

# Análise de mobilidade urbana através de dados da rede de telefonia móvel celular

Pablo A. A. Araújo, Teobaldo L. B. Júnior, Yuri G. Dantas, Alisson V. Brito,  
Alexandre N. Duarte

Centro de Informática – Universidade Federal da Paraíba (UFPB)  
Cep – 58059-900– João Pessoa – PB – Brasil

{pablo.andrey, teojuniorpb}@gmail.com, ygd@di.ufpb.br,  
alissonbrito@ccae.ufpb.br, alexandre@di.ufpb.br

***Abstract.** With the economic growth in recent years, many brazilian cities have also encountered problems such as population growth, traffic jam and violence. At the same time, the economic power of residents has grown, allowing many to acquire electronic devices such as mobile phones, with Brazil crossing the edge of a cell phone per person. Taking advantage of this scenario, this paper aims examine the feasibility of using traffic simulators, associated with mobility data from mobile phones to analysis and prediction of patterns of urban mobility.*

***Resumo.** Com o crescimento econômico vivido nos últimos anos, muitas cidades brasileiras têm também se deparado com problemas como o aumento populacional, congestionamento de veículos e a violência. Ao mesmo tempo, o poder aquisitivo dos habitantes tem crescido, permitindo que muitos possam adquirir novos equipamentos, como os celulares, tendo o Brasil ultrapassado a barreira de um telefone celular por habitante. Aproveitando esse cenário, o objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade de utilização de simuladores de tráfego, associados a dados de mobilidade de dispositivos móveis celulares para análise e previsão de padrões de mobilidade urbana.*

## 1. Introdução

Durante a última década, o Brasil tem vivido uma fase especial, com um ascendente crescimento econômico. Alvo de fortes investimentos, o país vem ganhando posições de destaque no cenário internacional. Internamente, a população brasileira, com um poder aquisitivo maior, vem adquirindo novos produtos, acompanhando o mercado com as inovações tecnológicas. Um exemplo é a utilização da rede de telefonia móvel celular. Dados de novembro de 2011 revelam que o Brasil possui hoje mais aparelhos celulares do que habitantes, na proporção de 120 celulares/100 habitantes, segundo a TELECO (2011).

Outros setores da economia também não param de crescer. Atrelada aos programas governamentais de concessão de crédito, a construção civil brasileira tem batido recordes nas cidades brasileiras. Segundo o Ministério das Cidades (2011), só o programa Minha Casa, Minha Vida, do governo federal, prevê a construção de dois milhões de moradias até o ano de 2014. O setor automobilístico também vem batendo recordes de vendas. No ano de 2010 foram vendidos quase 6 milhões de automóveis,

indicando uma alta de 12,42% em relação ao ano anterior, segundo dados da FENABRAVE (2011).

O atual cenário de crescimento contrasta-se com um sério problema de planejamento urbano. Enquanto as cidades estão sendo cercadas por imóveis e construções, e o número de automóveis ingressando e/ou circulando nas ruas não para de crescer, o planejamento para o crescimento organizado da cidade não é levado em consideração. As avenidas não estão mais suportando o grande fluxo de automóveis. Determinadas localidades não suportam mais construções para moradia, devido à falta de infra-estrutura e/ou vias de acesso.

Portanto, diante da constatação de problemas relacionados ao planejamento nas grandes cidades brasileiras, questiona-se: como se apresenta a mobilidade humana no ambiente urbano? O entendimento de como a população se movimenta na cidade é um ponto chave para dar início ao processo de planejamento urbano. Descobrir de onde as pessoas vêm e para onde vão pode facilitar o processo de locomoção urbana, deixando a vida na cidade menos caótica e com um maior dinamismo. O uso da rede de telefonia celular, utilizando os telefones celulares dos habitantes de forma anônima, como um agente de localização e deslocamento pode ajudar a entender essa dinâmica.

O objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade de se utilizar simuladores de tráfego associados a dados de mobilidade de dispositivos móveis celulares para análise e previsão de padrões de mobilidade urbana.

Este artigo está organizado da seguinte maneira: a seção 2 aborda trabalhos relacionados ao uso da rede de telefonia celular objetivando a melhoria da mobilidade urbana. A seção 3 apresenta o SUMO – *Simulation of Urban Mobility*, usado para a realização das simulações; a seção 4 descreve os cenários (fictícios) utilizados para a realização das simulações; na seção 5 mostramos os resultados obtidos a partir dos cenários de simulação. Por fim, a conclusão.

## **2. Trabalhos Relacionados**

Visando compreender o verdadeiro efeito deste trabalho, abordaremos a seguir diversos estudos que envolvem o tema mobilidade urbana utilizando os dados da rede de telefonia celular.

Calabrese, D'Iorio e Carlo Ratti (2010) analisaram a área de cobertura da rede de telefonia celular móvel, observando o movimento entre as oito cidades localizadas na área leste de Massachusetts (Middlesex, Suffolk, Essex, Worcester, Norfolk, Bristol, Plymouth, Barnstable), a qual possuía uma população aproximada de 5,5 milhões de pessoas. Foi analisado um conjunto de dados com 829 milhões de entradas, com localizações anônimas estimadas, de aproximadamente 1 milhão de aparelhos celulares (correspondente a aproximadamente 20% de população) no período de 4 meses. O objetivo do estudo consistiu em compreender e prever a mobilidade urbana, que é um componente fundamental para o gerenciamento e planejamento do transporte das pessoas. No trabalho desses autores é proposto um novo modelo capaz de prever a localização de uma pessoa, ao longo do tempo, baseado nos comportamentos individuais e coletivos. O modelo é caracterizado por se basear na trajetória do passado da pessoa, bem como das características geográficas inerentes à área onde a coletividade

se locomove, tanto em termos de utilização do solo, pontos de interesse das pessoas e distâncias percorridas.

Andres Sevtsuk e Carlo Ratti (2009) investigaram em seu artigo os padrões da mobilidade urbana na cidade de Roma, para constatar se a população da cidade segue um padrão de rotina diária e semanal em diferentes partes da cidade. Eles constataram que existem mudanças significativas na atividade urbana em horários, dias e semanas diferentes. Os autores focaram o estudo em locais geográficos ao invés de indivíduos. O estudo foi realizado durante 7 semanas com a operadora de telefonia celular TIM, que possuía o maior número de usuários na Itália, com aproximadamente 40% dos consumidores em 2006, usando intervalos de 1 hora. Foi utilizada a medida Erlang como um indicador de distribuição populacional. Erlang é uma medida de tráfego telefônico, que equivale a 1 hora completa de conversação telefônica.

Outro trabalho de Carlo Ratti *at al* (2007), informa que foi aberto o caminho para o desenvolvimento de novas aplicações, que seriam serviços baseados em localização, podendo tornar-se uma poderosa ferramenta para o desenho urbano. Foi realizado um estudo na cidade de Graz, Áustria, onde foram desenvolvidos 3 tipos de mapas da área urbana: o primeiro tratava do tráfego intenso de celulares, o segundo da migração do tráfego e o terceiro do roteiro dos usuários de telefone, ou seja, a forma que os usuários de locomovem na cidade. O objetivo do trabalho foi o de expandir métodos, integrando uma componente espacial para visualizar o uso das telecomunicações, logo, os objetivos dos mapas são: permitir a visualização da cidade através de uma perspectiva invisível além de usar animação nos próprios mapas para simular a dinâmica da cidade em tempo-real.

Keemin Sohn e Daehyun Kim (2008) objetivam, em seu artigo, o desenvolvimento de uma nova estimativa de aproximação da dinâmica de origem-destino, utilizando o tráfego da telefonia celular. Eles utilizaram diversas abordagens estatísticas como o filtro de Kalman e a estimação Bayesiana. Concluiu-se que os dados obtidos, provenientes dos telefones celulares, eram aplicáveis aos fluxos de origem e destino.

Chaoming Song, Zehui Qu, Nicholas Blumm e Albert-László Barabási (2010) em seu artigo exploram aspectos pertinentes à previsão da mobilidade urbana através de dados de usuários anônimos da rede de telefonia celular.

Por fim, Marta C. Gonzalez, Cesar A. Hidalgo e Albert-László Barabási (2009) também analisaram dados da rede de telefonia celular, objetivando entender os padrões da mobilidade urbana. Em estudo realizado na trajetória de 100 mil usuários de telefone celular, durante seis meses, os autores detectaram um alto grau de regularidade espacial e temporal.

Os trabalhos relacionados utilizaram-se de apenas um propósito: analisar os dados colhidos anonimamente da rede de telefonia celular. Diferentemente disto, estamos propondo a utilização dos dados colhidos para realizar simulações de tráfego. Assim, podemos criar uma ferramenta com dados históricos da mobilidade urbana para prever ações futuras.

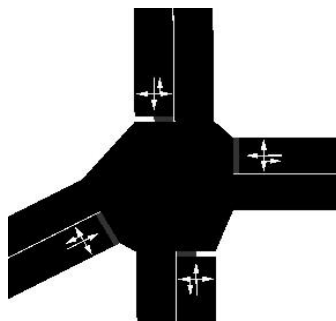
### 3. SUMO

Segundo Behrisch *at al* (2011), o SUMO – *Simulation of Urban Mobility* é um sistema de código aberto desenvolvido e mantido pelo Instituto de Sistemas de Transportes do Centro Aeroespacial da Alemanha, com a finalidade de realizar simulações com tráfego de veículos. Com pequenas adaptações, este sistema permite-nos simular situações reais de usuários da rede de telefonia celular de forma a entender como se dá o deslocamento da população nos centros urbanos.

Em um centro urbano existem dezenas de torres de transmissão da rede de telefonia celular, que são denominadas Estação Rádio-Base. Estas estações atendem uma determinada área de cobertura, a qual recebe o nome de célula. A análise da quantidade de usuários associados a cada célula, em horários e dias diferentes, é um fator importante para saber de onde as pessoas vêm e para onde vão.

O SUMO foi escolhido para este trabalho por ter atendido a uma série de requisitos necessários para simular as situações reais, de acordo com o processo de deslocamento da população que utiliza a rede de telefonia celular. Os requisitos estão detalhados abaixo:

- Importação de mapas: Behrisch *at al* (2011) dizem que uma das principais características do SUMO é a possibilidade de importação de mapas, no formato XML, a partir do *OpenStreetMap*. A importação é feita de modo que o sistema reconheça fielmente os sentidos de mão e contramão das ruas e avenidas da cidade que se deseja trabalhar. A figura 1 mostra o detalhe de um cruzamento de avenidas de um mapa que foi importado para o SUMO.



**Figura 1. Detalhe de cruzamento no SUMO**

- Customização do mapa: O SUMO permite a customização do mapa importado, podendo com isso incluir pontos fixos dos mais variados formatos. Isto é importante para delimitar cada célula;
- Inclusão de pontos móveis: Veículos e ônibus podem ser adicionados na simulação com o SUMO, podendo ser atribuídos valores da velocidade de deslocamento de cada um, além da definição da origem e destino;
- Geração de *log*: Com o SUMO, é possível gerar um arquivo de *log* do tempo de simulação, que é necessário para a realização de análise mais detalhada posteriormente, além de servir para a criação de gráficos com a finalidade de entender melhor o deslocamento entre as regiões de cobertura das torres de transmissão de telefonia celular.

#### 4. Cenários para as simulações

Os cenários desenvolvidos para serem executados com o SUMO seguiram algumas características peculiares, em conformidade com o que acontece no mundo real. Para isso, utilizamos um mapa, exportado do *OpenStreetMap*, com uma área da cidade de João Pessoa, Paraíba. Esta área da cidade, que foi utilizada nos três cenários, contemplava, para cada um deles, divisões diferentes, tanto em relação à quantidade de células quanto ao número de veículos inseridos para a realização da simulação.

O número de veículos adicionados à simulação corresponde ao número de usuários que utilizam a rede de telefonia celular e estão inseridos na área de cobertura das células. Estes veículos deslocam-se pelas ruas e avenidas com origem e destino pré-definidos. Uma vez que ingressam na área de cobertura de uma determinada célula, procedimento este não percebido no mundo real por parte dos usuários de telefonia celular, os veículos possuem uma precedência, ou seja, uma região de origem. Uma das importâncias da simulação é identificar a origem dos veículos ao ingressarem em uma área de cobertura de determinada célula.

Todos os dados inseridos na simulação são fictícios. Definimos um número de usuários associados a cada célula, que são representados por veículos, alterando esse número de acordo com o tempo de execução. As células foram simbolizadas no mapa como uma área em formato hexagonal. A descrição dos cenários desenvolvidos encontra-se abaixo:

##### 4.1. Cenário 1

O objetivo do cenário 1 foi testar se o SUMO seria capaz de capturar o movimento dos veículos entre as células e gerar corretamente um *log* para a realização de análises. Para isso, foram delimitadas quatro áreas em formato hexagonal, simbolizando as células.

A quantidade inicial e final de veículos em cada célula pode ser visto nas tabelas 1 e 2:

**Tabela 1. Quantidade inicial de veículos por célula no cenário 1**

Célula	Veículos
A	15
B	20
C	0
D	0

**Tabela 2. Quantidade final de veículos por célula no cenário 1**

Célula	Veículos
A	20
B	15
C	0
D	0

Os veículos da célula A deveriam trafegar até a célula B, obrigatoriamente passando pelas células C e D. Já os veículos da célula B deveriam trafegar até a célula A, passando obrigatoriamente pelas células D e C. As informações da quantidade de veículos por célula deveriam ser armazenadas em um arquivo de *log*, a cada instante da

simulação, para saber em que posição cada veículo se encontrava, ou seja, no momento em que um veículo ingressava em uma área de cobertura de uma célula, o arquivo de log deveria incrementar a célula correspondente, além de decrementar a célula de origem do veículo.

A figura 2 mostra graficamente a quantidade de veículos nos estados inicial e final de cada célula, além do movimento que os veículos deveriam fazer. Também é mostrada a implementação das células no SUMO, com a área escolhida do mapa da cidade de João Pessoa. As células foram implementadas em cores diferentes, apenas por questões visuais.



Figura 2. Cenário 1

Este cenário é importante para detectar o momento em que os veículos ingressam em outras regiões da cidade, representadas pelas células. No mundo real, os usuários da rede de telefonia celular deslocam-se naturalmente pelas ruas e avenidas da cidade. Em alguns momentos, certas regiões estão saturadas de pessoas. Detectar essas regiões e os momentos são passos importantes para se projetar novos meios de planejamento urbano.

#### 4.2. Cenário 2

O cenário 2 tinha como objetivo testar se o simulador seria capaz de capturar corretamente o ingresso de veículos de fora da área de cobertura das células, o movimento dos veículos entre as células e gerar corretamente um log para a realização de análises. Utilizamos, para este cenário, 7 células, simbolizando as torres de transmissão da rede de telefonia celular. Adicionamos também dois pontos externos, simulando regiões de fora da área de cobertura das células.

Os veículos deveriam circular pelas regiões do mapa e depois voltar ao seu ponto de origem. A tabela 3 mostra a quantidade de veículos nos estados inicial e final em cada célula. Já a tabela 4 mostra a quantidade de veículos nos estados inicial e final em cada ponto externo.

Tabela 3. Quantidade inicial e final de veículos por célula no cenário 2

Célula	Veículos
A	64
B	50
C	100
D	30
E	56
F	60
G	150

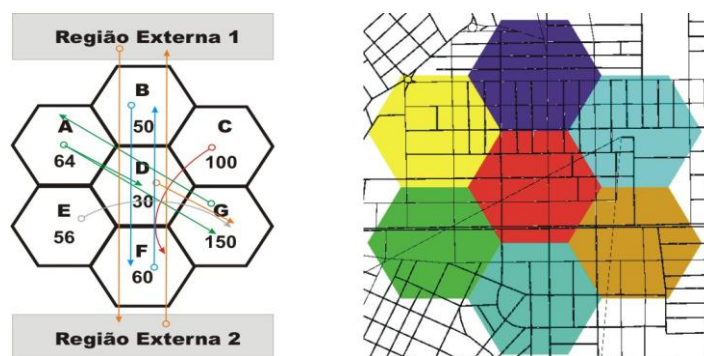
**Tabela 4. Quantidade inicial e final de veículos por ponto externo no cenário 2**

Ponto Externo	Veículos
1	20
2	20

O movimento dos veículos dentro da área de cobertura das regiões deveria funcionar da seguinte maneira:

- 30 veículos da Célula A deveriam ir à Célula D, e os outros 34 deveriam ir à Célula G. Depois todos deveriam voltar à Célula A;
- Todos os veículos da Célula B deveriam ir à Célula F, passando obrigatoriamente pela Célula D, e depois voltar à sua origem;
- Todos os veículos da Célula C deveriam fazer o mesmo movimento da Célula B, ou seja, ir até a Célula F passando pela Célula D e voltar à origem;
- Todos os veículos da Célula D deveriam ir à Célula G e voltar à Célula D;
- Todos os veículos da Célula E deveriam ir à Célula G, passando obrigatoriamente pela Célula D e voltar à Célula E;
- Todos os veículos da Célula F deveriam ir à Célula B, passando obrigatoriamente pela Célula D, e depois voltar;
- Todos os veículos da Célula G deveriam ir à Célula A, passando obrigatoriamente pela Célula D, e depois voltar.

Os veículos da região externa 1 deveriam ir à região externa 2, e os veículos da região externa 2 deveriam ir à região externa 1, ambos passando pelas células que se encontravam entre os pontos externos. A figura 2 mostra graficamente o cenário 2.



**Figura 3. Cenário 2**

A importância deste cenário é detectar o momento em que os veículos de fora da área de cobertura das células ingressam em alguma área no mapa. No mundo real, poderia ser compreendido, por exemplo, como o ingresso de usuários de telefonia celular que tem como origem outra cidade.

## 5. Resultados

A execução de cada uma das simulações gerou um arquivo de *log*. A geração deste arquivo só foi possível devido ao desenvolvimento de um *script* em *python*, criado para esse propósito, e integrado ao SUMO através do *traci*, conforme publicação de Wegener

at al (2008). O arquivo de *log* armazenou informações sobre: tempo da simulação, quantidade total de veículos na simulação e quantidade de veículos em cada célula, variando de acordo com o tempo da simulação.

Os resultados dos cenários podem ser visualizados a seguir.

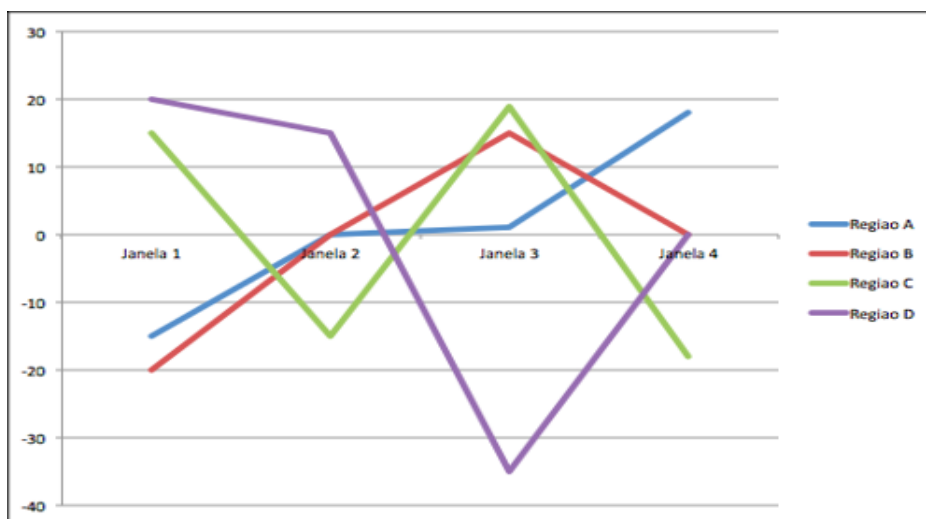
### 5.1. Cenário 1

Para um melhor entendimento sobre o que aconteceu durante a simulação do cenário 1, o arquivo de *log* gerado a partir da simulação foi dividido em 4 partes, chamadas de janelas. Estas partes foram divididas de acordo com o tempo da simulação. Para cada janela, obteve-se a variação de veículos em cada uma das células, a fim de se concluir quantos veículos estão saindo e quantos estão entrando nas regiões. A tabela 5 mostra o resultado dessas variações.

**Tabela 5. Variação de veículos por célula, após a divisão por janelas, do cenário 1**

Janelas	Variação de veículos por célula			
	A	B	C	D
1	-15	-20	15	20
2	0	0	-15	15
3	1	15	19	-35
4	18	0	-18	0

Utilizando os dados obtidos a partir da tabela acima, montamos um gráfico para entender melhor o processo da variação de veículos em cada uma das janelas. A figura 4 mostra o gráfico:



**Figura 4. Resultado do cenário 1**

A figura 4, assim como a tabela 5, permite-nos provar que o arquivo de *log* foi gerado corretamente. No tempo de simulação dividido para a janela 1, os veículos já haviam saído das células A e B, e já se encontravam à caminho de seus destinos. Destacamos, porém, a janela 3. O período que compreende esta janela é marcado por uma grande quantidade de veículos na região da célula C e B. Isto pode significar, no mundo real, o momento de horário de pico, necessitando de vias alternativas.



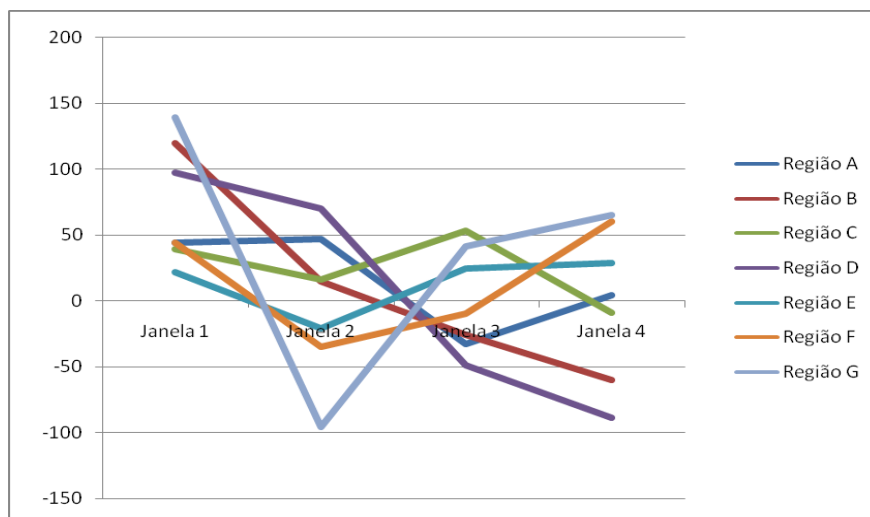
## 5.1. Cenário 2

Para o cenário 2, foi utilizada a mesma estratégia do cenário 1, ou seja, o arquivo de *log* foi dividido em 4 janelas. A tabela 6 mostra a variação de veículos em cada região.

**Tabela 6. Variação de veículos por célula, após a divisão por janelas, do cenário 2**

Janelas	Variação de veículos por célula						
	A	B	C	D	E	F	G
1	44	120	39	97	22	44	139
2	47	15	16	70	-21	-35	-96
3	-33	-26	53	-49	25	-10	41
4	4	-60	-9	-89	29	60	65

5. A partir da tabela 6, também foi gerado um gráfico, que pode ser visto na figura 5.



**Figura 5. Resultado do cenário 2**

A figura 5, referente ao cenário 2, também nos mostra diversas informações úteis, que, analisadas com uma maior profundidade, pode-se notar regiões com gargalos em diferentes horários, compreendidos pelas janelas.

## 6. Conclusão

Este trabalho estudou a viabilidade de se utilizar um simulador de tráfego, alimentado com dados de posicionamento de dispositivos móveis celulares e de áreas de cobertura de estações rádio-base, como ferramenta de estudo para mobilidade urbana. Os resultados iniciais indicam que tal ferramenta tem potencial para ser utilizada para identificar gargalos no sistema de trânsito através de uma correlação entre a malha viária e o posicionamento dos dispositivos móveis celulares.

O desenvolvimento deste trabalho acontece em um momento extremamente significativo e necessário no Brasil. O país sediará, em 2014, a Copa do Mundo de

Futebol, e a expectativa é que cerca de 600 mil estrangeiros visitem o país, fora os 3 milhões de brasileiros que irão circular internamente nas cidades-sede da copa, segundo o Ministério do Turismo (2011). O país ainda sediará, em 2016, as olimpíadas, maior evento esportivo do mundo, que trará também milhares de turistas, não apenas à cidade sede do Rio de Janeiro, mas também a outras cidades brasileiras que servirão como rota de turismo.

Dando continuidade à pesquisa, pretendemos estabelecer uma parceria com uma empresa de telefonia móvel celular com a finalidade de utilizar dados reais sobre posicionamento de estações móveis celulares para aferir a eficácia desta ferramenta no auxílio ao planejamento urbano.

## Referências

- Sevtsuk, A., Ratti C. (2009) “Does urban mobility have a daily routine? Explorations using aggregate mobile network data”.
- Sohn, K., Kim, D. (2008) “Dynamic Origin–Destination Flow Estimation Using Cellular Communication System”.
- Calabrese, F., Dilozenzo, G., and Ratti, C. (2010) “Human Mobility Prediction based on Individual and Collective Geographical Preferences” IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems.
- Song, C., Qu, Z., Blumm, N., & Barabasi, A. (2010). “Limits of Predictability in Human”.
- Ratti, C., Sevtsuk, A., Huang, S. & Pailer, R. (2007) Mobile Landscapes: Graz in Real Time. IN Gartner, G., Cartwright, W. & Peterson, M.P.
- Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J. e Krajzewicz, D. (2011) SUMO - Simulation of Urban MObility: An Overview.
- González, M., Hidalgo, C., e Barabási, A. (2009) “Understanding individual human mobility patterns”.
- Wegener, A., Piorowski, M., Raya, M., Hellbruck, H., Fischer, S., e Hubaux, J. (2008) “TraCI: An Interface for Coupling Road Traffic and Network Simulators”
- FENABRAVE. Disponível em: <http://www.fenabrave.com.br/principal/home/>. Acesso em: 20 de novembro de 2011.
- TELECO. Estatísticas sobre telefonia no Brasil. Disponível em: <http://www.teleco.com.br>. Acesso em: 01 de dezembro de 2011.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Disponível em: [http://www.cidades.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1071:pac-2-1o-balanco-aponta-investimentos-de-r955-bilhoes-ate-2014&catid=34:noticias&Itemid=61](http://www.cidades.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1071:pac-2-1o-balanco-aponta-investimentos-de-r955-bilhoes-ate-2014&catid=34:noticias&Itemid=61). Acesso em: 17 de novembro de 2011.
- BRASIL. Ministério do Turismo. Disponível em: [http://www.turismo.gov.br/turismo/noticias/todas\\_noticias/20110621-2.html](http://www.turismo.gov.br/turismo/noticias/todas_noticias/20110621-2.html). Acesso em: 17 de julho de 2011.