

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE PROTOCOLOS
DE ROTEAMENTO AD HOC E DTN EM REDES
DE EMERGÊNCIA**

VIRGIL DEL DUCA ALMEIDA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE PROTOCOLOS
DE ROTEAMENTO AD HOC E DTN EM REDES
DE EMERGÊNCIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

ORIENTADOR: JOSÉ MARCOS SILVA NOGUEIRA
CO-ORIENTADOR: DANIEL FERNANDES MACEDO

Belo Horizonte

Abril de 2011

© 2011, Virgil Del Duca Almeida.
Todos os direitos reservados.

A447a Almeida, Virgil Del Duca
Análise de desempenho de protocolos de roteamento
Ad hoc e DTN em redes de emergência / Virgil Del
Duca Almeida. — Belo Horizonte, 2011
xx, 70 f. : il. ; 29cm

Dissertação (mestrado) — Universidade Federal de
Minas Gerais- Departamento de Ciência da
Computação.

Orientador: José Marcos Silva Nogueira
Coorientador: Daniel Fernandes Macedo

1. Computação - Teses. 2. Redes de computadores -
Teses. 3. Roteamento (Administração de redes de
computadores) - Teses. 4. Protocolos de redes de
computação - Teses. I. Orientador. II. Coorientador.
III. Título.

CDU 519.6*22(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

FOLHA DE APROVAÇÃO

Análise de desempenho de protocolos de roteamento
Ad hoc e DTN em redes de emergência

VIRGIL DEL DUCA ALMEIDA

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:


PROF. JOSÉ MARCOS SILVA NOGUEIRA - Orientador
Departamento de Ciência da Computação - UFMG


PROF. DANIEL FERNANDES MACEDO - Co-orientador
Departamento de Ciência da Computação - UFMG


PROF. ALDRI LUIZ DOS SANTOS
Departamento de Informática - UFPR


PROF. LUIZ HENRIQUE ANDRADE CORREIA
Departamento de Ciência da Computação - UFLA

Belo Horizonte, 20 de abril de 2011.

Agradecimentos

A Deus. Aos meus pais Gil e Leila e irmãos Virgilei, Gilciel e Gileizo pelo apoio incondicional em todas as minhas decisões. À minha namorada pela paciência e finais de semanas ao meu lado. Ao meu orientador, José Marcos pelo apoio e confiança. Ao meu coorientador Daniel Macedo por toda paciência e ajuda durante o mestrado. Aos meus amigos que sempre me ajudaram durante a construção deste trabalho, em especial aos amigos do laboratório Winet. À meus professores da graduação em especial o professor Renan Cunha por ser meu maior incentivador a ingressar na área acadêmica. Por último, más não menos importante, agradeço a CAPES, CNPq e FAPEMIG por me permitir dedicar exclusivamente ao mestrado.

Resumo

Redes móveis sem fio são redes de computadores autônomas e auto organizáveis, cuja a mobilidade dos nós altera suas topologias. Essas redes são compostas por dispositivos móveis que possuem alguma tecnologia de comunicação sem fio tal, como WiFi ou WiMax, e são utilizadas para criar uma rede ad hoc. Nessas redes, a topologia pode ser muito dinâmica, podendo ocorrer partições, o que faz com que dispositivos não sejam capazes de comunicarem uns com outros ou com um servidor central.

Os protocolos de roteamento para redes móveis devem ser capazes de tolerar interrupções e manter a comunicação com o menor consumo de recursos possível. Para tal, os protocolos de roteamento devem incorporar características tanto do roteamento para DTN (Delay/ Disruption Tolerant Networks) quanto para MANETs (Mobile Ad hoc NETworks).

Neste trabalho, apresentaremos um estudo do desempenho dos principais algoritmos MANET e DTN apresentados na literatura, avaliando não apenas métricas de entrega e atraso, mas também consumo de energia e descarte de mensagens. Os principais protocolos de roteamento DTN e MANET foram implementados no simulador NS-2.3 (Network Simulator Version 2.3) e o desempenho de cada um foi analisado. Com isso, não só identificamos as principais características das classes de roteamento DTN ou MANET que maximizam o desempenho geral da rede em diversos cenários, mas também apresentamos uma base de comparação para futuras propostas para integração entre as classes MANET e DTN. Identificamos que a comunicação baseada em protocolos DTN entregam significativamente mais mensagens do que os protocolos MANET quando a densidade de nós é baixa e a mobilidade é elevada. No entanto, com alta densidade e baixa mobilidade, o roteamento DTN sofre com elevado consumo de energia e longos atrasos.

Palavras-chave: Redes, Roteamento, MANET, DTN, Protocolos de Comunicação.

Abstract

Mobile Computing Networks are autonomous self-organizing and having a dynamic network topology. Those networks are ad hoc networks composed of mobile devices equipped with one or more transceivers, which employ wireless standards such as WiFi, WiMax. Due to node mobility, the topology may be highly dynamic, and as such network partitions may occur. As a consequence, some devices will not be able to communicate with parts of the network or with a central server.

Routing protocols for mobile networks must thus tolerate interruptions and enable communications, while using the least amount of resources. In order to do so, routing protocols must incorporate characteristics of both MANET and DTN protocols.

In this masters dissertation we present a performance evaluation of the most important MANET and DTN routing protocols found in the literature. We evaluate metrics such as delivery rate and packet delays, but also energy consumption and the amount of discarded messages. Routing protocols for MANETs and DTNs were implemented in NS-2.3, and their performance was evaluated. Thus, we identify the main characteristics of MANET and DTN protocols that maximize the performance on different scenarios, and also present a comparative study that can be used as basis for the proposal of new integrated DTN-MANET routing protocols.

The simulation results confirm that DTN protocols deliver significantly more messages than MANET-based communication protocols when node density is low and node mobility is high. However, in high density and low mobility scenarios, DTN-based communication protocols present much higher energy consumption and message delays than MANET-based communication protocols.

Keywords: Networks, Routing, MANET, DTN, Communication Protocols.

Lista de Figuras

2.1	Rede estruturada	8
2.2	Rede ad hoc	8
2.3	Comunicação multissalto em redes ad hoc	9
2.4	Difusão normal	12
2.5	Difusão utilizando MPRs	12
2.6	Particionamento em redes MANET	14
3.1	Arquitetura DTN	20
3.2	Processo de contato e troca de mensagens nos protocolos DTN	22
3.3	Exemplo do algoritmo Epidêmico de roteamento	23
3.4	Exemplo do algoritmo <i>Direct Transmission</i> de roteamento	24
3.5	Exemplo do algoritmo <i>Spray and Wait</i> de roteamento	25
4.1	Mobilidade em redes de emergência	33
5.1	Pontos de interesse utilizados no modelo MME	40
5.2	Número de destinos escolhidos pelos veículos durante a simulação	41
5.3	Latência média	42
5.4	Porcentagem de mensagens entregues	42
5.5	Número médio de saltos	43
5.6	Número de mensagens descartadas por falta de rota	43
5.7	Número médio de saltos	44
5.8	Porcentagem de mensagens entregues	44
5.9	Consumo médio de energia variando a velocidade	45
5.10	Consumo médio de energia variando o tempo de parada	45
5.11	Número médio de Bytes enviados de acordo com a variação da velocidade de deslocamento	46
5.12	Número médio de Bytes enviados de acordo com a variação do tempo de parada	47

5.13	Número médio de saltos	48
5.14	Porcentagem de mensagens descartadas	48
5.15	Atraso médio	49
5.16	Porcentagem de mensagens entregues	49
5.17	Número de mensagens descartadas por colisão na camada MAC	50
5.18	Consumo de energia variando o tamanho do lado da área de simulação	50
5.19	Consumo de energia variando o número de nós	51
5.20	Número de Bytes enviados variando o tamanho do lado da área de simulação	52
5.21	Número de Bytes enviados variando o número de nós	53
5.22	Atraso médio	53
5.23	Consumo médio de energia	54
5.24	Taxa de mensagens entregues	55
5.25	Número médio de saltos	55
5.26	Número de mensagens descartadas decorrente de colisões	56
5.27	Atraso médio	57
5.28	Número de mensagens descartadas na camada MAC	58
5.29	Consumo médio de energia	58
5.30	Número de bytes enviados	59
5.31	Taxa de mensagens entregues	59
5.32	Número médio de saltos	60
5.33	Mobilidade vs Densidade: quando diferentes paradigmas são utilizados	61

Lista de Tabelas

2.1	Lista de alguns dos protocolos MANET	10
5.1	Parâmetros da simulação	38

Lista de Abreviações

ACK	Acknowledgement
ADUs	Application Data Units
AODV	Ad hoc On demand Distance Vector
AOMDV	Ad hoc on-demand multipath distance vector routing
CBRP	Cluster based routing protocol
CHANTS	CHallenged NeTworkS
DHT	Distributed hash table
DSDV	Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing
DSL	Digital Subscriber Line
DSR	The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks
DT	Direct Transmission
DTN	Delay/ Disruption Tolerant Networks
DYMO	Dynamic MANET on-demand routing
EP	Algoritmo Epidêmico
ICN	Intermittently Connected Networks
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
LAR	Location-aided routing in mobile ad hoc networks
MAC	Medium Access Control
MANET	Mobile Ad hoc NETwork
MME	Mobility Model to Emergency Networks
MPR	Multipoint Relaying

NS-2.3	Network Simulator Version 2.3
OLSR	Optimized Link State Routing Protocol
PDA	Personal digital assistant
PDU _s	Protocol Data Units
PRoPHET	Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity
PSN	Pocket Switched Networks
RERR	Route Errors
RPGM	Reference Point Group Mobility Model
RREP	Route Replies
RREQ	Route Requests
RRWCS	Restricted Random waypoint on a City Section
RWP	Random Waypoint
SeNDT	Sensor Networking with Delay Tolerance
SW	Spray and Wait
TC	Topology Control
TORA	Temporally-ordered routing algorithm
VANET	Vehicular Ad hoc NETWORKS
WDS	Wireless Distribution System
WSN	Wireless Sensor Networks

Sumário

Agradecimentos	vii
Resumo	ix
Abstract	xi
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xv
1 Introdução	1
1.1 Motivação	2
1.2 Problema	3
1.3 Objetivo	4
1.4 Contribuições	4
1.5 Organização do texto	4
2 Roteamento e particionamento em redes móveis ad hoc (MANET)	7
2.1 Roteamento em MANET	10
2.1.1 Protocolos Proativos	11
2.2 Protocolos Reativos	12
2.3 Comparação entre protocolos reativos e proativos	13
2.4 Particionamento em redes MANETs	14
2.5 Conclusão	15
3 Roteamento em redes tolerantes a atrasos e desconexões(DTN)	17
3.1 Arquitetura DTN proposta	19
3.1.1 Contatos em DTN	20
3.2 Roteamento oportunístico em DTN	21
3.3 Roteamento híbrido MANET-DTN	26

3.4	Conclusão	27
4	Comunicação de dados em Redes de emergência	29
4.1	Sistemas de apoio a emergências	31
4.2	Mobilidade em redes de emergência	32
4.3	Conclusão	33
5	Análise quantitativa de desempenho	35
5.1	Protocolos selecionados	35
5.2	Implementação do contato	36
5.3	Métricas	36
5.4	Ambiente de simulação	37
5.5	Cenário de simulação	38
5.5.1	Movimentação aleatória sem restrição	38
5.6	Movimentação em uma aplicação de emergência	39
5.7	Movimentação aleatória em vias urbanas	40
5.8	Movimentação aleatória sem restrição	41
5.8.1	Avaliação do impacto da mobilidade dos nós	41
5.8.2	Avaliação do impacto da densidade da rede	47
5.9	Movimentação em uma aplicação de emergência	53
5.10	Movimentação aleatória em vias urbanas	57
5.11	Discussão dos resultados	60
5.12	Conclusão	62
6	Conclusão	63
6.1	Trabalhos Futuros	63
	Referências Bibliográficas	65

Capítulo 1

Introdução

Nos últimos anos o mundo acompanhou o aumento da ocorrência de desastres, alguns de origens naturais e outros causados pelo próprio homem. Todos os dias os noticiários anunciam novos acontecimentos. Tem-se verificado o crescimento da intensidade dos fenômenos que causam tais desastres e o aumento da frequência em que eles acontecem. Conseqüentemente, o número de pessoas atingidas e os prejuízos materiais causados são cada vez maiores.

Desastres são situações que rompem com o funcionamento normal da sociedade e a economia de uma região, e podem ter origens naturais, tecnológicas ou humanas. Catástrofes são desastres em grandes proporções que acarretam grandes prejuízos, humanos e materiais. Um grande desafio nessas situações é a comunicação, principalmente quando estão envolvidas mais de uma organização nas atividades de socorro [Manoj & Baker, 2007].

O primeiro desafio tecnológico após a ocorrência de um desastre é estabelecer uma rede de comunicação para os primeiros respondedores e os gerentes da operação. A infraestrutura de redes com fio ou sem fio pode ter sido destruída ou pode não existir em locais remotos. Portanto, a rede deve ser formada com equipamentos trazidos para a área afetada, formando redes móveis sem fio. As redes móveis sem fio formadas em ambientes de desastre podem melhorar a coordenação das equipes de resgate, oferecendo não apenas comunicação por meio de voz, mas também comunicação de dados.

As redes formadas pelos dispositivos trazidos pelos primeiros respondedores são redes autônomas, auto organizáveis, onde a mobilidade de nós altera a sua topologia. Estas redes são compostas por dispositivos móveis, que possuem alguma tecnologia de rede sem fio tal como WiFi, WiMax ou outra, e são utilizadas para criar uma rede ad hoc. A topologia em redes formadas espontaneamente pode ser muito dinâmica,

podendo assim ocorrer partições na rede, ou seja, os dispositivos podem não ser capazes de comunicarem entre si.

Nos cenários de redes de emergência as interrupções de comunicação devem ser consideradas e, dentro do possível, tratadas. As redes MANETs (Mobile Ad hoc NETWORKS) [Corson & Macker, 1999] são redes formadas por nós móveis que se comunicam por meio de dispositivos sem fio, sua principal característica é possuir protocolos de roteamento que buscam estabelecer um caminho fim a fim para permitir a comunicação entre os nós. Estes protocolos, se utilizados sem nenhuma alteração, irão apresentar um baixo desempenho em redes de emergência devido a fatores como a alta mobilidade, obstáculos e interferência, pois a conectividade fim a fim é altamente suscetível a interrupções nestes cenários.

As redes DTNs (Delay/Disruption Tolerant Networks) [Cerf et al., 2007] são redes também formadas por nós móveis que se comunicam por meio de dispositivos sem fio, porém seus protocolos de roteamento não estabelecem um caminho fim a fim para permitir a comunicação e por este motivo suportam situações com conectividade intermitente e com longos atrasos, como os que ocorrem nas redes de emergência e nas redes veiculares. Uma DTN pode ter melhor alcançabilidade, especialmente em redes com nós esparsos, devido às seguintes propriedades: comunicação baseada em mensagens assíncronas; não há necessidade de um caminho fim a fim, pois as mensagens agrupadas podem ficar armazenadas nos nós até que seja estabelecida uma conexão; atrasos podem ser longos e variados; tolerância a altas taxas de erros. Entretanto, para obter a tolerância ao atraso e às desconexões, as redes DTN utilizam um grande número de mensagens, aumentando significativamente o custo das comunicações.

Os protocolos de roteamento utilizados em redes de emergência, assim como em outras redes móveis sem fio como redes veiculares, devem ser capazes de tolerar interrupções e manter a comunicação com o menor consumo de recursos possível. Para tal, os protocolos de roteamento devem incorporar características tanto do roteamento para DTN quanto para MANETs. Um passo necessário para incorporar as características de cada uma das classes é analisar o desempenho destas em diversos cenários, coletando informações que possibilitem decidir qual classe é mais adequada a cada cenário.

1.1 Motivação

Segundo [Manoj & Baker, 2007] a comunicação de dados pode melhorar a coordenação das equipes de resgate em situação de emergência. Nas situações de emergência a infraestrutura de comunicação pode ter sido parcialmente ou completamente destruída,

não existir ou o acesso pode não ser disponibilizado para as equipes, forçando que as equipes utilizem equipamentos levados para a região de desastre, formando assim uma rede ad hoc entre os dispositivos.

Nas redes formadas em ambientes de desastre, a comunicação de dados deve ser tolerante às frequentes desconexões e longos atrasos causados pelos mais diversos fatores, tais como baixa densidade de nós, interferências, congestionamento dos canais disponíveis dentre outras. Outro requisito das comunicações de dados em redes de emergência é a eficiência na utilização dos recursos dos dispositivos utilizados, já que estes possuem capacidade de armazenamento e energia limitados.

Os desafios e limitações existentes nestes cenários de emergência fazem com que a utilização de abordagens unicamente MANET ou DTN possam não atender a todos os requisitos, pois ora a rede pode favorecer a utilização de uma abordagem MANET, como em momentos em que os nós estejam reunidos momentos antes do início da operação, e ora exigir que abordagens DTN sejam utilizadas, como em momentos em que os nós estejam separados por longas distâncias. Assim é necessário que os protocolos desenvolvidos para estas situações incorporem as características de cada uma das abordagens.

Diante destes desafios, torna-se necessário manter a comunicação tolerante a atrasos e desconexões com o menor consumo de recursos possível. Para tanto, um primeiro passo é analisar o desempenho das principais abordagens de roteamento existentes (MANET e DTN), de forma a permitir que seja realizada uma escolha fundamentada de quais características são importantes em novos protocolos de roteamento, que poderão ser utilizados em situações de emergência ou semelhantes.

1.2 Problema

O problema abordado neste trabalho é a análise do comportamento dos grupos de protocolos MANET e DTN em diferentes cenários que apresentam a densidade variável, como os cenários de emergência e redes veiculares, dentre outras. Por meio deste estudo é possível selecionar e agrupar as melhores características em cada paradigma (MANET ou DTN), permitindo assim a criação de novos protocolos adequados para estes cenários.

O grande desafio na análise dos grupos de protocolos MANET e DTN é a carência de estudos quantitativos que permitam comparar diretamente estes grupos, fornecendo assim um arcabouço de informações para o desenvolvimento de novos protocolos que utilizem melhor os recursos, como por exemplo energia, mantendo um alto desempenho.

1.3 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo do desempenho dos principais algoritmos MANET e DTN existentes na literatura, avaliando não apenas métricas de entrega e atraso mas também consumo de energia e descarte de mensagens. Permitindo não só identificar as principais características das classes que maximizam o desempenho geral da rede em diversos cenários, mas também apresentar uma base de comparação para futuras propostas para integração entre as classes MANET e DTN. Até onde conhecemos da literatura, este é o primeiro estudo que considera detalhes como o consumo de energia e implementação do processo de troca de mensagens no contexto DTN.

1.4 Contribuições

As contribuições deste trabalho são as seguintes:

- Comparamos os principais representantes dos grupos MANET e DTN em um único simulador, de modo a permitir que a análise seja justa já que todos os protocolos são submetidos às mesmas condições durante a análise.
- Identificamos em cada modelo de mobilidade avaliado quais seriam as possíveis combinações entre as características que permitiriam o melhor desempenho.
- A confirmação que os protocolos DTN entregam significativamente mais mensagens do que os protocolos MANET quando a densidade de nós é baixa e a mobilidade é elevada. No entanto, com alta densidade e baixa mobilidade o roteamento DTN sofre com elevado consumo de energia e longos atrasos.

1.5 Organização do texto

Esta dissertação está organizada em seis capítulos. No Capítulo 2 apresentamos as redes móveis ad hoc, suas principais características e aplicações. Apresentamos e comparamos qualitativamente as principais abordagens do roteamento em MANET. Em seguida discutimos o problema de particionamento em redes ad hoc formadas espontaneamente.

No Capítulo 3 apresentamos os conceitos das redes tolerantes a atrasos e desconexões (DTN), suas principais características e aplicações. Em seguida uma arquitetura

DTN é apresentada, discutimos os principais tipos de contatos que ocorrem nesta arquitetura.

As redes de emergência são apresentadas no Capítulo 4 juntamente com suas principais fases, os modelos de rede utilizados, principais características da mobilidade nestes cenários e alguns trabalhos que demonstram como a tecnologia pode ajudar na comunicação e coordenação das equipes em situações de emergência.

No Capítulo 5 apresentamos o conjunto de protocolos selecionados para análise, assim como os modelos de mobilidade utilizados. Encerramos o capítulo apresentado os resultados de simulação e sua devida análise e discussão.

Por fim, no Capítulo 6 apresentamos as conclusões e os trabalhos futuros.

Capítulo 2

Roteamento e particionamento em redes móveis ad hoc (MANET)

O extraordinário crescimento na área de comunicação em redes locais sem fio passa a permitir que informações e recursos possam ser acessados e utilizados em qualquer lugar e em qualquer momento. O crescimento na venda de dispositivos portáteis como *laptop*, *palmtop*, *tablets* é impressionante. Independente do tipo de dispositivo portátil, a maior parte desses equipamentos possuem capacidade de se comunicar com a parte fixa da rede e possivelmente com outros computadores móveis. A esse ambiente de computação se dá o nome de computação móvel.

Esse paradigma permite que usuários tenham acesso a serviços independente de localidade e de mudanças de localização, ou seja, proporcionando aos usuários mobilidade. Todo esse avanço é possível graças à comunicação sem fio que elimina a necessidade do usuário se manter conectado à uma estrutura fixa.

Segundo o grupo 802.11 do IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), as redes sem fio podem ser classificadas como estruturadas ou *ad hoc* [Belanger & Diepstraten, 1996, Ennis, 1996].

As redes estruturadas são aquelas onde os usuários móveis estão conectados a um ponto de acesso à rede fixa mostrado na Figura 2.1. Além disso, apresentam o funcionamento semelhante às redes celulares onde toda comunicação deve obrigatoriamente passar por uma central, mesmo que os telefones estejam a uma distância que permitiria a comunicação direta.

Já nas redes móveis ad hoc (*Mobile ad hoc Networks* MANET) os dispositivos são capazes de trocar informações entre si, como exemplificado na Figura 2.2. A utilização de uma rede MANET está associada a cenários onde existe a necessidade de se instalar rapidamente uma rede de comunicação. Normalmente, são situações onde não há uma

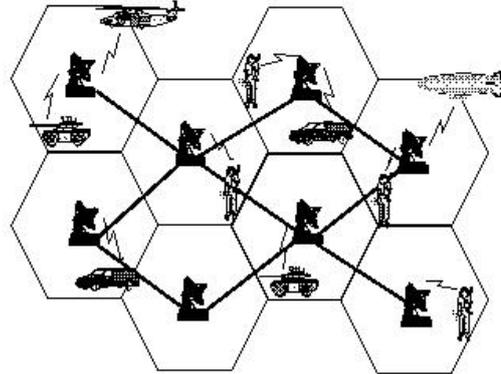


Figura 2.1. Rede estruturada

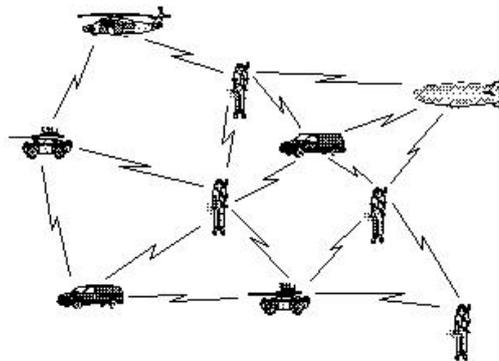


Figura 2.2. Rede ad hoc

infraestrutura de rede previamente instalada. Algumas das aplicações possíveis para rede tipo ad hoc são [Corson & Macker, 1999]: Em uma situação de desastre, como furacão, terremoto ou inundação, onde equipes de resgate precisam se coordenar e não se tem uma rede fixa disponível; Soldados em um campo de batalha trocando informações táticas; Empresários compartilhando informações em uma reunião; ou estudantes usando laptops para participar de uma aula interativa.

Em uma MANET um caminho entre dois dispositivos pode ser formado por vários saltos através de um ou mais dispositivos na rede, como exemplificado na Figura 2.3. A criação e manutenção de rotas é um dos problemas fundamentais em uma rede ad hoc, já que a mobilidade de um dispositivo pode causar mudanças na topologia.

As redes MANETs possuem algumas características marcantes como [Corson & Macker, 1999]:

- Topologia dinâmica: os nós são livres para se movimentarem; assim, a topologia da rede, que é tipicamente multisalto, pode mudar aleatoriamente, rapidamente

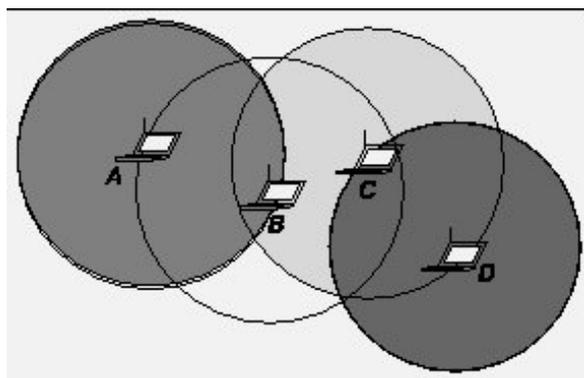


Figura 2.3. Comunicação multissalto em redes ad hoc

e de maneira imprevisível.

- Largura de banda limitada, variação na capacidade dos canais: os canais de comunicação possuem uma baixa capacidade devido aos efeitos dos múltiplos saltos, ruídos e interferências etc.
- Restrições de energia: alguns ou todos os nós em uma rede MANET podem utilizar baterias ou outras fontes finitas de energia. Para estes nós, o critério mais importante para criação de aplicações é a otimização da conservação de energia.

Os cenários mais discutidos para aplicação dos conceitos de redes MANET são redes formadas em campos de batalha ou formadas para coordenação de equipes de resgate. Porém, estas não são as únicas aplicações para o conceito de rede MANET. Iremos apresentar outros tipos de redes que utilizam os conceitos de redes MANET:

- As redes Mesh são construídas sobre um misto de estrutura fixa e nós móveis interconectados por um enlace sem fio para formar uma rede ad hoc multissalto. Diferente das redes puramente MANET, a rede mesh introduz uma arquitetura hierárquica adicionando nós dedicados, chamados de (*roteadores mesh*) que se comunicam para formar um *backbone* de comunicação sem fio. As redes mesh sem fio são ideais para prover comunicação tanto interna quanto externa no ambiente urbano, suburbano e rural pois não necessitam de uma infraestrutura extremamente cara.
- As redes veiculares ou (*Vehicular Ad hoc NETWORKS* - VANETs) utilizam a comunicação ad hoc para prover um assistente eficiente aos condutores. As comunicações incluem dados sobre a via e outros carros. As VANETs podem ser utilizadas

Tabela 2.1. Lista de alguns dos protocolos MANET

Nome	Autor	Ano
<i>DYMO</i>	[Chakeres & Perkins, 2010]	2011
<i>OLSR</i>	[Clausen & Jacquet, 2003]	2003
<i>AODV</i>	[Perkins et al., 2003a]	2003
<i>AOMDV</i>	[Marina & Das, 2002]	2002
<i>DSR</i>	[Johnson et al., 2002]	2002
<i>SSA</i>	[Dube et al., 2002]	2002
<i>LAR</i>	[Ko & Vaidya, 2000]	2000
<i>CBRP</i>	[Jiang et al., 1998]	1998
<i>TORA</i>	[Park & Corson, 1997]	1997
<i>DSDV</i>	[Perkins & Bhagwat, 1994]	1994

para comunicar o condutor de situações de perigo e avisos sobre as condições de tráfego.

- Redes de sensores sem fio ou (*Wireless Sensor Networks* - WSN) são beneficiadas pelo avanço da tecnologia, permitiu de produzir pequenos nós com capacidade de comunicação sem fio e abastecidos por uma bateria. Estes nós são dispositivos ativos com poder computacional e capacidade de comunicação capazes de observar fenômenos reais, filtrar, compartilhar, combinar e operar com estas informações obtidas.

2.1 Roteamento em MANET

Vários protocolos de roteamento para redes MANET foram propostos na literatura. São listados na Tabela 2.1 alguns destes protocolos. Estes protocolos diferem nos algoritmos de criação de novas rotas e na manutenção das rotas existentes, quando necessário.

Protocolos de roteamento podem ser divididos em proativos ou reativos [Abolhasan et al., 2004]. Um nó que executa o algoritmo proativo tem uma visão geral da rede a todo momento. Todas as atualizações da topologia são difundidas imediatamente ou em um pequeno intervalo de tempo a todos os nós da rede. Desta forma, o estabelecimento de rotas acontece de forma bastante rápida. O problema deste tipo de algoritmo é que se o número de nós na rede tende a crescer, ele se torna impraticável. Os nós que executam algoritmos reativos, por sua vez, não enviam quaisquer tipos de atualizações de topologia aos seus vizinhos. Quando desejam descobrir uma rota para outro nó, eles enviam à rede um pedido de rota. A resposta é enviada pelo nó final

ou por um nó intermediário que tenha feito um pedido de rota para o mesmo destino anteriormente.

2.1.1 Protocolos Proativos

Em [Abolhasan et al., 2004] são apresentados vários protocolos de roteamento proativos, o mais difundido e utilizado é o OLSR (*Optimized Link State Routing*) [Jacquet, 2001, Clausen et al., 2003]. O OLSR é um protocolo que executa o roteamento salto-a-salto, proativo, orientado a tabelas de roteamento. Como nos demais algoritmos baseado no estado do enlace, cada nó mantém uma visão da topologia da rede por meio de atualizações constantes. Estas atualizações são realizadas por troca periódicas de mensagens de controle.

Segundo [Abolhasan et al., 2004], o protocolo OLSR se destaca entre os proativos pois é capaz de reduzir o número de transmissões das mensagens de controle. Para isto é utilizada a técnica conhecida como MPR (*Multipoint Relaying*) ou múltiplos pontos de retransmissão. Esta técnica consiste em cada nó selecionar um grupo de nós para propagar as mensagens de controle. Segundo [Jacquet, 2001], devido à técnica MPR, o protocolo OLSR apresenta um bom desempenho em redes que cobrem uma grande área ou apresentam uma alta densidade.

No protocolo OLSR são utilizados dois tipos básicos de mensagens de controle: HELLO e as mensagens de controle de topologia (TC - *Topology Control*). As mensagens de HELLO são enviadas por cada nó apenas para os seus vizinhos a um salto, e fornece informações sobre o estado do enlace desse nó com seus vizinhos. As informações obtidas pelas mensagens de HELLO são utilizadas para que cada nó construa seu MPR. Já as mensagens de TC são enviadas a todos os nós da rede, contendo as informações que foram utilizadas para criar os MPR. Para reduzir o número de transmissões as mensagens de TC são enviadas utilizando os MPR, reduzindo assim o custo da disseminação destas informações.

O principal critério na seleção dos nós que irão formar um MPR é que os nós alcancem todos os nós a dois saltos de distância do nó origem. Um nó é escolhido integrante do MPR se este possuir um enlace bidirecional para o nó origem e alcançar o maior número de nós vizinhos a dois saltos do nó de origem.

Na Figura 2.4 é apresentado o processo de envio de uma mensagem por difusão de pacotes sem MPR. No exemplo apresentado para alcançar os nós a três saltos do nó S foram necessárias 24 retransmissões. Já na Figura 2.5 é apresentado o processo de envio por difusão utilizando o MPR. É possível perceber a significativa redução do número de retransmissões de 24 para 11 mantendo o alcance a todos os nós a três

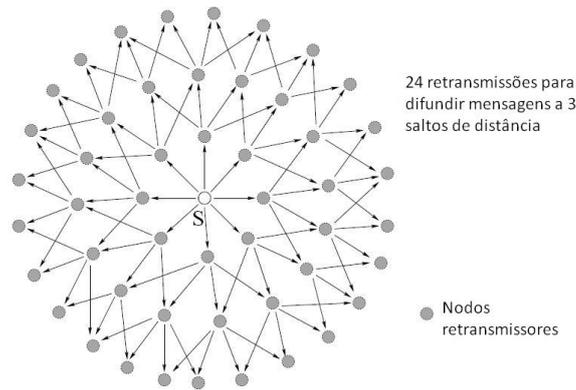


Figura 2.4. Difusão normal

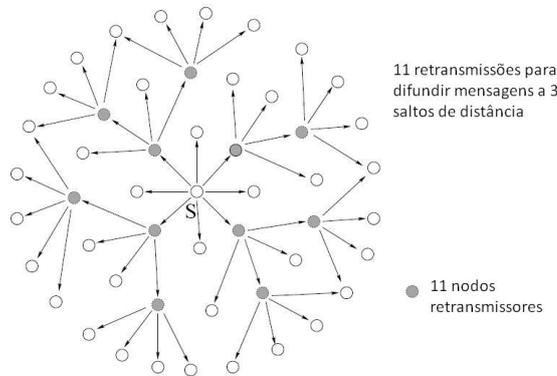


Figura 2.5. Difusão utilizando MPRs

saltos. Nas ilustrações a mensagem parte do nó S no centro. Mais detalhes a respeito do cálculo dos MPR de um nó, e as provas do funcionamento do algoritmo podem ser encontradas em [Jacquet et al., 2002].

2.2 Protocolos Reativos

No trabalho [Abolhasan et al., 2004] são apresentados vários protocolos de roteamento reativos. Um dos mais difundidos e que obtém o melhor desempenho é o AODV (*Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing*) [Perkins et al., 2001, Villela B. A. M, 2003]. O protocolo de roteamento AODV foi criado para ser utilizado em redes móveis ad hoc e possui como características principais a rápida adaptação às mudanças topológicas, baixo processamento, consumo de memória e consumo de banda [Perkins et al., 2003b].

Cada nó no AODV mantém um número de sequência crescente que é utilizado para verificar o quão recente é uma rota e para garantir a ausência de *loops*, evitando

o problema de contagem ao infinito, clássico dos protocolos baseados em vetor de distância [Perkins et al., 2003b].

As principais mensagens utilizadas pelo AODV são requisições de rotas RREQs (*Route Requests*), respostas de rotas RREPs (*Route Replies*) e erros nas rotas RERRs (*Route Errors*).

Quando é necessário criar uma rota para um nó o processo de descoberta de rotas é iniciado, neste processo o nó origem envia a todos os seus vizinhos uma mensagem RREQ. A rota é determinada quando o RREQ atinge o nó destino ou um nó intermediário que conheça o caminho para o nó destino e o número de sequência seja recente, ou seja, a rota é válida enquanto o número de sequência é maior que o enviado na mensagem de RREQ. A rota é construída pelo envio da mensagem RREP pelo caminho reverso ao percorrido pela mensagem RREQ.

No AODV existem dois processos de manutenção de rotas. O baseado no recebimento ou não de sinais de confirmação de recepção ACK (*acknowledgement*) e o baseado no envio e recebimento de mensagens *hello*. Ambos tem objetivo de validar as rotas contidas na tabela de rotas. No processo baseado em *hello* periodicamente são enviados pacotes chamados *hello* entre os nós para verificar a existência e a ruptura de rotas. Quando um pacote de *hello* não é recebido uma mensagem de RERR é enviada ao nó origem sinalizando que um erro ocorreu. Ao receber uma mensagem de RERR a tabela de roteamento é atualizada removendo as rotas relacionadas ao erro. Mais detalhes do processo de descoberta e manutenção de rotas no AODV podem ser encontrados em [Perkins et al., 2003b] .

2.3 Comparação entre protocolos reativos e proativos

Em diversos trabalhos como [Abolhasan et al., 2004, Oliveira et al., , Wu et al.,] é apresentado uma comparação entre os protocolos reativos e proativos. Os protocolos reativos apresentam as seguintes características: As rotas são criadas apenas quando requisitadas, não necessitam de atualizações periódicas de rotas, apresentam um atraso na utilização da rota maior que o dos protocolos proativos, a quantidade de informações armazenadas é normalmente menor que nos protocolos proativos, são mais escaláveis que os protocolos proativos. Já os protocolos proativos apresentam as seguintes características: São mantidas rotas para todos os nós alcançáveis, demandam um maior controle de tráfego de informações de roteamento, necessitam de atualizações periódicas nas tabelas de roteamento, necessitam de maior capacidade de armazenamento,

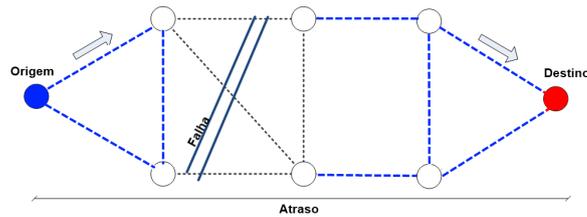


Figura 2.6. Particionamento em redes MANET

possuem um menor atraso no envio do primeiro pacote, são menos escaláveis.

2.4 Particionamento em redes MANETs

As redes MANET podem apresentar conectividade intermitente devido a diversas razões como: destruição física dos nós, falta de energia e o mais frequente motivo, à mobilidade. Devido à conectividade intermitente os protocolos desenvolvidos para redes tradicionais podem não apresentar um bom desempenho, pois é considerado que a rede é conectada e que irá existir um caminho fim a fim entre qualquer par de nós. No trabalho [Xue & Kumar, 2004], é provado que para que uma rede seja assintoticamente conectada é necessário que cada nó da rede possua $\Theta(\log n)$ vizinhos, sendo n o número de nós na rede. Nas redes MANET formadas em cenários reais não é possível garantir que cada nó possua os $\Theta(\log n)$ vizinhos e devido a mobilidade as redes podem ser ainda mais dispersas.

Na Figura 2.6 é apresentada uma tentativa de comunicação entre dois nós em uma rede MANET. Por se tratar de uma rede particionada esta é suscetível a longos atrasos. Como o caminho fim-a-fim não está disponível no momento representado, para que exista comunicação entre origem e destino é preciso que o mecanismo de roteamento tolere as desconexões e os potenciais atrasos.

Ao ocorrer o particionamento da rede, uma abordagem conhecida é a combinação dos conceitos de redes tolerantes a atrasos e interrupções com o conceito de MANET [Fall & Farrell, 2008]. Nas redes tolerantes a atrasos e desconexões, os dados são encapsulados e armazenados em novas estruturas e transmitidas somente quando ocorre uma oportunidade de comunicação. As redes tolerantes a atrasos e desconexões são apresentadas no Capítulo 3.

2.5 Conclusão

Neste capítulo foram apresentados os conceitos de redes MANET e o roteamento nestas redes assim como o problema de particionamento da rede. Os protocolos de roteamento para rede MANET são adequados para as situações em que um caminho fim a fim ligando origem e destino está sempre disponível. Caso tal fato não ocorra, as mensagens não serão entregues.

Segundo o estudo analisado para que uma rede seja considerada conectada são precisos $\Theta(\log n)$ vizinhos para cada nó, sendo n o número de nós da rede. Porém em redes MANET não é possível garantir todo tempo este número de vizinhos. Por ser praticamente impossível evitar os particionamentos, uma forma de se permitir a contínua comunicação é utilizar as estratégias tolerantes a atrasos e interrupções. Tais estratégias serão tratadas no próximo capítulo.

Capítulo 3

Roteamento em redes tolerantes a atrasos e desconexões(DTN)

Para o bom funcionamento das redes convencionais [Lindgren et al., 2003], como as redes cabeadas e até mesmo as redes ad hoc, é considerado a premissa básica da existência de conectividade fim a fim entre os nós que desejam se comunicar. Na grande maioria dos protocolos de roteamento, apenas existe comunicação quando a descoberta de uma ou mais rotas que interliguem origem e destino ocorre com sucesso. As redes sem fio vêm sendo utilizadas nos mais diversos ambientes inclusive os desafiadores onde nem sempre é possível afirmar que irá existir conectividade fim a fim ou por ela nunca existir, ou por ser intermitente.

Às redes criadas em ambientes desafiadores, que levam em consideração frequentes desconexões e longos atrasos é dado o nome de DTN (*Disruption/Delay/Disconnect Tolerant Networking*) que mais recentemente receberam outras denominações como: Redes Oportunistas (*Opportunistic Networks*) [Ramanathan et al., 2007], Redes desafiadoras (CHANTS) (*CHALLENGED NeTworkS*) [Chen & Murphy, 2001], Redes com conectividade eventual (*Episodically-Connected Networks*), Redes com conectividade intermitente (ICN - *Intermittently Connected Networks*) [Ghosh et al., 2006] ou ainda Redes com desafios de conectividade (*Connectivity-Challenged Networks*). Neste trabalho utilizamos a denominação DTN para nos referenciarmos a estas redes.

Muitos foram os esforços para criar uma arquitetura para redes DTN robusta o bastante para suportar as frequentes desconexões e os longos atrasos na transmissão. A solução encontrada foi o armazenamento em memória secundária (*buffer*) das mensagens por nós intermediários e repassalas quando possível. Desta forma explorando a mobilidade dos nós na tentativa de entregar mensagens aos destinatários [Lindgren et al., 2003]. Quando um nó em uma rede DTN deseja enviar uma men-

sagem, está é armazenada e encaminhada nó a nó da origem até o destino utilizando as oportunidades de comunicação que vão surgindo. Logo, o correto funcionamento das redes DTN depende da capacidade de armazenamento dos nós, a capacidade desses nós em transferir dados durante os contatos, além da necessidade de cooperação entre os componentes da rede [Buttyán et al., 2010].

As soluções empregadas em DTN podem ser aplicadas a várias outras redes com características similares. As aplicações das redes DTN em outros campos de pesquisa são diversas, as mais comuns são em monitoramento, comunicação submarina, comunicação espacial, aplicações militares, etc.

O projeto SeNDT (*Sensor Networking with Delay Tolerance*) [Project, 2005] é um exemplo de aplicação dos conceitos DTN na monitoração ambiental que auxilia autoridades públicas e empresas preocupadas com o meio ambiente a monitorar a qualidade da água de lagos e também os níveis de poluição sonora em rodovias. A região a ser monitorada no projeto era de grande extensão e por este motivo uma rede de sensores tradicional implicaria em altos custos para implantação. A solução encontrada para este problema foi utilizar soluções baseadas em DTN. Os sensores foram espalhados em regiões e nós móveis ou mulas de dados (*Data MULE Mobile Ubiquitous LAN Extension* segundo a terminologia do projeto) trafegam entre estas regiões, permitindo a coleta das informações e a conectividade. Esta mesma solução foi empregada em [Shah et al., 2003], onde dispositivos móveis são entregues para pedestres e de acordo com a movimentação destes pedestres são coletadas as informações das redes de sensores e estas informações são repassadas a infraestrutura fixa.

Em [Hasson et al., 2003], as mulas de dados eram os próprios meios de transporte públicos como ônibus. A idéia era prover conectividade em regiões rurais onde não exista infraestrutura. Estas soluções de mulas de dados são, em geral, implementadas em regiões distantes dos centros urbanos, onde o custo para implantação de soluções convencionais seria muito alto. Outros projetos como [Lindgren & Doria, 2007] dentre outros utilizam esta mesma ideia de utilizar as mulas de dados para interligar regiões em desenvolvimento. Outras soluções baseadas em mulas de dados podem ser encontradas em [Zhao & Ammar, 2003, Zhao et al., 2004, Zhao et al., 2005], nestas soluções as mulas de dados se movimentam de acordo com alertas enviados por nós fixos. Ao receber um alerta a mula de dados se desloca até o nó solicitante, recebe a informação que o nó deseja enviar e então se desloca para próximo do nó destino para entregar a mensagem. As mulas de dados mantêm as posições de cada nó na rede, permitindo que as mulas de dados se desloquem para os locais corretos e a comunicação possa ocorrer.

Outro exemplo de rede baseado nos conceitos de DTN é o projeto ZebraNet [Juang et al., 2002] que se propõe a fazer o monitoramento da vida selvagem de zebras

utilizando sensores colocados em colares. Estes sensores coletam as informações sobre a mobilidade das zebras e, como em uma rede de sensores tradicional, estas informações devem ser entregues nas estações base para então serem analisadas. A estação base possui um alcance limitado e por isto nem sempre os sensores estavam dentro deste raio de alcance, impossibilitando a troca de informações. A solução encontrada para este problema foi que os sensores também trocassem informações entre si, permitindo que uma maior quantidade de informações fossem entregues para a estação base. Esta troca de informações ocorre da seguinte maneira: cada sensor armazena quantas vezes este já esteve em contato com a estação base permitindo que uma estrutura hierárquica fosse montada entre os nós a partir da análise dos contatos com a estação base. A cada encontro entre os sensores, as informações de contatos eram trocadas. Ao encontrar um sensor com maior nível na hierarquia, as informações de mobilidade coletadas eram repassadas para este sensor pois as mensagens carregadas por este sensor possuem maior probabilidade de serem entregues. Desta forma a mobilidade dos nós assim como a análise dos encontros permitem que as informações sejam entregues.

Existe uma grande dificuldade em prover uma arquitetura capaz de permitir o funcionamento das redes DTN devido à diversidade de cenários e protocolos de roteamento. Uma proposta de arquitetura generalizada para redes DTN foi apresentada em [Fall, 2003] .

3.1 Arquitetura DTN proposta

A arquitetura DTN foi definida para funcionar de forma independente da tecnologia de rede garantindo a interoperabilidade.

Na arquitetura DTN o ponto de maior destaque é a camada de agregação (*bundle layer*) [Fall, 2003]. Esta nova camada tem o objetivo de realizar a comutação de mensagens e armazenamento persistente dos dados. Qualquer dispositivo que implemente esta camada de agregação pode ser chamado de nó DTN [Warthman, 2003].

Nas DTNs as mensagens enviadas pelas aplicações podem possuir tamanhos variáveis de unidades de dados de aplicação (*Application Data Units - ADUs*). As mensagens são transformadas pela camada de agregação em uma ou mais unidades de dados de protocolo (*Protocol Data Units - PDUs*) denominadas agregados (*bundles*), que são armazenados e encaminhados pelos nós DTN. O termo agregado foi escolhido para ser utilizado em DTN, ao invés de transação, para evitar a associação a algum tipo de interatividade [Fall, 2003] que é ineficaz em ambientes de longos atrasos e frequentes desconexões. Assim, nestes ambientes, por exemplo o pedido de transferência de

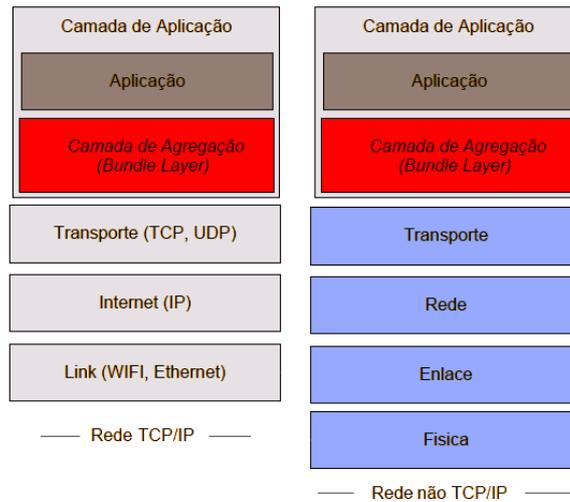


Figura 3.1. Arquitetura DTN

um arquivo pode ser enviado juntamente com todas as informações necessárias para a transação como usuário e senha para autenticação, nome do arquivo desejado e o diretório local de destino do arquivo. Todas estas informações são "agregadas" e enviadas de uma única vez, evitando diversas trocas de mensagens que são realizadas numa transferência de arquivos realizada em uma rede TCP/IP convencional.

A Figura 3.1 apresenta a pilha de protocolos de uma rede DTN. Note que os protocolos de comunicação de rede podem ser específicos para cada sub-rede e podem variar de acordo com o cenário em que estão operando. Para que exista a comunicação DTN, toda sub-rede deve possuir a camada de agregação, que realizará a interface entre a aplicação e as diversas tecnologias de comunicação que podem estar presentes. Dentre as principais funcionalidades da camada de agregação estão: o armazenamento persistente de mensagens, com o objetivo de permitir a comunicação mesmo com interrupções; e o encaminhamento salto-a-salto das mensagens. A camada de agregação oferece mais funcionalidades como o envio por custódia, classes de prioridades e mensagens de administração, estas funcionalidades são descritas em [Cerf et al., 2007].

3.1.1 Contatos em DTN

Outro importante conceito em DTN é o de contato. Contato pode ser definido como sendo uma situação favorável para troca de dados entre os nós. Os algoritmos de roteamento devem ser desenvolvidos considerando o tipo de contato predominante na rede. Segundo [Cerf et al., 2007] os contatos podem ser dividido em cinco tipos:

- **Persistentes:** Os contatos persistentes são aqueles que estão sempre disponíveis. Por exemplo, uma conexão Internet como a *Digital Subscriber Line* (DSL).
- **Sob demanda:** necessitam de uma ação para se tornarem disponíveis, como uma conexão discada.
- **Programado:** uma agenda de contatos entre dois os mais nós pode ser estabelecida. Este processo demanda sincronização de relógios entre os nós, como ocorre em uma rede espacial.
- **Previsíveis:** são os contatos que podem ser previstos por meio da análise de contatos anteriores, como o contato entre um avião e o aeroporto.
- **Oportunistas:** estes não podem ser previstos e ocorrem ao acaso entre os nós. O objetivo deste tipo de contato é obter vantagem de contatos realizados ao acaso para viabilizar a comunicação com nós que estejam fora do alcance do nó fonte. Este conceito permite que exista comunicação mesmo quando em nenhum momento exista o caminho fim a fim interligando fonte e destino. Neste tipo de contato os nós desconhecem qualquer informação, como localização, padrão de mobilidade, dos demais nós da rede. Um exemplo de contatos oportunistas são os experimentos chamados PSN (*Pocket Switched Networks*) [Hui et al., 2005] onde dispositivos móveis chamados (*iMotes*) foram distribuídos para os usuários que participavam de uma conferência e quando estes usuários se encontravam os (*iMotes*) trocavam informações, ao término do experimento as informações de encontros entre os dispositivos foram recolhidas e os padrões e distribuições referente a tempos entre contatos puderam ser recolhidas.

Os tipos de contatos definem as estratégias de roteamento que podem ser utilizadas. Para este trabalho iremos apresentar as propostas referentes a contatos oportunistas por acreditarmos serem estes os mais frequentes nos cenários tratados.

As trocas de mensagens nos protocolos DTN ocorrem como o representado na Figura 3.1.1, assim que um contato ocorre, as listas de mensagens que cada nó carrega são trocadas e ocorre a transmissão das mensagens que o par não possui.

3.2 Roteamento oportunístico em DTN

Existem diversos protocolos de roteamento para DTNs que se diferenciam pela quantidade de informações a respeito da mobilidade dos nós que cada um utiliza. Uma rede com mobilidade previsível como uma rede interplanetária pode utilizar protocolos

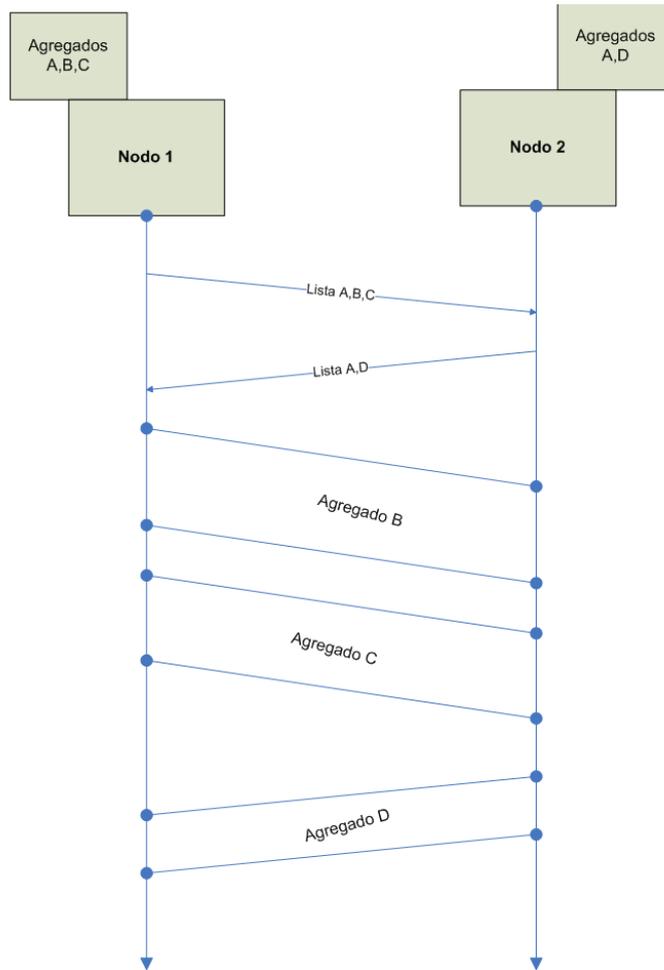


Figura 3.2. Processo de contato e troca de mensagens nos protocolos DTN

que fazem uso deste conhecimento. Em redes onde não é possível prever a mobilidade, como em redes de emergência outras técnicas podem ser utilizadas.

Os algoritmos de roteamento para rede DTN diferem dos algoritmos para redes tradicionais devido às incertezas sobre a duração das conexões entre os nós. Os algoritmos de roteamento para redes DTN podem ser classificados quanto à quantidade de informação que os nós possuem a respeito principalmente da mobilidade dos nós. Os algoritmos estocásticos assumem que não possuem nenhum conhecimento sobre o estado da rede, já os algoritmos determinísticos assumem possuir algum conhecimento a respeito da topologia da rede ou tempo médio entre os contatos.

Os algoritmos determinísticos têm como base as informações que o nó possui sobre a rede, utilizando estas informações para inferir quando irá ocorrer um contato entre os nós [Handorean et al., 2004, Jain et al., 2004, Lindgren et al., 2003]. Em todas as abordagens determinísticas o caminho fim a fim é conhecido e estabelecido antes do

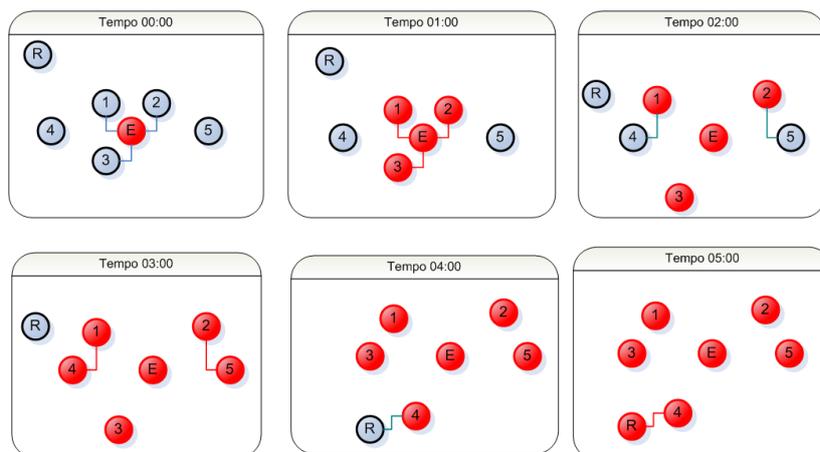


Figura 3.3. Exemplo do algoritmo Epidêmico de roteamento

envio do agregado. Em redes de emergência não é possível prever a movimentação dos nós e, portanto não é possível conhecer previamente os caminhos fim a fim.

Os algoritmos estocásticos são utilizados quando os nós da rede se movimentam de maneira imprevisível. As políticas de repasse de agregados em algoritmos estocásticos podem variar do repasse a todos os nós aos quais foi realizado um contato até o repasse baseado em históricos [Vahdat & Becker, 2000, Lindgren et al., 2003, Spyropoulos et al., 2005a, Spyropoulos et al., 2005b]. Como as redes de emergência se assemelham aos cenários para os quais os protocolos estocásticos foram desenvolvidos, iremos aprofundar os estudos nestes protocolos.

Em [Vahdat & Becker, 2000] foi apresentado o algoritmo Epidêmico. Neste as mensagens são repassadas para o maior número de nós possível, como em uma epidemia. Este algoritmo possui a menor latência e a maior taxa de entrega dentre os protocolos DTN, considerando um cenário ideal, onde não existem restrições de banda, energia e *buffer*. Este protocolo possui uma grande desvantagem, um grande número de agregados é trocado e por isto uma grande quantidade de recursos da rede é utilizada. Em cenários onde existe restrições de energia, banda ou *buffer* este algoritmo pode apresentar queda no seu desempenho.

Na Figura 3.2 temos um exemplo do roteamento epidêmico, no Tempo 00:00 o nó E decide enviar um agregado para o nó R, ainda neste instante o contato como apresentado na Figura 3.1.1 ocorre. No Tempo 01:00 os nós 1, 2 e 3 recebem o agregado. No Tempo 02:00 o nó 1 entra em contato com o nó 4 e o nó 2 estabelece contato com o 5. No Tempo 03:00 os nós 1 e 2 enviam os agregados para 4 e 5. No Tempo 04:00 o nó R encontra o nó 4 e inicia o processo de contato. No Tempo 05:00 o nó 4 envia o

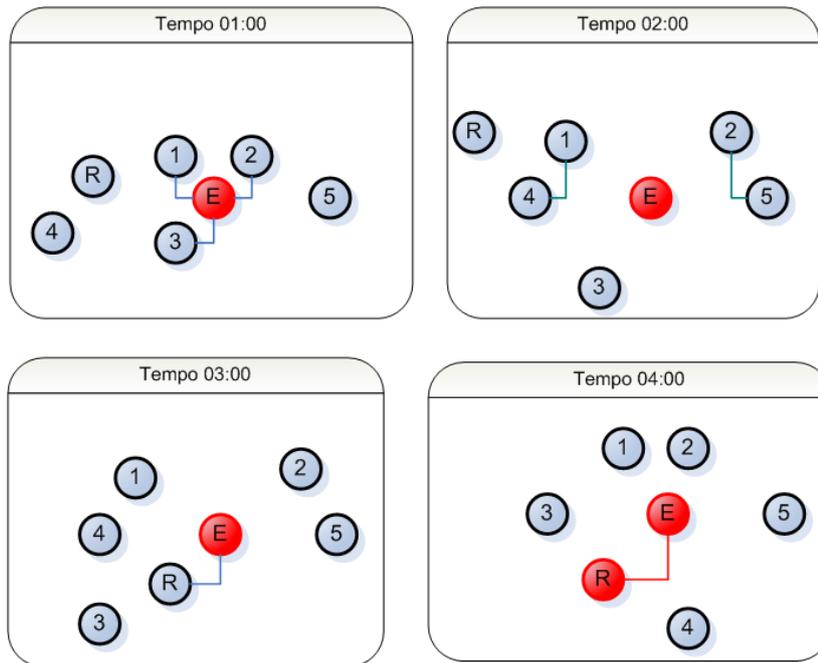


Figura 3.4. Exemplo do algoritmo *Direct Transmission* de roteamento

agregado para o nó R. Como pode ser visto neste exemplo os agregados são repassados para todos os nós.

O mais simples protocolo de roteamento para redes DTN é o *Direct Transmission* [Spyropoulos et al., 2005a], neste é mantido apenas uma cópia do agregado na rede e um nó encaminha a mensagem apenas se encontrar o destinatário final. Este algoritmo depende da mobilidade dos nós para que o nó origem entre em contato com o nó destino. Este protocolo apresenta o maior atraso dentre os protocolos DTN e como vantagem apresenta o menor consumo de energia.

Na Figura 3.2 é apresentado um exemplo do funcionamento do algoritmo *Direct Transmission*, no Tempo 01:00 o nó E decide enviar uma mensagem para o nó R e estabelece contato com os nós 1, 2 e 3, como nenhum dos nós que E está em contato é o destinatário o agregado não é enviado. No Tempo 02:00 dois contatos são estabelecidos, o primeiro entre os nós 1 e 4 e o segundo entre os nós 2 e 5, como nenhum dos nós carrega nenhuma mensagem nada é feito. No Tempo 03:00 o nó R entra em contato com o nó E. No Tempo 04:00 o nó E envia o agregado para o nó R pois este é o destino da mensagem. Como pode ser visto, apenas uma troca de agregados ocorre neste algoritmo, portanto este apresenta o menor *overhead*, porém apresenta as maiores latências pois dependem do encontro direto entre emissor e receptor.

Um algoritmo que busca combinar os benefícios do Epidêmico com os do *Direct*

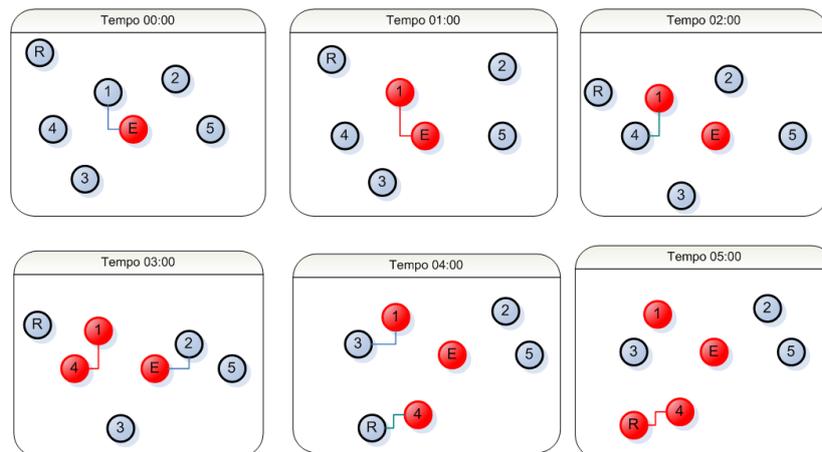


Figura 3.5. Exemplo do algoritmo *Spray and Wait* de roteamento

Transmission foi proposto em [Spyropoulos et al., 2005b]. O *Spray and Wait* reduz a sobrecarga da rede pois reduz as transmissões de agregados, porém é capaz de manter uma alta taxa de entrega bem como uma baixa latência. Neste o roteamento é realizado em duas fases. Na primeira fase, chamada *spray*, L cópias dos agregados são transmitidas para os nós vizinhos. Na segunda fase, chamada *wait*, a entrega é realizada utilizando o algoritmo *Direct Transmission*. Para se utilizar este esquema não é necessário que os nós possuam nenhum conhecimento da rede. Este apresenta seus melhores resultados quando a rede apresenta alta mobilidade.

Na Figura 3.2 é apresentado um exemplo do funcionamento do protocolo *Spray and Wait*, o valor de L escolhido foi três. No Tempo 00:00 o nó E decide enviar um agregado para o nó R e o nó 1 estabelece contato com o nó E. No Tempo 01:00 o nó E passa o agregado para o nó 1 configurando o valor de L para dois. No Tempo 02:00 o nó E tem o agregado e L igual a 1 e o nó 1 tem o agregado e L igual a dois, o contato entre 1 e 4 é estabelecido. No Tempo 03:00 o nó 1 envia o agregado para o nó 4 configurando o L para 1. O contato entre E e 2 é estabelecido, porém como E possui o parâmetro L com valor um o agregado não pode ser repassado para o nó 2. No Tempo 04:00 os nós 1 e 3 estabelecem contato assim como os nós 4 e R. Como o nó 1 possui L com valor 1 o agregado não é enviado, já no contato entre 4 e R o nó 4 identifica que o nó R é o destino e no Tempo 05:00 o agregado é enviado do nó 4 para o nó R.

O *Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity* (PRoPHET) [Lindgren et al., 2003] é um algoritmo probabilístico de roteamento para redes DTN que explora a não aleatoriedade nos movimentos dos nós em uma rede, esperando assim melhorar a entrega de agregados mantendo baixo o consumo de recursos. Seu funcionamento é baseado no Epidêmico, porém é utilizada uma métrica de

previsibilidade de entrega para selecionar os nós que irão repassar os agregados.

O *PeopleRank* [Mtibaa et al., 2010] tem como idéia central utilizar informações sociais com o objetivo de prover um roteamento mais eficiente em redes tolerantes a atrasos e desconexões. Para isto é proposto um algoritmo de ranking inspirado nos algoritmos de ranking de páginas da web, onde este ranking é utilizado para guiar o roteamento de mensagens. Um exemplo de funcionamento é: o nó E repassa o agregado para o nó R apenas se R estiver mais bem colocado no ranking que E.

O *Bubble Rap* [Hui et al., 2008] utiliza a métrica de centralidade no grafo da rede para encontrar os nós que interligam as comunidades. As comunidades de nós são identificadas por um algoritmo. Uma vez que a mensagem se encontra na comunidade correta as informações são propagadas utilizando uma métrica de centralidade para encontrar o melhor nó para repassar a mensagem.

Foi apresentado em [Mota et al., 2009] um algoritmo de roteamento para redes de emergência. Neste trabalho foi considerado que os nós se movimentam em grupos e o repasse de agregados é realizado de forma hierárquica. É selecionado um líder para o grupo de nós e este líder é responsável por repassar as mensagens para os demais grupos.

3.3 Roteamento híbrido MANET-DTN

Os protocolos de roteamento em DTN, devido a sua característica de replicar as mensagens, apresentam um grande consumo de energia. Este grande consumo pode limitar a utilização deste em diversos cenários como nas redes de emergência, onde a longevidade da rede pode significar o maior número de sobreviventes resgatados. Para reduzir o consumo dos protocolos DTN uma solução é incorporar características dos protocolos MANET a estes protocolos de modo a criar novos protocolos híbridos ou adaptativos.

O roteamento híbrido/adaptativo MANET e DTN surgiu desta necessidade de economizar recursos como energia e capacidade de armazenamento dos nós assim como reduzir os atrasos nas comunicações. Existem propostas para a integração das características MANET e DTN na literatura como as apresentadas a seguir:

Um protocolo híbrido MANET-DTN, chamado HYMAD, foi apresentado em [Whitbeck & Conan, 2010]. O HYMAD periodicamente analisa a rede em busca de mudanças topológicas e constrói temporariamente os grupos de nós conectados. As mensagens trocadas entre os membros do grupo utilizam protocolos de roteamento ad-hoc e para as mensagens trocadas entre os grupos é utilizado um protocolo DTN. Neste

estudo não são apresentadas as razões para a escolha dos algoritmos MANET e DTN.

Em [Ott et al., 2006] o caminho fim a fim é mantido enquanto for possível. Quando o caminho é quebrado, a abordagem baseada em DTN é utilizada. Nesta abordagem, a aplicação pode decidir se irá utilizar a abordagem MANET ou DTN. O protocolo MANET escolhido foi o AODV. Não foram apresentados resultados que justificassem a escolha do protocolo AODV.

No esquema apresentado em [Lakkakorpi et al., 2010] o nó emissor decide qual protocolo utilizar analisando o tempo de envio da mensagem e o tempo de vida do caminho encontrado. Sendo o tempo de vida do caminho suficiente a mensagem é enviada via MANET e nos demais casos utiliza-se DTN. Esta decisão ocorre na camada de aplicação. Este mecanismo de decisão foi analisado utilizando o protocolo reativo para descoberta de rotas. A escolha do protocolo reativo não foi discutida no trabalho.

Em nenhuma destas propostas é realizado um estudo que permita selecionar as características desejáveis de um protocolo híbrido/adaptativos.

3.4 Conclusão

Neste capítulo foi discutido uma proposta de arquitetura DTN definida para funcionar de forma independente da tecnologia de rede garantindo a interoperabilidade. Nesta arquitetura destaca-se a camada de agregação que é responsável por realizar a comutação de mensagens e armazenamento persistente dos dados, qualquer dispositivo que implemente esta camada pode ser chamado de nó DTN. Apresentamos outro importante conceito em DTN, os contatos. Os contatos podem ser definidos como sendo uma situação favorável para a troca de dados entre os nós. Existem cinco tipos de contatos: Persistentes, estão sempre disponíveis; Sob demanda, necessitam de uma ação para se tornarem disponíveis; Programado, pode existir uma agenda entre os nós que permite dizer quando um contato pode acontecer; Previsíveis, podem ser previstos por meio da análise de contatos anteriores; Oportunistas, são a forma mais comum dos contatos onde não é possível prever quando e por quanto tempo o contato irá acontecer. Os tipos de contatos definem as estratégias e roteamento que podem ser utilizadas. Neste trabalho focamos no tipo de contato oportunístico por serem estes os mais frequentes nos cenários que iremos analisar. Discutimos as principais abordagens para roteamento oportunístico em redes DTN. Apresentamos os algoritmos Epidemico, *Direct Transmission*, *Spray And Wait*. Estes algoritmos apresentam um alto consumo de recursos pois são baseados na replicação de mensagens. Introduzimos o conceito do roteamento híbrido MANET-DTN, motivado pelo alto consumo de recursos dos

protocolos DTN . A limitação de recursos em diversos cenários motiva a existência de protocolos híbridos MANET-DTN com o objetivo de reduzir o consumo de recursos e atraso nas comunicações.

Capítulo 4

Comunicação de dados em Redes de emergência

As situações ocasionadas por desastres naturais, tecnológicos ou causados pelo homem são chamadas de cenários de emergência. Nestes cenários o funcionamento da economia e da sociedade é alterado ou até interrompido. Os esforços para reduzir os danos físicos e sociais de um desastre exigem que várias organizações coordenem seus esforços. Os agentes em cenários de emergência, chamados de respondedores, podem ser agentes da defesa civil, médicos, bombeiros, policiais e voluntários.

Um grande desafio nos cenários de emergência é a comunicação já que esta deve envolver diversas organizações [Manoj & Baker, 2007]. Atualmente as comunicações ocorrem principalmente por comandos de voz enviados por meio de rádio comunicadores. A utilização de outras tecnologias para prover a comunicação de dados e não somente de voz permitiria a coordenação dos esforços de forma mais eficiente.

Todo o trabalho de coordenação e atuação dos respondedores em um cenário de emergência é denominado gerenciamento de desastres [Schmitt et al., 2007]. Estes esforços são divididos em quatro fases, que podem ser identificadas pelo período de tempo em que ocorrem em relação ao fenômeno gerador da crise. Durante cada fase a tecnologia pode ser utilizada para auxiliar a realização das atividades.

Fases do gerenciamento de desastres:

- **Preparação:** Ocorre dias ou semanas antes do desastre quando este pode ser previsto, como a passagem de um furacão. Corresponde ao trabalho realizado para minimizar os efeitos do desastre como, adequação de estrutura, aplicação de medidas de contenção, treinamento das equipes e simulações. Nesta fase a tecnologia pode ser utilizada já que alguns desastres podem ser modelados computacional-

mente com o objetivo de prever sua intensidade e a região afetada, como por exemplo, a previsão meteorológica. Permitindo que medidas preventivas possam ser tomadas nas regiões mais afetadas.

- **Prontidão:** Se passa logo antes e durante a ocorrência do desastre. Nesta fase são executadas ações que permitam alcançar uma melhor resposta ao desastre como criação de planos de ação e o posicionamento de equipamentos e equipes. Nesta fase a tecnologia a ser utilizada seria as redes de sensores sem fio, permitindo que o desastre seja monitorado e perigos eminentes sejam alertados às equipes já posicionadas.
- **Resposta:** São os esforços aplicados imediatamente após o acontecimento, com o objetivo de conter e minimizar as perdas materiais e humanas. Esta fase necessita de uma coordenação robusta e ágil já que ocorre no momento crítico no qual o tempo para execução das tarefas determina o salvamento ou não de uma ou mais vidas. Esta fase é o foco deste trabalho pois é a que apresenta maior carência de tecnologia. Atualmente a comunicação entre as equipes é feita através de rádio por voz. Neste tipo de comunicação existem várias limitações ao se transmitir informações, como por exemplo, informações de um mapa, fotos, dados médicos ou posicionamento das vítimas. Com a integração de voz e dados as habilidades dos membros das equipes podem ser estendidas permitindo que as informações sejam compreendidas mais rapidamente. Com a utilização de redes não estruturadas como as redes *ad hoc* é possível prover tanto a comunicação por voz quanto por dados por meio da distribuição de dispositivos portáteis como PDAs e notebooks e até mesmo com a utilização dos dispositivos remanescentes na região.
- **Restabelecimento:** São as ações para normalizar a região afetada, como reconstrução de edificações, ruas, restabelecimento do fornecimento de energia e comunicação. Este processo pode perdurar por longos períodos. Após o desastre, a infraestrutura de comunicação pode ter sido afetada por diversos fatores como a destruição de equipamentos. A tecnologia pode ser utilizada para criar redes de computadores temporárias permitindo a comunicação até que a infraestrutura de rede seja restabelecida.

No gerenciamento de emergências é crucial que o sistema de comunicação seja capaz de tolerar possíveis interrupções e que permaneça em operação o maior tempo possível. Adicionar a capacidade de tolerar interrupções e se manter em operação por

longos períodos nas redes atuais são requisitos para prover a comunicação em cenários de desastres.

Os protocolos para redes tolerantes a atrasos e desconexões (DTN) solucionam o problema das frequentes interrupções em cenários de desastre, porém esta solução não atende o requisito de manter a rede em funcionamento por longos períodos já que podem apresentar um alto consumo de energia. Por apresentarem baixo consumo de energia os protocolos para redes móveis *ad hoc* (MANET) convencionais se mostram uma solução viável. Porém, usados isoladamente não possuem a capacidade de tolerar as possíveis falhas nas comunicações. Portanto para desenvolver soluções mais adequadas para redes de emergência uma possível abordagem é integrar as soluções existentes de roteamento para redes MANET e redes DTN criando assim protocolos híbridos ou adaptativos. Para implementação das soluções híbridas ou adaptativas é necessário que o funcionamento, vantagens e desvantagens de cada abordagem seja conhecida e compreendida a fim de permitir o desenvolvimento de protocolos adequados.

4.1 Sistemas de apoio a emergências

A tecnologia pode auxiliar no gerenciamento de emergências a superar diversos desafios sociais, organizacionais e tecnológicos. Em [Manoj & Baker, 2007] é discutida a dificuldade da comunicação em ambientes de crise e a importância da troca de informações nestes cenários. Em cenários de emergência as redes *ad hoc* se mostram uma solução para prover a comunicação.

Em [Careem et al., 2007] é apresentado o SAHANA, um sistema Web de código aberto e livre. A principal aplicação do sistema é na fase de restabelecimento por se tratar de uma ferramenta de auxílio à coordenação facilitando serviços como: localização de desaparecidos, gerenciamento de voluntários, alocação de desabrigados dentre outras. Este sistema foi utilizado em diversos desastres, os principais foram a Tsunami na Ásia em 2004 e terremoto no Haiti em 2010.

Em [Arisoylu et al., 2005] foi proposto o WISARD, um sistema para auxiliar o resgate e o tratamento médico em ataques terroristas ou acidentes que produzam áreas de perigo de contaminação. Neste trabalho uma infraestrutura de rede utilizando roteadores rede 802.11, que são interligados utilizando *Wireless Distribution System* (WDS). O protocolo utilizado WDS é baseado em árvore geradora mínima. São utilizados na rede PDAs, *tablets*, Tags WiFi e monitores de sinais vitais todos conectados através de WiFi. A aplicação permite a triagem e coordenação de transporte, localização na

área afetada, bem como monitoração de sinais vitais.

A construção de uma rede WiFi *mesh* para uso em resposta a desastre foi proposta em [Kanchanasut et al., 2007]. Para tanto são utilizados roteadores *mesh* móveis nas áreas do desastre. Nessa arquitetura o centro de controle fica distante da área onde a equipe está e o acesso é feito pela Internet. Para roteamento da rede *mesh* é utilizado o protocolo OLSR e todos os equipamentos participantes são capazes de repassar as mensagens pela rede. A aplicação utilizada é um sistema de colaboração multimídia, que fornece um serviço de mensagens instantâneas, comunicações de vídeo e áudio. O software desenvolvido opera de uma maneira par-a-par, utilizando um sistema de *hash* distribuído (DHT).

A infraestrutura de rede proposta nos trabalhos apresentados pode não cobrir toda a área do evento permitindo que partições na rede ocorram. A comunicação entre estas partições não seria possível se apenas algoritmos MANET fossem utilizados, por outro lado se apenas protocolos DTN fossem utilizados muitos recursos seriam utilizados. Portanto protocolos híbridos MANET-DTN são a solução ideal.

4.2 Mobilidade em redes de emergência

A mobilidade em cenários de emergência é fundamentalmente ligada aos eventos ocorridos, onde os agentes se locomovem para desempenharem suas funções. Em uma enchente, por exemplo, diversas equipes de salvamento atuam no resgate às vítimas. Estas equipes de salvamento podem ser formadas por médicos, bombeiros, policiais, agentes da defesa civil ou voluntários.

Estas equipes são formadas com o objetivo de facilitar as operações e manter a segurança dos membros da equipe. Durante a fase de restabelecimento, algumas regiões podem necessitar de atendimento prioritário ou de recursos específicos, fazendo com que determinados grupos se desloquem com maior frequência para determinadas regiões. Outro ponto onde é comum a concentração de agentes são os abrigos, hospitais e delegacias, pois constantemente as vítimas e/ou desabrigados são conduzidos a estes locais.

A característica a ser explorada neste trabalho é que durante a movimentação dos nodos no decorrer do tempo a existências de grupos e a não aleatoriedade dos movimentos fazem com que a rede passe pelo efeito chamado efeito sanfona, em que hora a rede possui uma alta concentração de nodos em um ponto e hora a rede é desconexa ou parcialmente desconexa.

Como pode ser visto na figura 4.1 hora existem caminhos fim-a-fim interligando

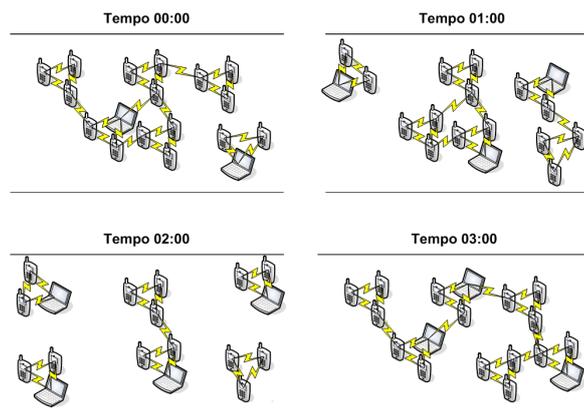


Figura 4.1. Mobilidade em redes de emergência

os nodos e hora não. Este ambiente é propício para o desenvolvimento de protocolos que por meio deste conhecimento utilizem os caminhos fim-a-fim quando estes estejam disponíveis com o objetivo de economizar recursos.

4.3 Conclusão

Este capítulo apresenta a importância da comunicação em cenários de emergência, principalmente a comunicação por dados. São apresentadas as fases do gerenciamento de desastres e como a utilização da tecnologia poderia auxiliar nas tarefas desempenhadas. Atualmente, a comunicação entre as equipes de resgate é feita por meio de rádios comunicadores (voz).

Nos desastres a infraestrutura de comunicação pode ser parcial ou totalmente destruída e, neste caso, as redes móveis *ad hoc* são uma solução para comunicação de dados e voz, permitindo que a tecnologia seja utilizada efetivamente em todas as fases do gerenciamento.

São apresentadas algumas aplicações que auxiliam o gerenciamento de desastres, mostrando que a tecnologia pode auxiliar em desastres e como é importante a existência de uma rede de emergência. Existem sugestões de arquitetura para uma rede de emergência, em nenhum dos trabalhos entrados é discutida a utilização de uma estratégia que tome proveito dos benefícios de se utilizar protocolos DTN e MANET.

Nas redes de emergência a mobilidade apresenta a característica da criação de grupos de nodos, os quais grupos podem permitir a utilização dos protocolos MANET, por exemplo, para comunicação interna ao grupo e protocolos DTN para, por exemplo, comunicações entre os grupos. Portanto a integração entre protocolos DTN e MANET pode melhorar a comunicação nos cenários de emergência.

Capítulo 5

Análise quantitativa de desempenho

Neste capítulo apresentamos a avaliação da performance dos protocolos em diferentes cenários de modo a identificar características que permitam selecionar as abordagens mais adequadas para cada cenário. A técnica escolhida para avaliação da performance dos protocolos foi a simulação, devido a grande complexidade de se realizar experimentos reais. A seguir iremos apresentar os protocolos selecionados, métricas consideradas, cenários avaliados e a análise dos resultados obtidos.

5.1 Protocolos selecionados

Os protocolos de roteamento selecionados foram o Epidêmico (EP), SprayAndWait (SW), AODV e OLSR. No caso dos protocolos MANET foi selecionado um protocolo que representasse cada classe. O protocolo AODV foi selecionado para representar os protocolos reativos e o OLSR foi selecionado para representar os protocolos proativos. A escolha dos algoritmos AODV e OLSR permite a avaliação do impacto no desempenho das características proativas e reativas, da mesma forma que se outros protocolos mais recentes fossem escolhidos.

Os protocolos DTN analisados não estavam previamente implementados no simulador NS-2 e portanto estes tiveram que ser implementados. Escolhemos os protocolos SprayAndWait (SW) e Epidêmico (EP) pois estes representam bem os protocolos da classe DTN. O protocolo EP tem como objetivo entregar o maior número de mensagens no menor tempo, porém este utiliza uma grande quantidade de recursos para atingir estes objetivos. Para reduzir a quantidade de recursos consumidos o protocolo SP limita o número de mensagens de dados trocadas.

Para implementação dos protocolos DTN consideramos que cada nó possui um vetor de mensagens, que é chamado de *buffer*, capaz de armazenar 1000 mensagens.

Neste *buffer* as mensagens criadas ou recebidas por um nó são armazenadas.

5.2 Implementação do contato

O contato foi implementado em três passos: envio do anúncio, resposta ao anúncio e envio dos dados como descrito a seguir.

O envio dos anúncios ocorre de acordo com o intervalo descrito na Tabela 5.1. Os anúncios são constituídos por um vetor de inteiros que representa o identificador de cada mensagem armazenada no *buffer* do nó.

Ao receber um anúncio, é iniciado o processo de resposta ao anúncio, onde o vetor que contém os identificadores das mensagens é comparado com o *buffer* do nó. Caso existam identificadores que não estejam presentes no *buffer* do nó, uma nova mensagem, contendo um vetor de inteiros que representam os identificadores das mensagens que o nó deseja, é enviada.

O nó que recebe uma mensagem de resposta ao anúncio inicia o processo de envio de dados, onde as mensagens requisitadas são selecionadas no *buffer* do nó e repassadas para o nó solicitante.

5.3 Métricas

As métricas escolhidas para as simulações foram:

- Atraso: o atraso na entrega das mensagens ao destinatário. Inclui o tempo de transmissão, armazenamento e recepção fim a fim.
- Consumo de energia: consumo médio de energia por nós durante toda a simulação.
- Taxa de entrega: porcentagem de mensagens que alcançaram o destinatário com sucesso.
- Número de saltos: número de saltos médio que uma mensagem percorreu até alcançar o destino.
- Porcentagem de mensagens descartadas por falta de rota interligando origem e destino.

Espera-se que um protocolo com bom desempenho apresente um baixo consumo de energia, mas que mesmo assim consiga entregar uma grande quantidade de mensa-

gens e com o menor atraso possível. Um baixo consumo de energia é importante, pois os equipamentos podem ter restrições de recursos.

5.4 Ambiente de simulação

A fim de avaliar o comportamento dos protocolos MANET e DTN em diversos cenários configuramos um ambiente de simulação. Este ambiente modela as situações reais de operação dos protocolos MANET e DTN, permitindo que informações relevantes quanto ao desempenho de cada abordagem seja coletado. O simulador escolhido foi o NS-2. Este é um simulador de eventos discretos que permite que situações reais sejam simuladas de forma mais realista. Seus parâmetros foram configurados como apresentado a seguir.

O simulador NS-2 foi configurado segundo os parâmetros apresentados na Tabela 5.1 a seguir com o objetivo de formar um cenário o mais próximo do real possível. Os modelos de mobilidade foram selecionados de forma a representar um grande número de aplicações de redes DTN e MANET.

Na aplicação utilizada durante as simulações a geração de eventos ocorre a cada 10s, simulando uma situação onde integrantes de uma equipe de resgate enviam mensagens uns para os outros. Estas mensagens podem conter, por exemplo, pequenos textos. A geração de eventos ocorre a partir do centésimo segundo de simulação, pois o algoritmo OLSR necessita de um intervalo de tempo para criação das rotas. O fim da geração de eventos ocorre no milésimo primeiro segundo de simulação e são aguardados dois mil e seiscentos segundos de maneira a permitir que o maior número de mensagens sejam entregues.

Os parâmetros referentes ao rádio foram configurados seguindo [Cisco, 2005]. A camada MAC escolhida foi a 802.11 por se tratar de um padrão altamente popular entre dispositivos móveis.

O modelo de energia utilizado recebe como parâmetro o tempo de envio ou recepção de mensagens e o consumo relativo aos seus modos de operação (recepção, transmissão e ocioso) e assim calcula a quantidade de energia a ser decrementada. O valor de energia inicial foi selecionado de forma que a energia não fosse uma limitação durante as simulações.

Os resultados das simulações são apresentados com nível de confiança de 95%. Cada teste foi reexecutado quinze vezes, alterando a semente gerada do modelo de mobilidade. Os parâmetros utilizados no simulador são os apresentados na Tabela 5.1.

Os cenários avaliados serão apresentados a seguir.

Tabela 5.1. Parâmetros da simulação

Modelos de mobilidade	Movimentação aleatória sem restrição	
	Movimentação em uma aplicação de emergência	
	Movimentação aleatória em vias urbanas	
Eventos	Intervalo entre eventos	10s
	Início e fim dos eventos	100s, 1001s
	Tamanho da mensagem	11000 bits
Rádio	Potência de transmissão	98dBm
	Modelo de propagação	TwoRayGround
	Tipo de antena	OmniAntenna
	Protocolo MAC	802.11
	Frequência de operação do rádio	2.4 Ghz
	Taxa de envio de dados	11Mbps
	Alcance	244m
Modelo de energia	Energia Inicial	10000J
	Consumo na transmissão	1.35 W
	Consumo na recepção	2.25 W
	Consumo ocioso	0.075 W
Roteamento	Intervalo entre anúncios	9-10 s
	Parâmetro L do SprayAndWait	6
	Parâmetros AODV	Valores padrão
	Parâmetros OLSR	Valores padrão

5.5 Cenário de simulação

5.5.1 Movimentação aleatória sem restrição

No modelo Random Waypoint (RWP), inicialmente é escolhido aleatoriamente um ponto na área de simulação para onde o nó irá se mover, e então é selecionada uma velocidade para locomoção também seguindo uma distribuição uniforme. O nó se move em direção ao ponto escolhido. Ao chegar ao ponto de destino, opcionalmente, aguarda um tempo aleatório também seguindo uma distribuição uniforme e volta a executar o passo de escolha do ponto. Este modelo é comumente utilizado para analisar redes ad hoc, porém não representa cenários reais, pois desconsidera a existência de restrições geográficas e tendências naturais da mobilidade humana. Entretanto, por ser um modelo altamente versátil e possuir diversos parâmetros que podem ser modificados, este modelo é empregado para uma primeira análise de desempenho. A implementação

utilizada do modelo RWP foi proposta em [Boudec & Vojnovic, 2006]. Este modelo recebe como entrada o tamanho da área simulada, a velocidade dos nós e o tempo de parada. Utilizamos como padrão os seguintes parâmetros, uma área de 1000x1000 metros onde 40 nós são distribuídos, estes nós se movimentam com velocidade média de 8 metros por segundo e possuem o tempo de parada médio de 8 segundos.

5.6 Movimentação em uma aplicação de emergência

O modelo de mobilidade apresentado em [Mota et al., 2009], chamado Mobility Model to Emergency Networks (MME) é baseado no modelo Reference Point Group Mobility Model (RPGM). No modelo RPGM os movimentos dos grupos são baseados no movimento de um centro lógico do grupo. Inicialmente cada membro do grupo é distribuído uniformemente próximo ao centro lógico. A cada instante, velocidade e direções de todos os nós do grupo são calculados baseados na velocidade e direção do centro lógico, podendo ter um desvio previamente definido. Este modelo é comumente utilizado para analisar cenários de emergência e campos de batalha. No modelo MME é acrescentado ao modelo RPGM a existência de regiões de interesse. Estas regiões são representadas por um ponto e um raio de interesse. Cada uma das regiões de interesse possui uma necessidade de atendimento. No MME, em um determinado instante, de acordo com as prioridades de cada região, o centro lógico de um grupo que atenda ao requisito da região escolhe um novo destino que esteja a uma distância d do ponto de interesse. O nó seleciona uma velocidade uniforme entre os valores mínimo e máximo previamente informados, e os demais participantes do grupo o seguem, mantendo uma variação de direção previamente informada. Após alcançado o destino, o centro lógico determina uma pausa uniforme entre os tempos mínimo e máximo. Logo após, escolhe um novo destino e uma nova velocidade.

Para este trabalho escolhemos uma região de 3000x3000 metros que representa a área de segurança de uma usina nuclear. Dentro desta área foram selecionados cinco pontos de interesse, como apresentado na Figura 5.1. A aplicação utilizada neste cenário corresponde a um medidor de informações relacionadas ao desastre nuclear, que coleta uma amostra a cada um segundo e envia esta amostra a um determinado nó escolhido aleatoriamente. Os eventos de medição foram iniciados no instante de simulação 100 segundos e são finalizados no instante 1000 segundos, totalizando 900 eventos. A simulação tem a duração de 3600 segundos.

Os pontos A, B e C representam um conjunto de reatores que necessitam de visitas

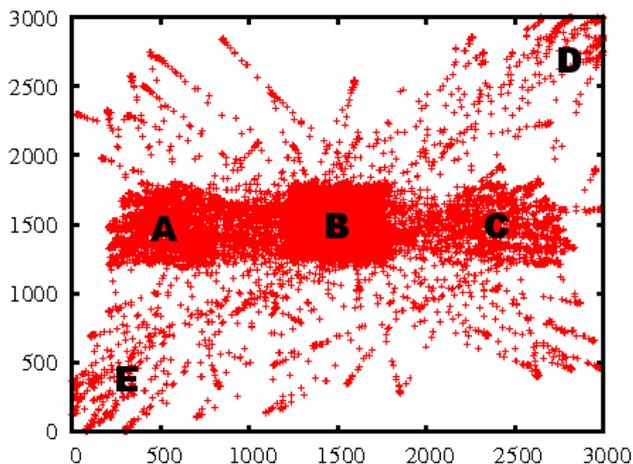


Figura 5.1. Pontos de interesse utilizados no modelo MME

constantes das equipes para seu monitoramento e portanto apresentam necessidades de 20%, 40% e 20% dos esforços dos grupos. Os pontos D e E representam zonas onde o avanço da radiação deve ser analisado com uma menor frequência, e portanto necessitam de 10% dos esforços dos grupos. Os nós se movimentam com velocidade média de 10 m/s com um delta de 5 m/s e o tempo de parada tem média de 10 s com delta de 5s. Escolhemos como parâmetro o número de grupos. Fixamos o número de nós em 40 e distribuímos estes nós em 4, 5, 10 e 20 grupos.

5.7 Movimentação aleatória em vias urbanas

Utilizamos a implementação do modelo Restricted Random waypoint on a City Section proposta em [Boudec & Vojnovic, 2006]. Neste modelo os nós se movimentam em um mapa representando uma cidade. Dentro deste mapa existem ruas e cada uma das ruas possui um limite de velocidade. Os nós escolhem uma rua para o qual desejam se deslocar e uma velocidade de deslocamento, respeitando os limites existentes. Em comparação com o modelo RWP, a diferença está na limitação dos destinos possíveis assim como as posições de deslocamento. Após a escolha da rua de destino, o nó se movimenta até o ponto desejado seguindo a velocidade escolhida e pode ou não aguardar um período de tempo até que o processo de escolha do destino volte a acontecer.

Com este cenário pretendemos analisar o impacto do aumento de veículos circulando em uma cidade nos protocolos de roteamento analisados. Simulamos assim o que acontece em um dia normal em uma cidade, onde o número de carros trafegando nas ruas aumenta no decorrer do dia. Neste cenário a aplicação utilizada envia um

total de 900 mensagens de dados. A cada segundo de simulação uma mensagem é gerada em um nó selecionado aleatoriamente e enviada a um destino também selecionado aleatoriamente.

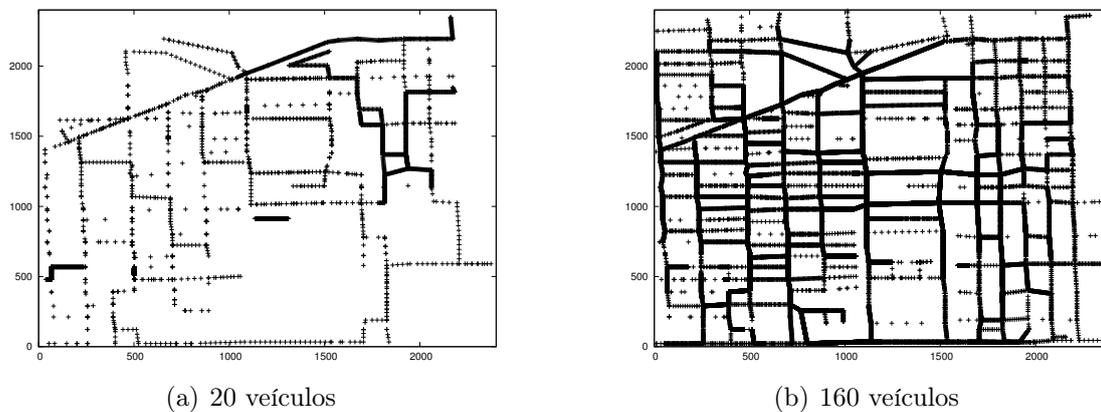


Figura 5.2. Número de destinos escolhidos pelos veículos durante a simulação

Nas Figuras 5.2(a) e 5.2(b) apresentamos o aumento da concentração de veículos na cidade. Podemos perceber que, com o aumento de veículos, as vias se tornam cada vez mais utilizadas, fazendo com que o número de contatos entre os veículos também aumente. Utilizamos os dados de uma cidade onde 20, 40, 80 e 160 nós se locomoveram com velocidade média de 50 km/h. Os nós possuem um tempo de parada médio de 10 segundos.

5.8 Movimentação aleatória sem restrição

5.8.1 Avaliação do impacto da mobilidade dos nós

Iniciamos a avaliação analisando o impacto da mobilidade dos nós no desempenho dos protocolos. Neste cenário buscamos medir a capacidade dos protocolos de se adaptar a diferentes mobilidades. Variamos a velocidade dos nós (0.5, 2, 8, 24, 96 m/s) e o tempo de repouso (0, 2, 8, 24, 96, 384, 1536 s). As métricas consideradas foram: atraso, número de saltos e entrega.

A Figura 5.3 mostra o atraso. Observe que os protocolos EP e AODV apresentam um comportamento similar devido à alta densidade de nós na rede. A alta densidade faz com que o número de saltos percorridos por uma mensagem apresente baixa variação como pode ser visto na Figura 5.5, desta forma o que domina o atraso no protocolo EP é o intervalo entre os anúncios. No protocolo AODV o comportamento é explicado pelo instante em que as mensagens são geradas, que equivalem aos instantes de parada

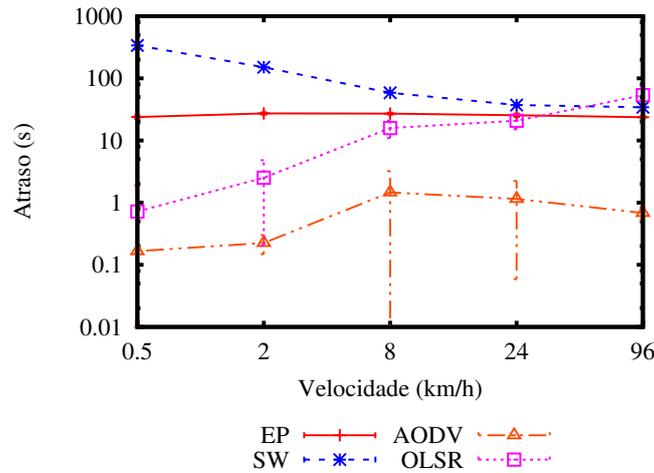


Figura 5.3. Latência média

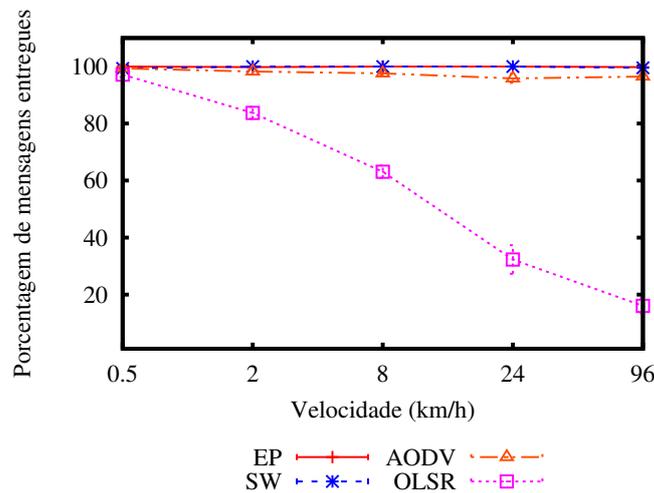


Figura 5.4. Porcentagem de mensagens entregues

do modelo de mobilidade, desta forma os eventos de envio ocorrem enquanto a rede está com baixa mobilidade. Ao acrescentarmos a este fato a alta densidade permitimos então que as mensagens sejam entregues com pouca variação no atraso. Já os protocolos OLSR e SW se mostraram mais sensíveis à velocidade. O protocolo OLSR apresenta um grande aumento do atraso, cerca de 50 vezes enquanto o SW reduz seu atraso em cerca de 10 vezes. O grande aumento no atraso do protocolo OLSR é causado pela falta de rota interligando origem e destino ocasionado pela mobilidade dos nós, como pode ser visto na Figura 5.6. À redução do atraso no protocolo SW ocorre pois, com o aumento na velocidade de movimentação, aumenta o número de contatos, permitindo que o destino seja alcançado mais rapidamente.

Na Figura 5.4 os protocolos SW e EP apresentam um comportamento similar.

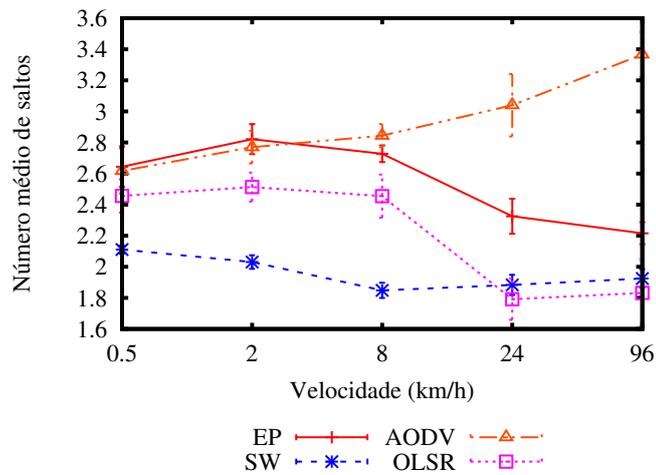


Figura 5.5. Número médio de saltos

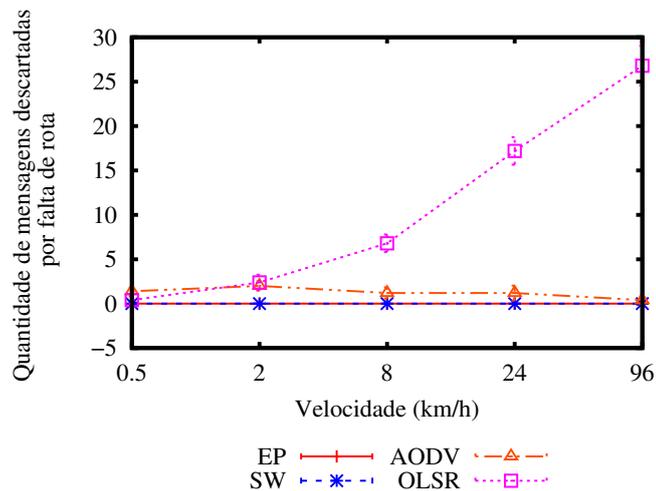


Figura 5.6. Número de mensagens descartadas por falta de rota

Nos protocolos SW e EP, por não existir imposição de restrições de *buffer* e tempo de vida das mensagens, foi possível atingir 100% de entrega em todos os cenários. O decréscimo na entrega dos protocolos AODV e OLSR ocorre pois a quebra das rotas criadas se torna mais frequente de acordo com o incremento da velocidade dos nós, como pode ser visto na Figura 5.6. O protocolo OLSR se mostra o mais sensível à variação da velocidade, apresentando uma queda de 80% na entrega.

De forma geral, o protocolo SW apresenta a maior latência por ter uma grande limitação no número de mensagens repassadas. Entretanto, este mantém 100% de entrega de mensagens.

À medida que a mobilidade foi decrementada (isto é, o tempo de repouso foi incrementado) como pode ser visto na Figura 5.7 os protocolos EP, AODV e OLSR

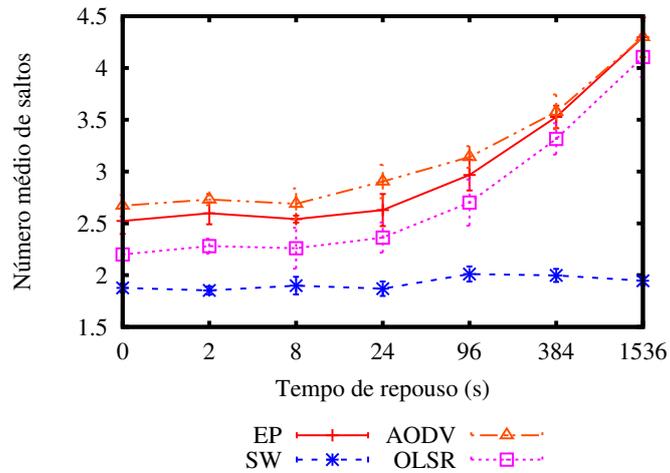


Figura 5.7. Número médio de saltos

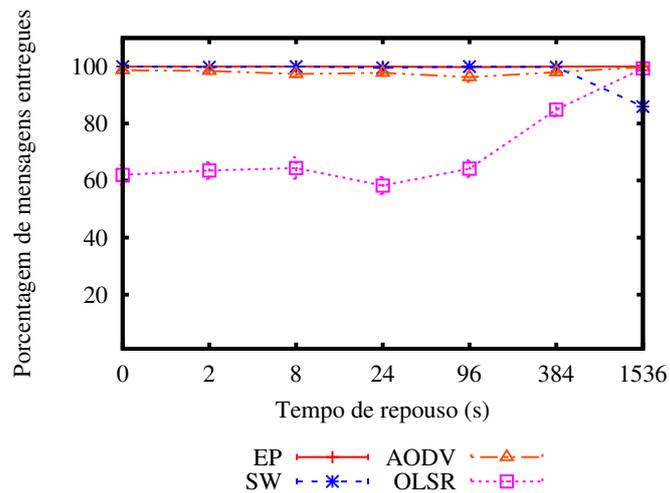


Figura 5.8. Porcentagem de mensagens entregues

apresentam o mesmo comportamento crescente no número de saltos. Este comportamento é decorrente da diminuição da mobilidade, forçando que as mensagens percorram mais nós até serem entregues. O protocolo SW apresenta baixa variação no número de saltos devido à característica do protocolo de repassar as mensagens de acordo com o parâmetro L .

Observe na Figura 5.8 que os protocolos EP e SW apresentam o mesmo comportamento até que o tempo de parada chega a 384 s. Neste ponto o protocolo SW passa a entregar menos mensagem, decorrente do comportamento do protocolo de espalhar L cópias e aguardar que estas cópias alcancem o destino devido à mobilidade dos nós. Os protocolos AODV e OLSR se beneficiam da diminuição da mobilidade (isto é, o tempo de repouso foi incrementando). Este fato é evidente no protocolo OLSR, onde

a entrega passa de 60% para 100%. Este fato é devido à maior estabilidade nas rotas criadas, exigindo menor esforço para sua manutenção e criação, como pode ser visto na Figura 5.11. De maneira geral os protocolos SW e EP não se beneficiam da diminuição da mobilidade, pois dependem desta para que as mensagens sejam espalhadas e entregues na rede. Já os protocolos AODV e OLSR apresentam melhores resultados com a mobilidade reduzida.

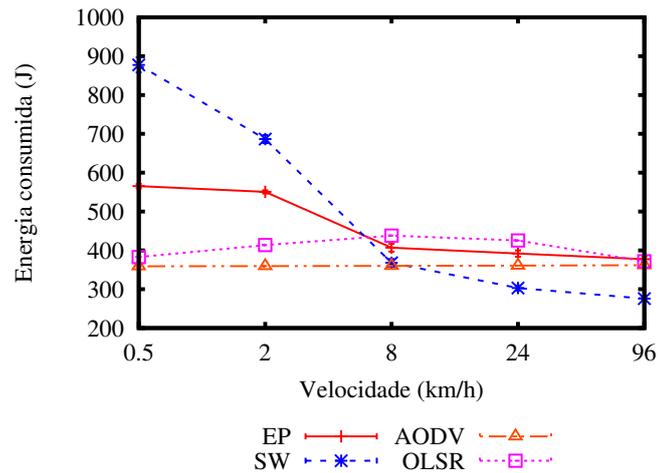


Figura 5.9. Consumo médio de energia variando a velocidade

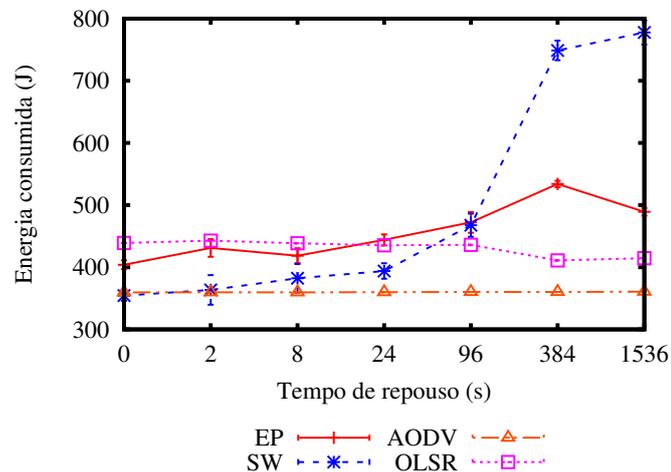


Figura 5.10. Consumo médio de energia variando o tempo de parada

O consumo médio de energia em Joules durante a simulação é apresentado nas Figuras 5.9 e 5.10. Na Figura 5.9 é apresentado o consumo quando existe a variação da velocidade de deslocamento dos nós. Os protocolos DTN (EP e SW) apresentam uma redução no consumo, ocasionado pela redução no atraso da entrega das mensagens.

Devido à implementação do processo de contato, ao atingir o destino o nó que repassou a mensagem para o destinatário deixa de anunciar a mensagem e portanto menos requisições a esta são realizadas. A maior redução apresentada pelo protocolo SW, cerca de 3 vezes, ocorre pois, em cenários com uma baixa mobilidade (isto é, baixa velocidade de locomoção dos nós), as mensagens são anunciadas mais vezes até que o destino seja encontrado. Já nos cenários com alta mobilidade, a quantidade de anúncios é menor portanto reduzindo o consumo de energia. Nos protocolos MANET (AODV e OLSR), o consumo não apresenta grande variação em relação à variação da velocidade de locomoção dos nós. A pequena variação apresentada pelo protocolo OLSR é devida ao aumento de quebras nas rotas devido a maior movimentação dos nós.

Observe na Figura 5.10 que o comportamento dos protocolos é o mesmo com a diminuição da mobilidade (isto é, aumento do tempo de repouso) os protocolos DTN (EP e SW) apresentam um aumento no consumo. Mais uma vez a maior variação no consumo é apresentada pelo protocolo SW, cerca de 2 vezes.

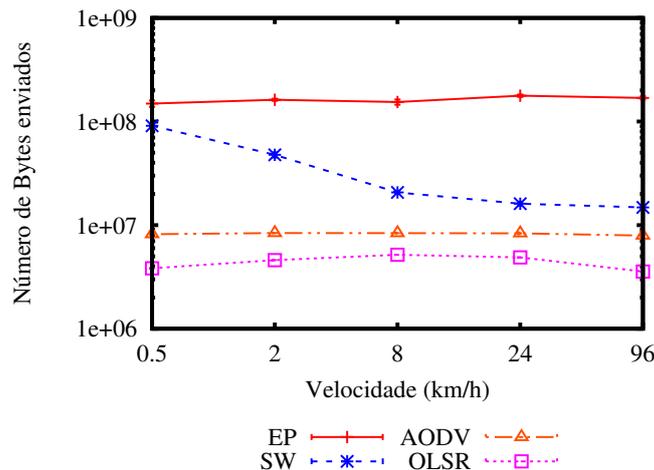


Figura 5.11. Número médio de Bytes enviados de acordo com a variação da velocidade de deslocamento

A Figura 5.11 apresenta o número médio de bytes enviados. Com o aumento da velocidade os contatos com nós diferentes se tornam mais frequentes. O protocolo SW consegue encontrar um destino mais rapidamente e por isto apresenta uma grande redução no número de bytes enviados. O número de bytes enviados pelo protocolo AODV é praticamente constante já que este é ligado ao número de nós e não as oportunidades de contato. Já o OLSR mantém crescimento até 24km/h já que com mais mobilidade são mais frequentes as desconexões e o esforço para a manutenção de rotas se torna maior, quando a velocidade passa para 96km/h a criação de rotas se torna inviável devido ao pouco tempo entre as ligações e por isto existe uma redução em número de

bytes enviados.

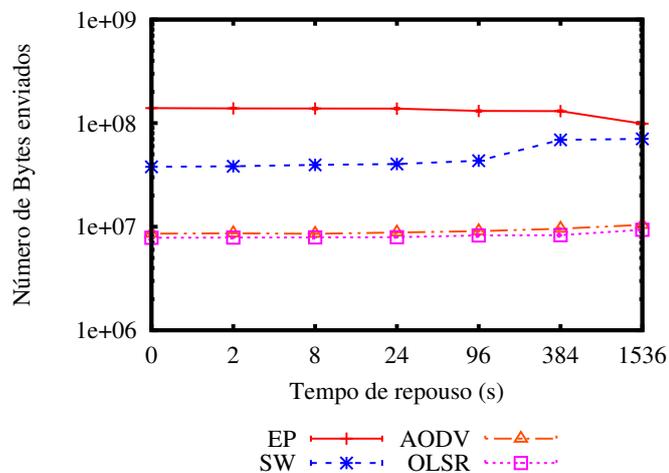


Figura 5.12. Número médio de Bytes enviados de acordo com a variação do tempo de parada

A Figura 5.12 apresenta o número médio de bytes enviados. O AODV e o OLSR não apresentam modificações significativas no número de bytes enviados pois existe pouca variação no número de ligações entre os nós. Com o aumento do repouso o protocolo SW apresenta um aumento no número de bytes enviados, pois os contatos entre os mesmos nós aumenta e devido a limitação de repasses as requisições são sempre respondidas solicitando o repasse das mensagens faltantes.

5.8.2 Avaliação do impacto da densidade da rede

A densidade da rede afeta diretamente o comportamento dos protocolos analisados. Para verificar esta propriedade, variamos o tamanho do lado da área de simulação (731, 865, 1117, 1934, 2735 m) e o número de nós (10, 20, 40, 80, 160) e mantivemos os demais parâmetros. Mantivemos o modelo de mobilidade aleatório sem restrição. Dentre as métricas aferidas estão: atraso, descartes por falta de rota, taxa de entrega e número de saltos.

A Figura 5.13 apresenta o número médio de saltos. Com a diminuição da densidade na rede (isto é, com o aumento do lado da área de simulação) os contatos entre origem e destino da mensagem se tornam cada vez mais raros. Isto pode ser observado com o aumento no número de saltos percorridos por uma mensagem até que esta seja entregue ao destino.

Observe na Figura 5.14 a porcentagem de mensagens descartadas por falta de rota entre origem e destino. Por não exigirem um caminho interligando origem e

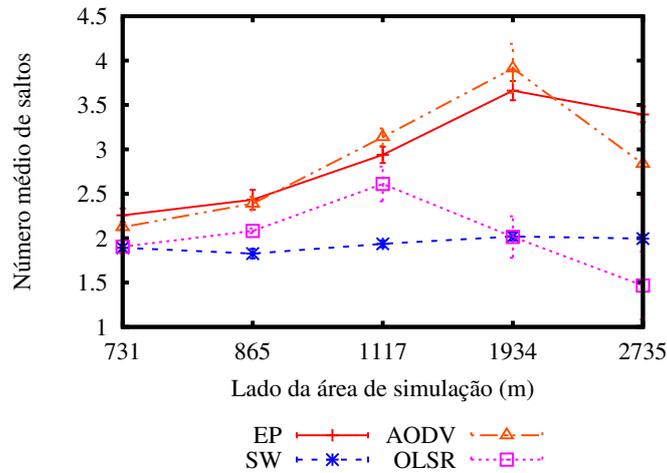


Figura 5.13. Número médio de saltos

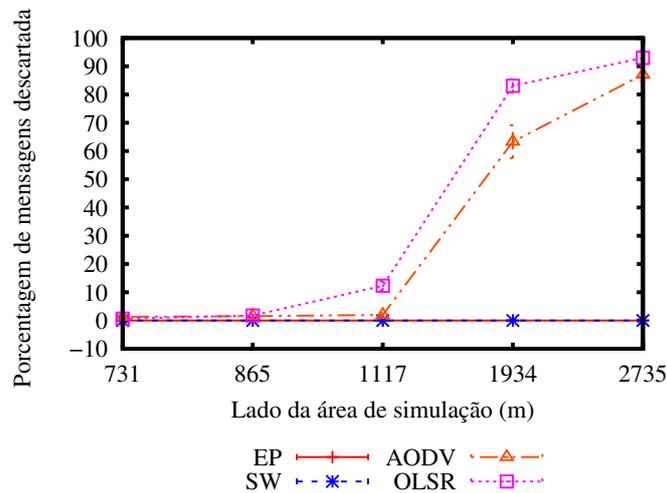


Figura 5.14. Porcentagem de mensagens descartadas

destino, os protocolos SW e EP apresentam o mesmo comportamento em relação a mensagens descartadas por falta de rota. Os protocolos AODV e OLSR apresentam comportamento semelhante. Ao aumentar a área de simulação os descartes por falta de rota se tornam mais frequentes. Este aumento ocorreu até que o tamanho do lado da área de simulação atingisse 2735 metros, onde mais de 90% das mensagens são descartadas por falta de rota no protocolo OLSR.

A Figura 5.15 mostra o atraso médio. Observe que o protocolo SW apresenta um aumento do atraso juntamente com o aumento do número de nós na rede. Este aumento é decorrente da característica de limitação no número de saltos existente neste protocolo. O protocolo AODV apresenta um comportamento decrescente no atraso até que o número de nós atingiu 40. Este comportamento ocorreu, pois com o aumento

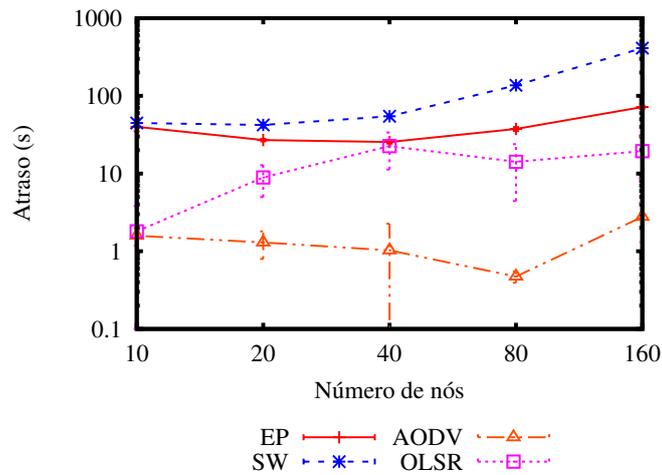


Figura 5.15. Atraso médio

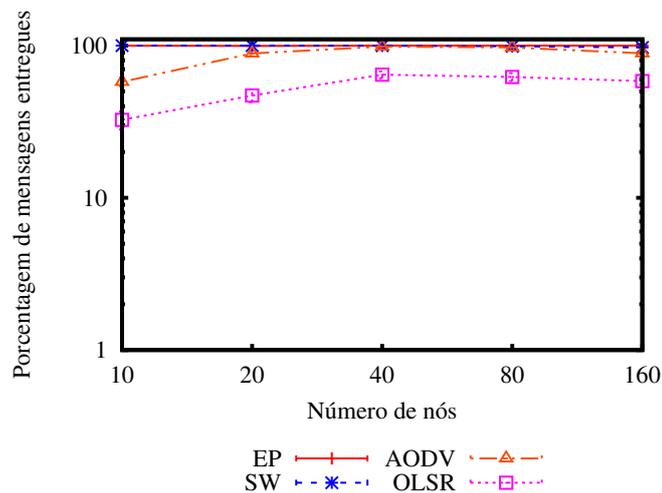


Figura 5.16. Porcentagem de mensagens entregues

do número de nós a existência de caminhos interligando origem e destino se torna mais frequente, permitindo o melhor desempenho. A latência das mensagens é afetada diretamente pelo crescente número de colisões, como apresentado na Figura 5.17, com o maior número de colisões maior é a latência.

O protocolo EP se mostra mais estável quanto à variação no número de nós, pois o comportamento de espalhar o maior número de mensagens possível permite encontrar o caminho mais rápido que interliga origem e destino. O protocolo EP não apresenta melhor desempenho que os protocolos AODV e OLSR, pois em sua implementação o processo de contato acrescenta um grande atraso.

Observe na Figura 5.16 a porcentagem de mensagens entregues em relação à variação no número de nós na rede. Os protocolos EP e SW se mostram tolerantes ao

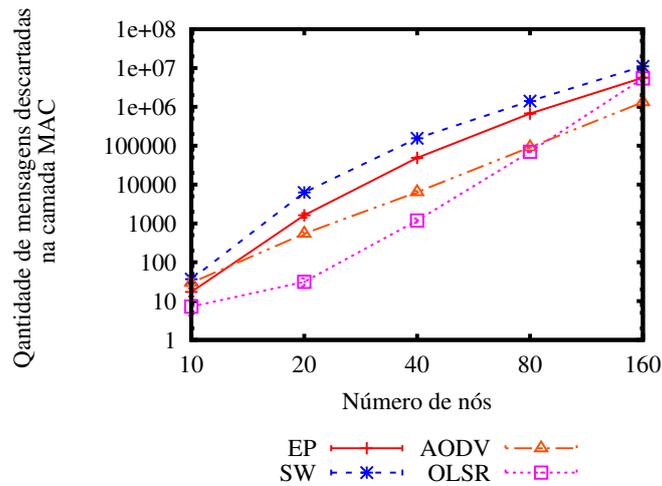


Figura 5.17. Número de mensagens descartadas por colisão na camada MAC

aumento do número de nós, não apresentando queda significativa na entrega de mensagens. Já os protocolos AODV e OLSR se mostram sensíveis ao aumento do número de nós. Quando o número de nós é 10 os protocolos apresentam uma baixa entrega de mensagens devido à dificuldade de criar rotas interligando origem e destino. Com o acréscimo de nós a existência destes caminhos vai se tornando mais frequente, permitindo que a porcentagem de mensagens entregues também aumente. Quando o número de nós atinge 160, a rede está demasiadamente densa e as colisões são frequentes, fazendo com que a porcentagem de mensagens entregues reduza.

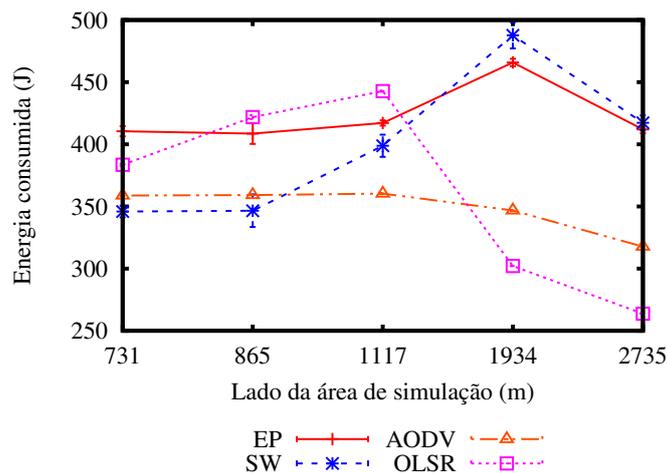


Figura 5.18. Consumo de energia variando o tamanho do lado da área de simulação

Na Figura 5.18 é apresentado o consumo médio de energia ao término da simulação em relação ao tamanho do lado da área de simulação. Os protocolos DTN

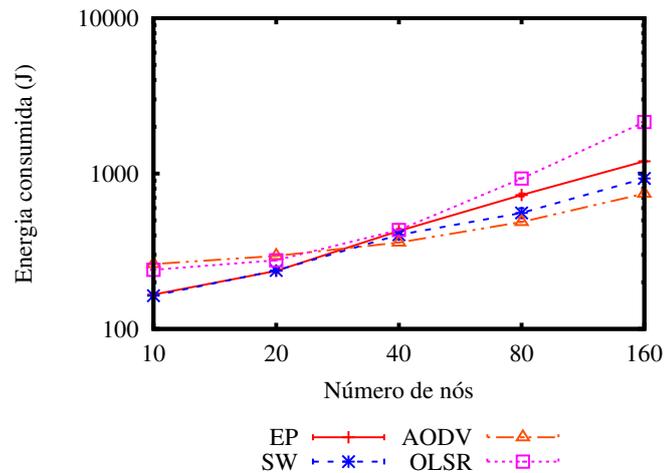


Figura 5.19. Consumo de energia variando o número de nós

apresentam um comportamento semelhante de acréscimo do consumo em relação ao aumento do lado da área de simulação. Isto ocorre pois, quando a área de simulação é menor, as mensagens são entregues com menor latência, como visto na Figura 5.15, o que reduz o número de anúncios necessários para entrega das mensagens. O comportamento crescente do consumo nos protocolos DTN ocorre até que o tamanho do lado de simulação atinja 1934 metros, deste ponto em diante o consumo é reduzido pois os contatos se tornam menos frequentes e portanto as respostas aos anúncios apresentam uma grande redução. O consumo do protocolo SW ultrapassa o consumo do protocolo EP neste mesmo ponto, pois por repassar menos mensagens o protocolo SW mantém as mensagens armazenadas por mais tempo, necessitando de mais anúncios e respostas equivalentes para que cada mensagem seja entregue.

Quando analisamos o consumo dos protocolos MANET, existe uma discrepância em cada um dos paradigmas (reativo e proativo). No roteamento reativo (AODV) o consumo apresenta uma baixa variação, cerca de 10%, que é devida ao menor número de nós que receberam a mensagem e portanto reduzindo o consumo médio. Já o protocolo proativo (OLSR) se mostra sensível à variação do tamanho da área de simulação, apresentando um consumo crescente de energia de acordo com o aumento do lado da área de simulação. Isto ocorre pois quanto maior a área, maior o esforço para manutenção de rotas, como pode ser visto na Figura 5.20, pois estas se tornam cada vez mais instáveis devido à movimentação dos nós. A brusca redução, cerca de 40%, é devida à inexistência de rotas e portanto a não transmissão das mensagens de dados pelos nós.

Na Figura 5.19 é apresentado o consumo médio de energia de acordo com a va-

riação do número de nós na rede. Os protocolos DTN (EP e SW) apresentam um consumo equivalente até que o número de nós na rede atinja 40, deste ponto em diante as frequentes transmissões das mensagens de dados realizadas pelo protocolo EP fazem com que seu consumo apresente um maior crescimento em relação ao SW. Já nos protocolos MANET a variação do protocolo proativo OLSR é a maior dentre os protocolos analisados, pois por se tratar de um protocolo proativo o esforço para criação e manutenção de rotas aumenta significativamente de acordo com o incremento de nós, como pode ser visto na Figura 5.20. Podemos observar que o consumo praticamente dobra, seguindo o aumento do número de nós.

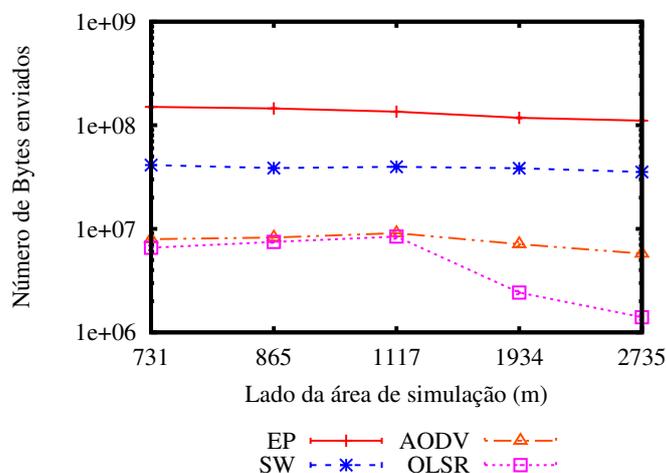


Figura 5.20. Número de Bytes enviados variando o tamanho do lado da área de simulação

A Figura 5.20 apresenta o número médio de bytes enviados. Como pode ser observado os protocolos EP e SW enviam uma quantidade maior de informação devido ao seu comportamento de replicação das mensagens. O protocolo AODV envia uma quantidade maior de informação que o protocolo OLSR, pois as mensagens de dados, que representam o maior número de bytes, são repassadas apenas quando uma rota é identificada no protocolo OLSR. O protocolo OLSR apresenta uma redução de bytes enviados, pois com a maior área a rede se torna mais esparsa reduzindo o número de rotas possíveis e consequentemente reduzindo o número de mensagens repassadas.

A Figura 5.21 apresenta o número médio de bytes enviados. Com o aumento do número de nós todos os protocolos apresentam um crescimento no número de bytes enviados, o que se destaca é o comportamento do protocolo OLSR que com um pequeno número de nós apresenta um menor consumo e com o aumento deste número chega a ultrapassar o protocolo AODV. Este comportamento acontece devido ao fato de que

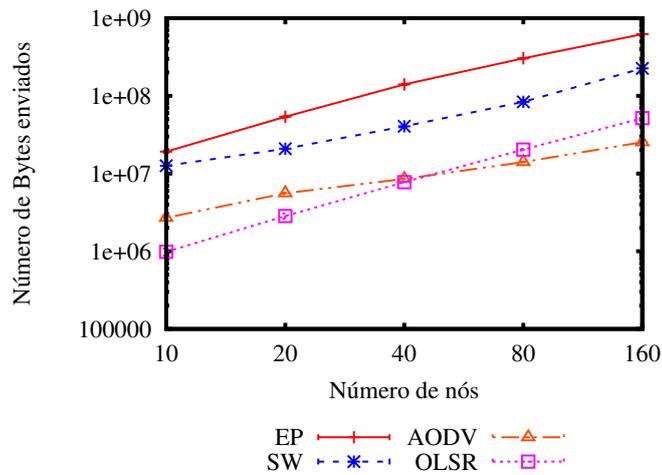


Figura 5.21. Número de Bytes enviados variando o número de nós

com a maior concentração de nós a tarefa de criação e manutenção de rotas se torna mais frequente justificando assim o aumento de bytes enviados.

5.9 Movimentação em uma aplicação de emergência

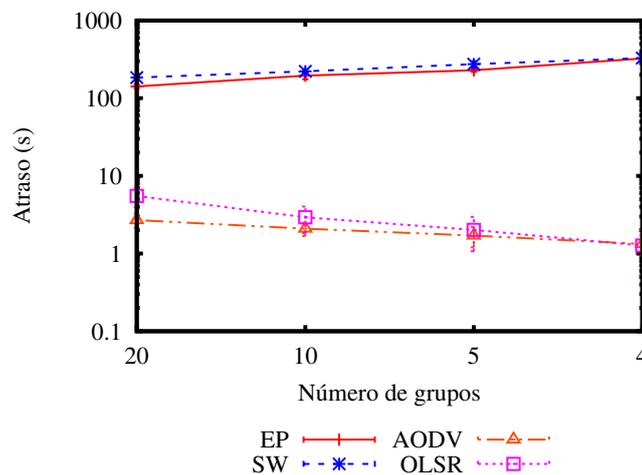


Figura 5.22. Atraso médio

Como pode ser observado na Figura 5.22 os protocolos MANET apresentam uma redução no atraso das mensagens quando o número de grupos é reduzido. Isto ocorre pois, com uma quantidade menor de grupos, o número de membros destes grupos aumenta, já que fixamos o total de nós na rede e portanto com grupos formados por

mais integrantes as mensagens direcionadas a membros dos grupos são mais frequentes, reduzindo assim o atraso. Já os protocolos DTN apresentam um aumento no atraso quando o número de grupos é reduzido. Este aumento ocorre pois, quanto menor o número de grupos, mais raros são os contatos entre os grupos, portanto as mensagens aguardam por mais tempo dentro de um mesmo grupo até que possam ser entregues para um nó pertencente a outro grupo.

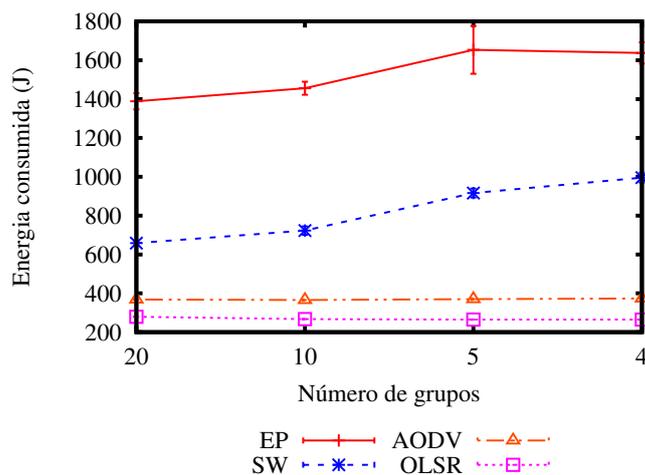


Figura 5.23. Consumo médio de energia

O consumo médio de energia por nós durante toda a simulação pode ser observado na Figura 5.23. O protocolo EP é o protocolo que apresenta o maior consumo dentre os protocolos analisados devido ao grande número de mensagens de dados replicadas na rede. O consumo é crescente pois as mensagens são repassadas a todos os membros do grupo. Portanto, quanto maior o número de membros, maior o número de mensagens trocadas. Já o protocolo SW, que busca limitar a quantidade de mensagens de dados trocadas, apresenta um consumo cerca de 2 vezes menor que o protocolo EP, mantendo uma alta entrega e um pequeno aumento no atraso. Isto ocorre pois o cenário estudado faz com que os grupos se movimentem para pontos de interesse comuns com uma grande frequência, permitindo que em um dado momento exista o contato entre o grupo que possui a mensagem e o nó destino, como visto na Figura 5.22. Quanto menor o número de grupos, maior o atraso das mensagens.

Os protocolos MANET AODV e OLSR não apresentam variação significativa do consumo em relação à variação do número de grupos, pois grande parte das mensagens são descartadas por falta de rota, e portanto apenas cerca de 30% das mensagens de dados são repassadas. Além disto, este repasse ocorre por poucos saltos, fazendo com que o consumo se torne praticamente estável.

Dentre os protocolos analisados o que apresentou o menor consumo foi o protocolo OLSR, pois a formação de grupos e a constante conexão destes faz com que os esforços para criação e manutenção de rotas sejam eficientes.

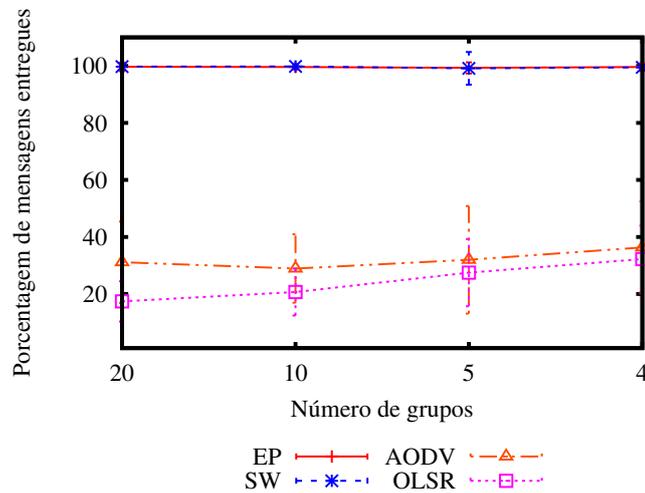


Figura 5.24. Taxa de mensagens entregues

A porcentagem de mensagens que alcançaram o destinatário com sucesso é apresentada na Figura 5.24. Os protocolos DTN SW e EP são capazes de entregar 100% das mensagens nos cenários avaliados devido à grande mobilidade dos nós. Já os protocolos MANET AODV e OLSR são capazes de entregar menos de 40% das mensagens devido a esta grande mobilidade. Com os resultados obtidos não é possível identificar com confiança de 95% qual dos protocolos MANET apresenta o melhor resultado.

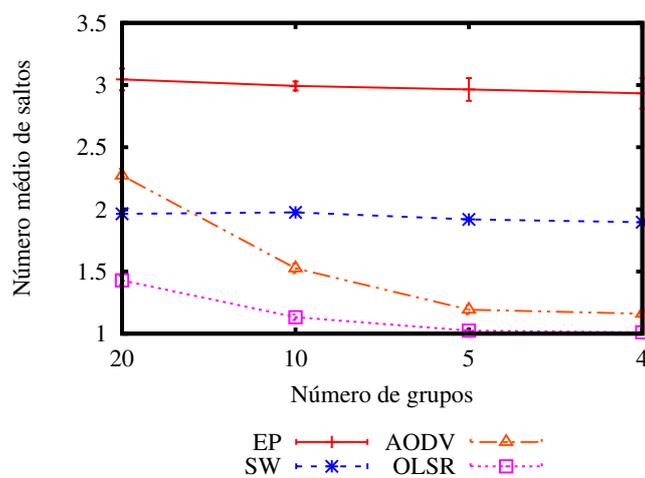


Figura 5.25. Número médio de saltos

Podemos observar na Figura 5.25 o número médio de saltos que uma mensagem

percorreu até ser entregue ao destinatário. Os protocolos DTN apresentam pequena variação no número de saltos devido à seguinte característica do modelo de mobilidade: Os nós de um grupo estão próximos o suficiente para comunicarem diretamente entre si, desta forma a mensagem é transmitida até os nós que formam a "borda" do grupo, e então aguardam até que o contato direto com o destino ocorra. A diferença entre os protocolos EP e SW ocorre pela limitação no número de mensagens de dados existentes. Os protocolos MANET AODV e OLSR apresentam o mesmo comportamento decrescente decorrente da maior concentração de nós quando o número de grupos é menor. A diferença existente entre o protocolo OLSR e o AODV é justificada pela característica proativa do protocolo OLSR, criando as rotas de forma mais eficiente dentro dos grupos.

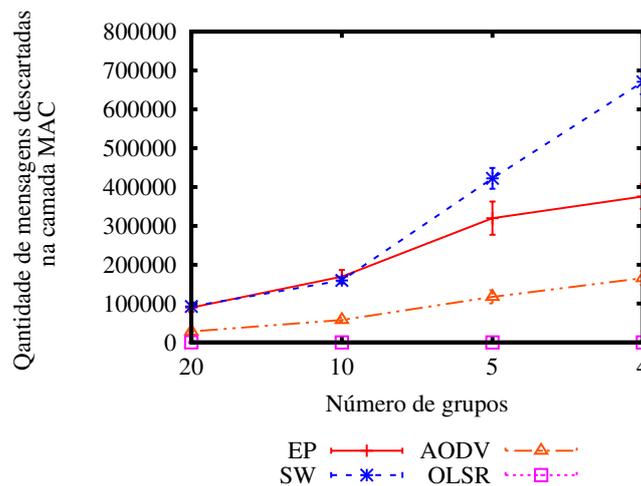


Figura 5.26. Número de mensagens descartadas decorrente de colisões

É possível observar na Figura 5.26 que os protocolos EP, SW e AODV apresentam um aumento no número de mensagens descartadas. Este aumento é decorrente da maior concentração de nós de acordo com a diminuição do número de grupos. O protocolo SW apresenta o maior crescimento pois, de acordo com a diminuição do número de grupos, as mensagens são armazenadas por mais tempo, exigindo que mais mensagens de anúncio sejam enviadas até que o destino seja encontrado. O protocolo OLSR não apresenta um número de mensagens descartadas significativo, pois suas políticas de redução de mensagens para criação e manutenção de rotas se mostram eficientes devido à estabilidade dos grupos criados, exigindo poucas reconstruções das rotas.

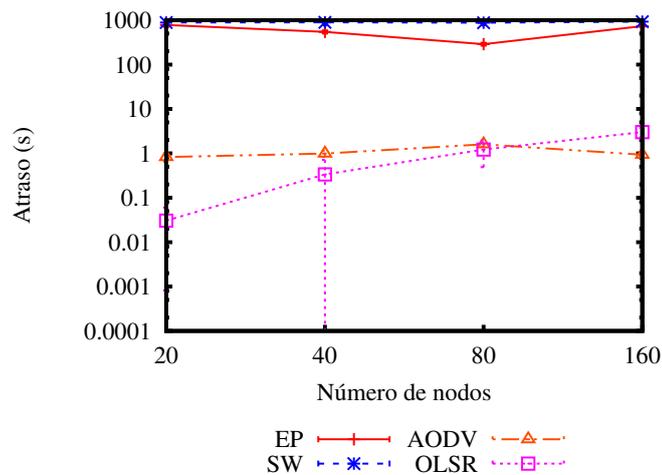


Figura 5.27. Atraso médio

5.10 Movimentação aleatória em vias urbanas

Na Figura 5.27 podemos observar o atraso médio na entrega das mensagens. Os protocolos DTN apresentam atrasos mais longos devido à característica de armazenar as mensagens de dados até que estas possam ser entregues. O protocolo EP apresenta uma variação no atraso devido ao aumento no número de nós. Quando o número de nós é 80, os contatos são frequentes o suficiente para que as mensagens sejam entregues com uma menor latência, já quando o número de nós chega a 160 a rede está com um grande número de nós, e o número de colisões aumenta drasticamente como apresentando na Figura 5.28. No caso dos protocolos MANET, ambos os protocolos apresentam baixa latência. O protocolo OLSR apresenta uma variação decorrente do aumento no número de colisões. O protocolo AODV se mostra estável à variação do número de nós por dois fatores. Quando o número de nós é baixo, a entrega de mensagens também é baixa, e as mensagens são entregues apenas a nós próximos. Já quando o número de nós é alto, as mensagens percorrem um maior número de nós até atingir o destino, porém por estarem se movimentando em ruas com velocidades controladas, os nós formam caminhos pelos quais as mensagens podem trafegar.

A Figura 5.29 apresenta o consumo médio de energia. O consumo de energia é crescente em todos os protocolos em relação ao aumento do número de nós, como esperado. O protocolo OLSR entretanto se mantém com o menor consumo até que o número de nós chega a 80, em seguida apresenta um crescimento de cerca de 4 vezes no consumo quando o número de nós passa a ser 160. Este grande aumento é decorrente do grande número de colisões decorrentes das mensagens de criação e manutenção de rotas que são enviadas pelo protocolo, como pode ser visto na Figura 5.28.

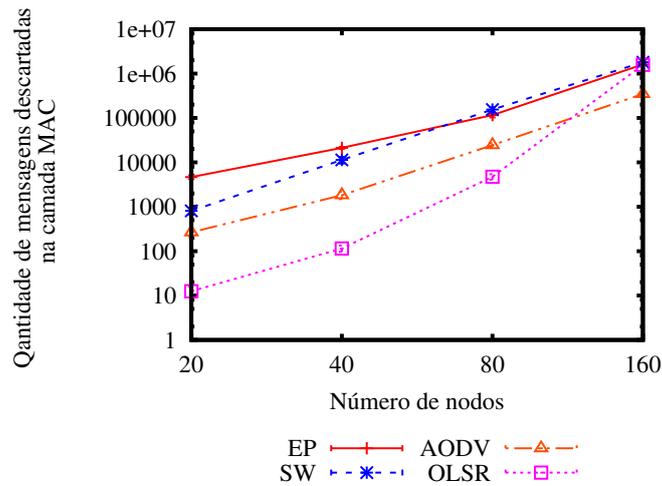


Figura 5.28. Número de mensagens descartadas na camada MAC

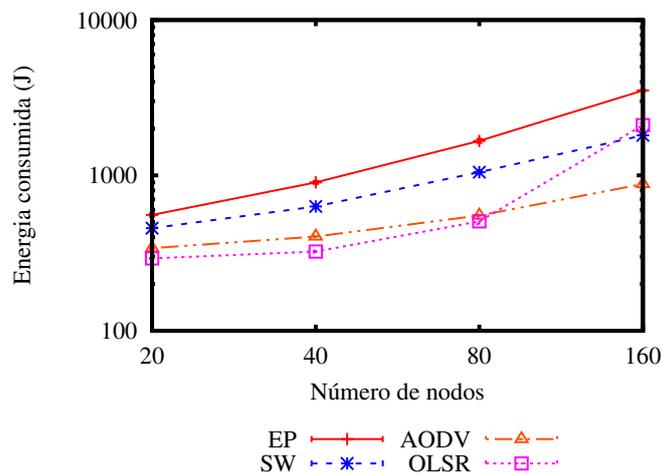


Figura 5.29. Consumo médio de energia

A Figura 5.30 apresenta o número médio de bytes enviados. Os protocolos AODV e OLSR mantêm um comportamento crescente como esperado. O grande aumento do protocolo OLSR se justifica já que com a maior concentração de nós a tarefa de manutenção e criação de rotas se torna mais frequente. Os protocolos EP e SW apresentam um comportamento crescente. A menor taxa de crescimento do protocolo SW se justifica devido a sua limitação no repasse das mensagens de dados definidas em seu funcionamento.

A Figura 5.31 apresenta a taxa de entrega das mensagens de dados. Podemos observar o comportamento do protocolo SW, que apresenta uma redução na taxa de entrega de mensagens quando o número de nós é aumentado. Isto ocorre pois, com um maior número de carros trafegando nas ruas, as mensagens são repassadas a nós que na

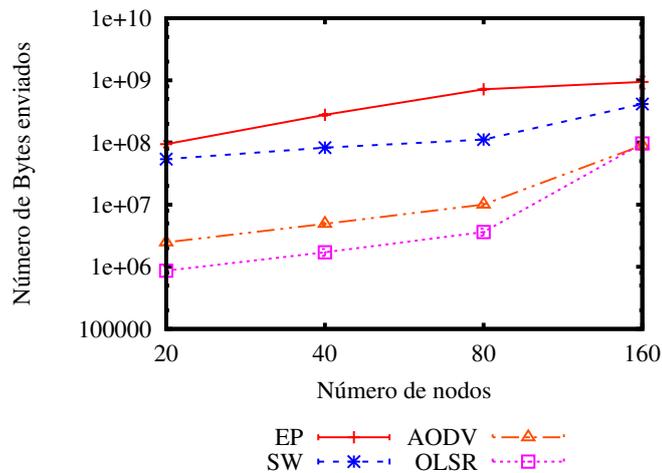


Figura 5.30. Número de bytes enviados

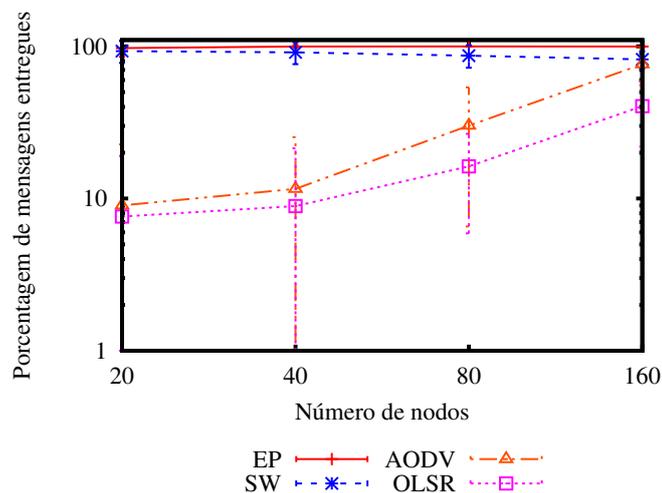


Figura 5.31. Taxa de mensagens entregues

grande maioria das vezes estão se locomovendo na mesma direção que o nó que originou a mensagem. Portanto, as chances de que um nó que carregue a mensagem encontre o destino ao término da fase de espalhamento das mensagens não é significativamente aumentada, fazendo com que a taxa de entrega seja reduzida. Já o protocolo EP se mostra estável quanto ao aumento do número de nós, pois as mensagens são espalhadas, ao contrário do SW, sem nenhuma restrição.

Os protocolos MANET se beneficiam do aumento do número de nós quando analisamos a taxa de entrega das mensagens. O protocolo AODV apresenta o maior crescimento, saltando de cerca de 10% das mensagens entregues para cerca de 80%. Este grande aumento é decorrente da maior densidade dos nós e a característica do cenário, que permite a criação de longas rotas. No caso do protocolo OLSR os ganhos

são menores, saltando de cerca de 10% para cerca de 40%. A menor variação é decorrente principalmente do grande aumento nas colisões decorrentes do elevado número de mensagens enviadas para criação e manutenção das rotas.

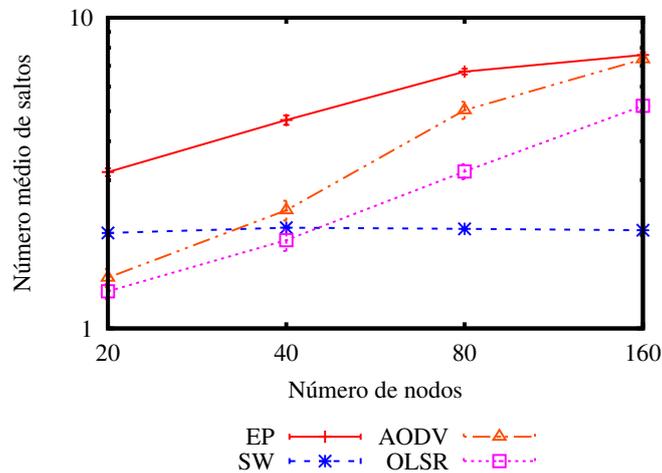


Figura 5.32. Número médio de saltos

A Figura 5.32 apresenta o número médio de saltos que uma mensagem percorreu até ser entregue ao destinatário. Podemos observar que os protocolos EP, AODV e OLSR apresentam um crescimento próximo ao linear no número de saltos. Este comportamento ocorre pois ao incrementar o número de nós, caminhos podem ser criados devido o alinhamento destes. O protocolo EP apresenta o maior número de saltos, pois não existe a limitação no tempo para que a mensagem seja entregue como nos protocolos AODV e OLSR, que apresentam a limitação de tempo para criação de um caminho que interligue origem e destino. O protocolo SW apresenta o número de saltos constante por limitar o número de mensagens repassadas.

5.11 Discussão dos resultados

Confirmamos o que foi apresentando em [Whitbeck & Conan, 2010]. O desempenho dos protocolos MANET e DTN pode ser de certa forma previsto a partir da análise de dois parâmetros, densidade e mobilidade dos nós. Podemos observar na Figura 5.33, que mapeia os tipos de roteamento em um gráfico bidimensional os diferentes tipos de roteamento, os protocolos MANET estão a esquerda e acima dos protocolos DTN. Quando a densidade de nós diminui, os caminhos fim a fim tendem a desaparecer. Em redes esparsas os nós possuem poucos ou quase nenhum vizinho. Desta maneira a

topologia da rede eventualmente é dividida em vários subconjuntos sem conexão entre si. Este é tipicamente o cenário das redes DTN.

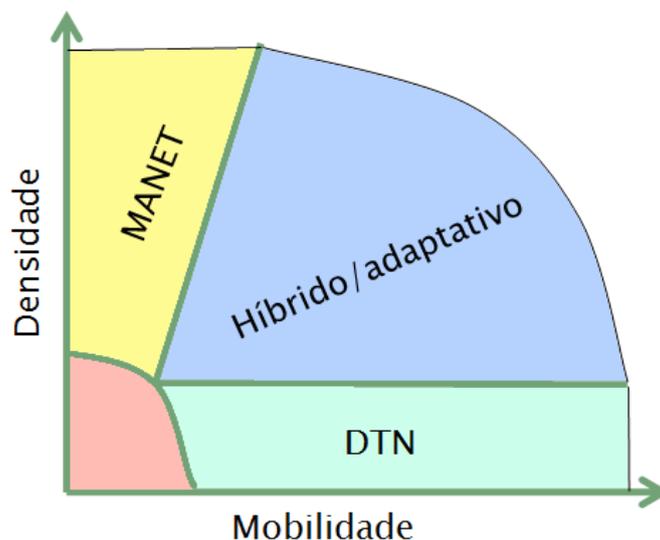


Figura 5.33. Mobilidade vs Densidade: quando diferentes paradigmas são utilizados

Identificamos que, ao variar os modelos de mobilidade, as estratégias que obtiveram melhores resultados também são alteradas. Quando analisamos a variação da mobilidade e densidade dos nós, como por exemplo uma rede formada por dispositivos carregados por pessoas que hora se locomovem a pé e hora utilizam um transporte público exige que diferentes abordagens de roteamento sejam utilizadas.

Ao escolher quais destas abordagens devem ser reunidas para atender esta situação devemos analisar abordagens DTN que limitam o número de mensagens repassadas nas situações de grande velocidade, pois podemos perceber que nestas situações basta repassar poucas mensagens e o grande número de contatos permitirá que a mensagem alcance o destino com uma baixa latência. Já a abordagem MANET a ser utilizada nestas situações deve ser o mais tolerante possível às variações de velocidade, como as abordagens reativas. Esta escolha é justificada pela baixa tolerância dos protocolos proativos a mobilidade dos nós. Em cenários onde existe a grande variação da velocidade de locomoção dos nós, uma proposta que integre as abordagens DTN com limitação de repasse de mensagens para as situações de grande mobilidade e abordagens reativas para as situações de baixa mobilidade se mostram adequadas.

Em cenários de emergência como o apresentado, onde os nós se locomovem em grupos previamente definidos as soluções de roteamento devem ser capazes de identificar quando uma mensagem é direcionada a um membro do grupo ou não. Podemos

perceber que quando as mensagens foram direcionadas a membros dos grupos a abordagem MANET proativa apresentou um baixo consumo de energia assim como uma entrega equivalente a abordagem MANET reativa. Já as abordagens DTN apresentam uma grande diferença em relação ao consumo de energia. Os protocolos DTN que limitam o número de cópias apresentam a melhor relação de consumo e entrega.

Nos cenários de redes veiculares, os nós se locomovem em ruas com destinos aleatórios. As soluções de roteamento devem ser capazes de identificar quando a concentração de nós é maior, como em um engarrafamento, para então utilizar soluções MANET. As soluções MANET devem ser reativas, já que estas apresentaram o melhor desempenho. Já no caso dos protocolos DTN as soluções que não apresentam limitação no número de cópias apresentam o melhor desempenho principalmente pela característica do alinhamento dos nós durante a locomoção nas ruas, que fazem com que as soluções que limitam o repasse também limitem o número de mensagens entregues.

5.12 Conclusão

Os resultados deste trabalho, além de aferirem as soluções já existentes de roteamento MANET e DTN, dão uma direção de como o projeto de novos protocolos desenvolvidos especificamente para situações onde a utilização de apenas uma abordagem não seja satisfatório, como nos cenários apresentados. Os resultados indicam que a escolha de apenas uma combinação de características pode não ser satisfatório para todos os cenários, pois cada uma das abordagens, DTNs e MANETs apresentam melhores resultados em diferentes cenários.

Capítulo 6

Conclusão

Esta dissertação apresentou uma análise do desempenho de protocolos de roteamento ad hoc e DTN em cenários de emergência. Realizamos um estudo do desempenho avaliando não apenas métricas de entrega e atraso, mas também consumo de energia e descarte de mensagens, diferentemente dos estudos encontrados na literatura. Este estudo aprofundado permitiu uma análise mais completa de desempenho dos protocolos avaliados. Empregamos o simulador NS-2, que possui um alto grau de realismo, modelando as camadas mais baixas da comunicação.

Avaliamos o desempenho dos protocolos MANET (AODV e OLSR) e DTN (Epidêmico e Spray And Wait) em cenários de movimentação aleatória com e sem restrições na movimentação e em uma aplicação de redes de emergência. Notamos que o desempenho de cada protocolo dependeu do cenário em que este foi analisado. Em outras palavras, nenhum protocolo apresentou desempenho superior aos outros em todos os cenários. Confirmamos que de modo geral os protocolos DTN entregam significativamente mais mensagens quando a densidade de nós é baixa e a mobilidade é alta. Por outro lado, observamos que, quando a densidade é alta e a mobilidade é baixa, os protocolos DTN apresentam alto consumo de energia e longos atrasos.

6.1 Trabalhos Futuros

Em função do tema abordado neste trabalho, são várias as oportunidades de trabalhos futuros.

A primeira delas é a melhoria do trabalho em questão. Poderiam ser analisados outros protocolos, tanto MANET quanto DTN, que utilizem outras estratégias do roteamento. Alguns exemplos são o roteamento por zona e roteamento hierárquico no caso dos protocolos MANET, e protocolos probabilísticos no caso dos protocolos DTN.

Além disso, outros modelos de mobilidade poderiam ser analisados, como movimentação de pessoas e outras aplicações de emergência. Outro ponto a ser analisado são os modelos de tráfego utilizados. Poderíamos variar estes modelos, simulando diversas aplicações como, por exemplo, a realização de requisições a um servidor central.

Outra possibilidade que fica clara após esse trabalho é avaliar o processo de contato em redes DTN criadas onde os contatos são oportunistas. Identificamos que o processo de contato é um dos principais motivos dos longos atrasos nos protocolos DTN analisados. Seria necessário especificar e avaliar melhores algoritmos para os contatos. Alguns parâmetros a serem investigados seriam os intervalos entre os anúncios de mensagem, a necessidade de se manter um histórico dos últimos contatos para uma futura análise.

Finalmente, propor um ou mais protocolos híbridos/adaptativos, que incorporem os resultados obtidos neste estudo, de modo a melhorar o desempenho do roteamento em redes de emergência e demais redes com a característica de agrupamento de nodos como por exemplo, redes formadas por pessoas em um transporte público, pessoas se locomovendo em um parque ou até redes veiculares.

Referências Bibliográficas

- [Abolhasan et al., 2004] Abolhasan, M.; Wysocki, T. & Dutkiewicz, E. (2004). A review of routing protocols for mobile ad hoc networks. volume 2, pp. 1--22. Elsevier.
- [Arisoylu et al., 2005] Arisoylu, M.; Mishra, R.; Rao, R. & Lenert, L. (2005). 802.11 wireless infrastructure to enhance medical response to disasters. In *AMIA Annual Symposium Proceedings*, volume 2005, p. 1. American Medical Informatics Association.
- [Belanger & Diepstraten, 1996] Belanger, P. & Diepstraten, W. (1996). Mac entity: Mac basic access mechanism privacy and access control. *Tutorial of draft Standard IEEE*, 802.
- [Boudec & Vojnovic, 2006] Boudec, J.-Y. L. & Vojnovic, M. (2006). The random trip model: stability, stationary regime, and perfect simulation. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, 16(6):1153–1166.
- [Buttyán et al., 2010] Buttyán, L.; Dóra, L.; Félegyházi, M. & Vajda, I. (2010). Barter trade improves message delivery in opportunistic networks. *Ad Hoc Networks*, 8(1):1-14.
- [Careem et al., 2007] Careem, M.; De Silva, C.; De Silva, R.; Raschid, L. & Weerawarana, S. (2007). Demonstration of Sahana: free and open source disaster management. In *Proceedings of the 8th annual international conference on Digital government research: bridging disciplines & domains*, pp. 266--267. Digital Government Society of North America.
- [Cerf et al., 2007] Cerf, V.; Burleigh, S.; Hooke, A.; Torgerson, L.; Durst, R.; Scott, K.; Fall, K. & Weiss, H. (2007). Delay-tolerant networking architecture. *RFC 4838 (Informational)*.
- [Chakeres & Perkins, 2010] Chakeres, I. & Perkins, C. (2010). Dynamic MANET on-demand (DYMO) routing. *draft-ietf-manet-dymo-19.txt (work in progress)*.

- [Chen & Murphy, 2001] Chen, X. & Murphy, A. (2001). Enabling disconnected transitive communication in mobile ad hoc networks. In *Workshop on Principles of Mobile Computing*, pp. 21--23. Citeseer.
- [Cisco, 2005] Cisco (2005). Cisco aironet 350 series client adapters. http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps6442/ps4555/ps448/product_data_sheet09186a0080088828.html.
- [Clausen & Jacquet, 2003] Clausen, T. & Jacquet, P. (2003). RFC3626: Optimized Link State Routing Protocol (OLSR). *RFC Editor United States*.
- [Clausen et al., 2003] Clausen, T.; Jacquet, P.; Adjih, C.; Laouiti, A.; Minet, P.; Muhlethaler, P.; Qayyum, A. & Viennot, L. (2003). Optimized link state routing protocol (OLSR). p. 75p. IETF draft.
- [Corson & Macker, 1999] Corson, S. & Macker, J. (1999). RFC2501: Mobile ad hoc networking (MANET): Routing protocol performance issues and evaluation considerations. *Internet RFCs*.
- [Dube et al., 2002] Dube, R.; Rais, C.; Wang, K. & Tripathi, S. (2002). Signal stability-based adaptive routing (SSA) for ad hoc mobile networks. *Personal Communications, IEEE*, 4(1):36--45.
- [Ennis, 1996] Ennis, G. (1996). 802.11 architecture. *Tutorial of draft Standard IEEE*, 802.
- [Fall, 2003] Fall, K. (2003). A delay-tolerant network architecture for challenged internets. In *Proceedings of the 2003 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, pp. 27--34. ACM.
- [Fall & Farrell, 2008] Fall, K. & Farrell, S. (2008). DTN: an architectural retrospective. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, 26(5):828--836.
- [Ghosh et al., 2006] Ghosh, J.; Ngo, H. & Qiao, C. (2006). Mobility profile based routing within intermittently connected mobile ad hoc networks (ICMAN). In *Proceedings of the 2006 international conference on Wireless communications and mobile computing*, pp. 551--556. ACM.
- [Handorean et al., 2004] Handorean, R.; Gill, C. & Roman, G. (2004). Accommodating transient connectivity in ad hoc and mobile settings. *Pervasive Computing: Sec. International Conference*, pp. 305--322.

- [Hasson et al., 2003] Hasson, A.; Fletcher, R. & Pentland, A. (2003). DakNet: A road to universal broadband connectivity. In *Wireless Internet UN ICT Conference Case Study*.
- [Hui et al., 2005] Hui, P.; Chaintreau, A.; Scott, J.; Gass, R.; Crowcroft, J. & Diot, C. (2005). Pocket switched networks and human mobility in conference environments. In *Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking*, pp. 244--251. ACM.
- [Hui et al., 2008] Hui, P.; Crowcroft, J. & Yoneki, E. (2008). Bubble rap: social-based forwarding in delay tolerant networks. In *Proceedings of the 9th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing*, pp. 241--250. ACM.
- [Jacquet et al., 2002] Jacquet, P.; Laouiti, A.; Minet, P. & Viennot, L. (2002). Performance of multipoint relaying in ad hoc mobile routing protocols. pp. 387--398.
- [Jacquet, 2001] Jacquet, P. e. a. (2001). Optimized link state routing protocol for ad hoc networks(OLSR). pp. 62--68. IEEE INMIC.
- [Jain et al., 2004] Jain, S.; Fall, K. & Patra, R. (2004). Routing in a delay tolerant network. In *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, pp. 145--158.
- [Jiang et al., 1998] Jiang, M.; Li, J. & Tay, Y. (1998). Cluster based routing protocol (CBRP) functional specification. *IETF Draft: draft-ietf-manet-cbrpspec-00. txt*.
- [Johnson et al., 2002] Johnson, D.; Maltz, D.; Hu, Y. & Jetcheva, J. (2002). The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks (DSR).
- [Juang et al., 2002] Juang, P.; Oki, H.; Wang, Y.; Martonosi, M.; Peh, L. & Rubenstein, D. (2002). Energy-efficient computing for wildlife tracking: Design tradeoffs and early experiences with zebranet. *ACM SIGOPS operating systems review*, 36(5):96-107.
- [Kanchanasut et al., 2007] Kanchanasut, K.; Tunpan, A.; Awal, M.; Wongsardsakul, T.; Das, D. & Tsuchimoto, Y. (2007). Building A Long-distance Multimedia Wireless Mesh Network for Collaborative Disaster Emergency Responses. *Internet Education and Research Laboratory, Asian Institute of Technology, Thailand*.
- [Ko & Vaidya, 2000] Ko, Y. & Vaidya, N. (2000). Location-aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks. *Wireless Networks*, 6(4):321.

- [Lakkakorpi et al., 2010] Lakkakorpi, J.; Pitkänen, M. & Ott, J. (2010). Adaptive routing in mobile opportunistic networks. In *International Conference on Modeling Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems, October*, pp. 17--21. ACM.
- [Lindgren & Doria, 2007] Lindgren, A. & Doria, A. (2007). Experiences from deploying a real-life dtn system. In *Consumer Communications and Networking Conference, 2007. CCNC 2007. 4th IEEE*, pp. 217--221. IEEE.
- [Lindgren et al., 2003] Lindgren, A.; Doria, A. & Schelén, O. (2003). Probabilistic routing in intermittently connected networks. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, pp. 19--20.
- [Manoj & Baker, 2007] Manoj, B. & Baker, A. (2007). Communication challenges in emergency response. *Communications of the ACM*, 50(3):51--53.
- [Marina & Das, 2002] Marina, M. & Das, S. (2002). Ad hoc on-demand multipath distance vector routing. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 6(3):92--93.
- [Mota et al., 2009] Mota, V.; Silva, T. & Nogueira, J. M. S. (2009). Introduzindo tolerancia a interrupções em redes ad hoc móveis para cenários de emergência. In *27o Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*.
- [Mtibaa et al., 2010] Mtibaa, A.; May, M.; Diot, C. & Ammar, M. (2010). Peoplerank: social opportunistic forwarding. In *INFOCOM, 2010 Proceedings IEEE*, pp. 1--5. IEEE.
- [Oliveira et al.,] Oliveira, L.; Siqueira, I.; Macedo, D.; Loureiro, A.; Wong, H. & Nogueira, J. Evaluation of peer-to-peer network content discovery techniques over mobile ad hoc networks. In *World of Wireless Mobile and Multimedia Networks, 2005. WoWMoM 2005. Sixth IEEE International Symposium*, pp. 51--56. IEEE.
- [Ott et al., 2006] Ott, J.; Kutscher, D. & Dwertmann, C. (2006). Integrating dtn and manet routing. In *In SIGCOMM workshop on Challenged networks*, pp. 221--228.
- [Park & Corson, 1997] Park, V. & Corson, M. (1997). Temporally-ordered routing algorithm (TORA) version 1 functional specification. Technical report, Internet-Draft, draft-ietf-manet-tora-spec-00. txt.
- [Perkins et al., 2003a] Perkins, C.; Belding-Royer, E. & Das, S. (2003a). Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV). *Request For Comments (RFC)*, 3561.

- [Perkins et al., 2003b] Perkins, C.; Belding-Royer, E. & Das, S. (2003b). Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV). volume 3561.
- [Perkins & Bhagwat, 1994] Perkins, C. & Bhagwat, P. (1994). Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 24(4):234--244.
- [Perkins et al., 2001] Perkins, C.; Royer, E.; Das, S. & Marina, M. (2001). Performance comparison of two on-demand routing protocols for ad hoc networks. volume 8, pp. 16--28.
- [Project, 2005] Project, S. (2005). Sensor networking with delay tolerance. <http://down.dsg.cs.tcd.ie/sendt>.
- [Ramanathan et al., 2007] Ramanathan, R.; Hansen, R.; Basu, P.; Rosales-Hain, R. & Krishnan, R. (2007). Prioritized epidemic routing for opportunistic networks. In *Proceedings of the 1st international MobiSys workshop on Mobile opportunistic networking*, pp. 62--66. ACM.
- [Schmitt et al., 2007] Schmitt, T.; Rao, R. & Eisenberg, J. (2007). Improving Disaster Management: The Role of IT in Mitigation, Preparedness, Response, and Recovery.
- [Shah et al., 2003] Shah, R.; Roy, S.; Jain, S. & Brunette, W. (2003). Data mules: Modeling and analysis of a three-tier architecture for sparse sensor networks. *Ad Hoc Networks*, 1(2-3):215--233.
- [Spyropoulos et al., 2005a] Spyropoulos, T.; Psounis, K. & Raghavendra, C. (2005a). Single-copy routing in intermittently connected mobile networks. In *Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, 2004. IEEE SECON 2004. 2004 First Annual IEEE Communications Society Conference on*, pp. 235--244.
- [Spyropoulos et al., 2005b] Spyropoulos, T.; Psounis, K. & Raghavendra, C. (2005b). Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. In *In WDTN '05: Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking*, pp. 252--259.
- [Vahdat & Becker, 2000] Vahdat, A. & Becker, D. (2000). Epidemic routing for partially connected ad hoc networks. Technical Report CS-2000-06, Technical report, Duke University.
- [Villela B. A. M, 2003] Villela B. A. M, D. O. C. M. B. (2003). Uma análise de protocolos de roteamento sob demanda de redes ad hoc.

- [Warthman, 2003] Warthman, F. (2003). Delay-tolerant networks (DTNs): A tutorial.
- [Whitbeck & Conan, 2010] Whitbeck, J. & Conan, V. (2010). HYMAD: Hybrid DTN-MANET routing for dense and highly dynamic wireless networks. *Computer Communications*, 33(13):1483--1492.
- [Wu et al.,] Wu, X.; Xu, H. & Sadjadpour, H. Proactive or Reactive Routing: A Unified Analytical Framework in MANETs. In *Computer Communications and Networks, 2008. ICCCN'08. Proceedings of 17th International Conference on*, pp. 1--7. IEEE.
- [Xue & Kumar, 2004] Xue, F. & Kumar, P. (2004). The number of neighbors needed for connectivity of wireless networks. *Wireless Networks*, 10(2):169--181.
- [Zhao & Ammar, 2003] Zhao, W. & Ammar, M. (2003). Message Ferrying: Proactive Routing in Highly-Partitioned Wireless Ad Hoc Networks. In *Proceedings of the The Ninth IEEE Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems*, p. 308. IEEE Computer Society.
- [Zhao et al., 2004] Zhao, W.; Ammar, M. & 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*, pp. 187--198. ACM.
- [Zhao et al., 2005] Zhao, W.; Ammar, M. & Zegura, E. (2005). Controlling the mobility of multiple data transport ferries in a delay-tolerant network. In *INFOCOM 2005. 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings IEEE*, volume 2, pp. 1407--1418. IEEE.