

# Análise de uma Rede *Ad Hoc* em um Ambiente Real Utilizando um Modelo de Mobilidade Realístico

Alberto Bengoa, Cristina M. Nunes

<sup>1</sup>Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS)

Faculdade de Informática

Av. Ipiranga, 6681 - Prédio 32 - 90619-900 - Porto Alegre - RS - Brazil

alberto@bengoa.com.br, cristina.nunes@pucrs.br

**Resumo.** *Um modelo é uma construção teórica que representa algo, com um conjunto de variáveis e um quantitativo relacionamento entre elas. Um modelo de mobilidade é uma representação de um cenário real ou hipotético que contém entidades em movimento. Entidades são objetos cuja localização é uma função de tempo, associada a alguma heurística inerente ao modelo de mobilidade [Capka and Boutaba 2005]. Inúmeros modelos de mobilidade têm sido propostos e utilizados nos últimos tempos para avaliar redes móveis. Este trabalho analisa uma rede ad hoc implementada em simuladores utilizando um modelo de mobilidade realístico, obtendo parâmetros de desempenho para o uso de dois protocolos de roteamento.*

## 1. Introdução

Redes *ad hoc* são formadas por nodos móveis, capazes de se comunicar diretamente, formando dinamicamente uma rede temporária, sem o uso de qualquer ponto de acesso centralizado ou estação de suporte à mobilidade [Pereira and Pedroza 2004]. Para que este comportamento seja possível, existem protocolos de roteamento que definem a maneira como os dispositivos de rede irão se comunicar e montar suas tabelas de rotas.

Modelos de mobilidade são ferramentas indispensáveis na simulação de sistemas móveis. Eles são capazes de gerar movimentos para cada nodo, permitindo a análise de uma considerável variedade de padrões e comportamentos. Há várias classificações [Yoon et al. 2006a][Musolesi and Mascolo 2007a] diferentes para os modelos de mobilidade em redes *ad hoc*. Dentre elas, existem os modelos de mobilidade sintéticos e os modelos de mobilidade realísticos.

Os modelos sintéticos, embora muito utilizados atualmente, não possuem a capacidade de reproduzir um comportamento próximo dos realizados por seres humanos. Neste sentido, há um crescente consenso na comunidade científica de que modelos como o *Random Walk* [Camp et al. 2002] e *Random Waypoint* [Camp et al. 2002] já não são mais apropriados para simulações com resultados significativos para muitos problemas [Capka and Boutaba 2005]. Embora esses modelos simplifiquem a análise, eles confiam em suposições irreais que não representam o comportamento humano na vida real.

Ao contrário dos modelos sintéticos, os modelos realísticos tentam simular ambientes próximos da realidade, inserindo nos cenários obstáculos que, por exemplo, simulem uma cidade, como prédios, ruas, casas e vegetação. Na maioria dos casos, a seleção do caminho é influenciada por vias, calçadas e obstáculos, como em um Campus

de uma Universidade, onde os indivíduos tendem a utilizar caminhos que interconectam os prédios, enquanto eventualmente outros podem desviar-se desses trajetos utilizando alternativas, como atravessar um gramado. Além disso, normalmente os destinos não são randômicos, mas prédios, restaurantes, estacionamentos e outras localizações específicas dentro do Campus, selecionados conforme a atividade a ser executada pelos indivíduos.

Neste trabalho, um cenário real foi modelado utilizando-se o modelo *Udel Mobility Model* [Kim and Bohacek 2005]. O cenário foi escolhido levando-se em consideração a aplicabilidade do modelo de mobilidade ao ambiente selecionado, como por exemplo a dimensão e a granularidade das áreas de cobertura e os perfis de movimentação dos nodos. Atualmente o Campus Central da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) possui cobertura de rede sem fio de modo infra-estrutura em áreas específicas de suas instalações. Porém, o acesso a estas redes não é público. Este trabalho utiliza as instalações do Campus Central da Universidade como cenário. No futuro, este trabalho poderá ser utilizado como base para uma eventual implementação de rede *ad hoc* na PUCRS.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: na segunda seção algumas iniciativas de modelos realísticos são elencadas. Na terceira, é realizada uma breve descrição de como este trabalho foi conduzido. Após, os resultados obtidos são apresentados, seguido de algumas considerações finais.

## 2. Trabalhos Relacionados

Sabe-se que os padrões de mobilidade definidos pelos modelos sintéticos não são necessariamente compatíveis com os movimentos realizados no mundo real. Por este motivo, pesquisadores têm se esforçado no sentido de fornecer padrões de mobilidade para redes móveis considerados “realísticos” [Capka and Boutaba 2005, Ghosh et al. 2006, Jardosh et al. 2003, Kim et al. 2006, Maeda et al. 2005, Musolesi and Mascolo 2007b, Tuduze and Gross 2005, Venkateswaran et al. 2006, Yoon et al. 2006b], através de diferentes abordagens para modelar a realidade.

Em [Jardosh et al. 2003] e [Venkateswaran et al. 2006] se observa a inclusão de obstáculos como prédios, cidades e rodovias na área simulada. Enquanto no primeiro a distribuição dos nodos e a escolha dos destinos é realizada de forma totalmente aleatória, no segundo há uma interação social que possibilita a escolha de um destino específico. O caminho e a velocidade de deslocamento dos nodos também variam, conforme o grupo que os mesmos pertencem num dado momento. O princípio de redes sociais também pode ser observado em [Musolesi and Mascolo 2007b], porém nesse modelo, a escolha do destino e da velocidade de deslocamento do nodo são eleitos aleatoriamente a cada nova iteração.

O objetivo de [Maeda et al. 2005] é reproduzir o fluxo real de pedestres, classificados em grupos de interesse de acordo com o seu comportamento. Esse fluxo indica como os pedestres se movem através de pontos geográficos, isto é, indica a rota por onde eles devem seguir. Segundo [Maeda et al. 2005], esse fluxo pode ser identificado através de observações nas ruas feitas de pontos de observações fixos, usando câmeras web, voluntários, entre outros. Para verificar se a simulação é semelhante com a realidade, [Maeda et al. 2005] compara a densidade de pedestres geradas pelo modelo com a densidade obtida em situações reais.

Outra maneira encontrada para identificar os padrões de movimentos do mundo real foi através da análise de registros de redes sem fio [Ghosh et al. 2006, Kim et al. 2006, Tuduce and Gross 2005, Yoon et al. 2006b]. A partir desses padrões, é possível criar perfis de mobilidade indicando os locais visitados e duas probabilidades ([Ghosh et al. 2006] e [Yoon et al. 2006b]), gerar diferentes cenários com origem, destino e qualquer localização intermediária possível ([Tuduce and Gross 2005] e [Yoon et al. 2006b]) e tentar estimar a duração do tempo de pausa e da velocidade, e a direção do movimento ([Kim et al. 2006]). Normalmente a avaliação desses modelos é feita através de comparações entre o dado processado e medidas reais extraídas de um Campus, por exemplo.

### 3. A implementação do Modelo de Mobilidade

Para este trabalho optou-se por utilizar o *Udel Mobility Model* [Kim and Bohacek 2005]. Ele é baseado em coleta de dados através de pesquisas sobre o uso do tempo [of Labor 2003] e planejamento urbano [Pushkarev and Zupan 1975]. O resultado é um modelo de três camadas onde o nível mais alto é um modelo que determina o tipo de atividade que um nodo está executando (por exemplo, trabalhando). A segunda camada é um modelo que determina tarefas específicas a uma atividade, como uma conversa com três pessoas. A terceira camada é um modelo agente que determina como um nodo se move de um local para outro, como por exemplo o movimento de uma pessoa em um ambiente aglomerado.

O modelo de atividade é baseado em um estudo do Departamento Norte Americano de Estatísticas do Trabalho chamado Estudo de Uso do Tempo [of Labor 2003]. O modelo de tarefas foca na mobilidade de pessoas que trabalham em escritórios e é baseado nos resultados encontrados através das reuniões de análise da comunidade acadêmica. O modelo agente é baseado nos trabalhos de planejamento urbano que possuem um vasto conhecimento sobre o fluxo de pedestres.

#### 3.1. Descrição do Modelo Simulado

A construção do ambiente para realizar as simulações envolve determinadas etapas, baseadas, normalmente, em diferentes ferramentas de apoio. Dentre estas podemos citar a modelagem da área simulada através do *software* de construção de mapas, passando pelo gerador de movimentos dos nodos até se efetivar as simulações através do programa *Network Simulator (NS)*. O fluxograma na Figura 1 demonstra todas as etapas do processo de criação dos modelos até a análise dos resultados.

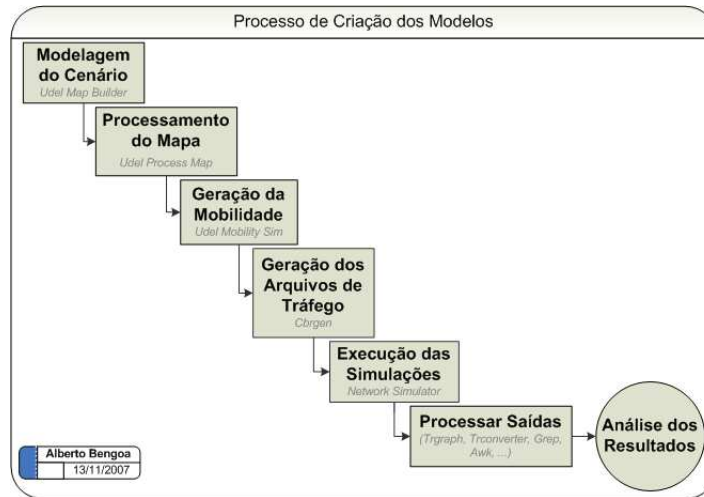
O modelo de mobilidade proposto pela UDEL *University of Delaware* possui um conjunto de ferramentas utilizadas para a simulação de redes *mesh*, composto por um simulador realístico de mobilidade urbana, um simulador de propagação realístico, uma ferramenta para construção de mapas e diversas outras ferramentas para manipulação e visualização dos modelos. Neste trabalho, foram utilizados os *softwares* de construção de mapas (*Map Builder*)<sup>1</sup>, o de processamento de mapas (*Process Map*)<sup>2</sup> e o de simulação de movimentos (*Mobility Simulator*)<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup><http://udelmodels.eecis.udel.edu/mapbuilder1.php>

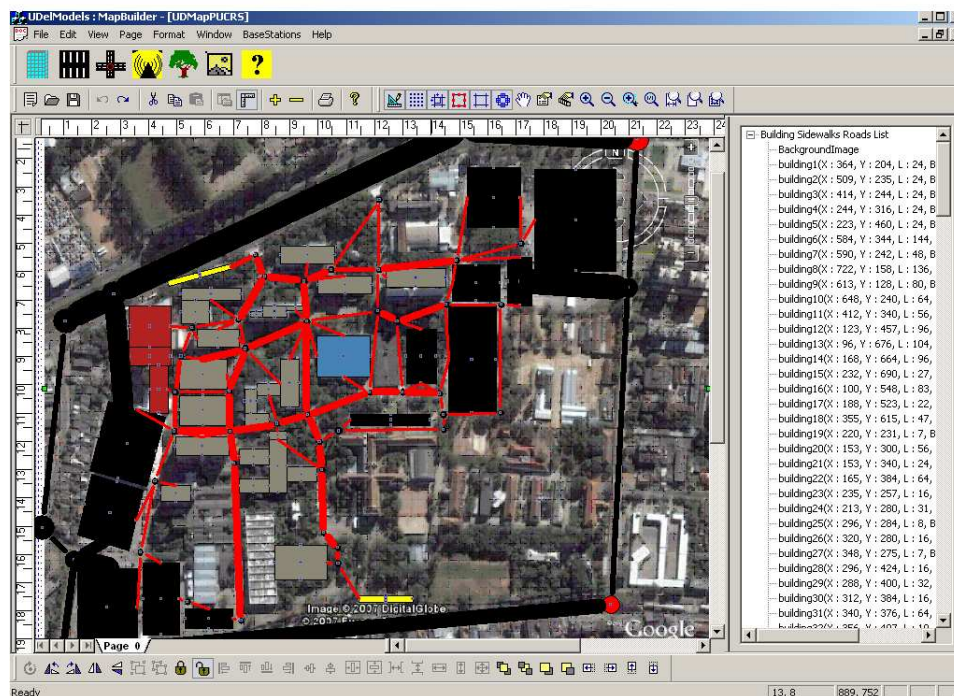
<sup>2</sup><http://udelmodels.eecis.udel.edu/download.php>

<sup>3</sup><http://udelmodels.eecis.udel.edu/mobility1.php>



**Figura 1. Fluxograma de Criação dos Modelos**

Para que seja possível a modelagem de redes sem fio em áreas urbanas, é necessário possuir um mapa dessas áreas. O *Map Builder* possibilita a especificação de detalhes como os materiais que compõem os prédios, o número de faixas de rodagem que as ruas possuem, o tamanho das calçadas, os semáforos dos cruzamentos e a localização de estacionamentos e estações de metrô. A Figura 2 mostra o cenário da PUCRS modelado nessa ferramenta.



**Figura 2. Udel Map Builder - PUCRS**

Uma vez concluída a construção do mapa no *Map Builder* o mesmo deve ser processado no *Process Map*. Esta ferramenta examina a entrada dos dados do mapa e

constrói informações sobre as posições de elementos internos de escritórios, restaurantes, lojas, residências e corredores, e elementos externos como calçadas, faixas de automóveis e semáforos. Após o processamento no *Process Map*, as informações geradas foram utilizadas no *Udel Mobility Simulator*.

### 3.2. Simulação

Uma vez concluída a etapa de constituição de todos os submodelos necessários para a construção do ambiente a ser simulado, pode-se passar a etapa onde as simulações dos cenários no *Network Simulator* (NS) são executadas. O NS, nativamente, possui suporte a alguns dos modelos de mobilidade mais utilizados. No entanto, para poder utilizar o modelo proposto pelo Udel, foi necessário instalar um *patch* ao código fonte do simulador. Este *patch* é disponibilizado pelo próprio projeto *Udel Models* e pode ser encontrado na área de *downloads*<sup>4</sup> do site do modelo. No contexto deste trabalho a extensão mais importante foi a referente ao modelo de mobilidade, pois ativou o suporte aos arquivos de movimento gerados pela ferramenta *Mobility Simulator*. Assim, foi possível realizar a simulação do modelo através do NS.

Além disso, para a simulação ser realizada, foi necessária a definição de algumas métricas de entrada. Estes ajustes referem-se ao número de nodos, protocolos de roteamento, quantidade de tráfego gerado e tempo de observação.

A Tabela 1 apresenta os oito cenários simulados.

**Tabela 1. Simulações no NS**

Cenário	Nodos	Protocolo de Roteamento	Tempo	Aplicação
1	10	AODV	120s	FTP
2	10	DYMO	120s	FTP
3	50	AODV	120s	FTP
4	50	DYMO	120s	FTP
5	100	AODV	120s	FTP
6	100	DYMO	120s	FTP
7	200	AODV	100s	FTP
8	200	DYMO	100s	FTP

### 4. Resultados Obtidos

Embora o objetivo deste trabalho não seja a avaliação do desempenho de redes *ad hoc* ou de seus protocolos de roteamento, algumas considerações sobre o comportamento de determinados aspectos nas simulações realizadas podem ser efetuadas. Segundo [Nunes 2003], fatores como vazão de dados e pacotes descartados são parâmetros importantes para a análise do desempenho das redes. Outro ponto essencial para uma boa qualidade é a latência fim-a-fim. Nesta seção algumas análises serão realizadas com o objetivo de apresentar o comportamento do modelo gerado em diferentes situações de volume de tráfego e densidade de usuários.

<sup>4</sup><http://udelmodels.eecis.udel.edu/download.php>

## 4.1. Vazão

A vazão de dados é uma métrica importante quando se está avaliando o desempenho de redes, uma vez que permite estabelecer uma medida de efetividade em relação a entrega de pacotes. Normalmente esta medição é realizada em *bits* por segundo (bps ou bits/s), representando a quantidade de dados trafegados a cada segundo.

Em todos os cenários analisados se observou uma degradação no desempenho da rede, em relação aos cenários com menos carga, a medida que novos nodos e conexões eram adicionados. Esta situação vai de encontro às premissas propostas por Andrew Lippman em [Lippman and Reed 2002], que sugere o princípio da conservabilidade, onde cada elemento adicionado deve incrementar a capacidade do sistema como um todo. Por outro lado, em [Nunes 2003], também foi observado um comportamento bastante similar ao atingido neste trabalho, cuja vazão total de dados se reduzia a medida que novos nodos eram adicionados.

Cabe ressaltar que as taxas de vazão apresentadas neste trabalho referem-se a camada TCP. O volume de tráfego de camadas inferiores não está sendo considerado.

A degradação da performance pode ser observada mais nitidamente no protocolo DYMO, cujos cenários com 50 e 200 nodos estão apresentados na Figura 3, respectivamente. O afastamento das linhas de vazão de *bits* enviados (*Throughput of sending bits*) das linhas de vazão de *bits* recebidos (*Throughput of receiving bits*) a medida em que o cenário apresenta maior densidade de nodos sugere uma maior necessidade de reenvio de pacotes ocasionada pela perda no recebimento dos destinatários.

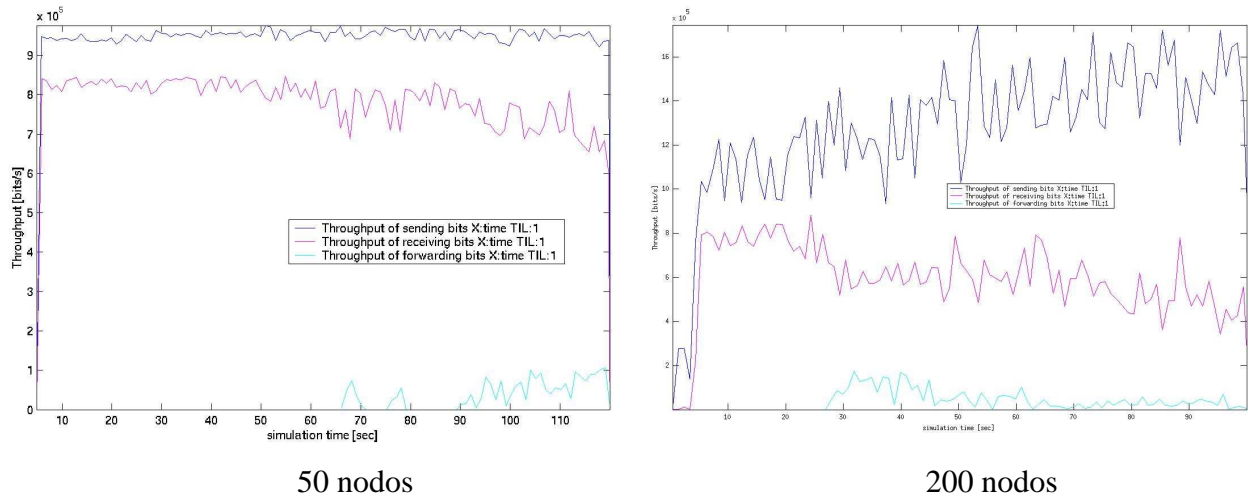


Figura 3. Vazão do protocolo DYMO.

Quando o mesmo modelo foi simulado utilizando o protocolo AODV a percepção de perda de desempenho foi mais sutil, devido à vazão de dados ser inferior. Os resultados do cenário usando o protocolo AODV não foram incluídos dado o número restrito do tamanho do artigo.

## 4.2. Latência fim-a-fim

A latência fim-a-fim é o intervalo de tempo entre um pacote ir de um nodo "A" até um nodo "B" e retornar. Este atraso, quando muito acentuado, pode prejudicar a usabilidade da rede, principalmente quando se trata de aplicações em tempo real. Através da análise gráfica do estado da rede, se observa que a mesma apresenta bons índices de latência no cenário com 10 nodos, independente do protocolo de roteamento utilizado. Em ambos os casos, a latência de todos os pacotes ficou abaixo de 500 milissegundos.

No entanto, no cenário composto por 50 nodos, já se observa algum grau de degradação no desempenho da rede em relação à latência. Segundo a análise gráfica do Protocolo DYMO reproduzida na Figura 4, se pode constatar que, embora aproximadamente 80% dos pacotes mantêm a latência abaixo de 1 segundo, existe a ocorrência de pacotes com até 7 segundos de latência. Uma característica semelhante também ocorre com o protocolo AODV.

No cenário onde a rede estava sendo composta por 100 nodos o desempenho da latência fim-a-fim apresentou piora em relação ao cenário anterior. Se observou que 70% dos pacotes, utilizando tanto o protocolo AODV quanto DYMO, apresentaram latência inferior a 1 segundo. Os picos de latência, nas medições realizadas, superaram os 20 segundos no AODV e 35 segundos utilizando-se o protocolo DYMO.

Contudo, no cenário com 200 nodos, a quantidade de pacotes cuja latência se manteve inferior a 1 segundo foi de 73% no protocolo DYMO e 78% no AODV. Percebe-se neste ponto uma inversão de tendência de degradação de desempenho, que vinha sendo observada conforme o aumento do número de nodos. A Figura 4 apresenta este resultado para o protocolo DYMO. Os picos de latência atingidos foram de aproximadamente 25 segundos.

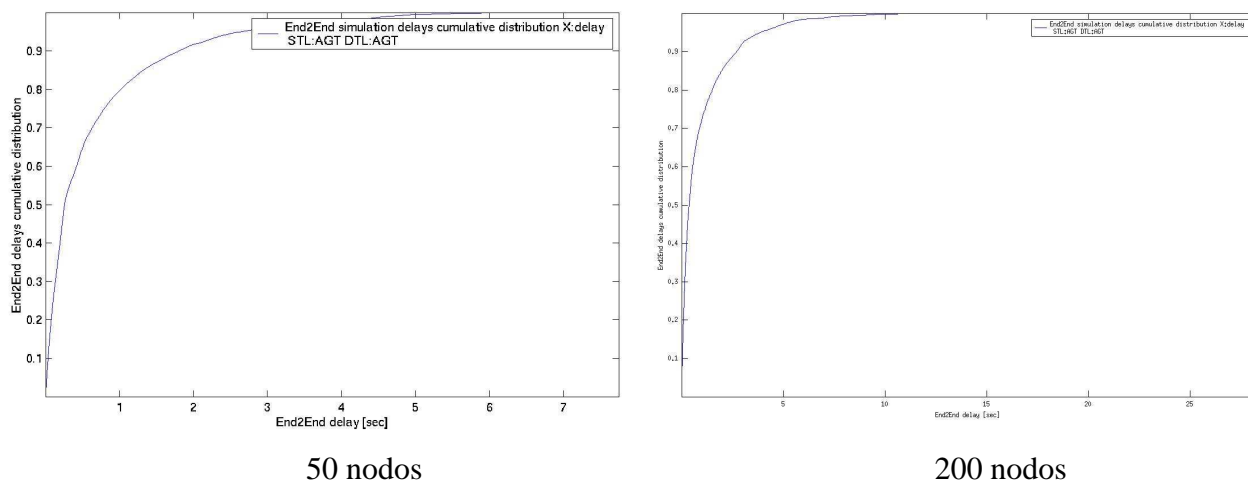


Figura 4. Atraso do protocolo DYMO.

## 4.3. Pacotes Descartados

Observou-se, nas simulações realizadas, uma incidência muito acentuada de pacotes descartados. Conforme relatado nas sessões anteriores, a rede modelada apresentava queda

de rendimento à medida que a população da área simulada era incrementada. Através da análise dos *tracefiles* gerados pelas simulações foi possível constatar uma grande ocorrência de colisões no acesso ao meio (camada 2 do modelo OSI). Este fator pode ter sido determinante para os problemas enfrentados pela rede em situações de carga elevada.

Na Tabela 2 é possível constatar um significativo crescimento na taxa de pacotes descartados à medida que aumenta a densidade da rede. Também se pode observar que o protocolo DYMO possui maior dificuldade em relação a este quesito, uma vez que o tamanho médio dos pacotes neste protocolo é inferior ao praticado pelo AODV, impactando diretamente no congestionamento no acesso ao meio.

**Tabela 2. Pacotes Descartados**

	<b>10</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>
<b>AODV</b>	75 (0.04%)	38442 (8.32%)	381857 (29.27%)	3836900 (60.83%)
<b>DYMO</b>	54 (0.03%)	65895 (11.75%)	775131 (38.06%)	5963405 (65.90%)

## 5. Conclusão

Muitos modelos de mobilidade utilizados atualmente não possuem a capacidade de realizar simulações com um grau satisfatório de proximidade com a realidade. Embora os mesmos possam ser aplicados em muitos cenários e têm sido úteis desde o princípio da telefonia celular, é notório que estes modelos podem evoluir em muitos aspectos. Neste sentido, os modelos de mobilidade realísticos, que possuem a habilidade de reproduzir de forma mais precisa os movimentos realizados por seres humanos, propõe melhorias aos modelos utilizados atualmente.

Através da implementação de um modelo de mobilidade realístico [Kim and Bohacek 2005], pôde-se verificar que de fato é possível superar em muitos aspectos estas limitações impostas por modelos não realísticos. Pessoas realizam determinados movimentos quando estão no escritório, outros quando estão em casa ou ainda em ambientes externos. Normalmente, a rotina de atividades realizadas num determinado dia útil é reproduzida nos demais dias úteis da semana. Porém, cada pessoa, possui uma rotina diferente da outra. Assim, características típicas da mobilidade de pessoas e automóveis foram incorporadas aos mecanismos de geração de movimentos dos nodos, proporcionando aos mesmos um comportamento similar ao que seres humanos em sua situação o realizariam. Sabe-se, desde o pioneiro trabalho de Pushkarev e Zupan [Pushkarev and Zupan 1975], que pedestres não permanecem uniformemente distribuídos em um espaço físico, mas tendem a se agrupar. Uma vez que a distribuição dos nodos exerce um papel importante na performance de redes *mesh* [Kim and Bohacek 2005], se infere que quão mais próxima da realidade for reproduzida a movimentação dos nodos em uma determinada área melhor será a especificação da infra-estrutura adequada para atender a demanda desta região.

## Referências

Camp, T., Boleng, J., and Davies, V. (2002). A survey of mobility models for ad hoc network research. *Wireless Communication and Mobile Computing*, 2(5):483–502.



- Capka, J. and Boutaba, R. (2005). A mobility management tool - the realistic mobility model. *IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications*.
- Ghosh, J., Beal, M. J., Ngo, H. Q., and Qiao, C. (2006). On profiling mobility and predicting locations of wireless users. *REALMAN*.
- Jardosh, A., Belding-Royer, E. M., Almeroth, K. C., and Suri, S. (2003). Towards realistic mobility models for mobile ad hoc networks. In *MobiCom '03: Proceedings of the 9th annual international conference on Mobile computing and networking*, pages 217–229.
- Kim, J. and Bohacek, S. (2005). A survey-based mobility model of people for simulation of urban mesh networks. *MeshNets*.
- Kim, M., Kotz, D., and Kim, S. (2006). Extracting a mobility model from real user traces. *IEEE Infocom*.
- Lippman, A. and Reed, D. P. (2002). Viral radio. *MIT Media Laboratory*.
- Maeda, K., Sato, K., Konishi, K., Yamasaki, A., Uchiyama, A., Yamaguchi, H., Yasumoto, K., and Higashino, T. (2005). Getting urban pedestrian flow from simple observation: realistic mobility generation in wireless network simulation. In *MSWiM '05: Proceedings of the 8th ACM international symposium on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*, pages 151–158.
- Musolesi, M. and Mascolo, C. (2007a). Designing mobility models based on social networks theory. *Mobile Computing and Communications Review*.
- Musolesi, M. and Mascolo, C. (2007b). Designing mobility models based on social networks theory. *Mobile Computing and Communications Review*, 1(2).
- Nunes, B. A. A. (2003). Fatores impactantes na performance de redes ad hoc sem fio. *UFMG*.
- of Labor, U. D. (2003). American time use survey. <http://www.bls.gov/tus/>.
- Pereira, I. and Pedroza, A. (2004). Análise de redes móveis ad hoc para cenários de operações militares. *COPPE/UFRJ*.
- Pushkarev, B. and Zupan, J. M. (1975). Urban space for pedestrians. *MIT*.
- Tuduce, C. and Gross, T. (2005). A mobility model based on wlan traces and its validation. *IEEE Infocom*.
- Venkateswaran, P., Ghosh, R., Das, A., Sanyal, S., and Nandi, R. (2006). An obstacle based realistic ad-hoc mobility model for social networks. *Journal of Networks*, 1(2):37–44.
- Yoon, J., Noble, B. D., Liu, M., and Kim, M. (2006a). Building realistic mobility models from coarse-grained traces. *Electrical Engineering and Computer Science - University of Michigan*.
- Yoon, J., Noble, B. D., Liu, M., and Kim, M. (2006b). Building realistic mobility models from coarse-grained traces. In *MobiSys '06: Proceedings of the 4th international conference on Mobile systems, applications and services*, pages 177–190.