

## **CAPACIDADE E NÍVEL DE SERVIÇO EM RODOVIAS DE PISTA SIMPLES BRASILEIRAS COM FAIXAS ADICIONAIS**

**Marcia Lika Mon-Ma**  
**José Reynaldo Anselmo Setti**  
Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos

### **RESUMO**

Esta pesquisa de doutorado tem como objetivo adaptar o método proposto pelo HCM 2000 para a análise da capacidade e do nível de serviço de segmentos de rodovias de pista simples brasileiras contendo faixas adicionais. Essa adaptação será feita através da substituição dos parâmetros atuais do HCM 2000, que foram calculados para rodovias norte americanas, por valores calculados para rodovias brasileiras. Para isso, pretende-se usar o modelo de simulação TWOPAS, que será recalibrado e validado para as rodovias nacionais, a partir de dados coletados em campo. A recalibração do TWOPAS será baseada num algoritmo genético, que permite a otimização simultânea de vários parâmetros através de uma busca iterativa, de forma que a discrepância entre o sistema real e o virtual é minimizada. Por fim, esta pesquisa visa também avaliar o impacto das faixas adicionais na capacidade e no nível de serviço do fluxo oposto, o que não faz parte do procedimento proposto pela versão atual do HCM 2000.

### **ABSTRACT**

The PhD research reported aims at adapting the HCM 2000 procedure for capacity and service level analysis for two-lane highway segments with passing lanes to Brazil. This adaptation will be carried out by replacing HCM 2000 parameters, which were obtained for North American highways, with values that are appropriate for Brazilian highways. To do this, the two-lane highway simulation software TWOPAS will be used, after being recalibrated and validated to simulate traffic flows as they occur in Brazilian highways. The recalibration will be carried out using a genetic algorithm, as this technique allows the simultaneous optimization of several parameters, minimizing discrepancies between the real and simulated systems. The research will also aim at evaluating the impact of passing lanes on the capacity and level of service of the flow on the opposing direction, which is not included in the current HCM 2000 procedure.

### **1. INTRODUÇÃO**

As faixas adicionais são dispositivos muito eficientes para a dispersão de pelotões em rodovias de pista simples. Até pouco tempo atrás, no entanto, não existia um método que permitisse a quantificação da melhoria proporcionada pela construção de uma faixa adicional na capacidade e no nível de serviço da rodovia. Nas décadas de 80 e 90, a popularização de modelos de simulação permitiu a realização das primeiras análises operacionais de faixas adicionais em rodovias de pista simples. O primeiro método formal para estimar a capacidade e o nível de serviço em rodovias de pista simples com faixas adicionais somente foi apresentado no ano de 2000, quando a mais nova versão do *Highway Capacity Manual* foi publicada (TRB, 2000).

Pela metodologia apresentada no *Highway Capacity Manual* 2000 (HCM 2000), o efeito das faixas adicionais é considerado através de fatores de ajuste que aumentam a velocidade média da corrente de tráfego e que reduzem a porcentagem de tempo gasto seguindo em pelotão. Este procedimento representa um grande avanço em relação às publicações anteriores, mas ainda é bastante limitado, pois permite a análise de apenas uma faixa adicional por segmento. O HCM 2000 menciona ainda que a existência de uma faixa adicional afeta o tráfego oposto, porém, o procedimento não considera o impacto gerado pela faixa adicional no fluxo oposto (TRB, 2000).

No Brasil, o procedimento atualmente utilizado para a estimativa da capacidade e do nível de

serviço de rodovias de pista simples com faixas adicionais é aquele apresentado no Capítulo 20 do HCM 2000, sem que nenhuma adaptação tenha sido feita para as nossas condições, apesar de os estudos anteriores mostrarem que o desempenho operacional dos caminhões norte-americanos não corresponde ao dos veículos predominantes da frota brasileira (DNER, 1999; Demarchi e Setti, 1999; Demarchi e Pierin, 2001; Melo, 2002). Outras diferenças entre o Brasil e os Estados Unidos (país onde o HCM foi elaborado) estão relacionadas à composição de tráfego e às políticas operacionais. Isso demonstra a necessidade do ajuste dos parâmetros para a realidade brasileira.

O Capítulo 20 do HCM 2000 apresenta quatro procedimentos para a análise da capacidade e do nível de serviço em rodovias de pista simples. O primeiro procedimento, que trata da análise de trechos homogêneos e sem faixas adicionais, já está sendo adaptado para as condições brasileiras por Egami e Setti (2002). Proposta como complementação a esse trabalho, a presente pesquisa visa adaptar os três procedimentos restantes, que são: (a) análise de trechos de rampas específicas; (b) análise de trechos contendo faixas de ultrapassagem; e (c) análise de trechos contendo faixas adicionais de subida.

## **2. OBJETIVO**

Este projeto de doutorado tem como objetivo propor um método para estimar a capacidade e o nível de serviço em segmentos específicos de rodovias de pista simples brasileiras, tais como longas rampas ascendentes e segmentos contendo faixas adicionais. O método proposto será baseado no Capítulo 20 do HCM 2000 e consistirá basicamente no ajuste dos parâmetros utilizados no método do HCM para as condições nacionais. O ajuste dos parâmetros constantes no HCM 2000 será feito com o auxílio do modelo de simulação TWOPAS. O TWOPAS é um modelo microscópico e estocástico para a simulação de tráfego em rodovias de pista simples; e sua versão mais atual foi lançada em 1998 para a elaboração do Capítulo 20 do HCM 2000.

O TWOPAS será recalibrado e validado para reproduzir adequadamente o comportamento do tráfego em trechos com faixas adicionais, a partir de dados coletados em rodovias de pista simples no estado de São Paulo. A recalibração do TWOPAS será feita através de algoritmos genéticos, que têm sido usados como ferramenta de otimização devido à sua capacidade de fazer múltiplas buscas em espaços grandes, complexos e pouco conhecidos, como em geral são os casos de problemas da área de simulação de fluxos de tráfego (Kim e Rillet, 2001).

Nesta pesquisa, propõe-se ainda a análise da influência das faixas adicionais na capacidade e no nível de serviço do tráfego no sentido oposto, uma vez que no Brasil (ao contrário dos Estados Unidos) é comum permitir ao tráfego oposto realizar ultrapassagens nos trechos onde as faixas adicionais são implantadas, desde que haja distância de visibilidade adequada (Mon-Ma e Setti, 2002).

## **3. MÉTODO DE PESQUISA PROPOSTO**

Na definição do processo de adaptação do HCM 2000 para as condições locais, adotar-se-á, pelo menos inicialmente, a premissa de que a estrutura básica do método do HCM 2000 deve ser mantida. Por conseguinte, neste processo de adaptação serão determinados os parâmetros que deverão ser ajustados e o método mais adequado para sua recalibração, procurando-se manter a maior fidelidade possível aos estudos realizados por Harwood *et al.* (1999). Contudo, pode-se adiantar uma diferença entre os métodos proposto pelo HCM e o proposto

neste estudo: a pesquisa proposta inclui um estudo do impacto das faixas adicionais de subida na qualidade de serviço do tráfego oposto.

No processo de adaptação do HCM 2000, cada parâmetro será ajustado variando-se o seu valor gradativamente e mantendo-se os demais parâmetros fixos. A exemplo dos estudos realizados para o desenvolvimento do Capítulo 20 do HCM 2000, prevê-se que o ajuste dos parâmetros deve ser baseado em dados obtidos através de análises de simulação, a fim de que se possam realizar experimentos controlados que permitam determinar os impactos dos parâmetros escolhidos sobre a qualidade do serviço. Por isso, decidiu-se pelo uso do mesmo simulador utilizado para o desenvolvimento do Capítulo 20 do HCM 2000.

A recalibração do TWOPAS será feita com o auxílio do algoritmo genético. Os algoritmos genéticos são algoritmos de busca baseados no mecanismo da seleção e evolução natural (Goldberg, 1989). Os algoritmos genéticos já foram usados com ótimos resultados para a recalibração dos simuladores FRESIM (Cheu *et al.*, 1998) e PARAMICS (Lee *et al.*, 2001).

O método de recalibração com base em algoritmo genético consiste na criação de um conjunto de possíveis soluções que contenham valores para os parâmetros de interesse que, no caso de modelos de simulação de tráfego podem ser características dos motoristas (por ex., grau de agressividade). Essas prováveis soluções são transformadas em vetores binários, chamados de “cromossomos” ou “pseudo-organismos”, que por sua vez são compostos por “genes”. Cada gene corresponde ao valor de um único parâmetro de interesse para a recalibração (Ma e Abdulhai, 2001). Um exemplo de cromossomo seria:

Cromossomo A: [ 011000011    1011101001    001010110 ]
   



  
 Parâmetro 1    Parâmetro 2    Parâmetro 3

O algoritmo genético inicia o processo criando uma população de cromossomos, em que os cromossomos capazes de produzir melhores resultados têm maior probabilidade de serem usados para formar a próxima geração. A próxima geração de indivíduos é obtida ao final da aplicação de três operadores: seleção, cruzamento e mutação. Com a nova geração, reinicia-se o processo iterativo, que chega ao fim ao se obter um cromossomo que fornece uma solução, cujo erro está dentro da precisão pré-estabelecida, ou quando o número de iterações for igual ao número máximo de gerações especificado pelo usuário. A solução ótima, ou pelo menos próxima da ótima, é aquela que minimiza ou maximiza a função-objetivo. No caso de modelos de simulação de tráfego, a função-objetivo poderia ser, por exemplo, a minimização da diferença entre a velocidade simulada e a velocidade medida no campo.

Todo processo de recalibração de programas requer, portanto, dois conjuntos de dados: um para a recalibração e outro para a validação. Como esse banco de dados não está disponível, uma coleta de dados será feita em algumas rodovias de pista simples do estado de São Paulo. Para tanto, adotar-se-á a premissa de que as rodovias paulistas são representativas das rodovias brasileiras, ao menos em termos da composição e comportamento do tráfego e das diretrizes de projeto geométrico, visto que a realização de coletas de dados em diversos estados brasileiros tornaria o desenvolvimento desta pesquisa inviável.

Após a recalibração e a sua validação, o TWOPAS será usado para conduzir uma série de experimentos em condições controladas, nos quais serão simulados trechos de rodovias de

pista simples com e sem faixas adicionais, variando-se o volume e a composição de tráfego. Os dados obtidos através da simulação serão utilizados para ajustar os parâmetros do HCM 2000.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como produto final desta pesquisa, pretende-se obter o Capítulo 20 do HCM 2000 totalmente adaptado para as rodovias brasileiras. Além disso, caso seja verificado que as faixas adicionais realmente afetam a qualidade operacional no fluxo oposto, esse efeito será quantificado para que seja possível propor um método que considere o impacto de uma faixa adicional do tráfego oposto. Outro resultado desta pesquisa será a obtenção do modelo de simulação TWOPAS recalibrado para as rodovias nacionais. Dessa forma, o TWOPAS poderá ser utilizado para outros tipos de estudos em rodovias de pista simples brasileiras.

#### Agradecimentos

Esta pesquisa está sendo financiada por recursos oriundos da FAPESP e do CNPq, cujo apoio os autores agradecem.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cheu, R.; X. Jin; K. Ng; Y. Ng e D. Srinivasan (1998) Calibration of FRESIM for Singapore Expressway Using Genetic Algorithm. *Journal of Transportation Engineering*, ASCE, v. 124, n. 6, p. 526-535.
- Demarchi, S. H. e J. R. A. Setti (1999) *Caracterização da Relação Massa/Potência de Caminhões em Rodovias do Estado de São Paulo*. Transporte em Transformação IV – Trabalhos Vencedores do Prêmio CNT Produção Acadêmica 1999. Capítulo 4, p. 51-65.
- Demarchi, S. H. e I. Pierin (2001) *Impacto da Sobrecarga no Desempenho de Caminhões Canavieiros em Rampas Ascendentes*. Transporte em Transformação VI – Trabalhos Vencedores do Prêmio CNT Produção Acadêmica 2001. Capítulo 5, p. 91-107.
- DNER (1999) *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro.
- Egami, C. Y e J. R. A. Setti (2002) Capacidade e Qualidade de Serviço em Rodovias de Pista Simples. Relatório de Tese apresentado no XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET, Natal (RN).
- Goldberg, D. E. (1989) *Genetic algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.
- Harwood, D. W.; A. D. May; I. B. Anderson; L. Leiman e A. R. Archilla (1999) *Capacity and Quality of Service of Two-Lane Highways*. Final Report, Project 3-55(3). National Cooperative Highway Research Program, TRB, Washington, DC, EUA.
- Kim, K. e L. R. Rillet (2001) Genetic-Algorithm-based Approach for Calibrating Microscopic Simulation Models. In: *2001 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings – Oakland (CA) USA*. August 25-29, 2001.
- Lee, D.; X. Yang e P. Chandrasekar (2001) Parameter Calibration for PARAMICS Using Genetic Algorithm. Presented at *80th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., 2001. Citado por Kim e Rillet [2001].
- Ma, T. e B. Abdulhai (2001) Genetic Algorithm-Based Combinatorial Parametric Optimization for the Calibration of Microscopic Traffic Simulations Models. In: *2001 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings – Oakland (CA) USA*. August 25-29, 2001.
- Melo, R. A. (2002) *Faixas Adicionais para Aclives de Rodovias Brasileiras*. 175 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Mon-Ma, M. L. e J. R. A. Setti (2002) O Processo de Formação e Dispersão de Pelotões em Rodovias de Pista Simples Brasileiras. Publicado nos Anais da XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET, v. 1, p 325-337. Natal, RN.
- TRB (2000) *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board. Washington D.C.

---

#### Endereço para contato:

Marcia Lika Mon-Ma (lika@sc.usp.br ou mmonma@hotmail.com)  
José Reynaldo Anselmo Setti (setti@sc.usp.br)