

Uma avaliação dos efeitos das regras de borda e dos modelos de mobilidade no comportamento dos nós em redes ad hoc

Alexandre Mendes, Bruno Astuto Arouche Nunes e Luis Felipe Magalhães de Moraes
Laboratório de Redes de Alta Velocidade (RAVEL)
Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - COPPE/UF RJ
{alexm,bastuto,moraes}@cos.ufrj.br

Resumo – O ambiente de redes ad hoc é alvo de um grande número de estudos que buscam a solução de problemas existentes no cenário envolvendo a mobilidade dos usuários. Os modelos para representação de cenários de mobilidade vêm sendo amplamente utilizados para a simulação de novas técnicas de roteamento, handoff, aumento de capacidade, entre outras. O presente trabalho tem o objetivo de avaliar estes modelos de mobilidade segundo métricas que permitem identificar o quanto o modelo se aproxima de um cenário real de movimentação de usuários.

Abstract – The ad hoc network environment is target of several studies that search for a solution to the existing problems in the scenario involving users mobility. The models for mobility scenarios representation have been widely used for simulation of new routing techniques, handoff, capaciting increase and others. The goal of this paper is to evaluate these mobility models according to metrics that allows to identify when the model gets close to a real users motion scenario.

I. INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO

Uma tendência na utilização de sistemas de computação vem se concretizando nos dias de hoje. Cada vez mais usuários migram de seus computadores pessoais para *laptops* e computadores portáteis providos de dispositivos de comunicação sem fio, onde a mobilidade torna-se uma característica importante. Por eficiência e conveniência, estes usuários demandam sistemas que lhes possibilitem trocas de informações com o mínimo de restrições quanto a mobilidade e com menor custo administrativo. Para este fim, muito trabalho vem sendo desenvolvido na construção de redes ad hoc sem fio, redes que não necessitam infraestrutura ou intervenção administrativa.

Este tipo de rede pode trazer diversos problemas e desafios. Muitos protocolos vêm sendo desenvolvidos para solucionar tais problemas. A simulação do funcionamento destes protocolos, aplicados a redes ad hoc, requer cuidadosas considerações a respeito da mobilidade e do padrão de comunicação, que podem afetar drasticamente a performance dos resultados de um dado algoritmo. Uma vez que sistemas móveis são caracterizados pelo movimento de seus componentes, a natureza do movimento (sua velocidade, direção e taxa de mudança) pode ter um efeito dramático nos protocolos e sistemas projetados para suportar mobilidade. O uso real de um sistema móvel

pode fornecer uma percepção significativa, porém não pode formar uma base sólida para uma avaliação experimental. Ao invés disso, a comunidade científica que estuda mobilidade e sistemas móveis, têm se voltado para simulações do movimento dos nós. Para este fim, deve-se primeiro produzir um modelo de movimentação para guiar tal simulação.

É possível perceber então que a modelagem do movimento é primordial tanto para estudos analíticos quanto para simulações em redes ad hoc. A escolha dos modelos de mobilidade utilizados nestes estudos tem efeitos significativos nos resultados obtidos. Se o modelo não for realístico, conclusões equivocadas podem ser extraídas de resultados obtidos a partir da utilização dos mesmos. O objetivo deste trabalho é definir métricas e métodos de avaliação para que seja possível determinar o quanto um modelo de mobilidade se aproxima de um movimento real (movimento de pedestres e/ou carros). Estas avaliações foram feitas independentemente da aplicação, no entanto foram baseadas na idéia de que, quanto mais suave o movimento, mais ele se aproxima de um movimento realista. Pesquisas em torno da busca de uma representação realística da mobilidade tem sido alvo de pesquisas recentes [1], [2] e [3]. Estas comparações foram realizadas entre modelos de mobilidades distintos e sob a influência de diferentes regras de borda.

Este trabalho está dividido da seguinte forma: na seção II, breves descrições dos modelos de mobilidade utilizados e eventuais modificações nos mesmos são fornecidas. Na seção III são apresentadas as regras de borda implementadas e utilizadas nos modelos descritos na seção anterior. Na seção IV descreve-se os cenários e parâmetros de simulação. Na mesma seção apresentam-se os resultados obtidos e suas correspondentes análises. Por fim, conclusões e trabalhos futuros são apresentados na seção V.

II. MODELOS DE MOBILIDADE

Para estudar e projetar uma rede móvel ad hoc é necessário conhecer características inerentes ao ambiente que será suportado. Fatores como comportamento de movimentação dos componentes da rede, variação das condições do canal de comunicação sem fio e gerenciamento de energia são de extrema importância. Dentre os fatores citados acima, o comportamento de movimentação entra como fator determinante

no projeto de uma rede móvel ad hoc, pois, diante do conhecimento dos comportamentos, podemos avaliar o desempenho de sistemas de comunicação permitindo analisar o impacto que a mobilidade fornece ao funcionamento dos mesmos. Deste modo, torna-se necessário utilizar modelos de mobilidade [4] e, para avaliar esses modelos, faz-se o uso de simulações.

Neste trabalho foi estudado o comportamento de movimentação dos nós móveis (NMs) em uma rede ad hoc para diferentes modelos de movimentação. Nesta seção serão apresentados, de forma sucinta, estes modelos.

A. *Random Waypoint (RWP)*

Neste modelo, um NM é colocado a princípio em um local escolhido aleatoriamente, seguindo uma distribuição uniforme. Este NM permanece no mesmo local por um certo período de tempo. Ao fim deste período, o nó escolhe um destino, também de forma aleatória e seguindo uma distribuição uniforme na área de simulação. A velocidade do NM também encontra-se uniformemente distribuída entre: $[0, V_{max}]$. O NM então percorre o caminho até o novo destino com a velocidade escolhida. Uma vez que o destino é alcançado, o NM pára por um período de tempo (tempo de pausa) específico antes de começar o processo todo novamente.

Para este trabalho, uma vez que existia o interesse em estudar os efeitos das regras de borda na movimentação dos NMs, uma pequena modificação foi feita no modelo. Essencialmente a natureza do movimento permanece, entretanto no modelo original o NM sempre escolhe um destino dentro da área de simulação. Na modificação implementada, um nó pode escolher um destino fora da área de simulação e, quando atinge a borda, determinadas regras são obedecidas de forma a escolher o próximo destino. Estas regras são abordadas na seção III e serão utilizadas não apenas com o RWP, mas também em todos os outros modelos estudados aqui.

Esta mudança referente as regras de borda não foi a única implementada no RWP neste trabalho. Em [5] Yoon, Liu e Noble mostraram que, para o modelo *Waypoint*, nós em uma grande sala escolhem alguns destinos e movem-se com uma velocidade aleatória uniformemente distribuída entre $[0, V_{max}]$, onde V_{max} é a velocidade máxima da simulação. O modelo é descrito como tendo uma velocidade média de $V_{max}/2$. Espera-se que a velocidade média deste modelo seja mantida no decorrer da simulação, uma vez que os resultados da mesma são, quase sempre, na forma de média sobre um período de tempo. Estas médias só fazem sentido se a simulação alcançar um regime permanente. Infelizmente, este não é o caso. O fato é que, com o decorrer da simulação, uma grande quantidade de nós movem-se mais devagar. Mais e mais nós ficam "presos" percorrendo longas distâncias em baixas velocidades. Eventualmente, esta média da velocidade chegará a zero (quando tempo tende a infinito). Desta forma, o modelo falha em fornecer resposta em regime permanente para a velocidade média. A sobrecarga e a performance dos sistemas móveis dependem fortemente da mobilidade dos nós.

Assim, em [5] é proposta uma solução simples para este problema. A velocidade com que cada nó se movimenta

deve ser aleatoriamente escolhida dentro de um intervalo $[V_{min}, V_{max}]$, onde V_{min} deve ser um valor positivo não nulo. Esta mudança foi adotada nas simulações apresentadas aqui.

B. *Smooth*

Este modelo implementa dois processos estocásticos que guiam as mudanças de velocidade e direção. Além disso, as alterações na velocidade ocorrem perante uma aceleração/desaceleração que suavizam o movimento do nó. Como vantagem, este modelo diminui a quantidade de movimentos bruscos.

Este modelo foi implementado para o desenvolvimento deste trabalho. Desenvolveu-se um algoritmo na linguagem C++ segundo interfaces e padrões da ferramenta ScenGen [6]. Utilizou-se como referência, para a implementação com tempo discreto, o artigo [3].

O algoritmo utiliza duas probabilidades que definem o comportamento da mobilidade:

- Probabilidade de Mudança de Direção - A cada movimentação de um nó, é gerado um número aleatório e, em função de uma probabilidade p_d , determinamos se haverá alterações de direção. Se ocorrer alteração de direção, um valor definido no intervalo $[0, 2\pi]$ é escolhido aleatoriamente segundo uma distribuição uniforme;
- Probabilidade de Mudança de Velocidade - A cada movimentação de um nó, é gerado um número aleatório e, em função de uma probabilidade p_v , determinamos se haverá alterações de velocidade. Se ocorrer alteração de velocidade, um valor dentro de um conjunto de velocidades preferenciais é escolhido aleatoriamente respeitando as respectivas probabilidades de cada velocidade preferencial.

As alterações na velocidade não são submetidas bruscamente ao nó. Uma aceleração definida no intervalo $[aMin, aMax]$ é escolhida aleatoriamente segundo uma distribuição uniforme. Deste modo, as alterações de velocidade são gradativamente realizadas até que se atinja a velocidade final. Vale observar que a velocidade final só será atingida se não ocorrer outra alteração de velocidade durante esta fase de alteração gradativa.

C. *Brownian*

Este modelo aproxima-se de um movimento browniano. A cada movimentação, escolhe-se uma velocidade entre um intervalo $[velMin, velMax]$ com distribuição uniforme. Uma direção angular também é escolhida entre $[0, 2\pi]$. Algumas variações deste modelo preservam a mesma velocidade durante toda a mobilidade. Uma vantagem deste modelo é sua fácil implementação. No entanto, muitas são as desvantagens, visto que existem alterações bruscas de direção que não condizem com a realidade (partindo do princípio adotado aqui e em outros trabalhos [3], [7] de que mudanças suaves são melhores que mudanças bruscas). Esta última característica será mostrada durante a análise dos resultados neste trabalho.

D. Modelo Markoviano de Mobilidade Individual Genérico (MMIG)

Trata-se de um modelo de mobilidade proposto em tese de mestrado na COPPE/UFRJ [8]. Neste modelo a alteração da posição do nó é governada por uma cadeia de Markov discreta. Cada estado da cadeia representa um valor de deslocamento. Este modelo também foi implementado para o desenvolvimento deste trabalho. Desenvolveu-se um algoritmo na linguagem C++ segundo interfaces e padrões da ferramenta ScenGen.

Nesse modelo, é atribuído um conjunto de valores de incremento na posição atual, que variará entre $[1, n]$, ou seja, o incremento corresponde à velocidade que o nó usa para mudar da posição atual (X) para a próxima posição (X'). A variação do valor da velocidade é uma série geométrica definida no intervalo $[1, n]$.

A cadeia de Markov que rege o comportamento de movimentação neste modelo possui probabilidade m de mudança para os estados à direita e m para os estados à esquerda, conseqüentemente a probabilidade de permanência no estado é $(1 - 2m)$. A cada movimentação do nó, é gerado um valor aleatório que, obedecendo as probabilidades da cadeia de Markov, vai determinar o novo estado dentro da mesma a qual o nó vai pertencer. Se este estiver no segundo estado à direita do zero, por exemplo, o nó vai deslocar-se de dois em dois passos. Deste modo, o estado da cadeia informa o número de passos que devem ser dados pelo nó e, com este valor, calcula-se a velocidade que ele atinge.

III. REGRAS DE BORDA EM SIMULAÇÕES COM ÁREA LIMITADA

Na simulação de certos modelos de mobilidade, os nós podem sair da área de simulação. Quando esta situação ocorre, deve existir uma regra que defina o que fazer com este nó. Esta regra é chamada regra de borda.

A seguir serão descritas as principais regras de borda: *bounce*, *delete and replace*, e *wrap around* [7]. Uma quarta regra de borda, chamada aqui de *modified bounce*, foi definida e utilizada neste trabalho. Na figura 1 é possível visualizar o comportamento de um NM submetido a essas regras. Todos estes métodos garantem que o número de nós na área do sistema permaneça constante, o que é normalmente desejado em simulações.

É preciso perceber que devem existir critérios para a escolha da regra de borda e cuidados devem ser tomados na utilização das mesmas, pois estas têm grande impacto no movimento dos nós e, conseqüentemente, na avaliação do desempenho de sistemas e aplicações simuladas. Esta influência no desempenho não é estudada neste trabalho, no entanto seu impacto na distribuição dos nós na área de simulação foi investigado e algumas conclusões e comentários em relação ao impacto na performance são feitos na seção IV.

A regra de borda *bounce* realiza a reflexão do movimento do NM na borda da área de simulação¹, fazendo com que a nova trajetória do NM permaneça dentro da área de simulação. Nesse novo movimento, o ângulo da direção ("ângulo de

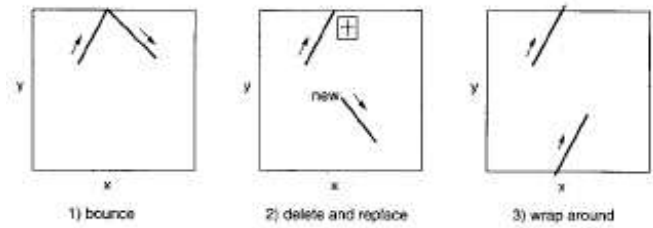


Fig. 1. Regras de borda: 1) *bounce* 2) *delete and replace* e 3) *wrap around* [7].

saída") permanece o mesmo que o ângulo de incidência e o valor da velocidade permanece o mesmo valor anterior à reflexão.

Existem modificações para esta regra, onde o novo valor do ângulo de saída é uniformemente distribuído entre $[0, 180^\circ]$ nas bordas superior, inferior e laterais, e $[0, 90^\circ]$ nos cantos da área de simulação. O valor da velocidade na reflexão também segue uma distribuição uniforme entre $[v_{min}, v_{max}]$. Esta variação do *bounce*, é chamada aqui de *modified bounce*.

Na regra *delete and replace*, quando um NM atinge a borda, este é retirado da área de simulação e inserido novamente em uma posição de coordenadas (x, y) aleatoriamente escolhidas, com um novo ângulo de direção do movimento. Essa regra tem a característica de representar a saída do NM da área de simulação que, as vezes, é uma característica realista. Entretanto, uma característica não realista, é colocar o mesmo NM aleatoriamente numa posição qualquer da área, simplesmente para garantir que o número de nós da rede simulada permaneça constante.

A regra de borda *wrap around*, "espelha" movimento do NM na borda oposta. Entretanto o nó preserva a mesma direção e sentido e a mesma velocidade que mantinha antes de alcançar a borda.

IV. SIMULAÇÕES, RESULTADOS E ANÁLISES

Nesta seção serão descritos os cenários e ambientes de simulação utilizados neste trabalho. Para realizar tais simulações foi utilizado o Scengen. Não existiam implementações dos modelos Smooth e o MMIG para o Scengen. Estes modelos foram implementados em C/C++ utilizando a interface do simulador.

A. Métricas de Avaliação e Descrição dos Cenários

Para que possamos comparar o quanto os modelos estudados refletem uma mobilidade realística, algumas métricas foram propostas.

- **Média da Velocidade** - Representa o valor médio da velocidade atingida pelos nós.
- **Mudanças bruscas de direção** - Esta métrica avalia a suavidade de uma mudança de direção de um nó. Foi definido que uma mudança de direção é brusca quando o ângulo, entre o vetor referente à direção anterior e o vetor referente à direção atual, é maior que 90° .

1. A área de simulação estudada aqui tem como forma geométrica um retângulo de dimensões definidas.

- **Mudanças bruscas de velocidade** - Métrica calculada a partir da diferença entre a velocidade entre dois instantes de tempo consecutivos. A variação é considerada brusca se seu valor for maior ou igual a 50% da velocidade máxima simulada.
- **Tempo Médio de Duração de Links com Nós Vizinhos** - Métrica calculada a partir do tempo médio em que existe comunicação do nó com os outros nós que se encontram a uma distância de até 30 metros do nó avaliado.
- **Distribuição espacial dos nós na área de simulação** - A distribuição dos nós na área de simulação é um assunto que vem sendo abordado em diversos trabalhos recentes [9], [10] e [11]. Esta métrica reflete o número médio de nós encontrado em cada região da área de simulação. Como essa métrica foi aferida e os resultados obtidos a partir dela serão discutidos mais adiante no texto.

A princípio desejou-se estudar o impacto da mobilidade e das regras de borda na distribuição espacial dos nós. Ambientes de simulação foram idealizados para estas avaliações. Uma área de simulação de 1000mx1000m foi considerada. Os eixos x e y desta área foram divididos em 20 seções de 50m cada, resultando em 400 subáreas de 50mx50m. Neste texto, estas subáreas serão chamadas de células. Diversos nós foram dispostos inicialmente na área de simulação seguindo uma distribuição uniforme, como pode ser visto na figura 2. Estes nós são colocados em movimento de acordo com o modelo de mobilidade escolhido, durante um tempo considerado grande. Ao final da simulação, a distribuição dos nós é dada pela média do número de nós presente em cada célula. Na figura 2, é possível perceber uma média de 1.25 nós por célula.

Um total de 500 NMs integraram uma rede ad hoc que se movimentou por 10000 segundos em uma área de 1000mx1000m. As velocidades escolhidas pelos nós foram distribuídas uniformemente dentro do intervalo [1,32]m/s, para todas as simulações executadas. Estes parâmetros de simulação foram os mesmos para todas as simulações realizadas para os quatro modelos estudados, nas avaliações de distribuição espacial de nós.

B. Distribuição Espacial dos Nós para o modelo RWP

Este modelo é amplamente utilizado em simulações com redes ad hoc e possui a vantagem da simplicidade. No entanto, devido à característica não uniforme da distribuição da velocidade neste modelo, NMs localizados em bordas e cantos opostos possuem distribuições de velocidade também opostas (ver figura 3).

Os resultados das simulações realizadas para esta pesquisa confirmam essa teoria. É possível ver a concentração dos nós no centro da área de simulação. Os NMs localizados nas bordas escolhem direções uniformemente distribuídas no intervalo $[0, 2\pi]$, enquanto os nós dos cantos escolhem apenas direções entre $[0, \pi/2]$. Assim, temos muito mais nós escolhendo direções que apontam para o centro da área de simulação do que nós escolhendo direções que apontam para as bordas. A figura 4 ilustra essa concentração quando aplicada a regra de borda *delete and replace* no modelo RWP.

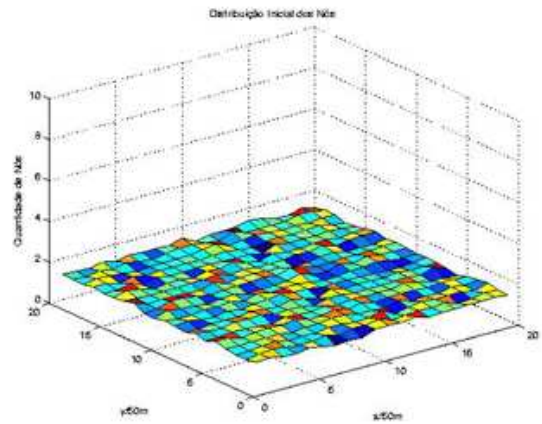


Fig. 2. Distribuição inicial (uniforme) dos nós em uma área de simulação de 1000mx1000m.

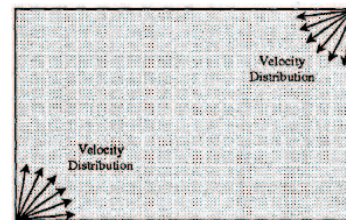


Fig. 3. Distribuição da velocidade para o modelo RWP [9].

Experimentos semelhantes foram realizados com este modelo para as outras três regras de borda. O mesmo comportamento de concentração no centro da área foi observado e gráficos muito parecidos foram gerados. Isso demonstra que as regras de borda, quando aplicadas ao modelo RWP, não provocam um impacto tão significativo na distribuição dos nós. Neste caso, a maior influência nesta métrica, parte da característica dos vetores de velocidades já mencionada anteriormente nesta seção.

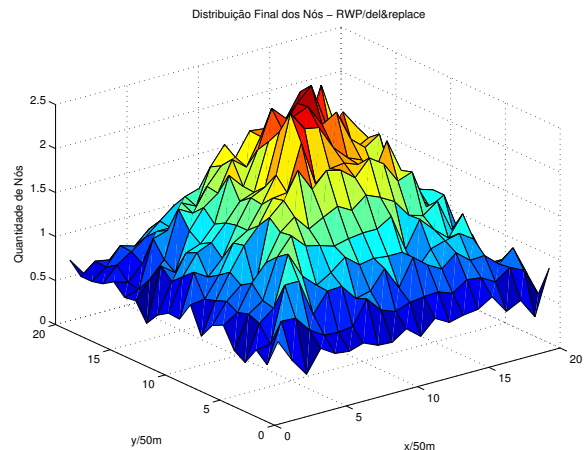


Fig. 4. Distribuição espacial dos nós para o modelo RWP usando regra de borda *delete and replace*.

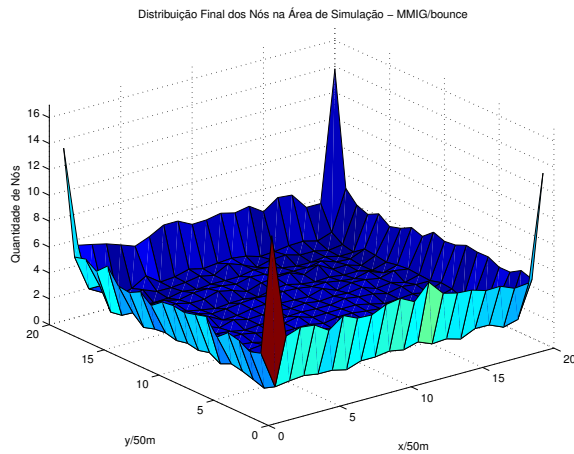


Fig. 5. Distribuição dos 1000 nós após 10000 segundos de simulação com o modelo MMIG para a regra de borda *bounce*.

C. Distribuição Espacial dos Nós para o modelo MMIG

Para avaliar a distribuição dos nós diante do modelo MMIG, o mesmo procedimento foi aplicado variando-se as regras de borda adotadas. É possível ver que, ao final da simulação (após 10000 segundos), a distribuição dos nós toma uma forma bem diferente da inicial (figura 5), apresentando concentrações nas bordas da área de simulação e principalmente nos cantos. Resultados semelhantes foram observados para as regras de borda *modified bounce* e *delete and replace*.

Na figura 6, é possível visualizar o caminho percorrido por alguns nós, escolhidos aleatoriamente, dentro de uma rede ad hoc que se movimenta de acordo com o modelo MMIG para a regra de borda *bounce*. Percebe-se que, enquanto alguns poucos nós permanecem movimentando-se no meio da área de simulação, a maioria converge para as bordas. Como no MMIG, os nós tendem a permanecer na direção do movimento do instante anterior (o modelo procura evitar mudanças bruscas de direção), eventualmente os NMs irão chegar às extremidades da área de simulação e continuarão "tentando" seguir esta direção com maior probabilidade, apesar de repellido pela regra de borda. Isso faz com que o NM permaneça mais tempo nesta região de borda, o que explica as concentrações nestas regiões. Este comportamento se repete para outras regras de borda além do *bounce*. Observa-se a mesma tendência em permanecer nas bordas.

Um resultado interessante é a grande diferença entre a distribuição espacial dos NMs entre os instantes iniciais e finais de simulação, utilizando-se as regras de borda *bounce*, *bounce* modificado, *delete and replace* e a regra *wrap around*. Para as três primeiras, as distribuições são muito semelhantes nestes instantes, ou seja, a distribuição espacial dos NMs sofre grandes alterações ao longo da simulação. No entanto, quando se utiliza a última regra de borda, a distribuição espacial dos nós permanece uniforme durante toda a simulação (figura 8). Observando-se a figura 7 é possível perceber porque isso acontece quando se utiliza a regra *wrap around*. Uma vez que a probabilidade do nó mudar de direção é menor do que a probabilidade deste mantê-la, o fato dele encontrar uma borda

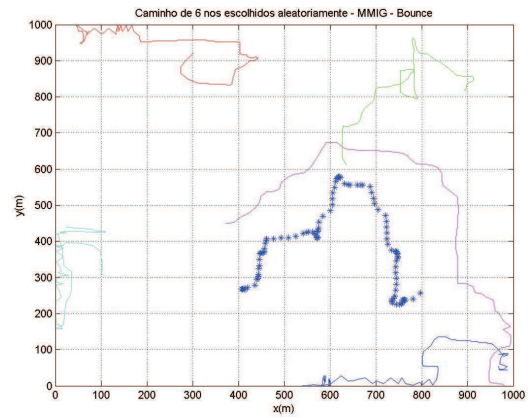


Fig. 6. Caminho percorrido por nós de uma rede ad hoc movimentando-se de acordo com o modelo MMIG para a regra de borda *bounce*.

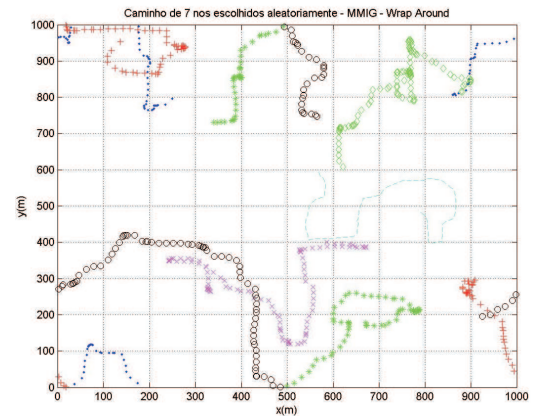


Fig. 7. Caminho percorrido por nós de uma rede ad hoc movimentando-se de acordo com o modelo MMIG para a regra de borda *wrap around*, ao final da simulação.

não altera a direção seguida e o mesmo pode acabar voltando para o centro da área de simulação. Essa característica evita pontos de concentração de nós, como acontece quando se utiliza outras regras de borda com o modelo MMIG (maior densidade nas bordas) e com o modelo RWP (maior densidade no centro).

D. Distribuição Espacial dos Nós para o modelo Brownian

Para o mesmo procedimento realizado com o modelo *Brownian* e as três primeiras regras de borda *bounce*, *bounce* modificado, *wrap around* foram obtidos os mesmos resultados, onde foi possível observar uma distribuição final (após 10000 segundos) semelhante a distribuição inicial uniforme (como pode ser visto na figura 9). Já quando se utiliza a regra *delete and replace*, o que se obtém é uma ligeira concentração na região central da área de simulação (ver simulação). Isso acontece devido ao fato dos nós, quando segue o modelo *Brownian*, tenderem a permanecer em uma área próxima ao ponto inicial. Isso ocorre para intervalos entre escolhas de direção e velocidade pequenos. No entanto, os nós localizados perto das bordas eventualmente podem chegar à borda. Isso faria com que o nó fosse excluído desta posição e incluído novamente em alguma posição na área de simulação. Caso

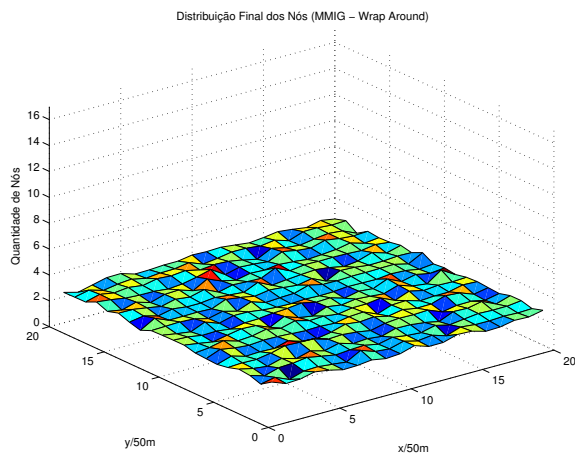


Fig. 8. Distribuição dos nós na área de simulação(1000 nós, 1000mx1000m) com o modelo MMIG para a regra de borda *wrap around*.

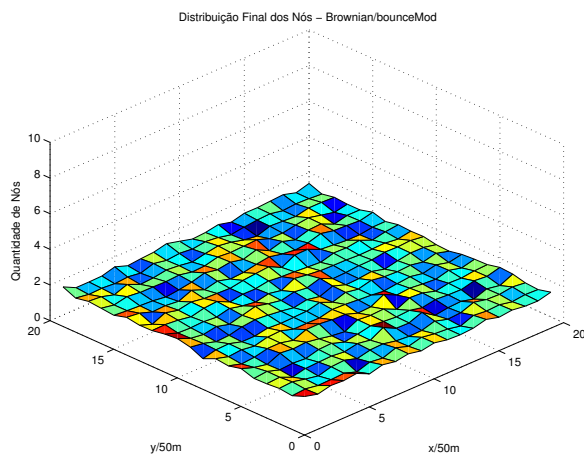


Fig. 9. Distribuição dos nós na área de simulação(500 nós, 1000mx1000m) com o modelo *Brownian* para a regra de borda *bounce* modificado.

esta nova posição seja perto da borda novamente, o nó pode acabar chegando à borda mais uma vez, caso contrário ele seria recolocado em uma posição mais central e lá permaneceria devido a tendência em permanecer próximo a sua origem. Este comportamento pode ser observado na figura 29.

E. Distribuição Espacial dos Nós para o modelo *Smooth*

Para o modelo *Smooth*, resultados muito semelhantes ao modelo *Brownian* foram encontrados. Os gráficos das distribuições dos nós para estes dois modelos e para as respectivas regras de borda são muito parecidos. Quando utilizadas as três primeiras regras de borda *bounce*, *bounce* modificado e *wrap around*, foram obtidos os mesmos resultados, onde foi possível observar uma distribuição final (após 10000 segundos) semelhante à distribuição inicial uniforme (como pode ser visto na figura 11). Já quando se utiliza a regra *delete and replace*, o que se obtém é uma ligeira concentração na região central da área de simulação a exemplo do que acontece com o *Brownian* (ver figuras 10 e 12).

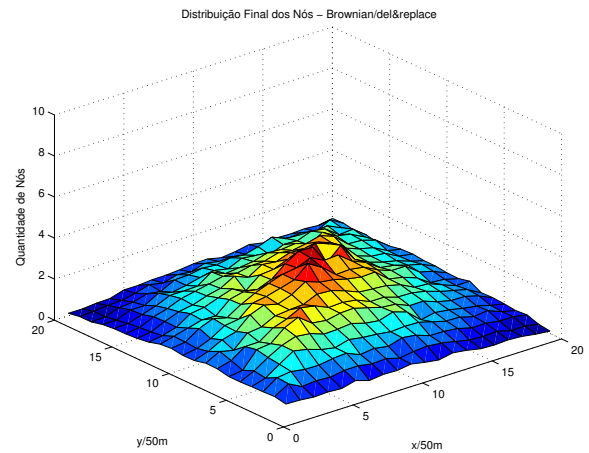


Fig. 10. Distribuição dos nós na área de simulação(500 nós, 1000mx1000m) com o modelo *Brownian* para a regra de borda *delete and replace*.

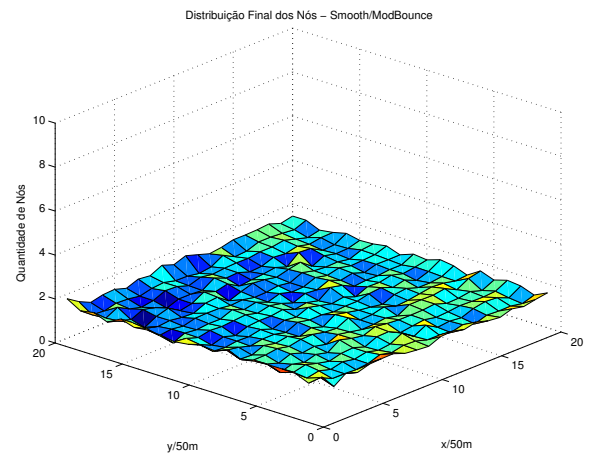


Fig. 11. Distribuição dos nós na área de simulação(500 nós, 1000mx1000m) com o modelo *Smooth* para a regra de borda *bounce* modificado.

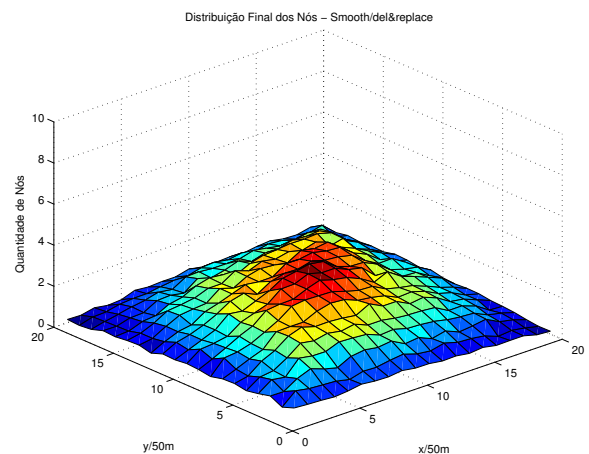


Fig. 12. Distribuição dos nós na área de simulação(500 nós, 1000mx1000m) com o modelo *Smooth* para a regra de borda *delete and replace*.

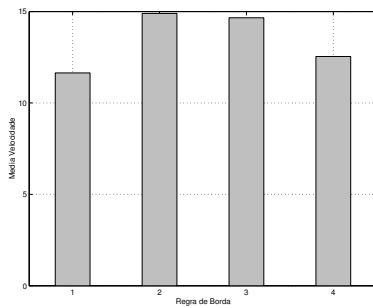


Fig. 13. Média da Velocidade Obtida para o Modelo *Brownian*

F. Média da Velocidade e Alterações Bruscas de Velocidade

Serão apresentados alguns gráficos obtidos utilizando as métricas adotadas durante o trabalho, para os algoritmos de simulação já citados. Cada resultado foi obtido após a execução de 25 rodadas de simulação nas quais foram retiradas os primeiros 100 segundos relativos à fase transiente na qual os nós assumem uma disposição espacial inicial. Para atingir estes resultados, utilizamos a ferramenta Scengen que permite a implementação de novos modelos de mobilidade. Todos os modelos foram simulados numa área de 1000x1000 com uma velocidade máxima de 32 m/s em um cenário com 100 nós e durante um tempo de 1000 segundos.

Cenário de Simulação:

Modelo RWP: ambiente de 1000 metros x 1000 metros, com tempo de pausa igual a zero, velocidade máxima igual a 32m/s e velocidade mínima igual a 1m/s.

Modelo MMIG: ambiente de 1000 metros x 1000 metros, com probabilidade de incremento de posição (m) igual a 0.4, velocidade máxima = 32m/s.

Modelo *Brownian*: ambiente de 1000 metros x 1000 metros, ângulo de mudança de direção entre 0 e π , velocidade máxima igual a 32m/s.

Modelo *Smooth*: aceleração máxima igual a 32 m/s², aceleração mínima igual a 1 m/s². Probabilidade de mudança de direção igual a 0.6 e probabilidade de mudança de velocidade igual a 0.5. A velocidade é definida segundo duas velocidades preferenciais, sendo a primeira de 16 m/s e a segunda de 32 m/s. A probabilidade de escolha de cada uma das velocidades preferenciais é igual a 0.5.

Para os modelos *Brownian*, RWP, *Smooth* e MMIG foram obtidos os valores exibidos nas figuras 13, 14, 15 e 16, sendo as regras de borda *bounce*, *wrap around*, *bounce modificado* e *delete and replace* representadas pelos números 1, 2, 3 e 4 respectivamente. Todos estes modelos foram simulados com uma velocidade máxima de 32 m/s. A métrica de mudanças bruscas de velocidade (figuras 17, 18 e 20) auxilia na interpretação destes valores.

O *Smooth* é o modelo que apresentou o menor número de mudanças de velocidade. Este comportamento é devido à implementação de aceleração do *Smooth* que suaviza as alterações de velocidade. O RWP é um modelo que apresenta um número baixo de mudanças de velocidade e direção. No entanto, este comportamento é devido à própria natureza do modelo. Como não existe uma periodicidade máxima entre

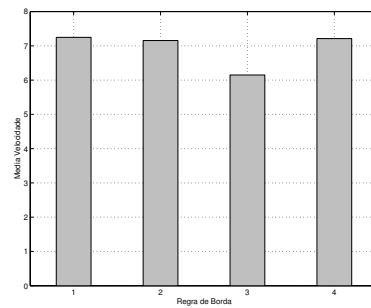


Fig. 14. Média da Velocidade Obtida para o Modelo RWP

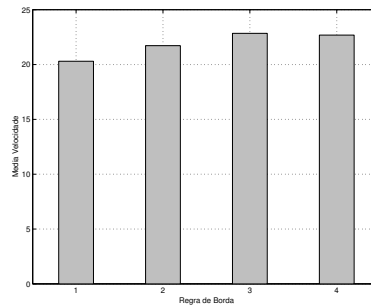


Fig. 15. Média da Velocidade Obtida para o Modelo *Smooth*

duas alterações de posição, o cenário simulado pode conter poucas transições. O modelo MMIG procura minimizar as alterações bruscas de velocidade, o que pode ser observado nos resultados obtidos exibidos na figura 18. O *Brownian* foi o modelo que apresentou maior número de alterações bruscas de velocidade e o *Smooth* apresentou maior velocidade média.

G. Alterações Bruscas de Direção

O modelo que mais apresentou mudanças bruscas de direção foi o MMIG (figura 23), seguido pelo modelo *Smooth* (figura 24). O *Brownian* (figura 21) apresentou um índice de alterações de direção mais brando que o MMIG, o que pode ter sido induzido pela limitação do ângulo de mobilidade do *Brownian* entre 0 e π . O RWP (figura 22), conforme citado anteriormente, apresentou um número muito baixo de mudanças bruscas porque não existe periodicidade máxima entre duas alterações de posição. Um mesmo nó pode seguir uma só direção durante toda a simulação. Desta forma, o nó pode ter como destino um ponto distante e uma velocidade bem baixa, o que faz com que este fique grande parte do tempo executando um movimento retilíneo constante.

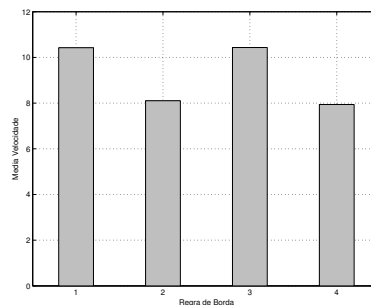


Fig. 16. Média da Velocidade Obtida para o Modelo MMIG

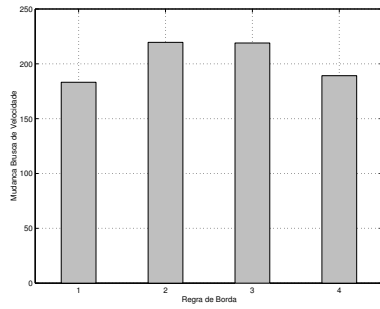


Fig. 17. Mudança Brusca de Velocidade Obtida para o Modelo *Brownian*

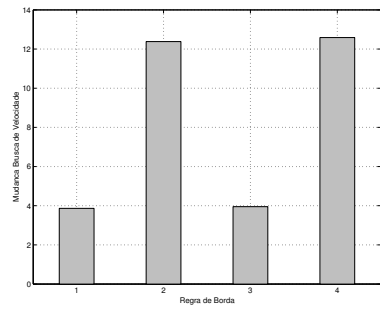


Fig. 18. Mudança Brusca de Velocidade Obtida para o Modelo RWP

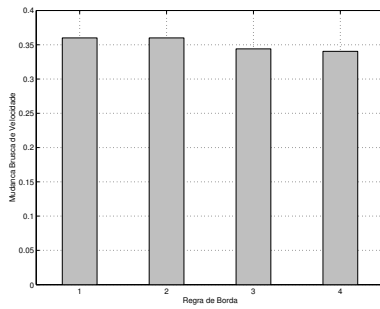


Fig. 19. Mudança Brusca de Velocidade Obtida para o Modelo *Smooth*

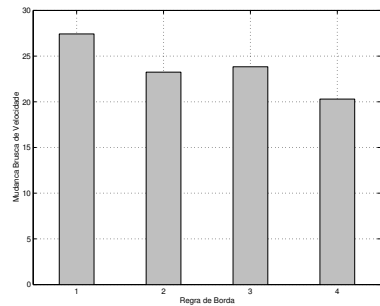


Fig. 20. Mudança Brusca de Velocidade Obtida para o Modelo MMIG

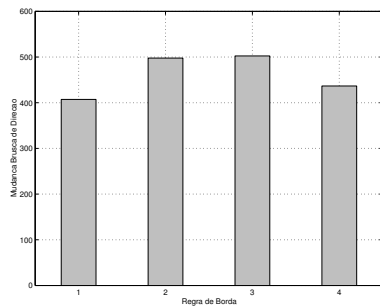


Fig. 21. Mudança Brusca de Direção Obtida para o Modelo *Brownian*

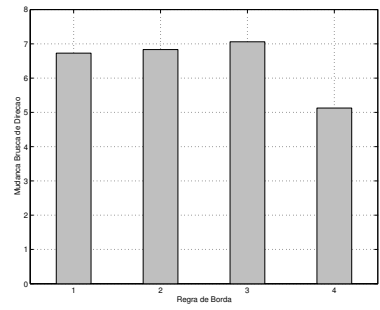


Fig. 22. Mudança Brusca de Direção Obtida para o Modelo RWP

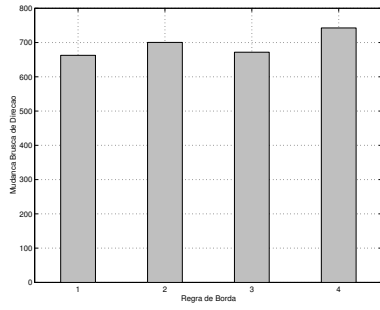


Fig. 23. Mudança Brusca de Direção Obtida para o Modelo MMIG

H. Tempo de Link

O tempo de link define-se como o intervalo de tempo no qual existe comunicação com os nós vizinhos [12]. Esta métrica reflete no número de atualizações obtidas nas tabelas de roteamento e portanto indica se o cenário é bastante dinâmico. Entre os modelos simulados, verificamos que o RWP (figura 26) obteve a maior média, o que pode ser justificado pelo baixo número de alterações bruscas do modelo. O modelo *Brownian* (figura 25) apresentou um bom resultado para o tempo de link com relação aos outros modelos, sendo que o melhor resultado foi encontrado para a regra *bounce*. O MMIG (figura 27) apresentou um tempo de link bem próximo dos valores encontrados para o *Brownian*, no entanto o *Smooth* (figura 27) apresentou tempos de links muito baixos que podem ser justificados pela alta probabilidade de mudança de direção (0.5) com a qual o modelo foi simulado.

I. Movimentação do Nó

A movimentação do nó pode indicar se o modelo obedece padrões realísticos de mobilidade. Por exemplo, o RWP possui

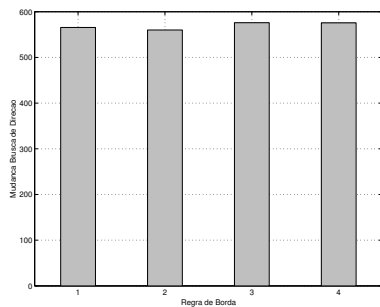


Fig. 24. Mudança Brusca de Direção Obtida para o Modelo *Smooth*

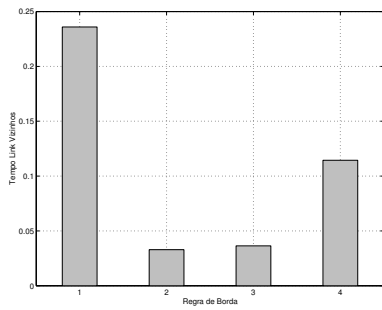


Fig. 25. Tempo de Link com os Vizinhos para o Modelo *Brownian*

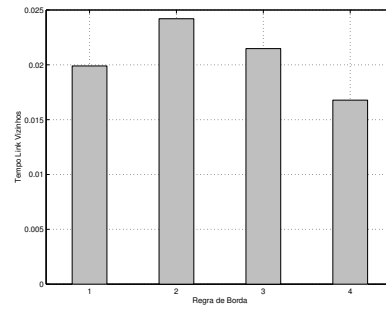


Fig. 28. Tempo de Link com os Vizinhos para o Modelo *Smooth*

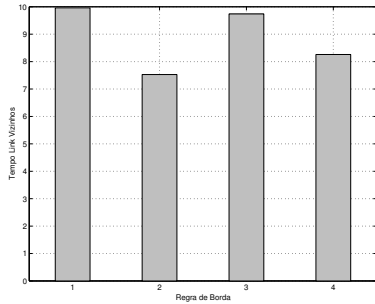


Fig. 26. Tempo de Link com os Vizinhos para o Modelo RWP

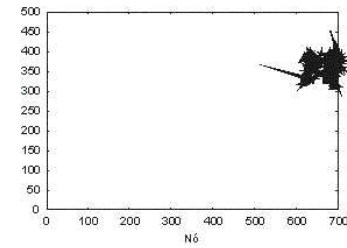


Fig. 29. Movimentação para o Modelo *Brownian*

um número baixo de alterações bruscas de direção, no entanto a movimentação de um nó que obedece a este modelo é bem distante da movimentação de um usuário real (figura30). O modelo *Brownian* representa uma movimentação bem concentrada em uma certa região da área de simulação (figura 29), o que também não reflete um bom comportamento dos usuários. O MMIG apresenta um movimento que não é concentrado como o *Brownian* nem tão retilíneo como o RWP. No MMIG (figura 31) a mobilidade controlada pela cadeia de Markov consegue suavizar os movimentos de um nó. A velocidade do nó é calculada segundo o estado atual na cadeia, deste modo o nó terá um comportamento cuja a velocidade e deslocamento serão controlados pelas probabilidades de transições. O modelo *Smooth* (figura 32) apresenta grandes alterações na direção, mas estas mudanças podem ser minimizadas com a diminuição da probabilidade de mudança de direção, além disso a movimentação do nó guiado pelo modelo *Smooth* não fica concentrada em apenas uma parte da área de simulação.

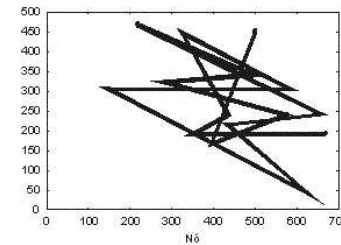


Fig. 30. Movimentação para o Modelo RWP

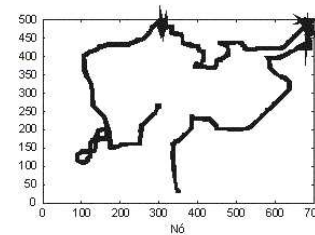


Fig. 31. Movimentação para o Modelo MMIG

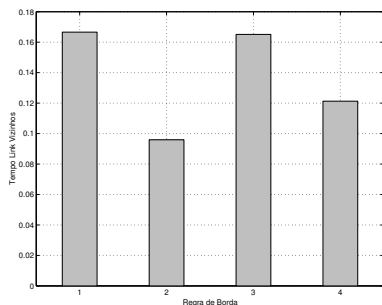


Fig. 27. Tempo de Link com os Vizinhos para o Modelo MMIG

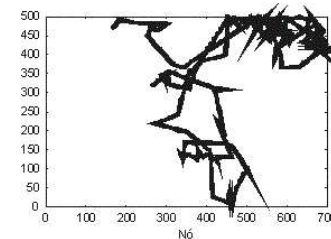


Fig. 32. Movimentação para o Modelo *Smooth*

V. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Com este trabalho, foi dado um passo importante na direção de se avaliar como os modelos de mobilidade e as regras de borda influenciam na distribuição espacial dos nós, em uma rede móvel. Este tipo de estudo é necessário, uma vez que pesquisadores trabalhando em avaliação de desempenho envolvendo este tipo de redes, podem chegar a conclusões equivocadas sobre o funcionamento das mesmas por realizarem suas análises antes que o sistema torne-se estável.

A simulação de ambientes de mobilidade envolve o estabelecimento de características que devem ser preservadas no modelo utilizado. Aplicando-se métricas de número de mudanças bruscas de direção e velocidade, tempo de comunicação com os nós vizinhos e velocidade média atingida pode-se avaliar o cenário que está sendo gerado pelo modelo.

O número de mudanças bruscas de direção e velocidade revelam o grau de dinamismo do ambiente e implicam em um grande impacto na velocidade média e tempo de link entre os nós vizinhos. Sabe-se que a concentração e densidade dos nós móveis influenciam no desempenho da rede. Desta forma, fica claro, diante dos resultados expostos aqui, que resultados de avaliação de desempenho devem levar em consideração o tempo de simulação, devendo-se distinguir avaliações em regime permanente (sistema estável) de avaliações em período transitente.

Considerando que alguns ambientes reais possuem obstáculos, torna-se necessário a avaliação de modelos que suportem a inclusão destes obstáculos. Por fim, é válido dizer que este trabalho não deve ser visto como um esforço isolado, acabado. Existe interesse em dar continuidade a este trabalho, estudar novos cenários, aplicar resultados obtidos em novas pesquisas. Algumas propostas de trabalhos futuros podem ser citadas:

- Avaliar o desempenho das redes para os modelos e cenários estudados aqui. Métricas como vazão, taxa de perda de pacotes, número de pacotes de roteamento devem ser avaliadas para um mesmo nível de mobilidade (mesmas velocidades e tempos de pausa) diferentes regras de borda e diferentes distribuições espaciais iniciais. Ou seja, o que se deseja é medir o desempenho de uma rede cuja distribuição inicial dos nós utilizada é a distribuição em regime permanente e compará-lo com o desempenho de uma rede cuja distribuição inicial dos nós segue uma distribuição uniforme (mais amplamente utilizada).
- Estudar a distribuição espacial dos nós na área de simulação de forma analítica para os modelos estudados aqui.
- Simulação de algoritmos de predição de mobilidade. A utilização da predição auxilia em problemas de diminuição da latência durante o processo de *handoff*. No entanto, para a simulação destes modelos, devem ser utilizados modelos que representem, da melhor forma possível, o padrão de mobilidade dos usuários, visto que a detecção de padrões de mobilidade será o principal resultado a ser buscado.

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho foi realizado com recursos da *CAPES* e da *FAPERJ*. Os autores gostariam de agradecer a essas instituições pelo apoio à pesquisa.

REFERENCES

- [1] J. Zhang, J. Li, S. Winstein, and N. Tu., "Virtual operator based AAA in wireless LAN hot spots with ad hoc networking support," *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, vol. 6, no. 13, 2002.
- [2] J. Amit, E. M. Royer, and S. Suri, "Towards realistic mobility models for mobile ad hoc networks," *MOBICOM*, 2003.
- [3] C. Bettstetter, "Smooth is better than sharp: A random mobility model for simulation of wireless networks," *Proceeding ACM MSWIN'01*, 2001.
- [4] T. Camp, J. Boleng, and V. Davies, "Mobility models for ad hoc network simulations," in *Wireless Communication and Mobile Computing (WCNC): Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research - Trends and Applications*, 2002.
- [5] Jungkeun Yoon, Mingyan Liu, and Brian Noble, "Random Waypoint Considered Harmful," *INFOCOM*, April 2003.
- [6] L. Qiming, "The Scenario Generator: a tool to generate MANET mobility scenarios for NS-2," <http://www.comp.nus.edu.sg/liqm/scengen/>, Página visitada em 2003.
- [7] C. Bettstetter, "Mobility modeling in wireless networks: Categorization, smooth movement, and border effects," *ACM Mobile Comp. And Comm. Ver.*, vol. 5, no. 3, 2001.
- [8] C. A. V. Campos, "Uma modelagem da mobilidade individual para redes ad hoc," *Tese de Mestrado COPPE/UFRJ*, dez 2003.
- [9] D. Yu and H. Li, "Influence of mobility on the node distribution in ad hoc networks," *Proceedings of ICCT*, 2003.
- [10] W. Navidi and T. Camp, "Stationary distributions for the random waypoint mobility model," pp. 99–108, 2001.
- [11] C. Bettstetter, G. Resta, and P. Santi, "The node distribution of the random waypoint mobility model for wireless ad hoc networks," *In Proceedings of the Local and Metropolitan Area Networks Workshop (LANMAN)*, pp. 257–269, 2001.
- [12] D. Tan, S. Zhou, J. Ho, J. Mehta, and H. Tanabe, "Design and Evaluation of an Individually Simulated Mobility Model in Wireless Ad Hoc Networks," *Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference*, 2002.