

## **ASSOCIAÇÃO DE MODELOS MACROSCÓPICOS E MICROSCÓPICOS DE TRÁFEGO PARA ESTUDO DE CIRCULAÇÃO**

**Paula Ariotti**

**Davi Ribeiro Campos de Araújo**

Laboratório de Sistemas de Transportes – LASTRAN  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

**Fabiane da Cruz Moscarelli**

Empresa Pública de Transportes e Circulação – EPTC

**Helena Beatriz Bettella Cybis**

Laboratório de Sistemas de Transportes – LASTRAN  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

### **RESUMO**

Este artigo avalia a aplicação de diferentes abordagens de modelagem de tráfego na análise de circulação de veículos junto a um terminal de transporte público, em Porto Alegre. Nesse estudo, foram associados modelos de diferentes níveis de agregação, de modo a ampliar os elementos de análise. A modelagem macroscópica, realizada através do modelo de alocação de tráfego SATURN, avaliou propostas de circulação viária numa rede ampla em torno do terminal. O modelo de micro-simulação de tráfego DRACULA foi utilizado para avaliar duas alternativas de itinerário das linhas de ônibus internamente ao terminal. A modelagem permitiu avaliar: (i) a re-alocação do tráfego decorrente do projeto de circulação; (ii) a circulação interna ao pátio do terminal; (iii) e seus efeitos nas vias adjacentes. A associação das duas abordagens permitiu uma ampliação da capacidade de investigação.

### **ABSTRACT**

This paper reports the application of different modelling approaches to analyses the traffic performance around a public transport terminal, in Porto Alegre. A macroscopic traffic assignment model, SATURN, was used to evaluate different traffic schemes in a large network around the terminal. The microsimulation model DRACULA was used to evaluate two alternative circulation schemes inside the terminal. This modeling approach enabled the estimation of: (i) the traffic re-assignment due to the road scheme, (ii) the traffic behavior inside the terminal and (iii) its effects on the adjacent roads. The association of these two models led to an improvement in the investigation capacity.

### **1. INTRODUÇÃO**

O uso de modelos computacionais de tráfego permite uma melhor compreensão do sistema de transportes, subsidiando o aperfeiçoamento de soluções, e preservando a sociedade de custos e transtornos associados a medidas ineficientes ou de eficácia duvidosa. Tais modelos compõem um amplo conjunto de ferramentas com largo potencial de aplicabilidade.

Modelos de alocação de tráfego reproduzem o processo de escolha de rotas dos usuários em redes viárias abrangentes. A modelagem tradicional de alocação de tráfego faz uso da abordagem macroscópica, onde o desempenho do sistema é descrito através de relações analíticas entre velocidade, densidade e fluxo. As hipóteses simplificadas da abordagem macroscópica conduzem a previsões de fluxos satisfatórias para fins de planejamento estratégico de transportes e algumas avaliações de gerenciamento de tráfego.

Modelos microscópicos de tráfego, por outro lado, são ferramentas apropriadas para estudos que exigem um elevado nível de detalhamento na representação do tráfego viário. Esses modelos representam cada veículo individualmente, avaliando explicitamente as interações entre as entidades que interagem no sistema. Assim, o uso de modelos microscópicos é adequado para avaliar situações onde os efeitos das interações individuais entre veículos são importantes, como por exemplo: a circulação no entorno dos portões de acesso a pólos geradores de tráfego, e efeitos de uma composição heterogênea de tráfego.

Modelos mesoscópicos apresentam características mistas, preservando níveis significativos de agregação e detalhamento, simultaneamente. Assim, caracterizam um nível intermediário de agregação.

O uso associado de diferentes abordagens preserva as vantagens individuais e amplia os elementos de análise, potencializando a capacidade de investigação. Este artigo avalia o uso do modelo de alocação de tráfego SATURN (Van Vliet, 1982) e do modelo microscópico de simulação de tráfego DRACULA (Liu, 1994). Os modelos têm autoria no mesmo instituto de pesquisa, e oferecem uma vantagem: o DRACULA viabiliza a importação de arquivos de informações do SATURN.

A adequada aplicação dos modelos exige a compreensão do problema, a determinação dos elementos de análise e a identificação das limitações das ferramentas aplicadas. O objetivo da modelagem é avaliar a circulação de veículos interna e externamente a um terminal de transporte público. Externamente ao terminal, o problema envolve o rearranjo das rotas utilizadas pelos veículos decorrentes de um projeto de alterações na circulação viária, e o impacto do acesso dos veículos de transporte público nas vias adjacentes ao terminal. Internamente ao terminal, é analisado o efeito do tempo de embarque de passageiros na formação de filas junto às plataformas. São também avaliadas duas alternativas de itinerários dos ônibus no pátio interno. O estudo decorre de um Acordo de Cooperação Técnica instituído entre o LASTRAN/UFRGS e a EPTC (Empresa Pública de Transporte e Circulação). Esse acordo contemplou a implantação do micro-simulador DRACULA em Porto Alegre.

### **1.1. Características das diferentes abordagens de modelagem computacional de tráfego**

As fundamentações teórica e computacional dos modelos macroscópicos e microscópicos de tráfego são substancialmente diferenciadas, de modo que as abordagens apresentam propriedades distintas. O efeito prático é que a implementação de modelos macroscópicos é mais rápida e menos custosa, exigindo menor esforço e menos recursos computacionais. Deste modo, esses modelos se tornam mais apropriados para avaliação de redes extensas.

Os modelos macroscópicos descrevem o tráfego através de funções analíticas, cuja implementação computacional é substancialmente mais simplificada que a estrutura de simulação. Modelos macroscópicos avaliam a rede discretamente, por trechos ou seções. As abordagens macroscópicas tradicionais são estáticas, avaliando um único estado da rede que representa condições médias ou agregadas no tempo. Já os modelos de micro-simulação são dinâmicos pois rastreiam cada veículo ao longo da jornada.

O uso da simulação como técnica de modelagem de tráfego é prática freqüente. Esta abordagem permite analisar uma grande variedade de problemas dinâmicos, que não podem ser satisfatoriamente apropriados de forma analítica.

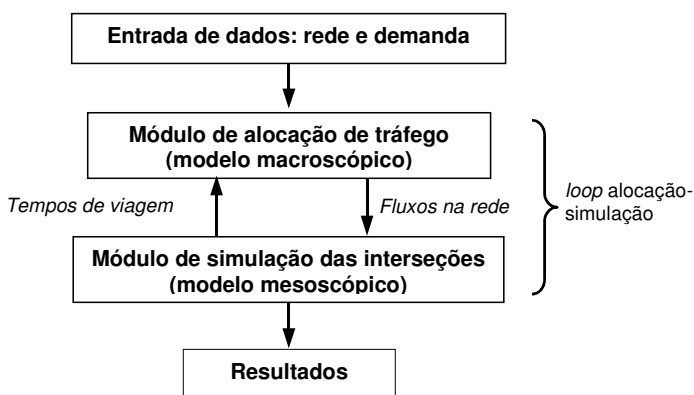
Os modelos de simulação provêm informações com seqüência temporal e espacial, não apenas valores médios e variâncias. Permitem, ainda, estudar o sistema em tempo real, em tempo acelerado, ou retardado. Outra vantagem, é que permitem avaliar experimentos sobre sistemas inseguros, sem oferecer risco aos usuários. Por outro lado, existem eventuais restrições associadas à aplicação da técnica. O processo de simulação consome tempos extensos e gera

custos elevados. Modelos de simulação exigem volumes de dados significativos, muitos desses de difícil obtenção ou apropriação. Sua calibração e validação são complexas, e se essas etapas forem deficientes, o modelo torna-se inútil. A simulação só é viável quando o sistema avaliado é profundamente compreendido (May, 1990).

## 1.2. Modelos de tráfego utilizados

### 1.2.1. SATURN

O SATURN (*Simulation and Assignment of Traffic to Urban Road Networks*) é um modelo macroscópico de alocação de tráfego, que incorpora uma estrutura de simulação de interseções viárias. Na estrutura de execução do SATURN, os módulos de alocação e simulação são independentes e operam alternadamente, num processo iterativo e convergente, conforme ilustrado na figura 1.



**Figura 1:** Estrutura de operação do SATURN

O módulo de simulação do SATURN modela o comportamento do tráfego nas interseções, conforme a teoria de perfis de fluxo cíclicos (Robertson, 1974) também utilizada no modelo TRANSYT (Vincent *et al.*, 1980), caracterizando uma abordagem mesoscópica de modelagem. O SATURN foi originalmente concebido para avaliação de esquemas de gerenciamento de tráfego em redes viárias urbanas (Hall *et al.*, 1980). Atualmente, o SATURN coleciona diversas aplicações no mundo e no Brasil (Matzoros *et al.*, 1987; May *et al.*, 1992; McSheen & Hale, 1989; Cybis *et al.*, 1999; Freitas *et al.*, 2001). O modelo foi desenvolvido no ITS - *Institute for Transport Studies*, da Universidade de Leeds, na Inglaterra.

A estrutura básica do SATURN exige dois conjuntos de dados: a descrição da rede viária e a quantificação da demanda na forma de matriz origem-destino. A rede viária é formada por um conjunto de nós e arcos representando, respectivamente, as interseções e os segmentos viários entre interseções adjacentes. Os dados envolvem: o controle de tráfego (relações de prioridade ou programação semafórica), as restrições de conversões, fluxos de saturação nas conversões, número de faixas, e a velocidade de cruzeiro em cada arco.

### 1.2.2. DRACULA

O modelo DRACULA (*Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Microsimulation*) é um simulador de tráfego microscópico e estocástico, que representa o movimento dos veículos através de rotas pré-especificadas. A evolução dos veículos ao longo

da rede é estimada através de modelos de *car-following* e *lane-changing*, considerando o comportamento desejado dos motoristas, a sinalização e o controle nas interseções e arcos. O modelo DRACULA foi desenvolvido no ITS-Leeds. Aplicações do DRACULA, na Inglaterra, são reportadas por Clark *et al.* (2000) e Muizelaar (2002). No Brasil, o modelo tem sido aplicado conforme Araújo e Cybis (2002), Jacondino e Cybis (2002) e Araújo *et al.* (2004). O processo de simulação do DRACULA é descrito em Liu (1994). Detalhes sobre o uso do modelo são apresentados em Liu (2000).

O DRACULA exige três conjuntos de dados de entrada: descrição da rede viária, demanda de tráfego e características dos veículos e motoristas. A formatação do arquivo de descrição de rede do DRACULA é compatível com o SATURN. Porém, algumas adaptações são necessárias para o processo de micro-simulação: o DRACULA exige especificar, por exemplo, a velocidade desejada nos arcos e ignora os fluxos de saturação utilizados pelo SATURN. A demanda de tráfego é definida através de fluxos de veículos em rotas pré-especificadas. O DRACULA modela, ainda, as linhas de transporte público reproduzindo o acesso dos veículos aos pontos de parada, e considerando o tempo estacionário para embarque de passageiros (Liu, 2000).

O DRACULA permite especificar seis diferentes tipos de veículo com características particulares que descrevem parâmetros operacionais dos veículos e aspectos comportamentais dos motoristas. A cada veículo gerado, são atribuídas características definidas a partir de valores médios e variâncias previamente informados. Tais características são: comprimento do veículo, acelerações, desacelerações, fator de velocidade (corresponde a um multiplicador sobre a velocidade média do arco gerando a velocidade desejada do veículo), tempo de reação, distância mínima de segurança em fila, fator de aceitação de brechas (fator que define a agressividade dos veículos no modelo de aceitação de brechas), etc.

### 1.3. O uso associado dos modelos DRACULA e SATURN

O uso associado dos modelos presume a execução consecutiva de cada modelo, havendo transferência de informações, em formatação compatível, do SATURN para o DRACULA. O objetivo do uso associado é aproveitar as vantagens de ambos os modelos, ampliando os elementos de análise.

Os fluxos nas rotas são estimados pela fase de alocação de tráfego do SATURN, e são exportados para o DRACULA. Da mesma forma, informações sobre a descrição da rede no modelo SATURN são adotadas no DRACULA.

Modelos de alocação de tráfego tradicionais estimam os tempos de viagem a partir de relações puramente macroscópicas. O SATURN oferece vantagens sobre esses modelos, especialmente no que se refere à utilização conjunta com um simulador microscópico: a estrutura mesoscópica do módulo de simulação de interseções. A partir dos perfis de fluxo cíclicos, o módulo de simulação do SATURN representa os efeitos do sincronismo semafórico, que é um fenômeno nitidamente reproduzido em micro-simulação. Assim, a simulação mesoscópica torna os dois modelos mais compatíveis, reduzindo as discrepâncias de modelagem entre os níveis de agregação macro e microscópico.

O módulo de simulação do SATURN oferece outra vantagem em relação aos modelos tradicionais de alocação. Ele estima a retenção de veículos em interseções saturadas através

da rede. A partir desse recurso, é possível identificar o fluxo efetivo de veículos percorrendo uma seção específica da rede, e a parcela da demanda que ficou retida em filas à montante.

A necessidade de integrar os processos de alocação e simulação de tráfego levou ao desenvolvimento de modelos de micro-simulação que incorporam rotinas de escolha de rotas (Van Aerde *et al.*, 1996; Wong, S. Y., 1990). Os processos de escolha de rotas introduzidos nos modelos de micro-simulação apresentam genericamente duas abordagens. Alguns modelos realizam a escolha de rotas antes do início da simulação, baseados em dados referenciais de custos de viagem. Estes modelos não consideram o impacto da demanda na definição das rotas de viagem. Outros modelos, desenvolvidos particularmente para aplicações de *ITS – Intelligent Transportation Systems*, re-avaliam rotas ao longo do percurso, em função do estado momentâneo da rede. Os algoritmos destes modelos não consideram a rota como uma unidade. O somatório de boas decisões instantâneas não leva necessariamente a um bom percurso total.

Sob o ponto de vista de escolha de rotas, a associação do SATURN ao micro-simulador DRACULA oferece um processo bastante robusto. A iteração entre os módulos de alocação e simulação de tráfego incluídos no SATURN permite considerar de forma realista o impacto do congestionamento no processo de escolha de rotas, que são definidas em função do seu custo global. Esta abordagem tradicional de alocação de tráfego é embasada na hipótese de que usuários habituais de um sistema viário têm conhecimento da rede e tomam decisões visando reduzir seu custo total de viagem.

## **2. APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO**

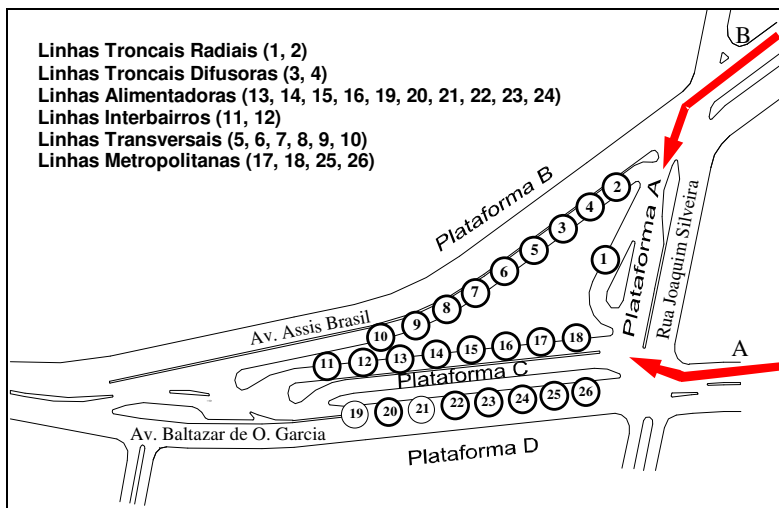
No presente capítulo, são apresentadas as principais informações e hipóteses que balizaram a modelagem da circulação interna e externa ao terminal de transporte público *Triângulo da Assis Brasil*, em Porto Alegre.

### **2.1. O sistema de Transporte Público avaliado**

O projeto abrangente de circulação viária em torno do Terminal Triângulo e a concepção operacional do sistema de transporte público correspondem ao previsto pelo Projeto Norte-Nordeste (Consórcio PROTRAN-Oficina, 1997), que compreende a reformulação do sistema de transporte público servindo as regiões norte e nordeste de Porto Alegre.

A frequência total de veículos prevista para acessar o terminal é de 372 veículos por hora. O estudo de demanda do Projeto estima 10.800 embarques e 9900 desembarques de passageiros distribuídos em seis diferentes grupos de linhas: troncais radiais, troncais difusoras, interbairros, alimentadoras, transversais e metropolitanas. Geometricamente, o Terminal Triângulo é composto de quatro plataformas (A, B, C e D), onde se localizam os pontos de parada para embarque e desembarque de passageiros. O período avaliado corresponde ao pico vespertino, entre 18h e 19h, que caracteriza a situação mais crítica do sistema viário.

No presente estudo, foram avaliadas duas alternativas de acesso e itinerário das linhas de ônibus dentro do terminal. As alternativas A e B assumem como variante o ponto de acesso ao terminal para uma parcela das linhas alimentadoras (aproximadamente 40 veic/h). A alternativa A prevê o acesso dessas linhas pela av. Baltazar de O. Garcia; já a alternativa B propõe o acesso pela av. Assis Brasil. A figura 2 apresenta a disposição dos pontos de parada nas plataformas, a atribuição de linhas a esses pontos, e as alternativas de percurso (A e B).



**Figura 2:** Disposição das paradas nas plataformas e atribuição de linhas

## 2.2. Caracterização da área de estudo

A área de estudo foi fracionada em três regiões, como ilustra a figura 3. Cada região está associada a problemas específicos, tratados através de ferramentas de modelagem distintas. A área abrangente (área 3) envolve a rede viária afetada pelo projeto de circulação viária. A área adjacente (área 2) envolve as vias no contorno e próximas ao terminal. Por fim, a área interna (área 1) representa o pátio do terminal, e as plataformas de embarque. Nas seções que seguem, são melhor caracterizados os problemas e as dimensões de cada região.

### 2.2.1. Área abrangente

A área abrangente encerra a parcela da rede viária que sofre influências significativas do projeto de circulação viária concebido pelo Projeto Norte-Nordeste. A rede abrangente é formada por 270 nós e 410 arcos, totalizando 85 km de vias, numa área de 13,7 km<sup>2</sup>.

A avaliação da rede abrangente está focalizada no problema de re-alocação do tráfego em decorrência das alterações viárias associadas à implantação do Terminal Triângulo. Essa rede foi modelada unicamente através do SATURN.

### 2.2.2. Área adjacente

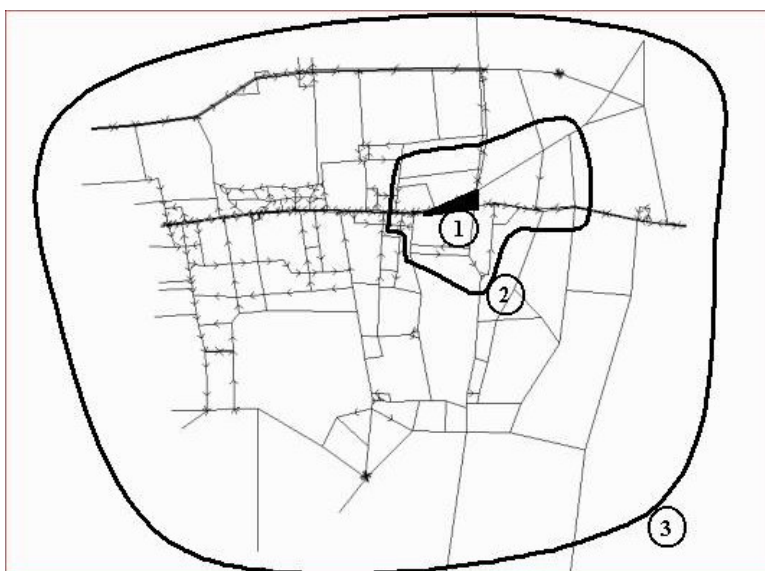
A área adjacente envolve as vias próximas ao Terminal Triângulo. A rede adjacente é formada por 45 nós e 70 arcos, totalizando 15 km de vias numa área de 1,5 km<sup>2</sup>. Adiante, na seção 3.2 de análise dos resultados da modelagem, a rede adjacente é representada graficamente através da animação do modelo DRACULA.

A avaliação da rede adjacente focaliza: (i) as perturbações dos ônibus ao acessarem o terminal; (ii) as perturbações dos ônibus ao acessarem os pontos de parada; (iii) a propagação das filas geradas externamente ao terminal. A rede adjacente foi reproduzida através dos modelos SATURN e DRACULA.

### 2.2.3. Área interna

A área interna, com aproximadamente 14.200 m<sup>2</sup>, representa o pátio do terminal que envolve a área de circulação e as plataformas de embarque de passageiros. A rede é formada por 6 nós e 12 arcos, com 26 pontos de parada nas plataformas. A figura 5, apresentada adiante na seção 3.2, ilustra a rede interna.

A análise da rede interna avalia o problema de estocagem de veículos e formação de filas internamente ao terminal, considerando o embarque/desembarque de passageiros nas plataformas. A variabilidade aleatória na formação de filas é um importante elemento a ser investigado, uma vez que as condições médias podem não ser suficientes para revelar problemas ocasionais de propagação de filas para o exterior do terminal. A rede interna foi modelada exclusivamente através do DRACULA.



**Figura 3:** Delimitação das áreas abrangente (3), adjacente (2) e interna (1)

## 3. ESTUDO DE CASO: MODELAGEM E ANÁLISE DE RESULTADOS

### 3.1. Modelagem da área abrangente

A modelagem da área abrangente, desenvolvida através do SATURN, constituiu-se em um problema tradicional de alocação de tráfego em redes urbanas. A função principal da modelagem foi prever a demanda de tráfego nas vias, subsidiando a avaliação da rede adjacente. Assumiu-se que as interações microscópicas entre os veículos ao acessarem o terminal são pouco representativas nos tempos totais de viagem entre os pares origem-destino.

### 3.2. Modelagem da área adjacente

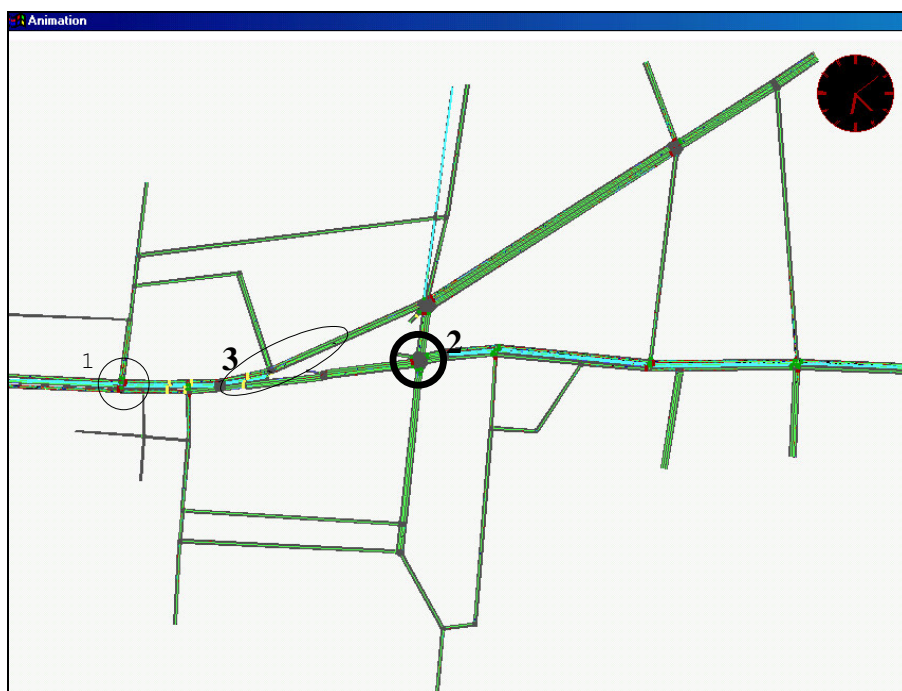
A rede adjacente foi modelada através do SATURN e do DRACULA, onde se fez uso dos recursos de transferência de informações entre os modelos. O modelo SATURN foi extraído da rede abrangente, e assumiu duas funções principais: (i) permitiu identificar a saturação nas principais interseções no entorno do terminal; (ii) serviu de base para a definição da demanda nas vias, que constitui um insumo básico para o DRACULA. O modelo DRACULA assumiu



duas funções: (i) permitiu uma melhor compreensão do comportamento do tráfego na rede, em decorrência da animação gráfica; (ii) permitiu avaliar os efeitos na corrente de tráfego decorrentes dos conflitos dos ônibus ao acessarem o terminal.

Os parâmetros relativos aos veículos e motoristas foram definidos com base em Araújo *et al.* (2004), que apresenta um estudo de calibração do modelo DRACULA em Porto Alegre. Os comprimentos dos veículos particulares foram definidos a partir de observações de campo. Os comprimentos dos ônibus (convencional e bi-articulado) foram determinados de acordo com as especificações técnicas dos fabricantes.

Através da animação gráfica da micro-simulação, foram identificados três pontos críticos na rede modelada, indicando deficiência de capacidade viária. A figura 4 ilustra a localização dos pontos críticos na rede adjacente.



**Figura 4:** Localização dos pontos críticos na rede adjacente

Os pontos 1 e 2 correspondem a interseções saturadas. Os resultados do modelo do DRACULA foram corroborados pelo SATURN, que estimaram supersaturação viária nos mesmos pontos. O ponto 3, entretanto, constitui-se num ponto crítico revelado exclusivamente pelo DRACULA. Os conflitos nesse ponto se devem ao acesso dos ônibus ao corredor exclusivo, onde a movimentação transversal ao longo da pista gera significativas perturbações na corrente principal. Os ônibus acessam o ponto de embarque de passageiros no bordo externo da pista, e em seguida atravessam três faixas com tráfego misto num trecho de 380 m, até acessarem o corredor exclusivo junto ao eixo da via. A modelagem através do DRACULA permitiu, ainda, visualizar a propagação das filas à montante dos pontos 1 e 2.



### 3.3. Modelagem da área interna

A simulação através do DRACULA permitiu avaliar a circulação dos ônibus internamente ao pátio do Terminal, considerando as perturbações de acesso dos veículos aos pontos de parada e o tempo de embarque de passageiros junto às plataformas. Os tempos de embarque foram definidos exogenamente ao modelo, e levaram em consideração três diferentes critérios: tempo de atendimento à demanda, tempo mínimo, e tempo máximo de permanência no ponto de parada. O tempo de atendimento à demanda foi estimado a partir da quantificação da demanda de passageiros, e levou em consideração a tecnologia de embarque (largura de porta, desnível relativo, e forma de pagamento da tarifa). O limite mínimo representa o intervalo de tempo em que o veículo permaneceria parado no ponto mesmo não havendo passageiros embarcando; e o limite máximo indica a tolerância máxima de tempo que não comprometeria a rotatividade de veículos associada à frequência horária das linhas. Esses limites foram definidos por técnicos da EPTC responsáveis pela programação operacional das linhas, e refletem valores usuais de campo. As taxas para embarque e desembarque de passageiros - conforme o desnível relativo entre a plataforma e o veículo, e a forma de pagamento da passagem - foram obtidas do *Transit Capacity and Quality of Service Manual* (Kittelson and Associates, 1999).

A circulação no interior do terminal foi avaliada através da animação e dos relatórios de saída do DRACULA. A animação da simulação não revelou formação de filas crescentes, indicando condições satisfatórias de circulação para ambas as alternativas. Os parâmetros de saída agregados nas redes das alternativas apresentam valores similares, conforme a tabela 1.

**Tabela 1:** Comparação de parâmetros estimados agregadamente para o Terminal

	Alternativa A	Alternativa B
Atraso em fila (veic x h)	8,2	8,1
Velocidade média (km/h)	16,0	16,1
Tempo total de viagem (veic x h)	12,4	12,4
Distância total percorrida (km x veic)	196,7	198,5

As variações entre os percursos das alternativas A e B estão concentradas no arco adjacente à plataforma A. A tabela a seguir apresenta os parâmetros estimados apenas para aquele arco, para cada alternativa modelada.

**Tabela 2:** Comparação de parâmetros estimados no arco adjacente à Plataforma A

	Alternativa A	Alternativa B
Atraso em fila (veic x h)	0,1	0,3
Tempo total de viagem (veic x h)	0,4	0,8
Velocidade média (km/h)	28,4	20,4
Fluxo médio (veic/h)	211	251
Comprimento médio de filas (m)	0,3	2,2

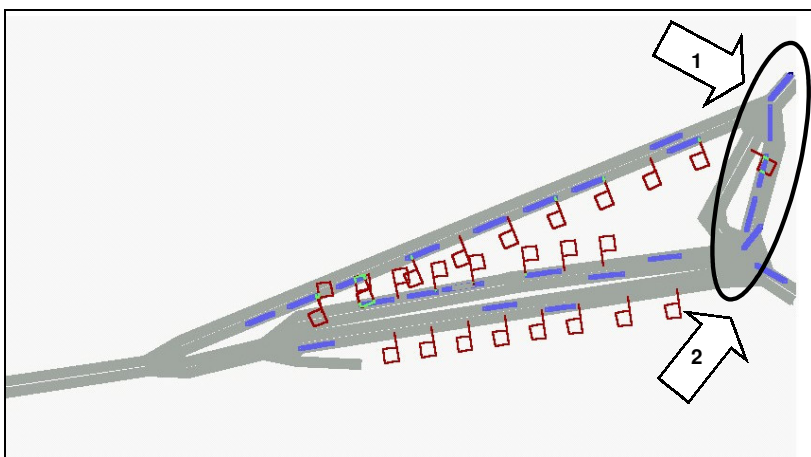
A partir da tabela 2, é possível concluir que as condições de circulação são menos favoráveis na Alternativa B, onde o arco avaliado apresenta maior fluxo, maior comprimento médio de fila, e maiores atrasos.

#### *Análise de variabilidade das velocidades médias*

Para avaliar a variabilidade do comportamento do tráfego no arco adjacente à plataforma A, foram simulados dez cenários com configurações de rede e demanda idênticas, porém com

diferentes sementes estocásticas (para cada alternativa de percurso). A modelagem estocástica representou a variabilidade da velocidade média no arco, em decorrência da negociação de brechas na interseção à jusante.

A partir da animação, foi possível observar que no cenário B, ocasionalmente, a fila formada no arco adjacente à Plataforma A crescia até atingir a interseção à montante, bloqueando a entrada de veículos no terminal. O ponto 1 na figura 5, capturada da animação do DRACULA, ilustra esse fato. Esse bloqueio indica a existência de potenciais problemas, pois pode comprometer a interseção de entrada no terminal, afetando a circulação na rede adjacente, externa ao terminal.



**Figura 5:** Propagação de fila ocasional, no arco adjacente à plataforma A (Alternativa B)

A tabela 3 apresenta as velocidades médias estimadas para os dez cenários de cada alternativa, a média aritmética, o desvio padrão e o coeficiente de variação das observações.

**Tabela 3:** Variabilidade da velocidade média (Km/h) no arco adjacente à plataforma A

Rodada	Alternativa A	Alternativa B
1	28,7	19,7
2	27,9	23,6
3	28,5	18,5
4	28,2	21,7
5	28,2	23,3
6	28,8	20,2
7	28,1	12,2
8	28,3	23,3
9	28,2	21,7
10	28,6	19,7
$\mu$	<b>28,4</b>	<b>20,4</b>
$\sigma$	<b>0,3</b>	<b>3,4</b>
$\sigma/\mu$	<b>0,0</b>	<b>0,2</b>

A tabela 3 indica que a média dentre as velocidades na alternativa A é maior que na Alternativa B. A alternativa B apresenta maiores desvio padrão e coeficiente de variação. O

fato se deve ao acréscimo relativo na demanda de veículos através do arco (conforme tabela 2), o que gera maiores atrasos na negociação de brechas junto à interseção à jusante do arco (ponto 2, figura 5).

#### **4. CONCLUSÕES**

Este trabalho avalia a aplicação associada do modelo macroscópico de alocação de tráfego SATURN e do modelo microscópico de simulação de tráfego DRACULA. Os modelos foram aplicados em um estudo de caso que analisa a circulação de veículos interna e externamente a um terminal de transporte público, em Porto Alegre. No estudo, foi avaliado um projeto de reformulação da circulação viária em rede abrangente, e duas alternativas de acesso e circulação das linhas de ônibus, internamente ao terminal.

O estudo foi desenvolvido em três etapas envolvendo objetivos, modelos, extensão de rede, e elementos de análise distintos. A partir da compreensão do problema, é possível definir os objetos de análise e determinar o tipo e a função da ferramenta aplicada. A rede abrangente (maior extensão) foi modelada através do SATURN, a rede adjacente (extensão intermediária) foi modelada através de ambos os modelos em associação, e a rede interna (menor extensão) foi modelada através do DRACULA.

O uso associado das duas abordagens de modelagem potencializou as vantagens de cada modelo, ampliando a capacidade de investigação e economizando esforços e recursos de modelagem. A alocação de tráfego macroscópica subsidiou a definição dos fluxos nas vias, que se constitui numa informação importante para a micro-simulação. A micro-simulação permitiu uma melhor compreensão do comportamento do tráfego em decorrência da animação gráfica, ilustrando a propagação de filas. A simulação permitiu, ainda, identificar o efeito de conflitos não captados pela modelagem macroscópica, como os conflitos decorrentes do acesso dos ônibus ao corredor exclusivo.

A estrutura mesoscópica de simulação do SATURN constitui-se numa vantagem para o uso associado dos modelos, reduzindo as divergências e melhor compatibilizando os modelos. No tocante às interseções saturadas, os modelos apresentaram resultados equivalentes.

A micro-simulação permitiu a avaliação da circulação interna do Terminal, contemplando o efeito do acesso dos ônibus aos pontos de parada e considerando o efeito dos tempos de embarque na formação de filas. A micro-simulação permitiu, também, analisar a variabilidade estocástica no comportamento interno do terminal, identificando problemas que não seriam captados através de outras abordagens de modelagem.

Como sugestão para trabalhos futuros, propomos investigar a alimentação do modelo de alocação de tráfego considerando os tempos de viagem previstos pela micro-simulação, que contempla efeitos não captados por abordagens de modelagem mais agregadas (macro e mesoscópica).

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem aos Técnicos da EPTC que auxiliaram no desenvolvimento deste estudo, em especial à arquiteta Simone Becker Lopes e à engenheira Luciana Ferronato.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, D. R. C.; Cybis H. B. B. (2002) Aplicação do simulador de tráfego DRACULA em Porto Alegre: análise comparativa com o SATURN. *Anais do XVI Congresso da Associação Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes*, ANPET, Natal, p. 341 a 352.
- Araújo, D. R. C.; Jacondino, G. B.; Cybis, H. B. B.; Ten Caten, C. S. (2004) Método de Calibração de Modelos de Micro-Simulação de Tráfego através de Otimização Multivariada. *Revista Transportes - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes*. Artigo aceito para publicação em 2004.
- Clark, S.D; R. Liu; F. Montgomery e J. Tate (2000) The Microscopic Modelling of Kerb Guided Bus Schemes. Transportation Research Board, 79th Annual Meeting, National Research Council, Washington D.C.
- Consórcio PROTRAN-Oficina (1997) *Reformulação Operacional e Tecnológica do Sistema de Transporte do Corredor Norte / Nordeste*. Relatório Técnico, sob contrato PMPA/SMT.
- Cybis, H. B. B.; Lindau, L. A.; Nodari, C. T.; Araújo, D. R. C. (1999) Calibração e verificação do ajuste do modelo de alocação SATURN à rede de Porto Alegre. *Anais do XIII Congresso da Associação Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes*, ANPET, São Carlos, v. 1 , p.325-332.
- Freitas, S. L. O.; Moscarelli, F. C.; Branco, O. C.; Cybis, H. B. B.; Araújo, D. R. C., Nodari, C. T. (2001) Uso do modelo SATURN no estudo de impacto de um pólo gerador de viagens no tráfego. *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito*, ANTP, Porto Alegre.
- Jacondino, G. B. e H. B. B. Cybis (2002) Avaliação de Modelos de Emissão de Poluentes em Simuladores de Tráfego. *Anais do XVI Congresso da Associação Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes*, ANPET, Natal, p. 211-222.
- Hall, M. D., Van Vliet, D. e Willumsen, L. G. (1980) SATURN – A Simulation-Assignment Model for the Evaluation of Traffic Management Schemes. *Traffic Engineering and Control*, v. 21, p. 168-176.
- Kittelson and Associates, Inc. (1999) *Transit Capacity and Quality of Service Manual*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
- Liu, R. (1994) *DRACULA Microscopic Traffic Simulator*. Institute for Transportation Studies, University of Leeds, ITS Working Paper 431, Leeds, England.
- Liu, R. (2000) *DRACULA Traffic Simulation Model: a User Guide*. Institute for Transportation Studies, University of Leeds, Technical Note 407. Leeds, England.
- Matzoros, T.; Van Vliet, D.; Randle, J.; Weston, B.. A validation of the SATURN and ME2 models using before-and-after survey data from Manchester. *Traffic Engineering and Control*, London, v.28, n.12, p.641-643, dec. 1987.
- May, A. D. *Traffic Flow Fundamentals*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.
- May, A. D.; Phiu-Nual, K.; Montgomery, F. O.; Paksarsawan, S.; Van Vuren, T. (1992) Applications of SATURN in Bangkok. *Traffic Engineering and Control*, v. 34, n.1, p.20-27.
- Mcsheen, J. R.; Hale, R. C. (1989) Traffic Modelling in Kuwait: 1. Development of a SATURN network database. *Traffic Engineering and Control*. v.30, n.10, p.466-473.
- Muizelaar, T. J. (2002) *One-way inner ring road in the city of York: effects on traffic and the environment*. Technical Report. Leeds, England.
- Robertson, D. I. (1974) Saturn: Cyclic Flow Profiles. *Traffic Engineering and Control*. v.15, p.640-641.
- Wong, S. Y. (1990). TRAF-NETSIM: How it works, what it does. *ITE Journal*, v. 60, p 22-27.
- Van Aerde M.; Hellinga B.; Baker M. e Rakha H. (1996) INTEGRATION: Overview of Simulation Features. Transportation Research Board Annual Meeting.
- Van Vliet, D. (1982) SATURN: A modern assignment model. *Traffic Engineering and Control*. v. 23, p.578-581.
- Vincent, R. A.; Mitchell, A. I.; Robertson, D. I. (1980) *User Guide to TRANSYT: version 8*. Transportation Research Road Laboratory. LR 888. England.

## Endereço dos autores

---

Paula Ariotti ([paula@producao.ufrgs.br](mailto:paula@producao.ufrgs.br))  
 Davi Ribeiro Campos de Araújo ([davi@producao.ufrgs.br](mailto:davi@producao.ufrgs.br))  
 Fabiane da Cruz Moscarelli ([fmoscarelli@eptc.prefpoa.com.br](mailto:fmoscarelli@eptc.prefpoa.com.br))  
 Helena Beatriz Bettella Cybis ([helenabc@ufrgs.br](mailto:helenabc@ufrgs.br))

Laboratório de Sistemas de Transportes – LASTRAN  
 Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
 Praça Argentina, 9 sala 408.  
 Porto Alegre, RS – Brasil