

USO DE MICRO-SIMULADOR NA ANÁLISE DE DESEMPENHO VIÁRIO EM REDES COM PÓLOS GERADORES DE VIAGENS

J. D. Tolfo e L. S. Portugal

RESUMO

Com o propósito de auxiliar o planejador ou gerenciador de tráfego, este trabalho direciona-se ao estudo do NETSIM como técnica utilizada para análise de desempenho de redes viárias impactadas por Pólos Geradores de Viagens (PGV). É desenvolvido um procedimento, baseado em critérios como a capacidade do simulador, disponibilidade e quantidade de dados de entrada, facilidade de uso, recursos envolvidos, visualização e interpretação dos resultados oferecidos para a adoção da simulação como técnica de análise de desempenho no entorno de um PGV e de apoio a projetos viários, pois é capaz de estimar o comportamento provável do tráfego devido a alterações na rede viária ou na demanda por viagens. A partir da aplicação em uma rede entorno de um *shopping center* no Rio de Janeiro, o simulador fornece alguns índices de desempenho como velocidade, tempo de viagem e atraso, mostrando a efetividade da ferramenta no uso para análise de desempenho de redes viárias impactadas por PGV's.

PALAVRAS-CHAVE: simulação, pólos geradores de viagem, NETSIM.

1. INTRODUÇÃO: PGV E SEUS IMPACTOS NO SISTEMA VIÁRIO

PGV's segundo a Rede Ibero-americana de Estudos de Pólos Geradores de Viagens (<http://redpgv.coppe.ufrj.br>) são equipamentos potenciais geradores de impactos nos sistemas viários e de transportes (congestionamentos, acidentes e naturais repercussões no ambiente) como também no desenvolvimento socioeconômico e na qualidade de vida da população. São 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, embarque e desembarque, promovendo, conseqüentemente, potenciais impactos.

Os impactos de PGV's, quando relacionados ao sistema viário e de transportes, são observados em locais de acesso quanto à entrada e saída de veículos, locais para embarque e desembarque, na interferência de conversões, conflitos com pedestres e em relação ao transporte coletivo. O incremento de tráfego gerado pelo PGV que será somado ao tráfego proveniente das atividades já em desenvolvimento na área pode interferir no desempenho do tráfego veicular, causando efeitos potenciais, pois os problemas causados pela sua implantação sem um estudo prévio da situação viária estão relacionados à alteração no padrão de viagens e ao uso do solo, tanto no entorno quanto na sua área de influência.

Diversas são as técnicas de análise dos impactos no tráfego que permitem estabelecer os efeitos causados em determinada área pela implantação de um PGV com o objetivo de avaliar as condições de a rede viária atual absorver a demanda adicional de viagens que será gerada pelo empreendimento, minimizando, assim, a perturbação à fluidez do tráfego e garantindo segurança aos veículos e pedestres. Tais técnicas também são úteis para avaliar a viabilidade da implantação do PGV, contribuindo para a melhor integração do empreendimento proposto na malha viária. A simulação microscópica é recomendada por representar aspectos do sistema viário com maior detalhamento (Poyares, 2000; Sousa, 2003) e estimar o comportamento provável do tráfego devido a alterações na rede viária ou na demanda, e o estudo de impactos de PGV normalmente requer um nível de detalhe compatível com o microscópico.

O objetivo do trabalho é a partir de um procedimento proposto para avaliar o desempenho de redes viárias no entorno de um PGV, aplicar o simulador NETSIM, como ferramenta de apoio a projetos viários, em uma área de possíveis impactos de um *shopping center* em construção no Rio de Janeiro.

2. SIMULAÇÃO: NETSIM

Os simuladores facilitam a geração e teste de diferentes alternativas destinadas a melhorar o desempenho da malha viária. Para a seleção de um simulador, os seguintes critérios devem ser considerados pelo ponto de vista do TRB *apud* Araújo (2003) e Freitas *et al.* (2005): tamanho da rede; representação da rede; representação do tráfego; operações de tráfego; controle de tráfego; *output* do modelo; disponibilidade de dados; facilidade de uso e recursos necessários.

O NETSIM é um modelo microscópico que considera os veículos individualmente ao se deslocarem pela rede em intervalos de tempo muito pequenos (Poyares, 2000; Maiolino e Portugal, 2001; Araújo, 2003) e suas trajetórias em tempo e espaço (posição, velocidade e aceleração) podem ser determinadas a cada segundo. Estes modelos são considerados precisos, pois oferecem o potencial de tratar de modo mais completo, detalhado e realista a interação entre fluxos em redes congestionadas, garantindo maior fidelidade à realidade.

Sendo um modelo microscópico, a escolha deste simulador para ser utilizado no procedimento de análise de redes teve como principais impulsos (<http://mctrans.ce.ufl.edu>):

- Capacidade de modelar complicadas condições geométricas, isto é, o NETSIM permite a representação da oferta viária com diferentes combinações de faixas, faixas exclusivas para giros, hierarquização viária, é capaz de relacionar *freeways* com vias urbanas e todos os tipos de controle e regulamentação de tráfego das vias urbanas desde controle semafórico a tempo fixo e atuado ou por prioridade e por preferência;
- Poder ser manipulada a percentagem de movimentos de giro em vias urbanas por tipo de veículo, isso é útil para modelar qualquer controle que se deseje;
- Poder ser calibrado para representar com precisão o tráfego em condições sobre-saturadas, permitindo a previsão da evolução dos congestionamentos;
- Fornecer medidas de desempenho em cada via componente do sistema;
- Simular paradas e rotas de ônibus, táxis e *carpools*, pedágio;
- Possuir um sistema operacional amigável, de fácil interação com o usuário.

O simulador tem a capacidade de modelar fontes geradoras/atratoras de tráfego, operação de ônibus com ou sem faixa exclusiva e efeito das estratégias de realocação de pontos de ônibus, manobras e mudanças nas restrições para estacionamento, bloqueio de interseções e outros eventos da operação de tráfego. Considera o comportamento do motorista, classificado de passivo a agressivo em relação ao avanço do sinal amarelo, à ocorrência de incidentes que bloqueiam parcialmente a via e de eventos de carga/descarga e de estacionamentos irregulares nas vias. O simulador oferece como medidas de desempenho: velocidade média, tempo de viagem, fluxo de veículos, atrasos, filas, consumo de combustível, emissão de poluentes, estima o número de litros de combustível consumidos pelos veículos na rede baseado nas taxas de consumo de combustível para cada tipo de veículo durante o tempo parado, em aceleração e em velocidade constante.

O ambiente de tráfego a ser especificado pelo usuário consiste de informações sobre (FHWA, 2004):

- A topologia do sistema (na forma de nós e *links*);
- Geometria dos componentes viários (número e largura de faixas, rampas etc.);
- Tipo dos *links* (vias urbanas ou expressas);
- Volume do tráfego entrando no sistema viário;
- Percentagem de movimentos de giro;
- Regulamentação do tráfego e dispositivos de controle (sinal ‘pare’, ‘dê a preferência’);
- Tempos semafóricos;
- A canalização de faixas para giros ou faixas exclusivas para ônibus;
- Comportamento dos motoristas;
- Tipos de veículos (carros, caminhões, ônibus);
- Especificação do sistema de ônibus (rota, ponto de parada, frequência).

Wong (1990) *apud* Sousa (2003) demonstra os principais dados de saída (Medidas de Efetividade – MOE’s) produzidos pelo NETSIM:

- Viagens;
- Tempos de atraso e viagem dos veículos;
- Tempos de atraso, viagem e parada por veículo;
- Percentagens de paradas;
- Velocidade média;
- Consumo de combustível para cada tipo de veículo (auto, caminhão e ônibus);
- Emissão de poluentes para cada tipo de veículo (auto, caminhão e ônibus);
- Número de viagens dos veículos.
- Número de veículos em fila, por faixa de tráfego;
- Número de veículos descarregados;
- Número de paradas de veículos;
- Número de veículos realizando movimentos de conversões.

3. PROCEDIMENTO E APLICAÇÃO PARA ESTUDO DO NETSIM

Na Figura 3.1, são representados os principais elementos necessários para desenvolver um procedimento para o estudo de técnicas indicadas na análise de desempenho de redes viárias potencialmente impactadas por PGV com destaque aos *shopping centers*, em

função da maior disponibilidade de modelos referentes a este tipo de empreendimento.

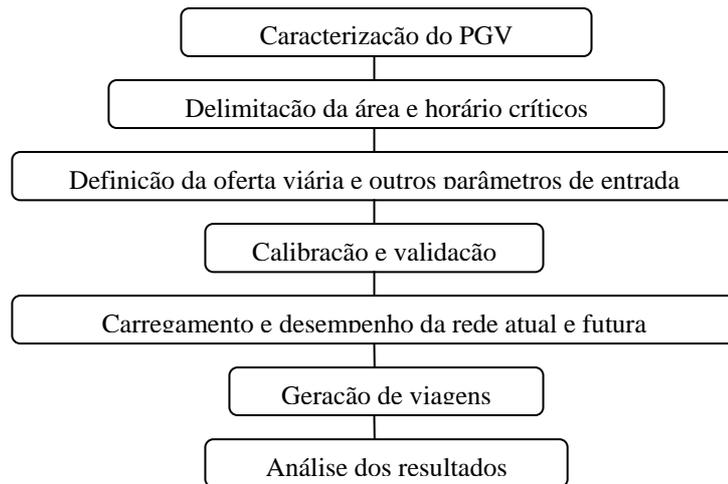


Figura 3.1 – Fluxograma representativo das etapas do procedimento de análise

3.1. Caracterização do PGV

O PGV alvo deste trabalho é um *shopping center* que está sendo construído no bairro do Leblon, cidade do Rio de Janeiro, com 23 mil m² de área bruta locável (ABL) (www.shoppingleblon.com.br). A rede foi modelada exclusivamente com a finalidade de ilustrar o uso do NETSIM.

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 as vias de acesso e a malha viária principal, e a outra, denominada área crítica. Esta é mais restrita e contempla os problemas mais significativos e visíveis, como os movimentos de acesso e saída, e na qual se inclui tipicamente toda a rede viária adjacente ao estabelecimento, onde se concentram as viagens produzidas (atraídas ou geradas) pelo PGV.

Em relação ao dia e horários para pesquisas em *shopping centers*, estudos como o desenvolvido por Grando (1986) e Portugal e Goldner (2003) mostram que a sexta-feira deve ser adotada como dia típico 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. Segundo levantamento feito por Andrade (2005), o pico de compras geralmente ocorre entre 16 e 20h, tanto na sexta-feira como no sábado. Portanto, o dia e horário de estudo foram definidos de acordo com o horário de maior movimento no *shopping*, sendo a rede simulada para uma sexta-feira das 19:00 às 20:00h.

3.3. Definição da oferta viária e de outros parâmetros de entrada

Para a configuração da rede viária no simulador, utilizou-se uma base cartográfica da região em “*bitmap*”. Os dados de entrada para cada interseção e *link* da rede podem ser separados em dois grupos: para a codificação da rede viária e para a 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, 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. Dados de velocidade permitida, fluxo nos *links*, controle semafórico como duração de estágios, defasagens etc. foram obtidos na Companhia de Engenharia de Tráfego do Rio de Janeiro (CET-Rio). Outros dados necessários foram coletados em campo, como a frequência das rotas de ônibus, pontos de parada e estacionamentos.

A Figura 3.2 mostra a rede esquemática montada no simulador com a representação gráfica dos 159 arcos e 90 nós (internos e externos).

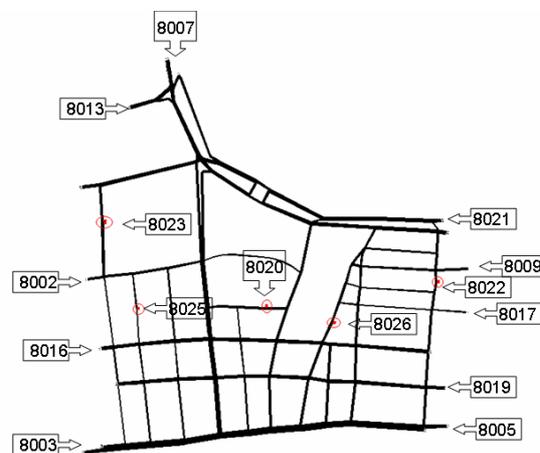


Figura 3.2 – Codificação da rede com o PGV

3.4. Calibração e validação

A verificação da adequação do modelo à realidade é um passo importante no processo de análise, porque verifica sua consistência com os dados de campo, aumentando a confiabilidade dos resultados, porém, é um processo complexo e que consome tempo. 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).

A validação do modelo no simulador foi realizada visualmente através da ferramenta TRAFVU que facilita a visualização da rede, através de comparações 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 área estudada. Também foram modificados alguns valores padrão do NETSIM em relação ao comportamento e familiaridade do motorista com a rede viária.

3.5. Carregamento e desempenho da rede atual e futura

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). No caso do desempenho do tráfego, os indicadores destacam as condições operacionais da rede associadas à circulação de veículos (Araújo, 2003). Portanto, as variáveis de maior interesse neste estudo de caso são: o tempo de viagem, a velocidade e o atraso. Estes indicadores permitem detectar as deficiências no sistema viário e avaliar como a relação demanda/capacidade determina as condições de fluidez do tráfego.

Dentre os dados de entrada no NETSIM referentes ao carregamento da rede estão (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 frequências 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.

Na tabela 3.1 estão os códigos de cada entrada na rede, fornecidos pelo NETSIM, juntamente com os correspondentes volumes para a rede atual, percentuais e nomes das vias. Os volumes foram coletados na CET-Rio e referem-se, como já citado, ao horário entre 19 e 20h.

Tabela 3.1 – Volumes atuais para os 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	-

Do Guia Quatro Rodas de Ruas do Rio de Janeiro (2004) foram retirados os itinerários dos ônibus que circulam na área de estudo e montadas as rotas. Dados como percentagem de giros nas interseções, rotatividade nos estacionamentos e tempo para manobras, frequência 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.

Pronta a calibração da rede com os carregamentos atuais e obtidos os resultados de atraso, velocidade e tempo de percurso para estes carregamentos, pode-se adicionar o tráfego gerado pelo PGV com o objetivo de avaliar a aplicabilidade da técnica estudadas para este fim. Lembrando que para inserir o carregamento da rede com empreendimento, tem-se que adicionar o tráfego gerado por este, e esta tarefa pode ser auxiliada segundo algum modelo de geração, distribuição e alocação de tráfego.

3.6. Geração de viagens

Nessa etapa, a demanda pode ser definida com base nas condições vigentes do tráfego ou através de previsão, utilizando-se, entre outros métodos, as taxas de geração de viagens (Poyares, 2000). Baseado na análise de diversos trabalhos, Andrade (2005) chegou a uma equação para estimação do volume de tráfego gerado pelo PGV *shopping center* para uma sexta-feira. Recomendado o trabalho por ele descrito, visto que o desejável é utilizar um modelo compatível com as especificidades locais. A equação 3.1 demonstra o resultado desse estudo para *shopping* com área inferior 68.436 m²:

$$V_v = 1091 \cdot e^{0,4063 \cdot X'} \quad (3.1)$$

Sendo:

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

X' = ABL (m²) / 10.000

Dentre os modelos estudados por Andrade (2005), as estimativas valem apenas para o volume de veículos entrando nos empreendimentos. As saídas dos veículos não são de uma forma geral tratadas. Segundo o autor, 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 percentagens de entrada e saída de veículos e ainda oferece índices distintos de acordo com o porte do empreendimento.

Nos modelos estudados por Andrade (2005), foram encontrados procedimentos para se estimar o volume de veículos atraídos na hora de pico. Na pesquisa de Andrade (2005), através de estudo da percentagem do volume atraído na hora pico em relação ao volume diário referente a todos os *shoppings* envolvidos, foi obtido um fator hora pico de 12,66% para a sexta-feira. Além disso, as viagens para *shopping centers* podem ser divididas em três categorias, segundo Goldner (1994), para *shopping centers* situados em área urbana:

- Viagens primárias: são as novas viagens geradas pelo *shopping*, que tem origem e destino na residência e representam 48% do total.
- Viagens desviadas: são viagens já existentes que param no *shopping center* como seqüência de outras paradas da viagem e quando a parada a este requer uma diversificação da rota, representam 38% do total.
- Viagens não-desviadas: são as viagens já existentes onde para a parada ao *shopping center* não é necessária a alteração da rota e representam 14% do total.

O volume de tráfego atraído pelo *shopping* para uma sexta-feira segundo a equação 3.1 é 2778 veículos diários. Esse resultado deve ser multiplicado pelo fator hora pico que vale 12,66% desse fluxo diário. Portanto 352 veículos são atraídos na hora de pico da sexta-feira. Desse total, de acordo com Goldner (1994), para um *shopping* localizado em área urbana, as categorias de viagem podem ser assim divididas: 48% de viagens novas ou primárias, 38% de viagens desviadas e 14% de viagens não desviadas. Dos 352 veículos gerados pelo PGV, 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 Goldner (1994) e Cox (1984) *apud* Goldner (1994), 45% das viagens têm origem dentro dos 10 minutos de viagem ao estabelecimento (área primária) e 55% partem de locais além dos 10 minutos de viagem. Considerando que qualquer ponto da rede chega-se ao *shopping* em até 10 minutos, considera-se que 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 mostrados na tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Volume gerado por nós internos

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

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 3.3. No nó 8020, que foi criado no NETSIM para representar o PGV, o fluxo de saída vale 9,45% (CET-SP, 2000 *apud* Andrade, 2005) para o intervalo de 19-20h. Portanto, 9,45% de 2778 são 263 veículos saindo do PGV nesse horário.

Tabela 3.3: 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

3.7. Desempenho

A análise do desempenho viário antes e depois do empreendimento é importante para explicitar quais são os efeitos oriundos do crescimento natural do tráfego ao longo dos anos e quais aqueles que são consequência direta da implantação do *shopping* (Goldner e Portugal,1993). Baseado na análise do desempenho viário futuro pode-se formular soluções de engenharia de tráfego de modo a minimizar o impacto da implantação de um PGV no sistema viário e de transportes.

De acordo com as simulações realizadas, o desempenho do tráfego na rede pode ser observado através dos indicadores, atraso, velocidade no *link* e tempo de viagem, como indicados na tabela 3.4.

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.

Tabela 3.4 – Indicadores antes e depois da implantação do PGV

Link	Atraso (s/veículo)		Velocidade (km/h)		Tempo de viagem (s/veículo)	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
87-68	15,4	20,6	25,1	25,04	31,7	31,7
31-30	6,9	6,1	22,5	24,0	12,6	11,9
10-9	28,7	29,1	12,88	12,8	38,8	39,3
48-41	33,1	27,0	8,05	9,3	39,4	33,3
40-13	12,6	12,8	21,6	21,4	22,3	22,5
16-24	28,1	26,4	6,9	7,3	36,2	34,6
63-62	27,6	55,2	15,8	9,0	35,8	63,4
39-40	69,3	51,7	4,5	6,0	76,3	58,7
2-3	34,1	33,4	8,7	8,9	47,7	46,9
50-10	16,9	16,4	14,0	14,5	21,2	20,7
36-34	43,5	64,3	7,41	5,2	52,5	73,3
38-40	17,8	17,5	15,9	16,1	26,3	26,0
34-38	8,2	8,0	26,3	26,9	14,9	14,8
33-34	17,8	16,2	15,3	16,3	25,6	24,1
30-33	8,7	8,8	24,2	24,0	16,8	16,9

Nota-se uma coerência em 12 dos 15 links observados. A via 63-62 teve grandes diferenças nos indicadores antes e depois da implantação do PGV e isto pode ser pelo fato de que neste local a relação v/c é maior que 1. Outros *links* também obtiveram resultados não convergentes como 36-34, notando-se as diferenças para os resultados do atraso, velocidade e tempo de viagem. Essas diferenças se devem 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*. O trecho apresentou-se mais carregado devido ser caminho de acesso ao PGV, diminuindo um pouco o tempo de viagem e o atraso. No *link* 39-40 houve uma melhora no antes e depois 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 até o final. O *link* 36-34 obteve um aumento nos valores de atraso e tempo de viagem, por se tratar da via por onde grande fluxo sai do PGV, causando interferências significativas nesta hora de análise.

4. ANÁLISE DA MICRO-SIMULAÇÃO: NETSIM

Foram selecionados alguns critérios para a análise dessa ferramenta de análise de desempenho viário, baseados no TRB (2000), com acréscimo de alguns critérios que serão relevantes neste estudo e estão mostrados na tabela 4.1:

Tabela 4.1 – 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.
Facilidade de uso	Refere-se à facilidade para a montagem da rede, ao manuseio dos dados e ao tempo de cálculo ou das simulações.
Recursos necessários	Recursos financeiros, de material e humanos, facilidade de aquisição.
Calibração e validação	Refere-se sobre o processo de calibragem e à capacidade de representar uma rede real.
Visualização dos resultados	Refere-se ao tipo e à facilidade de compreensão dos resultados.
Comparação dos resultados	E das previsões produzidos pelas técnicas.

4.1 Capacidade da técnica

O NETSIM permite simular até 8999 nós, 500 rotas de ônibus e 99 pontos de parada de ônibus. Tem a capacidade de simular os efeitos dinâmicos do fluxo de veículos entrando e saindo do PGV. Além disso, pode-se 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. Como uma ferramenta estocástica, os modelos microscópicos consideram o comportamento dos motoristas, a aleatoriedade das decisões, por exemplo, em situações de troca de faixas de rolamento, com a finalidade de refletir melhor a aleatoriedade inerente no campo para responder ao fato que os motoristas tomam decisões diferentes sob mesmas condições.

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 em que o veículo está circulando) afetam o comportamento do motorista dentro das vias (ex. veículos enguiçados, obstruções de visibilidade ou outras distrações).

4.2 Disponibilidade e quantidade de dados de entrada necessários

Alguns dados são obtidos em órgãos competentes e muitos outros são de difícil aquisição em campo, dificuldade esta superada por valores padrão que a técnica mesmo traz. Embora o simulador apresente maior nível de detalhamento, exigindo grande número de dados de entrada, estes estão *default* pelo programa.

4.3 Facilidade de uso

A montagem da rede envolve um cadastro ou o uso de mapas digitalizados que caracterizem a oferta viária. O procedimento de inserção de dados num simulador microscópico exige um esforço inicial significativo devido a grande quantidade de informações requeridas, ao mesmo tempo, oferece maior flexibilidade nas mudanças ou atualizações de dados, principalmente nas gerações de cenários, isso facilita o manuseio das informações e da própria rede na necessidade de retirar ou inserir nós e/ou *links*.

Uma facilidade existente no editor gráfico é a possibilidade de inserção e retirada de nós entre arcos e a definição do tipo de controle de tráfego, através de seleção com o *mouse* (Moreira, 2005). Com o NETSIM, o analista pode fazer as modificações físicas ou operacionais e logo simular, enquanto vê o comportamento dos veículos na rede, já podendo tirar algumas conclusões antes mesmo de analisar os resultados numericamente.

4.4 Recursos necessários

Para o uso do NETSIM, um computador que contenha um mínimo de recursos de *hardware* é suficiente, além de uma equipe especializada para tratar da aplicação do simulador e para a obtenção dos dados de tráfego da rede, a fim de conduzir a análise e calibrar o modelo com as condições locais reais, já que envolve conhecimentos da engenharia de tráfego.

4.5 Calibração e validação

É uma ferramenta desenvolvida para contextos diferentes dos observados em nosso país, alguns fatores de correlação são oriundos de experiências e observações de campo, havendo então, a necessidade de prévios estudos, análises que possam validar tais indicadores para casos em nosso país. A importância da calibração é principalmente porque as ferramentas podem trazer algumas distorções ou valores incoerentes, pois foram desenvolvidas para contextos diferentes dos observados em nosso país.

Modelos de simulação, especialmente os microscópicos como o NETSIM, fornecem variáveis suficientes para calibração/validação, desde que se tenham valores reais para comparação. Simuladores desse tipo demandam dados detalhados exigindo, muitas vezes, grande esforço de entendimento de suas hipóteses, parâmetros e as metodologias envolvidas na análise. Porém, são muitos os fatores que podem ser alterados até uma satisfatória calibração do modelo, como por exemplo, valores no tempo de parada dos ônibus, no tempo de reação dos motoristas, da velocidade nos movimentos de conversão e trocas de faixas de tráfego, na percentagem de motoristas que cooperam com a troca de faixas por outros motoristas e que permitem a ultrapassagem, valores de *headways*, de *gaps*, nível de conhecimento do motorista sobre a rede, 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.

4.6 Visualização dos resultados

O simulador tem a capacidade de visualização dos movimentos através do módulo que faz a animação. A interface com o usuário via *Windows* também facilita o uso do NETSIM. Verificou-se também a facilidade na percepção dos resultados, pois há diferentes maneiras de visualização e relatórios, cujos tipos de relatórios se apresentam com clareza, seja por meio de tabelas, gráficos ou relatório numérico.

4.7 Comparação dos resultados

Considerando o antes e o depois do PGV, percebe-se que 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 são suficiente para mudar significativamente o desempenho da rede.

5. CONCLUSÕES

A análise de redes viárias impactadas por PGV's em grandes cidades, necessita de cada vez mais detalhes que consigam retratar a realidade de forma eficiente. Os objetivos estabelecidos foram alcançados visto que com o desenvolvimento do trabalho foi possível estabelecer uma análise de desempenho de rede viária para avaliar o impacto de um PGV. O desenvolvimento da ferramenta de análise permitiu concluir que o procedimento proposto é exequível.

Com o desenvolvimento deste trabalho, percebeu-se que o NETSIM proporciona a tomada de decisão rápida, econômica, consistente e de forma experimentada. Apesar de demandar tempo para a montagem da rede e ajuste de parâmetros, este modelo permite visualizar a entrada das características físicas e operacionais das vias e interseções, graças ao seu editor gráfico que além de facilitar o trabalho, aumenta a precisão da representação.

É importante lembrar que o NETSIM não foi elaborado para situações idênticas às do Brasil, necessitando um esforço de calibração. É sabido que são muitas as dificuldades que envolvem essa etapa, onde muitos valores utilizados como padrão devem ser obtidos em campo desde que haja recursos necessários para treinar pessoal.

BIBLIOGRAFIA

Andrade, E. P. (2005) *Análise de Métodos de Estimativa de Produção de Viagens em Pólos Geradores de Tráfego*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

Araujo, 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.

Companha de Engenharia de Tráfego – CET SP (2000), **Pólos Geradores de Tráfego II**, Boletim Técnico nº 36. São Paulo.

CORSIM User's Guide, Versão 5.0 (2001). Federal Highway Administration, Office of Operations Research, Development and Technology, Virginia, EUA.

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.

Goldner, L. G., Portugal, L. S. (1993) Metodologia de Avaliação de Impactos de Tráfego de Shopping Centers: Uma Abordagem Multimodal. In: **VII ANPET**, v. 1, pp. 349-357, São Paulo.

Grando, L. (1986), A Interferência dos Pólos Geradores de Tráfego no Sistema Viário: Contribuição Metodológica para Shopping Centers. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Guia Quatro Rodas (2004), Ruas do Rio de Janeiro. Ed. Abril S.A., São Paulo.

Maiolino, C. E., Portugal, L. S. (2001) Simuladores de Tráfego para Análise de Desempenho de Corredores de Ônibus e de sua Área de Influência. In: **XV ANPET**, v. 1, pp. 257-264, Campinas.

Moreira, R. B. (2005) *Uma Contribuição para Avaliação do Modelo "CORSIM" em Simulações de Tráfego Urbano no Rio de Janeiro*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

Portugal, L. S. (2005) **Simulação de tráfego – Conceitos e Técnicas de Modelagem**, Ed. Interciência, 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.

Poyares, C. N. (2000), *Critérios para Análise dos Efeitos de Políticas de Restrição ao Uso de Automóveis em Áreas Centrais*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

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**, v. 10, n. 1. In: **XV ANPET**, Campinas.

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*. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

Transportation Research Board – TRB (2000) **Highway Capacity Manual**, National Research Council, Washington, D. C.

Endereço dos Autores:

Programa de Engenharia de Transportes – PET/COPPE/UFRJ

Centro de Tecnologia, Bl. H, Sala 106, Cidade Universitária, 21490-900, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Juliana Durgante Tolfo
juliana@pet.coppe.ufrj.br

Licínio da Silva Portugal
licinio@pet.coppe.ufrj.br