

A Influência de Nós Especiais na Entrega de Mensagens nas Redes Tolerantes a Atrasos e Interrupções

Tadeu L. Villares¹, Carlos Alberto V. Campos¹, Aline C. Viana²

¹Departamento de Informática Aplicada (DIA)
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO) – Rio de Janeiro, Brasil

²Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA)
Orsay, France

{tadeu.villares, beto}@uniriotec.br, aline.viana@inria.fr

Abstract. *Delay/disruption tolerant networks are characterized by frequent interruptions in communication between nodes. Several factors such as mobility and resource constraint can influence this intermittency. So, the great challenge of these networks is to promote the routing in the best possible way. In this context, the goal of this paper is to investigate whether the use of nodes with special mobility influences the delivery of messages to the destination. Thus, we performed a set of simulations based on a real scenario and results show that special nodes influenced the delivery of message across all protocols investigated. To demonstrate the influence of nodes with special mobility a metric that calculates the share of each node in the delivered messages was defined.*

Resumo. *As redes tolerantes a atrasos e desconexões são caracterizadas pelas frequentes interrupções na comunicação entre os nós. Diversos fatores como a mobilidade e escassez de recursos podem influenciar esta intermitência. Por causa disso, o grande desafio dessas redes é promover o roteamento da melhor maneira possível. Dentro desse contexto, o objetivo desse trabalho é investigar se o uso de nós com mobilidade especial influencia a entrega das mensagens ao destino. Assim, foi realizado um conjunto de simulações com base em um cenário real e os resultados obtidos mostram que os nós especiais influenciaram positivamente a entrega das mensagens em todos os protocolos investigados. Para comprovar a influência dos nós com mobilidade especial, foi definida uma métrica que calcula a participação de cada nó na entrega das mensagens.*

1. Introdução

Dentre as novas abordagens de redes móveis sem fio, têm-se as Redes Tolerantes a Atrasos e Interrupções (*Delay and Disruption Tolerant Networks - DTNs*). Estas redes não necessitam de uma infraestrutura pré-existente de comunicação, suportam longos atrasos e a existência de interrupções na comunicação rompendo o paradigma da obrigatoriedade de uma conexão fim-a-fim entre a origem e o destino [Burleigh et al. 2003].

As DTNs buscam promover a operação entre os elementos da rede mesmo sob circunstâncias não favoráveis e desafiadoras como longo atraso, desconexões frequentes, enfileiramentos e limitação de recursos entre outras características que não apresentam desempenho satisfatório nos protocolos de redes tradicionais. Todas estas limitações tornam o roteamento um importante fator a ser considerado no estudo das DTNs. Isto por

que promover a entrega dos pacotes sem conhecimento da rede e com a preocupação de administrar os recursos de seus elementos é uma tarefa desafiadora. Por isso, os estudos dos protocolos de roteamento em DTN e a avaliação do desempenho dos mesmos nas variadas situações são tão importantes.

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo investigar, através de simulações, a influência da inclusão de nós com mobilidade especial (veicular) na entrega de mensagens em uma DTN com mobilidade humana em um cenário urbano sem o uso de nenhuma infraestrutura especial ou mecanismo/ algoritmo especializado instalado de maneira adicional na rede para melhoria de desempenho. Ou seja, investigar se somente o uso de nós com mobilidade elevada (ônibus com trajeto definido existentes no transporte público das cidades) aumenta a taxa de entrega dos nós sem nenhuma infraestrutura adicional. Mais especificamente, foi analisado o impacto de nós especiais (do tipo veicular) no desempenho da rede que utiliza os protocolos de roteamento/encaminhamento: Epidêmico [Vahdat and Becker 2000], Max-Prop [J. Burgess and Levine 2006], PROPHET [Lindgren et al. 2003] e *Spray and Wait* [T. Spyropoulos and Raghavendra 2005]. As simulações foram feitas usando um modelo de mobilidade humana baseada em mapas reais, na qual o centro da cidade do Rio de Janeiro foi utilizado. Para efetuar as simulações, o simulador ONE (*Opportunistic Networking Environment*) foi usado.

Os resultados obtidos das simulações são referentes ao desempenho dos protocolos investigados. As métricas de desempenho (probabilidade de entrega, atraso, número de saltos e sobrecarga) serão comparadas nas duas situações definidas para a realização da avaliação. Na primeira situação, avaliaremos o comportamento da rede composta por elementos com as mesmas características de mobilidade e velocidade. Na segunda situação, incluiremos elementos com mobilidade baseada em uma rota específica e velocidade diferenciada combinados com os elementos da primeira situação. Para evidenciar se os nós especiais realmente ajudam na entrega das mensagens foi definida uma métrica para quantificar a participação dos nós no encaminhamento dessas mensagens e importantes resultados foram obtidos nesse sentido.

O restante do texto está organizado da seguinte maneira. A Seção 2 descreve os protocolos de roteamento investigados. A Seção 3 contém os trabalhos relacionados. A Seção 4 apresenta a avaliação realizada, na qual é descrita configuração do mapa utilizado no simulador, os modelos de mobilidade e as métricas de desempenho. A Seção 5 apresenta os resultados obtidos para o cenário de mobilidade somente com pedestre e também para o cenário contendo pedestres e nós especiais. Por fim, as conclusões e trabalhos futuros são descritos na Seção 6.

2. Protocolos de Roteamento em DTN

Para superar os desafios de uma rede em que a ligação física entre os nós não é estabelecida de forma constante e o atraso médio possui valores acima do suportado pelos protocolos tradicionais de rede, as DTNs precisam de protocolos de roteamento que consigam ser efetivos diante de um ambiente marcado por dificuldades no estabelecimento de conexões e no pouco conhecimento da rede por parte dos nós.

Os principais problemas relacionados à definição de um roteamento para DTN são o nível de conhecimento da rede necessário para os nós, a forma como as rotas são

definidas e a possibilidade de utilização de múltiplos caminhos para a mensagem chegar ao destino. Dentro desse contexto Zhang [Zhang 2006] utiliza o nível de conhecimento da rede para classificar os grupos de protocolos de roteamentos existentes e define dois grupos, o estocástico e o determinístico. No grupo determinístico os nós podem ter um conhecimento total ou parcial da rede ou ainda ter conhecimento através o uso de oráculos de conhecimento. Já no grupo estocástico ou dinâmico, os nós não possuem nenhum conhecimento prévio da rede. Dentro do grupo de roteamento estocástico temos alguns tipos de protocolos que variam de acordo com a forma de transmissão das mensagens. Zhang listou dentro do grupo estocástico os tipos: epidêmico, roteamento baseado em estimativa, roteamento baseado em modelo, roteamento baseado em controle do movimento do nó e roteamento baseado em codificação.

Dentre os protocolos propostos na literatura, estudaremos no presente artigo os protocolos: Epidêmico, MaxProp, PROPHET e *Spray and Wait* como sendo os protocolos clássicos de roteamento determinístico e estocástico.

O protocolo Epidêmico possui como principal objetivo [Vahdat and Becker 2000] ter maior probabilidade de entrega com menor atraso ao elemento destinatário da mensagem estando o emissor da mensagem com o mínimo conhecimento sobre a localização do receptor e sem um meio interligando-os. O funcionamento básico do protocolo consiste na constante disseminação das mensagens de um nó para os que estão em seu alcance até que o nó de destino seja alcançado.

O protocolo *Spray and Wait* ([T. Spyropoulos and Raghavendra 2005] tem como objetivo obter um resultado ótimo com o máximo de eficiência. Esta eficiência é buscada através da baixa quantidade de transmissões, da menor concorrência entre os nós (principalmente em alto tráfego), de um atraso próximo do valor ótimo, da possibilidade de escalabilidade, da simplicidade e da pouca ou nenhuma necessidade de informação sobre a rede em si. O protocolo é composto por duas fases: a fase *spray* em que um determinado nó espalha um número de cópias da mensagem a um número pré-determinado de nós (parâmetro L do protocolo); e a fase *wait*, na qual os nós que receberam a mensagem se encarregam de transmiti-la somente ao nó de destino.

O protocolo PROPHET (Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity) [Lindgren et al. 2003] é um protocolo de roteamento probabilístico. O PROPHET parte da premissa que os movimentos humanos não são puramente aleatórios e que na verdade possuem um certo grau de previsibilidade e repetitividade. Assim, com a combinação da transitividade dos nós com seus históricos de encontros, este protocolo busca aumentar a chance de entrega de uma mensagem em uma DTN.

O protocolo de roteamento MaxProp [J. Burgess and Levine 2006] busca superar todas as deficiências encontradas nos protocolos predecessores e garantir uma maior taxa de sucesso na entrega e menor atraso. Para alcançar estes objetivos, o MaxProp tem um parâmetro baseado na probabilidade de encontro dos nós. Este parâmetro fica armazenado em cada nó da rede e sempre é atualizado para toda a rede na medida em que os encontros vão ocorrendo. A frequência de encontros entre dois nós é diretamente proporcional à probabilidade de entrega estimada.

Estes protocolos serão avaliados sobre a influência de mobilidade especial. Esta avaliação será descrita na Seção 4 e os resultados serão apresentados na Seção 5.

3. Trabalhos Relacionados

Como o objetivo deste trabalho é entender a influência da inclusão de nós com mobilidade diferenciada nas principais métricas de desempenho de DTN, em uma simulação com mapas reais, serão apresentados nesta seção alguns trabalhos existentes que tiveram como temática os seguintes aspectos: (i) - trabalhos relacionados às simulações em DTN; (ii) - inclusão de características especiais em uma rede DTN visando melhorar o desempenho; (iii) - trabalhos baseados em redes com veículos e mapas reais em DTN.

Um trabalho que teve como objetivo comprovar, através de simulações, como uma DTN pode ser impactada pelas características dos modelos de mobilidade é apresentado em [Abdulla and Simon 2007]. Neste trabalho foram verificadas como estatísticas referentes aos modelos de mobilidade, como o tempo de encontro entre os nós, podem influenciar no roteamento das mensagens em uma DTN.

Outro trabalho baseado em simulação é apresentado em [Doering et al. 2010]. Neste artigo é proposto um algoritmo para roteamento baseado no sistema de transporte público. Para provar o funcionamento foram feitas simulações com mapas e traces de mobilidade. O RUTS (Routing Urban Transport System) foi definido como uma forma de roteamento em que a alta taxa de entrega, baixo atraso e utilização de recursos não eram conflitantes. O objetivo do RUTS é se utilizar características da rede de transporte público para aumentar a eficiência da rede. Dentre as características podemos citar, a rede formada pelas diversas rotas distintas das linhas de ônibus e bondes existentes em uma cidade, e os tempos de partida e parada de cada linha. Estas características enriquecem a previsibilidade da rede e podem contribuir para a melhor utilização dos recursos. As simulações deste trabalho foram feitas no ambiente ONE e foram usados mapas com rotas de ônibus. Este artigo serviu como base para o presente trabalho.

Uma outra proposta para melhorar o desempenho de uma DTN é definida por Bulut [Bulut et al. 2010], na qual é introduzida a métrica *conditional intercontact time*. Esta métrica computa o tempo médio entre encontros de dois nós em relação a um encontro com um terceiro nó usando exclusivamente o conhecimento local dos encontros anteriores. Com esta nova métrica é possível obter mais informações sobre o comportamento dos nós e seus encontros mais constantes ou esporádicos. Os resultados foram apresentados comparando os algoritmos com e sem a métrica em suas implementações.

Em [Zhao et al. 2004] é introduzido o uso de *ferry nodes* na arquitetura das redes ad hoc móveis esparsas com o intuito de aumentar a eficiência da entrega de mensagens. Este artifício foi usado em diversos trabalhos e também no presente artigo. O diferencial do presente artigo é que nenhuma infraestrutura sofisticada ou algoritmo especializado é utilizado pelos nós (especiais) com mobilidade controlada.

Estudos realizados com o uso de veículos para aumentarem a eficiência da entrega de mensagens tem sido realizados. Em [Zhang et al. 2007] foi realizada uma investigação do uso de ônibus com trajetos definidos no encaminhamento de dados, na qual uma modelagem foi apresentada, bem como algoritmos de encaminhamento e a realização de experimentos reais. Em [Doering et al. 2010, Silva et al. 2010] foram realizadas avaliações de desempenho dos protocolos de uma DTN baseadas em cenários reais de transporte público urbano de cidades.

Todos os trabalhos citados nesta seção possuem em comum o objetivo de obter

ganho no desempenho da DTN e como método a utilização de simulações, baseadas em dados reais ou artificiais de movimentação, para comprovar o funcionamento da melhoria em questão.

4. O Uso de Nós com Mobilidade Especial em uma DTN para cenários urbanos

O objetivo deste trabalho é analisar a influência da utilização de nós especiais (veículos) no desempenho dos protocolos de uma DTN baseada em um mapa real assim como em [Doering et al. 2010, Silva et al. 2010]. Para isso, definimos dois cenários de simulação e comparamos seus resultados de acordo com as principais métricas de desempenho de uma rede. Nas seções a seguir mostraremos a ferramenta de simulação usada no trabalho, os modelos utilizados, explicaremos como foi realizada a inserção de mapas reais no simulador, como foram definidos os itens de configuração para a execução das simulações e por fim, descreveremos as métricas de desempenho utilizadas.

4.1. O Simulador Utilizado

As simulações foram realizadas no simulador ONE (*Opportunistic Network Environment* [Keranen and Ott]). O ONE é um simulador desenvolvido em Java que possui como principais funcionalidades: a geração de movimentação de nós usando vários modelos de mobilidade; o roteamento de mensagens aplicando diversos protocolos e tipos de nós; e a exibição do modelo de mobilidade e do roteamento em uma interface gráfica. Outras funções disponíveis no ONE são a obtenção de diversos relatórios das simulações realizadas e a importação de traces de mobilidade para a realização de simulações específicas.

O módulo responsável pelos modelos de mobilidade suporta os modelos mais conhecidos como o *Random Waypoint* [Keranen and Ott 2007] ou os modelos de mobilidade baseados em mapas. Além disso, ele também permite a importação de dados de mobilidade realizados por fontes externas. Para os modelos baseados em mapa, o ONE aceita o formato WKT de arquivos de mapas.

O módulo responsável pelos protocolos de roteamento do ONE já vem com suporte a seis protocolos de roteamento, *First Contact*, *Direct Delivery*, *Spray and Wait*, *Epidemic*, *PROPHET* e *MaxProp*. Além destes, o ONE permite a simulação com outros protocolos desenvolvidos externamente e que podem ser importados, ou até mesmo a implementação de novos protocolos no próprio simulador.

Apesar de todas as funcionalidades listadas anteriormente, o ONE possui algumas limitações. Uma delas, é que ele usa um parâmetro chamado intervalo de atualização que acaba funcionando como o responsável pela ocorrência dos eventos. Se uma transmissão é encerrada dentro deste intervalo, o simulador considera que ela ocorreu ou no início ou no fim do intervalo [Keranen and Ott 2007]. Este parâmetro pode ser definido com o menor valor possível, mas o custo disso é o alto tempo para a simulação ser realizada e um alto consumo dos recursos de hardware, principalmente para os protocolos mais complexos como o MAXPROP. Outra grande limitação do ONE é que ele não considera componentes da camada física da rede. Assim, quando dois nós se encontram, eles movimentam-se com a velocidade definida na configuração da simulação. Outro problema em relação a esta limitação é que a representação do sinal eletromagnético não considera a influência dos obstáculos e as interfaces de rádio dos elementos sempre estão ativas, o que não ocorre

no mundo real. Dessa maneira, os resultados do ONE acabam sendo otimistas quando comparados à situações reais.

4.2. Modelos de Mobilidade Utilizados

Dos modelos disponíveis no ambiente ONE, foram escolhidos dois deles para representar a movimentação dos nós pedestres e dos nós especiais. A seguir, será explicado como funcionam estes modelos e será apresentado o mapa que serviu de cenário para as simulações.

O modelo de mobilidade utilizado pelos nós pedestres da simulação é o *Shortesrt Path Map-Based Movement Model (SPMBM)* [Keranen and Ott 2007]. Este modelo inicialmente define aleatoriamente o posicionamento dos nós e os pontos do mapa que serão designados como destinos para os mesmos. Em seguida, ele aplica o algoritmo de Dijkstra de melhor caminho para escolher por qual caminho o nó vai seguir. Quando o nó chega ao destino, ele aguarda por um momento e outro destino é definido para ele. Uma configuração adicional ao modelo de mobilidade baseado em mapa é a definição de pontos de interesse (POI). Inicialmente, cada ponto do mapa tem a mesma chance de ser definido como um destino para um nó, mas, quando um ponto de interesse é definido, este passa a ter maior chance de ser escolhido como um destino para um nó específico. Esta funcionalidade é interessante pois, ajuda a tornar a simulação mais real visto que restaurantes, praças ou *shopping centers* podem ser representados em uma simulação.

O outro modelo de mobilidade usado é o *Map Route Movement* (movimento de mapa de rotas) [Keranen and Ott 2007] que foi adotado para os nós especiais (que no trabalho simularam o movimento de ônibus urbano). Este modelo é baseado em rota em que os nós que realizam o percurso fazem paradas nos pontos definidos no arquivo de rota.

4.3. Configuração de Mapas para Representação Realística da Área de Simulação

O simulador ONE permite a inclusão de qualquer arquivo de mapas no formato WKT (well-known text). WKT é uma linguagem de marcação para representar vetores geométricos inclusive mapas. O mapa desenhado para a simulação deste trabalho representa uma área do centro da cidade do Rio de Janeiro de aproximadamente 800.000 m^2 . O mapa possui como extremidades a avenida Marechal Floriano Peixoto, rua Primeiro de Março, avenida República do Chile, rua do Senado e a Praça da República. A Figura 1 mostra parte do centro e a região destacada corresponde aos limites da área da simulação.

Os dados de localização foram obtidos através de dados do projeto *Open Street Map - OSM* [OSM]. Este projeto é uma iniciativa livre para criar e prover informações de localização que é apoiado (mas não controlado) pela OSM Foudation. O objetivo do OSM é disponibilizar mapas gratuitos e editáveis por qualquer pessoa que conheça uma região e esteja disposta a contribuir com informações da mesma. Outra forma de alimentar a base de informações de localização é incluindo registros de localização obtidos por um log de um GPS.

Com a área do mapa definida, foi usada uma extensão do ONE que permite a conversão de dados de localização do formato do OSM para o formato WKT [MAYER]. Para esta simulação, além do mapa principal com a representação das ruas, foram criadas camadas no mapa principal para a representação das rotas para os nós especiais e os

pontos de interesse. A rota para os nós especiais é um percurso que abrange uma parcela significativa do mapa analisado. Além disso, esta rota possui 28 pontos de parada na quais os nós especiais ficam aguardando por alguns segundos definidos de forma aleatória para que sejam simuladas paradas como nos ônibus urbanos.

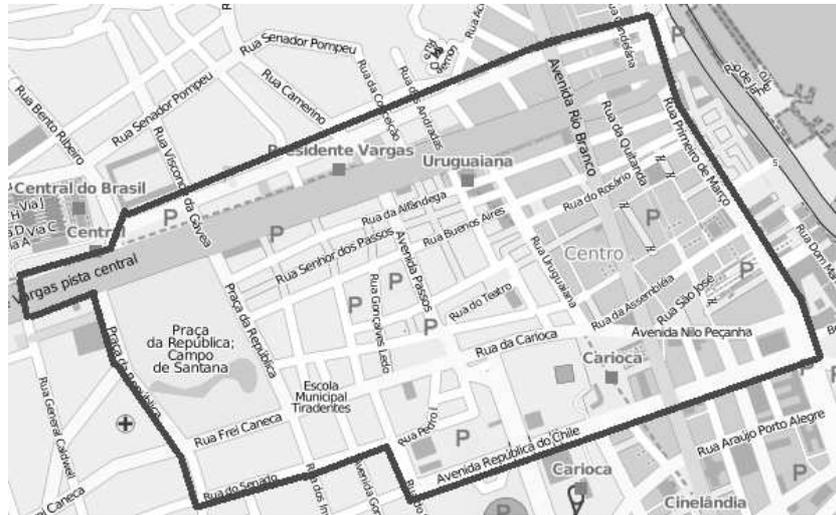


Figura 1. Mapa do centro da cidade do Rio de Janeiro usada na simulação (dentro da área destacada).

A Figura 2 mostra as rotas utilizadas do mapa do centro da cidade do Rio de Janeiro para as simulações. A linha mais espessa representa a rota dos nós especiais e as linhas mais finas são as ruas. O mapa também possui caminhos exclusivos para pedestres (linhas pontilhadas finas) e pontos de interesse (POI) como o centro comercial da Rua Uruguaiana, o Largo da Carioca (linhas pontilhadas grossas).

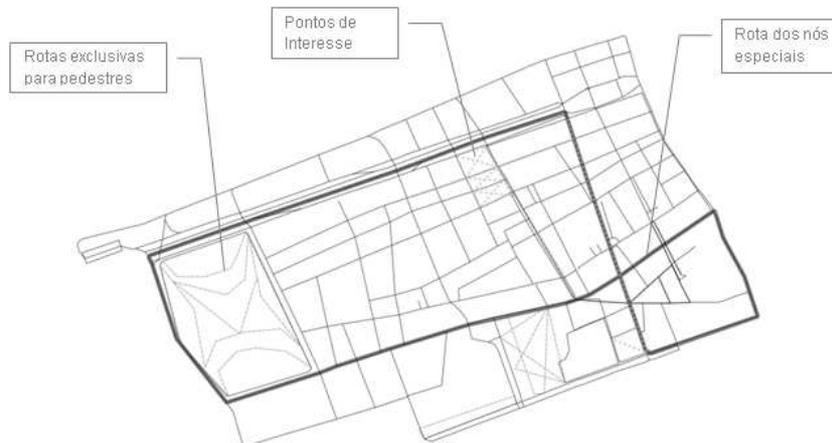


Figura 2. Descrição das ruas, rotas e pontos de interesse no mapa da simulação.

4.4. Valores Utilizados na Configuração do Ambiente de Simulação

Após conhecermos a ferramenta de simulação para DTN, os modelos de mobilidade e o uso de mapas, descreveremos como foi feita a configuração de cada parâmetro utilizado.

Tempo de simulação: o tempo da simulação foi definido em nove horas, sendo uma hora reservada para *warm up* de movimentação dos nós. Assim, o tempo de simulação real foi de oito horas. O *warm up* em um trabalho de simulação é necessário para que ocorra a estabilização do ambiente.

Características dos nós: a simulação foi feita usando dois tipos de nós. O primeiro tipo é o dos nós pedestres que podem caminhar por todas as vias do mapa, ou seja, representam a mobilidade de pedestres. O segundo tipo é o dos nós especiais com mobilidade semelhante a de uma linha de ônibus urbano. Todos os nós possuíam o mesmo raio de transmissão (50 m) e a mesma velocidade de transmissão dos dados (1 Mbps). O buffer dos nós foi configurado em 15 MB.

A investigação foi realizada através de dois cenários: um somente com mobilidade de pedestres e outro com mobilidade de pedestres junto com nós representando os ônibus. Na primeira situação de simulação, temos 110 nós com configurações iguais e o mesmo modelo de mobilidade (SPMBM), que trocam mensagens entre si. Na segunda situação temos 105 nós com modelo de mobilidade (SPMBM) e velocidade de pedestres (0,1 a 1,5 m/s), e 5 nós com modelo de mobilidade em uma rota fixa (*Map Route Movement*), com 28 pontos de parada e velocidade semelhante a de um ônibus urbano (1 a 10 m/s). Foram feitas dez rodadas de simulação para cada um dos tipos de simulação e somente o valor médio será apresentado.

Geração de mensagens na rede: foi definido que uma mensagem nova seria criada no intervalo de 25 a 35 segundos e que cada mensagem poderia ter entre 10 KB e 200 KB de tamanho. Todos os nós possuem a capacidade de gerar e receber mensagens. Como o tempo de simulação é de 480 minutos e a geração de mensagens é de aproximadamente duas por minuto, a simulação irá gerar aproximadamente 960 mensagens.

TTL das mensagens: o TTL (*time to live*) é o tempo de vida da mensagem. Quando uma mensagem chega com seu TTL expirado, ela é rejeitada pelo nó. Em DTN, este parâmetro quando configurado adequadamente para um protocolo de roteamento, influencia a remoção de mensagens no buffer dos nós na rede. Entretanto, a escolha do valor ideal do TTL para simulações envolvendo diversos protocolos de roteamento é muito difícil. Isto por que o protocolo Epidêmico e o PROPHET apresentam melhores resultados para TTL curto ao passo que o *Spray and Wait* obtém melhores resultados com o TTL infinito [Sathita et al. 2010]. Diante desta situação, o TTL escolhido para as simulações foi de quatro horas, ou seja, metade do tempo total de simulação.

4.5. Métricas de Desempenho

Para avaliar os protocolos de roteamento foram utilizadas as seguintes métricas: probabilidade de entrega, sobrecarga de mensagens, número de saltos e latência da rede.

A **probabilidade de entrega** é a métrica que avalia o percentual de mensagens entregues na rede. Esta métrica é calculada através da razão entre o número de mensagens que chegaram aos seus destinos e o número de mensagens criadas durante a simulação.

O **atraso médio** é a métrica que representa o tempo que a mensagem leva para percorrer o caminho entre a origem e o destino. Esta métrica é importante para identificarmos os protocolos que gastam menos tempo para entregar as mensagens.

A **sobrecarga** (*overhead*) de mensagens na rede representa a quantidade de mensagens a mais que um protocolo introduz na rede para conseguir entregar as mensagens. Esta métrica é um indicador importante pois um grande número de mensagens em uma DTN pode causar um consumo excessivo de recursos dos nós [Campos 2009]. A sobrecarga é calculada através do total de mensagens despejadas na rede sobre o total de

mensagens entregues.

Uma outra métrica analisada é o **número de saltos** (*hop count*) das mensagens entregues durante a simulação, ou seja, a quantidade de vezes que uma mensagem entregue foi encaminhada por nós intermediários até seu destino. Para esta métrica, os resultados irão mostrar os valores da mediana do número de salto em cada simulação. Esta escolha foi feita para que valores individuais fora do padrão não influenciassem no resultado.

Outro levantamento feito foi em relação ao número médio de mensagens entregues em uma DTN, que passaram por cada nó. Neste trabalho chamaremos de **participação de cada nó na entrega das mensagens**. Este valor é obtido a partir da obtenção do caminho de cada mensagem entregue disponível em um dos relatórios do ONE. Com os dados de todas as mensagens entregues, são agrupadas por nó cada encaminhamento realizado. Em seguida, é obtido o somatório dos encaminhamentos realizados por cada nó. Por fim, o valor deste somatório é dividido pelo número de mensagens entregues. Isso dá o percentual das mensagens entregues que passaram por um determinado nó. O objetivo deste levantamento é verificar a participação de cada nó na entrega das mensagens, o que ajuda a mostrar se um protocolo de roteamento é eficiente com a inclusão de nós com mobilidade especial.

5. Resultados Obtidos

Nesta seção serão apresentados os resultados das simulações realizadas. Os resultados serão mostrados primeiramente para cada métrica para todos os protocolos de roteamento. Por último, serão mostrados os resultados da análise da participação dos nós na entrega das mensagens.

5.1. Desempenho dos Protocolos de Roteamento

Nesta avaliação agrupamos os resultados de todos os protocolos por cada métrica. Com isto, podemos comparar o desempenho de cada protocolo por métrica analisada.

O gráfico da Figura 3(a) mostra a probabilidade de entrega e os maiores valores foram para os protocolos MaxProp (96% em média) e *Spray and Wait* (91% em média). Também podemos observar que o protocolo PROPHET apresentou a maior diferença entre os dois cenários de mobilidade analisados. O que garantiu ao MaxProp e ao *Spray and Wait* os melhores resultados foram o menor número de mensagens despejadas na rede (característica de ambos os protocolos) e a remoção de mensagens entregues (característica exclusiva do MaxProp). Com estes mecanismos, os nós obtiveram uma melhor utilização dos buffers e, conseqüentemente, uma maior chance de entrega nas mensagens.

A Figura 3(b) mostra a diferença entre os protocolos para a latência. Mais uma vez o protocolo MaxProp obteve os melhores resultados. Foi neste indicador que ocorreram as maiores diferenças entre as simulações envolvendo os nós especiais e as simulações com nós com somente um modelo de mobilidade (pedestres). Isto se deve à constante mobilidade dos nós especiais, sua velocidade mais alta e seu percurso que cobria boa parte do mapa. O protocolo Epidêmico teve o segundo melhor resultado e a maior diferença quando considerada as simulações com nós especiais. O alto valor da latência para o *Spray and Wait* se deve ao baixo número de cópias (L) definido na configuração da simulação.

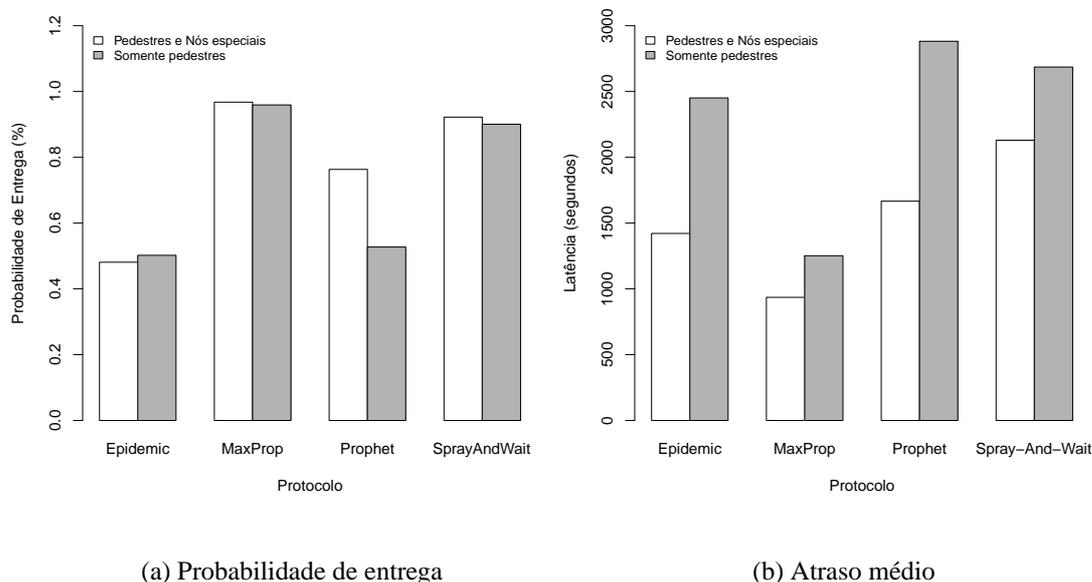


Figura 3. Desempenho dos protocolos em relação a probabilidade de entrega e atraso médio.

O gráfico da Figura 4(a) mostra a diferença entre a mediana do número de saltos para cada simulação. Pela sua característica de baixa replicação, o *Spray and Wait* apresentou os menores valores para esta medida. A diferença do número de saltos entre a simulação dos nós pedestres e a simulação com os nós especiais para o protocolo Epidêmico aparece de forma bem clara na imagem. Isto ocorreu devido à inundação mais rápida promovida pelos nós especiais.

A Figura 4(b) mostra a diferença na sobrecarga média das simulações. Fica clara a diferença do Epidêmico para com os outros protocolos. A inundação da rede característica do protocolo Epidêmico causa uma sobrecarga muito maior do que para os outros protocolos. Por outro lado, o *Spray and Wait*, por possuir poucas replicações, acaba tendo os menores valores de sobrecarga. A taxa de overhead do *Spray and Wait* foi quarenta vezes menor do que a do MaxProp, que teve a segunda menor média de sobrecarga em todas as simulações.

5.2. Participação de Cada Nó na Entrega das Mensagens

O objetivo deste resultado é comprovar se a inclusão dos nós especiais com um percurso cíclico e repetitivo influencia a entrega das mensagens em DTN. Esta medida foi extraída a partir do registro (no simulador) do caminho percorrido por cada mensagem entregue nas simulações. Os resultados serão apresentados por protocolo de roteamento.

A Figura 5(a) mostra o gráfico da distribuição das mensagens entregues para o protocolo Epidêmico. Os nós de 105 a 110 representam os nós especiais quando a simulação contém nós deste tipo. O gráfico também mostra que os nós especiais participam de mais entregas do que os nós com mobilidade de pedestres. Enquanto os nós com mobilidade de pedestres participam na entrega de 24 mensagens em média (5% do total), os nós com mobilidade especial participam de 90 mensagens entregues em média (19% do total). Na

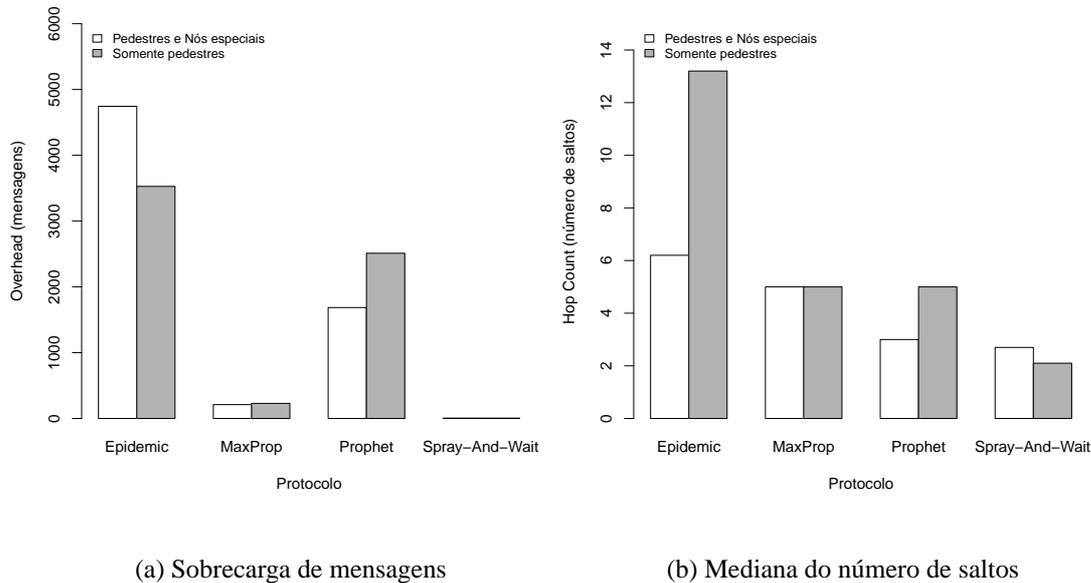


Figura 4. Desempenho dos protocolos em relação a sobrecarga e número de saltos.

simulação em que só existem nós pedestres, a média de participação na entrega de mensagens foi de 70,8 (15% do total). Um outro dado relevante que podemos observar na Figura 5(a) é que a diferença da média de encaminhamento para os nós pedestres entre os dois cenários de simulação foi maior no Epidêmico. Com a alta mobilidade dos nós especiais, eles fazem com que as mensagens cheguem mais rapidamente nos seus respectivos destinos e isso diminui a participação dos nós pedestres no encaminhamento das mensagens. Como prova deste comportamento temos a diferença na latência mostrada na Figura 3(b). A Figura 5(b) mostra a porcentagem das mensagens entregues repassadas por nó para o protocolo Spray and Wait. A diferença do total de mensagens repassadas pelos nós pedestres entre as simulações com nós especiais e nós pedestres não foi tão grande quanto do protocolo Epidêmico. Na simulação com nós especiais, a média de mensagens entregues por nó pedestres foi de 10,44 mensagens (1% do total) contra 53,24 (6% do total) do grupo de nós com mobilidade especial. Na simulação exclusiva dos nós pedestres a média de mensagens por nó foi de 11,51 (1% do total). Como o *Spray and Wait* funciona com poucas replicações, a diferença do número de mensagens entregues encaminhadas por nó pedestre, entre as simulações, não foi tão grande quanto no protocolo Epidêmico.

A Figura 6(a) representa a participação dos nós nas mensagens entregues no protocolo PROPHET. No gráfico fica clara a concentração das mensagens nos nós especiais. No tipo de simulação com os nós especiais, o grupo de pedestre encaminhou em média 12,53 (2% do total) mensagens ao passo que os nós especiais encaminharam 117,93 (15% do total) mensagens, ou seja, quase dez vezes mais mensagens. Na simulação exclusiva dos nós pedestres, a quantidade de mensagens entregues encaminhadas por cada nó foi de 24,66 mensagens (3% do total). Vale lembrar que para o PROPHET, a diferença no percentual de entrega foi de 24 por cento favoráveis à simulação com nós especiais.

Assim como nos outros protocolos, o MaxProp (ver Figura 6(b)) também apre-

sentou uma concentração das mensagens para os nós especiais nas simulações que envolveram este tipo de nó. A quantidade de mensagens repassadas pelos nós especiais foi em média de 139,38 (14% do total) enquanto para os nós pedestres foi de 33,16 (3% do total). Na simulação com nós pedestres, a média de mensagens entregues repassadas por nó foi de 40,3 mensagens (4% do total).

A diferença da participação do nós pedestres, no repasse das mensagens entregues, em relação aos nós especiais no cenário com os dois tipos de nós foi maior para os protocolos baseados em estatísticas (PROPHET e MaxProp) do que para os protocolos baseados em replicação de mensagens (Epidêmico e *Spray and Wait*). Este dado comprova o funcionamento das técnicas que os protocolos baseados em estatísticas usam para eleger os nós mais aptos a entregar as mensagens, como por exemplo, os algoritmos de previsibilidade.

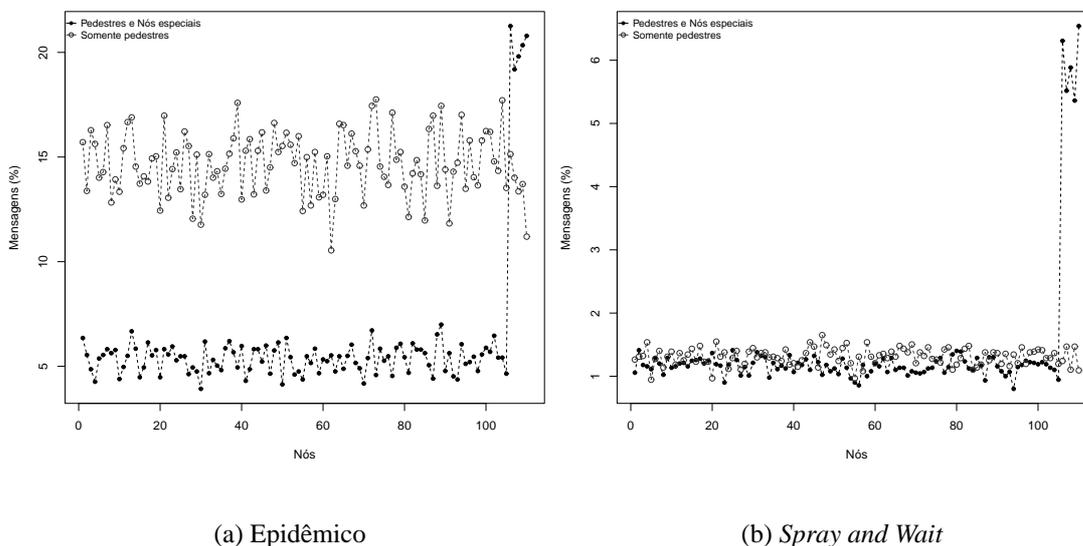


Figura 5. Participação percentual dos nós nas mensagens entregues via Epidêmico em (a) e *Spray and Wait* em (b).

6. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este trabalho teve como objetivo investigar, através de simulação, se a inclusão de elementos com características de movimentação especiais podem influenciar as métricas de desempenho de uma DTN sem nenhuma infraestrutura adicional de hardware e software. As simulações foram feitas para comparar o desempenho do cenário somente com pedestres ao cenário contendo pouco menos de 5% de nós especiais (mobilidade veicular baseada em uma rota específica e velocidade maior do que os demais nós).

Na avaliação realizada, foi mostrado que todos os quatro protocolos (Epidêmico, *Spray and Wait*, PROPHET e MaxProp) foram influenciados pela inclusão dos nós com mobilidade especial de alguma maneira. O protocolo Epidêmico apresentou uma significativa diminuição no atraso médio da entrega das mensagens. O protocolo *Spray and Wait*, assim como o Epidêmico, também obteve ganho na latência. Além disso, o *Spray and Wait* apresentou melhora na probabilidade de entrega e no overhead das mensagens.

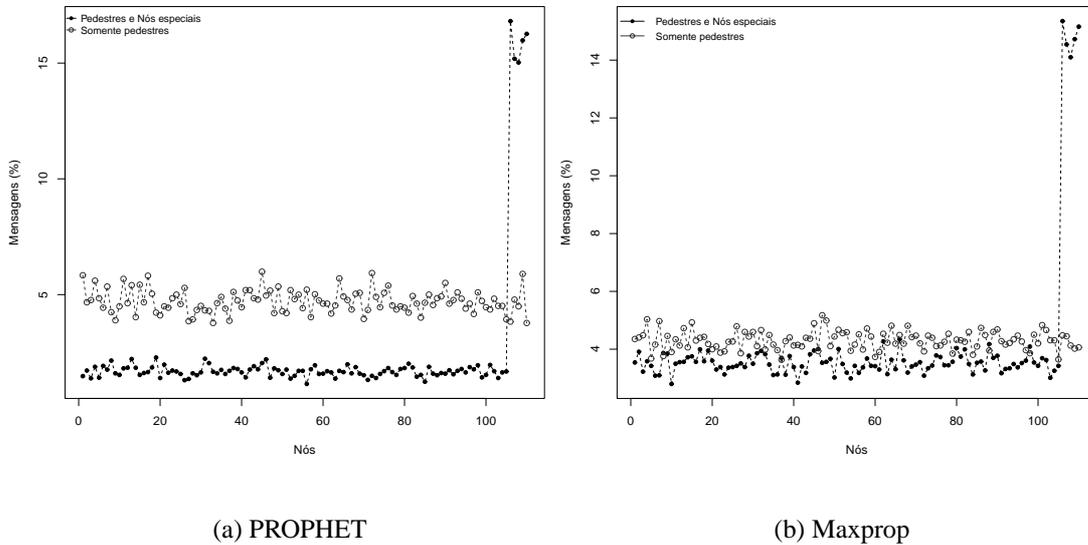


Figura 6. Participação percentual dos nós nas mensagens entregues via PROPHET em (a) e Maxprop em (b).

Os protocolos de roteamento que usam experiências obtidas nos últimos contatos para definir o melhor roteamento no futuro apresentaram os melhores resultados (Max-Prop) e a maior melhora com a inclusão dos nós especiais (PROPHET). Este resultado foi obtido por que as diversas voltas dadas pelos nós especiais na área de simulação fizeram com que os nós ficassem no topo da lista de prioridade de entrega ou encaminhamento que estes tipos de protocolo possuem. Assim, o PROPHET chegou a obter 24% de melhora na probabilidade de entrega e 73% no atraso médio. Já o MaxProp apresentou os melhores valores por ser um protocolo desenvolvido para uma rede veicular.

Os resultados mostraram que a influência da inclusão de nós com maior velocidade e mobilidade cíclica e repetitiva foi positiva, isto por que para todos os protocolos de roteamento, tivemos melhoras nas métricas de desempenho. Esta melhora ainda pode ser potencializada visto que neste trabalho, alguns parâmetros não foram configurados com seus valores ideais para os protocolos de roteamento.

A partir dos resultados deste trabalho poderemos realizar, no futuro, avaliações de nós especiais (veículos) com maior capacidade de armazenamento, velocidade de transmissão e a combinação de mais rotas pré-determinadas de deslocamento para avaliar o impacto destas alterações em uma DTN sem nenhuma infraestrutura adicional. Outro caminho é realizar simulações com uma configuração voltada especificamente para um protocolo explorando as configurações específicas deste para obter os melhores resultados em que a utilização de nós especiais podem se encaixar.

Referências

- Abdulla, M. and Simon, R. (2007). The impact of the mobility model on delay tolerant networking performance analysis. In *Proc. of the 40th IEEE ANSS*, pages 177–184.
- Bulut, E., Geyik, S. C., and Szymanski, B. K. (2010). Efficient routing in delay tolerant networks with correlated node mobility. In *Proc. of the IEEE MASS*.

- Burleigh, S., Hooke, A., Torgerson, L., Fall, K., Cerf, V., Durst, B., Scott, K., and Weiss, H. (2003). Delay-tolerant networking: an approach to interplanetary internet. *IEEE Communications Magazine*, 41(6):128–136.
- Campos, C. A. V. (2009). *Caracterização da Mobilidade Humana e de Modelos de Mobilidade e suas Influências nas Redes Móveis*. PhD thesis, COPPE/UFRJ.
- Doering, M., Pögel, T., and Wolf, L. (2010). Dtn routing in urban public transport systems. In *Proc. of the 5th CHANTS '10*, pages 55–62, New York, NY, USA. ACM.
- J. Burgess, B. Gallagher, D. J. and Levine, B. N. (2006). Maxprop: Routing for vehicle-based disruption-tolerant networks. In *Proc. of the IEEE INFOCOM*.
- Keranen, A. and Ott, J. The one: The opportunistic network environment simulator. <http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone>, Último acesso em 08/03/2013.
- Keranen, A. and Ott, J. (2007). Increasing reality for dtn protocol simulations. In *Technical Report, Helsinki University of Technology, Networking Laboratory*.
- Lindgren, A., Doria, A., and Schelén, O. (2003). Probabilistic routing in intermittently connected networks. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, 7:19–20.
- MAYER, C. P. osm2wkt - openstreetmap to wkt conversion. <http://www.tm.kit.edu/mayer/osm2wkt/>, Último acesso em 08/03/2013.
- OSM. Open street map project. http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Main_Page, Último acesso em 08/03/2013.
- Sathita, K., Ochiai, H., and Esaki, H. (2010). Message deletion and mobility patterns for efficient message delivery in dtns. In *IEEE PerCom Workshops*, pages 760–763.
- Silva, R., Campos, C. A. V., and de Moraes, L. F. M. (2010). Caracterização da mobilidade veicular e o seu impacto nas redes veiculares tolerantes a atrasos e desconexões. In *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC'2010*.
- T. Spyropoulos, K. P. and Raghavendra, C. S. (2005). Spray and wait: An efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. In *Proc. of the WDTN*. Philadelphia, USA.
- Vahdat, A. and Becker, D. (2000). Epidemic routing for partially connected ad hoc networks. Technical Report, Duke University.
- Zhang, X., Kurose, J., Levine, B. N., Towsley, D., and Zhang, H. (2007). Study of a bus-based disruption-tolerant network: mobility modeling and impact on routing. In *Proceedings of the 13th annual ACM international conference on Mobile computing and networking*, MobiCom '07, pages 195–206, New York, NY, USA. ACM.
- Zhang, Z. (2006). Routing in intermittently connected mobile ad hoc networks and delay tolerant networks: Overview and challenges. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 8(1-4):24–37.
- Zhao, W., Ammar, M., and Zegura, E. (2004). A message ferrying approach for data delivery in sparse mobile ad hoc networks. In *Proceedings of the 5th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing*, MobiHoc '04, pages 187–198, New York, NY, USA. ACM.