

IMPACTO DOS MODELOS DE MOBILIDADE NO DESEMPENHO DE REDES TOLERANTES A ATRASOS E DESCONEXÕES

Mauricio de Oliveira, Éderson Rosa da Silva

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG
oliveiramauricio@eel.ufu.br, ersilva@ufu.br

Resumo – Uma Rede Tolerante a Atrasos e Desconexões (DTNs) é uma tecnologia de rede que pode ser empregada em ambientes onde uma conexão fim-a-fim entre a origem e o destino pode não existir, por exemplo, devido à movimentação dos nós que compõe a rede. Dessa forma, protocolos de roteamento devem explorar de maneira eficiente a movimentação dos nós de uma DTN. Neste trabalho, são tratados alguns dos chamados *modelos de mobilidade*, isto é, formalizações utilizadas na tentativa de descrever o padrão de mobilidade dos diversos tipos de nós presentes em uma DTN. Além disso, resultados de simulações de desempenho de uma DTN mostraram o impacto da integração de diferentes modelos de mobilidade e protocolos de roteamento.

Palavras-Chave – DTN, modelos de mobilidade, protocolos de roteamento, Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões, simulação

IMPACT OF MOBILITY MODELS ON THE PERFORMANCE OF DELAY AND DISRUPTION TOLERANT NETWORKS

Abstract – A Delay and Disruption Tolerant Network (DTN) is a network technology that can be employed in environments where an end-to-end connection between the source and destination may not exist, for example, because of the movements of the nodes composing the network. As a result, routing protocols must exploit efficiently the mobility of the DTN's nodes. In this paper, will be treated some of the called *mobility models*, which are formalizations used in attempt to describe the motion patterns of the various types of nodes present in a DTN. Furthermore, simulation results regarding a DTNs' performance have shown the impact of the integration from different mobility models and routing protocols.

Keywords – Delay and Disruption Tolerant Networks, DTN, mobility models, routing protocols, simulations

I. INTRODUÇÃO

Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões (DTNs) referem-se a redes com a finalidade de permitir a comunicação em locais onde a conectividade é intermitente, isto é, com desconexões frequentes sendo que em um dado momento é possível que não haja caminho entre nós comunicantes, o que ocasiona atraso na entrega de mensagens.

A Internet possui entre protocolos base, o TCP/IP, que foram projetados considerando implantação em um ambiente infraestruturado, podendo, portanto, assumir conectividade quase garantida, atrasos limitados e taxa de dados simétrica. Contudo, as aplicações previstas para a tecnologia de redes DTN impossibilitam a utilização desses protocolos, por proporem redes em ambientes desafiadores [1], como rastreamento de vida selvagem, redes de sensoriamento remoto e até mesmo internet interplanetária [2], nas quais tais características não podem ser levadas sempre em conta.

A desconectividade que as DTNs lidam se dá tipicamente devido ao limite do alcance de rádio, falta de energia e movimentação dispersa. O foco deste trabalho é o último, ou seja, a desconectividade em razão da mobilidade dos nós.

A experiência com as redes móveis já existentes, como as MANETs (*Mobile Ad Hoc Network*), deixa claro que para essas novas abordagens a etapa inicial é a realização de um estudo da mobilidade dos nós da rede. A movimentação dos nós pode ser capturada através de registros reais denominados arquivos trace, possíveis de serem obtidos a partir de dados de dispositivos GPS (*Global Positioning System*), por exemplo. Porém, para se obter informações suficientes utilizando arquivos trace, esta solução requer que os dados sobre mobilidade sejam gerados durante um longo período de observação, além de, possivelmente, servir para descrever a movimentação apenas dos nós no cenário em questão, não sendo, desta forma, uma solução genérica e configurável para os diversos ambientes em que se propõe empregar uma DTN.

Com isso, modelos de mobilidade surgem como uma técnica para descrever o padrão de movimentação de nós, e como sua localização e velocidade alteram com o tempo. Tendo em vista a importância da movimentação dos nós para o desempenho do protocolo de roteamento, é desejável que os modelos de mobilidade sejam formalizados de maneira razoável em relação ao tipo de nós que o mesmo propõe simular. Do contrário, observações feitas a partir de resultados gerados com tal modelo são enganosas e comprometem erroneamente o desempenho do protocolo de roteamento utilizado.

Assim sendo, o impacto dos modelos de mobilidade é alvo frequente de estudo entre publicações da área de DTNs. Em



XIV CEEL - ISSN 2178-8308
03 a 07 de Outubro de 2016
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

[3], por exemplo, o autor compara os resultados de simulação gerados através da movimentação utilizando modelos de mobilidade com um padrão de movimentação real obtido a partir de uma atividade de campo com voluntários.

O restante desse artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2 listam-se alguns modelos de mobilidade comumente encontrados na literatura. Em seguida, na Seção 3, apresenta-se um estudo baseado em modelagem e simulação, bem como a análise dos resultados obtidos. Por fim, considerações finais do estudo são apresentadas na Seção 4.

II. MODELOS DE MOBILIDADE

A seguir, apresentam-se alguns modelos de mobilidade comumente encontrados na literatura e em simuladores como o *Random Waypoint* e *Random Walk*. Simuladores DTN contam tipicamente com modelos próprios baseados em características dos modelos já citados e ideias vindas de publicações acadêmicas para posteriormente adicionar-se atributos particulares. Dessa forma, o detalhamento desses modelos é encontrado principalmente na documentação do software de simulação. Por conveniência, opta-se por descrever alguns dos modelos existentes no simulador *The ONE* [4], visto que tal simulador será utilizado para análise do impacto dos modelos de mobilidade no desempenho da rede DTN em um cenário urbano.

A. The Random Waypoint Model (RWP)

O *Random Waypoint Model* [5] é bastante utilizado na avaliação de protocolos de roteamento para redes MANET e foi proposto por David B. Johnson e David A. Maltz.

Inicialmente, cada nó escolhe aleatoriamente um destino no campo de simulação e então segue diretamente para o destino em questão, a uma velocidade constante, escolhida também de maneira aleatória entre 0 e $V_{\text{máx}}$. Nota-se que a escolha é feita de maneira uniforme entre $[0, V_{\text{máx}}]$, isto é, a velocidade pelo qual o nó viaja até o destino escolhido é uma variável aleatória que segue uma distribuição uniforme. O parâmetro $V_{\text{máx}}$ é a velocidade máxima pela qual qualquer nó pode se mover na simulação. Ao chegar ao destino, o nó pausa por uma duração especificada por T_{pause} , e após isso escolhe novamente um destino e caminha até ele. Este processo continua durante toda a simulação. Na Figura 1 é ilustrado o modelo RWP através de um nó que escolhe sete destinos consecutivos.

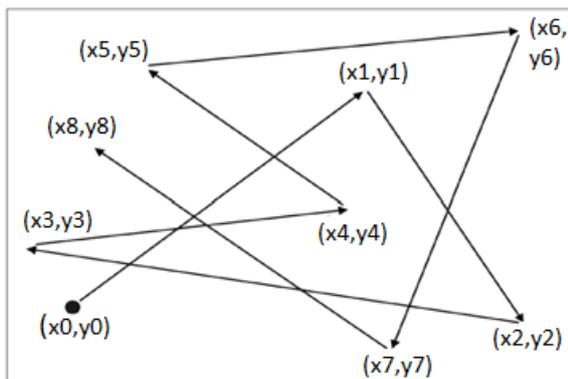


Fig. 1. Nó seguindo modelo RWP.

Sendo assim, esse modelo requer como entrada os parâmetros $V_{\text{máx}}$ e T_{pause} , que por sua vez apontam o quão dinâmica é a rede. Com $V_{\text{máx}}$ alto e T_{pause} baixo temos uma rede de elevada mobilidade. No entanto, o inverso faz com que a rede simulada seja pouco dinâmica. Cabe a quem simula qual das duas situações melhor descrevem os padrões de mobilidade de um determinado cenário de rede. Por fim, é também importante ressaltar que cada nó que se move através desse modelo é independente, isto é, a velocidade e direção de cada nó são definidas aleatoriamente e independentemente dos outros nós.

B. Random Walk Model (RW)

O modelo *Random Walk* [6] foi originalmente proposto para modelar a movimentação de partículas que se movem de maneira imprevisível, sendo também chamado de Modelo Browniano. Neste modelo, os nós mudam sua velocidade e direção a todo *time step* t . Para cada novo instante t , cada nó aleatoriamente passa a ter uma velocidade entre $[0, V_{\text{máx}}]$, distribuídas uniformemente, como no modelo *Random Waypoint*. Além da velocidade, a direção também muda a todo instante t , seguindo uma distribuição normal de $[0, 2\pi)$. Com isso, para cada instante t , o nó se move com o vetor $(v(t)\cos(\theta(t)), v(t)\sin(\theta(t)))$. Uma nota é que se o nó atinge as bordas da área de simulação, o nó é rebatido para a região de simulação com uma direção de $\pi - \theta(t)$. No modelo RW, a direção e velocidade também independe dos outros nós.

C. Modelos de Mobilidade do Simulador DTN The ONE

A seguir detalham-se alguns dos modelos incluídos no simulador *The ONE* [4]. Todos possuem como entrada a especificação das velocidades mínima e máxima, e a escolha da velocidade entre $[V_{\text{min}}, V_{\text{máx}}]$, além da utilização de uma função randômica. Existe também o tempo de pausa, como descrito anteriormente no modelo *Random Waypoint*, sendo a duração pelo qual o nó não se move após ter chegado ao destino. Além disso, cada modelo pode contar com atributos adicionais próprios.

1) Map based movement (MBM)

A necessidade de restringir a movimentação de nós a imposições geográficas torna-se evidente quando se necessita de uma simulação mais precisa em relação ao real padrão de mobilidade de certos nós. Observando a Figura 1, percebe-se que o nó pode se mover livremente em toda área delimitada. Considerando-se a representação de um pedestre, a movimentação obtida pelo modelo RWP não leva em conta, por exemplo, ruas e calçadas, e por isso modelos de mobilidade com integração de mapas é essencial.

O modelo *Map Based Movement* restringe a movimentação do nó em locais predefinidos. No simulador *The ONE*, o mapa padrão é o da cidade de Helsinque e, portanto, pode-se atribuir caminhos como ruas, linhas de trem urbano e calçadas a diferentes tipos de nós, para impedir, por exemplo, que carros se movam no interior de prédios ou em caminhos de pedestres deste mapa.

Inicialmente, o modelo MBM distribui os nós nos locais em que o mesmo é permitido movimentar. Ele então escolhe aleatoriamente um ponto do mapa conectado a sua localização atual e se move até ele. Ao chegar ao ponto, gera-se outro destino e, após certo número de

movimentações (entre 10 e 100), o nó para (tempo de pausa) e volta a se mover. A maneira como o nó caminha é aleatória em relação a escolhas de caminhos até o local de destino, dessa forma, o MBM é uma espécie de *Random Walk* com integração de mapas. Um nó que segue este modelo é mostrado na Figura 2.

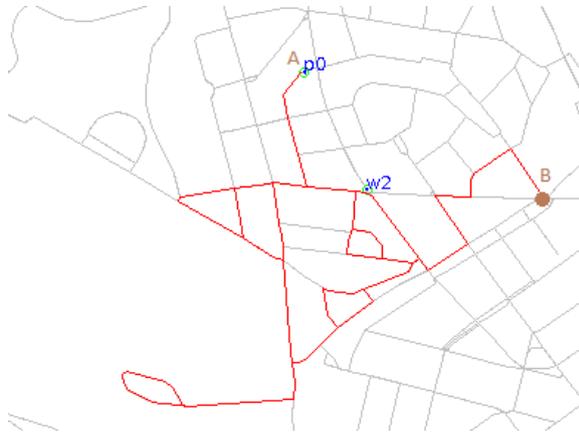


Fig. 2. Percurso de nó MBM (p0), de A até B.

2) Shortest path map based movement (SPMBM)

O modelo *Shortest Path Map Based Movement* é quase idêntico ao MBM, sendo a principal diferença a maneira como o nó chega até o destino. Neste modelo, o nó usa o *algoritmo de Dijkstra* e escolhe o caminho mais curto até o destino, como mostra a Figura 3. Dessa forma, pode-se pensar no SPMBM como uma versão do *Random Waypoint* integrada a mapas, visto que um nó RWP caminha até o destino em linha reta, isto é, utilizando o caminho mais curto.

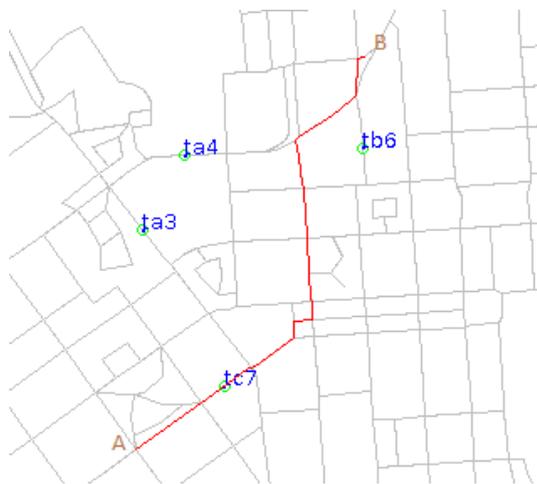


Fig. 3. Percurso de nó SPMBM (tc7), de A até B.

III. MODELAGEM E SIMULAÇÃO

A simulação utilizando o The ONE requer várias definições que são especificadas em um arquivo de configuração. Alguns exemplos: o número total de nós, interface de comunicação utilizada, limite do alcance de rádio em metros, modelo de mobilidade, taxa de transmissão e diversos outros itens. Para análise do impacto do modelo

empregado foram realizadas simulações mantendo a mesma configuração e variando o modelo de mobilidade de todos os nós, para cada protocolo de roteamento empregado.

Os modelos de mobilidade utilizados (RW, RWP, MBM e SBMBM) foram testados juntamente com os algoritmos de roteamento *First Contact*, *Epidemic*, *Spray and Wait*, *Direct Delivery* e *MaxProp*. Uma breve descrição desses protocolos é feita a seguir:

a) *First Contact*: neste algoritmo os nós encaminham mensagens ao primeiro nó que encontram. Apenas uma cópia de cada mensagem existe na rede.

b) *Direct Delivery*: aqui, o nó não transfere mensagens para nenhum nó intermediário, apenas para o nó de destino. Dessa forma, não existem duplicadas da mensagem na rede.

c) *Spray and Wait*: esse protocolo limita um número máximo de cópias a serem espalhadas na rede e após esse número ser alcançado, este número é reduzido e menos cópias passam a existir na rede.

d) *Epidemic*: neste algoritmo, nós replicam a mensagem para todos nós que encontram.

e) *MaxProp*: aqui, as mensagens são replicadas em grande volume mas o protocolo possui mecanismos para descartar cópias uma vez que a mensagem é entregue ao destinatário.

A. Ambiente de Simulação

Será utilizado o mapa default do The ONE, que é o mapa da cidade de Helsinque (Figura 4). A simulação conta com 186 nós, dividido em seis grupos. Cada grupo possui um identificador (id) diferente e representa tipos de nós distintos. Há dois grupos de pedestres (identificados por p e w), com 60 nós cada que diferem no tempo de pausa. Os identificadores ta, tb e tc se referem a diferentes linhas de trem e possuem 2 nós cada. Por último, nós identificados por c são os carros, que possuem a maior velocidade média dentre todos os grupos e contam também com 60 nós.

A definição mais importante de cada grupo é a sua rota, isto é, os grupos p e w representam pedestres por especificar caminhos de pedestre. O mesmo vale para os carros que se movem em estradas e os trens possuem rotas próprias. No entanto, essa distinção só faz sentido em modelos com integração a mapas (MBM e SPMBM), nos outros dois essas delimitações são ignoradas e os nós movem-se livremente.



Fig. 4. Mapa da simulação utilizando The ONE.

B. Apresentação de Resultados

Cada simulação é analisada em termos de probabilidade de entrega (PE), taxa de overhead (TO) e atraso médio. A probabilidade de entrega indica o percentual de mensagens criadas que chegaram ao destinatário. A taxa de overhead se refere a quantidade de redundância inserida na rede em relação a quantidade de mensagens criadas. Pode ser interpretada como a redundância criada pelo protocolo na rede para chegar até seu nível de taxa de entrega. Essas duas estatísticas são apresentadas no mesmo gráfico, para cada protocolo de roteamento empregado. Por último, o atraso médio diz o tempo médio, dado um nível de entrega, que as mensagens criadas levaram até atingir o destino.

Apresenta-se primeiramente os histogramas referentes a probabilidade de entrega e taxa de overhead e posteriormente, os gráficos sobre o atraso médio.

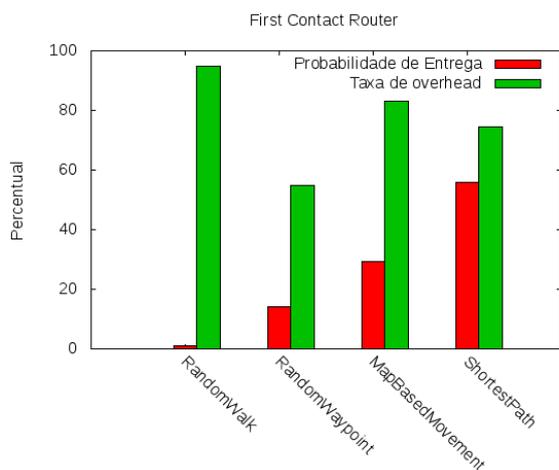


Fig. 5.a. PE e TO utilizando protocolo *First Contact*.

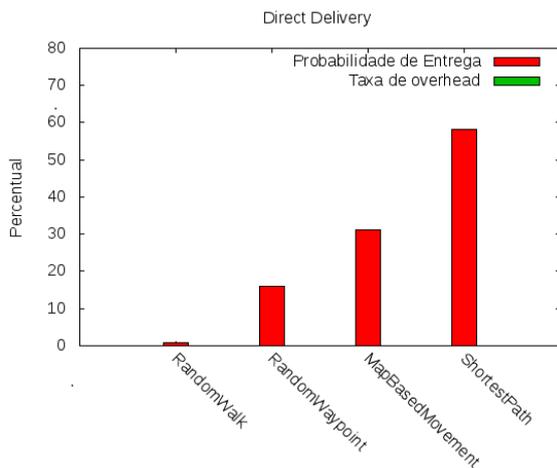


Fig. 5.b. PE e TO utilizando protocolo *Direct Delivery*.

Os protocolos *First Contact* e *Direct Delivery* não replicam as mensagens e chegam a taxas de entrega máxima de 55,99% (Figura 5.a) e 58,32% (Figura 5.b), respectivamente, quando se utiliza o modelo SPMBM. A taxa de entrega aumenta à medida que se melhora as características do modelo de mobilidade e para o caso do modelo RW, mal chega a 1%, já que chances da mensagem expirar antes de seu TTL (*Time to Live*) até a mensagem ser encaminhada ao nó destino ou que o nó de origem não esteja

nunca em contato com o destino são grandes neste modelo. Em relação à taxa de overhead, como o *Direct Delivery* apenas envia a mensagem para o nó destino, portanto, seu overhead é sempre zero. Embora não crie cópias de mensagem, o protocolo *First Contact* apresenta redundância considerável devido aos dados adicionais de controle que cada mensagem possui.

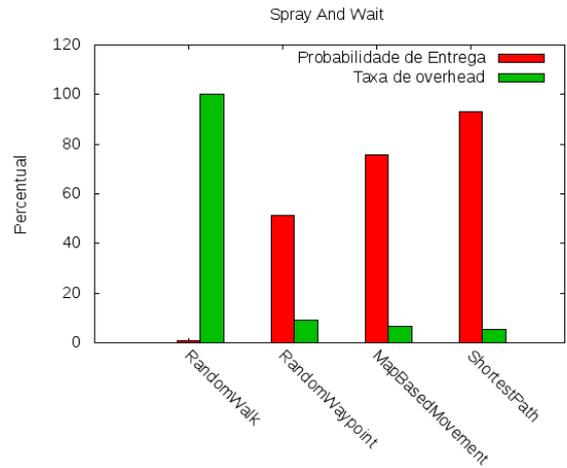


Fig. 5.c. PE e TO utilizando protocolo *Spray and Wait*.

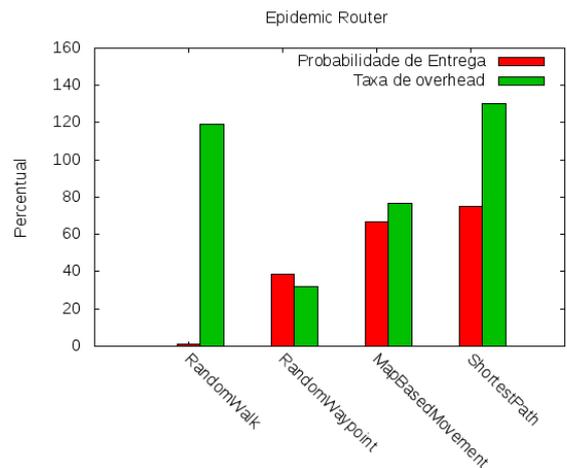


Fig. 5.d. PE e TO utilizando protocolo *Epidemic*.

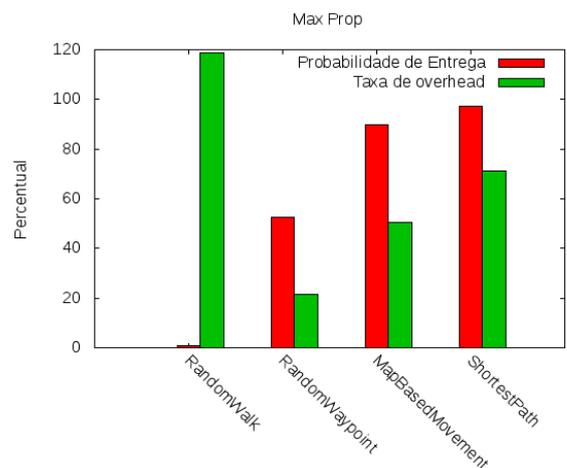


Fig. 5.e. PE e TO utilizando protocolo *MaxProp*.

As Figuras 5.c, 5.d e 5.e apresentam resultados de protocolos que replicam a mensagem na rede. No *Spray and Wait*, chega-se a elevada taxa de entrega (93,16%) e pouca redundância, devido ao controle da mesma que passa a ser executado após a fase de espalhamento de mensagens. Aqui modelo RW já se mostra inapropriado para simulações de nós em cidades, pois mostra resultados bastante divergentes dos outros modelos. O modelo SPMBM possui a melhor taxa de entrega em todos os casos por representar a mobilidade dos nós em questão de maneira mais acurada. A maior probabilidade de entrega é conseguida com o protocolo *MaxProp* (97,19). Nota-se que para todos os protocolos, novamente a taxa de entrega é aprimorada à medida que se emprega um modelo mais aperfeiçoado. Por último, as taxas de overhead do protocolo *Epidemic* são as mais elevadas, superando 100% quando se utiliza o SPMBM o que mostra o efeito de disseminação deste protocolo.

Nas Figuras 6.a, 6.b, 6.c, 6.d e 6.e apresentam-se as curvas de atraso médio. Na simulação, o período simulado foi de 12h e o eixo horizontal dos gráficos de atraso médio é dado em segundos.

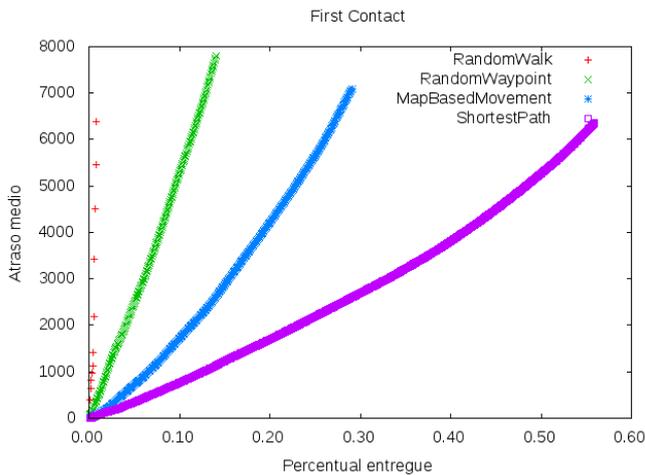


Fig. 6.a. Atraso médio – protocolo *First Contact*.

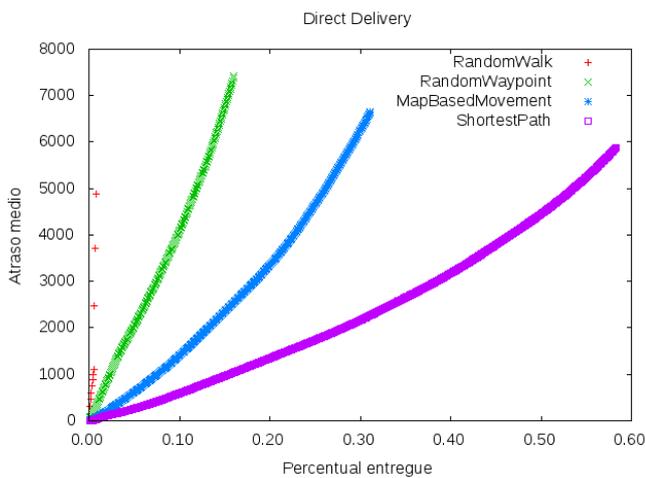


Fig. 6.b. Atraso médio – protocolo *Direct Delivery*.

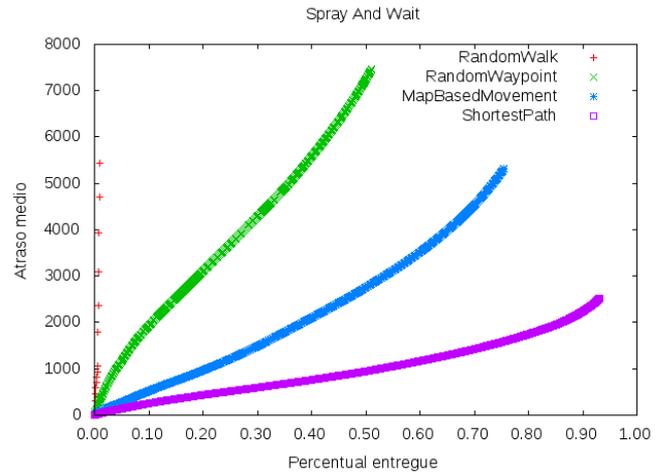


Fig. 6.c. Atraso médio – protocolo *Spray and Wait*.

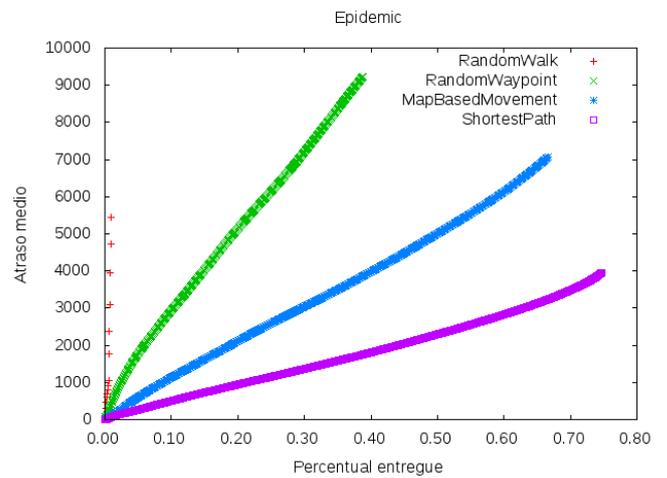


Fig. 6.d. Atraso médio – protocolo *Epidemic*.

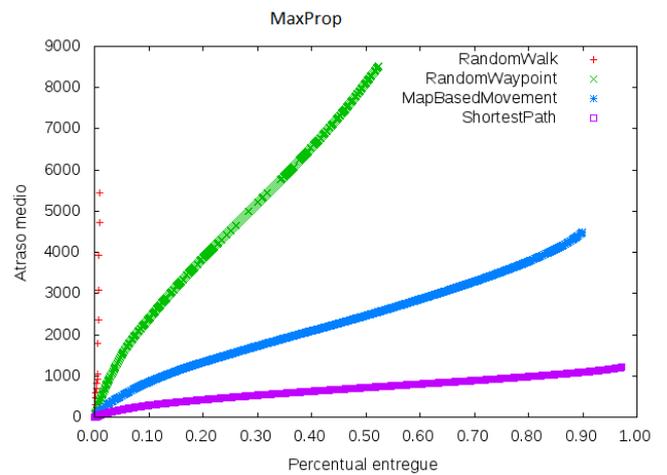


Fig. 6.e. Atraso médio – protocolo *MaxProp*.

Nota-se que os modelos de mobilidade mais refinados também levam a melhores resultados de atraso médio. Em todos os casos, para dado atraso, o percentual entregue quando se usa o SPMBM é sempre maior, e que o modelo MBM supera tanto o RWP e claro o RW, do qual pouco se espera.

Uma vez que o período simulado é de 12h, atrasos na entrega de mensagens pode chegar a horas. É o que ocorre em diversos modelos e protocolos que mostraram atrasos maiores que 3600s. A melhor curva de atraso médio obtida foi a do SPMBM com algoritmo *MaxProp* e a segunda melhor no caso do *Spray and Wait*, para o mesmo modelo. A utilização do modelo *Shortest Path* para estes dois protocolos mostram o impacto do modelo de mobilidade no desempenho da rede. O modelo SPMBM, por descrever melhor a movimentação de nós em cenário urbano, faz com que os protocolos *MaxProp* e *Spray and Wait* se destaquem, o que oferece credibilidade a estes protocolos.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Neste artigo, foram apresentados diversos modelos de mobilidade e a utilização destes na simulação de uma rede DTN em um cenário urbano.

A principal conclusão obtida é que, uma vez que se propõe utilizar simulações para contribuir com a tecnologia de redes DTN, é necessário que os modelos de mobilidade empregados sejam verossímeis para revelar o real desempenho dos algoritmos de roteamento e, portanto, da rede.

Isso pôde ser verificado com a utilização de modelos simples e mais detalhados. O mais completo utilizado neste trabalho é sem dúvida o SPMBM que, ao definir o caminho mais curto entre destino e origem, aproximou-se mais que o modelo MBM da movimentação de pedestres e carros, e fez com que todos os protocolos utilizados nas simulações mostrassem sua real capacidade. Sendo assim, pode-se concluir que utilizar modelos que não levam em consideração restrições de movimentação observadas em mapas, como os modelos RW e RWP, podem produzir resultados que não demonstram a eficiência e vantagens de um determinado protocolo de roteamento.

Com isso, o estudo de outros simuladores para DTNs e análise de outros modelos de mobilidade ainda mais completos, como o *Working Day Movement Model* [7], modelo que conta com características comportamentais

humanas, podem ser alvos de um trabalho futuro, além de claro, da criação de um modelo próprio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço o Prof. Dr. Éderson Rosa da Silva que me apresentou a área de redes DTN e pelo incentivo e apoio na realização deste artigo.

REFERÊNCIAS

- [1] C. T. Oliveira; M. D. D. Moreira; M. G. Rubinstein; L. H. M. K. Costa; O. C. M. B. Duarte, “Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões,” Em Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC’07) (maio de 2007), pág. 203–256.
- [2] The Consultative Committee for Space Data Systems, “*Rationale, scenarios, and requirements for DTN in space*”, Informational Report, CCSDS 734.0-G-1, Green Book, National Aeronautics and Space Administration, Washington, Agosto 2010.
- [3] C. A. V. Campos, R. M. S. Fernandes e L. F. M. Moraes, “Uma Avaliação das Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões Através de Traces Reais de Mobilidade Humana”, Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 27, 2009, Recife, PE, Brasil.
- [4] Karänen, A., Ott, J., Kärkkäinen, T. “*The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation*”. In: SIMUTools 2009, Roma, Março 2009.
- [5] Johnson, D. B.; Maltz, D. A. “*Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks*”, In T. Imielinski & H. Kort (Eds.), *Mobile Computing*. Kluwe Academic Publisher, 1996.
- [6] Jardosh, A., Belding-Royer, E. M., Almeroth, K. C, Suri, S. “*Towards Realistic Mobility Models for Mobile Ad Hoc Networks*”. In Proceedings of ACM MOBICOM, Set, 2003.
- [7] Ekman, F., Karänen, A., Ott, J., Karvo, J. “*Working Day Movement Model*” MobilityModels’08, Hong Kong SAR, Maio 2008.