

# OBTENÇÃO DA MATRIZ OD PARA A CIDADE DE FORTALEZA/CE UTILIZANDO MACROSSIMULAÇÃO E DADOS DE FISCALIZAÇÃO ELETRÔNICA

**André Luis Medeiros**

**Fernando José Piva**

**Janailson Queiroz Sousa**

**Eduardo Araújo de Aquino**

Transitar Consultoria e Projetos em Engenharia de Trânsito e Transportes LTDA

## RESUMO

Os crescentes problemas de tráfego aliados a maior disponibilidade de recursos computacionais contribuem para que simuladores de tráfego sejam cada vez mais utilizados pelas comunidades, técnica e científica, no auxílio ao planejamento e operação dos sistemas de transporte e tráfego urbanos. A obtenção de uma matriz origem-destino (OD) nesse cenário, figura como um dos pontos mais cruciais. Neste artigo descreve-se um método de obtenção de uma matriz OD através de simulação de tráfego, utilizando dados de contagens volumétricas e placas veiculares coletados por sensores de fiscalização eletrônica. Por este método obteve-se, de forma mais rápida e econômica, uma matriz OD do município de Fortaleza/CE. O diferencial deste método reside na utilização de dados disponíveis nos grandes centros urbanos, na agilidade do processo e na redução de custos financeiros para a produção de matrizes OD. O *software* de simulação híbrida TransModeler foi utilizado e mostrou-se bastante eficiente.

## ABSTRACT

The raising problems of traffic combined with greater availability of existing computational resources contribute that traffic simulators are used by technical and scientific communities, to aid the planning and operation of transport and urban traffic systems. Obtaining an origin-destination (OD) matrix in this scenario, stands as one of the most crucial points. This article describes a method of obtaining an OD matrix by traffic simulation, using traffic counts and carrier plates collected by electronic sensors. By this method obtained more quickly and economically, an OD matrix for the city of Fortaleza/CE. The spread of this method lies in the use of data available in large urban centers, the agility of this process and reducing financial costs for the production of OD matrices. The hybrid simulator software TransModeler was used and showed to be very efficient.

## 1. INTRODUÇÃO

A busca e a análise de possíveis alternativas para solucionar, ou pelo menos minimizar, o problema da baixa fluidez do tráfego nas grandes cidades brasileiras tem se tornado uma grande preocupação para a gestão pública, uma vez que o impacto da saturação nas malhas viárias reflete diretamente, dentre outros fatores, na diminuição da produtividade e na qualidade de vida da população (Medeiros, 2012). Devido a crescente complexidade dos problemas de tráfego aliada a maior disponibilidade de recursos computacionais existentes, modelos de simulação computacional estão sendo cada vez mais utilizados por engenheiros e analistas para auxiliar no planejamento e operação dos sistemas de transporte e tráfego urbanos (Barceló, 2010; Hourdakis *et al.*, 2003).

Neste contexto, o estudo das viagens numa malha viária permite tomadas de decisões mais acertadas em relação à utilização de sistemas de transportes, pois através do entendimento do comportamento das viagens é possível prever as demandas para diversos tipos de serviços de transporte. Sendo assim, a obtenção de uma matriz origem destino (OD) representa um dos pontos mais importantes na gestão e planejamento de transportes. Porém, o processo de obtenção dessa matriz é lento e oneroso (Willumsen, 1981).

Conforme Guerra *et al.* (2013), a dimensão de custos financeiros e administrativos que envolvem a realização de uma pesquisa para obtenção da matriz OD, faz com que a sua periodicidade seja baixa e a sua amostra relativamente pequena (cerca de 5% do universo), sendo realizada geralmente a cada uma década. Tomando por base esse lapso temporal, percebe-se que devido as constantes alterações nas malhas viárias dos grandes centros urbanos, as informações ficam obsoletas rapidamente, dificultando o acerto nas tomadas de decisão pelos gestores e analistas de tráfego. Bera e Rao (2011) alertam que em épocas de restrições financeiras essas pesquisas se tornam praticamente impossíveis de serem realizadas. Deste feito, é constante e primordial o desenvolvimento de processos alternativos para obtenção de matrizes OD que não dependam de métodos tradicionais de levantamento de campo e que sejam menos onerosas.

Diante das explanações e buscando a plena utilização das informações e tecnologias disponíveis para o aperfeiçoamento das técnicas que visam auxiliar no planejamento e gestão dos transportes, adotou-se como principal objetivo a proposta de um método de criação e ajuste de matrizes OD por meio da simulação de tráfego utilizando dados coletados por sensores eletrônicos.

A opção por vincular o uso de simuladores de tráfego com os sensores de fiscalização se dá por vários motivos, dentre eles: a redução temporal e custos, pois não envolve equipes de pesquisa, uma vez que os sensores já estão disponíveis na malha viária com o propósito de fiscalizar as infrações de trânsito, coletando também os dados necessários para a efetivação do método ora descrito; como a coleta de dados por meio dos sensores é realizada de forma ininterrupta, o tamanho da amostra de viagens é bem superior ao alcançado nas pesquisas tradicionais; permite uma maior frequência na atualização das matrizes, pois sendo necessária a atualização, basta a coleta dos dados mais recentes e a execução das simulações na rede viária já codificada no *software* de simulação disponível, e; a facilidade de estudos em áreas específicas, bastando somente a seleção prévia dos equipamentos instalados na área de interesse, permitindo a análise nos diferentes níveis de agregação.

## **2. COLETA E BANCO DE DADOS**

Os estudos de tráfego feitos com simulações computacionais possuem grandes vantagens no planejamento e gestão de sistemas de transportes, no entanto, a sua aplicação é complexa e exige muitos recursos (Medeiros, 2012; Sousa, 2012).

May (1990) destaca que existem complicações no uso desse ferramental, tais como a grande quantidade de dados de entrada necessários e conseqüentemente a dificuldade na coleta e organização destes. Aquino (2013) assevera que diversos modelos de simulação para redes de larga escala estão disponíveis no mercado, porém um fator complicador para o desenvolvimento das simulações são os grandes esforços para a aquisição de dados, tais como o tempo e recursos para a coleta. Nesse contexto, a utilização dos dados de fiscalização eletrônica possui um potencial sustentável de contornar as referidas restrições.

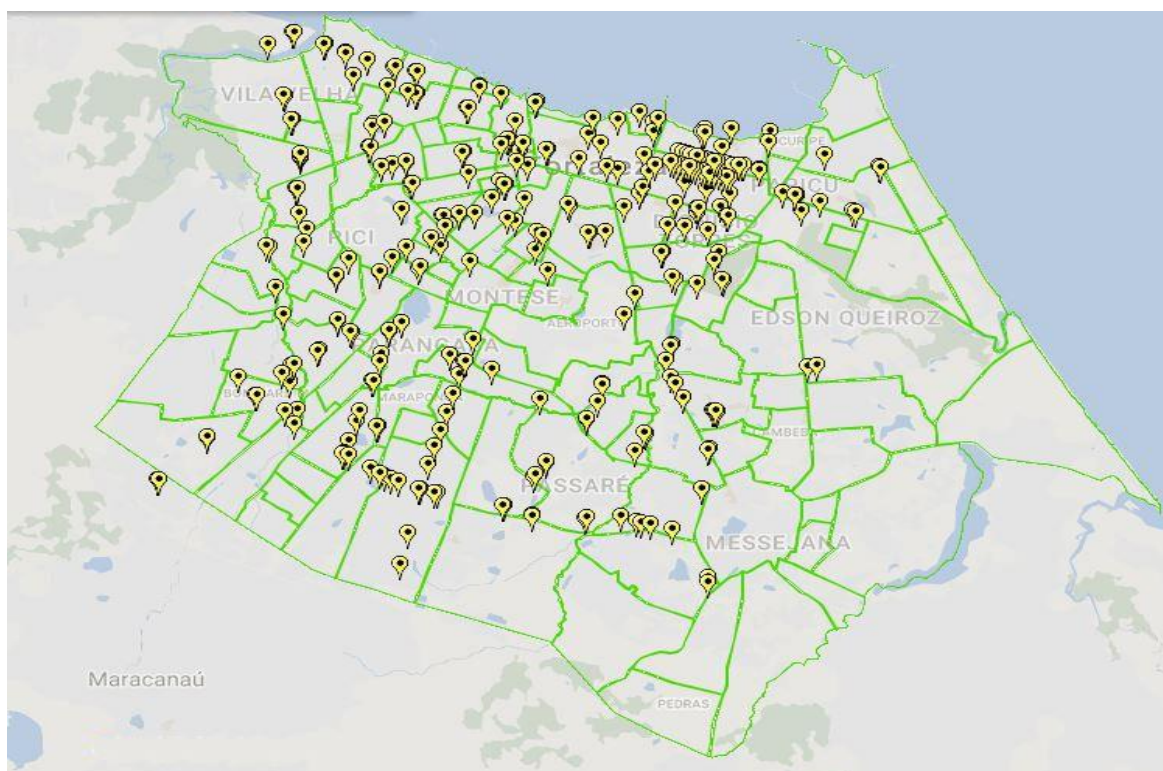
Para a realização de um estudo de simulação, independentemente do nível de agregação escolhido, é fundamental a disponibilidade de dados confiáveis. Desse modo, foi realizada uma parceria com a Prefeitura Municipal de Fortaleza (PMF) que, dentre outros objetivos, culminou com a criação de um banco de dados capaz de unificar, organizar e tratar a grande massa de dados obtida através de equipamentos de fiscalização eletrônica do tráfego da cidade.

## 2.1. Contagens veiculares

Com o perceptível crescimento da instalação de sensores de fiscalização eletrônica nas grandes cidades objetivando garantir o fiel cumprimento das normas de trânsito e, assim torná-lo mais seguro ao inibir infrações nas vias, é possível adquirir também informações privilegiadas do comportamento do tráfego nos diversos pontos monitorados. Dados como o fluxo veicular, velocidade e até identificação das placas veiculares são obtidos através de tal tecnologia.

A maioria desses equipamentos são instalados em interseções semaforizadas, mas existem outros situados em meios-de-quadra que, quando utilizados conjuntamente, permitem a elaboração/previsão de rotas, tempos de viagem e velocidade média, informações de grande valia para estudos e intervenções na malha viária.

Em Fortaleza, os dados dos sensores de fiscalização são provenientes de três empresas e, portanto, organizados em três bancos de dados distintos. Além disso, a necessidade de um detalhamento dos dados exigidos por cada modelo de simulação atrelado as diferenças nas informações utilizadas e a grande massa de dados fornecida gerou a necessidade do desenvolvimento de um aplicativo denominado Transitar 1.0, tendo como principal objetivo tratar, organizar e concentrar todos os dados capturados. Assim, a ferramenta permitiu a unificação das informações, funcionando como uma única fonte de consulta, armazenando de forma integrada todos os dados disponíveis, gerando informação inteligente para análise, mantendo a integridade e o controle das informações geradas pelas diversas fontes. Este *software*, após qualquer upload, realiza uma avaliação do arquivo e verifica se existem dados duplicados ou corrompidos, além de mostrar se o arquivo carregado é válido para processamento. Na Figura 1 é apresentada a distribuição dos sensores na cidade.



**Figura 1:** Sensores de fiscalização eletrônica de Fortaleza/CE (Fontes: PMF e Google Earth).

De posse dos dados armazenados e processados pelo Transitar 1.0, foram gerados relatórios no formato \*.csv organizando os dados de acordo com os objetivos previamente especificados para

esta pesquisa. Dentre os possíveis relatórios cedidos, destacam-se quatro tipos, os quais informam: os sensores de origem e destino das viagens de cada veículo, rotas nas viagens dos veículos, veículos identificados pela placa com sucesso por equipamento e o volume de tráfego e tempo de viagem entre dois equipamentos eletrônicos.

Foram consolidados os volumes de contagens, com intervalo de um minuto, coletados em 303 sensores de fiscalização distribuídos em toda malha viária de Fortaleza. Para esta pesquisa, os dados foram coletados entre os meses de março a maio de 2015. Também foi definido que o período pico a ser utilizado seria do da manhã (7h às 8h).

## **2.2. Dados de placas dos veículos**

Dentre os três meses em que foram coletadas as contagens, considerando as restrições, temporal e computacional, decidiu-se escolher um dia para fazer o ajuste da matriz. Foi então selecionado o dia 20/5/2015, por ser um dia de semana (quarta-feira), sem feriados próximos. Além disso, o período de coleta dos dados de placas foi expandido para o horário das 6h às 9h, com o objetivo de capturar um número maior de viagens próximas ao horário do pico manhã em que foram observadas as contagens. Dois dados foram analisados, o primeiro representa as contagens de veículos que passaram por cada um dos sensores de fiscalização ao longo das três horas analisadas (6h às 9h) e o segundo tipo representa, para cada um dos 303 sensores de fiscalização, quantos veículos foram capturados por um segundo sensor na rede. Tais dados foram selecionados avaliando a disponibilidade da coleta, bem como, a utilização do dado de entrada no TransModeler. Vale destacar que houve o cuidado de se trabalhar com dados criptografados para garantir e preservar a segurança das informações dos cidadãos.

## **2.3. Obtenção da rede**

Uma rede viária foi codificada e atualizada para o município de Fortaleza/CE, cidade escolhida para a realização desse estudo. A codificação dos eixos viários foi realizada optando-se por utilizar como critério a classificação da Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS) e o sentido de circulação atual das vias, exigindo assim que várias inspeções em campo fossem realizadas para dirimir dúvidas quanto as características geométricas e possíveis alterações na malha viária, como por exemplo, a inclusão de novos binários. Posteriormente, foram implementados todos os sensores de tráfego, bem como a quantidade de faixas na base de dados geográficos. Insta ressaltar que, ao longo de todo este processo, o banco de dados atrelado a base georreferenciada foi modificado na intenção de melhor adaptá-lo às necessidades desta pesquisa.

Conforme já explanado e a fim de controlar de forma mais organizada o ajuste do sentido do tráfego, agrupou-se as vias pela classificação (LUOS), sendo utilizadas as vias expressas, arteriais e coletoras. Tomou-se como referências as imagens do *Google Street View*, o conhecimento técnico dos colaboradores do estudo e as diversas inspeções realizadas em campo.

Após a definição dos sentidos das vias, partiu-se para a identificação da quantidade de faixas em cada sentido de cada segmento das vias de Fortaleza. Para as vias expressas não foram considerados o aumento no número de faixas pela aparição de uma rampa de entrada ou saída. Também não foram consideradas as faixas adjacentes, ou seja, as que não estão fisicamente ligadas aos eixos da via, assim como os acostamentos. Não foram verificadas as vias coletoras que estão além do limite do 4º anel viário.

Outras premissas foram adotadas visando não majorar erros no modelo. Uma delas foi a opção por não inserir dados exclusivos de ônibus na modelagem, devido terem sido verificados

alguns problemas quanto a identificação veicular realizada pelos sensores. Como consequência, foram desconsideradas faixas exclusivas para transporte público.

Ainda nesta etapa foram alocados os sensores de tráfego em suas respectivas vias e sentidos, utilizando-se um arquivo no formato do *Google Earth* que contém a localização dos equipamentos de fiscalização eletrônica do município. Após a inserção destes, foi possível verificar que existe maior concentração de pontos na região mais central de Fortaleza, sendo menos pontos observados nas periferias. Uma vez que o objetivo desta pesquisa era obter uma matriz OD pelas contagens de tráfego e ajustada pelos dados de placas obtidos através dos sensores de fiscalização eletrônica, o zoneamento de tráfego foi feito com base nesses pontos.

#### 2.4. Zoneamento

Neste estudo, o zoneamento foi efetuado, inicialmente, com base nos setores censitários estabelecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o município de Fortaleza. Por definição, setor censitário “é a unidade territorial estabelecida para fins de controle cadastral, formado por área contínua, situada em um único quadro urbano ou rural, com dimensão e número de domicílios que permitam o levantamento por um recenseador” (IBGE, 2015). No total, o município de Fortaleza possui 3043 áreas de recenseamento.

O primeiro procedimento no sentido de definir um agrupamento contíguo dos setores com o propósito de zoneamento do município consistiu no agrupamento dessas áreas em função dos bairros estabelecidos no arquivo do mapa georreferenciado disponibilizado pelo IBGE. Posteriormente, o arquivo georreferenciado de pontos de contagens de veículos, cedidos para este estudo, foi inserido sobre aquele das áreas dos setores censitários classificados pelos bairros. A partir disso, foi realizada uma análise da densidade desses pontos por bairro, de modo a identificar um padrão de contagens por área previamente agregada.

Nesse sentido, observou-se uma concentração de contagens na área central da cidade, com menor quantidade de pontos nas áreas periféricas, resultando na decisão de classificação dos bairros em intervalos específicos da quantidade de pontos de contagem neles inseridos.

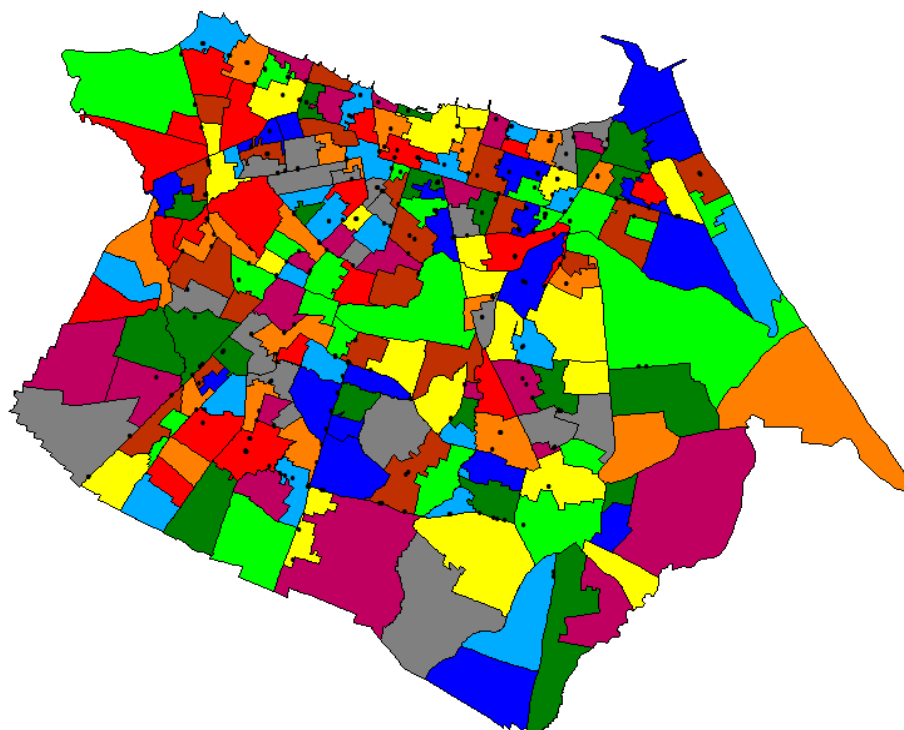
Dada a heterogeneidade da quantidade de pontos por bairros, optou-se pela divisão dos bairros com mais de um ponto de contagem de tráfego em função do agrupamento dos setores censitários, divididos em quatro grupos de bairros. A quantidade de zonas definidas por bairro é indicada na Tabela 1 de modo a homogeneizar os pontos de contagem dentro de uma mesma zona de tráfego.

**Tabela 1:** Grupos de bairros em função da densidade de pontos de contagem e quantidade de zonas resultantes da sua divisão

Grupo	Quantidade de pontos de contagem		Quantidade de bairros	Quantidade de zonas por bairro	Quantidade de zonas de tráfego
	Mínimo	Máximo			
1	0	1	60	1	60
2	2	4	38	2	76
3	5	10	16	3	48
4	11	20	4	5	20

As subdivisões dos bairros, ou agrupamento dos setores neles contidos, foram realizadas através de um método de clusterização que, no caso específico do problema tratado, preconiza o agrupamento dos setores censitários em um número finito de conjuntos (ou *clusters*) tendo-se em vista a minimização da soma das distâncias euclidianas entre os centroides dessas áreas pertencentes a um mesmo agrupamento.

O *software* TransCAD, desenvolvido e comercializado pela mesma empresa do simulador ora utilizado, possui uma ferramenta para execução desse método, que foi utilizada apenas para obtenção do zoneamento final deste estudo de modelagem de tráfego. Optou-se por utilizar esse *software*, pois tal ferramenta de agrupamento de áreas não existe no *software* TransModeler. Além disso, os agrupamentos feitos para gerar o zoneamento de tráfego para Fortaleza apresentaram um resultado muito satisfatório quando utilizado o TransCAD. Finalmente, após aplicação do método de clusterização aos 58 bairros com mais de um ponto de contagem (pontos pretos no mapa) foram obtidas 205 zonas para a modelagem de tráfego da cidade de Fortaleza conforme ilustrado na Figura 2.



**Figura 2:** Zoneamento proposto para a modelagem de tráfego no município de Fortaleza/CE com os sensores de coleta.

Nos estudos de simulação de tráfego, os centroides representam, em um único ponto, as viagens geradas e atraídas por uma zona de tráfego. Em particular, este simulador utilizado exige a criação dos centroides para a alocação da viagens da matriz na rede. Esses pontos são ligados à rede viária por meio dos conectores. Dessa forma, foram inseridos os centroides e os conectores das 205 zonas de tráfego. Além disso, foram criados sete centroides adicionais, que foram conectados com as rodovias que configuram entradas e saídas importantes da rede viária de Fortaleza. Selecionaram-se vias com hierarquia diferente de “LOCAIS”, existentes nas extremidades da rede, para que fossem conectados esses centroides.

### **3. PROCESSO DE AJUSTE E VALIDAÇÃO**

Depois de obter a rede e o zoneamento de tráfego, foi possível ajustar uma matriz sintética origem destino pelas contagens de tráfego e refinar esse ajuste com as submatrizes obtidas com os dados de placas veiculares. Como acontece com os modelos de tráfego, as áreas são representadas por um ponto, chamado centroide e as viagens serão geradas apenas de centroide para centroide da rede. Uma vez que não existiam matrizes para serem utilizadas como semente, foi gerada uma matriz sintética com 01 viagem para todos os pares OD a fim de ajustar essa matriz pelas contagens de tráfego.

Entrando somente com as contagens veiculares existentes, a matriz OD sintética e a rede de tráfego, o *software* realizou uma série de iterações até encontrar uma matriz ajustada que conseguiu representar as viagens que foram alocadas nos arcos. Nesse caso, o método que melhor ajustou a matriz foi o *N Conjugate UE* (Método Nielsen atrelado ao Equilíbrio do Usuário) em conjunto com a função de atraso *Bureau of Public Roads* (BPR).

A função BPR é uma função de atraso não linear desenvolvida pela *Federal Highway Administration* (FHWA) que ajusta uma equação polinomial com as curvas de fluxo-velocidade para vias expressas. A sua formulação é apresentada conforme a Equação 1.

$$t = t_0 \left[ 1 + \alpha \left( \frac{V}{C} \right)^\beta \right], \quad (1)$$

Em que

- t: tempo de viagem total esperado;
- t<sub>0</sub>: tempo de viagem em fluxo livre;
- V: volume destinado ao segmento em veículos/hora/faixa;
- C: capacidade do segmento em veículos/hora/faixa;
- α e β: parâmetros da função a serem ajustados.

Essa função define α como a proporção do tempo de viagem por unidade de distância na situação em que o volume é igual a capacidade e o tempo de viagem esperado para velocidade de fluxo livre. De acordo com Mtoi e Moses (2014), geralmente, o valor de α é definido como 0,15. O parâmetro β determina quão abrupto o tempo de viagem esperado aumenta de uma situação sem congestionamento para condições de congestionamento, sendo, quanto maior o seu valor, menor é o efeito do atraso para valores de Volume/Capacidade (V/C) menores do que um e maior o efeito para valores maiores do que um. Ainda no mesmo estudo, Mtoi e Moses (2014) citaram que, geralmente, o valor de β é definido como 4. Mesmo sendo a VDF mais utilizada, Singh e Dowling (2002) afirmaram que a função BPR com esses valores (0,15 e 4) tendem a superestimar as velocidades para valores de V/C maiores que 1 e tendem a subestimar velocidades para V/C menores que 1. A Tabela 1 apresenta os valores de capacidade, velocidade de fluxo livre e dos parâmetros de ajuste α e β utilizados para cada classe de via existente na rede. Com exceção das velocidades, que foram estimadas com base no conhecimento das vias da rede, os outros parâmetros foram mantidos os padrões do *software*.

**Tabela 2:** Valores utilizados nos parâmetros de cada classe da via.

Classe da via	Capacidade (veic/h/faixa)	Velocidade de fluxo livre (km/h)	α	β
EXPRESSA	2200	80	0,8	8,0
ARTERIAL I	1900	60	0,8	4,0
ARTERIAL II	1900	50	0,8	4,0
COLETORA	1900	40	0,6	3,0
LOCAL	1900	30	0,6	2,0

Em Caliper (2014) é explanado que o ajuste das matrizes OD pelo simulador ora utilizado é baseada nos trabalhos de Nielsen (1993, 1998). O método de Nielsen é um processo iterativo no qual alterna fases de atribuição do tráfego e ajuste da matriz OD, bastando para isso uma matriz inicial como dado de entrada, que pode ser uma matriz padrão, baseada em contagens anteriores ou ainda, uma matriz sintética. Este método possui certas vantagens, pois considera as contagens como variáveis estocásticas, bem como se ajusta a qualquer outro método de atribuição do tráfego. Dessa forma, torna-se atraente para a utilização em conjunto com o método de atribuição de tráfego baseado no equilíbrio do usuário, fenômeno este que

corresponde à situação na qual nenhum usuário da rede consegue reduzir seu próprio tempo de viagem através de uma mudança de rota (Wardrop, 1952). Na prática, esse método apresentou o melhor ajuste em comparação com os outros métodos oferecidos pelo *software*.

Diante do exposto e após executar o ajuste, foram gerados mapas de alocação e gráficos de dispersão, comparando as contagens e os volumes de tráfego obtidos depois do ajuste. Com a realização dos passos apresentados, foi alcançada a calibração da matriz origem destino, para a cidade de Fortaleza, utilizando os dados dos sensores de fiscalização existentes na malha viária. É importante ressaltar que, até esse momento, os ajustes com as placas coletadas pelos sensores ainda não foram incorporados a essa matriz.

#### **4. INCORPORAÇÃO DOS DADOS DE PLACA AO MODELO**

Nos próximos passos, foram incorporados os dados de placa coletados pelos sensores e consequentemente possíveis erros puderam ser corrigidos, principalmente nos sensores que apresentaram grande diferença entre os volumes das contagens feitas em campo e dos alocados pelo *software* TransModeler. Assim, procurou-se diminuir os erros, inclusive identificando os principais caminhos que não foram incluídos pelo modelo.

O *software* permite realizar um procedimento no qual é possível identificar a matriz origem destino das viagens que passam por um ou dois trechos de uma malha viária. Ou seja, é possível verificar a quantidade de viagens que passam em um ou dois trechos da malha viária e também obter a matriz origem destino apenas das viagens que passam por esses *links*.

Desta forma, pôde-se verificar a quantidade de viagens que foram alocadas em um ponto da rede com os dados de placa obtidos por um sensor de fiscalização e assim proceder a validação das viagens. Esse procedimento ajustou manualmente alguns sensores de interesse dentro do município de Fortaleza, refinando a geração da matriz origem destino. Após alcançado o ajuste dos sensores desejados, fazendo com que os volumes alocados ficassem mais próximos dos volumes das contagens, foram verificados todos os sensores nos quais existiam a passagem de veículos em dois sensores de tráfego. O primeiro passo executado foi verificar os sensores que apresentavam maior número de passagem em outros sensores. O mesmo processo feito no procedimento anterior para colocar um fator e ajustar as viagens da matriz foi realizado nesse momento.

Em alguns casos, o programa identificou que nenhuma viagem foi encontrada entre aqueles *links*. Nesse caso, foi inserido o número de viagens dentro da matriz OD. Além disso, após feita as modificações na rede foi necessário rodar novamente a simulação para que todas as alterações realizadas anteriormente na matriz fossem alocadas na rede viária.

Vale ressaltar que o ajuste de uma matriz OD é um processo iterativo. Inicialmente são informadas a rede, as contagens e uma matriz semente para que seja feito o primeiro ajuste. Ao longo de todo o processo, foram necessários alguns ajustes, principalmente na rede e na matriz semente, que após serem corrigidos, devem ser colocados novamente no modelo e reajustados. Além disso, como a matriz semente inicial foi uma matriz sintética (com um número fixo de viagens para todos os pares origem destino) essa matriz também necessitou de correções constantes, as quais foram feitas com a ajuda dos dados de placas.

Dessa forma, quando algum erro era encontrado na rede (hierarquia, sentido do tráfego, número de faixas ou conectores), esse era corrigido na rede viária. Caso o problema fosse na matriz, essa também era corrigida conforme. Em ambos os casos, era executado mais uma vez o



procedimento de ajuste da matriz pelas contagens. Assim, os dados de contagens eram sempre utilizados para o ajuste e os dados de placas eram utilizados para corrigir erros pontuais encontrados na matriz.

### 5. RESULTADOS DE VERIFICAÇÃO DA MATRIZ

Realizaram-se os procedimentos desta pesquisa até que se encontrassem resultados satisfatórios. Desta forma, foi possível obter um mapa com o carregamento das vias de Fortaleza, que pode ser observado na Figura 3. Ressalta-se um alto carregamento em vias expressas como a BR116, conforme o esperado. As vias próximas ao centro apresentam carregamentos maiores no sentido centro, uma vez que foi ajustada para o pico manhã.

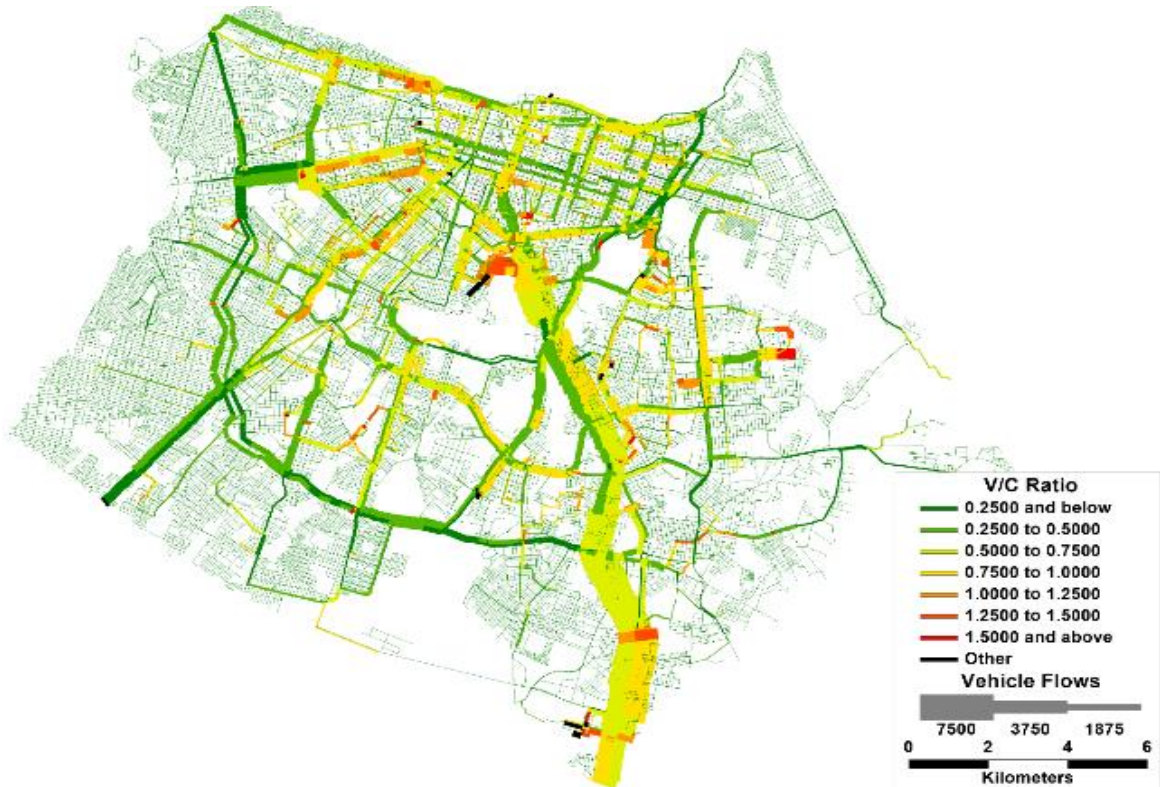
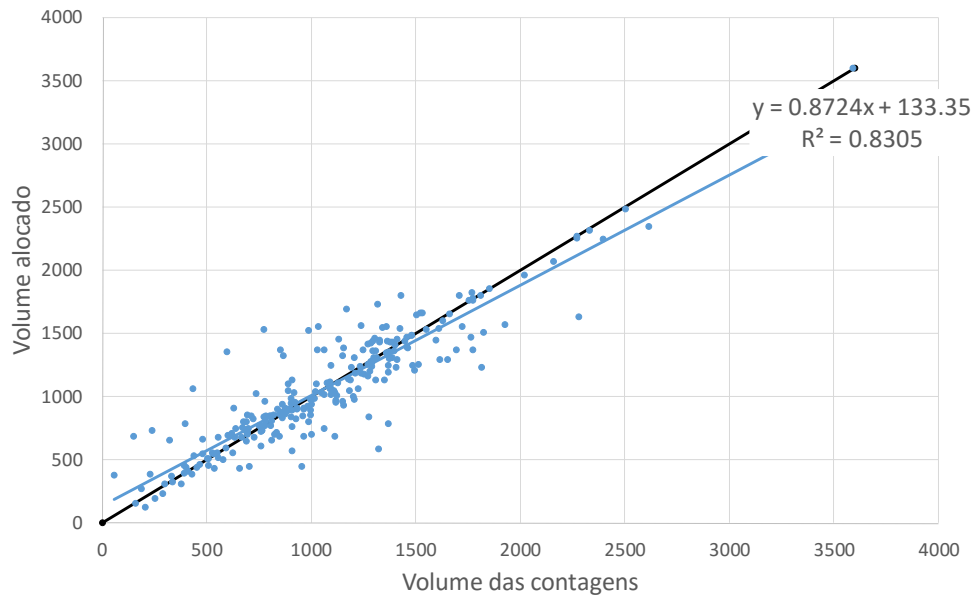


Figura 3: Mapa com o carregamento da malha viária de Fortaleza para o ano de 2015.

Além disso, foi feito um gráfico de dispersão entre os volumes observados nas contagens e os volumes da matriz origem destino alocada na rede viária, apresentado na Figura 4. Observa-se que foi possível obter um  $R^2$  (coeficiente de determinação) próximo a 0,83. A inclinação da reta também ficou próxima a 1 (0,87), indicando que após o ajuste e a validação da matriz os valores observados e alocados ficaram próximos. Optou-se também por manter a constante na origem dos eixos e foram obtidos valores muito semelhantes aos já explanados, ficando a inclinação da reta e o  $R^2$  iguais a 0,97 e 0,82, respectivamente.



**Figura 4:** Gráfico de dispersão dos volumes alocado e do volume observado nas contagens.

Insta mencionar que após o término de cada simulação era realizada a análise de gráficos semelhantes ao apresentado na Figura 4, que de certa forma funcionou como um critério de parada. Depois de um certo número de simulações, percebeu-se que já não havia mais ganho significativo na redução do erro, como também, os pontos estavam bem ajustados à reta.

## 6. CONCLUSÕES

Foram apresentados os procedimentos realizados para o ajuste da matriz origem destino a partir de sensores de fiscalização. Em particular, esse projeto foi feito para o município de Fortaleza e os sensores que existem em sua malha viária. Mais do que apresentar um resultado final, esse foi um importante exercício para a geração de um método para que as contagens e os dados de placas fossem incorporados a um modelo de ajuste de uma matriz origem destino para todo o município. O *software* utilizado foi o TransModeler, que, por se tratar de um simulador híbrido, possui ferramentas inerentes ao três níveis de agregação, macro, meso e micro.

É importante observar que durante todo o procedimento utilizou-se as duas partes (macro e micro) do simulador de tráfego. O ajuste de matriz origem destino é feito com um modelo macroscópico de simulação, que utiliza curvas BPR para o atraso nos *links*. Já os ajustes pelos dados de placas foram feitos com a parte microscópica do simulador, apresentando diferentes características de alocação das viagens. Dessa forma, como o ajuste deu-se para uma região extensa, em que não seria possível ajustar características de uma rede micro, como semáforos por exemplo, deu-se prioridade para ajustar a matriz a partir do modelo macro utilizado pelo *software*.

Vale ressaltar que a incorporação dos dados de placa no ajuste da matriz OD foi realizado manualmente, sendo realizado para alguns sensores de fiscalização. Para um ajuste mais preciso, os procedimentos apresentados anteriormente devem ser feitos para todos os sensores da rede viária, ajustando as viagens alocadas em um segundo sensor. Em uma região reduzida ou na avaliação de uma quantidade menor de sensores, o ajuste manual de uma matriz pelos dados de placas torna-se bem mais viável.

Ao final da aplicação do método, obteve-se resultados satisfatórios no ajuste da matriz OD,

com o mapa de carregamento da rede viária obtido apresentando características semelhantes com os resultados esperados para o município de Fortaleza e próximo das contagens de tráfego fornecidas. Em futuras pesquisas e aplicações, pode-se usar o método novamente, para uma atualização da matriz, sendo a matriz atual utilizada como matriz semente.

Como recomendação final, ressalta-se que o método apresentado nessa pesquisa têm grande potencial para aplicação nas duas grandes áreas da engenharia de transportes. Inicialmente, os resultados podem auxiliar na realização de atividades de planejamento das redes de transporte, sendo necessário, para tanto, a obtenção de dados dos demais modos de transporte e das características socioeconômicas dos usuários da rede. Por outro lado, os resultados, ainda, podem ser utilizados de forma imediata como base para programas de gestão de pavimentação e de sinalização das vias, pois com o método é possível acompanhar a evolução do carregamento do fluxo das vias e assim identificar as vias mais demandadas, de modo a permitir que os gestores possam atuar de forma preventiva na manutenção da infraestrutura viária do município.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem às empresas: Transitar Consultoria e Engenharia; MOBIT – Mobilidade Iluminação e Tecnologia LTDA; e a Prefeitura Municipal de Fortaleza pelo apoio à realização deste projeto de grande importância para a cidade de Fortaleza/CE no tocante a mobilidade urbana.

#### **REFERÊNCIAS**

- Aquino, E. A. (2013) Validação do modelo mesoscópico de tráfego do SCOOT para o desenvolvimento de redes viárias urbanas microssimuladas. 84 p. Dissertação (mestrado) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Barceló, J. (2010) Fundamentals Traffic Simulations. International Series in Operations Research & Management Science, v.145, Ed. Springer.
- Bera, S., Rao, K.V.K. (2011) Estimation of Origin-Destination Matrix from Traffic Counts: The State of the Art, *European Transport*, Trasporti Europei, 49, pp. 2-23.
- Caliper (2014) TransModeler Traffic Simulation Model User's Guide Version 4.0. *Caliper Corporation*, EUA.
- Guerra A. L.; Barbosa H. M.; Oliveira, L. K. (2013) Metodologia para determinação de matrizorigem/destino utilizando dados do sistema de bilhetagem eletrônica. In: XXVII Congresso da ANPET, 2013, Belém. Anais do XXVII ANPET, 2013. P. 1-12.
- Hourdakis, J., P. G. Michalopoulos e J. Kottommannil (2003) Practical Procedure for Calibrating Microscopic Traffic Simulation Models. *Transportation Research Record*, n. 1852, p. 130-139.
- IBGE (2015). <http://censo2010.ibge.gov.br/materiais/guia-do-censo/operacao-censitaria.html> (acessado em 24/8/2015)
- May, A. D. (1990). *Traffic Flow Fundamentals*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., EUA.
- Medeiros, A. L. (2012). Aplicabilidade de Algoritmos Genéticos para Calibração de Redes Viárias Urbanas Microssimuladas. 77 p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Mtoi, E.T. e Moses, R. (2014) Calibration and Evaluation of Link Congestion Functions: Applying Intrinsic Sensitivity of Link Speed as a Practical Consideration to Heterogeneous Facility Types within Urban Network. *Journal of Transportation Technologies*, 4, 141-149.
- Singh, R.; Dowling, R. (2002) Improved Speed-Flow Relationships: Application to Transportation Planning Models. In: *Proc. 7th TRB Conference on the Application of Transportation Planning Methods*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 340-349.
- Sousa, J. Q. (2012). Modelagem Microscópica Aplicada na Avaliação do Desempenho da Segurança Viária Em Interseções Urbanas. Dissertação (Mestrado) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Wardrop, J. G. (1952) Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research. *Proceedings. Institution of Civil Engineering*, 1, Part II, p. 352-378.
- Willumsen, L. G. (1981) Simplified Transport Models based on Traffic Counts. *Transportation*, n.10, p. 257-278.

---

André Luis Medeiros (andremed\_1@yahoo.com.br)  
Fernando José Piva (fjpiva@usp.br)  
Janailson Queiroz Sousa (janailsonqs@gmail.com)  
Eduardo Aquino de Araújo(eduardo.aquino@gmail.com)