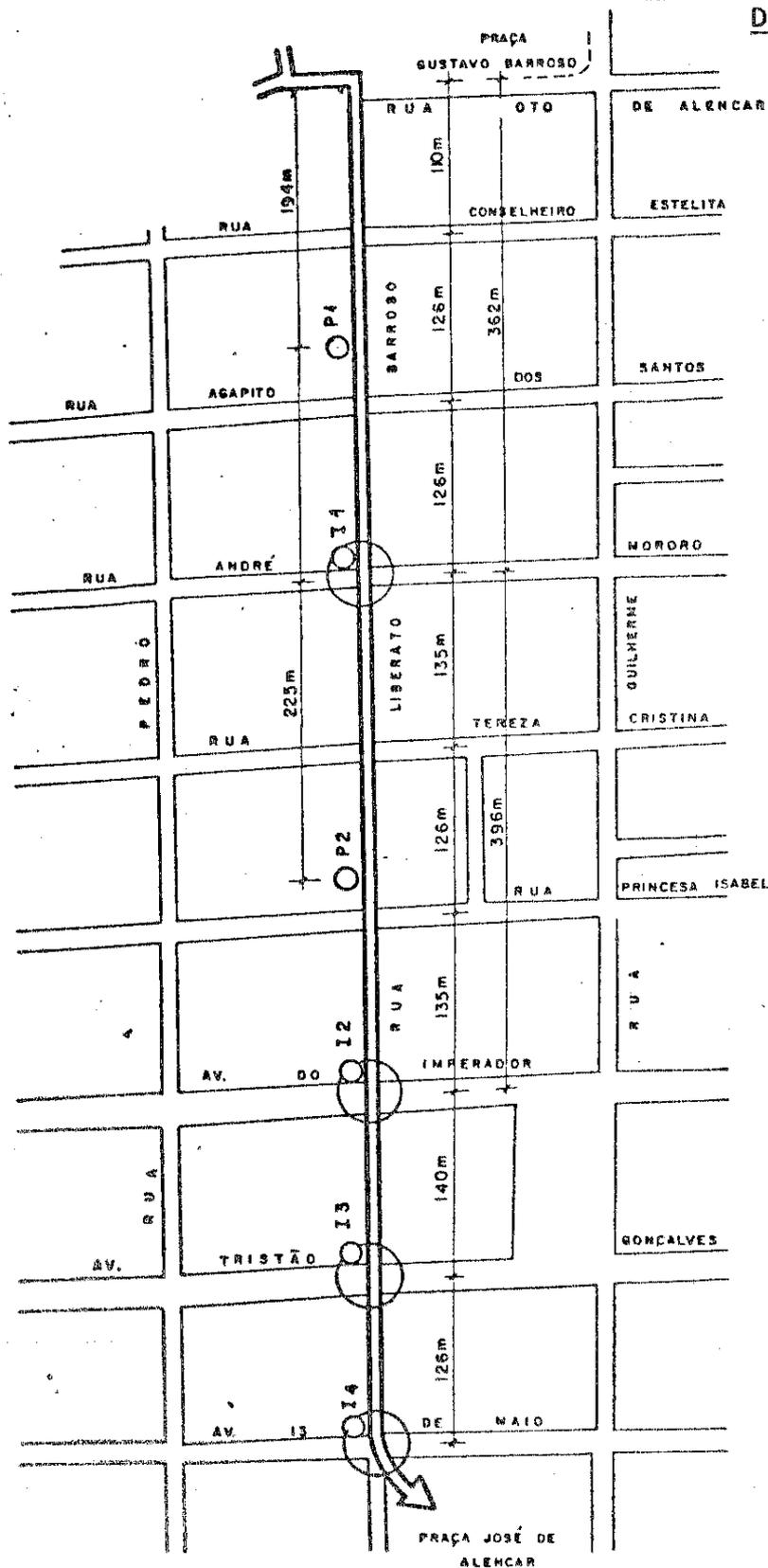
- Rua Padre Mossoró (I_1)
- Avenida Imperador (I_2)
- Avenida Tristão (I_3)
- Avenida 24 de Maio (I_4)

Nas restantes há prioridade (preferencial) de passagem para o tráfego da Rua Liberato Barroso.

A distância entre interseções estão fixadas no esquema apresentado na figura 21 e dividiu-se o corredor nos seguintes sub-trechos:

- Sub-trecho 1 - Com comprimento de 362m está compreendido entre o início do corredor na rua Oto de Alencar e a interseção sinalizada (1) na Rua Padre Mossoró.

FIGURA 21
CORREDOR PARA APLICAÇÃO
DE PROCEDIMENTOS



P--PARADAS PARA ATENDI-
 MENTO DE USUÁRIOS

I--INTERSECOES SINALI-
 ZADAS

- Sub-trecho 2 - Com comprimento de 396m está compreen
dido entre a Av. Oto de Alencar e a interseção sina
lizada (2) na Av. Imperador.
- Sub-trecho 3 - Com comprimento de 140m está compreen
dido entre a Av. Imperador e a interseção sinaliza
da (3) na Av. Tristão Gonçalves.
- Sub-trecho 4 - Com comprimento de 126m está compreen
dido entre a Av. Tristão Gonçalves e o final do cor
redor na interseção sinalizada (4) na Av. 24 de
Maio.

As características de cada interseção sinalizada é a que se segue:

- Interseção sinalizada (I_1):
 - . tempo verde - 32s
 - . tempo amarelo - 03s
 - . tempo vermelho - 25s
- Interseção sinalizada (I_1, I_2, I_3, I_4)
 - . tempo verde - 29s
 - . tempo amarelo - 03s
 - . tempo vermelho - 29s

A localização de paradas para atendimento de passa
geiros também está indicada na figura 21 e é a seguinte:

- parada 1 - situada a 194m do início do corredor
- parada 2 - situada a 225m da I_1 (rua Padre Mororó)

O número de usuários por paradas não está especifi
cado nos dados conseguidos, assim, tendo em vista as carac
terísticas do corredor (Bairro-Centro), estimou-se em 6 usuá
rios por parada, desembarcando, e 2 usuários por parada, em
barcando no ônibus.

O maior volume observado durante a realização do le
vantamento teve a seguinte distribuição no dia 19.09.77 en
tre 8:45h e 9:00h:

- Veículos privados - 75
- Ônibus - 25
- Outros - 5

Estes valores em volume horário e considerando-se duas faixas, a equivalência ônibus x veículo privado de 1,6 passam a representar 240 vph/faixa em tráfego misto e 100 ônibus por hora(o/h) em faixa exclusiva.

3.2 - APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DO TEMPO EM PERCURSO

3.2.1 - TRÁFEGO MISTO

Para o cálculo do tempo de percurso/km o único dado necessário é o volume por faixa que, para o exemplo em consideração, é de 240 v/h.

Com este valor, no gráfico, constante da figura 7 o tempo de percurso/km o valor de 51,9s.

$$- t_p = 51,9s.$$

Como o comprimento do corredor é de 1,024 km, acarreta:

$$- t_p = 53,2s.$$

Por outro lado, considerando-se a restrição de velocidade máxima de 60km/h, o tempo de percurso para o comprimento real passa a ser:

$$- t_p = 61,4 \text{ seg.}$$

3.2.2 - FAIXA EXCLUSIVA

Em faixa exclusiva o método para a determinação do tempo de percurso/km, é o mesmo do item anterior e assim tem-se para 100 o/h

$$- t_p = 50,0s.$$

para

$$- l = 1,024 \text{ km}$$

tem-se o valor real

$$- t_p = 51,2s.$$

Levando-se em conta, por outro lado, o limite de velocidade máxima do tempo de percurso por corredor passa a ser:

$$- t_p = 61,4s.$$

3.2.3 = Comparação entre os tipos de operações em tráfego visível e em faixa exclusiva. Na tabela 26 pode-se verificar o ganho

ou perda de tempo com a operação em faixa exclusiva.

TABELA 26
TEMPO EM PERCURSO NO CORREDOR

Situação	Tempo em percurso (s)	
	sem limite de velocidade máx.	c/limite de 60Km/h na velocidade máx.
Tráfego misto	53,2	61,4
Faixa exclusiva	51,2	61,4
Ganho ou perda	2,0	-

Verifica-se, para o corredor um ganho de 2,0s na condição de não existência de limitação de velocidade máxima e tempos de Viagem equivalentes no caso da existência desta limitação em 60 km/h.

3.3 - APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DO TERMO EM INTERSEÇÃO

3.3.1 - TRÁFEGO MISTO

As variáveis necessárias para a determinação do tempo em cada interseção são:

- . Volume
- . Ciclo
- . Relação G/C

Tendo em vista valores diferentes para diferentes interseções, o cálculo será feito individualmente.

- Interseção 1

As principais variáveis envolvidas são as que se seguem:

- . volume $Z = 240 \text{ v/h}$
- . ciclo $C = 59 \text{ s}$
- . relação $G/C = 0,54$

Do gráfico constante da figura 8 com estes valores determina-se o tempo na interseção I_1 de :

$$t_1 = 7,8 \text{ s/v}$$

Tendo em vista o baixo volume na via não há necessi
dade de verificação da limitação no tempo vermelho.

- Interseção I_1, I_2, I_3

As principais variáveis envolvidas são as que se se
guem:

- . Volume $Z = 240$ v/h
- . Ciclo $C = 61$ s
- . Relação G/C $= 0,49$

No gráfico da figura 8 com estes valores determina-se
o tempo em cada interseção, ou seja:

$$t_{i2} = t_{i3} = t_{i4} = 9,4 \text{ s/v}$$

Apesar da não necessidade de verificação da limitação
no tempo vermelho, como no item anterior, fez-se somente pa
ra comprovação:

Como

$$d_i = 126\text{m}$$

Para não haver congestionamento o valor de C-G en
contrado na Tabela 8 é:

$$C - G = 150\text{s}$$

bem superior a 29s, valor real do tempo vermelho.

3.3.2 - FAIXA EXCLUSIVA

Para o caso de faixa exclusiva dentro de valores in
feriores a 120 ônibus por hora, que trata o trabalho, o vo
lume é de pouca importância sendo necessário somente as ca
racterísticas de sinalização em cada interseção.

- Interseção I_1

Com as características da interseção

- . ciclo $C = 59\text{s}$
- . relação $G/C = 0,54$

No gráfico constante da figura 9 com estes valores
determina-se

$$t_{i1} = 7\text{s/ônibus}$$

Interseção I_1, I_2, I_3

Com as características da interseção

- . ciclo $C = 61s$
- . relação $G/C = 0,49$

No gráfico constante da figura 9 com os valores acima, determinam-se

$$t_{i2} = t_{i3} = t_{i4} = 8,2s/\text{ônibus}$$

3.3.3 - Comparação entre os tipos de operação do ônibus, em tráfego misto e em faixa exclusiva.

Na Tabela 27 apresentado a seguir ter-se-á uma visão comparativa do ganho ou perda de tempo em interseção com implantação do sistema de operação de ônibus em faixa exclusiva

TABELA 27
TEMPO EM INTERSEÇÃO NO CORREDOR

Situação	Tempo em Interseção (s)				
	1	2	3	4	total
Tráfego misto	7,8	9,4	9,4	9,4	36
Faixa exclusiva	7	8,2	8,2	8,2	31,6
Ganho	0,8	1,2	1,2	1,2	4,4

Verifica-se um ganho no tempo de viagem por ônibus coma faixa exclusiva de 4,4s.

3.4 - APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DO TEMPO EM PARADA

- Considerações gerais

Como dito anteriormente os dados referentes a usuários por parada não foram conseguidos, mas, como os mesmos no procedimento aqui tratado não afeta a comparação dos dois tipos de operação do ônibus, em tráfego misto e em faixa exclusiva, fixou-se valores afim de possibilitar uma completa aplicação dos procedimentos.

As características das paradas existentes foram consideradas iguais, quais sejam:

- . n° de usuários embarcados $u_e = 2$
- . n° de usuários desembarcados $u_s = 6$
- . n° de paradas = 2
- . Compr. do trecho - $l = 1,024$ km

Com os dois dados iniciais e o n° de paradas por km ($P_k = 1,9$) no gráfico da figura 10 tira-se:

- tempo por parada para usuários embarcando
 $t_{a_e} = 8,2$ s
- tempo por parada para usuários desembarcando
 $t_{a_s} = 20,2$ s

Com estes valores e o n° de usuários em cada situação, embarque ou desembarque, encontra-se o tempo de atendimento:

$$t_a = 40,4 \text{ s}$$

Levando-se em conta o comprimento real do corredor,
 $l = 1,024$ km

O tempo para atendimento de usuários em parada passa a ser:

$$t_a = 41,4 \text{ s}$$

3.5 - APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DO TEMPO EM ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO.

3.5.1 - TRÁFEGO MISTO

As variáveis necessárias para a determinação do tempo em aceleração e desaceleração são:

- . volume - $z = 240$ v/h
- . n° paradas por km - $P_k = 1,96$
- . n° interseções por km - $i_k = 3,91$

Com estes valores definidos entrando-se no gráfico da figura 11 acha-se

$$t_{ad} = 137 \text{ s/km}$$

que tendo em vista o comprimento do corredor, ter-se-á

$$t_{ad} = 140 \text{ s}$$

Levando-se em conta, por outro lado, a restrição de 60 km/h para a velocidade máxima encontrar-se-á

$$t_{ad} = 114 \text{ s}$$

que tendo em vista o comprimento do corredor ter-se-á

$$t_{ad} = 117 \text{ s}$$

3.5.2 FAIXA EXCLUSIVA

Obedecendo-se o mesmo método adotado no item anterior, para faixa exclusiva, com volume inferior a 120 ônibus por hora, encontra-se no mesmo gráfico.

$$t_{ad} = 142 \text{ s}$$

tendo em vista o comprimento do corredor ter-se-á

$$t_{ad} = 145 \text{ s}$$

que com a consideração de velocidade máxima passa para

$$t_{ad} = 145 \text{ s}$$

e tendo em vista o comprimento do corredor ter-se-á

$$t_{ad} = 117 \text{ s}$$

3.5.3 Comparação entre os tipos de operação

Na tabela 28 apresentada a seguir poder-se-á verificar o ganho ou perda de tempo com a implantação de operação de ônibus em faixa exclusiva.

TABELA 28
TEMPO EM ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO DO CORREDOR

Situação	Tempo em aceleração e desaceleração (s)	
	S/Limite p/velocidade máxima	C/Limite de velocidade máxima 60km/h
Tráfego misto	140	117
Faixa exclusiva	145	117
Perda	-5	*

Verifica-se que no caso, a implantação de faixa exclusiva leva a um aumento no tempo de viagem.

3.6 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Tabela 29 apresentada a seguir reflete as várias etapas da modelagem e nos dois tipos de operação.

TABELA 29
TEMPO DE VIAGEM NO CORREDOR (s)

Tempo em	S/Lim. p/vel.máx.		Lim. 60km/h.p/vel.máx.	
	Tráfego misto	Faixa exclusiva	Tráfego misto	Faixa exclusiva
Percurso	53,2	51,2	61,4	61,4
Interseção	36	31,6	36	31,6
Parada	41,4	41,4	41,4	41,4
Acel.e desacel.	140	145	117	117
TOTAL	270,6	269,5	255,8	251,4
Ganho		1,4		4,4

O ganho no tempo de viagem, 1,4s para a operação sem restrição na velocidade máxima e 4,4s para a operação com o limite de 60 km/h para a velocidade máxima pode ser justificado pelos seguintes fatores:

- o baixo volume no corredor estando o mesmo muito a quem das condições da operação
- durante o trabalho ressaltou-se que o modelo determinaria um tempo mínimo ganho, levando-se em conta que uma operação em tráfego misto em fluxo contínuo, ou seja, não se incluiu os tempos perdidos com congestionamentos.

Alterando-se na aplicação anterior, o volume de veículos em tráfego misto para $Z=600$ v/h a fim de permitir uma melhor visão da variação de tempo de viagem com a implantação de faixa exclusiva, ter-se-á, mantendo-se as características restantes, os resultados apresentados na Tabela 30

TABELA 30
TEMPO EM VIAGEM NO CORREDOR (s)

Tempo em	Sem limite para a velocidade máxima		Limite de 60 km/h para a velocidade máxima	
	Tráfego misto	Faixa exclusiva	Tráfego misto	Faixa exclusiva
Percurso	57,8	51,2	61,4	61,4
Interseção	47,4	31,6	47,4	31,6
Parada	41,4	41,3	41,4	41,4
Acel. e Desacel.	127,0	145,0	117,0	117,0
Total	273,0	269,2	267,2	251,4
Ganho		4,4		4,4

Nesta situação o ganho de tempo na condição da não existência de limite para a velocidade máxima é de 4,4s, enquanto que na condição do limite de 60 km/h para velocidade máxima tal ganho passa a 15,8s representando 6% no total da viagem. Este ganho representa exclusivamente a vantagem da operação do ônibus numa condição de menor volume, que pode parecer pequeno mas, se considerar a existência de outros ganhos não considerados no presente trabalho.

CAPÍTULO IV

4 - CONCLUSÕES

O presente trabalho propôs simplificar a análise da operação do ônibus, no que tange a sua mudança para a faixa exclusiva, visando a motivação de estudos mais aperfeiçoados, especificamente abordando a idéia de prioridade no transporte público.

Assim, nos procedimentos propostos, além de se trabalhar sempre nas condições de fluxo contínuo, baseou-se, para a determinação do tempo de viagem nos ônibus, exclusivamente, na melhoria das condições operacionais do ônibus, que antes, em tráfego misto, estará em um regime de maior volume de tráfego e após, em faixa exclusiva, em regime de menor volume de tráfego. Não foram pois, levadas em consideração os alguns aspectos, que aumentarão, sem dúvida, o ganho de tempo:

- interferência do veículo privado no atendimento de usuários em paradas,
- interferência de uma interseção sobre outras, e
- interferência de veículos em conversão à direita ou à esquerda.

Na aplicação dos Procedimentos a um caso específico, os resultados apresentados não foram tão expressivos, tendo em vista as hipóteses simplificadoras consideradas e principalmente o baixo volume na via. Esta última afirmação está justificada quando, na próxima aplicação, se aumentou, por imposição, o volume na via.

Por estas razões e com a finalidade de se ter uma idéia mais ampla dos resultados da aplicação dos Procedimentos aqui propostas elaborou-se, para determinadas características de atendimento de usuário e frequência de ônibus a Tabela 31, que apresenta a porcentagem de tempo ganho com a implantação de faixa exclusiva.

TABELA 31

PORCENTAGEM DO TEMPO DE VIAGEM
GANHO COM A FAIXA EXCLUSIVA

Volume (v/h)	Ciclo (s)	G/C	Sem limitação na vel. máxima			Limitação de 60 Km/h para a vel. máx.		
			Nº de Interseções Sinalizadas					
			1	3	5	1	3	5
1000	120	0,50	5,8	14,2	18,1	11,0	20,7	25,2
		0,60	1,8	7,4	10,2	7,4	14,9	18,7
		0,70	-1,7	0,2	1,3	4,2	8,8	11,3
	90	0,50	3,0	9,5	12,8	8,5	16,7	20,8
		0,60	-0,7	2,3	4,1	5,1	10,5	13,5
		0,70	-3,0	-2,5	-8,3	3,0	6,5	8,3
	60	0,50	0,3	4,4	6,6	6,0	12,4	15,7
		0,60	-2,4	-1,2	-0,5	3,6	7,6	9,7
		0,70	-4,4	-5,8	-6,7	1,8	3,6	4,7
800	120	0,50	1,5	6,6	9,2	6,9	13,7	17,0
		0,60	-0,4	3,0	5,0	5,3	10,9	13,9
		0,70	-3,3	-2,9	-2,6	2,7	5,9	7,8
	90	0,50	-0,2	3,4	5,4	5,4	11,0	14,0
		0,60	-2,3	-0,8	0,2	3,6	7,6	9,9
		0,70	-4,0	-4,6	-4,8	2,1	4,6	6,1
	60	0,50	-2,0	-0,1	1,1	3,9	8,3	10,8
		0,60	-3,7	-8,2	-3,8	2,4	5,1	6,8
		0,70	-4,8	-6,4	-7,3	1,4	3,1	4,1

continuação.

TABELA 31 (Continuação)

Volume (v/h)	Ciclo (s)	G/C	Sem limitação na vel. máxima			Limitação de 60 km/h para a vel. máx.		
			Nº de Interseções Sinalizadas					
			1	3	5	1	3	5
600	120	0,50	0,5	3,3	4,8	4,0	8,2	10,4
		0,60	-0,9	-1,4	1,5	2,7	5,9	7,7
		0,70	-2,3	-2,3	-2,2	1,5	3,4	4,6
	90	0,50	-0,6	1,2	2,3	3,0	6,4	8,3
		0,60	-1,7	-1,1	-0,7	2,0	4,4	5,9
		0,70	-2,7	-2,7	-3,6	1,1	2,6	3,5
	60	0,50	-1,4	-0,5	-0,1	2,3	5,0	6,6
		0,60	-2,5	-2,9	3,0	1,3	2,9	3,9
		0,70	-3,1	-4,4	-5,0	0,7	1,7	2,3
400	120	0,50	0,5	1,8	2,5	1,9	4,0	5,1
		0,60	0,3	1,5	2,1	1,7	3,8	5,0
		0,70	0,7	-0,8	-0,8	0,7	1,6	2,2
	90	0,50		0,8	1,2	1,4	3,0	4,0
		0,60	-0,5	-0,3	-0,1	0,9	2,1	2,8
		0,70	-1,0	-1,3	-1,6	0,7	1,1	1,5
	60	0,50	-0,3	0,2	0,5	1,1	2,6	3,4
		0,60	-1,0	-1,3	-1,5	0,5	1,1	1,5
		0,70	-1,1	-1,6	-2,0	0,4	0,8	1,2

As características fixadas são:

- nº de paradas / km - $P_k = 3$
- nº de usuários embarcando por parada - $u_e = 4$
- frequência de ônibus - $Z = 1000/h$ e os valores tomados para as variáveis restantes são dentro daqueles limites já expostos anteriormente.

Observa-se que as porcentagens de tempo ganho quando da existência de limitação da velocidade máxima (60 Km/h) são mais expressivos que quando em regime de fluxo sem limite de velocidade máxima.

Entretanto, a simples implantação de faixas exclusivas não é solução definitiva para a melhoria do sistema, devido ao círculo vicioso do aumento na oferta para aumento na demanda e do próprio crescimento urbano, mas uma das medidas que atende ao crescimento desta demanda atuando dentro de determinada faixa de solicitação.

Finalmente, ressalte-se que a redução do tempo de viagem não é o único objetivo a se alcançar com a implantação da faixa exclusiva, outros serão atingidos, como por exemplo:

- redução dos custos operacionais, refletindo no preço ao usuário.
- regularidade e pontualidade no atendimento de usuários.
- aumento de conforto
- redução do consumo de derivados de petróleo.

CAPÍTULO V

5 - SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

No que diz respeito aos Procedimentos propostos no presente trabalho poder-se-á genericamente sugerir o aperfeçoamento dos mesmos através da inclusão das hipóteses simplificadoras ou mesmo melhoria no tratamento específico de cada Procedimento. Assim, ter-se-á uma variedade de temas ou assuntos a serem desenvolvidos, quais sejam:

- Determinação de relações velocidade x volume e densidade mais adequadas.
- Tratamento probabilístico na determinação do tempo em interseção e no tempo de atendimento de usuários em paradas.
- Inclusão da interferência de uma interseção sobre a anterior, bem como sobre as paradas para atendimento de usuários.
- Análise mais apurada do fluxo de veículos na interseção após a liberação do tráfego, objetivando determinação das condições de fluxo levando a necessidade de uma penalização do tempo de percurso devido estas condições.
- Tratamento probabilístico para a interrupção do fluxo de origem nas interseções tendo em vista o atendimento ao usuário e as condições de um tráfego misto e em faixa exclusiva.
- Determinação de modelo representativo do desempenho do ônibus na via urbana no que tange ao seu comportamento em aceleração e desaceleração.

Fora do âmbito dos procedimentos aqui propostos sugerem-se trabalhos visando o desenvolvimento e aperfeiçoamento

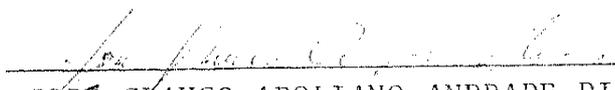
mento da operação do ônibus urbano nas mais diversas es
calas de variação de demanda objetivando sempre a manu
tenção de um nível de serviço adequado ao usuário.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - Brasil - GEIPOT, Projeto de Inovação na Tecnologia de Transportes Urbanos, Fase 1 - Ônibus, Brasília, 1976.
- 2 - Levinson, H. and Hoey, W., Optimizing Bus Use of Urban Highways, Transportation Engineering Journal of ASCE, Vol. 100, 443 (1974)
- 3 - Leibbrand, Kurt, Transportation and Town Planning, Leonard Hill, London, 1970.
- 4 - Road Research, Bus Lanes and Busway Systems, Organisation for Economic Co-Operation and Development-OECD, Paris, 1977.
- 5 - Gevert, Theodoro, Tecnologias de Transportes de Massa, Anuário das Estradas de Ferro, 1977, 131 (1977)
- 6 - Instituto of Transportation Engineers, Transportation and Traffic Engineering Handbook, Prentice-Hall, Inc. New Jersey, 1976.
- 7 - Salter, R.J., Highway Traffic Analysis and Design, The MacMillan Press Ltd, London, 1974.
- 8 - Highway Research Board, Highway Capacity Manual, 1965, Washington, 1965.
- 9 - Brasil-DNER, Pesquisa de Capacidade de Rodovias, IPR, Rio de Janeiro, 1977.
- 10 - Brasil-GEIPOT, Estudo de Transporte Coletivo da Região Metropolitana de Salvador - TRANSCOL, Salvador, 1978.
- 11 - Brasil-GEIPOT, Estudo de Transporte Coletivo da Região Metropolitana do Recife - TRANSCOL, Recife, 1978.
- 12 - Brasil-GEIPOT, Estudo de Transporte Coletivo da Região Metropolitana de Porto Alegre - TRANSCOL, Vol I e II, Porto Alegre, 1976.

- 13 - Gonzalez - Roldan, Antonio Valdes, Ingenieria de Tráfico, Editorial Dossat, S.A., Madrid.
- 14 - Companhia do Metropolitano do Rio de Janeiro, Projeto Funcional de Faixas Exclusivas para Ônibus na Zona Sul da Cidade do Rio de Janeiro, SAPSA, Rio de Janeiro, 1977.
- 15 - Hobbs, F.D., Traffic Planning and Engineering, Pergamon, England, 1974.
 - Cox, Mildred, Reserved Bus Lanes in Dallas - Texas, Transportation Engineering Journal of ASCE, Vol. 101, 691, (1975).
 - Webster, F.V., Priority to Buses as Part of Traffic Management, TRRL Report, LR 448, England, (1972).
 - Bly, P.H. and Oldfield, R.H., Optimisation of a Simple Model Bus Network, TRRL Supplementary Report, 27UC, England, (1974).
 - TRRL, Bus Priority, Proceedings of a Symposium held at TRRL, 1972, England, 1973.
 - Brasil-DNER, Pesquisa de Capacidade de Rodovias, IPR, Rio de Janeiro, 1977.
 - Brasil-DNER, Problemas Fundamentais no Planejamento de Vias Urbanas, Rio de Janeiro, 1974.
 - Webster, F.V. and Oldfield, R.H., Justification For Bus Lanes in Urban Areas, Traffic Engineering & Control, Feb. 1978, SG (1978).
 - Road Research, Techniques of Improving Urban Conditions by Restraint of Road Traffic, OECD, Paris, 1973.
 - Transportation Research Board, Planning for Bus Transit, Washington, 1974.
 - Transportation Research Board, Bus Service Planning, Washington, 1977.

Tese apresentada por :



JOSÉ GLAUCO APOLIANO ANDRADE DIAS

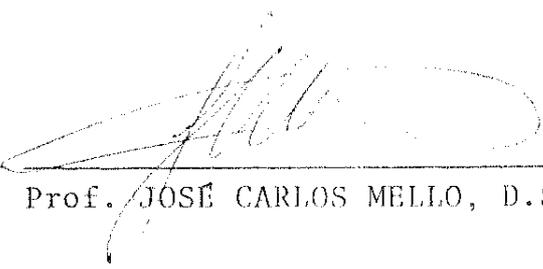
E examinada por :



ANSELMO OSVALDO BRAUN, M.Sc.
Professor Orientador



Prof. Dr. ION DE FREITAS



Prof. JOSÉ CARLOS MELLO, D.Sc.