

ESTUDO COMPARATIVO DE TÉCNICAS DE ANÁLISE DE DESEMPENHO DE REDES VIÁRIAS NO ENTORNO DE PÓLOS GERADORES DE VIAGENS

Juliana Tolfo

Programa de Engenharia de Transportes - Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia Bloco H - Sala 106 - Cidade Universitária
CEP 21949-900 Rio de Janeiro, RJ, Brasil
Telefone: 55 (21) 2562-8131; Fax: 55 (21) 2290-6626
juliana@pet.coppe.ufrj.br

Licínio da Silva Portugal

Programa de Engenharia de Transportes - Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia Bloco H - Sala 106 - Cidade Universitária
CEP 21949-900 Rio de Janeiro, RJ, Brasil
Telefone: 55 (21) 2562-8131; Fax: 55 (21) 2290-6626
licinio@pet.coppe.ufrj.br

RESUMO

O incremento de tráfego gerado por um Pólo Gerador de Viagem (PGV) pode interferir no desempenho do fluxo veicular, causando efeitos negativos na sua área de influência. Esta pesquisa visa desenvolver um procedimento quanto à adoção de técnicas de análise de desempenho no entorno de um PGV e avaliar a aplicação do *Highway Capacity Manual* (HCM) e do simulador TSIS 5.1 (NETSIM), como ferramentas de apoio a elaboração de projetos viários. O propósito é, ao se aplicar as duas técnicas a uma rede com *shopping center* na cidade do Rio de Janeiro, analisar comparativamente a adequabilidade delas ao caso em estudo e o esforço envolvido no processo, considerando o tráfego antes e após a implantação do PGV. Para isso, são definidos a oferta viária (rede) e o carregamento dentro da área crítica para as condições atual e futura, sendo verificada a proximidade dos resultados da aplicação das duas técnicas quanto aos seguintes indicadores de desempenho: níveis de serviço, atraso, velocidade e tempo de viagem. O desenvolvimento do estudo dessas ferramentas de análise permitiu concluir que o procedimento proposto é exequível, tendo-se percebido que o NETSIM fornece resultados mais confiáveis do que o HCM em situações onde a demanda se aproxima muito da capacidade e em que a presença de ônibus é significativa.

PALAVRAS-CHAVE: Pólos geradores de viagem, HCM, Simulação.

1. INTRODUÇÃO

A amplitude dos impactos causados pelo incremento de tráfego gerado pela implantação de um empreendimento de grande porte, chamado Pólo Gerador de Viagem (PGV), vai além daqueles provocados no sistema viário. Tais impactos podem estar relacionados à dificuldade de circulação, aos prejuízos na acessibilidade e mobilidade, aos congestionamentos, à queda dos níveis de desempenho e de serviço dos sistemas de transportes, à diminuição da segurança de veículos e de pedestres e da qualidade de vida da comunidade que reside na redondeza.

A Rede Ibero-americana de Estudos de Pólos Geradores de Viagens (<http://redpgv.coppe.ufrj.br>) traz como conceito de PGV: locais ou instalações de distintas naturezas que têm em comum o desenvolvimento de atividades em um porte e escala capazes de exercer grande atratividade sobre a população, produzir um contingente significativo de viagens, necessitar de grandes espaços para estacionamento, carga e descarga e embarque e desembarque, promovendo, conseqüentemente, potenciais impactos.

Alguns trabalhos desenvolveram estudos de capacidade de uma maneira geral e em particular quanto aos impactos de PGV em sistemas viários e de transportes através de diferentes técnicas (*apud* Portugal, 2005): Bulla e Cybis (1998), Luna e Setti (1998), Poyares (2000), Batista Jr. e Senne (2000), Aristizabal e García (2001), Maiolino e Portugal (2001), Luh (2001), Cybis et al (2002), Macêdo et al (2001), Washburn e Larson (2002), Meneses et al (2002), Araújo (2003), Sousa (2003) e Viana (2005). Nestes trabalhos, observa-se que as técnicas mais utilizadas para análise do desempenho de redes viárias e especificamente quanto aos impactos de PGV são os modelos de simulação e, dentre estes, o NETSIM tem sido o mais utilizado.

Esta pesquisa direciona-se ao estudo e comparação entre duas técnicas utilizadas para análise de desempenho de redes viárias impactadas por PGV: uma disponibilizada pelo *Highway Capacity Manual* (HCM), e um modelo de micro-simulação, o *software* NETSIM. Os procedimentos do HCM são tradicionais no meio técnico-científico em especial para estudos de capacidade de componentes viárias. Entretanto, para análise de desempenho de redes viárias, o mesmo não ocorre, talvez por falta de alguns esclarecimentos a cerca de sua modelagem. Já o NETSIM tem como principal característica o detalhamento do tráfego, capaz de reproduzir atrasos e formação de filas, sendo adequado para estudos em áreas urbanas.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um procedimento para avaliar o desempenho de redes viárias no entorno de um PGV e sua área de influência. Este procedimento terá por base critérios relevantes quanto à adoção de técnicas de análise de desempenho viário e será avaliado através da aplicação e comparação dos modelos supracitados como ferramentas de apoio a projetos viários.

2. HCM e NETSIM

2.1 Highway Capacity Manual (HCM)

O HCM, o mais tradicional dentre os modelos analíticos que introduziu o estudo de capacidade de componentes viárias isoladas em sua primeira versão em 1950, contém conceitos e procedimentos para calcular a capacidade e a qualidade do serviço de vários tipos de instalações viárias, incluindo vias expressas, rurais e urbanas, interseções semaforizadas ou não e os efeitos de pedestres e bicicletas no desempenho dos sistemas.

De acordo com o TRB (2000), nível de serviço é um termo que denota inúmeras combinações de operações que podem ocorrer em uma determinada faixa de rolamento ao acomodar diferentes volumes de tráfego, incluindo o efeito de diversos fatores, como velocidade e tempo de viagem, interrupções no tráfego, liberdade de movimentação, conforto e custos de operação. O desempenho de uma via, representado pelo seu nível de serviço, varia de “A” (melhor nível - tráfego livre) para “F” (pior nível - congestionamento) refletindo seu conforto ou eficiência.

Dentre as medidas de desempenho do HCM em termos de rede estão a duração, a intensidade e a extensão de congestionamento, calculados para situações onde a demanda supera a capacidade. Para estes cálculos, é necessário o processamento de outras variáveis, quais sejam: a velocidade de fluxo livre (FFS - *free flow speed*), a capacidade e a velocidade da via.

A FFS é a velocidade média dos veículos de passeio sob baixas ou moderadas condições de tráfego (taxas de fluxo) excluindo quaisquer controles de tráfego que causem atrasos, como semáforos ou sinais de parada obrigatória. A melhor maneira de medir a FFS é em campo, mas nem sempre é possível quando se analisam redes, pois envolve grande número de *links* (ou segmentos viários). Outra maneira é utilizar os procedimentos definidos no HCM ou utilizar as tabelas de valores padrão de FFS baseada na classe funcional e no tipo de área no qual o *link* se insere.

A capacidade de uma via é definida pelo número máximo de veículos que pode ser absorvido por unidade de tempo. Para vias arteriais controladas por semáforos, a capacidade é determinada pela equação 1.

$$c = S_o \cdot N \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_{bb} \cdot f_a \cdot f_{LU} \cdot f_{LT} \cdot f_{RT} \cdot f_{Lpb} \cdot f_{Rpb} \cdot PHF \cdot g/C \quad (1)$$

Onde:

S_o = taxa de fluxo de saturação básica (cp/h/fx);

N = número de faixas observado na aproximação;

PHF = fator pico horário que mede a flutuação do tráfego dentro da hora de pico;

g/C = verde efetivo da aproximação por ciclo na interseção;

f_w = fator de ajuste para a largura da faixa (w);

f_{HV} = fator de ajuste para veículos pesados;

f_g = fator de ajuste para o greide na aproximação;

f_p = fator para faixa de estacionamento;

f_{bb} = fator de ajuste devido às paradas de ônibus;

f_a = fator de ajuste para tipo de área;

f_{LU} = fator de ajuste para utilização das faixas de tráfego;

f_{LT} = fator para manobras de giro à esquerda;

f_{RT} = fator de giro à direita, refletindo o efeito da geometria;

f_{Rpb} = fator de ajuste para efeitos de pedestres e ciclistas no giro à direita dos veículos;

f_{Lpb} = fator de ajuste para efeitos de pedestres e ciclistas no giro à esquerda.

A velocidade da via é calculada pela fórmula 2:

$$S = \frac{L}{R + D/3600} \quad (2)$$

Onde:

S = velocidade (km/h);

L = extensão do *link* (km);

D = atraso nodal por *link* (segundos) em interseções;

R = tempo de travessia (h).

Para interseções semaforizadas, o atraso em cada grupo de faixas é dado pela expressão 3:

$$D = \frac{0,5 \cdot C \cdot (1 - g/C)}{1 - \text{Min}(1,0; X) \cdot g/C} + 900 \cdot T \cdot \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{4 \cdot X}{T \cdot s \cdot g/C}} \right] \quad (3)$$

Onde:

D = atraso médio para grupo de faixa (s/veíc);

C = ciclo da interseção (s);

g = tempo de verde efetivo incluindo o tempo amarelo (s);

X = proporção volume e capacidade = $v/c = (v/s)/(g/C)$;

T = duração da análise (h);

s = fluxo de saturação para grupo de faixa (veíc/h);

v = demanda para o grupo de faixa (veíc/h).

2.2 NETSIM

O ambiente físico no NETSIM é representado por uma rede composta por arcos e nós, que representam os *links* e as interseções. Cada veículo é identificado pela sua categoria (auto, ônibus, caminhão e *carpool*) com diferentes características operacionais, de performance e taxa de ocupação, onde as acelerações, velocidades, *headways* e o comportamento dos motoristas são característicos de cada tipo.

Sendo um modelo microscópico, a escolha deste simulador para ser utilizado no procedimento de análise de redes tem como principais impulsos: oferecer como medidas de desempenho a velocidade média, tempo de viagem, fluxo de veículos, atrasos, filas, consumo de combustível, emissão de poluentes etc; a capacidade de modelar complicadas condições geométricas; os veículos geralmente seguem caminhos aleatórios baseados em percentagens de giro, mas o usuário pode definir um caminho específico e forçar o motorista a segui-lo; fornecer medidas de desempenho de modo que a velocidade e fluxo de veículos possam ser explicitados em cada via; simular paradas e rotas de ônibus, táxis e *carpools*, pedágio e estações de pesagem de caminhões; gerenciamento e detecção de incidentes; possuir um sistema operacional amigável, de fácil interação com o usuário.

Com a simulação é possível além de estudar uma situação existente de maneira barata e cômoda, gerar cenários para a previsão de situações futuras. Portugal (2005) contempla como vantagens da simulação: possibilidade de se comprimir/expandir o tempo; possibilidade de se identificar e controlar fontes de variabilidade no sistema, bem como antecipar os resultados de certas intervenções, sem o custo, inconveniência e perigo da manipulação do próprio sistema real; capacidade de parar um experimento em qualquer ponto, analisar o desempenho do sistema e suas partes, bem como identificar os elementos de estrangulamento; possibilidade de testar novos

projetos de *hardware*, *layouts* físicos, sistemas de transportes sem o envolvimento de recursos para sua aquisição ou implantação; flexibilidade do nível de detalhe na representação do sistema; custo reduzido em relação à experimentação do sistema real.

3. PROCEDIMENTO PROPOSTO E APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS

Este item apresenta os principais elementos necessários para desenvolver um procedimento para o estudo comparativo de técnicas tipicamente indicadas na análise de desempenho de redes viárias potencialmente impactadas por algum PGV. São contempladas as seguintes etapas, conforme mostra a Figura 1.

3.1 Caracterização de PGV

Para a aplicação deste estudo, o tipo de PGV selecionado foi o *shopping center*, por apresentar impactos relevantes e ter uma proliferação significativa no país, além de contar com uma maior disponibilidade de modelos e informações. O cenário de pesquisa foi o *shopping* em construção no Leblon, bairro da cidade do Rio de Janeiro, com 23 mil m² de área bruta locável (ABL). A escolha desse local teve como principal motivo a existência de dados atuais por ser alvo de recentes estudos pela Prefeitura Municipal.

3.2 Delimitação da área e horário críticos

Normalmente, em termos espaciais, a área de estudo compreende duas dimensões. Uma mais abrangente, equivalente à área de influência, destacando a malha viária principal, e a outra, denominada área crítica, mais restrita e que contempla os problemas mais significativos e visíveis provocados pelo PGV, como os movimentos de acesso e saída, e na qual se inclui tipicamente toda a rede viária adjacente ao estabelecimento (Macedo et al, 2001).

Em relação ao dia e horários para pesquisas em *shopping centers*, estudos como o desenvolvido por Grandó (1986) (*apud* Portugal e Goldner, 2003) mostram que a sexta-feira deve ser adotada como dia de projeto para avaliação do impacto no sistema viário, enquanto que o sábado é típico para o dimensionamento do estacionamento e demais instalações internas do estabelecimento. O dia e horário de estudo da rede simulada foram: sexta-feira das 19:00 às 20:00h. A rede viária foi delimitada levando em conta as especificidades locais e a experiência de técnicos da CET-Rio (Companhia de Engenharia de Tráfego do Rio de Janeiro). A Figura 2 define a área de influência do empreendimento em estudo.

3.3 Definição da Oferta Viária e de Outros Parâmetros de Entrada

Para realizar a configuração da rede viária através do NETSIM, pode-se lançar mão de fotografia aérea ou uma base cartográfica da região em “*bitmap*”. Os dados de entrada podem ser separados em dois grupos: para a codificação da rede viária e aqueles que se referem à operação e caracterização do controle semafórico das interseções. Para a codificação da rede são necessárias informações sobre (Tolfo, 2006): comprimento e largura dos *links*; número de faixas de tráfego e movimentos de giro permitidos por cada uma; comprimento das faixas segregadas de tráfego para as conversões; greide da via; velocidade de fluxo livre; existência de baias nos pontos de ônibus e a sua capacidade; tempo perdido pelos ônibus nas paradas; estacionamentos permitidos, qual o

lado da via, distância de início desde a interseção e comprimentos desses. Alguns dados referentes à operação e caracterização do controle semafórico das interseções são: tipo de sinalização ou controle semafórico; ciclo; número e seqüência de fases de cada semáforo; tempo de verde, de amarelo e de vermelho total.

Os dados requeridos pelo HCM são informações sobre a classe e extensão do *link*, velocidade de fluxo livre, número e largura de faixas de tráfego, greide da via, existência de baias para paradas de ônibus, existência de faixa exclusiva para conversões, tipo de controle na interseção, ciclo semafórico, tempo de verde efetivo. Dados de velocidade permitida, fluxo nos *links*, controle semafórico como duração de estágios, defasagens etc. foram obtidos na CET-Rio. Outros dados necessários foram coletados em campo, como a freqüência das rotas de ônibus, pontos de parada e estacionamentos.

3.4 Carregamento e Desempenho da Rede Atual

O carregamento e o desempenho da rede atual estão baseados em dados usualmente disponíveis nos órgãos de trânsito, complementados por levantamentos que são realizados nesta etapa. Para a determinação do carregamento da rede é preciso identificar a demanda de tráfego, a repartição modal e as características do sistema de ônibus (Poyares, 2000).

As características de carregamento que servem como dados de entrada no NETSIM são (Tolfo, 2006): volumes de entrada na rede; percentagens de caminhões e de veículos que realizam movimentos de giro em cada interseção; identificação dos pontos de parada e freqüências das rotas de ônibus; *headways*; tempo médio de parada nos pontos de embarque e desembarque de passageiros, capacidade da parada e percentagem de ônibus que não param no ponto; fluxo de pedestres (nulo, leve, moderado ou pesado); rotatividade dos estacionamentos e o tempo de manobras. Dados como percentagem de giros nas interseções, rotatividade nos estacionamentos e tempo para manobras, freqüência das rotas de ônibus, localização dos pontos de parada, existência de baias, número de ônibus que podem ser atendidos simultaneamente num mesmo ponto e tempo de parada para embarque/desembarque de passageiros foram obtidos em visitas ao local de estudo, que serviram para também conhecer o comportamento do tráfego.

O carregamento da rede atual está baseado nos volumes de cada nó de entrada da rede, dados estes disponíveis na CET-Rio e referem-se, como já citado, ao horário entre 19:00 e 20:00 h. Na Tabela 1 estão descritos os códigos de cada entrada na rede, fornecidos pelo NETSIM, juntamente com os correspondentes volumes, percentuais e nomes das vias.

Em relação aos dados de entrada para o carregamento no HCM (Tolfo, 2006), precisa-se informar a demanda em veículos por hora; a percentagem de veículos pesados; número de manobras para estacionamento; número de ônibus parando por hora para embarque e desembarque de passageiros ou freqüência das linhas; percentagem de giros à esquerda e à direita nas interseções. No caso de componentes isoladas, o nível de serviço é o indicador mais utilizado na análise de desempenho do tráfego (Araújo, 2003). O nível de serviço também pode ser caracterizado pelo atraso total.

No caso do desempenho do tráfego, os indicadores destacam as condições operacionais da rede associadas à circulação de veículos (Araújo, 2003). Para isso, é relacionado o carregamento com

o atraso médio por veículo, verificando situações em que se têm valores excessivos para os atrasos. As variáveis de maior interesse neste estudo são: o tempo de viagem, velocidade e o atraso. A Tabela 2 apresenta os valores do HCM para determinar o nível de serviço de interseções semaforizadas segundo os atrasos.

A Tabela 3 traz a relação dos atrasos com os níveis de serviço por *link*, e também dos valores calculados para a velocidade e tempo de viagem em cada via para a situação antes da implantação do PGV, para cada uma das duas técnicas aqui estudadas. É válido lembrar que o NETSIM não menciona a quais intervalos de tempo para o atraso equivalem cada nível de serviço do HCM, sendo utilizadas as tabelas deste último.

Nota-se uma coerência já que dos 15 *links* observados, apenas 4 (26,7%) apresentam resultados divergentes comparando os níveis de serviço para as duas técnicas. Os *links*: 48-41; 63-62 e 50-10 apresentam os maiores de diferenças no atraso, velocidade e tempo de viagem. A causa dos *links* 50-10 e 63-62 terem níveis de serviço diferentes pode ser pelo fato de que neste local a demanda se aproxima muito da capacidade ou como no caso do *link* 63-62 que a relação v/c é maior que 1. No *link* 48-41 o nível de serviço pior para o NETSIM pode ser atribuído por essa técnica trabalhar melhor com a questão da influência do transporte coletivo e esse trecho é bastante carregado de linhas de ônibus: há 4 rotas passando por ali e todas as linhas fazem parada num ponto sem proteção próximo à interseção.

O *link* 2-3 apresenta nível de serviço diferente para as técnicas, porém com valores muito próximos ao limite do C para o D. Além do que, essas diferenças são pequenas, fato esse aceito, pois essas duas técnicas utilizam parâmetros diferentes para o cálculo dos indicadores de desempenho. Pode-se perceber a importância da influência da relação g/C para a técnica do HCM no cálculo do atraso. Porém, no caso do indicador de duração do congestionamento, a equação correspondente só considera os *links* onde a demanda supera a capacidade e não leva em consideração (nas interseções semaforizadas) a relação g/C , como é feito no caso do indicador nível de serviço.

Quanto à variável duração do congestionamento, o HCM calcula o valor zero para todas as vias analisadas, exceto para o *link* 63-62, que é exatamente onde a demanda excede a capacidade. Neste caso, o valor de 1,03 horas foi calculado. Através da visualização gráfica do NETSIM, o fluxo não ficou parado como sugere o HCM.

3.5 Calibração e Validação

Devido ao grande número de parâmetros, o processo de calibração pode ser bastante complexo. Segundo Moreira (2005), quanto maior o número de variáveis apresentadas no relatório de saída do *software*, maior o número de opções existentes para a calibração, já que não há uma maneira padrão de verificar este ajuste e em cada caso um conjunto de variáveis pode ser o mais conveniente.

Vários trabalhos se preocuparam em analisar o processo de calibração, porém não há procedimento capaz de validar todo e qualquer tipo de modelo (Silva e Tyler, 2002). Aycin e Benekohal (1998 e 1999) *apud* Sousa (2003) admitem a impossibilidade de aplicar métodos estocásticos como análise de regressão aos aspectos microscópicos do tráfego e utilizaram para a

calibração apenas a comparação visual entre o comportamento dos veículos na simulação e no mundo real. Neste trabalho, a validação do modelo no simulador também foi realizada visualmente através do módulo de animação TRAFVU, por meio de comparações da rede codificada no *software* com a movimentação dos veículos observada em campo, onde também foram verificadas algumas características como o comportamento dos veículos quanto às manobras de giro e formação de filas. Várias simulações foram efetuadas até que se obteve uma distribuição condizente com a verificada na área estudada.

3.6 Carregamento da Rede após a Implantação do PGV

Os métodos de análise de impacto de PGV têm como uma de suas etapas a estimativa de geração de viagens definida a partir do dia e horário de projeto. Nessa etapa, estima-se qual o volume de veículos que será produzido pelo empreendimento, que tem como principal referência o trabalho desenvolvido pelo *Institute of Transport Engineers – ITE (apud Andrade, 2005)*. Porém, as suas estimativas são distantes da realidade observada no Brasil, recomendando-se então o trabalho de Andrade (2005), cujo modelo é mais compatível com as especificidades locais.

Andrade (2005) chegou a uma equação para estimação do volume de tráfego gerado pelo PGV *shopping center* para uma sexta-feira. A equação 4 demonstra o resultado desse estudo, para *shopping* com área inferior a 68.436 m²:

$$V_v = 1091 \cdot e^{0,4063 \cdot X'} \quad (4)$$

Sendo:

V_v = Volume estimado de veículos atraídos ao longo da sexta-feira

X = ABL (m²)

X' = ABL (m²) / 10.000

As estimativas valem apenas para o volume de veículos entrando nos empreendimentos na hora de pico, as saídas dos veículos não são de uma forma geral tratadas. Segundo Andrade (2005), CET-SP (2000) é o modelo brasileiro cujos resultados nesse tópico são mais específicos, trazendo a variação diária de veículos entrando e saindo a cada meia hora, e o ITE (1997) traz as porcentagens de entrada e saída de veículos e ainda oferece índices distintos de acordo com o porte do empreendimento.

Na pesquisa de Andrade (2005), através de estudo da porcentagem do volume atraído na hora pico em relação ao volume diário, foi obtido um fator hora pico de 12,66% para a sexta-feira. Além disso, as viagens para *shopping centers* situados em área urbana podem ser divididas em três categorias, segundo Goldner (1994): viagens primárias - são as que têm origem e destino na residência, representam 48% do total; viagens desviadas - são aquelas já existentes que param no *shopping* como seqüência de outras paradas e requer uma diversificação da rota, representam 38% do total; viagens não-desviadas - são as já existentes onde para a parada ao *shopping center* não é necessária a alteração da rota e representam 14% do total.

De acordo com a equação 4, o volume de tráfego atraído pelo *shopping* para uma sexta-feira é de 2778 veículos diários. Esse resultado, multiplicado pelo fator hora pico (12,66%), estabelece 352 veículos atraídos na sexta-feira de 19:00 às 20:00h. Desse total, de acordo com as porcentagens de categorias de viagem de Goldner (1994), 169 são viagens novas e 134 são viagens desviadas.

As viagens não desviadas já aparecem na contagem de tráfego de passagem pelas vias. Assim, na hora considerada, o fluxo de veículos que será adicionado na rede será de 303 veículos atraídos pelo PGV. Segundo Cox (1984) *apud* Goldner (1994), 45% das viagens têm origem dentro dos 10 minutos de viagem ao estabelecimento e 55% partem de locais além dos 10 minutos. Considerando que qualquer ponto da rede chega-se ao *shopping* em até 10 minutos, 45% das viagens vêm da área interna e 55% da área externa. Assim, 136 viagens partem de locais internos à rede e foram distribuídos em pontos importantes conforme observado em campo e estão na Tabela 4.

As 167 viagens que partem de áreas externas (55%) foram percentualmente distribuídas e somadas aos fluxos existentes nas entradas da rede, como mostra a Tabela 5. A Figura 3 mostra a localização dos nós na rede. No nó 8020, que foi criado para representar o PGV, o fluxo de saída vale 9,45% (CET-SP, 2000 *apud* Andrade, 2005) para o intervalo de 19:00-20:00h. Portanto, 9,45% de 2778 são 263 veículos saindo do PGV nesse horário.

Com os novos volumes, foram realizados nova simulação e cálculos no HCM. No caso da configuração da rede no NETSIM após a implantação do PGV, nós internos foram criados para as entradas de fluxos pelas viagens que partem de dentro da área de influência. A Figura 3 mostra a adição desses novos nós e os externos já existentes. No HCM, os novos fluxos para alguns pontos internos da rede foram obtidos depois da simulação no NETSIM, pois o relatório desse simulador fornece os volumes por *link*.

3.7 Análise de Desempenho da Situação Futura

Após ser simulado e calculado o caso da rede com os novos valores para os volumes devido ao acréscimo de fluxo gerado pelo PGV, chegou-se aos resultados mostrados na Tabela 6. Segundo o HCM, o *link* 50-10 apresenta agora a demanda superior à capacidade e por isso, julga-se a diferença tão grande entre os valores calculados pelo HCM e pelo NETSIM e nível de serviço. A diferença no *link* 2-3 não é tão grande como nos outros *links* (50-10 e 63-62). Além disso, considera-se que a relação v/c torna-se alta a partir de valores maiores que 0,85. Outros *links* também obtiveram resultados não convergentes como 87-68; 48-41 e 36-34, apesar de os resultados para o atraso, velocidade e tempo de viagem não terem grandes diferenças entre os valores calculados como nos *links* 50-10 e 63-62, por exemplo. A tendência é de convergência em 9 dos 15 *links* analisados, havendo similaridade quanto ao aumento ou diminuição das variáveis indicadas nas tabelas.

O HCM calcula o valor zero para a variável duração do congestionamento para todas as vias analisadas, exceto para o *link* 50-10, onde a demanda excede a capacidade. Neste caso, o valor de 1 hora de duração foi calculado. Pela visualização gráfica do NETSIM, o fluxo não ficou parado como sugere o HCM, embora o atraso fornecido seja alto.

3.8 Análise e Comparação dos Resultados Antes e Depois

Baseado em alguns critérios mostrados na Tabela 7 (Tolfo, 2006), foi feita uma comparação das técnicas para uma análise de desempenho viário.

Capacidade das técnicas: o NETSIM pode simular redes urbanas com até 8999 nós, 500 *links* de até 3 km e 99 paradas de ônibus, porém, uma limitação é quanto ao número de ônibus, apenas 256 circulando na área de estudo, o que é pouco para a realidade de cidades como o Rio de Janeiro, havendo a necessidade de separar as linhas por rotas. A capacidade para o número de rotas de ônibus é de 500. Uma análise desse porte no HCM seria dispendiosa, já que são necessários muitos dados de campo e tempo suficiente dedicado à aplicação para cada tipo de instalação. Por isso é que ambas as técnicas apresentam valores padrão para certos fatores de ajuste baseados em diversas medições precedentes. Para o HCM, o limite de ônibus é 250 por hora parando no ponto.

O NETSIM tem a capacidade de simular os efeitos dinâmicos do fluxo de veículos entrando e saindo do PGV, enquanto que o HCM faz uma análise estática de componentes viários. Além disso, pode-se na simulação avaliar a influência de outros modos como pedestres (leve, moderado ou pesado) e ônibus, assim como a interferência das filas nos pontos de acesso ao empreendimento e nos de embarque/desembarque e carga/descarga. A metodologia aqui descrita do HCM não é direcionada para análise de modos como bicicleta e pedestres. Para estes, há estudos específicos no manual. Para calcular a capacidade na metodologia do HCM, adota-se um fluxo de saturação e sobre este se aplica uma série de fatores de correção para achar a capacidade em veículos por hora. O NETSIM não calcula a capacidade, que está oculta no processo, apenas fornece os fluxos que estão circulando em cada *link* durante o tempo de análise. Em termos de capacidade de cada componente viária, o HCM contempla mais variáveis e fornece mais detalhes e interações que o NETSIM.

O NETSIM não prevê como as mudanças na configuração física de uma componente viária podem influenciar a probabilidade de ocorrência de acidentes. Também não considera como as mudanças no ambiente de tráfego (fora da via que o veículo está circulando) afetam o comportamento do motorista dentro das vias em que ele está viajando (ex. veículos enguiçados, obstruções de visibilidade ou outras distrações). Essas interferências também não são previstas nos procedimentos do HCM.

Para envolver a avaliação de um grande número de instalações viárias dentro de uma área, o procedimento do HCM baseia-se em aproximações e simplificações de outros descritos no Manual, não tendo a mesma precisão que aquelas metodologias desenvolvidas especificamente para componentes isoladas (TRB, 2000). Além do que, o HCM foi desenvolvido por uma instituição norte-americana para condições diferentes das verificadas em nosso país, exigindo um esforço de calibração de muitos fatores para condizer com situações reais (FHWA, 2004).

Disponibilidade e quantidade de dados de entrada necessários: muitos dados são obtidos em órgãos competentes, sendo de acesso direto. Para outros há necessidade de ir a campo para a devida coleta. A exigência de dados do simulador excede o HCM por apresentar um maior nível de detalhamento e pela própria natureza da ferramenta microscópica. O HCM apresenta tabelas com valores padrão que podem ser utilizados na ausência de dados de campo, assim como o NETSIM já traz muitas informações *default* no programa, que podem ser utilizados, apesar de se referirem a condições estrangeiras.

O procedimento do HCM envolve muitos fatores de ajuste no cálculo do fluxo de saturação devido a interferências no tráfego. Alguns desses fatores são: fator de ajuste para o greide, para

veículos pesados, conversões à esquerda e direita, para manobras de estacionamento, tipo de área, para larguras de faixas diferentes de 3,6m. A influência no tráfego pelas diferentes taxas de ocupação das faixas, pelas paradas de ônibus a partir do número de paradas de ônibus por hora também fazem parte da entrada de dados do HCM e muitos são de difícil aquisição em campo, dificuldade esta superada por valores padrão que a técnica mesmo traz. Assim, ocorre também com o NETSIM, as mesmas entradas são requeridas e outras são adicionadas como, por exemplo, o comportamento dos motoristas e o fluxo de pedestres, entre intenso, moderado ou leve.

Calibração e validação: alguns fatores de correlação e valores padrão utilizados no procedimento do HCM são oriundos de experiências e observações de campo para situações diferentes das observadas em nosso país, por exemplo, no que se refere ao comportamento do motorista e dos pedestres. O NETSIM apresenta grande quantidade de informações que podem ser usadas para calibração/validação, como por exemplo o nível de conhecimento do motorista sobre a rede, tempo para realizar uma troca de faixa, percentagem de motoristas que permitem a ultrapassagem, tempo para manobras de estacionamento, aceleração, tempo de embarque e desembarque de passageiros em ônibus, distância entre veículos para realizar uma ultrapassagem, mínima desaceleração para realizar uma troca de faixa, taxa de desaceleração do veículo líder e o do seguidor. Essa quantidade de valores que podem ser alterados é uma vantagem do NETSIM sobre o HCM.

O NETSIM pode ser calibrado para representar com precisão o tráfego em condições saturadas, permitindo a previsão da evolução dos congestionamentos, avaliando seus impactos durante o período de acumulação e como se processa a dissipação desta, de acordo com o plano operacional implementado. Esta é a maior vantagem sobre os métodos tradicionais empíricos e analíticos, que apresentam sérias limitações quando a demanda se aproxima da capacidade e que não são válidos nestas condições de tráfego, muito presentes nos problemas que se deseja resolver.

Comparação dos resultados: verificou-se que em 60% dos *links* obteve-se um resultado similar para a velocidade. Nota-se, ainda, que há convergência nos valores para locais onde as condições não estão saturadas ou próximas a ela. No caso de comparação dos resultados para cada técnica em separado, levando em consideração o antes e o depois do PGV, percebe-se que o valor do fluxo de 2778 viagens geradas por dia para este *shopping*, apenas 12,66% são viagens de entrada no PGV para a hora de análise, e destes, outros 48% são viagens realizadas exclusivamente para o PGV. Esses valores não chegam a ser suficientes para mudar significativamente o desempenho da rede. Além disso, as metodologias do HCM fazem uma análise estática do desempenho do tráfego, enquanto que a simulação é dinâmica, ou seja, pode avaliar a interferência do congestionamento em uma localidade próxima e o impacto na capacidade desta, ao mesmo tempo em que pode considerar a variabilidade das características comportamentais dos motoristas.

Percebe-se que na situação com o PGV, mais *links* não convergiram para uma proximidade dos resultados para as duas técnicas. A mudança nos níveis de serviço se deve à variação dos fluxos, onde alguns trechos da rede ficaram menos saturados e outros mais devido à mudança de rota de muitos veículos para chegar ao *shopping*. No HCM apenas o link 50-10 apresentou uma piora no nível de serviço que no NETSIM permanece inalterado, enquanto que outros *links* como 63-62 apresentaram uma diminuição no atraso no HCM. Fato este acontece ao contrário para este mesmo *link* quando analisado pelo NETSIM. Tal trecho apresentou-se mais carregado devido ser caminho de acesso ao PGV, diminuindo consideravelmente o nível de serviço. No *link* 39-40

houve uma melhora no antes e depois nas duas técnicas que pode ser causada pelo fluxo que agora com o *shopping* tomará outro trajeto, apesar de esta via ser próxima a ele, muitos veículos efetuam giro para o acesso do PGV e não completam o trecho. O *link* 36-34 obteve uma queda no nível de serviço, pelo NETSIM, por se tratar da via por onde grande fluxo sai do PGV, causando interferências significativas nesta hora de análise. A variável duração relacionada ao congestionamento foi calculada pelo HCM quando a relação v/c foi maior que 1, de acordo com as condições impostas no Manual, dessa maneira, via está congestionada. Não foi encontrado um valor correspondente no NETSIM, apenas os tempos total e de atraso, em veículos-hora para a rede na duração da análise, que foi de uma hora. A velocidade média da rede, estimada pelo NETSIM foi de 20,33 km/h para antes do PGV e de 20 km/h para depois. Isso mostra que o incremento de tráfego gerado pelo empreendimento quase não acarretará em alteração da velocidade média.

4. CONCLUSÕES

Os objetivos definidos inicialmente foram alcançados visto que com o desenvolvimento do trabalho foi possível estabelecer uma comparação entre as técnicas de análise de desempenho de redes viárias para avaliar o impacto de um PGV. Mesmo com as contribuições que esse trabalho pode trazer, entretanto, algumas limitações puderam ser observadas, como: a disponibilidade de informações com o detalhamento necessário, a falta de dados do tipo origem/destino na área estudada e a falta de uniformização ou informatização dos dados, tendo que mais de uma vez realizar coleta de dados em campo. O desenvolvimento da comparação entre as ferramentas de análise permitiu concluir que o procedimento proposto é exequível, o que se comprovou na realização da aplicação.

Comparando as duas ferramentas de análise de desempenho para a rede estudada, pode-se perceber que o NETSIM fornece resultados mais confiáveis do que o HCM em situações onde a demanda se aproxima muito da capacidade e há um maior carregamento de ônibus. Porém, o HCM pode ser utilizado com segurança para análise de componentes viárias, pois fornece valores satisfatórios, o que foi comprovado no decorrer do item 3.

Nesse sentido, o NETSIM tende a ser mais indicado para redes, enquanto o HCM se mostra mais direcionado para análises mais localizadas de interseções ou trechos de vias críticos, caracterizando contextos de aplicação complementares. Ressalta-se, entretanto, a complexidade que envolve a modelagem dessas ferramentas e os cuidados quanto a confiabilidade dos resultados de tais comparações, particularmente considerando às condições para as quais elas foram desenvolvidas. Mas sem dúvida, tais técnicas são fundamentais para a tomada de decisões mais adequadas na análise de rede viária impactada por PGV e este processo de aplicação comparativa reforça a importância das mesmas. Também contribui para um emprego mais intensivo de tais ferramentas, incentivando ajustes ou desenvolvimentos que as tornem mais compatíveis com a realidade de nosso País.

Agradecimentos ao CNPq e a Capes - pelo apoio no fornecimento através de bolsa de Produtividade - e à Rede Ibero-americana de Estudo em Pólos Geradores de Viagens (<http://redpgv.coppe.ufrj.br>).

REFERÊNCIAS

- Andrade, E. P. (2005) *Análise de Métodos de Estimativa de Produção de Viagens em Pólos Geradores de Tráfego*. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Araújo, L. A. (2003) *Um Procedimento para Análise do Desempenho de Redes Viárias Urbanas Enfocando a Qualidade de Vida da Comunidade e a Qualidade de Serviço do Tráfego Veicular*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION – FHWA (2004) *Decision Support Methodology for Selecting Traffic Analysis Tools, Traffic Analysis Toolbox Volume II*, ed. Local. U.S. Department of Transportation, Publication nº FHWA-HRT-04-039.
- Goldner, L. G. (1994) *Uma Metodologia de Avaliação de Impactos de Shopping Centers sobre o Sistema Viário Urbano*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Macêdo, M. H., Serratini, J. A., Moura, A. V. (2001) Estudo de Impactos de um Pólo Gerador de Tráfego. *Anais de XV ANPET*, v. 1, p. 191-1998, Campinas.
- Moreira, R. B. (2005) *Uma Contribuição para Avaliação do Modelo “CORSIM” em Simulações de Tráfego Urbano no Rio de Janeiro*. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Portugal, L. S., Goldner, L. G. (2003) *Estudo de Pólos Geradores de Tráfego e de seus Impactos nos Sistemas Viário e de Transportes*. Edgard Blucher LTDA. São Paulo.
- Portugal, L. S. (2005) *Simulação de tráfego – Conceitos e Técnicas de Modelagem*, Ed. Interciência, Rio de Janeiro.
- Poyares, C. N. (2000) *Critérios para Análise dos Efeitos de Políticas de Restrição ao Uso de Automóveis em Áreas Centrais*. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Rede Ibero-Americana de Estudo em Pólos Geradores de Viagens – <http://redpgv.coppe.ufrj.br>
- Silva, P. C. M., Tyler, N. (2002) Sobre a Validação de Modelos Microscópicos de Simulação de Tráfego. *Revista Transportes*, ANPET. v. 10, n. 1.
- Sousa, D. L. M. (2003) *Análise dos Impactos Causados no Tráfego por Alterações na Rede Viária, Utilizando Micro-Simulação*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Tolfo, J. D. (2006) *Estudo Comparativo de Técnicas de Análise de Desempenho de Redes Viárias no Entorno de Pólos Geradores de Viagens*. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD – TRB (2000) *Highway Capacity Manual*, National Research Council, Washington, D. C

Tabela 1 – Numeração dos nós de entrada

Código do nó de entrada	Volume (veículos/hora)	% por entrada	Nome da rua
8005	2075	16,28	Av. Vieira Souto
8019	1325	10,40	R. Prudente de Moraes
8017	526	4,13	R. Barão da Torre
8009	415	3,26	R. Nascimento Silva
8021	1490	11,70	Av. Epitácio Pessoa
8003	1656	12,98	Av. Delfim Moreira
8016	691	5,42	R. Ataulfo de Paiva
8002	531	4,17	R. Humberto de Campos
8007	2086	16,37	Av. Borges de Medeiros
8013	1948	15,29	R. Mário Ribeiro
Total	12743	100	-

Tabela 2 – Nível de serviço para interseções semaforizadas (Fonte: TRB,2000)

Nível de Serviço	Atraso por veículo em segundos
A	≤ 10
B	> 10 e ≤ 20
C	> 20 e ≤ 35
D	> 35 e ≤ 55
E	> 55 e ≤ 80
F	> 80

Tabela 3 – Comparação dos indicadores antes do PGV

Link	Atraso (s/veículo)		Velocidade (km/h)		Tempo de viagem (s/veículo)		Nível de Serviço	
	NETSIM	HCM	NETSIM	HCM	NETSIM	HCM	NETSIM	HCM
87-68	15,4	16,7	25,1	22,5	31,7	32,6	B	B
31-30	6,9	9,5	22,5	18,2	12,6	15,6	A	A
10-9	28,7	30,2	12,88	12,9	38,8	41,9	C	C
48-41	33,1	17,2	8,05	13,1	39,4	24,1	C	B
40-13	12,6	10,1	21,6	23,5	22,3	20,7	B	B
16-24	28,1	28,9	6,9	7,3	36,2	34,4	C	C
63-62	27,6	49,2	15,8	9,3	35,8	61,6	C	D
39-40	69,3	59,2	4,5	5,2	76,3	66,7	E	E
2-3	34,1	39,3	8,7	8,9	47,7	48,6	C	D
50-10	16,9	48,3	14,0	5,5	21,2	54,8	B	D
36-34	43,5	45,0	7,41	6,8	52,5	52,8	D	D
38-40	17,8	16,1	15,9	16,5	26,3	25,1	B	B
34-38	8,2	11,6	26,3	18,0	14,9	19,0	A	A
33-34	17,8	17,4	15,3	15,1	25,6	25,8	B	B
30-33	8,7	9,1	24,2	22,6	16,8	17,8	A	A

Tabela 4 – Volume gerado por nós internos

Nós internos	%	Volume
8022	32	44
8023	34	46
8025	19	26
8026	15	20
Total	100	136

Tabela 5 - Volume gerado por nó de entrada

Nó de entrada	Volume (veículos/hora)	% por entrada	Volume gerado (veículos/hora)	Novos volumes para os nós externos
8005	2075	16,28	27	2102
8019	1325	10,40	17	1342
8017	526	4,13	7	533
8009	415	3,26	5	420
8021	1490	11,70	20	1510
8003	1656	12,98	22	1678
8016	691	5,42	9	700
8002	531	4,17	7	538
8007	2086	16,37	27	2113
8013	1948	15,29	26	1974
Total	12743	100	167	12910

Tabela 6 – Comparação dos indicadores depois do PGV

Link	Atraso (s/veículo)		Velocidade (km/h)		Tempo de viagem (s/veículo)		Nível de Serviço	
	NETSIM	HCM	NETSIM	HCM	NETSIM	HCM	NETSIM	HCM
87-68	20,6	16,7	25,04	22,5	31,7	32,6	C	B
31-30	6,1	9,5	24,0	18,2	11,9	18,2	A	A
10-9	29,1	29,8	12,8	13,0	39,3	41,5	C	C
48-41	27,0	17,1	9,3	13,2	33,3	24,0	C	B
40-13	12,8	10,0	21,4	23,7	22,5	20,5	B	B
16-24	26,4	27,0	7,3	7,8	34,6	32,5	C	C
63-62	55,2	28,9	9,0	13,9	63,4	41,3	E	C
39-40	51,7	48,3	6,0	6,2	58,7	55,9	D	D
2-3	33,4	45,6	8,9	7,9	46,9	54,9	C	D
50-10	16,4	63,5	14,5	4,3	20,7	70,0	B	E
36-34	64,3	45,0	5,2	6,8	73,3	52,8	E	D
38-40	17,5	16,1	16,1	16,5	26,0	25,1	B	B
34-38	8,0	9,0	26,9	20,8	14,8	16,4	A	A
33-34	16,2	17,2	16,3	15,2	24,1	25,7	B	B
30-33	8,8	9,1	24,0	22,6	16,9	17,9	A	A

Tabela 7 – Critérios para comparação das técnicas

Capacidade	Refere-se à capacidade de simular uma rede de grande porte, como é a selecionada neste trabalho e fornecer diferentes <i>outputs</i> .
Disponibilidade e quantidade de dados de entrada	Refere-se às exigências de dados de entrada necessários e da disponibilidade destes para o emprego de cada uma das duas técnicas observadas durante a aplicação das mesmas.
Calibração e validação	Refere-se sobre o processo de calibragem das duas técnicas e à capacidade de representar uma rede real.
Comparação dos resultados	E das previsões produzidos pelas técnicas.

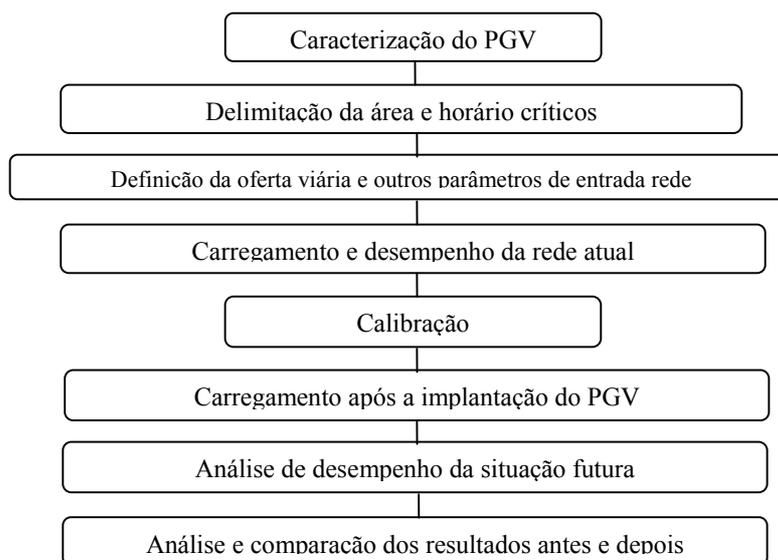


Figura 1 – Fluxograma representativo das etapas do procedimento de análise

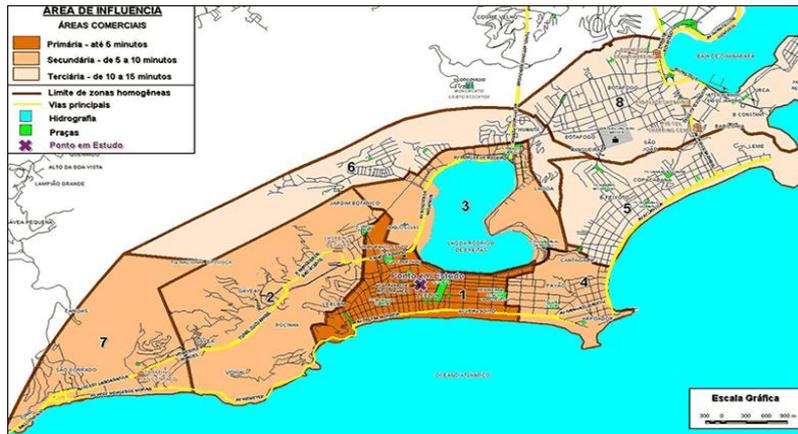


Figura 2 – Área de influência (www.shoppingleblon.com.br, 2005)

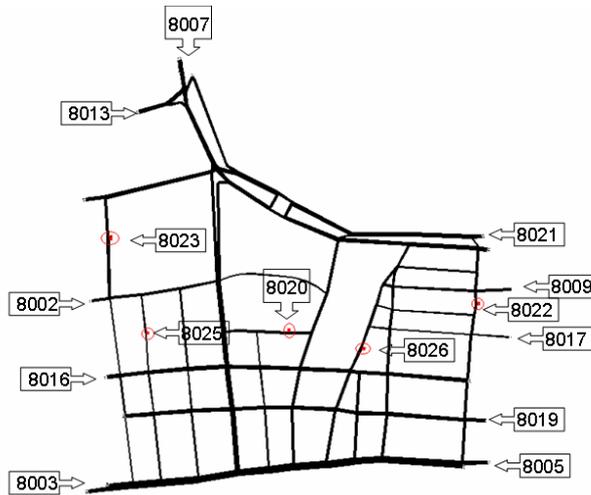


Figura 3 – Codificação da rede com o PGV