

# AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA MEDIDA DE DESEMPENHO NO EQUIVALENTE VEICULAR DE CAMINHÕES

André Luiz Barbosa Nunes da Cunha

José Reynaldo Setti

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

## RESUMO

A presença de veículos pesados na corrente de tráfego afeta o nível de serviço das rodovias. O impacto desses veículos pesados é medido através do equivalente veicular  $E_T$ . A densidade é a medida de desempenho utilizada pelo HCM 2000 na obtenção do equivalente veicular e nível de serviço dessas rodovias. Fatores de equivalência para caminhões brasileiros já foram calculados com base na densidade da corrente de tráfego. O projeto de pesquisa de mestrado proposto visa avaliar o efeito do uso de medidas de desempenho alternativas, tais como a velocidade, no cálculo dos equivalentes veiculares em rodovias de pista dupla e auto-estradas do estado de São Paulo. Os equivalentes veiculares serão obtidos através de simulação, num processo similar ao usado na confecção do HCM 2000, com exceção da variável considerada na determinação das condições operacionais da rodovia. As simulações serão realizadas utilizando-se uma versão do CORSIM recalibrada para as condições das rodovias brasileiras.

## ABSTRACT

The presence of heavy-vehicles in the traffic stream affects the level of service of the highways. The impact of these heavy-vehicles is measured through passenger-car equivalents  $E_T$ . The HCM 2000 equivalents were obtained using the density as the performance measure. A previous study has obtained equivalents for divided highways and freeways in Brazil based on the traffic stream density. The proposed master research project objective is to evaluate the use of alternative measures of effectiveness in the calculation of the passenger-car equivalents for multilane highways and freeways in the state of São Paulo, in Brazil. Passenger-car equivalents will be obtained using simulation, using a procedure similar to the one used in the development of the HCM 2000, with the exception of the variable used to assess the traffic stream operational conditions. A version of CORSIM, recalibrated for the local conditions, will be used in the simulation experiments.

## 1. INTRODUÇÃO

A importância econômica do transporte rodoviário, no Brasil, pode ser verificada através da matriz do transportes de carga: em 2004, o modo rodoviário foi responsável por 61,1% do total da carga, em t.km, sendo transportada (CNT, 2005). Um sistema viário em boas condições, que permita que o transporte seja feito de maneira rápida, econômica e segura é imperativo para o bom funcionamento da economia nacional. Para tanto, é necessário dispor de instrumentos adequados para a avaliação das condições operacionais das rodovias. Um dos aspectos importantes na avaliação do sistema viário é a determinação da qualidade de serviço experimentada pelos usuários. A forma mais aceita para estimativa da qualidade de serviço é a aplicação dos procedimentos do manual de capacidade de rodovias do TRB (TRB, 2000), o HCM (*Highway Capacity Manual*). Mesmo que tenha sido criado especificamente para avaliar as rodovias norte-americanas, o HCM é utilizado no mundo todo – inclusive no Brasil –, com pouca ou nenhuma adaptação às condições locais, ainda que o próprio HCM ressalte a necessidade disso (Setti, 1997; TRB, 2000; Demarchi, 2000).

Um dos aspectos dos procedimentos propostos no HCM que deve ser adaptado às condições locais são os fatores de equivalência ( $E_T$ ), utilizados para representar o impacto dos veículos pesados na fluidez do tráfego, através do fator  $f_{HV}$  calculado pela expressão (TRB, 2000):

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}, \quad (1)$$

em que  $P_T$  é a porcentagem de veículos pesados;  $E_T$  é o fator de equivalência para caminhões;  $P_R$  é a porcentagem de veículos de recreação; e  $E_R$  é o fator de equivalência para esses veículos. Os veículos pesados afetam a fluidez do tráfego por duas razões principais: (a) sendo maior que um automóvel, ocupa um maior espaço, reduzindo a capacidade da via; e (b) têm desempenho inferior aos automóveis, particularmente no que diz respeito à aceleração, desaceleração e capacidade de manter a velocidade em aclives (TRB, 2000; Craus *et al.*, 1980).

No HCM 2000 (TRB, 2000), usa-se a densidade como medida de desempenho para a avaliação de auto-estradas e de rodovias de pista dupla. Por isso, os fatores de equivalência  $E_T$  são calculados comparando-se duas correntes de tráfego com a mesma densidade, uma composta só por carros, e a outra, por uma mistura de carros e veículos pesados. Entretanto, existem formas alternativas de se avaliar a qualidade de serviço, a partir de outras medidas de desempenho. As versões anteriores do HCM usavam a velocidade média da corrente como a medida de desempenho.

Não existe consenso sobre o melhor método para cálculo da equivalência veicular e métodos diferentes produzem valores diferentes para o fator de equivalência (Elefteriadou *et al.*, 1997). O uso da densidade como medida de desempenho faz com que, pelo menos teoricamente, o equivalente tenha valores mínimos para fluxos baixos e cresça com o fluxo e a porcentagem de caminhões na corrente. Se a medida de desempenho for a velocidade média, para baixos fluxos seriam obtidos valores máximos para o equivalente, que diminuiria com o aumento do fluxo e cresceria com o aumento da porcentagem de caminhões na corrente (Huber, 1982). Assim sendo, o projeto proposto visa investigar o efeito da medida de desempenho usada para calcular o fator de equivalência, procurando subsidiar a discussão sobre qual processo de cálculo do fator de equivalência é o mais indicado para as condições brasileiras e, indiretamente, fornecer elementos para analisar qual a melhor medida de mérito para a definição do nível de serviço nas rodovias de pista dupla e auto-estradas no Brasil.

## 2. OBJETIVO

O objetivo principal desta pesquisa de mestrado é avaliar o efeito do uso de medidas de desempenho diferentes da densidade no cálculo dos valores de equivalência para veículos pesados em rodovias de pista dupla e auto-estradas do estado de São Paulo.

## 3. MÉTODO PROPOSTO

Para alcançar o objetivo principal, pretende-se desenvolver as seguintes etapas:

- I. Revisão bibliográfica;
- II. Caracterizar, do ponto de vista da composição veicular, o tráfego de auto-estradas e rodovias de pista dupla no estado de São Paulo;
- III. Caracterizar, do ponto de vista do desempenho, os veículos típicos que trafegam pelas rodovias de pista dupla e auto-estradas observadas;
- IV. Selecionar a medida de desempenho alternativa mais apropriada para o fator de equivalência para rodovias de pista dupla e auto-estradas;
- V. Recalibrar e validar um modelo de simulação que represente adequadamente as condições de fluxo das rodovias de pista dupla e auto-estradas observadas;
- VI. Cálculo dos valores de equivalência para caminhões e ônibus ( $E_T$ ) através de simulações e da medida de desempenho escolhida; e
- VII. Comparar os valores de  $E_T$  obtidos nesta pesquisa com os valores apresentados no HCM

2000 (para rodovias norte-americanas) e com os valores obtidos para rodovias de pista dupla brasileira (Demarchi, 2000), ambos calculados com base na densidade.

### **3.1. Revisão bibliográfica**

Uma ampla revisão bibliográfica está sendo realizada abrangendo estudos sobre fator de equivalência, características de desempenho veicular, simulação de tráfego e nível de serviço em rodovias de pista dupla e auto-estradas, como base para o desenvolvimento da pesquisa.

### **3.2. Caracterização do tráfego veicular em rodovias com canteiro central**

A caracterização da composição veicular do tráfego nas rodovias será feita a partir de contagens de tráfego desagregadas fornecidas por concessionárias do estado de São Paulo. Esses dados compreendem relatórios de tráfego em praças de pedágios em diferentes anos (1999 a 2005) e em regiões variadas do estado. Uma análise preliminar dos dados já obtidos indica que as porcentagens de veículos pesados no tráfego das rodovias de pista dupla e auto-estradas paulistas variam entre 20% e 58%; nas rodovias americanas essa porcentagem varia de 2% a 25% (TRB, 2000). É de se esperar que essas diferenças influenciem os valores do fator de equivalência  $E_T$  calculados para as rodovias estudadas.

### **3.3. Caracterização do desempenho veicular dos caminhões nacionais**

Os caminhões típicos usados no cálculo dos fatores de equivalência do HCM 2000 têm relação massa-potência de 100 kg/kW (rodovias de pista dupla) ou de 75 a 90 kg/kW, para auto-estradas (HCM, 2000). A relação massa-potência é o parâmetro mais significativo para a caracterização do desempenho dos veículos pesados em aclives (Linzer *et al.*, 1979; Craus *et al.*, 1980; Elefteriadou *et al.*, 1997; Demarchi, 2000). Por isso, pretende-se determinar a distribuição da relação massa-potência para os tipos de caminhões mais comuns nas rodovias estudadas. Os dados de pesagens serão obtidos em balanças fixas e móveis instaladas na Via Anhanguera (km 37, 53 e 208), na Rodovia dos Bandeirantes (km 40 e 58) e em outras rodovias, para se obter um panorama das configurações típicas de caminhões encontrados próximo da capital e no interior do estado de São Paulo.

### **3.4. Cálculo dos fatores de equivalência**

O método escolhido para o cálculo do fator de equivalência é o mesmo usado no HCM 2000, ou seja, a adaptação do método de Huber (1982) proposta por Sumner *et al.* (1984). O método obtém o valor do fator de equivalência a partir de duas correntes de tráfego, uma composta apenas de automóveis e outra formada por automóveis e caminhões, quando as condições operacionais nas duas correntes são iguais. Isso permite que diferentes medidas de desempenho, tais como densidade (usada no HCM 2000), velocidade, entre outros, possam ser utilizadas como critério de equivalência de fluxos, além de permitir que a relação entre fluxo e impedância possa ser obtida analiticamente ou através de simulação. Para o cálculo dos fatores de equivalência, será preciso escolher a medida de desempenho, obter um modelo de simulação capaz de representar com fidelidade o tráfego em rodovias brasileiras e realizar simulações para obter os dados necessários.

Quanto à medida de desempenho, pretende-se, a princípio, usar a velocidade média da corrente de tráfego, porque, além de ser um aspecto de qualidade experimentado diretamente pelos usuários, fornece um retrato claro de como está a operação da rodovia (Elefteriadou *et al.*, 1997). Outras medidas poderão ser avaliadas, como a velocidade média dos automóveis, o atraso sofrido pelos automóveis, o *headway* e o tempo de viagem.

As simulações necessárias para o cálculo dos valores do fator de equivalência serão realizadas através do CORSIM, que é o mesmo simulador usado para obter os fatores apresentados no HCM 2000. O CORSIM faz parte do software TSIS v. 5.1, desenvolvido pela FHWA, e está sendo recalibrado e validado, em pesquisa de doutorado conjunta a esta de mestrado. Os dados de fluxo e velocidade necessários para a recalibração e validação estão sendo obtidos na rodovia de pista dupla Washington Luiz. O procedimento usado nas simulações será similar ao usado por Demarchi (2000) para cálculo de fatores de equivalência baseados na densidade da corrente de tráfego.

### **3.5. Comparações e análises**

A fim de determinar as implicações da utilização da medida de desempenho alternativa, os valores dos equivalentes veiculares obtidos serão comparados com os valores dos  $E_T$ , calculados através da densidade, apresentados no HCM 2000 e na pesquisa realizada por Demarchi (2000) para rodovias paulistas de pista dupla.

## **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Como produto final desta pesquisa, pretende-se verificar as implicações do uso de medidas de desempenho alternativas no cálculo dos fatores de equivalência para rodovias de pista dupla e auto-estradas do estado de São Paulo. Além disso, pretende-se obter características atuais do desempenho dos caminhões nacionais.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- CNT (2005) *Boletim estatístico – maio de 2005*. Confederação Nacional dos Transportes, Brasília, DF.
- Craus, J.; A. Polus e I. Grinberg (1980) A revised method for the determination of passenger car equivalencies. *Transportation Research A*, v. 14-A, p. 241-246.
- Demarchi, S. H. (2000) *Influência dos veículos pesados na capacidade e nível de serviço de rodovias de pista dupla*. 166p. Tese (doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Elefteriadou, L.; D. Torbic e N. Webster (1997) Development of passenger car equivalents for Freeways, Two-lane highways, and Arterials. *Transportation Research Record*, n. 1572, p. 51-58.
- Huber, M. J. (1982) Estimation of passenger-car equivalent of trucks in traffic stream. *Transportation Research Record*, n. 869, p. 60-70.
- Linzer, E. M.; R. P. Roess e W. R. McShane (1979) Effect of trucks, buses and recreational vehicles on freeway capacity and service volume. *Transportation Research Record*, n. 699, p. 17-26.
- Setti, J. R. (1997) *Capacidade e nível de serviço em rodovias de pista dupla*. Tese (livre-docência). EESC-USP, Departamento de Transportes.
- Sumner R.; D. Hill e S. Shapiro (1984) Segment passenger car equivalent values for cost allocation on urban arterial roads. *Transportation Research A*, v. 18-A, p. 399-406.
- TRB (2000) *HCM2000: Highway Manual Capacity*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., EUA.

---

### **Endereço:**

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Av. Trabalhador São-carlense, 400  
13566-590 – São Carlos, SP

Fone: (16) 3373-9601  
E-mail: acunha@sc.usp.br  
jrasetti@usp.br