

SP 11/92

NT 158/92

## **A influência de dispositivos redutores de velocidade no desempenho do transporte coletivo urbano por ônibus**

**Arq. Maria Aparecida Pinho Camargo Barbosa (NET)**  
**Engº Luis Henrique Piovezan (GDE)**

### 1. Introdução

Este trabalho pretende analisar de forma teórica, e através da visão do operador, a influência do dispositivo redutor de velocidade tipo lombada no rendimento do transporte coletivo urbano por ônibus. Visa avaliar como a existência desse dispositivo interage com o transporte no que tange à velocidade média do percurso, o tempo de ciclo e o número de viagens que o operador deve programar visando manter o nível de serviço acordado com o concedente.

Importante ressaltar que a implantação de lombadas nas vias urbanas deve se nortear por normas técnicas, respeitando os princípios discriminados na Resolução 635/84 e confirmado na Resolução 666/86 do CONTRAN onde, basicamente, coloca-se que a lombada tem o uso previsto em vias urbanas de baixo fluxo de veículos – até 600 veic./hora/pico – que não possuam declividade superior à 4,5% e sinuosidade. Como complemento a esses dados temos a Norma de Projeto de Lombadas tipo II da CET, de agosto de 1981, que também restringe seu uso em vias que sejam itinerário normal de veículos de carga e transporte coletivo, além de pressupor um número de acidentes acima de 6 por ano, incluindo atropelamento, ou onde haja risco potencial da ocorrência – conflitos.

Na literatura internacional, também o uso da lombada se restringe a áreas residenciais e urbanas e de acesso local, onde a segurança gerada pela redução de velocidade não compromete a fluidez. As lombadas utilizadas na cidade de São Paulo podem ser de dois tipos:

- a) Lombadas tipo I – com 1,40m de comprimento, que prevê uma velocidade de 20km/h.
- b) Lombada Tipo II – com 3,70m de comprimento, que prevê uma velocidade de 30km/h.

Ambos os tipos têm altura máxima de 0,10m, sendo acompanhadas, necessariamente, de sinalização complementar representadas por faixas zebreadas oblíquas na própria lombada (sinalização horizontal) e sinalização vertical de regulamentação da velocidade máxima permitida (20km/h, 30km/h) e advertência do obstáculo (placa tipo A – 18).

Cabe ressaltar que a altura da lombada não representa um fator determinante para se manter a velocidade num trecho de via, mas somente a velocidade pontual, sendo a distância entre elas o elemento mais importante, tendo como medida ideal, segundo estudos, a distância de 100 km, não podendo nunca ser inferior a 50 metros.

A implantação desse dispositivo gera atrasos e desconforto (“jerk”) para os ocupantes do veículo advindo da aceleração vertical; o que representam elementos contra sua implantação não criteriosa.

Para o transporte coletivo ocorrem agravantes que são a necessidade de cumprimento de horário, um maior desgaste do material rodante e maior consumo de combustíveis.

Por outro lado, a redução de acidentes é um fator importante a ser considerado, mesmo do ponto de vista do operador, já que existem custos reais com a ocorrência de acidentes.

Pode ocorrer um momento em que a implantação de um dispositivo redutor de velocidade que seja efetivo na redução do índice de acidentes, seja interessante para o operador, superando os custos adicionais provenientes da existência de lombadas ao longo do itinerário de suas linhas.

Pode-se supor que existe um momento em que o dono da frota operadora avalia que deve arcar com os custos da implantação desse dispositivo, visando a um maior lucro de sua empresa.

Passamos a seguir a avaliar de forma teórica essa situação, onde os indicadores como velocidade, quilometragem, número de viagens e veículo por quilômetro, aliados a custo, tentam demonstrar de forma analítica essa hipótese.

## 2. Efeito Lombada – Teoria

Uma lombada produz um aumento do tempo de ciclo dos ônibus e, por outro lado, produz uma diminuição dos acidentes ocorridos. Supondo que esta diminuição dos acidentes também afete os ônibus, a empresa terá uma diminuição das despesas com acidentes, com seguros, com indenizações e com paralisações por acidentes.

Adotou-se a hipótese que a lombada é favorável à diminuição de acidentes. Isto se dá quando ela for desenvolvida de maneira a apenas diminuir a velocidade dos veículos sem danificar a parte mecânica dos mesmos, ou alterar o comportamento do veículo de maneira indesejável. Caso contrário, o número de acidentes pode aumentar. Em outras palavras, as dimensões das lombadas, seus materiais e sua localização devem ser cientificamente estudados para evitar efeitos negativos.

Outra hipótese adotada é sobre o nível de serviço. Apesar de a lombada produzir um efeito de aceleração vertical nos passageiros, diminuindo o nível de serviço, isto foi desconsiderado. Considerou-se como indicador de nível de serviço apenas a ocupação dos ônibus, que deve ser mantida constante.

Desta forma, pode-se calcular a variação da frota necessária e dos custos envolvidos.

As fórmulas utilizadas foram baseadas na metodologia para dimensionamento de linhas de ônibus citadas pelo Boletim Técnico 35 da CET.

Calculando-se que cada lombada provoca uma variação de tempo  $t_L$ , independente do número de lombadas e de sua localização, tem-se:

$$t'c = tc + nL * tL \quad \dots \quad (2.1)$$

**onde**

$t'c$  = tempo de ciclo após a implantação de  $nL$  lombadas

$tc$  = tempo de ciclo antes da implantação da lombada

$nL$  = número de lombadas instaladas

$tL$  = tempo perdido por lombada

Adotando-se que o tempo de ciclo seja menor que o período de pico, o número de ônibus fica:

$$N' = t'c / hp \quad \dots \quad (2.2)$$

**onde:**

$N'$  = número de ônibus após a implantação da lombada

$h/p$  = intervalo de tempo entre ônibus no pico.

Utilizando-se a equação 2.1:

$$N' = \frac{tc + nL * tL}{hp}$$

$$h_p$$

$$N' = \frac{t_c}{h_p} + \frac{nL * tL}{h_p}$$

$$N' = N + \frac{nL * tL}{h_p} \dots\dots (2.3)$$

Para o caso em que o tempo de ciclo é maior que o tempo de pico, tem-se:

$$N' = \frac{t_p}{h_p} + \frac{t_c - t_p}{h_s}$$

onde:

$h_s$  = intervalo dos ônibus fora do pico

$t_p$  = tempo de duração do pico

$$N' = \frac{t_p}{h_p} + \frac{t_c}{h_s} - \frac{t_p}{h_s}$$

$$N' = \frac{t_p}{h_p} - \frac{t_p}{h_s} + \frac{t_c + nL * tL}{h_s}$$

$$N' = \frac{t_p}{h_p} - \frac{t_p}{h_s} + \frac{t_c}{h_s} + \frac{nL * tL}{h_s}$$

$$N' = N + \frac{nL * tL}{h_s} \dots (2.5)$$

Nota-se que, tanto pela expressão 2.3 como pela 2.5, há um aumento do número de ônibus da frota necessária. Pode não haver aumento de frota quando a segunda parcelada da soma for menor que a unidade, por questões de arredondamento.

O número de viagens permanece o mesmo, pois adota-se como premissa que os intervalos de viagem sejam constantes, para manter o nível de serviço constante, considerando apenas ocupação. Se o empresário não suprir a linha com os ônibus necessários, há uma queda do nível de serviço, pois os intervalos serão maiores.

O percurso diário de todos os veículos da frota fica:

$$Q_d = N_d * L / K_d \dots (2.6)$$

onde:

$Q_d$  = distância percorrida média diária

$N_d$  = número de ciclos por dia útil

$L$  = comprimento do ciclo

$K_d$  = fator de sazonalidade das viagens

Como  $N_d$ ,  $L$  e  $K_q$  são constantes, chega-se que a distância média, diária percorrida por todos os veículos é constante, a distância por veículos diminui, fazendo com que sua utilização fique menor, pois o percurso médio mensal por ônibus será menor. Em termos matemáticos, supondo  $t_c \geq t_p$ :

$$PMM' = Q_d * 30 / N'$$

$$\frac{1}{PMM'} = \frac{1}{Q_d * 30} * \left[ N + \frac{nL * tL}{hs} \right]$$

$$\frac{1}{PMM'} = \frac{N}{Q_d * 30} + \frac{nL * tL}{Q_d * 30 * hs}$$

$$\frac{1}{PMM'} = \frac{1}{PMM} + \frac{nL * tL}{Q_d * 30 * hs} \dots (2.7)$$

Como a segunda parcela da soma é positiva:

$$PMM' <= PMM \dots (2.8)$$

Conclui-se que o percurso médio mensal irá ser menor.

Por outro lado, pode-se analisar o acréscimo de custo que uma lombada ocasiona. Adota-se que o custo mensal por veículo possa ser expresso por:

$$C_m + C_f + C_v * PMM \dots (2.9)$$

Tem-se então, para a situação da lombada:

$$C' * M = C_f + C_v * PMM' \dots (2.10)$$

Como a frota passou de  $N$  para  $N'$  ônibus, tem-se:

$$C_T = C_f * N + C_v * PMM * N \dots (2.11)$$

$$C'T = C_f * N' + C_v * PMM' * N' \dots (2.12)$$

Desenvolvendo-se a expressão 2.12, levando-se em conta a 2.11:

$$C'T = C_f * (N + nL * tL / hs) + C_v * (Q_d * 30 / N') * N'$$

$$C'T = C_f * N + C_f * nL * tL / hs + C_v * (Q_d * 30 / N) * N$$

$$C'T = C_f * N + C_v * PMM * N + C_f * nL * tL / hs$$

$$C'T = C_T + C_f * nL * tL / hs \dots (2.13)$$

Pode-se concluir que o aumento de custo devido às lombadas será maior quanto maior o número de lombadas e quanto menor o intervalo dos ônibus. Em outras palavras, as lombadas prejudicarão mais, em termos de custos, os corredores e linhas que tenham um número de viagens maior. Por outro lado, as lombadas provocam uma redução de acidentes. Isto vai refletir numa redução de custos com seguros e indenizações. O efeito negativo na manutenção dos veículos pode ser descontado na expressão que indica a economia que a lombada pode fazer. Uma expressão para tal fato não pode ser deduzida pela falta de dados referente a gastos maiores com a manutenção e a custos decrescentes com acidentes por influência das lombadas. Assim, resolveu-se adotar uma expressão linear da seguinte forma:

$$C_a = A - K * nL \quad \dots (2.14)$$

**onde:**

$C_a$  = custos com acidentes

$A$  = custos com acidentes, sem lombadas

$K$  = decréscimo de custos com acidentes por lombada

**Colocando-se as lombadas:**

$$C'_a = A - K * nL \quad \text{e} \quad C_a = A$$

$$C'_a + C_a - K * nL \quad \dots (2.15)$$

Para haver uma compensação financeira, a soma das variações dos custos deve ser negativa. Assim, utilizando-se as expressões 2.13 e 2.15 chega-se a:

$$K > tL * CF / hp \quad \dots (2.16)$$

Conclui-se que, quanto maior o custo fixo, mais forte deve ser a redução de custo com acidentes que a lombada deve provocar. O mesmo ocorre com intervalos menores e tempos perdido nas lombadas.

Caso não haja linearidade na relação entre o número de lombadas e o custo de acidentes, a expressão 2.16 pode ser utilizada como um critério de limitação, pois  $K$  pode ser descrito como uma função de  $nL$ . Desta forma, tem-se o número de lombadas máximo que pode ser colocado.

A situação descrita no parágrafo anterior se aproxima mais da realidade, porém ainda faltam dados de pesquisa para verificar a forma mais adequada para a função.

Estas deduções podem auxiliar empresários em:

- a) Determinar os acréscimos de custo com instalação de lombadas no trajeto de uma linha;
- b) Determinar a viabilidade de instalação de lombadas no trajeto de uma linha;
- c) Requerer a instalação ou remoção de lombadas em trechos de suas linhas.

Como última observação, cabe salientar que foi utilizado um modelo de custo de uma variável apenas por simplicidade. Uma avaliação mais realista pode ser feita por modelo de duas, três ou quatro variáveis.

### 3. Efeitos das Lombadas – Estudos Práticos

Os tipos de estudos encontrados em bibliografias podem ser divididos em seis categorias:

- a) Estudos de interferências no tráfego (volume e velocidade)
- b) Estudos de interferência no número de acidentes;

- c) Estudo de efeitos nos passageiros dos veículos
- d) Estudos de efeito nos veículos
- e) Estudos de efeitos nos arredores
- f) Estudos de aceitação do dispositivo

Os tipos de estudos encontrados na bibliografia nacional (1,2,3,4) disseram respeito apenas às categorias **a** e **b**, o seja, houve apenas a preocupação com as variações de volumes, velocidades e acidentes.

A metodologia destes estudos baseia-se na medição dos volumes, velocidades e acidentes antes e depois da instalação da lombada, fazendo-se uma avaliação das diferenças encontradas. Os volumes são calculados através de contagens manuais classificadas de veículos no trecho da lombada. As velocidades são obtidas pela cronometragem manual da passagem de veículos em um trecho de 50m em torno da lombada. Em geral, para cada tipo de veículo (automóvel, ônibus ou caminhão) são obtidas médias que são utilizadas na comparação. Os dados de acidentes são obtidos através de levantamentos em banco de dados de acidentes.

Os dados de volumes e velocidades foram os que indicaram resultados mais significativos estatisticamente, enquanto os dados de acidentes não permitiram conclusões ou as conclusões não foram comprovadas estatisticamente.

As principais conclusões levam a que sempre há uma redução de velocidade, fuga dos veículos para rotas alternativas, quando estas existem, e redução do número de acidentes. Uma conclusão interessante de um relatório foi que a capacidade da lombada em estudo é de cerca de 1550 veic/h/faixa.

Apesar disto, o relatório final da primeira implantação de lombadas em São Paulo, na rua das Begônias, cita, outros efeitos a serem considerados:

“Há ainda que se aventar outros fenômenos envolvidos que caberia estudar, caso se desejasse um estudo mais completo, não só do obstáculo em si, como também da área envolvida.

“Dentre os efeitos relacionados ao obstáculo em si podemos citar: comportamento dos diversos tipos de veículos ao transpô-lo; danos causados aos veículos; comportamento dos pedestres em relação à travessia da rua, nível de ruído externo (Decibéis); ruído e desconforto dentro do veículo, medições de velocidades inter-obstáculos e nas aproximações.

“Com relação à aceitação da poderia ser feita uma pesquisa junto a moradores lindeiros à via e motoristas em tráfego.

“Para um estudo do comportamento da região envolvida, seria interessante a amostragem de uma rede de vias alternativas para se medir as variações volumétricas no sistema. Seria necessário medir o tempo de percurso entre os extremos da via para se computar entre as rotas alternativas; tempo de percurso, distância e penalidades (semáforos, desconforto, etc), que se traduzem em parâmetros para a escolha dos caminhos.””

É interessante notar que há o conhecimento da necessidade de estudos aprofundados.

Atualmente, a Gerência de Desenvolvimento Tecnológico da CET vem desenvolvendo estudos sobre o comportamento dos veículos nas lombadas, visando determinar formas e materiais construtivos alternativos, de maneira a aumentar a eficiência dos dispositivos existentes.

No exterior, os estudos 8, 9, 10, 11, 12 estão mais aprofundados, não se limitando apenas aos estudos de tráfego. Estes estudos procuram identificar os efeitos dinâmicos nos veículos e passageiros, além dos efeitos no tráfego.

Desta maneira, pode-se até discutir a forma ideal para se produzir um determinado efeito desejado pelo projetista da lombada. Por exemplo, MAK e CLEMENT comparam a eficiência das lombadas americanas (*speed bumps*), mais altas e mais curtas, com as lombadas inglesas (*speed humps*), mais baixas e mais largas. Estes estudos verificaram que a lombada inglesa é mais adequada para a redução de velocidade e causa menos impacto ao motorista que vai com a velocidade regulamentada.

Os efeitos nos passageiros e nos veículos são medidos através de acelerômetros. Há também citação de pesquisa de opinião de técnicos e de usuários das vias sobre as lombadas. Os efeitos no tráfego são medidos de maneira semelhante, mas apresentam uma profundidade muito maior na determinação do comportamento dos motoristas e dos pedestres nas proximidades da lombada. O tratamento dos dados, tanto na parte de análise como no tratamento estatístico é mais profundo que os estudos nacionais.

Estes estudos, no entanto, visam apenas informar ao poder público os dados de seu interesse, ou seja, qual o potencial da lombada em reduzir atitudes perigosas e acidentes e quanto isto irá prejudicar a sociedade, principalmente motoristas, pedestres e moradores. O interesse do empresário é outro, ou seja, determinar qual o lucro ou o prejuízo que terá com a instalação da lombada para, de acordo com o caso, pedir a instalação ou não da lombada.

Alguns dados dos estudos podem ser utilizados pelos empresários com cuidados, pois são dados genéricos e que não indicam a alteração que a lombada provocou nos ônibus da empresa.

Assim, sugere-se que sejam feitas estatísticas detalhadas, por linha, de diversos itens que entram no custo da empresa. Por exemplo, sugere-se as seguintes estatísticas:

- a) Manutenção do ônibus
- b) Consumo de combustível
- c) Acidentes e seus custos, incluindo seguros
- d) Velocidades e tempos de ciclo

A partir destas estatísticas, o empresário pode comparar o desempenho de uma linha antes e depois da colocação de lombadas ou linhas com lombadas e linhas sem lombadas.

Com os dados das estatísticas próprias, o modelo apresentado no item 3 pode ser alterado para se adaptar a elas. Sugere-se principalmente que seja adotado um modelo de custos mais completo. Assim, com os efeitos determinados estatisticamente, o empresário terá mais certeza de sua decisão. Porém, para isto, é necessário que as estatísticas sejam sem interrupção e que haja uma análise correta dos dados.

#### 4. Conclusão

Como parte final deste estudo, pretendemos colocar até que ponto conseguimos avançar no nosso trabalho e de que maneira interpretamos os resultados obtidos.

Em primeiro lugar e como primeira avaliação, acreditamos que este estudo não é conclusivo a ponto de se chegar a números que confirmem, de forma enfática, a hipótese inicial.

Como principal limitação, tivemos a falta de dados estatísticos que pudessem nos fornecer parâmetros de comparação e análise. Esta situação decorre do fato os estudos existentes serem executados pelo poder público, com a visão da redução de acidentes, redução de velocidade, ou então do ponto de vista do usuário, através da análise do nível de serviço.

Existe a necessidade de comprometimento das empresas operadoras a fim de se obter dados estatísticos sobre gastos com acidentes, consumo de combustíveis, desgaste do material rodante (manutenção) e velocidade de percurso, para que através deles se possa chegar a números conclusivos.

Em suma, o trabalho expressa a tentativa de demonstrar numericamente como a implantação de dispositivos redutores de velocidade interferem no desempenho do transporte coletivo urbano por ônibus, mas esbarra na falta de dados por parte do operador. Consideramos, contudo, positiva a posição a que chegamos, pois conseguiu-se equacionar o problema e dimensioná-lo para um posterior estudo mais aprofundado.

### Referências Bibliográficas

Companhia de Engenharia de Tráfego – *Rua das Begônias: avaliação de dispositivos de velocidade. Relatório Final*. São Paulo: CET, 1980.

\_\_\_\_\_. *Praça Haroldo Daltro: Estudo antes e depois. Avaliação Técnica de dispositivos para redução de acidentes*. São Paulo: CE, 1986.

\_\_\_\_\_. *Estrada Minas do Rio Verde: estudo antes e depois. Avaliação Técnica de dispositivos de redução de acidentes*. São Paulo: CET, 1988

\_\_\_\_\_. *Rua Sampaio Vidal: estudo antes e depois. Avaliação Técnica de dispositivos para redução de acidentes*. São Paulo, CET, 1988.

\_\_\_\_\_. *Dispositivos de redução de velocidade: ondulação transversal tipo II (lombada). Normas de Projeto*. São Paulo: CET, 1981

FREITAS, L.H.W. *Análise e Dimensionamento da oferta de transporte por ônibus: Metodologia*. São Paulo: CET, 1985 (Boletim Técnico 35)

WAISMAN, J. *Avaliação de desempenho de sistema de ônibus em cidades de porte médio, em função de sua produtividade, eficiência operacional e qualidade de serviços*. Tese (Doutoramento) – Escola de Engenharia de São Carlos, 1983.

SUMMER, R., BAGULEY, C. *Speed control on residential roads*. Crowthorna: Transport and Road Research Laboratory, 1979. 35 p. (TRRL Laboratory Report: 878)

BAGULEY, C. *Speed control humps: further public road trials*. Crowthorne: Transport and Road Laboratory, 1981. 15 p. (TRRL Laboratory Report, 1017)

KASSEM, E. & AL-NASSAR, Y. *Dynamic considerations of speed control humps*. Transportation Research, Oxford, v. 16B, n. 4, p. 291-302. August, 1982.

CLEMENT, J. P. *Speed humps and the thousands Oaks experience*. ITE Journal, Washington D.C., v. 53, n. 1, p. 35-39, January, 1983

MAK, K.K. *A further note on undulation as a speed control device*: In: Transportation Research Board. *Traffic control devices and rail – highway crossings*. Washington D.C. : TRB, 1986. 125 p. p. 613-20 (Transportation Research Record, 1069)



