



REDES AD HOC CENTRADAS EM INTERESSES PARA AMBIENTES MÓVEIS

Renato de Castro Dutra

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação.

Orientador: Claudio Luis de Amorim

Rio de Janeiro
Março de 2012

REDES AD HOC CENTRADAS EM INTERESSES PARA AMBIENTES
MÓVEIS

Renato de Castro Dutra

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO.

Examinada por:

Prof. Claudio Luis de Amorim, Ph.D.

Prof. Felipe Maia Galvão França, Ph.D.

Prof. Luis Felipe Magalhães de Moraes, Ph.D.

Prof. José Ferreira de Rezende, D.Inf.

Prof. Claudio Fernando Resin Geyer, D.Inf.

Profa. Nadia Nedjah, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MARÇO DE 2012

Dutra, Renato de Castro

Redes Ad hoc Centradas em Interesses para Ambientes Móveis/Renato de Castro Dutra. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.

XIX, 116 p.: il.; 29,7cm.

Orientador: Claudio Luis de Amorim

Tese (doutorado) – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, 2012.

Referências Bibliográficas: p. 98 – 113.

1. Sistemas orientados a Interesse.
 2. Sistemas Distribuídos, Computação Pervasiva, Ubíqua, Oportunística.
 3. Redes Sociais, Orientadas a Conteúdo.
 4. Sistemas Anônimos.
- I. Amorim, Claudio Luis de. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Sistemas e Computação. III. Título.



“...(Giordano) Bruno dominava a arte da memória, que tinha ensinado em vários países europeus...A mnemotécnica...permitia a quem a dominasse a possibilidade de compor longos trechos na cabeça e depois reproduzi-los oralmente...”

Rui Tavares (tradutor) in “Tratado da Magia” (Giordano Bruno)(1591)(ed. 2008) citando Francis A. Yates “The Art of Memory” (1966)

“...No passado, a memória era importante porque o cérebro era o único meio de se reter informações. Hoje, ela não é mais importante, pois temos o pen drive...”

Sugata Mitra in Campus Party´2012

*Aos meus pais que permitiram
meu desenvolvimento,
à minha esposa e filhoS pelo
tempo ausente...*

Agradecimentos

- Ao Prof. Claudio Luis de Amorim pela orientação e debates intensos, sempre com calma e sabedoria, pela paciência com o inesperado e discussões filosóficas sobre cidadania;

- Aos meus familiares Márcia, Ines e Vitor pelas leituras e apoio incondicional;

- Aos atuais colegas de laboratório Diego, Lauro e Nelson pelos incentivos, artigos e discussões sempre instigantes e pelas discussões sobre qualquer assunto para relaxar. - Ao Heberte com seu conhecimento teórico e prático de programação. - Aos colegas antigos, Leonardo, Monnerat, Rodrigo, Coser, Maltar, Rafael, Kostin e outros, que irão me perdoar pela falta de memória decorrente da idade;

- Aos colegas Lanza, Fico, Mario Vaz e Rhomberg que desde cedo me incentivaram a seguir este caminho;

- Aos colegas do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), Vagner, Cátia e Elias, companheiros de doutorado. - Aos chefes mediato e imediato do INPI, Roberto Ferreira Santos e Telma Alcantara Silva, que me ajudaram sempre que possível.

- Ao INPI que autorizou minha licença de capacitação por meio período durante um ano e nos três meses finais durante o período de seis anos de desenvolvimento da tese.

- Ao Decreto nº 5.707 de 23 de fevereiro de 2006, que institui a Política e as Diretrizes para o Desenvolvimento de Pessoal da administração pública federal direta, autárquica e fundacional, e regulamenta dispositivos da Lei no 8.112, de 11 de dezembro de 1990, cujo o inciso II do Art.1 estabelece o Desenvolvimento Permanente do Servidor Público e no inciso do Art.3, INCENTIVAR e APOIAR o servidor em suas iniciativas de capacitação.

- À secretaria do programa de engenharia de sistemas e computação, Cláudia, Solange, Sonia e Gutierrez que sempre me ajudaram a atravessar o mar burocrático entre a pesquisa e a realidade;

- Ao Conselho Nacional de Pesquisa - CNPq, à Coordenação de Apoio à Pesquisa - CAPES e à Financiadora de Projetos - FINEP pelo apoio ao Laboratório de Computação Paralela - LCP.

Este texto foi escrito utilizando TeXnicCenter [1] e MiKTeX [2]

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

REDES AD HOC CENTRADAS EM INTERESSES PARA AMBIENTES MÓVEIS

Renato de Castro Dutra

Março/2012

Orientador: Claudio Luis de Amorim

Programa: Engenharia de Sistemas e Computação

Esta tese apresenta a Rede Ad hoc centrada em interesses - RAdnet, uma original rede digital orientada a conteúdo na qual as mensagens são inteiramente formadas por termos escolhidos pelos usuários para definir interesses, e utilizados pelo protocolo para endereçamento, comunicação e formação de grupos. Para a avaliação, foram desenvolvidos: uma aplicação baseada na comunicação por interesse sobreposta a redes móveis ad hoc (Mobile Ad-hoc NETWORKS-MANETs), um protocolo de comunicação denominado REP e o prefixo ativo, uma estrutura de cabeçalho de mensagem cuja função é encaminhar e endereçar mensagens. Discute-se como este protocolo de comunicação, implementado na rede RAdnet, é capaz de explorar eficientemente as características de mobilidade e volatilidade das MANETs. Os resultados obtidos, utilizando o protocolo de comunicação, evidenciaram que a RAdnet proporcionou redução no custo de mensagens trocadas na rede, diminuindo a interferência e o consumo de energia, além da latência, quando comparados aos protocolos AODV e G3AODV. Mostraram, ainda, que as propriedades de redes orientadas a conteúdo aplicadas à RAdnet são fundamentais para realizar seu potencial, a saber : 1) utilização de mensagens baseadas somente em termos; 2) formação da rede somente ocorrer no envio de mensagens pelos usuários; 3) não utilização de endereçamento convencional. Verificou-se que a RAdnet é versátil, prática e eficaz para o desenvolvimento e implementação de aplicações para MANETs.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

INTEREST-CENTRIC MOBILE AD HOC NETWORK

Renato de Castro Dutra

March/2012

Advisor: Claudio Luis de Amorim

Department: Systems Engineering and Computer Science

This thesis introduces RAdNet, a novel, content-oriented, ad-hoc network. In this network messages are built from terms chosen by the users to define interests. These terms are then used by the network protocol for addressing, communication, and group formation.

In order to evaluate RAdnet we developed (1) an application based on interest-based communication over an mobile ad-hoc network (MANET), (2) a communication protocol, called REP, and (3) an active prefix, a message header whose function is to forward and address messages. We discuss how this network protocol, implemented in RAdnet, can efficiently exploiting mobility and volatility in MANETs. Results show that RAdnet reduces the total cost of messages exchanged in the network, thus reducing interference and saving power while reducing latency, when compared with the AODV and G3AODV protocols. Furthermore, the results show that the properties of the RADNet content-oriented model are of utmost importance to realize its potential, namely: (1) utilization of messages based only on terms; (2) the network is only formed if there are messages sent by the users; (3) utilization of a non conventional form of addressing. Concluding, RAdnet is versatile, feasible, and efficient for the development and implementation of MANET applications.

Sumário

Lista de Figuras	xii
Lista de Tabelas	xv
Lista de Símbolos	xvi
Lista de Abreviaturas	xviii
1 Introdução	1
1.1 Redes Móveis X Redes Cabeadas	1
1.2 Estratégias Aplicadas às Redes Móveis	3
1.3 Rede Ad hoc centrada em interesse (RAdnet)	3
1.4 Avaliação Experimental	3
1.5 Contribuições	5
1.6 Organização	5
2 Rede Ad Hoc Centrada em Interesses	6
2.1 Categorias de Interesse	7
2.2 Definição de uma RAdnet	9
2.2.1 Instanciando Interesses	9
2.2.2 Sintonização	10
2.2.3 Estrutura da Mensagem	13
2.2.4 Formação do Endereçamento	15
2.2.5 A RAdnet e as Camadas de Rede	17
2.3 Exemplos Ilustrativos	18
2.3.1 Aplicação em Grupo	19
2.3.2 Aplicação P2P	22
2.3.3 Aplicação Cliente/Servidor	23
2.4 Algoritmo do Protocolo REP para RAdnet	24
3 Trabalhos Relacionados	27
3.1 Introdução	27

3.2	Taxonomia	27
3.2.1	Tipos de Rede	28
3.2.2	Tipos de Serviço	31
3.3	Modelo Publicador/Subscriber	35
3.3.1	Sistema <i>The Information Bus</i>	35
3.3.2	Aplicações do Modelo Pub/Sub	37
3.3.3	RAAdnet no modelo Pub/Sub	39
3.4	Principais Trabalhos	46
3.4.1	Projeto PROEM	46
3.4.2	Difusão Dirigida	47
3.4.3	Redes Orientadas a Conteúdo e Sociais	48
4	Metodologia Experimental	51
4.1	Fundamentação	51
4.2	Protocolos AODV e AODV+G	54
4.2.1	Protocolo AODV	54
4.2.2	Protocolo AODV+G	55
4.3	Metodologia	56
4.4	Simulações - Parâmetros de Simulação, Métricas e Cenários	58
4.4.1	Parâmetros de Simulação	58
4.4.2	Métricas	59
4.4.3	Cenários das Simulações Comportamento Bimodal, S1, S2, S3a e S3b	61
4.5	Experimentos Práticos	63
4.5.1	Experimento com Motes (E1)	63
4.5.2	Experimento com Celulares (E2)	65
5	Resultados e Discussão	66
5.1	Avaliação do Comportamento Bimodal	66
5.2	Avaliação de Desempenho (Simulações S1 e S2)	71
5.2.1	Resultados para REP comparado a AODV e G3AODV (S1)	71
5.2.2	Resultados para REP com mensagem longa (S2)	76
5.3	Análise de Sensibilidade	81
5.3.1	Resultados REP com mobilidade 2D-Gauss-Markov (S3a)	81
5.3.2	Avaliação da Densidade de Nós (S3b)	83
5.4	Comparação das Premissas com os Resultados Simulados	87
5.5	Resultados dos Experimentos Práticos	88
5.5.1	Experimento com Motes (E1)	88
5.5.2	Experimento com Celulares (E2)	93
5.6	Comparação das Premissas com os Resultados Práticos	94

6	Conclusões e Trabalhos Futuros	95
6.1	Conclusões	95
6.2	Trabalhos Futuros	96
	Referências Bibliográficas	98
A	Avaliação da Interferência no Meio	114

Lista de Figuras

2.1	Categorias em eixos cartesianos	7
2.2	Elementos RAdnet: (a) Prefixo Ativo e (b) Cabeçalho da mensagem .	14
2.3	RAdnet nas Camadas de Rede	18
2.4	Prefixos Ativos dos nós e Vizinhança	21
2.5	Nó n_1 gerando mensagem com PA(0010 1000 Def.Civil)	21
2.6	Nó n_2 encaminhando mensagem por casamento de PA(0010)	21
2.7	Nó n_3 encaminhando mensagem por casamento de PA (Def.Civil)	21
2.8	Um exemplo básico de aplicação Cliente / Servidor em RAdnets	23
3.1	Grafo Modelo	30
3.2	Grafo Modelo Troca de Vértices por Mobilidade	31
3.3	Taxonomia de Problemas de Pesquisa em Computação Pervasiva	33
3.4	Taxonomia de Problemas de Pesquisa em Computação Orientada a Interesses	34
3.5	Elementos do sistema <i>The Information Bus</i>	36
3.6	Exemplo de Comunicação <i>The Information Bus</i>	36
3.7	Sistema de Comunicação Pub/Sub para redes móveis. (Fonte: adaptado de [3])	38
3.8	Roteamento Publicador/Subscritor	39
3.9	Faixas e Canais de Interesse RAdnet	40
3.10	Exemplo de Comunicação RAdnet	41
3.11	Estratégia de comunicação RAdnet	42
3.12	Difusão de Mensagens RAdnet	43
3.13	Problema Passagem Estrangeira	44
3.14	Problema Histórico do Percurso de uma Mensagem	45
3.15	RAdnet relacionada com os Sistemas Sem Fio - $A \subset (B,C,D,E,F)$; $B \subset (C)$; $E \subset (C)$; $G \in (A,B,C,E,F) \wedge \notin D$	45
3.16	Arquitetura do Sistema PROEM. (Fonte: adaptado de [4])	47
4.1	Distribuição dos vinte nós para os experimentos n_1 , n_2 e n_3	64

5.1	Comportamento Bimodal no REP, com distribuição aproximada à normal e uniforme, em Grid 20x50	67
5.2	Comportamento Bimodal no REP, com distribuição aproximada à normal e uniforme, em Grid 20x500	68
5.3	Custo do comportamento Bimodal no REP, com distribuição aproximada à normal e uniforme, em Grid 20x50	68
5.4	Custo do comportamento Bimodal no REP, com distribuição aproximada à normal e uniforme, em Grid 20x500	69
5.5	Comportamento Bimodal no Gossip em Grid 20x50	70
5.6	Custo no Gossip em Grid 20x50	71
5.7	Taxa de Entrega de Mensagens para 5 nós geradores de mensagens . .	72
5.8	Taxa de Entrega de Mensagens para 15 (REP_End) e 30 (REP) nós geradores de mensagens	72
5.9	Latência para 5 nós geradores de mensagens	73
5.10	Latência para 15 (REP_End) e 30 (REP) nós geradores de mensagens	73
5.11	Total de Mensagens Recebidas para 5 nós geradores de mensagens . .	74
5.12	Total de Mensagens Recebidas para 15(REP_End) e 30(REP) nós geradores de mensagens	74
5.13	Total de Mensagens com Erro na Recepção para 5 nós geradores de mensagens	75
5.14	Total de Mensagens com Erro na Recepção para 15 (REP_End) e 30 (REP) nós geradores de mensagens	76
5.15	Total de Saltos para 5 nós geradores de mensagens	77
5.16	Total de Saltos para 15 (REP_End) e 30 (REP) nós geradores de mensagens	77
5.17	Taxa de Entrega REP para 1 e 10 mensagens	78
5.18	Latência REP para 1 e 10 mensagens	79
5.19	Total de Mensagens Recebidas REP para 1 e 10 mensagens	79
5.20	Total de Mensagens com Erro na Recepção REP para 1 e 10 mensagens	80
5.21	Número de Saltos REP para 1 e 10 mensagens	80
5.22	Taxa de Entrega REP para 5 e 15 (REP_End) e 30 (REP) nós geradores de mensagens com mobilidade 2D-Gauss-Markov	82
5.23	Latência REP para 5 e 15 (REP_End) e 30 (REP) nós geradores de mensagens com mobilidade 2D-Gauss-Markov	82
5.24	Total de Mensagens Recebidas REP para 5 e 15 (REP_End) e 30 (REP) nós geradores de mensagens com mobilidade 2D-Gauss-Markov	83
5.25	Total de Mensagens com Erro na Recepção para 5 e 15 (REP_End) e 30 (REP) nós geradores de mensagens com mobilidade 2D-Gauss-Markov	83

5.26	Número de Saltos REP para 5 e 15 (REP_End) e 30 (REP) nós geradores de mensagens com mobilidade 2D-Gauss-Markov	84
5.27	Taxa de entrega para 30 nós geradores de mensagens com variação de densidade de nós	85
5.28	Latência para 30 nós geradores de mensagens com variação de densidade de nós	85
5.29	Total de mensagens para 30 nós geradores de mensagens com variação de densidade de nós	86
5.30	Total de Mensagens com Erro na Recepção para 30 nós geradores de mensagens com variação de densidade de nós	86
5.31	Total de Saltos para 30 nós geradores de mensagens com variação de densidade de nós	87
5.32	Taxa de Entrega de Mensagens por nó para o experimento n°1.	89
5.33	Grafo de conectividade para os experimentos n°1, n°2 e n°3.	90
5.34	Taxa de Perda de Mensagens x Número de nós transmissores	90
5.35	Topologia do experimento n°3 (nós 1, 7, 8, 9, 11 transmissores de mensagens com interesse y e nós 3, 5, 12, 15, 19 com interesse y).	91
5.36	Comparação dos protocolos REP, <i>Flooding</i> e <i>G3</i>	92
5.37	Total de saltos no experimento n3.	92
5.38	Latência no experimento n3.	93
A.1	Taxa de Entrega de Mensagens por Intervalo entre Mensagens	115
A.2	Latência por Intervalo entre Mensagens	115
A.3	Custo de Mensagens Recebidas por Intervalo entre Mensagens	116
A.4	Erros na Recepção de Mensagens por Intervalo entre Mensagens	116

Lista de Tabelas

2.1	Exemplo de discretização para $C1$ e $C2$ de P	16
2.2	Tabela de encaminhamento	20
2.3	Exemplo de Encaminhamento por Prefixo Ativo	21
2.4	Gnutella em MANETs: IP versus RAdnet implementações	22
4.1	Parâmetros de simulação para AODV+G utilizados em [5]	56
4.2	Parâmetros de simulação REP, REP_end, AODV e G3AODV	59
5.1	Probabilidade Campo-Bit	70
5.2	G3AODV - Falhas de execução na simulação (FE) para mensagem longa	78

Lista de Símbolos

C	Constante utilizada na Equação 2.2 de valor $\approx 0,1$, p. 13
CdC	Comprimento do Cabeçalho da mensagem RAdnet, p. 14
Cn	Variável aleatória contínua utilizada em um campo do prefixo P , p. 16
Dn	Variável aleatória discreta utilizada em um campo do prefixo P , p. 16
$F(r)$	Frequência de ocorrência da palavra com <i>Rank</i> r , p. 13
HTL	Hop-To-Live, p. 14
I	Interesse da aplicação executando em um nó, p. 4
ID	Identificador de uma mensagem RAdnet, p. 14
$NULL$	Endereço de <i>broadcast</i> em uma RAdnet, p. 24
P	Prefixo de um nó, p. 4
$PA(P, I)$	Prefixo ativo, composto de prefixo P e interesse I , p. 4
P_i	Prefixo do nó origem, p. 24
P_j	Prefixo do nó destino, p. 24
$Pr_{PA[P,I]}$	Probabilidade de ocorrência de endereços duplicados em uma RAdnet, p. 15
Ver	Versão do protocolo REP, p. 14
α	Constante utilizada na Equação 2.2 de valor ≈ 1 , p. 13
i	Nó origem, p. 24
j	Nó destino, p. 24

<i>maxHTL</i>	Número máximo de HTL, p. 24
<i>nv</i>	Nós vizinhos, p. 19
<i>r</i>	<i>Rank</i> de uma palavra, p. 13

Lista de Abreviaturas

AODV+G	Algoritmo original Gossip3 incluído no protocolo AODV, p. 55
AODV	<i>Ad hoc On-Demand Distance Vector</i> , p. 4
API	<i>Application Programming Interface</i> , p. 17
BGP	<i>Border Gateway Protocol</i> , p. 4
CCN	<i>Content Centric Network</i> , p. 8
DTN	<i>Delay/Disruption Tolerant Networks</i> , p. 32
FOAF	<i>The Friend Of A Friend</i> , p. 10
G3AODV	AODV+G implementado no simulador NS-3, p. 4
G3	Gossip3 implementado no simulador NS-3, p. 4
GPS	<i>Global Positioning System</i> , p. 3
IP	<i>Internet Protocol</i> , p. 4
LFBL	<i>Listen First Broadcast Later</i> , p. 9
MANETs	<i>Mobile Ad hoc Networks</i> , p. 1
NDN	<i>Naming Data Network</i> , p. 8
NS-3.8	<i>Network Simulator</i> versão 3.8, p. 4
OWL	<i>Web Ontology Language</i> , p. 10
P2P	<i>Peer to Peer Networks</i> , p. 2
PA	Prefixo Ativo em uma RAdnet, p. 4
Pub/Sub	Modelo Publicador / Subscritor, p. 35
RAdnet	Rede Ad hoc centrada em interesse, p. 3

REP_end	Protocolo de comunicação endereçada baseado em interesse utilizado em RAdnets, p. 15
REP	Protocolo de comunicação em grupo baseado em interesse utilizado nas RAdnets, p. 3
RSSF	redes de sensores sem fio, p. 48
TMR	Total de Mensagens Recebidas, p. 57, 59
TNP	Total de Nós Participantes, p. 57, 59
TPI	Tabela de Prefixos Individual, p. 12, 18
UDP	<i>User Datagram Protocol</i> , p. 17

Capítulo 1

Introdução

Atualmente, com o incremento dos equipamentos móveis (celulares, *laptops*, *tablets*, etc.), existe a necessidade do desenvolvimento de protocolos que atendam às demandas de serviços para a comunicação de usuários com a rede Internet para trabalho, lazer e segurança. Estes protocolos normalmente seguem soluções de redes cabeadas. As aplicações desenvolvidas para os sistemas de comunicação móvel também seguem os protocolos desenvolvidos para a Internet, porém limitando as características intrínsecas das redes móveis. Soluções que aproveitem estas características podem ser melhores do que as soluções desenvolvidas utilizando soluções de redes cabeadas.

1.1 Redes Móveis X Redes Cabeadas

Redes móveis ad hoc são redes auto-organizáveis sem infraestrutura de comunicação fixa onde os nós cooperam entre si para a entrega de mensagens fim-a-fim, utilizando múltiplos saltos quando a distância entre dois nós quaisquer não permite que se comuniquem diretamente. Redes móveis ad hoc (ou Mobile Ad hoc Networks - MANETs, em inglês) são atrativas quando a infraestrutura de comunicação é inexistente ou insuficiente, e podem beneficiar várias classes de aplicações importantes incluindo, segurança, comunicação e sensoriamento [6], ambientes virtuais colaborativos [7], [8] e descoberta de serviços [9], [10]. As características intrínsecas destas redes modificam dinamicamente a topologia da rede, exigindo uma nova abordagem para a comunicação de mensagens em MANETs. Neste contexto, redes cabeadas possuem características estáticas, redundantes à falha e hierárquicas, distintas das características de redes MANETs, móveis, com falhas e interrupções e ad hoc, e soluções tradicionais encontradas nas redes cabeadas não deveriam ser aplicadas às redes MANETs que podem ser observáveis mas de difícil controle.

Atualmente as redes cabeadas utilizam a comunicação cliente / servidor, dominante na rede Internet, e as aplicações são desenvolvidas para esta forma de comu-

nicação centralizada, inclusive as de grande popularidade, como comércio eletrônico, multimídia, pesquisa de informações, redes sociais, mensagens instantâneas e blogs, que beneficiam diariamente milhões de pessoas em todo o mundo.

Variações da comunicação cliente/servidor incluem hierarquias descentralizadas com servidores centrais conectados a servidores secundários (*proxy servers*) que atuam como caches de disco, estrategicamente localizados nas bordas da rede, tais como os implementados por redes de distribuição de conteúdo [11], [12]. No modelo descentralizado, a ideia é que os servidores secundários possam cooperar com o servidor central, armazenando réplicas das informações de modo que possam atender a uma fração significativa dos acessos dos usuários, aliviando o tráfego no *backbone* da rede até o servidor central.

O modelo Publisher / Subscriber, aplicado a redes cabeadas, segue esta arquitetura cliente / servidor por usar despachantes centralizados [13], [3] ou hierarquias descentralizadas baseadas em servidores secundários [14]. O despachante é responsável pelo envio dos conteúdos entre os Publishers e Subscribers e pela assinatura dos serviços pelos Subscribers. Versões desse modelo para as redes sem fio móveis [15], [16], [17], [18], [19], são adaptações do modelo de redes cabeadas. Por exemplo, o uso de *overlay networks* por meio de *spanning trees* [15], [16], [20], sobrepondo uma rede “cabeada” (observável e controlável) em uma MANET, usufruindo pouco das suas características dinâmicas de mobilidade e volatilidade. Uma alternativa, é o uso de tabelas *hash* distribuídas como tentativa de identificação dos nós para manutenção de *spanning trees* dinâmicas [21], [22], [23], [11], [12].

Outra tendência importante é utilizar identificação única em redes sem fio, especificamente para solucionar problemas de roteamento fim-a-fim [24], [25]. Entretanto, identificação única e roteamento são mais facilmente utilizadas em redes cabeadas do que em redes sem fio móveis [26].

Por outro lado, a disponibilidade de banda larga cada vez maior para o usuário final contribui para a crescente aplicabilidade de modelos de comunicação distribuída, representados, particularmente, na arquitetura *Peer-to-Peer* (P2P), onde os usuários cooperam entre si para também prover conteúdos entre eles, e assim reduzir a carga de comunicação no servidor central. Esta arquitetura é utilizada em várias aplicações (p.ex.: YouTube [27], Limewire [28], BitTorrent [29], Kazaa [30]).

Em [31], MANETs são interpretadas como redes P2P, com dezenas ou milhares de nós, possuindo características de mobilidade, *multihop*, auto-organização, economia de energia e escalabilidade. Neste caso, a solução para os problemas dinâmicos da MANET foi novamente utilizar soluções de redes cabeadas aplicadas às redes P2P.

1.2 Estratégias Aplicadas às Redes Móveis

Embora essas soluções de redes cabeadas aplicadas a redes móveis sejam promissoras, as características distintas de MANETs têm estimulado a pesquisa e o desenvolvimento de novos mecanismos e técnicas que explorem efetivamente estas características, evitando adaptações diretas de soluções de redes cabeadas.

Nesses casos, geralmente, não há a preocupação de o escopo das aplicações ser o mesmo de redes cabeadas, permitindo, inclusive, o desenvolvimento de novas e originais aplicações. De fato, alguns trabalhos compartilham desta ideia. Em [4], é proposta a colaboração baseada no uso do perfil do usuário, a troca de informação do perfil e a possibilidade de pessoas desconhecidas se encontrarem. Porém, os encontros são físicos, o usuário é identificado e precisa se locomover para se encontrar, não existe o uso do *multihop* e a mensagem é convencional. Em [32], existe o encaminhamento de mensagens no contexto móvel, porém os equipamentos são identificados, as mensagens são convencionais e um GPS é utilizado para localização. Em [33], existe o conceito da rede ser orientada ao usuário, porém é um experimento voltado para o reconhecimento de padrões em redes sociais, utilizando mecanismos convencionais. Em [34], é proposto modelar a comunicação de interesses em um vetor multidimensional, porém o trabalho se detém na análise matemática do problema ontológico. Em [35], é discutido o problema de ontologia inerente à WEB semântica, e proposto um mapeamento dos termos.

1.3 Rede Ad hoc centrada em interesse (RAdnet)

Essa tese avança na direção de utilizar as características de redes ad hoc para o desenvolvimento de protocolos mais adaptados para MANETs e, por meio da Rede Ad hoc centrada em interesse (RAdnet) desenvolvida nesta tese, defende o uso dos interesses como uma original estratégia de comunicação. A RAdnet é baseada no modelo Publisher / Subscriber, no qual as mensagens utilizam somente palavras, termos (em um caso mais geral, sequência de caracteres), que representem interesses dos usuários. A RAdnet não necessita que os nós sejam estáveis, estáticos ou identificados, respeitando as características intrínsecas às MANETs, tais como volatilidade, mobilidade e anonimidade.

1.4 Avaliação Experimental

A RAdnet foi mapeada em uma rede sem fio móvel ad hoc - MANET, por meio de um novo protocolo de comunicação, chamado REP, desenvolvido e avaliado para dar suporte à rede RAdnet em MANETs.

Esta tese introduz o Prefixo Ativo (PA)¹, um original elemento de rede baseado na comunicação por interesse, de modo a permitir a construção das RAdnets sobrepostas a MANETs com protocolos eficientes como será mostrado nesta tese. Em uma RAdnet, cada nó é identificado pelo seu PA separado em dois conjuntos de informações denominadas Prefixo (P) e Interesses (I) que têm as funções de encaminhamento probabilístico, identificação dos nós para endereçamento (P), e formação de grupos de interesse e comunicação entre camadas (I), respectivamente. Enquanto o Prefixo P é previamente configurado para se aproximar de uma distribuição de probabilidade, p.ex., normal² ou uniforme, os interesses são nomes/expressões/valores, pré-definidos através da aplicação utilizada pelo usuário, e que podem ser ativados dinamicamente em função do contexto, p.ex., “segurança”, “jogo eletrônico” e “temperatura”.

As características de auto-organização e colaboração de uma RAdnet é resultado de cada nó usar o próprio PA para executar as funções de endereçamento, encaminhamento e comunicação entre camadas. Especificamente, um nó usa as três funções de um PA: a) como cabeçalho das mensagens (com ou sem *payload*) que enviar, endereçando-as; b) como filtro de uma função de casamento das mensagens que receber, encaminhando-as ou não; c) para permitir comunicação (*cross-layer*) eficiente entre a camada da aplicação e a de encaminhamento, e reduzir a latência. Assim, o PA produz as vantagens de endereçamento, encaminhamento sem recorrer a tabelas de roteamento, de modo a reduzir o custo e a latência na entrega de mensagens. É importante notar que uma RAdnet pode operar como uma rede IP convencional, se definirmos o campo I como sendo o valor IP.

Para avaliar a eficiência da RAdnet para MANET baseado em PA, implementou-se o protocolo REP (baseado na RAdnet), o Gossip3 (G3) e o G3AODV no simulador NS-3.8 e comparou-se o Prefixo P com o Gossip3, para encaminhamento, e o prefixo ativo $PA(P, I)$ com o G3AODV e o AODV, para endereçamento com dois modelos de mobilidade, Randomwaypoint e 2D-Gauss-Markov. Foram avaliados, o número de campos, o número de bits por campos e as distribuições aproximada à Normal e Uniforme para P e verificou-se que a RAdnet segue um comportamento bimodal como o apresentado por Gossip3. As medidas Taxa de Entrega, Latência, Total de Mensagens Recebidas, Número de Saltos e Total de Mensagens Recebidas com Erro, obtidas pelos três protocolos, mostraram que a RAdnet, em média, obteve taxa de entrega 16% melhor e uma ordem de grandeza menor em relação à latência e Total de Mensagens Recebidas do que G3AODV e o AODV, afirmando a eficiência do mecanismo de Prefixo Ativo proposto e do modelo no qual foi construído.

¹Esta expressão Prefixo Ativo tem a conotação de atividade de prefixo em BGP [36]

²No contexto da tese, as distribuições de probabilidade para o Prefixo utilizam variáveis discretas e são multivariadas

1.5 Contribuições

As principais contribuições desta tese são:

- Desenvolvimento de um Prefixo Ativo como um original mecanismo para construção de redes sobrepostas para MANETs, permitindo encaminhamento e endereçamento probabilístico e formação e comunicação de grupos de interesses;
- Introdução de uma original rede de comunicação centrada em interesse, denominada RAdnet, contendo estrutura de mensagem e protocolo de comunicação *cross-layer* eficiente (denominado REP), baseados em Prefixo Ativo, proporcionando endereçamento fim-a-fim e menores latências entre camadas de aplicação, respectivamente;
- Novo algoritmo probabilístico de encaminhamento de mensagens contendo filtro de casamento baseado em Prefixo Ativo, que oferece maior flexibilidade para o sistema de comunicação em MANETs;
- Serviço e aplicação baseados na RAdnet implementados para o sistema operacional Android, disponíveis para o público na página do Laboratório de Computação Paralela (www.lcp.coppe.ufrj.br/radnet);
- Implementação dos protocolos G3AODV, G3, REP e da Radnet no simulador NS-3 para pesquisa.

1.6 Organização

O restante do texto está organizado da seguinte forma. No Capítulo 2 é discutida a implementação de uma rede sem fio ad hoc chamada RAdnet. Para a RAdnet foi desenvolvido o protocolo REP para avaliação do modelo no simulador NS-3. No Capítulo 3 são apresentados os trabalhos relacionados à tese. No Capítulo 4 são descritas as simulações e os experimentos de avaliação de desempenho da RAdnet. No Capítulo 5 são apresentados os resultados e discussão e no Capítulo 6, a conclusão e trabalhos futuros.

Capítulo 2

Rede Ad Hoc Centrada em Interesses

A Rede Ad hoc Centrada em Interesses - RAdnet se enquadra no modelo Publisher / Subscriber (Publicador / Subscritor - Pub/Sub), um modelo de fila de mensagens (*Message Queue*) assíncrono, em que as mensagens são armazenadas pela aplicação até o usuário utilizá-las. Um publicador envia uma mensagem com um interesse a todos os nós na rede e os usuários que têm este interesse assinado em suas aplicações recebem esta mensagem. Eventualmente, a mensagem pode não chegar devido a falhas de comunicação. Nesta tese é defendido que o uso deste modelo em redes MANETs aproveita melhor as características intrínsecas a estas redes. Assim como em sistemas cabeados, em que os equipamentos com a aplicação ativa recebem mensagens e as encaminham ou descartam, em sistemas sem fio, há a necessidade dos equipamentos com a aplicação ativa poderem receber mensagens, seja por estarem ao alcance de radiofrequência, seja por múltiplos saltos. O uso do Interesse mantém as características intrínsecas das redes sem fio ad hoc (MANETs), volatilidade, mobilidade, anonimidade, evitando mensagens de controle (p.ex., tabelas de roteamento e/ou registro de usuários), como será mostrado por meio dos resultados obtidos.

A definição de Interesse neste modelo é qualquer termo (sequência de caracteres), que tenha um significado para o usuário e/ou para a aplicação. O uso de interesse como paradigma de comunicação, faz com que todas as mensagens encaminhadas sejam mensagens de interesse, diferindo das abordagens convencionais. Esta característica permite que o foco da informação seja o usuário ou a aplicação, e não o equipamento como em redes convencionais. Normalmente, a mensagem é composta por informações para a rede, que formam o cabeçalho, e informações para o usuário que formam o *payload*. Na RAdnet toda a mensagem, cabeçalho e *payload*, são interesses do usuário e portanto são originados dele e o tem como destino. Assim, os Interesses são os únicos componentes da mensagem, e são definidos pelo usuário ou pela aplicação. Pode-se categorizar os Interesses de várias formas.

2.1 Categorias de Interesse

Os interesses típicos de uma pessoa podem ser genericamente categorizados em pessoal, familiar, profissional, social, comercial, econômico, cultural, etc (como em [37]). Os interesses típicos de uma organização podem ser obtidos, por exemplo, do portal da empresa na Internet. Assim, diferentes ambientes podem ter diferentes interesses. Em um ambiente Loja Virtual as categorias identificação, seções, produtos, promoções e procedimento de compra são mais pertinentes, enquanto que em um ambiente Restaurante, identificação, especialidades, cardápios, preços, promoções e cartões de crédito são mais apropriados. Em um outro exemplo, um ambiente Hospital, pode-se obter identificação (pacientes ou corpo médico), especialidades, emergências, convênios. Na Figura 2.1 são usados eixos cartesianos para melhor representar as categorias, definidas como Faixas, e os valores nos eixos, definidos como Canais.

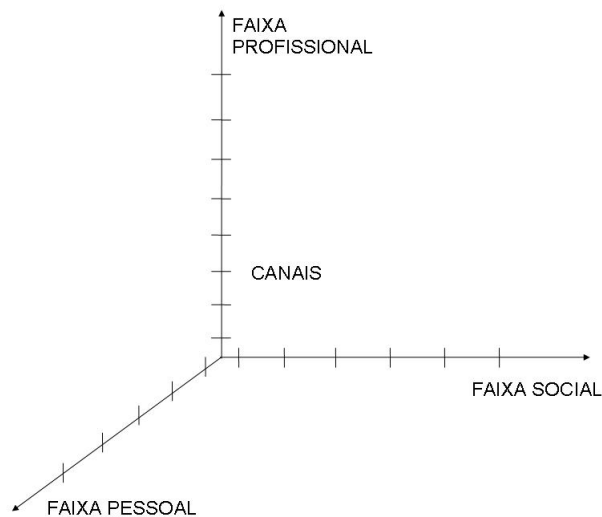


Figura 2.1: Categorias em eixos cartesianos

Em [34], os autores modelam a comunicação de Interesses em um vetor multidimensional, utilizando perfil de usuário em redes de comunicação, para gerar um mapeamento hierárquico dos nós de uma *overlay network* em um espaço de comunicação multidimensional. Baseados nessa modelagem, foram propostos algoritmos para comunicação de agrupamento de interesses, obtendo como resultado uma distribuição de dados escalável com baixo *overhead*. Escalabilidade neste contexto significa obter um índice para busca no banco de dados independente do número de equipamentos e um custo de mensagens independente do estado da rede. Não está no escopo da tese avaliar inúmeras possibilidades de interesses, portanto, foi

proposto apenas um número limitado de interesses para que a implementação da rede se torne factível. Estes dois fatores são encontrados na RAdnet, os interesses são configurados localmente, e as mensagens são encaminhadas sem a necessidade de conhecimento global e independente do estado da rede, assumindo a rede ser móvel ou estática.

Em [35], é discutido o problema de coincidência de termos na Web Semântica, entre requisitantes e fornecedores de informação, identificando-se que a interoperabilidade semântica reside em coincidências de termos ou esquemas de mapeamento. É dito que a informação é composta de partes compartilhadas e não compartilhadas e a abordagem clássica se detém apenas na parte compartilhada. Documentos e perguntas são representados em um vetor semântico, com o objetivo de ampliar o uso da parte não compartilhada. O vetor semântico utiliza conceitos ao invés de termos, adicionando pesos a cada conceito representativo do documento, e pesos aos conceitos relacionados à pergunta. O vetor resultante representa o documento e outro vetor resultante representa a pergunta, em um espaço n -dimensional de conceitos de ontologia. Logo, a relevância entre um documento e a pergunta corresponde à proximidade dos vetores no espaço. Devido à dificuldade de ponderar os conceitos com pesos, é proposto um método de expansão de perguntas, que mantenha a dispersão do conceito central evitando o aumento de ruído dada esta expansão. Ainda, baseado nesta expansão, é definida a relevância do documento. Experimentos realizados foram melhores em 90% dos casos, frente ao método clássico. Este grupo está envolvido em um projeto Brasil-França, chamado SARAVA [38]. Esta abordagem vetorial entre os interesses pode ser utilizada na RAdnet como uma solução ao problema de ontologia encontrado na coincidência dos interesses porém, no escopo desta tese, utilizamos um dicionário com um número limitado de palavras, evitando este problema.

O trabalho mais próximo à RAdnet é a rede centrada em conteúdo (Content Centric Network - CCN, também conhecida como Naming Data Network - NDN) [39], [26], [40], em que os autores também propõem o foco no usuário, basicamente pela maior parte dos dados trocados na rede estarem associados aos usuários. Especificamente, é proposta a formação de uma *overlay network* utilizando o algoritmo de difusão dirigida [24] para disseminação das informações entre os nós, gerando gradientes de informação. Dentre as dificuldades encontradas, destaca-se a necessidade de classificar todo o conteúdo trafegado na rede de acordo com um padrão, p.ex. Uniform Resource Identifier (URI), e a geração de um gradiente para cada interesse na rede, exigindo armazenamento dos interesses e dos graus atribuídos a cada interesse em de cada nó. Outra dificuldade encontrada refere-se à estrutura da rede e ao problema de identificar e distribuir as mensagens entre nós em uma rede sem fio. A solução para identificação e distribuição em redes sem fio são problemas em aberto,

mas, em CCN, os autores propõem utilizar numeração IP ou MAC para identificação e o algoritmo LFBL (*Listen First Broadcast Later*) [40] para distribuição na rede física. Outro conceito utilizado em CCN é o uso de dois pacotes distintos, Interesse e Dado, em que o pacote de Interesse é disseminado pela rede e o nó que contenha o interesse transmite a informação pelo pacote de Dado. Nesta tese o pacote é único e o Interesse faz parte do cabeçalho da mensagem, bem como a informação faz parte do *payload*.

2.2 Definição de uma RAdnet

2.2.1 Instanciando Interesses

Devido às inúmeras possibilidades de escolha de interesses que uma aplicação possa oferecer, é necessário limitar a explosão destes interesses na rede. Assim, cada entidade armazena um prefixo em um dispositivo de comunicação próprio. A figura do Prefixo encontra analogia no sistema de rádio, como o prefixo de radioamador que identifica o usuário no sistema, inclusive, essa é uma característica utilizada na RAdnet, a possibilidade de identificação do usuário por meio do seu Prefixo Ativo (PA).

O Prefixo é organizado como uma coleção de Faixas, cada uma com diversos interesses apropriados a cada ambiente. O Prefixo Ativo aproveita este conjunto de interesses e utiliza parte para identificação e parte para o interesse da entidade. No caso da RAdnet, a identificação no Prefixo Ativo é gerada como um conjunto de oito campos e o interesse é gerado como um campo no cabeçalho da mensagem, sendo este apenas um exemplo de implementação da RAdnet.

O campo identificador no Prefixo Ativo possui duas funções: identificar um nó na rede e encaminhar uma mensagem recebida, caso um critério seja atendido. A identificação poderá ser única caso o tamanho do identificador seja proporcional ao número de nós na rede. Esta característica permite solucionar um dos problemas encontrados no modelo Pub/Sub, o prejuízo do endereçamento fim-a-fim devido ao desacoplamento entre o publicador e o subscritor. Como será mostrado nesta tese, o encaminhamento por critérios diminui a inundação de mensagens na rede, diminuindo a competição por canais de comunicação e reduzindo a interferência no meio, solucionando o problema de tempestade de *broadcast* encontrado no modelo Pub/Sub.

O campo de interesse também possui duas funções: descarte da mensagem, caso não haja coincidência de interesse entre o nó receptor e a mensagem; e repasse da mensagem da camada de rede para a camada de aplicação diretamente (*cross-layer*). O uso do interesse diretamente no cabeçalho da mensagem permite que um

elemento da camada de rede, que possua os interesses da aplicação, possa descartar a mensagem nesta camada, reduzindo o tempo de processamento da camada mais alta, ainda, permite um *cross-layer* da camada de rede para a de aplicação pelo envio direto da mensagem entre camadas.

Utilizamos uma notação em que os interesses podem ser identificados por predicados e valores. Assim, uma tupla foi definida para formalizar a parte do Prefixo Ativo referente aos interesses, formado pelo Nome do Interesse e pelo Atributo do Interesse dividido em Predicado e Valor do Interesse. Na Equação 2.1 existe um Interesse, carro, com Predicado, vermelho, e Valor, 50, representando um exemplo em que um usuário está interessado em adquirir um carro vermelho de valor 50. Essa tupla é encaminhada pela RAdnet para os outros dispositivos.

$$\text{Prefixo}(\text{Interesse}, \text{Predicado}, \text{Valor}) = \text{Prefixo}(\text{carro}, \text{vermelho}, 50) \quad (2.1)$$

Por exemplo, o interesse “Profissional” pode ser descrito pelos predicados nome da empresa, área de atuação, cargo, tempo na empresa, etc. O interesse “Comercial” de uma pessoa poderá incluir predicados que identifiquem produtos que o usuário deseja comprar; já o interesse “Saúde” poderá incluir predicados que definam os cuidados de saúde próprios. Para uma empresa, os interesses servirão para descrever o seu negócio, por exemplo, utilizar faixas de interesse, predicados e valores para definir os produtos. Cada aplicação poderá definir diversas tuplas, cada uma formada por interesse/predicado/valor, que juntas descrevam o perfil de interesses sobre o qual a aplicação irá operar, inclusive podendo utilizar ontologia para criar prefixos, como utilizado em *Web Ontology Language* (OWL) ou em *The Friend Of A Friend* (FOAF), como pode ser evidenciado em [41] que o aplica em sistemas móveis pervasivos. Um Prefixo Ativo poderá ser gerado manualmente ou pela aplicação, para uma rede ad hoc, Internet, de celulares ou para algum outro sistema.

2.2.2 Sintonização

A sintonização permite que os interesses selecionados pela entidade sejam formatados em prefixos e disseminados. Um PA é gerado por meio da ativação e desativação de interesses e predicados dentre os que compõem os canais da entidade.

No caso da RAdnet uma mensagem de interesse a ser disseminada contém basicamente o PA e o conteúdo da mensagem, sendo transmitida quando o usuário desejar alguma informação da rede. É importante ressaltar que as conexões da rede com os vizinhos só existem quando o usuário enviar uma mensagem, diferentemente das redes atuais que mantêm conexões de controle com os vizinhos, mesmo que os usuários não estejam enviando mensagens. Neste caso, os vizinhos recebem e retransmitem as

mensagens de acordo com a política de encaminhamento estabelecida, e, neste momento, tem-se uma rede (o foco mudou do dispositivo para o usuário). É necessário examinar por meio dos resultados das simulações e dos experimentos práticos se essa estratégia reduz o número de mensagens na rede, reduzindo a interferência no meio de comunicação compartilhado.

Na geração ou encaminhamento da mensagem, os vizinhos podem armazenar os PAs que passaram e guardá-los em uma tabela de prefixos para cada mensagem que tenham recebido, mesmo que não tenham interesses em comum (a mensagem que não tenha interesse em comum poderá ser descartada, de acordo com a política de encaminhamento), com o objetivo de utilizar esta informação para uma possível otimização no encaminhamento de mensagens por caminhos pré-definidos, diminuindo a interferência na rede. Essa afirmação implica três esclarecimentos:

1. manter a tabela, atualizando-a, não é necessário, basta armazenar a tabela com informação mínima da rede, pois seu objetivo é oferecer alguma informação da rede naquele momento para um novo vizinho recém-chegado de forma rápida. Atualizar essa tabela para toda a rede envolveria a criação de uma mensagem de controle, acarretando em um custo alto para a rede, devido ao aumento do tráfego e à falta de informação do número de nós total da rede, que varia dinamicamente, pela premissa de que a rede é volátil;
2. uma entidade pode ter enviado vários PAs, por seus interesses serem vários e mutáveis, portanto essa tabela não garante que o número de prefixos seja igual ao número de nós na rede;
3. a entidade pode ter recebido mensagens que não coincidem com seus interesses, porém, isto não a impede de armazenar as mensagens, dependendo da política de encaminhamento e da interface de comunicação das camadas inferiores com a camada aplicação.

Caso seja útil conhecer a rede ou o número de nós/pessoas que estão naquele momento na rede, é necessário que as mensagens carreguem, além do PA, a identificação do usuário ou do equipamento, para que cada mensagem seja identificada de acordo com a origem, permitindo que a tabela seja mantida, inclusive, com a informação de quais interesses cada usuário deseja. Existem problemas nessa abordagem devido à perda da “invisibilidade” do equipamento, embora a anonimidade do usuário possa permanecer, e devido à volatilidade da rede que torna a informação da tabela dinâmica no tempo, exigindo atualizações em curtos períodos. Estas questões dependerão da aplicação e da dimensão da rede.

Assim, existem dois casos em que a mensagem pode ser descartada: quando não existem interesses coincidentes entre os PAs, dependendo da política de encaminha-

mento; e quando o equipamento saiu da rede, dependendo do movimento do usuário ou da queda de energia do equipamento. No primeiro caso é possível existir um nó isolado que não receba mensagens, e que este nó isolado possa ser o nó de conexão entre dois grupos de nós com interesses coincidentes. Uma solução para este caso é o nó isolado verificar um número excessivo de mensagens descartadas por ausência de interesse e mascarar seu PA para um PA existente nas mensagens recebidas.

Baseado nas argumentações anteriores, pode-se distinguir seis funcionalidades de comunicação na RAdnet, baseados no PA e no encaminhamento, endereçamento e interesse: Formação da rede, Encaminhamento, Endereçamento, Interação, Atualização da Tabela de Prefixos e *cross-layer*.

- Formação da Rede - ocorre quando uma entidade envia alguma mensagem. Neste caso, a mensagem é encaminhada de acordo com alguma política de encaminhamento. Não existe manutenção da rede, pois não existem mensagens de controle;
- Encaminhamento - ocorre quando uma entidade recebe uma mensagem e verifica, por alguma política de encaminhamento, se encaminha a mensagem ou descarta a mensagem. Na tese utilizamos o encaminhamento probabilístico com o objetivo de reduzir o número de mensagens encaminhadas na rede;
- Endereçamento - ocorre quando uma entidade envia uma mensagem com o prefixo P do destino. Um mecanismo para permitir segurança é criar um termo conhecido apenas pela origem e destino (uma senha). Este termo criptografa o conteúdo da mensagem que será encaminhada pela rede, dependendo da política de encaminhamento, e quando a mensagem chegar ao destino descryptografa. Em princípio, não existe sigilo, todas as entidades que encaminham a mensagem podem ter acesso ao seu conteúdo. A menos que na aplicação exista um controle de fluxo, por exemplo, não há garantia de entrega, portanto essa mensagem pode não chegar ao destino nem a origem saber que não houve entrega;
- Interação - ocorre quando uma entidade deseja enviar mensagem para várias entidades. É um caso mais geral do endereçamento e o mais frequente na RAdnet (principalmente pelo *broadcast* existente nas redes sem fio), em que os interesses coincidem e a mensagem apresentada ao usuário pela aplicação é também encaminhada;
- Atualização da Tabela de Prefixos - um dispositivo recém-chegado, ao enviar seu prefixo, poderá solicitar a Tabela de Prefixos Individual (TPI) de seus vizinhos para atualizar a sua;

- *Cross-layer* - ocorre devido ao uso do interesse como campo do cabeçalho da mensagem. Ao existir uma lista de interesses da aplicação na camada de rede, a mensagem que não atenda a algum interesse da lista pode ser descartada nesta camada, reduzindo o tempo de processamento entre camadas.

2.2.3 Estrutura da Mensagem

A mensagem da RAdnet foi construída com cabeçalho e *payload*, como as mensagens convencionais. Porém, diferentemente destas, o cabeçalho utiliza termos e é dividido em duas partes: uma parte com termos cujas probabilidades de ocorrência se aproximam da distribuição Normal e outra parte cuja probabilidade de ocorrência segue a distribuição Zipf¹ (esta propriedade foi estendida para um texto com palavras aleatórias [42]). Teoricamente, a parte que se aproxima da distribuição Normal permitirá que ocorra a identificação, a formação da rede e o encaminhamento das mensagens, enquanto a parte com distribuição Zipf, ou seja, os interesses, permitirá a formação de grupos na rede e o *cross-layer*. Devido à probabilidade de ocorrência de termos pouco usados ser pequena, há a possibilidade de alguns interesses não encontrarem correspondentes na rede. Por razões práticas de implementação, decidiu-se utilizar um grupo limitado de interesses previamente definidos para que a comunicação tenha início. Posteriormente, o usuário ou a aplicação pode gerar um novo interesse ou pela Tabela de Prefixos selecionar os interesses das mensagens recebidas. O Prefixo Ativo, então, foi projetado contendo informações que se aproximam da distribuição Normal e informações que seguem a distribuição Zipf (Figura 2.2a).

Esta modelagem de estrutura da mensagem deve ser investigada quanto à sua funcionalidade e com esta finalidade foram realizadas simulações para avaliar a ocorrência de formação de grupos, endereçamento e interação entre os nós (ver Capítulo 5).

Com este objetivo, campos do prefixo são fixos e escolhidos pelo usuário ou calculados e definidos pela aplicação, de uma tabela com informações biométricas, que se aproximam da distribuição Normal, como cor do cabelo, altura, peso, etc. Essas informações são classes, ou seja, o usuário ou a aplicação poderão apenas escolher instâncias dessas classes. Outros campos do prefixo são variáveis, com

¹A lei Zipf, que recebe o nome do linguista que a descobriu em 1932, George Kingsley Zipf, se caracteriza pela frequência de qualquer palavra ser inversamente proporcional ao seu *Rank* na tabela de frequências, seguindo uma distribuição Zipfiana, uma distribuição da família das distribuições de probabilidade discreta *Power Law*. Na Equação 2.2, r é o *Rank* de uma palavra, $F(r)$ é a frequência de ocorrência da palavra de *Rank* r , C é uma constante de valor $C \approx 0,1$ e α é uma constante de valor $\alpha \approx 1$.

$$F(r) = \frac{C}{r^\alpha} \quad (2.2)$$

Em outras palavras, um texto em língua inglesa, por exemplo, contém poucas palavras usadas muitas vezes e muitas palavras usadas raramente [42]

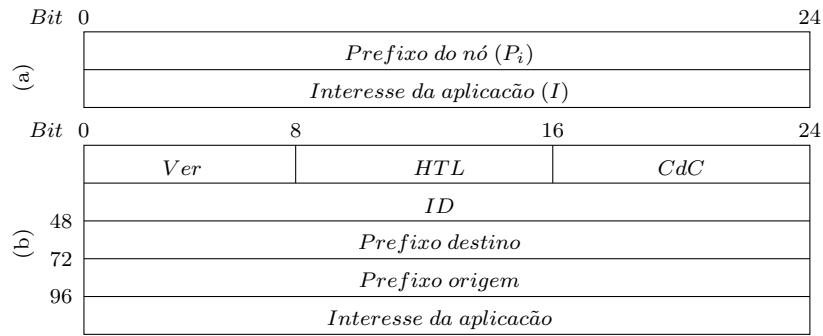


Figura 2.2: Elementos RAdnet: (a) Prefixo Ativo e (b) Cabeçalho da mensagem

inserção de qualquer termo pelo usuário, com várias possibilidades. É suposto que a escolha destes termos siga uma distribuição Zipf. Por exemplo, suponha que os usuários da rede se comportem na escolha destes termos como escolhem páginas na Internet ou filmes em uma locadora de vídeo [43]. Estas escolhas seguem a distribuição Zipf [44]. Portanto, as informações escritas nos campos do prefixo pelo usuário poderão seguir a distribuição Zipf.

Assim, a política de encaminhamento de mensagens poderá utilizar as duas partes do prefixo diferentemente. A parte que segue a distribuição Normal permitirá a Formação da Rede, criando caminhos por onde a mensagem possa ser encaminhada, e a Interação entre os usuários, enquanto a parte que segue a distribuição Zipf permitirá que a mensagem seja aceita pela aplicação e apresentada para o usuário, formando grupos de interesse.

É possível notar que a construção do cabeçalho da mensagem, utilizando estes dois elementos do Prefixo Ativo, o encaminhamento probabilístico com n variáveis e o conteúdo de interesse, permite a implementação de diferentes redes. Uma rede ingênua pode utilizar apenas o Prefixo Ativo do nó no cabeçalho, sem identificação de origem e destino, permitindo a esta rede uma comunicação sem destinatário como originalmente proposto no modelo Pub/Sub. Na implementação da RAdnet, optou-se por utilizar a estrutura apresentada na Figura 2.2 (b) em que é possível estabelecer um destinatário para a mensagem. Na Figura 2.2 (a) o Prefixo Ativo é composto do prefixo do nó (P_i) e um interesse da aplicação (I) que cada aplicação usa como seu interesse atual (vários interesses podem ser usados pela mesma aplicação). Figure 2.2 (b) mostra o cabeçalho de uma mensagem RAdnet, que contém a versão do protocolo (*Ver*), o número de saltos da mensagem (*HTL*), o comprimento do cabeçalho (*CdC*), o identificador de mensagem (*ID*), dois prefixos que identificam os nós origem e destino associados (*Prefixo origem*, *Prefixo destino*), e um campo de interesse da aplicação (*Interesse da aplicação*).

Por melhor leitura do texto, utilizaremos PA para Prefixo Ativo, P para o prefixo e I para o interesse e a notação $PA = [P, I]$, lembrando que P e I podem possuir

vários campos, cada campo com número de bits distinto um do outro.

O objetivo no desenvolvimento deste cabeçalho foi usar o protocolo de comunicação REP em dois modos: em grupo, um-para-muitos, e endereçado, fim-a-fim. A comunicação em grupo é obtida pelo *broadcast* inerente às redes sem fio associado com o encaminhamento probabilístico, enquanto a comunicação endereçada é obtida pelo cabeçalho da mensagem estar associado com o prefixo do nó destino e o interesse. Ao primeiro modo utilizou-se o mesmo nome do protocolo (REP) devido ao grupo ser o modo natural de comunicação e ao segundo modo, comunicação endereçada (REP_end).

O número de campos no prefixo permite que a rede se conecte completamente ou não. Por exemplo, utilizar somente dois campos no prefixo que sejam binários permitirá uma rede em que todos os nós terão duas possibilidades de endereços e duas possibilidades de interesses. Por outro lado, utilizar um prefixo complexo, com vários campos, poderá impedir, por um lado, que ocorram duplicatas de endereços e por outro, que dois nós tenham um mesmo interesse, impedindo a comunicação. O projeto do prefixo de forma a obter as melhores combinações de probabilidades obtidas pelo uso de campos e bits para que o encaminhamento de mensagens seja o menor possível atingindo todos os nós e o endereçamento mais adequado para um número de nós em uma região é uma área de pesquisa em aberto.

2.2.4 Formação do Endereçamento

O prefixo P e o interesse I permitem uma probabilidade de identificação para cada nó, dada pelo prefixo ativo $PA[P, I]$. Como exemplo, supondo oito campos em P , três bits por campo, e um campo em I , de 32 bits, tem-se que a probabilidade de ocorrência de endereços duplicados, $Pr_{PA[P, I]}$ é dada por:

$$Pr_{P_1} = 1/8 \quad (2.3)$$

$$Pr_{P_8} = \prod_{k=8} 1/8^k \cong 6 \times 10^{-8} \quad (2.4)$$

$$Pr_{I_1} = 1/32 \quad (2.5)$$

$$Pr_{PA[P, I]} = Pr_{P_8} * Pr_{I_1} \cong 1,8 \times 10^{-9} \quad (2.6)$$

Desta forma, tem-se uma probabilidade de $\approx 10^{-9}$ para ocorrência de dois endereços iguais. O uso de um interesse em cada mensagem, identificando o “payload” desta mensagem a um interesse específico, permite atribuir um endereço diferente para cada interesse para um mesmo nó, diminuindo ainda mais a probabilidade de ocorrência de endereços iguais no sistema. Nesta tese, o interesse não é utilizado como parte do endereço, apenas o prefixo P , e, portanto a probabilidade de

ocorrência de endereços duplicados é $\approx 10^{-8}$. É necessário que o sistema possua um número de nós apropriado para que a probabilidade de ocorrência de endereços iguais seja pequena. Utilizar um interesse em cada mensagem é uma mera decisão de implementação, pois é possível utilizar mais de um interesse na mensagem, bastando apenas acrescentar à mensagem indicadores relacionando o conteúdo aos interesses respectivos. Quanto mais campos o Prefixo Ativo contiver, menor seria a probabilidade de ocorrência de endereços iguais.

Resultados preliminares indicaram que, para a formação de P , a melhor escolha de campos é oito e de bits é três, devido a este par campo-bit proporcionar um menor número de mensagens encaminhadas, atingindo quase totalmente os nós dispostos na região. Desta forma, utilizamos C_n como oito variáveis aleatórias contínuas (p.ex., peso, altura, etc.), $P[C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8]$ onde cada variável foi discretizada dividindo os valores contínuos em oito faixas, representadas por três bits, ou seja, oito escolhas com valores aleatórios discretos D_n possíveis tornando o prefixo um conjunto de oito variáveis aleatórias discretas $P(D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6, D_7, D_8)$. A Tabela 2.1 apresenta um exemplo de discretização.

Tabela 2.1: Exemplo de discretização para C_1 e C_2 de P

C_1 (peso (kg))	D_1 (bit)	C_2 (altura (cm))	D_2 (bit)
$15 \leq C_1 < 30$	000	$100 \leq C_2 < 130$	000
$30 \leq C_1 < 50$	001	$130 \leq C_2 < 150$	001
$50 \leq C_1 < 60$	010	$150 \leq C_2 < 160$	010
$60 \leq C_1 < 70$	011	$160 \leq C_2 < 170$	011
$70 \leq C_1 < 80$	100	$170 \leq C_2 < 180$	100
$80 \leq C_1 < 90$	101	$180 \leq C_2 < 190$	101
$90 \leq C_1 < 100$	110	$190 \leq C_2 < 200$	110
$C_1 > 100$	111	$C_2 > 200$	111

Para cada valor aleatório discreto foi atribuída uma probabilidade de acordo com uma distribuição. Nesta tese utilizou-se duas distribuições, uniforme e aproximada normal para avaliar o impacto da distribuição de probabilidade na formação dos pares campo-bit no prefixo P . No caso da distribuição uniforme, os oito valores possuem a mesma probabilidade de escolha, e no caso da distribuição aproximada normal, os valores centrais possuem maior probabilidade de escolha do que os valores laterais. Por exemplo, um prefixo $P(010, 110, 010, 000, 111, 001, 110, 010)$ foi escolhido com cada variável D_n possuindo uma probabilidade de escolha $P(0, 1; 0, 2; 0, 1; 0, 05; 0, 05; 0, 1; 0, 2; 0, 1)$. Isso não significa que o campo D_1 possui uma probabilidade de encaminhamento de mensagem de 0, 1, mas que $D_1 = 010$ foi obtido com uma probabilidade de escolha $Pr_{D_1} = 0, 1$. O valor de probabilidade

de escolha do campo sendo pequeno significa uma ocorrência rara e uma baixa probabilidade de casamento com um campo $D1$ de outro nó e conseqüentemente uma menor probabilidade de encaminhamento da mensagem por este campo de P .

2.2.5 A RAdnet e as Camadas de Rede

Quanto à RAdnet, para tornar mais clara sua implementação, é ilustrativo verificar quais são as modificações nas camadas de rede de acordo com o modelo OSI/ISO que seriam necessárias:

- camada 2 (Enlace) - sendo esta camada responsável pelo acesso ao meio, seria possível utilizar a RAdnet para alterar este acesso por seleção de interesses. Para isto, seria necessário que o acesso ao meio ocorresse por interesse, por exemplo, instanciando interesses em cada canal, conseqüentemente, conectando os equipamentos por coincidência de interesses. Porém, devido aos padrões bem definidos desta camada e à necessidade de alteração do programa de controle do equipamento, optou-se por não alterar esta camada, avaliando sua influência nas camadas superiores.
- camada 3 (Rede) - o roteamento clássico de endereçamento por tabela de roteamento não existe na RAdnet. Somente existe o encaminhamento de mensagens que foi implementado, inserindo uma filtragem de casamento de prefixos e interesses (*Matching Filtering*) e um controle de interesses por aplicação. O endereçamento é alcançado por meio do Prefixo.
- camada 4 (Transporte) - para mensagens longas é necessário o controle de fluxo e ordenação dos pacotes. Para a RAdnet, optou-se por utilizar mensagens curtas como prova de conceito sendo suficiente o uso de UDP.

Essas alterações nas camadas de rede são apresentadas em um diagrama na Figura 2.3. Nessa Figura observa-se o protocolo REP, a *API*, e a aplicação CHAT. O protocolo REP, atuando na camada 3 do modelo OSI, é responsável pela interface da *API*, que engloba as camadas 4 e 5, com a camada 1 e 2. Por sua vez, uma aplicação baseada na RAdnet, que engloba as camadas 6 e 7, é responsável pela interface do usuário com a *API*.

Desta forma, devido à necessidade de alteração do transceptor de radiofrequência dos equipamentos atuais, considerou-se que a camada 2 será controlada pelo protocolo nativo do equipamento, e, portanto, a tese atuará na camada 3, encaminhamento das mensagens. Este encaminhamento e suas implicações foram examinados por meio de resultados alcançados pela implementação do protocolo REP no simulador NS-3, cujo código encontra-se disponível para uso.

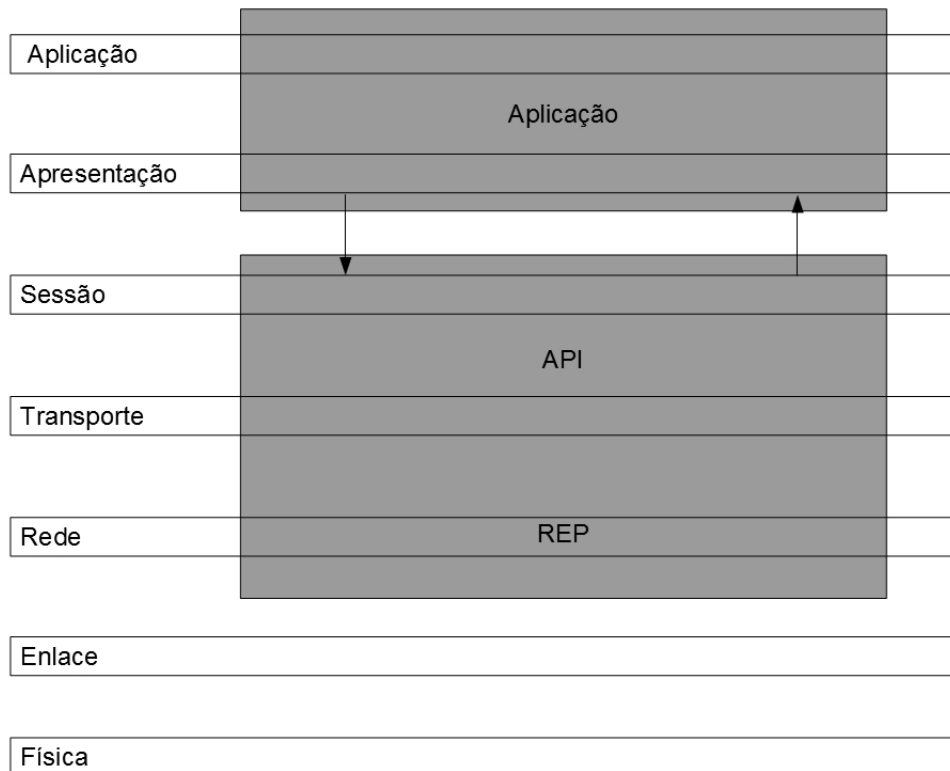


Figura 2.3: RADnet nas Camadas de Rede

É possível que seja necessário algum mecanismo de Reputação para que o usuário participe da rede, permitindo que seu equipamento encaminhe mensagens. Em um primeiro momento, o usuário talvez queira participar até de todos os interesses, porém, em algum momento, é suposto que ele não queira mais participar e inclusive desligue seu equipamento.

2.3 Exemplos Ilustrativos

Existe uma variedade de ambientes que permitem a formação de faixas, canais e prefixos. Suponha uma aplicação onde um usuário queira sintonizar as condições de tráfego de uma via expressa (p.ex., Linha Vermelha para quem sai da UFRJ). O usuário possui um equipamento sem fio com uma interface de comunicação e um protocolo (WiFi, ZigBee, Bluetooth, GPRS, etc.) e uma aplicação baseada na RADnet instalada. O usuário seleciona a Faixa “Profissional” e, nessa faixa, o Canal “UFRJ” e o *prefixo(Noticia, Trafego, Condicao)* pré-programado (utilizando um dicionário de palavras). Após alguns instantes, o usuário poderá consultar o dispositivo que já terá montado uma Tabela de Prefixos Individual (TPI), com todos os prefixos recebidos dos dispositivos que responderam com a referida tupla. Note que,

os dispositivos remotos dos outros usuários com o mesmo interesse, irão também incluir o prefixo recebido do usuário nas suas TPIs. Uma vez incluído no grupo, o referido usuário poderá trocar mais informações sobre as condições de tráfego na referida via com seus participantes, incluindo serviços de tráfego na cidade. Também, uma entidade de serviço de trânsito poderá prestar serviços para outros usuários com interesses em outras vias, sintonizando outros canais de interesse com outros atributos tais como Avenida Brasil, Avenida Presidente Vargas, Avenida Perimetral, etc. Este serviço é completamente distribuído, local e instantâneo, permitindo decisões rápidas na movimentação dos veículos pelas vias, diferentemente dos serviços centralizados.

Essa situação permite avaliar a agilidade da RAdnet em MANETs. Neste exemplo, percebe-se que as mensagens se propagam pela via expressa, de usuário a usuário, até chegar ao ponto gerador de congestionamento, e, caso um usuário neste ponto seja colaborativo, enviará uma mensagem explicando porque está engarrafado e onde está localizado o fator gerador. Utilizar bonificação nestes casos é fundamental para que o sistema funcione. Nesta situação a volatilidade e a mobilidade não são obstáculos para o funcionamento da RAdnet.

Um caso real que pode ser comparado com a RAdnet foi o uso de uma Rádio FM, feito por um radialista, durante uma inundação no Rio de Janeiro, em Janeiro de 2008. A rádio FM pedia às pessoas com celulares que enviassem informações sobre o estado das ruas em que se encontravam e as repassava ao vivo. Normalmente, eles utilizariam um helicóptero para obter essas informações, porém, devido ao clima, estes não podiam decolar. A RAdnet representa este acontecimento em que as pessoas precisavam estar sintonizadas naquela rádio FM específica para que soubessem das informações. No caso da RAdnet essa informação chegaria ao equipamento sem fio pela possibilidade de sintonia de vários canais de interesse ao mesmo tempo.

Em outro ambiente, assumo que o usuário vá a um *shopping center* comprar um *smartphone*. Nesse caso, o usuário ativará a Faixa “Pessoal”, o Canal “Compra” *prefixo(telefonia, smartphone, bluecode)*. As lojas que dispuserem de *smartphones bluecode* formarão com o usuário um grupo de interesse, que poderá interagir trocando informações sobre modelos, preços, etc.

2.3.1 Aplicação em Grupo

Como um exemplo de encaminhamento considere a tabela 2.2, referindo-se a uma situação em que é necessária a comunicação com a defesa civil (Def. Civil). Nesta tabela são apresentados na primeira coluna cinco nós $n[1, 2, 3, 4, 5]$; na segunda coluna os nós vizinhos a cada nó $(nv)^2$; na terceira coluna, os campos $P[C, O, S, M, I]$

²No contexto deste trabalho, nós vizinhos são aqueles que estão dentro do raio de alcance de potência emitida por um nó

Tabela 2.2: Tabela de encaminhamento

n	nv	P					I	Enc	End
		C	O	S	M	I	Y		
1	2	cast.	cast.	M	75	25	Def.Civil		
2	3	cast.	verde	F	65	28		V	F
3	4,5	louro	cast.	M	70	28	Def.Civil	V	V
4		louro	azul	F	65	27		F	F
5		preto	azul	F	80	40	Def.Civil	F	V

do Prefixo, respectivamente, cor do cabelo, cor do olho, sexo, massa corporal e idade; na quarta coluna o interesse ($I[Y]$); na quinta coluna se o nó encaminhou a mensagem ($Enc = V$) e na sexta coluna se o nó era destino por interesse na mensagem ($End = V$) (V significando verdadeiro e F significando Falso).

O nó origem n_1 envia mensagem para Defesa Civil (*Def. Civil*) (cujos nós n_3 e n_5 têm o mesmo interesse e são destino desta mensagem). Sendo nv os vizinhos no raio de alcance para cada nó, o nó n_2 recebe a mensagem enviada por n_1 , e encaminha a mensagem recebida de n_1 por haver casamento no primeiro campo do prefixo, o campo $C = cast.$ ($Enc = V$, na quinta coluna). O nó n_3 recebe a mensagem do nó n_2 , por ser seu vizinho, e encaminha a mensagem recebida de n_2 porque $C = cast.$, ainda, n_3 é endereço da mensagem por $Y = Def.Civil$. O nó n_4 , apesar de ser vizinho de n_3 , possui casamento dos campos falso ($Enc = F$) e, portanto, descarta a mensagem, enquanto n_5 recebe a mensagem de n_3 , por ter interesse na mensagem ($Y = Def.Civil$) e não encaminha a mensagem por não haver casamento nos campos do prefixo P .

É possível notar pela vizinhança que o nó n_3 não possui n_2 como vizinho, bem como n_2 e n_1 , ou seja, o canal de comunicação não é bidirecional, fato que pode acontecer no mundo real, devido à distribuição do sinal ser de natureza tridimensional, não onidirecional, às reflexões ocorridas nas barreiras ao sinal e à interferência no meio. Devido a este fato, caso n_5 queira enviar uma mensagem para n_1 não poderá seguir o mesmo caminho de n_1 para n_5 . É possível notar, então, que é necessário mais nós na rede para que a comunicação entre os nós destino e o nó origem ocorra, ou seja, é necessário um número mínimo de nós na rede que permita a conectividade entre os nós por diversos caminhos. Neste caso, se não houver um mecanismo de decisão de encaminhamento na rede, pode ocorrer uma inundação de mensagens, inviabilizando a comunicação, e o mecanismo de casamento de campos no prefixo foi aplicado para diminuir esta inundação.

A tabela 2.3 apresenta o encaminhamento com comunicação bidirecional entre nós vizinhos proporcionando um caminho de retorno para a mensagem. Em uma

Tabela 2.3: Exemplo de Encaminhamento por Prefixo Ativo

n	nv	P		I
		a	b	y
n_1	n_2	0010	1000	Def.Civil
n_2	n_1, n_3	0010	1010	
n_3	n_2, n_4, n_5	1100	1000	Def.Civil
n_4		1100	1110	
n_5	n_3	1111	1110	Def.Civil

implementação diferente, o prefixo P é constituído por dois campos de quatro bits cada, apresentando de forma binária, p.ex., o campo massa corporal (M) e o campo idade (I). Na primeira coluna estão definidos os nós n , na segunda coluna os nós vizinhos nv , na terceira coluna, o prefixo P e na quarta coluna o interesse I . Este encaminhamento está apresentado graficamente nas Figuras 2.4, 2.5, 2.6 e 2.7.

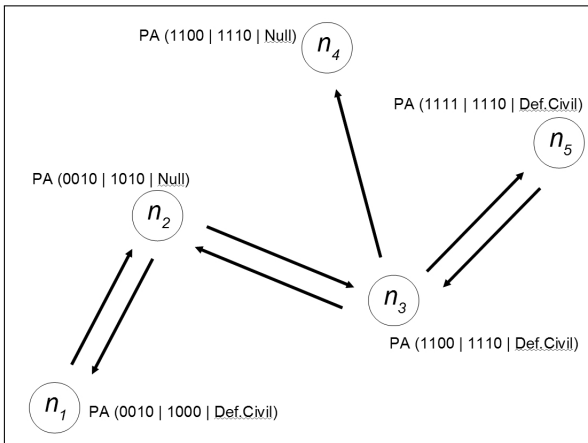


Figura 2.4: Prefixos Ativos dos nós e Vizinhaça

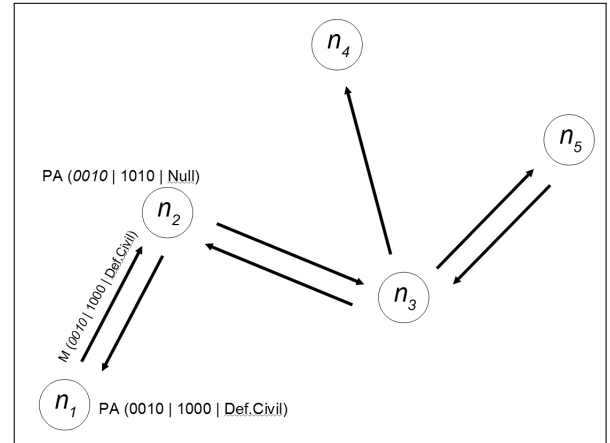


Figura 2.5: Nó n_1 gerando mensagem com PA(0010 | 1000 | Def.Civil)

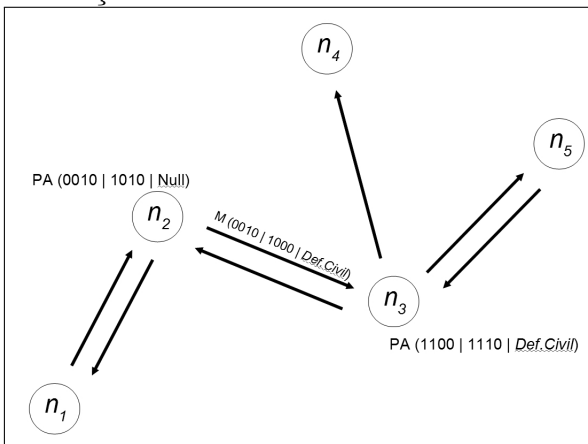


Figura 2.6: Nó n_2 encaminhando mensagem por casamento de PA(0010)

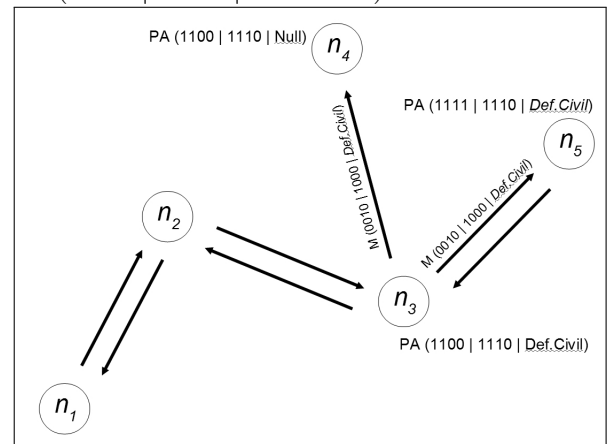


Figura 2.7: Nó n_3 encaminhando mensagem por casamento de PA (Def.Civil)

2.3.2 Aplicação P2P

Uma RAdnet pode ser aplicada aos serviços existentes na Internet, como por exemplo na descoberta de serviços ou no acesso a uma página conforme o exemplo a seguir: considere uma RAdnet com múltiplos nós dos quais dois nós A e B executam uma aplicação de compartilhamento de arquivo par a par (P2P) como Gnutella e geram prefixos de 24-bit (8 campos de 3 bits) $P_A = (7, 3, 6, 2, 0, 1, 0, 0)$ e $P_B = (0, 5, 3, 2, 6, 0, 1, 1)$ que correspondem aos identificadores $A = 73620100$ e $B = 05326011$. Neste caso, ambos A e B têm o mesmo interesse $I_A = I_B = |Gnutella|filedescriptor|$.

Assuma, ainda, que o usuário A pergunta por *filex*. A aplicação Gnutella configurará seu interesse *filex*, que o protocolo REP usa para difundir a mensagem $null|73620100|Gnutella|filex$. Ao receber a mensagem, o nó B transferirá a mensagem para a aplicação Gnutella porque $I_A = I_B$. Também, o nó B encaminhará a mensagem para seus vizinhos porque P_A casa com P_B no valor do quarto campo (2). Neste caso do nó B ter *filex* este pode enviar o arquivo para A também por difusão da mensagem $null|05326011|Gnutella|filex|filexpayload$ ou diretamente para A usando a mensagem $73620100|05326011|Gnutella|filex|filexpayload$ com P_A no lugar de $null$.

A Tabela 2.4 apresenta a comparação entre funções necessárias pela implementação baseada em IP e pela RAdnet de uma aplicação Gnutella em MANETs. Pela tabela verifica-se que a RAdnet requer apenas duas funções, i.e., *search* (interesse) e *reply* (prefixo) em comparação às quatro principais funções em uma implementação IP (*ping*, *pong*, *query*, e *queryHit*); desta forma, RAdnet diminui o número de funções e dá suporte mais natural às aplicações P2P em MANETs.

Tabela 2.4: Gnutella em MANETs: IP versus RAdnet implementações

Gnutella	Função	RAdnet
Ping	descoberta de nós	opcional
Pong	resposta ao Ping	opcional
Query	mecanismo para busca	Interesse
QueryHit	resposta ao Query	Prefixo
Push	mecanismo de <i>bypass</i> do <i>firewall</i>	opcional
Bye	mensagem opcional	opcional

Note que o uso do interesse (p. ex., $Gnutella|filedescriptor$) permite a uma aplicação executando em um nó identificar diretamente as instâncias da mesma aplicação em outros nós onde o dado da mensagem (*filex payload*) serve para compartilhar informação entre as instâncias da aplicação. Outras classes de aplicação que podem se beneficiar da RAdnet incluem necessidades sociais jogos e emergência.

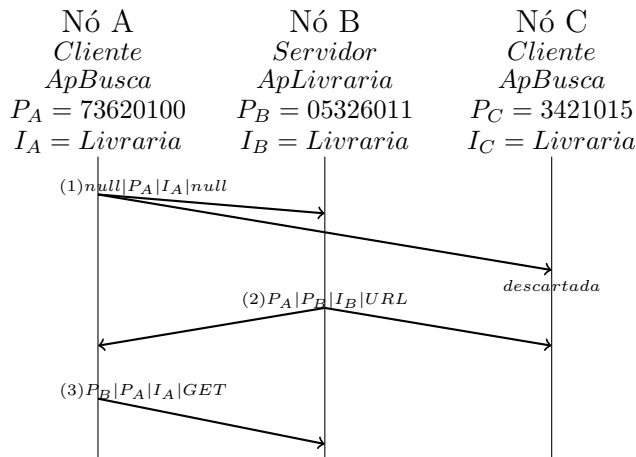


Figura 2.8: Um exemplo básico de aplicação Cliente / Servidor em RAdnets

2.3.3 Aplicação Cliente/Servidor

RAdnets também podem ser usadas com aplicações TCP/IP como ilustra a Figura 2.8. Nessa figura, os nós *A* e *C* são clientes que desejam se conectar com Livraria Digital, e o nó *B* é o servidor Livraria Digital, executando a aplicação (*ApLivraria*) com o interesse configurado como Livraria Digital. A RAdnet nos nós *A*, *B*, and *C* geram os prefixos correspondentes P_A , P_B , e P_C , respectivamente. Supondo que um usuário com o nó *A* execute uma aplicação de busca (*ApBusca*) perguntando por Livraria Digital, que gera uma mensagem de difusão configurada com o interesse ($I_A = Livraria$).

A RAdnet em *A* constrói o cabeçalho de mensagem com prefixo origem como P_A , o prefixo destino como *null*, interesse como $I_A = Livraria$, e dado nulo como *null*. No próximo passo, o protocolo envia a mensagem ((1) na figura). O nó *C* recebeu e descartou a mensagem porque P_C não faz casamento com o prefixo origem da mensagem (P_A). A aplicação executando em *C* recebe a mensagem ($I_A = I_C$) e a descarta porque a mensagem é de uma outra aplicação cliente. Quando o nó *B* recebe esta mensagem, este verifica o campo de interesse e envia uma mensagem de retorno com seu prefixo (2) e o campo de interesse ($I_B = Livraria$) configurado. Ainda, o dado da mensagem conterà a URL que o nó *A* usará para estabelecer uma conexão usando o protocolo apropriado baseado em IP, ou seja, o protocolo HTTP.

O nó *A* transferirá a mensagem recebida do nó *B* para a aplicação *ApBusca*, que armazena localmente o prefixo de *B* (P_B) e envia a URL para a camada superior na qual o protocolo HTTP está. Após, a próxima mensagem do protocolo HTTP conterà o método GET e o endereço URL da página requisitada ao servidor, p.ex., *GET /Livraria/index.html*. A RAdnet construirá a mensagem (3) com $P_B|P_A|I_A|GET /Livraria/index.html$ que é enviada para o nó *B* usando P_B . Os nós *B* e *A* continuarão a se comunicar usando o protocolo HTTP, que será execu-

tado sem alteração dos métodos e o nó A pode receber a página do servidor Livraria Digital por meio do protocolo HTTP superposto à RAdnet.

A segurança dos dados nas mensagens com PA pode ser obtida pelo uso de chaves criptográficas ou senhas. Por exemplo, uma determinada aplicação para RAdnet pode usar chaves assimétricas para criptografar o dado da mensagem e incluir a chave pública destino em um campo de Interesse I , e um nó destino pode descriptografar o dado da mensagem com a chave privada. Uma RAdnet deveria fornecer suporte para múltiplos campos de interesse com tamanhos maiores para este tipo de aplicação. Ainda, o uso de um prefixo aleatório pode diminuir a possibilidade de descoberta do endereço da máquina, aumentando a segurança da rede local, diferentemente do que ocorre no protocolo IP hierárquico.

2.4 Algoritmo do Protocolo REP para RAdnet

O algoritmo de comunicação e encaminhamento do protocolo REP utiliza a filtragem por termos baseada em conteúdo para encaminhamento. Cada mensagem contém o cabeçalho contendo o Prefixo Ativo: n campos de identificação e um campo de informação (Interesse).

O algoritmo para encaminhamento de mensagens é apresentado no Algoritmo 1, onde Número de saltos (HTL) representa por quantos equipamentos a mensagem já foi encaminhada, ($Hop-To-Live$), $maxHTL$ é o valor máximo de saltos até a mensagem ser descartada, ID da mensagem (ID) é a identificação única de cada mensagem, Prefixo destino (P_j) é o prefixo do nó destino (j) da mensagem, $NULL$ é o endereço de *broadcast*, significando que qualquer nó pode ser destino da mensagem, Prefixo origem (P_i) é o prefixo do nó origem (i) da mensagem e Interesse da aplicação (I) é o interesse com o qual a aplicação foi configurada.

O algoritmo “Filtro de Casamento” tem a função principal de decidir o destino da mensagem: encaminhamento para outro nó ou descarte, e encaminhamento para a aplicação. Inicialmente o nó configura os campos do cabeçalho da mensagem com o número de saltos máximo ($maxHTL$), o identificador da mensagem (ID) para evitar transmissões duplicadas das mensagens, o prefixo destino (P_j) para onde a mensagem será enviada (se o valor deste campo for $NULL$, qualquer nó é o destino), o prefixo origem (P_i) do nó gerador da mensagem e o interesse da aplicação (I). Esta mensagem é transmitida por *broadcast* e os nós dentro do alcance de radiofrequência (*vizinho*) receberão esta mensagem. Na recepção da mensagem o nó i , verifica se esta mensagem não foi recebida anteriormente pela comparação do ID com uma tabela de IDs ($tabelaID$) armazenada localmente, se sim, armazena este ID na tabela. Após, verifica se existe um campo (n) do prefixo na mensagem recebida (P_j) que casa com qualquer campo do prefixo do nó receptor, se sim, decrementa o

Algoritmo 1: Filtro de Casamento

Ao enviar $Mensagem(HTL, ID, NULL, P_i, I)$;
→ Programa $HTL = maxHTL, ID = ID_i, P_j = NULL, P_i = P_i, I = I$;

Ao receber $Mensagem(HTL, ID, NULL, P_j, I)$ **de qualquer nó** j ;
→ Se $ID \notin tabelaID$;
→→ Inclui ID em tabelaID;
→ Se $\exists n : P_j(n) = P_i(n)$;
→→ $HTL = HTL - 1$;
→→ Se $HTL \neq 0$;

→→→ envia $Mensagem(HTL, ID, NULL, P_j, I) \forall vizinho$;

→→ Senão Descarta $Mensagem(HTL, ID, NULL, P_j, I)$;

→ Se $(P_j = NULL \vee P_j = P_i) \wedge I \equiv tabelaI$;
→→ envia $Mensagem(HTL, ID, NULL, P_j, I)$ para aplicação;

número de saltos HTL e verifica se é diferente de zero. Esta sequência atendida, a mensagem será encaminhada, caso contrário, se qualquer das condições não forem atendidas: mensagem já encaminhada, não ocorre casamento do prefixo ou HTL nulo, a mensagem será descartada.

Além de encaminhar para outro nó ou descartar a mensagem, o algoritmo também tem a função de encaminhar a mensagem para a camada de aplicação. Este evento ocorre quando o prefixo destino da mensagem (P_j) tem valor $NULL$ ou é igual ao prefixo do nó receptor, sendo este o nó destino da mensagem. Por fim, é verificado se existe o interesse (I) na tabela de interesses das aplicações ($tabelaI$) para encaminhamento da mensagem para a aplicação destino.

O HTL foi incluído com o objetivo de limitar o alcance das mensagens impedindo que esta se propague indefinidamente por múltiplos saltos na rede. Ainda, o algoritmo termina quando o valor de HTL da mensagem for igual a zero. O ID foi incluído devido à possibilidade de repetição da mensagem pelos nós gerando réplicas sem necessidade e aumentando o custo de mensagens na rede e a interferência. Inicialmente foi avaliado o uso de memória para armazenar as mensagens, conteúdo inclusive, porém, duas mensagens com mesmo conteúdo não poderiam ser encaminhadas, gerando falha na comunicação sem a aplicação perceber. Avaliou-se ainda, o uso da mesma memória, porém, usando um tempo em que as mensagens eram armazenadas, porém, os relógios dos equipamentos não tem garantia de sincronismo, e podem ocorrer duplicatas, e o tamanho da rede pode exigir um tempo maior do que a aplicação necessita, retornando ao problema de mensagens não enviadas sem conhecimento da aplicação.

Em [45] encontra-se um estudo de *hops* para redes P2P cabeadas utilizando tabelas *Hash* do conteúdo para encaminhamento das mensagens, mostrando que o número de *hops* não aumenta com o aumento do número de nós, e o valor de *hops* suficiente para entrega das mensagens encontra-se entre 4 e 5 *hops* para 2^{10} (1024) nós.

No caso da RAdnet, uma rede sem fio, não se pode afirmar que estes valores entre 4 e 5 são os ideais, devido a terem sido obtidos em redes cabeadas, em situação diversa da RAdnet, porém estes valores podem ser utilizados como base e, assim, definiu-se $HLL = 10$ (embora exista uma suposição de que este valor seja alto para redes sem fio, devido à possibilidade de múltiplos percursos serem gerados). Este valor será utilizado e avaliado na simulação e no experimento.

Capítulo 3

Trabalhos Relacionados

3.1 Introdução

O escopo desta tese está restrito a redes sem fio e um dos desafios encontrados foi o grande número de conferências a elas relacionadas, onde a nomenclatura utilizada não segue regras rígidas, tornando mais complexa a tarefa de revisão bibliográfica.

Com a nomenclatura ampla e diversa, houve a necessidade de compreender e organizar os vários nomes dados às redes sem fio e aos serviços, modelos e arquiteturas propostas, e assim procedeu-se.

Desta forma, os trabalhos foram organizados em trabalhos relacionados com o Tipo de Rede: Redes em Malha, de Sensores Sem Fio, Ad hoc, Móveis, Sem Fio, de Múltiplos Saltos e Par-a-Par (P2P); e trabalhos relacionados com o Tipo de Serviço: Serviços de Rede, onde estão classificadas as Redes Ubíquas, Pervasivas, Cooperativas, Tolerantes a Atraso/Interrupção, Oportunísticas; e Serviços aplicados ao Contexto Social, onde estão as Redes Espontâneas, Sociais e Colaborativas. Ao final de cada tipo, são feitas considerações sobre a RADnet. Na seção 3.4, são apresentados os principais trabalhos mais próximos ao assunto da tese. Nestes, encontra-se o Projeto PROEM, que apresenta o conceito de perfil do usuário, a Difusão Dirigida, que gera um gradiente de informação em Redes Ad hoc e Redes Orientadas a Conteúdo e Sociais.

3.2 Taxonomia

Nesta seção, os trabalhos foram classificados em um dos três tipos: de Rede, de Serviço e de Contexto Social. Os trabalhos referentes ao Tipo de Rede serão apresentados a seguir. Após, os referentes ao Tipo de Serviço e aos de Contexto Social

3.2.1 Tipos de Rede

Quanto ao Tipo de Rede são definidas a seguir, de acordo com a literatura.

- Redes de Malha [6] são divididas em dois grupos de equipamentos, classificados como Grupo Roteador e Grupo Cliente. O Grupo Roteador possui mínima mobilidade e forma um *backbone* de comunicação com o Grupo Cliente e com redes convencionais. O Grupo Cliente pode ser estacionário ou móvel e faz conexões entre si ou/e com o Grupo Roteador. Ainda, os autores supõem que a Rede de Malha melhorará a performance de Redes Ad hoc, *Wireless Local Area Networks* (WLANs) e *Wireless Personal Area Networks* (WPANs).
- Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) [46] são definidas como um grande número de equipamentos compostos de meios de sensoriamento, meios de comunicação, meios de armazenamento, meios de fornecer energia e meios de processamento. Um equipamento, chamado *Sink*, interconecta a rede de sensores às redes convencionais, sem limitação de energia, comunicação, armazenamento ou processamento.
- Redes Ad hoc são definidas [47], [48], [49] como um grupo de equipamentos que se conectam e executam um determinado serviço por um período de tempo. Caso estes equipamentos se comuniquem por radiofrequência e se locomovam, tem-se uma rede sem fio móvel ad hoc (*Mobile Wireless Ad Hoc Network* - MANET). Ainda, de acordo com [31], MANET é uma rede P2P com dezenas ou centenas de milhares de nós se comunicando em regiões cujos raios têm comprimento de centenas de metros. Cada nó tem capacidade de processamento e comunicação por radiofrequência e são completamente móveis. O objetivo das MANETs é formar e manter uma Rede Multihop conectada capaz de transportar tráfego entre os nós. Essas redes têm as características de: mobilidade, múltiplos saltos, auto-organização, economia de energia e escalabilidade.
- Redes Móveis é um termo genérico para redes em que os equipamentos alteram suas posições geográficas uns em relação aos outros e em relação à sua posição anterior [49], enquanto Redes Sem Fio é um termo genérico para redes em que os equipamentos se comunicam por meio de ondas eletromagnéticas pelo ar. De acordo com [50] a rede sem fio engloba dois exemplos: Redes Ad hoc e Redes de Múltiplos Saltos.
- Redes de Múltiplos Saltos são definidas [51], [47], [52] como redes que podem encaminhar ou rotear mensagens de um nó a outro por meio de outros nós intermediários. Para cada nó que pode encaminhar ou rotear a mensagem,

é dito que a mensagem passou por um *hop*, um salto. O termo *hop* encontra correspondência em redes cabeadas devido aos roteadores e à arquitetura cliente / servidor, porém, em redes sem fio, este termo é aplicado devido ao alcance dos rádios ser limitado a uma região de raio R e suas antenas serem onidirecionais¹, diminuindo a probabilidade de existirem caminhos de todos os nós para todos os nós [47]. Assim, cada nó envia mensagens aos seus vizinhos que são responsáveis por propagar essas mensagens até o destino. Um dos problemas encontrados em Redes de Múltiplos Saltos é como definir o caminho de propagação da mensagem até o destino, pois a rede é volátil e móvel, implicando em caminhos diferentes a cada envio de mensagem. Ainda, como ordenar as mensagens na chegada ao destino, e por fim, caso algum pacote seja perdido, ter conhecimento dessa perda e, se necessário, recuperá-lo.

- Redes Par-a-Par (P2P) são redes distribuídas, sem qualquer controle centralizado ou hierarquizado, e os programas executando em cada nó são equivalentes em funcionalidade [55]. Porém, em [56] vê-se a necessidade de criação de um *Super-Peer* gerando uma organização hierárquica no sistema, proporcionando melhoria no tráfego das redes atuais, prejudicado pelo número crescente de nós. O conceito atribuído às redes P2P é abrangente e engloba redes com fio, sendo um dos desafios dessas redes cabeadas P2P, o *multicast*, o envio de informação de um para muitos nós. Em [57], [58] vários trabalhos envolvendo P2P são discutidos e classificados de acordo com as suas características: escalabilidade, gerenciamento e técnicas de construção de *overlay networks*.

Considerações sobre RAdnets

De acordo com os tipos de rede descritos, Redes Ad hoc centradas em interesses - RAdnets, são bem adaptadas às redes sem fio móveis Ad Hoc (MANETs), devido a não haver hierarquia entre os nós, inclusive a possibilidade dos nós não serem identificados, tornando a rede anônima. Ainda, a RAdnet aceita mobilidade devido à redundância das mensagens. Assim, as duas características de MANETs, volatilidade e mobilidade, são respeitadas. No caso da RAdnet, essa mobilidade é assumida ser discreta, ou seja, o nó está conectado ou não à rede, devido ao serviço não exigir mobilidade contínua, como proposto em [59] em que os autores definem e utilizam as Redes de Vizinhança como modelo de redes dinâmicas, contínuas no tempo, aplicado ao problema de transmissão de voz. O problema de mobilidade aplicado às redes MANETs é discutido em [60], onde é apresentado um experimento para captura de dados reais de mobilidade com o objetivo de obter conhecimentos

¹Embora em [53], [54] sejam discutidos os erros comuns no estudo da propagação de radio-freqüência, esta tese se limitará ao uso da propagação onidirecional

mais precisos sobre o movimento de equipamentos. Ainda, em [61], o mesmo grupo propõe um novo modelo de mobilidade markoviano.

A Figura 3.1 é um grafo de arestas $A_{nm}(x)$ e vértices V_i , onde esses representam nós da rede ou equipamentos, e aquelas representam as conexões físicas entre estes equipamentos.

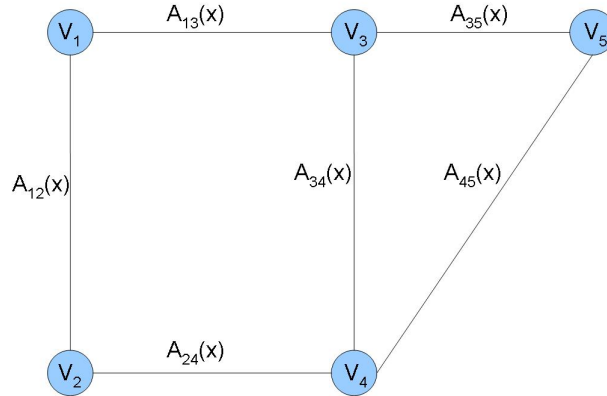


Figura 3.1: Grafo Modelo

Este grafo pode representar a característica de mobilidade discutida no parágrafo anterior se as arestas assumem valores discretos 0 ou 1, de acordo com a posição do equipamento (0 se equipamento estiver fora do alcance de radiofrequência de qualquer nó, 1 se não), ou do desejo de participação do usuário (0 se equipamento desligado, 1 se não).

Para o problema proposto, não importa se o nó se locomove para outra região dentro da rede, ou seja, os vértices são trocados porém as conexões continuam existindo com outros vértices (como pode ser visto na troca do vértice V_5 pelo vértice V_2 na Figura 3.2). Neste caso, esta tese considera que os nós estão conectados. Essa característica é assumida devido ao fato da rede ter grande densidade de nós por área (é assumido que uma alta densidade, no caso estudado, é um nó por $400 m^2$), permitindo que este nó seja substituído por outro também móvel; e devido ao fato dos nós não precisarem ser identificados.

Naturalmente, se a densidade de nós na rede for pequena, esparsa, ou houver identificação única, essa característica não poderá ser utilizada e outro mecanismo deverá substituí-la.

Uma outra característica da RAdnet é utilizar o *multihop* para a propagação das mensagens. O uso do *multihop* implica em vários problemas, um deles é a perda de pacotes pela falha de alguns nós, ou por ausência de vizinhos. No caso da RAdnet, o problema de perda de pacotes não é crucial devido à rede não possuir garantia de entrega da mensagem. Um outro fato é que os interesses distribuídos pela rede

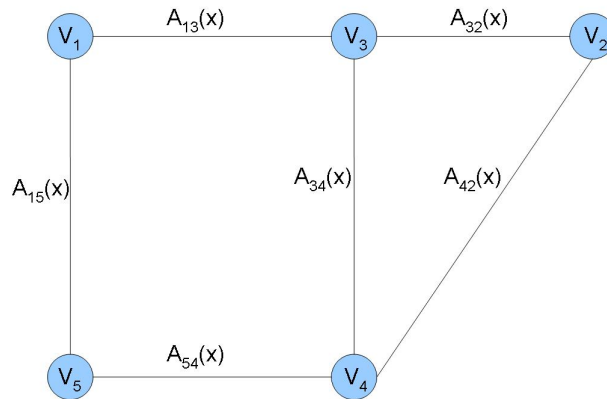


Figura 3.2: Grafo Modelo Troca de Vértices por Mobilidade

por meio das mensagens contendo os interesses permitem a comunicação por grupo quando nós possuem o mesmo interesse do contido nas mensagens.

3.2.2 Tipos de Serviço

Apresentados os trabalhos referentes ao Tipo de Rede e definida a proposta com relação a eles, serão descritos a seguir, os classificados como Tipo de Serviço. Assim, com relação aos usos dessas redes, pode-se dividi-los por necessidades da rede em si, devido às limitações de equipamentos, recursos, etc., e por Contexto Social, ao utilizar as facilidades da rede pelos seus atributos.

Serviço da Rede

- Serviço Ubíquo - De acordo com [62], [63], [64], um sistema computacional que utiliza um serviço ubíquo objetiva usar esta tecnologia para monitorar, controlar e interagir com um número de diferentes componentes em um ambiente inteligente, abrangendo equipamentos pessoais, controle ambiental e pessoas.
- Serviço Pervasivo - descendente direto do serviço de Computação Ubíquo [65] é caracterizado por um ambiente saturado com computação e comunicação, de tal forma integrado com os usuários e o próprio ambiente, que estes não percebem a presença da tecnologia, e essa “desaparece” do ambiente. A computação móvel e o sistema distribuído compõem o sistema pervasivo sem as quais este se torna um sistema sem fio normal, como pode ser observado na Figura 3.3.
- Serviço Cooperativo - é um atributo inerente às MANETs [66], [6], [46], se caracterizando-se por nós em uma rede cooperarem com seus vizinhos com

algum objetivo de acordo com algum protocolo. Por exemplo, os nós podem cooperar para distribuir o uso de energia por todos, sem prejudicar um determinado nó (*Energy-aware Protocol*) [67].

- Serviço Tolerante a Atraso/Interrupção (DTN) - foi proposto por [68], [69] e aperfeiçoado por [70] como uma rede de Internets em escala interplanetária, em que perturbações podem ocorrer entre as comunicações. Essas perturbações foram tratadas utilizando o mecanismo de *store-and-forward*, para entregar as mensagens. Protocolos de feixe (*Bundle Protocols*) [71] foram propostos englobando *store-and-forward*, permitindo que feixes de dados, com consistência semântica entre si, sejam entregues corretamente mesmo em caso de perturbação da rede. Um artigo [72] reúne alguns problemas relacionados às redes intermitentes e às redes DTN ad hoc.
- Serviço Oportunístico - alguns autores [73] incluem as redes que utilizam serviços oportunistas como uma subclasse das redes que utilizam serviços tolerantes à falha ou perturbação (DTNs), e a definem como uma rede em que os nós aguardam uma “oportunidade” para se comunicar com seus “contatos”. Esses contatos podem ter um comportamento completamente aleatório. Outros autores [74] desacoplam as redes oportunísticas das DTNs, situando-as nas redes conectadas intermitentemente, e discutem os problemas inerentes a essas redes de forma probabilística. Outros autores [75], já incluem essas redes nas redes de característica epidêmica, em que as conexões são feitas por “contatos” eventuais, como nas epidemias humanas. E outros ainda [76], propõem análises adaptativas para essas redes.

Considerações sobre RAdnets

Nesta tese, a RAdnet será considerada como uma rede intermitente, e não como uma rede DTN, por ser esta uma rede com características bem definidas e aplicada a sistemas interplanetários, conforme definição anterior.

Um outro fator é que DTNs são redes assíncronas que possuem armazenamento das mensagens para entrega posterior, enquanto a RAdnet é uma rede assíncrona que não armazena as mensagens. Isto porque quando uma mensagem é perdida na RAdnet, não existe na memória dos equipamentos essa mensagem para re-envio, porém, existe a informação sendo propagada pela rede por outros nós e essa mensagem poderá alcançar ou não o nó requisitante da informação por outro caminho ou por redundância das mensagens encaminhadas.

Além disso, esta rede é cooperativa, porque as mensagens são encaminhadas, com cooperação entre os nós para a comunicação ser efetuada.

Serviços aplicados ao Contexto Social

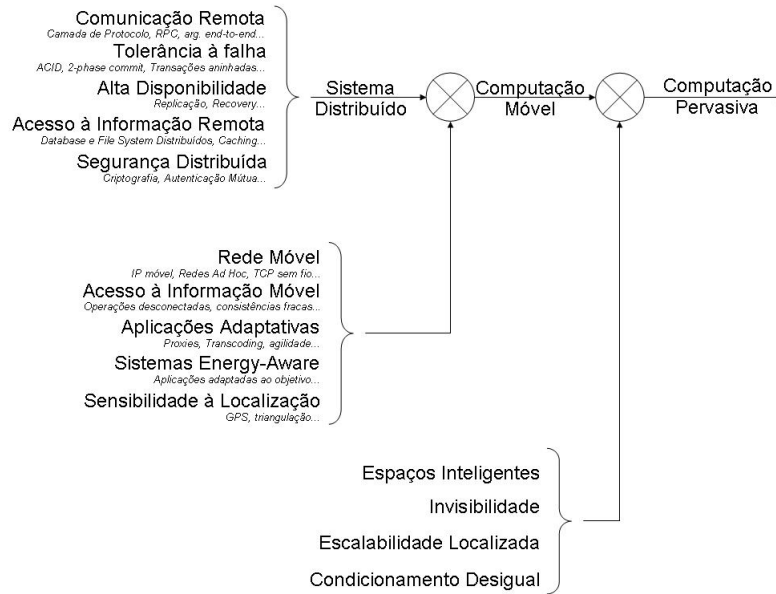


Figura 3.3: Taxonomia de Problemas de Pesquisa em Computação Pervasiva
(Fonte: adaptado de [65])

Com relação ao uso das redes, a seguir são descritas as redes de acordo com o contexto social. As classificações foram feitas de acordo com as facilidades proporcionadas pelas redes para o indivíduo:

- Redes Espontâneas - o termo espontâneo foi introduzido por [77] em 2001 como uma rede criada quando um grupo de pessoas se reúne para alguma atividade colaborativa. Assim, os autores incluem o fator humano, suas interações e desejos, em associação com as atividades do grupo, para estabelecer um serviço básico. Ainda, em [78] é proposta uma aplicação que promove uma colaboração espontânea em redes móveis sem fio.
- Redes Sociais - o termo *social* aplicado às redes se refere às relações entre indivíduos serem modeladas por um grafo, em que os vértices são as pessoas ou objetos que as representem, e as arestas, são os meios como elas se relacionam [79], [80], [81], [32], [82], [83], [84], [85], [86], [87]. Em um exemplo típico, tem-se um arranjo produtivo local em Silva Jardim, onde os vértices são as empresas, e as arestas são as comunicações financeiras entre essas empresas. Essa modelagem permite avaliar qual empresa é mais participativa em relação às outras, e qual empresa apenas usa o sistema, sem devolver recursos [88]. Com as redes sem fio móveis permitindo um equipamento para cada pessoa/empresa, um grafo representativo da rede social pode ser modelado e

aplicado nesses equipamentos, reproduzindo as conexões de cada equipamento como as conexões de cada pessoa/empresa.

- **Redes Colaborativas** - As redes colaborativas, como no contexto de redes sociais, são redes independentes que utilizam algum recurso permitindo a uma interface conectá-las em uma colaboração [78]. Essa colaboração, normalmente, é pelos recursos da rede (como, por exemplo, no caso de uma computação de grade [89]), ou, de uma forma mais abrangente, por recursos humanos (como no caso de redes de colaboração científica [90]).

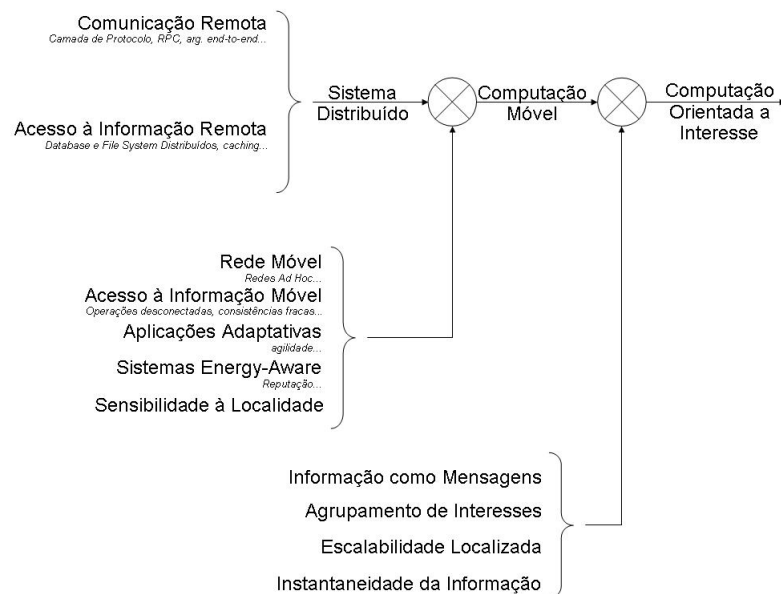


Figura 3.4: Taxonomia de Problemas de Pesquisa em Computação Orientada a Interesses

(Fonte: adaptado de [65])

Considerações sobre RAdnets

Assumi-se, então, que a RAdnet possui características de rede oportunística, espontânea e colaborativa, dependendo da aplicação programada.

Na Figura 3.4 observam-se algumas modificações baseadas na Figura 3.3 que representa a taxonomia de problemas de pesquisa para a RAdnet.

Definida a nomenclatura e inserida a RAdnet nas várias classificações, esta foi comparada com alguns trabalhos considerados pioneiros e relevantes.

3.3 Modelo Publicador/Subscritor

Basicamente, Publicador/Subscritor (Pub/Sub) permite a um assinante do serviço (Subscritor) registrar seus interesses utilizando predicados em um servidor centralizado [3] ou em um sistema descentralizado utilizando servidores *proxy* [14], dependendo do sistema adotado [16]. Outras entidades podem publicar informações (Publicadores) no serviço Pub/Sub. As informações publicadas são filtradas pelas palavras chaves e enviadas para os assinantes pertinentes.

A RAdnet é uma implementação baseada no modelo Publicador/Subscritor, distribuída, e faz-se necessário diferenciá-la dos trabalhos existentes. Para melhor compreensão da RAdnet e do modelo, são apresentados os trabalhos relacionados com redes cabeadas e redes móveis.

3.3.1 Sistema *The Information Bus*

Em 1993 foi proposto um barramento de informação, *The Information Bus* [14], baseado no modelo Pub/Sub distribuído para redes cabeadas. Foi desenvolvida uma aplicação voltada para o sistema financeiro, especificamente para o acompanhamento de ações nas bolsas de valores. Neste trabalho foi projetado um barramento de informação para encaminhamento de conteúdo (mensagens). Os autores definem quatro princípios de projeto para esta aplicação:

- Protocolos de comunicação com semântica mínima;
- Objetos são auto-descritos - podem ser dois: Dados e Serviços. Serviços controlam o acesso aos recursos do sistema, enquanto Dados contêm informação;
- Tipos podem ser dinamicamente definidos - Um objeto é uma instância de uma classe, e cada classe é a implementação de um tipo;
- Comunicação anônima - dois modelos de comunicação: *Request* e *Reply* (Req / Rep), baseado na arquitetura cliente / servidor, trabalhando sob demanda, síncrono; e comunicação Pub/Sub, assíncrona.

Na Figura 3.5 pode-se ver os elementos que compõem a aplicação.

Uma outra forma de examinar o sistema *The Information Bus* é apresentado na Figura 3.6. Nessa figura encontram-se representados os Ch_n canais de interesses com os quais os N_n nós se conectam (linhas tracejadas) para obter as informações (as setas indicam o fluxo de informação, por exemplo, do nó N_n sai uma seta que vai até o Canal CH_n , que se dirige para o *proxy* que a redireciona para o mesmo canal CH_n que o dirige para o nó N_3 que recebe a informação publicada pelo nó N_n). Verifica-se que todos os canais Ch_n se conectam com um único *proxy*, tornando este

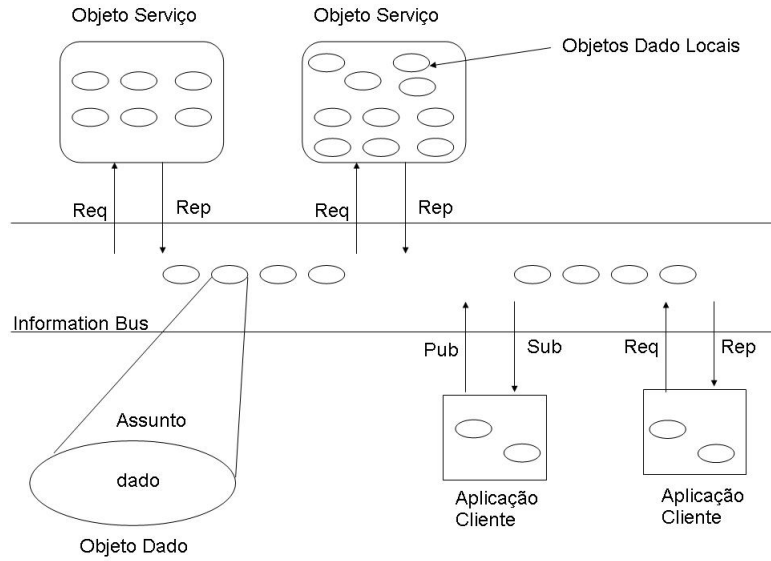


Figura 3.5: Elementos do sistema *The Information Bus*
(Fonte: adaptado de [14])

modelo centralizado, embora descentralizado do despachante (*container*), como o modelo padrão de Pub/Sub (mostrado na Figura 3.7). O *proxy*, portanto, controla a comunicação entre os nós N .

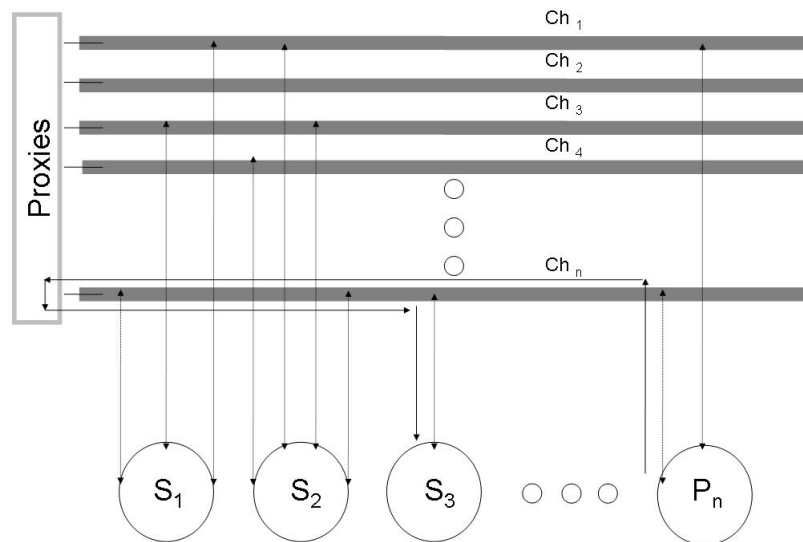


Figura 3.6: Exemplo de Comunicação *The Information Bus*

3.3.2 Aplicações do Modelo Pub/Sub

Pub/Sub em Redes Cabeadas

Existem várias implementações utilizando o modelo Pub/Sub e em 2003 foram descritos vários tipos de sistemas implementados em redes cabeadas [3], quais sejam, *Message Passing*, *Remote Procedure Calls* (RPC), *Notifications*, *Shared Spaces*, *Message Queueing*, *The Information Bus*, *Content-based Pub/Sub* e *Type-based Pub/Sub*.

Pub/Sub em redes P2P

Em [91] os autores propõem utilizar *Topic-based Pub / Sub*, uma primitiva de endereçamento em redes P2P para *multicast* em substituição ao *Content-based Pub / Sub* (a vantagem em usar o *Topic-based* é que os assinantes são conhecidos antes da publicação).

Em [92] é apresentado o *SemanticCast*, uma estratégia de distribuição de dados baseada em conteúdo, em redes *overlay* auto-organizáveis em ambientes dinâmicos. Em [17], também utiliza um cliente / servidor para implementar Pub / Sub em redes P2P.

Um trabalho baseado em interesse aplicado em P2P é apresentado em [93], onde é proposto utilizar o interesse em *superpeers* criando grupos e sociedades com interesse comum. O uso de interesse também é abordado em [94], em que os autores propõem usar o conhecimento do conteúdo associado ao conhecimento da topologia da rede para criar uma rede sobreposta chamada *Flock*.

Pub/Sub em Redes Móveis

Um sistema classificado como Pub/Sub descentralizado em redes móveis foi proposto em [16], utilizando *proxy* como elemento de registro.

As redes móveis utilizam, mesmo que descentralizado, um *dispatcher* que controla o tráfego na rede redirecionando as informações dos editores para os assinantes. A representação gráfica deste sistema é apresentada na Figura 3.7 em que o *dispatcher* centraliza as assinaturas e as publicações, exigindo um registro dos indivíduos na rede.

O roteamento normalmente utilizado nas redes baseadas neste sistema é apresentado na Figura 3.8. Neste caso, o protocolo utiliza *spanning trees* para evitar ciclos no grafo, aumentando o custo de manutenção da rede sobreposta às redes com mobilidade.

Em [95] é proposto um esquema ótimo de difusão de informação determinístico para sistemas móveis, completamente distribuído. É considerado que mensagens

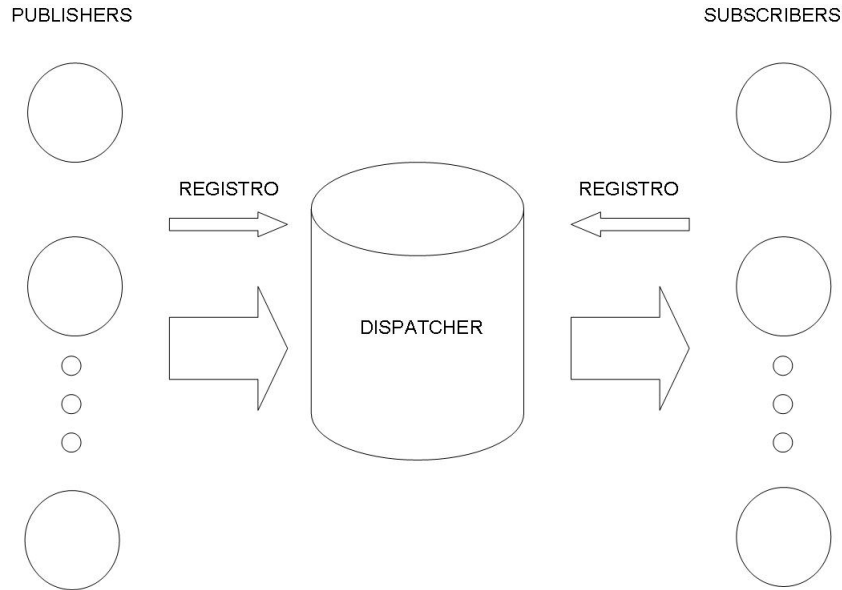


Figura 3.7: Sistema de Comunicação Pub/Sub para redes móveis. (Fonte: adaptado de [3])

são sempre entregues corretamente, e somente uma vez. Este esquema utiliza uma organização de multi-camadas lógica para modelar o sistema móvel, onde o grupo de nós é representado por grafos fracamente conectados l , onde l é maior que a unidade. Para conectar com uma específica camada l , os nós executam um protocolo de conexão subjacente.

Para provar que o esquema é ótimo supõe-se que as ações executadas em uma camada não influenciam qualquer outra camada; e que os grafos são acíclicos dirigidos (DAG), e para isso, foi mantida a técnica de arestas reversas do modelo Pub/Sub. Segundo os autores, este esquema é escalável, mantém a anonimidade, e é completamente descentralizado e modular. Porém, neste modelo, existe a figura de nós *Sink* como líderes de seus vizinhos, evitando inundação na rede.

Uma agenda referenciando os principais problemas encontrados no modelo Pub/Sub aplicado a sistemas móveis, orientado ao conteúdo, foi descrito em [15], [19], [20]. A utilização do modelo Pub/Sub em redes sem fio móveis permitiu essa nova abordagem **orientada ao conteúdo** (*Content-based*), ainda, com o uso de *Overlay Networks* com *Spanning tree* em redes sem fio simulando uma rede com fio. Diferentemente dos sistemas cabeados, o uso de *Spanning tree* em redes móveis representa um problema pela necessidade de recalcular a árvore a cada momento, devido à mobilidade dos nós. Essa abordagem de utilizar árvores é normalmente usada em redes sem fio com pouca ou nenhuma mobilidade.

Uma das propostas para solucionar o problema do cálculo de árvores em sistemas móveis é o uso de tabelas *hash* distribuídas (DHTs) para gerar redes *overlay* em

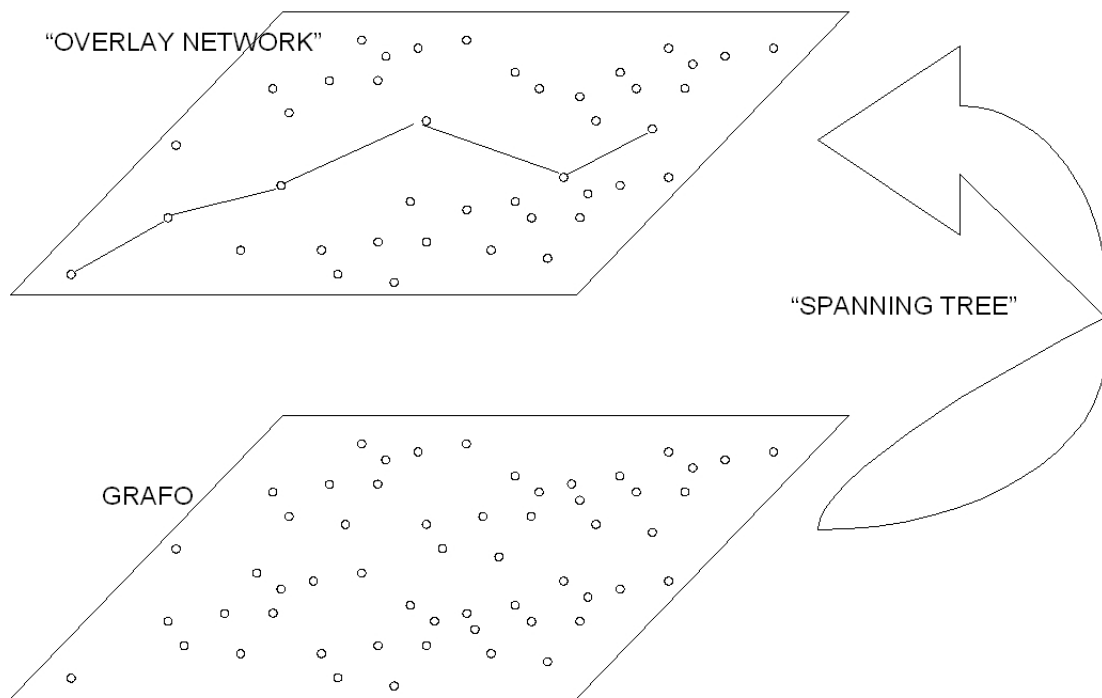


Figura 3.8: Roteamento Publicador/Subscriber
(Fonte: adaptado de [15])

sistemas móveis como pode ser visto em [55], [96], [97], [21], [22], [23], [98].

Em 2007 é proposto [99] uma rede *Overlay* social-consciente (*Socio-aware Overlay*) baseado em um modelo Pub / Sub aplicado a redes tolerantes à perturbação (DTN). O objetivo é introduzir essa nova abordagem para construir um *backbone* para Pub / Sub, baseado na descoberta de estruturas comunitárias humanas em computação pervasiva. Foi realizado um experimento em um *pub* em que as pessoas portavam um equipamento sem fio e foram realizadas medições relacionadas à interação social dessas pessoas, objetivando encontrar padrões no comportamento humano que pudessem servir para projeto de protocolos de roteamento ou de redes humanas.

Apesar dessas inovações em relação aos sistemas Pub/Sub de redes com fio, o modelo continuou centralizado ou descentralizado em um sistema de registro de assinantes e de editores, que exigem uma ordem na distribuição das informações.

3.3.3 RAdnet no modelo Pub/Sub

A RAdnet apresentada na Figura 3.9 é focada na interação direta entre as entidades de um grupo de interesse. Diferentemente do Publicador / Subscriber para redes

móveis proposto até o momento que não permite interação direta entre os assinantes, que é realizada por meio de um despachante centralizado ou descentralizado (*proxy*). Ainda, nesta Figura 3.9 os N_n nós se conectam com os Ch_m canais de acordo com seus interesses (as conexões com os interesses estão representadas por setas). As faixas de interesse são quaisquer agrupamentos dos canais.

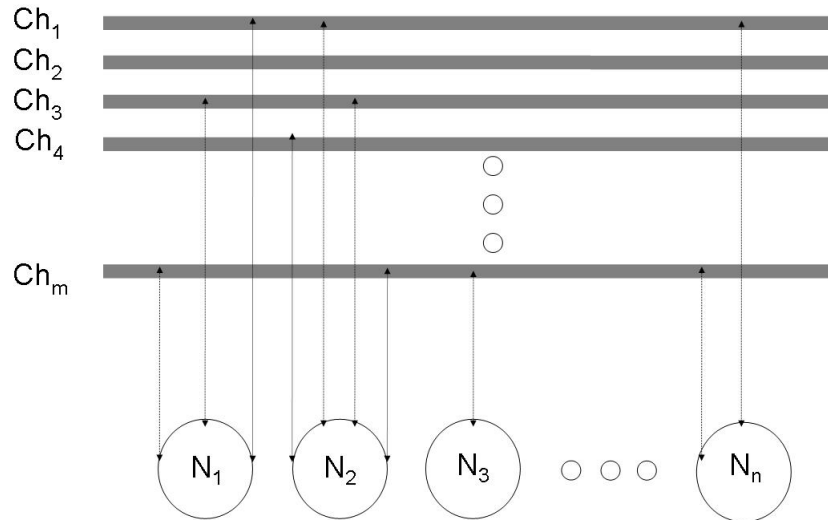


Figura 3.9: Faixas e Canais de Interesse RAdnet

A RAdnet tem os interesses localmente armazenados no dispositivo de cada entidade, portanto não utiliza nem servidores centrais nem servidores *proxy*, ou eleição de nós líderes.

A RAdnet pode ser *topic-based*, no caso de usar um dicionário de palavras, ou *content-based*, quando o usuário pode definir a palavra que será seu interesse.

Adicionalmente, devido ao endereçamento proporcionado pelo prefixo P , permite endereçamento fim-a-fim e, com o encaminhamento probabilístico, diminui a inundação de mensagens na rede, solucionando as duas principais limitações do modelo Pub/Sub, o desacoplamento entre o nó editor e o nó assinante e a tempestade de mensagens por *broadcast*.

Uma implementação de uso da RAdnet pode ser vista na Figura 3.10, em que é apresentado um exemplo de comunicação entre dois nós. Nesta Figura 3.10 existem dois nós i e j com conexões de interesse (representadas por setas tracejadas) e uma conexão de interesse em comum com o canal Ch_k e o canal Ch_o . Pode-se notar que a comunicação entre dois nós, i e j , com interesses em canais iguais (representados pela seta contínua), ocorre diretamente, sem intermediários, por meio das mensagens $M_{ij}(Int_k)$ e $M_{ij}(Int_o)$, sejam eles servidores *proxy* distribuídos ou centralizados, ou despachantes.

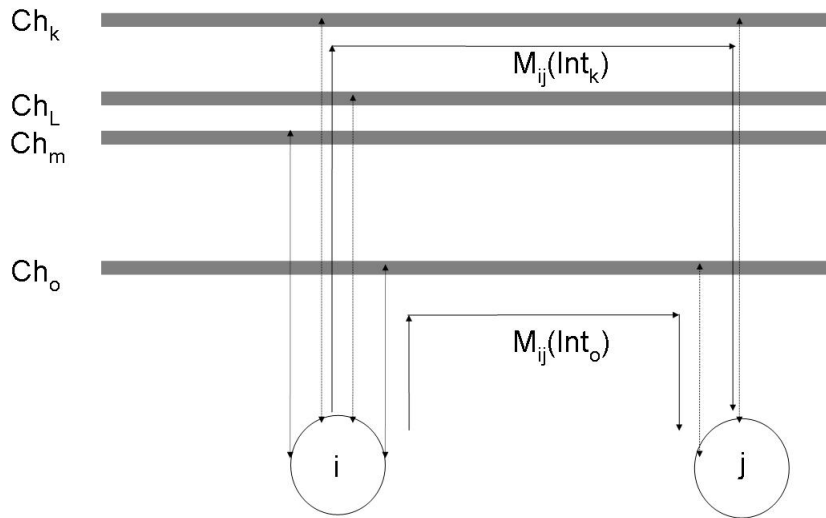


Figura 3.10: Exemplo de Comunicação RAdnet

A RAdnet pode ser utilizada em redes móveis sem fio devido à sua característica totalmente distribuída, em contraste com as propostas anteriores foram desenvolvidas orientadas para redes cabeadas. Mesmo sua aplicação a modelos sem fio impacta no problema da mobilidade dos nós, dificultando a aplicação de *Spanning trees* para rotear as mensagens. Em [20] os autores endereçam problemas referentes à aplicação de Pub / Sub em sistemas móveis. Ainda, em sistemas Pub / Sub existem pesquisas orientadas para o uso de protocolos probabilísticos e adaptativos [3] sendo um desafio unir essas abordagens aos sistemas móveis Pub / Sub.

Segundo [17], [100], [56], sistemas móveis são assíncronos por natureza, e este desacoplamento incrementa a escalabilidade pela remoção de dependências explícitas entre os componentes. Na RAdnet tanto as mensagens são enviadas de modo assíncrono, quanto a comunicação na rede sem fio é assíncrona, e o interesse é escolhido localmente, independente do conhecimento da rede, portanto, a RAdnet pode ser escalável tanto quanto as MANETs.

Outro fator favorável à RAdnet, que pode contribuir para uma implementação escalável é a ausência de canais de controle na implementação. Entretanto, como já citado, devido a não existir garantia de entrega da mensagem no modelo Pub / Sub, a RAdnet nele baseado herda esta característica e é suposto que a redundância de caminhos na RAdnet permita a entrega na maior parte das vezes. Entretanto, se não houver entrega, o usuário simplesmente re-enviará a mensagem.

Diferentemente das estratégias anteriores, a RAdnet usa faixas de interesse com as quais as entidades se comunicam em grupos de interesse por meio de mensagens contendo prefixos e interesses.

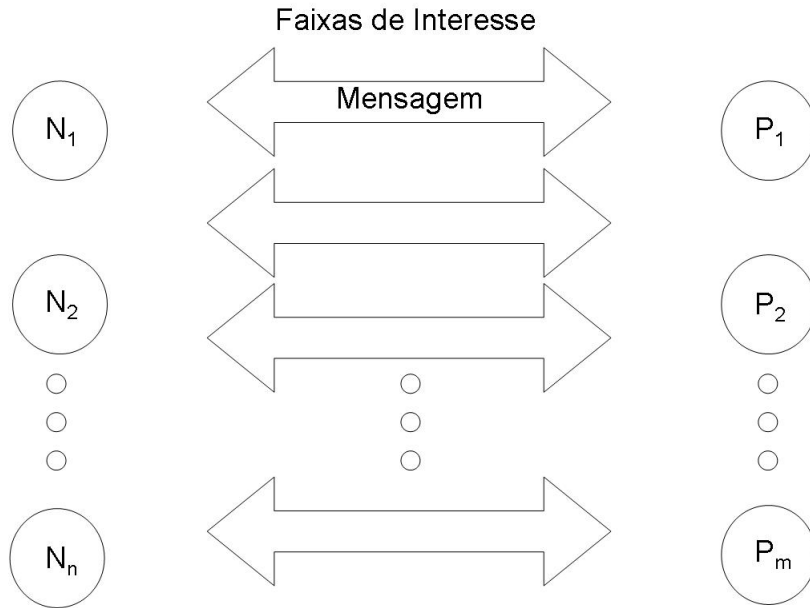


Figura 3.11: Estratégia de comunicação RAdnet

Na Figura 3.11 pode ser vista a comunicação de mensagens pela RAdnet, composto de n nós N do lado esquerdo e m nós P do lado direito. As setas conectando os nós são as mensagens trocadas entre os nós com mesma faixa de interesse. Pode-se notar que a união destas setas representam um despachante da Figura 3.7, no modelo Pub / Sub, completamente distribuído.

Adicionalmente, a implementação do modelo utiliza comunicação de interesses por disseminação, onde todos os dispositivos locais recebem os interesses de todos, filtrando-os localmente, conforme mostrado na Figura 3.12.

Nessa Figura são apresentados os grupos F_{nm} formados entre os nós com a mesma faixa de interesse, pela troca de mensagens com termos que compõem o interesse de cada nó, processadas pelo filtro de casamento (*Matching Filter*). Entre os grupos pode haver *flooding* na transmissão de mensagens e mensagens filtradas entre os grupos. Ainda, é possível observar alguns casos interessantes, como a possibilidade de isolamento de alguns nós que não conseguiram participar de nenhum grupo, assim como a possibilidade de isolamento de grupos com mesmo interesse (como por exemplo, os grupos F_{31} e F_{32}), ou o isolamento de grupos pelos nós de fronteira não se conectarem, devido a não alcançar o mínimo de potência necessária (como por exemplo, os grupos F_{11} , F_{13} e F_{14}).

Duas limitações apresentadas pela RAdnet são descritas a seguir:

- *Foreign Gateway* (Passagem Estrangeira) - quando ocorre troca de mensagens entre dois grupos de mesmo interesse e existe apenas um nó de conexão não pertencente ao grupo de interesse entre os grupos (Figura 3.13). Este nó passa a ser o único encaminhador de mensagens e essa característica pode

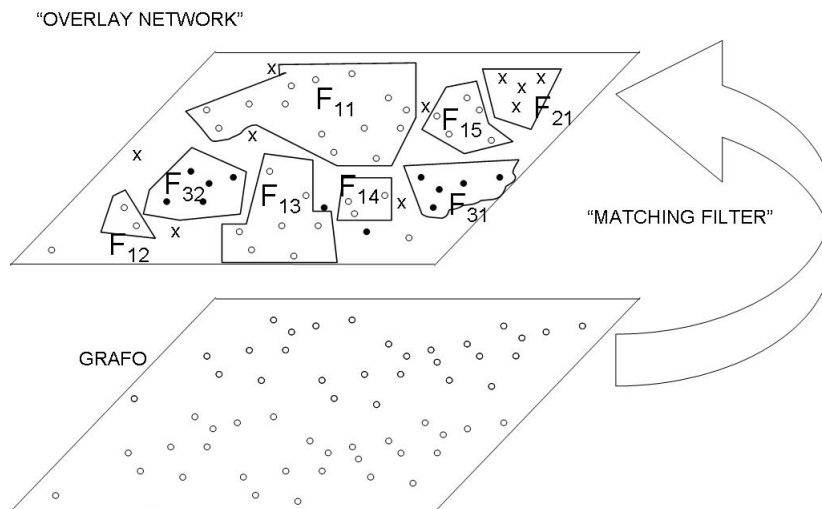


Figura 3.12: Difusão de Mensagens RAdnet

acarretar um consumo de energia extraordinário. Assim, o nó se desligará por falta de energia ou se desconectará por alcançar um consumo de energia além de determinado limite. Os dois fatos implicarão nos dois grupos ficarem isolados. Um outro fato é o usuário perceber que o seu equipamento está sendo muito usado e desligá-lo. Existem várias formas de contornar este problema, e, basicamente, pode-se utilizar um mecanismo de reputação, para que este usuário receba, por exemplo, pontos por permitir o uso de seu equipamento. Alguns trabalhos endereçam este problema, por exemplo, [101] estuda este problema em MANET com usuários mentirosos, [102] propõe políticas auto-organizáveis em sistemas móveis, e [103] propôs um sistema de reputação em um ambiente de computação por palavras (*Computing with Words - CW*), utilizando lógica proposicional, pois, segundo os autores, os valores numéricos dos sistemas anteriores são limitados ao analisarem os julgamentos para obter a reputação.

- *Tracking History* (Histórico do Percurso) - para evitar a inundação de mensagens na rede, o armazenamento, na própria mensagem, de todos os nós do percurso por onde a mensagem passou poderia ser implementado como apresentado na Figura 3.14. Porém, a necessidade de utilizar algum mecanismo de histórico na RAdnet é uma questão de pesquisa. O filtro de *matching* utilizado deveria ser suficiente para evitar a propagação de mensagens por inundação. Foram implementados dois mecanismos que complementam o filtro de *matching*: um, o número sequencial incluído no cabeçalho da mensagem, para que essa seja identificada e encaminhada somente uma vez por cada nó em que

ocorra casamento no campo do prefixo. O outro, um contador baseado em número de saltos, para que a mensagem não se propague indefinidamente por múltiplos saltos na rede.

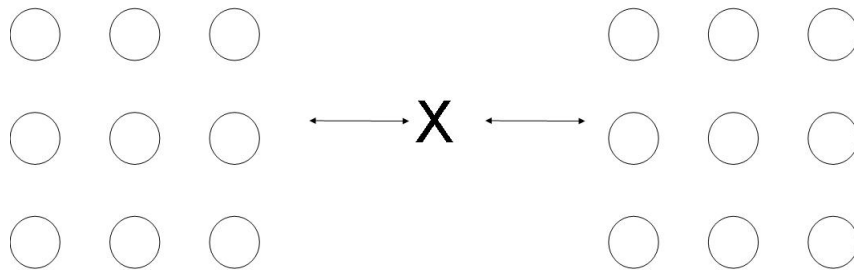


Figura 3.13: Problema Passagem Estrangeira

O problema de Passagem Estrangeira não parece ser suficiente para inviabilizar a RAdnet, pois o número de nós vizinhos é assumido ser em torno de quatro, permitindo probabilidade de encaminhamento maior, com redundância de caminhos para o encaminhamento das mensagens. Mesmo que este problema ocorra em alguma região, uma solução é armazenar o número de mensagens que este nó de passagem estrangeira recebe e incluir uma condição limite para o número de mensagens que os nós podem encaminhar de acordo com o nível de energia existente, ou por algum outro fator.

Sobre a discussão referente à RAdnet manter ou não o caminho que a mensagem seguiu para utilizar este caminho de volta ou impedir que o mesmo nó envie a mesma mensagem várias vezes, a solução escolhida foi não armazenar este caminho na mensagem, pois acredita-se que a RAdnet funcionará independente do armazenamento de tabelas de roteamento, porém, este fator será avaliado durante as simulação e os experimentos.

Na Figura 3.15, é apresentado um diagrama de interseção entre a RAdnet e as redes sem fio mais utilizadas. A RAdnet abrange todas as outras exceto a rede MESH que possui hierarquia entre os nós, diferentemente da RAdnet.

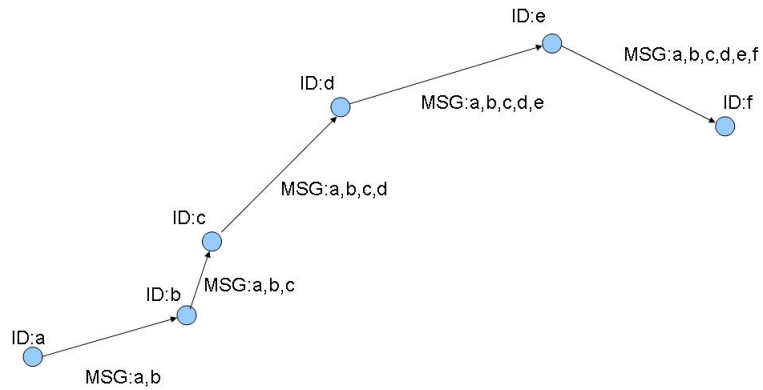


Figura 3.14: Problema Histórico do Percurso de uma Mensagem

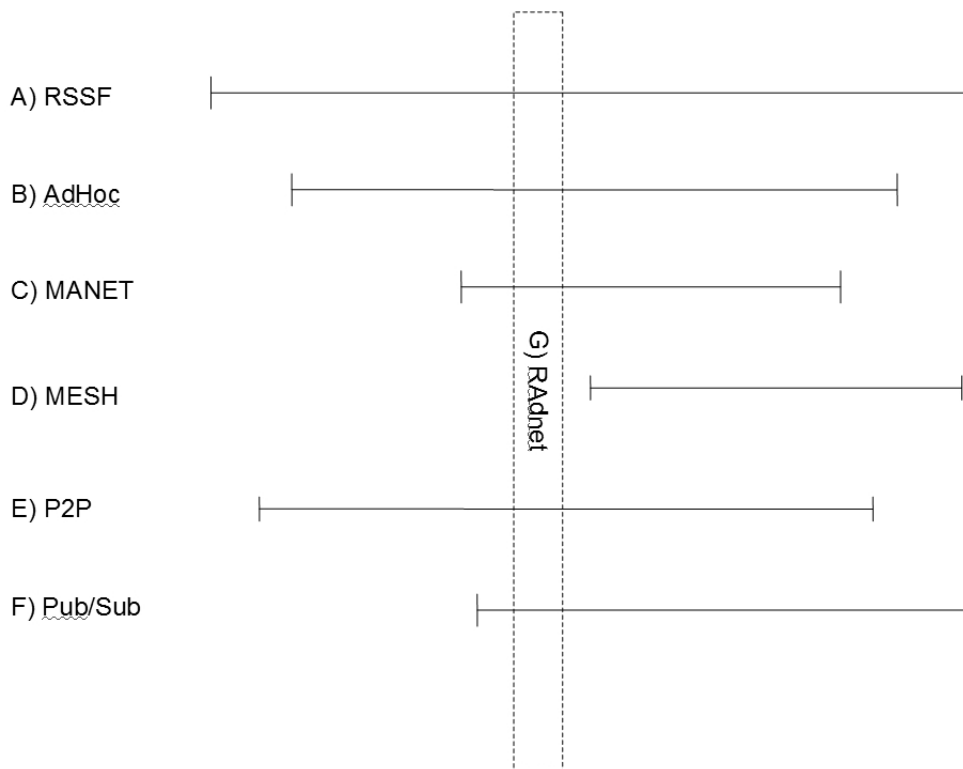


Figura 3.15: RADnet relacionada com os Sistemas Sem Fio - $A \subset (B,C,D,E,F)$; $B \subset (C)$; $E \subset (C)$; $G \in (A,B,C,E,F) \wedge \notin D$

3.4 Principais Trabalhos

3.4.1 Projeto PROEM

Foi proposto em 1999 [4], um trabalho pioneiro descrevendo uma aplicação chamada PROEM que introduziu a noção de colaboração baseada em perfil do usuário entre usuários móveis durante encontros casuais. O projeto PROEM é um sistema para colaboração baseada em perfil em que o usuário veste os equipamentos (*wearable system*). Este sistema permite aos usuários a publicação e troca de informação pessoal durante encontros físicos. O PROEM utiliza essa comunicação para identificar interesses mútuos ou amigos em comum. Uma característica dessa abordagem é a comunicação de pessoas que nunca se encontraram ou se conheceram.

As definições de PROEM para colaboração baseada em perfil são: Perfil do usuário - coleção de dados pessoais armazenados em um equipamento móvel que descreve o usuário; Encontro - uma situação de proximidade física de dois ou mais indivíduos; Troca de perfil - a transmissão dos dados pessoais entre dois ou mais equipamentos móveis durante um encontro; Regras de encontro - comportamentos pré-definidos que são identificados como efeito colateral de uma troca de perfil. Embora o PROEM utilize colaboração baseada em perfil, não possui *multihop*. Portanto, as trocas de informações de perfil são realizadas apenas se existir encontro físico e as conexões ocorrem em pares.

A RAdnet utiliza *multihop* e inclui o Prefixo Ativo na transação de mensagens entre os nós, assim, existe o Perfil do usuário, porém, este é utilizado para encaminhamento probabilístico e endereçamento; na Troca de perfil existe a transmissão de prefixos entre dois ou mais equipamentos móveis em uma região; e a Regra de encontro é definida pelo interesse no prefixo ativo de um usuário semelhante a de outro prefixo, ocorrendo a transmissão.

O armazenamento de perfil, em que os equipamentos mantêm os perfis de todos com os quais teve encontro (este atributo é considerado, pelos autores, o diferencial do modelo PROEM em relação aos trabalhos anteriores) é outra diferença em relação à esta tese. Baseado nesse armazenamento, são geradas regras básicas que serão utilizadas em futuros encontros.

No caso da RAdnet, acredita-se que não é necessário este armazenamento, inclusive pelo seu custo da manutenção ser diretamente proporcional à volatilidade da rede e ao relativamente grande número de nós, em comparação ao de PROEM, diminuindo a escalabilidade.

Um outro fato diferencia PROEM da RAdnet, o uso de identificação única por meio do atributo *Unique User ID* (UID). Essa característica gera um problema de gerenciamento desta identificação única em sistemas com grande número de nós.

Duas características propostas em PROEM são encontradas também na RAdnet:

cada equipamento é ao mesmo tempo cliente e servidor, e o controle da comunicação pertence ao usuário.

Na Figura 3.16 encontra-se a arquitetura do sistema PROEM.

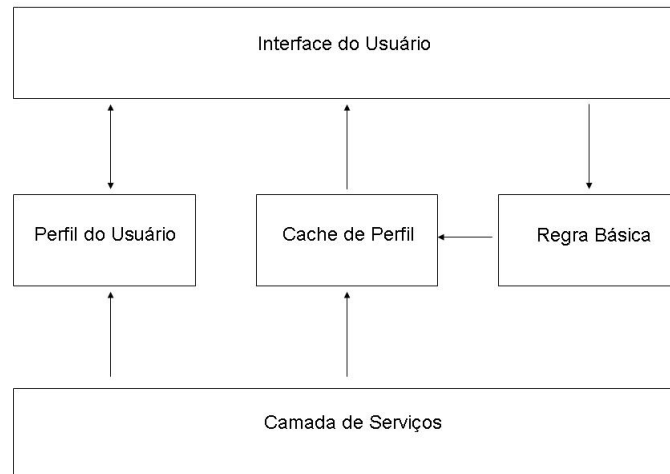


Figura 3.16: Arquitetura do Sistema PROEM. (Fonte: adaptado de [4])

3.4.2 Difusão Dirigida

Um dos primeiros trabalhos alterando paradigmas de comunicação em redes sem fio, especificamente em redes de sensores, foi a Difusão Dirigida (*Directed Diffusion*, 2000) [24], um modelo orientado ao dado (*Data - centric*), em que dados gerados por sensores são nomeados como pares valor - atributo. Basicamente, os nós requisitam dados enviando valores - atributos, que são propagados pela rede, por *multihop*, e os dados que satisfizerem uma determinada condição são encaminhados de volta, novamente por *multihop*, para os nós requisitantes.

Este paradigma de comunicação da Difusão Dirigida usa dois mecanismos principais: a identificação dos nós e a eleição de líder local para envio das mensagens.

Devido à rede ser volátil, móvel e apresentar um grande número de nós, a identificação é um problema, dificultando a distribuição única de identificação. Foi proposta uma solução usando um algoritmo chamado *Rumor Routing* [25], que reaproveita identificadores aleatoriamente na rede, em um raio mínimo de alcance, de forma a não existirem dois identificadores iguais locais.

A eleição de um líder local envolve consumo de energia, devido aos nós trocarem mensagens entre si para a eleição. Ainda, o líder consome mais energia do que os outros nós por ser o responsável pelo envio e recepção de mensagens. Existem

alternativas para substituir o líder, tal como haver um rodízio de líderes, porém todas envolvem um custo que deve ser considerado.

A identificação de nós na RAdnet torna-se dispensável devido à identificação ser o prefixo da mensagem. Além disso, a RAdnet não envolve eleição de líder devido à comunicação entre os nós utilizar o interesse para entrega da mensagem.

3.4.3 Redes Orientadas a Conteúdo e Sociais

Em 2004 foi desenvolvido o projeto InfoRadar [32], referente ao agrupamento de equipamentos e encaminhamento de mensagens no contexto móvel. Este utiliza conceitos de mobilidade e conteúdo social, temporal e espacial, e permite a interação entre indivíduos de modo assíncrono, com o objetivo de estender as possibilidades de interação social. É proposto utilizar GPS para definir um identificador baseado em informações geográficas.

O Inforadar não usa termos do perfil como identificação dos nós, empregando o formato padrão de mensagens com identificação hierárquica. Além disso, não define claramente como ocorre a distribuição das mensagens.

Assim como em [99], alguns grupos estudaram a dinâmica de redes sociais com experimentos práticos (número de nós em torno de 100). Normalmente, os trabalhos envolvendo redes sociais apresentam poucos nós nos experimentos (em torno de 5 a 10) e alguns resultados são adquiridos somente por simulações.

Diferentemente, [104] utiliza número de nós igual a 200, estudando a dinâmica social por meio de redes de sensores sem fio (RSSF), com os equipamentos sensores para identificar e apresentar visualmente o interesse dos indivíduos. O equipamento sensor foi modificado para incluir um mostrador de *LEDs* apresentando mensagens curtas aos usuários. Este experimento não utiliza *multihop* entre os nós móveis, somente com nós fixos, utilizando uma hierarquia parecida com a utilizada em redes Mesh. Ainda, utiliza uma tabela local das identificações únicas dos equipamentos vizinhos. O meio de comunicação entre os nós móveis é o infravermelho, exigindo um mínimo alinhamento entre os equipamentos para ocorrer a troca de informação.

Um trabalho referente ao ambiente de tráfego foi publicado em 2008 [105], implementando *chat* de voz em estradas, sobre Redes Sociais Veiculares. Os autores argumentam que trabalhos anteriores utilizam algoritmo de roteamento de MANETs baseado no fenômeno *small world* de Redes Sociais, utilizam identificação de nós *bridge* para roteamento baseado nas características de centralidade, utilizam estudos do impacto de relacionamentos e padrões de movimento em protocolos de roteamento e referenciam [99].

O mesmo grupo também propôs um *middleware* chamado MobiSoc [33], definindo aplicações centradas no usuário (*People-Centric*) e aplicações centradas no

local (*Place-Centric*). Na definição do MobiSoc é utilizado o conceito de perfil do usuário, perfil do local, relacionamentos sociais entre pessoas e associações entre pessoas e locais. É considerado que a rede é volátil, e que evolui continuamente com o tempo, devido à criação de novos perfis de usuários, de relacionamentos e mudanças de locais. Este *middleware* atua como uma entidade centralizada para gerenciamento do estado social e fornece uma API para programadores desenvolverem aplicações.

Segundo os autores, foi escolhida uma solução centralizada porque é mais simples manter uma visão consistente do estado social e fornecer controle de acesso a dados privados. Ainda, essa arquitetura centralizada com servidores, permite um uso mais eficiente da energia nos equipamentos móveis, devido a parte do processamento ser realizado nos servidores (Essa argumentação deve ser melhor discutida, devido ao custo de energia ser maior na recepção da radiofrequência do que na transmissão e no processamento, conforme pode ser visto em [106]).

Em 2007, foi proposto o *Wireless Opportunistic Podcasting* [107], onde os autores propõem utilizar *podcasting* em redes sem fio. A abordagem é semelhante a de PROEM, quanto à troca de informações ocorrerem somente quando ocorre proximidade física entre os equipamentos, porém, utiliza conceitos como a rede ser volátil e as mensagens serem curtas. Como ferramenta de busca de conteúdo na rede sem fio os autores utilizaram *Bloom Filter* [108], uma estrutura de dados probabilística. Não foram utilizados algoritmos de roteamento, em substituição, utilizaram um modelo de disseminação orientado ao receptor no nível de aplicação. Este modelo de disseminação é baseado na seleção dos nós que estão sincronizados e a ordem pela qual são descarregados os conteúdos dos nós. O controle dessa sincronização dos nós é feita por um gerente de sincronização, que mantém o estado de todos os encontros passados e atuais vizinhos. Uma das limitações do modelo é somente permitir conexões par a par, e não permitir múltiplas conexões.

Uma abordagem utilizando comunicação *Bluetooth* é apresentada em [109], em que os nomes atribuídos aos equipamentos utilizando *Bluetooth* são utilizados em um canal de controle e mensagens curtas são trocadas entre os usuários permitindo ou não a comunicação entre os equipamentos. Foram utilizados questionários para verificar a usabilidade dos nomes nos canais de controle. Outro experimento utilizando a interface *Bluetooth* é encontrado em [110], com equipamentos *smartphone* e *imote* em lojas de departamento, avaliando o comportamento e a interação entre os usuários.

Um *middleware* para desenvolvimento de aplicações foi proposto no projeto contextS, que vem sendo desenvolvido desde 2003. Em 2006 e 2007 foram apresentados trabalhos propondo aprendizagem baseado em ambientes ubíquos [111], [112], e um artigo de 2008 [113] foi apresentado propondo um modelo geral para arquitetura de software projetado como suporte à computação ubíqua.

Nesta mesma abordagem, em [114] os autores propõem um *middleware* denominado CAMEO em que uma função utilidade classifica e agrupa os interesses e mede o quanto os interesses são próximos. CAMEO foi instalado em celulares para que turistas pudessem trocar suas experiências.

Um trabalho baseado em Hagggle, uma arquitetura de rede autônoma projetada para experimentos em redes oportunísticas em que o endereçamento fim-a-fim é ausente, é apresentado em [115] onde é desenvolvido um protocolo de resgate para situações de emergência em um ambiente de desastre. A aplicação Hagggle-ETT foi desenvolvida para triagem de vítimas onde não exista a infraestrutura de comunicação. O método de encaminhamento é baseado no envio de objetos de dados que casam com o interesse do alvo sempre que um contato ocorre. Este encaminhamento é epidêmico devido a todos os nós terem interesse na entrega desta informação para o ponto de coordenação central.

Uma das aplicações sensíveis à latência é o jogo móvel multiusuário, abordado em [116] em que um usuário com baixa taxa de transmissão provoca um baixo desempenho da comunicação e conseqüentemente uma latência de comunicação entre os jogadores. A proposta apresentada usa a rede de telefonia celular, um sistema centralizado com baixa latência, e propõem prever a latência entre os telefones celulares obtendo uma latência prévia para melhorar o desempenho da comunicação entre os jogadores.

Em 2011 é proposto um encaminhamento de pacotes com conhecimento do comportamento social [117] sem conhecimento do estado, voltando ao conceito de perfil apresentado no projeto PROEM, considerando fortemente os interesses dos indivíduos. Utiliza no cabeçalho da mensagem o perfil de interesse chamado perfil de relevância da mensagem e os nós trocam seu Perfil de Interesse (IP) entre si para atualizar as tabelas de interesse. Um novo serviço de comunicação chamado *interest-cast* é apresentado. Neste trabalho não é definido como incluir o interesse no cabeçalho e não utiliza encaminhamento probabilístico nem endereçamento por um prefixo.

Após a contextualização da rede RAdnet frente ao estado da arte, no próximo capítulo será apresentada a metodologia experimental realizada para confirmar a defesa de que a RAdnet é uma rede aplicável às MANETs com vantagens sobre outras que utilizam soluções de redes cabeadas.

Capítulo 4

Metodologia Experimental

Devido ao número de experimentos realizados e para melhor compreensão do conteúdo, neste Capítulo são descritos os equipamentos e métodos utilizados para a avaliação experimental, simulada e prática, da RAdnet. No Capítulo 5 são apresentados os resultados e a respectiva discussão.

4.1 Fundamentação

A primeira avaliação experimental para a RAdnet foi a verificação de comportamento bimodal do prefixo P , que permite o encaminhamento probabilístico das mensagens. O comportamento bimodal é baseado na teoria de percolação [118] e a característica preponderante deste comportamento é a existência de uma probabilidade Pr_c para a ocorrência de um evento de tal forma que para valores de probabilidade menores do que Pr_c o evento ocorre com probabilidade nula e, para valores de probabilidade maiores do que Pr_c , o evento ocorre com probabilidade próxima à unidade. Este comportamento bimodal é encontrado no algoritmo Gossip3 [5], [119], em que o evento é o número de nós em uma rede sem fio que recebem mensagem e Pr_c é a probabilidade com a qual cada nó encaminha a mensagem por *broadcast*. Na formação do prefixo P , cada campo possui uma probabilidade de encaminhamento obtida de uma distribuição de probabilidade para cada campo (é garantido que as variáveis aleatórias contínuas são independentes). Cada campo do prefixo pode assumir um valor de probabilidade semelhante ao de Gossip3, portanto, é necessário verificar qual a probabilidade Pr_c para o prefixo e fazer a comparação deste com o Gossip3, para verificar se este comportamento encontrado no Gossip3 se repete no prefixo P .

Para verificar a influência da distribuição de probabilidade na formação de P , utilizamos a distribuição de probabilidade uniforme e a distribuição aproximada

normal¹ para a geração das probabilidades de cada campo de P , avaliando se a distribuição de probabilidade afeta o comportamento bimodal. Note-se que pode-se utilizar distribuições de probabilidade distintas para cada campo, porém, neste caso, por facilidade, a distribuição de probabilidade foi igual para cada campo de P .

Os autores do Gossip3 aplicam este algoritmo de encaminhamento probabilístico no protocolo *Ad hoc On-demand Distance Vector* (AODV [66]) - AODV+G (a implementação deste protocolo no NS-3 foi denominada G3AODV) em um ambiente sem fio móvel. O protocolo AODV pertence à classe dos protocolos de roteamento ad hoc reativos e utiliza tabela de roteamento IP, uma solução de rede cabeada para MANETs. Desta forma, optou-se por comparar o protocolo REP com o AODV e G3AODV tendo o objetivo de avaliar dois protocolos que se baseiam em uma solução de rede cabeada com um protocolo que aproveita as características intrínsecas das MANETs. Na seção 4.2 o protocolo AODV e o protocolo AODV+G são descritos.

O protocolo REP foi avaliado em dois modos: grupo (REP) e endereçado (REP_end). O modo REP permite a comunicação de um-para-muitos, aproveitando a comunicação *broadcast* natural das MANETs e o modo REP_end é uma comunicação fim-a-fim e pode ser comparado com o endereçamento IP utilizado pelos protocolos AODV e G3AODV. Desta forma, pretendeu-se mostrar que o protocolo REP, um protocolo desenvolvido para MANETs aproveitando as características intrínsecas dessa rede, tem melhor desempenho para endereçamento fim-a-fim do que as soluções baseadas em redes cabeadas para MANETs, AODV e G3AODV. Tencionou-se mostrar que o protocolo REP, utilizando a comunicação um-para-muitos, é melhor que as soluções cabeadas para MANETs e uma alternativa para o desenvolvimento de novas aplicações nessas redes.

Devido à rede sem fio utilizar um meio compartilhado para transmitir mensagens, e à possibilidade de ocorrer interferência pela quantidade de mensagens transmitidas, e esta afetar as medidas, houve necessidade de avaliar como o protocolo REP se comporta com o aumento da interferência na rede. Foram realizadas simulações com um número determinado de nós enviando uma mensagem em diferentes intervalos. As figuras e considerações encontram-se no apêndice A.

Quanto à mobilidade, foram utilizados dois modelos para medir a sensibilidade do protocolo REP em ambientes móveis, modelo *Randomwaypoint* [120], originalmente utilizado no trabalho que apresentou o protocolo G3AODV, e o modelo *2D-Gauss-Markov*. O primeiro modelo inclui tempos de pausa (*Pause Time*) entre as trocas de direção e velocidade. Inicialmente, o nó móvel permanece parado em uma localização, durante o tempo de pausa, e ao término deste tempo o nó escolhe um destino

¹Nesta tese a distribuição aproximada normal é uma distribuição de probabilidade de variável aleatória discreta que se aproxima da distribuição normal, uma distribuição de variável aleatória contínua

aleatório e uma velocidade escolhida uniformemente entre um intervalo de velocidades. Ao chegar no destino escolhido, o nó móvel aguarda o tempo de pausa e repete o procedimento. Devido às limitações do modelo Randomwaypoint, basicamente a sensibilidade ao número de vizinhos, os resultados obtidos são válidos somente para as condições apresentadas nesta tese e com os protocolos utilizados para comparação. Quanto ao segundo modelo, cada nó móvel é configurado com direção e velocidade e suas médias. Em intervalos de tempo (*pause time*) nova direção e velocidade são calculadas para cada nó, até o próximo período. A diferença entre este modelo e o anterior é que neste a direção e velocidade são calculadas por equações que envolvem um parâmetro α e os valores passados (a memória do modelo) dos nós móveis. Nestas equações, caso $\alpha = 0$, o modelo torna-se sem memória e para $\alpha = 1$ o modelo torna-se preditivo [121]. Além desta característica de utilizar memória, este modelo foi escolhido devido à sua implementação no NS-3 utilizar três dimensões, que pode ser útil em futuras simulações.

Por fim, variou-se o número de nós em uma região fixa para avaliar a sensibilidade do protocolo REP à variação da densidade de nós em uma região. Em ambientes reais, o comportamento social é a formação de grupos [93], aglomerações, tornando esta avaliação importante para medir o comportamento do REP nestes ambientes de alta densidade.

Dois experimentos práticos foram também realizados com o objetivo de avaliar em ambiente real o protocolo REP, verificando se a premissa básica de comunicação por interesse em modo ad hoc é funcional: o primeiro utilizando 20 nós sensores mote, e o segundo, 14 telefones celulares *smartphone*, ambos em modo ad hoc. A princípio, não é possível comparar os resultados do simulador com os experimentos práticos devido ao número de nós utilizados ser uma ordem de grandeza maior do que os equipamentos disponíveis e a interface de comunicação e a taxa de transmissão serem diferentes (IEEE802.15.4 nos motes, IEEE802.11g nos celulares e IEEE802.11b nas simulações), mascarando, p.ex., os valores de latência.

Por ser uma rede, a RADnet deve ser avaliada pelas métricas tradicionais, Taxa de Entrega e Latência. Por ser uma rede sem fio com mensagens que utilizam múltiplos saltos para se propagar, foram escolhidas as métricas Número de Saltos e Total de Mensagens Recebidas, com o objetivo de medir por quantos nós a mensagem se propagou e o custo desta disseminação. Ainda, devido à interferência no meio, foi escolhida a métrica Total de Mensagens Recebidas com Erro, com o objetivo de avaliar o desperdício de mensagens devido à interferência e avaliar o impacto desta nas outras métricas. Estas métricas foram utilizadas por outros trabalhos e o objetivo da escolha também foi facilitar a comparação com resultados já publicados.

Na próxima seção são apresentados os protocolos AODV e AODV+G, após são descritos metodologia, simulação - parâmetros, métricas e cenários, e experimentos

práticos.

4.2 Protocolos AODV e AODV+G

4.2.1 Protocolo AODV

O protocolo AODV [66] foi desenvolvido para redes móveis com o objetivo de interconectar computadores portáteis e tem como vantagem o uso de tabela de roteamento somente quando o nó se comunicar (*on demand*). Cada nó mantém dois contadores: número de sequência do nó (*NSN*) e o identificador de mensagem *Broadcast* (*BID*).

O nó fonte inicia a descoberta de caminho enviando a mensagem requisição de rota (*RREQ*) por *broadcast* para seus vizinhos. A mensagem *RREQ* contém endereço origem (*S*), número de sequência do nó fonte (*SS*), *BID*, endereço destino (*D*), número de sequência do destino (*SD*) e número de saltos (*HC*). Cada vizinho que recebe uma mensagem *RREQ*, envia uma mensagem de resposta (*RREP*) de volta para o nó fonte ou encaminha por *broadcast* a mensagem *RREQ* para seus próprios vizinhos, após incrementar o *HC*. Caso o nó não possua a informação que a mensagem *RREQ* necessite, o nó mantém a informação do endereço IP destino, endereço IP origem, *BID*, Tempo de Expiração para a tabela de roteamento reverso e *SS*.

Na configuração do caminho reverso são usados os dois números de sequência incluídos na mensagem *RREQ*, *SS* e o último *SD* conhecido pelo nó fonte. Assim, o nó avalia se a informação de caminho para a fonte e para o destino são recentes. Como a mensagem *RREQ* se propaga do nó fonte para vários caminhos, automaticamente configura o caminho reverso de todos os nós para o nó fonte. Cada nó registra o endereço do vizinho do qual recebeu a primeira mensagem *RREQ* e estas entradas na tabela são válidas por um tempo suficiente para a mensagem *RREQ* se propagar pela rede e produzir uma resposta.

Na configuração do caminho direto, a mensagem *RREQ* chegará a algum nó que possui uma rota atualizada para o destino. O nó que primeiro recebe a mensagem *RREQ* verifica se a conexão é bidirecional. O nó verifica se a rota é a mais atual comparando o valor de *SD* armazenado localmente com o *SD* na mensagem *RREQ*. Se este valor *SD* da mensagem é mais antigo, não responde à mensagem *RREQ*, e faz um *broadcast* desta.

A tabela de roteamento possui um tempo de expiração de requisição de rota com o propósito de apagar as entradas antigas. Este tempo depende do tamanho da rede ad hoc. Um *timeout* de rota armazenado tem a função de considerar a rota inválida. A tabela também atualiza o registro dos nós vizinhos ativos verificando se enviaram mensagens durante um determinado tempo. A tabela de roteamento contém:

Destino, Proximo Salto, Numero de Saltos, SD, Vizinhos Ativos para a rota e Tempo de Expiracao para a rota.

Existem dois modos em que nós vizinhos se registram entre si, por recepção de uma *broadcast* da mensagem *RREQ*, ou enviando mensagens de *Hello*. As mensagens de *Hello* não são reencaminhadas porque seu *HTL* é unitário, alcançando somente um salto.

Um dos problemas deste algoritmo ocorre na requisição de rota quando este faz uma busca em um raio local usando *flooding*. Se nesta busca não for encontrada uma rota, o raio de busca é expandido (*expanded-ring search*) mais e mais, até ocorrer a inundação da rede inteira.

4.2.2 Protocolo AODV+G

Em [5], os autores propõem substituir o algoritmo de *flooding* por um algoritmo baseado em *gossip*, para encaminhamento das mensagens nos protocolos de roteamento ad hoc, onde o nó encaminha mensagens de acordo com uma probabilidade, reduzindo o número de mensagens na rede.

O *gossip* possui um comportamento bimodal, ou seja, dependendo da probabilidade de encaminhamento do nó, a mensagem será recebida por quase todos os nós na rede. Para quase todos os nós na rede receberem mensagens, a probabilidade em cada nó deve assumir valores entre $P[0,6; 0,8]$. Os autores propuseram o Gossip3 ($G3(p; k; m)$) contendo a probabilidade p , o número de saltos para o qual se quer o reencaminhamento da mensagem k (também conhecido como raio de propagação da mensagem), e o número de nós que reencaminham a mensagem m .

O algoritmo AODV+G utiliza o G3 no raio de busca. Se o raio menor falhar para encontrar a rota, no lugar de usar o *flooding*, é proposto usar o $G3(0,65; 1; 1)$, nas condições de simulação do trabalho em que o número de vizinhos foi alto, exigindo uma redução no raio de propagação da mensagem (k). O *timeout* do G3 deve ser grande o suficiente para permitir que os nós vizinhos recebam a mensagem de *gossip*. O parâmetro *NODE_TRAVERSAL_TIME* deve ser alterado para $i * \text{NODE_TRAVERSAL_TIME}$ (o valor de $i = 5$ é sugerido).

Nesta tese, os valores para o protocolo de p , k e m foram $G3(0,65; 4; 1)$, retirados do trabalho dos autores, por serem mais adequados aos parâmetros utilizados nas simulações desta tese, especificamente o número de vizinhos por nó, utilizado com valor 8 para a simulação *S1*. Para este valor, o raio de propagação da mensagem deveria ser 4 também, para obter melhor desempenho e evitar a “morte súbita” da mensagem. É possível notar que estes parâmetros p , k , m , podem prejudicar excessivamente o desempenho dos protocolos G3 e G3AODV, e, nesta tese, houve a preocupação de torná-los o melhor possível para tornar justa a comparação entre

eles e o protocolo REP.

Para a avaliação de desempenho os autores do protocolo AODV+G utilizaram o simulador NS2 com os seguintes parâmetros apresentados na Tabela 4.1

Os autores do protocolo AODV+G utilizaram quatro métricas:

- Fração de entrega de pacote
- Atraso médio fim-a-fim
- Carga de roteamento normalizado
- Taxa de comprimento de rota

Um trabalho recente sobre controle de inundação [122] estuda os problemas inerentes ao número excessivo de mensagens e propõem duas alternativas, uma utilizando filtros de *Bloom* para reduzir o número de mensagens reencaminhadas e outra escalonamento de mensagens para controlar a latência da inundação. Outros trabalhos estudam o uso de *gossip* em redes ad hoc [123], [124], [125], [126].

Tabela 4.1: Parâmetros de simulação para AODV+G utilizados em [5]

Descrição	Valor
Número de nós	150
Área	3300 x 600 m
Número de conexões	30
Protocolo MAC	IEEE 802.11
Modelo de rádio	WaveLAN Lucent
Taxa de transmissão	2 Mb/s
Faixa de alcance do rádio	250 m
Modelo de Propagação	<i>Two Ray Ground</i>
Tráfego	<i>Constant Bit Rate (CBR)</i>
Tamanho do pacote	512 Bytes
Seleção dos nós geradores	aleatório
Taxa de envio de pacotes	2 pacotes/s
Modelo de mobilidade	<i>Random waypoint</i>
Tempo de simulação	525 s
Mobilidade dos nós	<i>Random Speed</i> [0, 20] m/s
Variação de Pause Time	[0, 500] s
Número de execuções	5

4.3 Metodologia

Para a avaliação da RAdnet e do protocolo REP, optou-se por implementar o protocolo REP no simulador NS-3 (versão 3.8). Este simulador mostrou-se mais adequado

ao ambiente de redes sem fio móvel [127] e para a programação dos protocolos, implementados em C++.

Para as simulações foram escolhidos dois modelos de mobilidade utilizados na literatura, *RandomWayPoint* e *2D-Gauss-Markov*. Para o meio foi utilizada a modelagem de rede ad hoc padrão 802.11b. Quanto aos protocolos, houve necessidade de implementar os protocolos Gossip3 (G3) e Gossip3 com AODV (G3AODV), de acordo com o descrito em [5], além do REP.

O protocolo REP também foi avaliado quanto à interferência no meio (apêndice A), onde foi variado o intervalo de envio da mensagem pelo nó origem e medidas Taxa de Entrega (%), Latência (ms), Número de Saltos, Total de Mensagens Recebidas e Total de Mensagens com Erro na Recepção.

Uma aplicação de troca de mensagens foi implementada utilizando a RAdnet e o protocolo REP (simulação $S1$, $S2$) e avaliada em dois modos: grupo (REP) e endereçado (REP_end). No modo REP, os nós geradores de mensagens também são receptores devido à comunicação ser em grupo por interesse. Nós escolhidos aleatoriamente foram configurados com o interesse I formando o Grupo de Interesse I . Todos os nós enviavam uma mensagem com I para a rede e os nós do grupo aceitavam a mensagem (esta simulação foi realizada para 5 e 30 nós). Em modo REP_end existem pares de nós, geradores e receptores distintos, devido ao endereçamento ser fim-a-fim, utilizando o prefixo P . Neste caso o número de nós geradores foi de 5 e 15, assim como o de receptores. Os dois modos, REP, com 5 e 30 nós, e REP_end, com 5 e 15 nós, foram avaliados com o número de mensagens igual a 1 e 10. No caso do modo endereçado foi possível fazer comparação com os protocolos AODV e G3AODV.

As métricas utilizadas para avaliação do comportamento bimodal foram Total de Nós Participantes (TNP) e o Total de Mensagens Recebidas (TMR) pela probabilidade de encaminhamento da mensagem, conforme medido no Gossip3, para permitir comparação entre os resultados alcançados pelos autores do Gossip3 e os alcançados nesta tese.

As métricas utilizadas para avaliação da RAdnet foram Taxa de Entrega (%), Latência (ms), Número de Saltos, Total de Mensagens Recebidas e Total de Mensagens com Erro na Recepção.

Além das simulações, foram realizados dois experimentos práticos. No primeiro experimento prático ($E1$) foram utilizados nós sensores Tmote-sky com protocolo de comunicação sem fio IEEE802.15.4 e ZigBee, programados em NesC e java, os nós estavam estáticos, sem mobilidade, com múltiplos saltos com tamanho de 116 Bytes, com 41 Bytes para o prefixo e 73 Bytes para *payload*. No segundo experimento prático ($E2$) foram empregados telefones celulares com S.O. Android 2.1/2.2 e protocolo de comunicação sem fio IEEE802.11bgn, programados em C e Java, os

nós se moviam e as mensagens foram enviadas por múltiplos saltos com tamanho mínimo de 60 Bytes e máximo de 1500 Bytes.

4.4 Simulações - Parâmetros de Simulação, Métricas e Cenários

4.4.1 Parâmetros de Simulação

Para verificar o comportamento do REP no encaminhamento de mensagens, configurou-se o simulador com os seguintes parâmetros de simulação:

- nós sem mobilidade,
- tempo de simulação igual a 120 s,
- vizinhança média entre os nós igual a 4 (configurando os ganhos de transmissão e recepção com valor igual a -30 dBm),
- modo *AdhocWifiMac*,
- *ConstantRateWifiManager*,
- *wifib - 2mbs*,
- tamanho de pacote igual a 512 B.

Para avaliação e verificação da faixa de trabalho mais adequada para a RAdnet, utilizamos os parâmetros apresentados na Tabela 4.2 com o objetivo de tornar o ambiente de simulação o mais próximo possível do ambiente utilizado em [5]. Foram utilizados os seguintes parâmetros para as simulações: *S1* em uma área de 700x300 m com 150 nós posicionados aleatoriamente, com modelo de mobilidade *Randomwaypoint*, destes, 5 e 30 nós em modo REP e 5 e 15 nós em modo REP_end, geradores de uma mensagem cada nó, em que foi avaliado o encaminhamento de mensagens para um grupo de nós com interesse (REP) e para um nó destino específico (REP_end). Estes parâmetros foram utilizados para permitir a comparação com os trabalhos anteriores escolhidos AODV e G3AODV, devido a não existir um *benchmark* apropriado para as redes MANETs.

Na simulação *S2*, o REP e o REP_end foram simulados com uma mensagem e 10 mensagens utilizando as mesmas condições da simulação *S1* exceto pelo ganho de transmissão e recepção que foi alterado de 0 dbm para -4 dbm, com o objetivo de diminuir o número de vizinhos de 8 para 4, conseqüentemente diminuindo o número de mensagens na rede e a interferência no meio de comunicação.

Para avaliar a independência em relação ao modelo de mobilidade *Randomwaypoint*, a simulação *S2* foi repetida na simulação *S3a* em que o modelo de mobilidade *Randomwaypoint* foi substituído pelo modelo de mobilidade *2D-Gauss-Markov*.

Por fim, variou-se a densidade de nós mantendo-se a área fixa (simulação *S3b*) com o objetivo de avaliar o desempenho do REP e REP_end em ambientes com mais nós por área. Nesta simulação foram utilizados 15 nós geradores, a situação que mais gera interferência, uma mensagem gerada por cada nó gerador e o número de nós na região foi $N\{150, 250, 350, 450, 550\}$. Nesta simulação os ganhos de transmissão e recepção também foram alterados de 0 dbm para -4 dbm, com o objetivo de diminuir o número de vizinhos de 8 para 4, conseqüentemente diminuindo o número de mensagens na rede e a interferência no meio de comunicação.

Tabela 4.2: Parâmetros de simulação REP, REP_end, AODV e G3AODV

Descrição	Valor
Número de nós	150
Área	700 x 300 m
Número de conexões	5 ou 30
Protocolo MAC	<i>AdhocWifiMac</i>
Modelo de rádio (<i>phymode</i>)	<i>WifiNetDevice</i>
Taxa de transmissão	2 Mb/s
Faixa de alcance do rádio	dependente do ganho
Ganho de transmissão e recepção	0 ou -4 dbm
Modelo de Propagação	<i>ConstantSpeedPropagationDelayModel</i>
Tráfego	<i>ConstantRateWifiManager</i>
Tamanho do pacote	512 Bytes
Seleção dos nós geradores	aleatório
Taxa de envio de pacotes	1 pacotes/s
Modelo de mobilidade	<i>Random waypoint</i> ou <i>2D-Gauss-Markov</i>
Tempo de simulação	300 s
Mobilidade dos nós	<i>Random Speed</i> [0, 8] m/s
Variação de Pause Time	{0, 100, 200} s
Número de execuções	50

4.4.2 Métricas

Para o comportamento bimodal foram utilizadas as métricas Total de Nós Participantes (TNP) representando os nós, em uma rede sem fio, que receberam uma mensagem encaminhada por probabilidade, no caso do Gossip3, e que receberam uma mensagem encaminhada por casamento do prefixo da mensagem com o prefixo do nó receptor (significando uma probabilidade de encaminhamento), no caso do REP. E o Total de Mensagens Recebidas (TMR) indicando o custo de envio desta

mensagem por meio do número total de mensagens trocadas na rede sem fio (foram realizadas 50 execuções, o número de simulações em que o erro calculado foi menor do que 6%, e as métricas são médias dos valores obtidos). Desta forma:

- Total de Nós Participantes (TNP) - número total de nós que receberam e enviaram pelo menos uma mensagem. Esta métrica representa os nós que participaram do encaminhamento de pelo menos uma mensagem e permite medir a penetração da mensagem na rede;
- Total de Mensagens Recebidas (TMR) - número total de mensagens recebidas pelos nós. Esta métrica permite medir o custo de mensagens na rede;
- Campos no prefixo (C) - número de campos para a formação do prefixo. Esta variável assumiu valores $C = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$;
- Bits nos campos (b) - número de bits por campo no prefixo. Esta variável assumiu os valores $b = \{1, 2, 3, 4\}$.

Para avaliar o comportamento do protocolo REP nestas condições, foram utilizadas as seguintes métricas (foram realizadas 50 execuções, o número de simulações em que o erro calculado foi menor do que 10%, e as métricas são médias dos valores obtidos):

- Taxa de Entrega (%) - taxa entre o número de mensagens recebidas pelo(s) nó(s) destino(s) dividido pelo número de mensagens transmitidas pelo(s) nó(s) origem(ns). Esta métrica permite quantificar o número de mensagens que conseguiram alcançar o destino, indicando a confiabilidade do protocolo REP. No caso das simulações em grupo, em que um nó origem envia e vários nós recebem a mensagem, a taxa de entrega medida foi dividida pelo número de nós destino;
- Latência (ms) - variação de tempo entre o envio da mensagem pela aplicação executada pelo nó fonte e a chegada desta mensagem na aplicação executada pelos nós destinatários. Nós destinatários, no caso do endereçamento, são aqueles que possuem no cabeçalho da mensagem o campo de destino *NULL* ou o P destino igual aos das mensagens. No caso do grupo, são aqueles que possuem interesse I iguais. Esta métrica permite quantificar o tempo de propagação da mensagem entre as aplicações, permitindo identificar aquelas que podem se beneficiar do protocolo REP;
- Número de Saltos - número de nós pelos quais as mensagens foram encaminhadas da origem para o destino. Esta métrica permite avaliar o grau de vizinhança dos nós na rede;

- Total de Mensagens Recebidas - o número total de mensagens recebidas por todos os nós na rede. Esta métrica permite quantificar o custo de mensagens na rede e conseqüentemente o custo de energia para os nós;
- Total de Mensagens com Erro na Recepção - o número total de mensagens que foram recebidas com erro e descartadas. O erro, de acordo com o simulador NS-3.8, pode ocorrer por erro de *checksum*, descarte da mensagem por fila cheia, tempo de vida da mensagem expirado ou outro erro não definido. Esta métrica permite avaliar o custo que as mensagens com erro infligem aos nós.

4.4.3 Cenários das Simulações Comportamento Bimodal, S1, S2, S3a e S3b

A simulação do comportamento bimodal foi realizada em um cenário regular, com 1000 e 10000 nós posicionados em grade, sem mobilidade. Uma mensagem era originada por um nó e medido o Total de Nós Participantes. O objetivo foi verificar a existência da característica bimodal apresentada no Gossip. O prefixo P possui opções de probabilidade de acordo com a combinação dos campos e dos bits por campos. Ainda, a distribuição de probabilidade na geração dos campos pode influenciar no número de nós alcançados e no custo de encaminhamento das mensagens. Para avaliar a influência de diferentes distribuições nesta geração, optamos por executar simulações com duas distribuições: aproximada à normal, e uniforme. Foram utilizadas como variáveis de entrada os campos de 1 a 8 e o número de bits por campo de 1 a 4, 50 execuções cada par (para todos os resultados apresentados, as métricas são valores médios obtidos para 50 execuções). O protocolo Gossip3 (G3) foi implementado no simulador para comparação com o protocolo REP. E avaliamos três cenários em grade, cada nó posicionado nas coordenadas (1, 1), (1, 2), etc.:

- REP em grade 20x50 (1000 nós),
- REP em grade 20x500 (10000 nós),
- G3 em grade 20x50 (1000 nós).

Para as simulações $S1$, $S2$, $S3a$ e $S3b$ em modo REP, cinco nós escolhidos aleatoriamente são configurados com interesse I e os cinco nós enviam uma mensagem contendo I para o grupo de cinco nós escolhidos aleatoriamente, enquanto no modo REP_end cinco nós escolhidos aleatoriamente enviam uma mensagem endereçada para cinco nós destino, também escolhidos aleatoriamente (cenário $C1$).

Em um outro cenário, da mesma forma anterior, para o modo REP são escolhidos aleatoriamente trinta nós para o grupo de interesse I e para o modo REP_end, quinze nós, que geram uma mensagem cada nó (Cenário $C2$).

Outro cenário escolhido (cenário *C3*), repete os cenários *C1* e *C2* porém com dez mensagens sendo geradas.

Para os protocolos AODV e G3AODV, estes foram utilizados como originalmente concebidos, e a comunicação de mensagens ocorre pelo método tradicional de formação de tabelas de roteamento e endereçamento IP. Estes protocolos não foram adaptados para usar o interesse como estratégia de encaminhamento de mensagens ou para formação de grupos, portanto estes protocolos somente possuem o modo endereçado.

As variáveis utilizadas nas simulações foram:

- Número de nós (N) - número de nós total na rede. Esta variável foi utilizada na avaliação de sensibilidade à densidade de nós (*S3b*), com os valores $N\{150, 250, 350, 450, 550\}$. Para as simulações (*S1*, *S2* e *S3a*) o valor foi mantido em 150 nós;
- Número de nós origem (N_o) - número de nós geradores de mensagens. Esta variável foi utilizada na simulação *S1* com o valor $N_o = 5$, nas simulação *S2* e *S3a* com os valores $N_o = \{5, 30\}$ e na simulação *S3b* assumiu o valor $N_o = 30$;
- Número de nós destino (N_d) - número de nós para os quais as mensagens são destinadas. Esta variável foi utilizada na simulação *S1* com o valor $N_d = 5$, nas simulação *S2* e *S3a* com os valores $N_d = \{5, 30\}$ e na simulação *S3b* assumiu o valor $N_d = 30$;
- Número de mensagens transmitidas (Msg_{tx}) - número de mensagens transmitidas por cada nó origem N_o . Para os experimentos *S1*, *S3a*, e *S3b* o valor desta variável assumiu o valor unitário. Para a simulação *S2* os valores utilizados foram $Msg_{tx} = \{1, 10\}$;
- Pause Time (s) - tempo durante o qual os nós se movendo param e permanecem nos lugares. Após o tempo de pausa, os nós voltam a se mover em trajetórias de acordo com o modelo escolhido. Esta variável assumiu os valores $Pause\ Time = \{0, 100, 200\}$ para todas as simulações.

O prefixo possui a função de iniciar o encaminhamento das mensagens de um nó para seus vizinhos (*warm up* do sistema), mesmo que estes nós vizinhos não possuam interesses coincidentes. O uso de interesses, somente, não permite o encaminhamento, devido a não haver garantia de o sistema inicialmente possuir nós com interesses que permitam o encaminhamento.

No sistema estabilizado, o prefixo possui a função de evitar o *flooding* no sistema, caso os nós possuam o mesmo interesse.

No endereçamento, a combinação do prefixo P e dos interesses I permite uma identificação probabilística para cada nó, possibilitando endereçamento fim-a-fim. Claramente pode-se observar que a identificação tradicional, por topologia, como no caso do IP, pode ser utilizada nesta abordagem devido ao IP poder ser um dos interesses do usuário. Outra forma de identificação determinística pode ser o uso de chaves criptográficas e senhas como interesses do usuário.

Embora seja possível a inserção de qualquer palavra como interesse, em nosso caso, para a escolha dos interesses foi proposto um dicionário para evitar os problemas relacionados com a ontologia.

O comportamento bimodal do prefixo P foi avaliado separadamente e o Prefixo Ativo $PA(P, I)$ foi utilizado em todas as simulações, avaliando a comunicação em grupo, REP, por meio do interesse I e a comunicação fim-a-fim, REP_end, por meio do endereçamento proporcionado pelo prefixo P .

Nesta tese, para efeito de simulação utilizou-se um prefixo com oito campos, três bits cada campo, $P(8, 3)$ e um campo de interesse I com tamanho máximo de 32 bits, $I(1, 32)$ (esta combinação de campo-bit foi escolhida após a avaliação do comportamento bimodal, por meio das Figuras 5.1 e 5.3).

4.5 Experimentos Práticos

Foram realizados dois experimentos, um utilizando 20 equipamentos Tmote-sky com interface aérea 802.15.4/Zigbee e sistema operacional TinyOS, e o outro 14 telefones celulares *smartphone* Motorola (2 modelos MB502, 5 modelos Spice XT300) e Samsung (um modelo Galaxy I9000 e 6 modelos Galaxy I5500) com interface aérea 802.11bgn/WiFi em modo ad hoc e sistema operacional Linux (Android 2.1 e 2.2).

4.5.1 Experimento com Motes (E1)

Nesta Seção, é apresentado o experimento $E1$ utilizando uma rede ad hoc de 20 nós (equipamentos TmoteSky [128]) distribuídos de acordo com a Figura 4.1, em um ambiente fechado, comunicando-se por ZigBee com a programação do protocolo REP utilizando o sistema operacional TinyOS.

O tamanho de mensagem usado foi de 116 Bytes com 41 Bytes para o prefixo e 73 Bytes para *payload*. O prefixo variou de um a cinco campos, cada campo com distribuição de probabilidade aproximada à normal, selecionados automaticamente para cada usuário. Os interesses foram selecionados automaticamente de um dicionário de palavras.

Para isolar o funcionamento do algoritmo nos nós da sobrecarga da instrumentação, esta foi desviada pela rede cabeada para o Sistema de Automação, Mo-

nitoração e Configuração de Redes Ad hoc (SAMCRA) para não haver interferência com a comunicação sem fio, assim como não houve processamento local dos resultados [129].

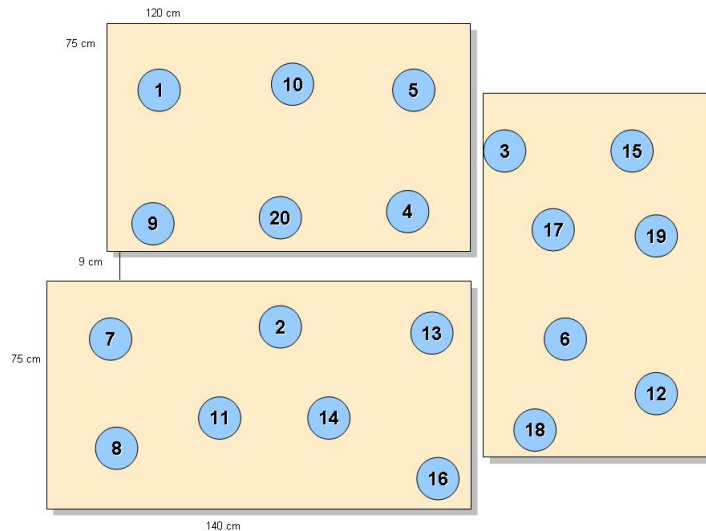


Figura 4.1: Distribuição dos vinte nós para os experimentos n1, n2 e n3.

O desempenho do REP foi comparado com o dos algoritmos *Flooding* e *G3*, utilizando as métricas: Taxa de Entrega, Latência, Total de Mensagens Recebidas, Total de Mensagens com Erro na Recepção e Total de Saltos.

Três experimentos representativos foram realizados para avaliar o REP (executados 20 vezes, com erro calculado menor do que 5%). O experimento n1, avalia os efeitos da distribuição de rádio-frequência (RF) dos nós na conectividade, no *multihop* e na contenção. Neste experimento, um nó transmite 1000 mensagens e a taxa de entrega de cada nó e as conexões com um salto são armazenadas. O experimento n2, avalia a contenção pelo protocolo ZigBee. Neste caso, variando o número de nós transmitindo 100 mensagens em intervalos de tempo variados, o percentual de mensagens recebidas com erro foi medido. No experimento n3, variou-se o número de nós transmitindo 1000 mensagens no intervalo de tempo de contenção mínima, medindo-se a Taxa de Entrega e o Total de mensagens recebidas. Este experimento prático foi publicado e mais detalhes da metodologia encontram-se descritos em [130], [131], [132], [133]. Uma patente depositada em 2006 foi deferida pelo escritório americano de patentes (USPTO) em 2012 [134]. Ainda, foi desenvolvida uma aplicação de troca de mensagens (*chat*) baseado na RAdnet em java, utilizando motes acoplados aos computadores pessoais utilizados no Laboratório de Computação Paralela (LCP), com o objetivo de medir a qualidade da experiência entre as pessoas e verificar a existência de erros perceptíveis pelos usuários na comunicação.

4.5.2 Experimento com Celulares (E2)

Outro experimento prático foi realizado utilizando celulares com Android 2.1 e 2.2 com um *chat* e um *daemon* desenvolvidos para este ambiente. Os celulares foram agrupados e entregues a seis pessoas que se movimentavam em um cenário de corredor e em uma área aberta arborizada (estacionamento) e que enviavam mensagens caminhando e parados. O objetivo deste experimento foi avaliar qualitativamente a comunicação entre os usuários e a existência de erros perceptíveis pelos usuários nesta comunicação.

Capítulo 5

Resultados e Discussão

Todas as simulações foram executadas 50 vezes. Para o Comportamento Bimodal, o erro máximo foi de 6%. A variância para o Número de Saltos e Latência foram maiores do que a variância das outras métricas (Taxa de Entrega, Total de Mensagens Recebidas e Total de Mensagens com Erro na Recepção), devido a este fato, as Figuras para a Latência possuem barras de erro. Embora o Número de Saltos possua a maior variância entre as métricas, as Figuras ficariam ilegíveis e optou-se por não usar barras de erro. As Figuras referentes às outras métricas também não possuem barras de erro para melhor visualização. Para um intervalo de confiança de 95% e o número de amostras igual a 50, o erro calculado para os resultados foi de 1%, exceto para a Latência que foi calculado em 6,8% e para o Número de Saltos, 10,9%.

5.1 Avaliação do Comportamento Bimodal

Para a avaliação do Comportamento Bimodal, um nó origem envia uma mensagem e mede-se o número de nós que a receberam, indicado pela métrica Total médio de Nós Participantes (TNP). Para estas avaliações, foram implementados no NS-3.8, o Gossip3 e o REP, com os campos do prefixo P gerados por duas distribuições de probabilidade: aproximada à normal e uniforme. Os resultados das simulações REP com características geradas por distribuições de probabilidade aproximada à normal e uniforme são apresentados nas Figuras 5.1 e 5.2, onde mostra-se TNP para as várias probabilidades Campo-bit dos campos do prefixo P (p.ex., Probabilidade Campo-bit igual a 1 – 4 indica a probabilidade obtida por 1 campo com 4 bits), e nas Figuras 5.3 e 5.4 mostra-se o TMR, para 1000 nós e 10000 nós respectivamente. A média e a variância da distribuição aproximada à normal variam de acordo com o número de bits no campo, ou seja, com as possibilidades para cada campo. Estas duas Figuras foram construídas ordenando-se os valores de TNP em ordem crescente e na abscissa os pares Campo-bit correspondentes. É possível notar que os pares

Campo-bit para as distribuições são diferentes, ou seja, os valores de probabilidade para cada par Campo-bit é influenciado pela distribuição e conseqüentemente, a distribuição de probabilidade influencia na escolha do par Campo-bit utilizado na implementação. Mais estudos são necessários para avaliar este comportamento.

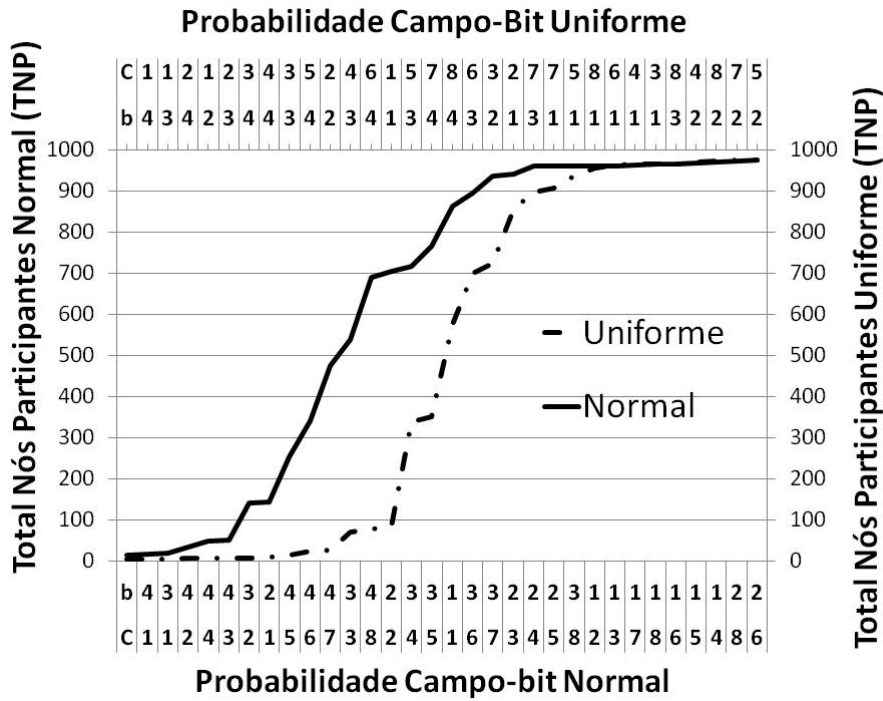


Figura 5.1: Comportamento Bimodal no REP, com distribuição aproximada à normal e uniforme, em Grid 20x50

A Figura 5.1 revela que para 1000 nós, o REP com os campos do prefixo P gerados por distribuições aproximada à normal e uniforme exibe praticamente o comportamento bimodal, com uma faixa de probabilidade Campo-bit na qual os nós não encaminham mensagem alguma e uma outra onde os nós encaminham todas as mensagens. Por exemplo, para a distribuição uniforme, a partir de $6 - 1$ e acima, mais de 97% dos nós encaminham as mensagens e para $5 - 4$ e abaixo, os nós não encaminham nenhuma mensagem, enquanto que para a distribuição aproximada à normal, isso ocorre a partir de $7 - 3$ e $2 - 4$, respectivamente.

Na Figura 5.2, foram utilizados 10 mil nós e nota-se a tendência de comportamento bimodal na REPA para distribuições aproximada à normal e uniforme. Nesta simulação, foi verificado que utilizando $P(8(3), 1(32))$ com 8 campos, 3 bits e um interesse, 32 bits, não houve duplicidade de PAs entre os 500 mil PAs gerados.

Uma vez verificado que o REP com campos de prefixo P gerados por distribuições aproximada à normal e uniforme tendem ao comportamento aparentemente bimodal, realizamos simulações com o Gossip3, implementado no simulador, para servir de referência e comparação com o REP. Com este fim, variamos a probabilidade p do

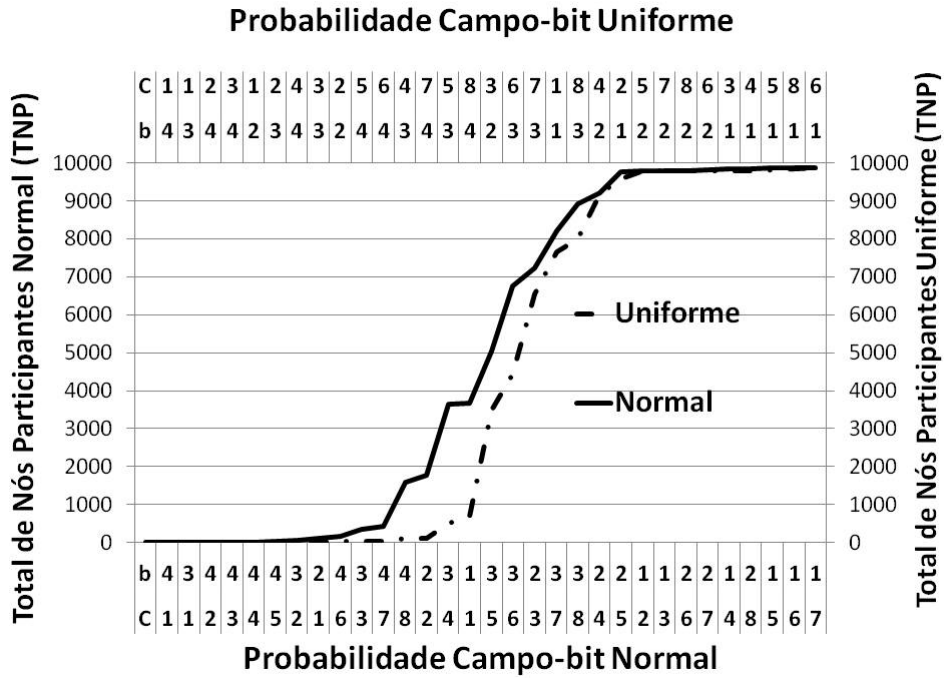


Figura 5.2: Comportamento Bimodal no REP, com distribuição aproximada à normal e uniforme, em Grid 20x500

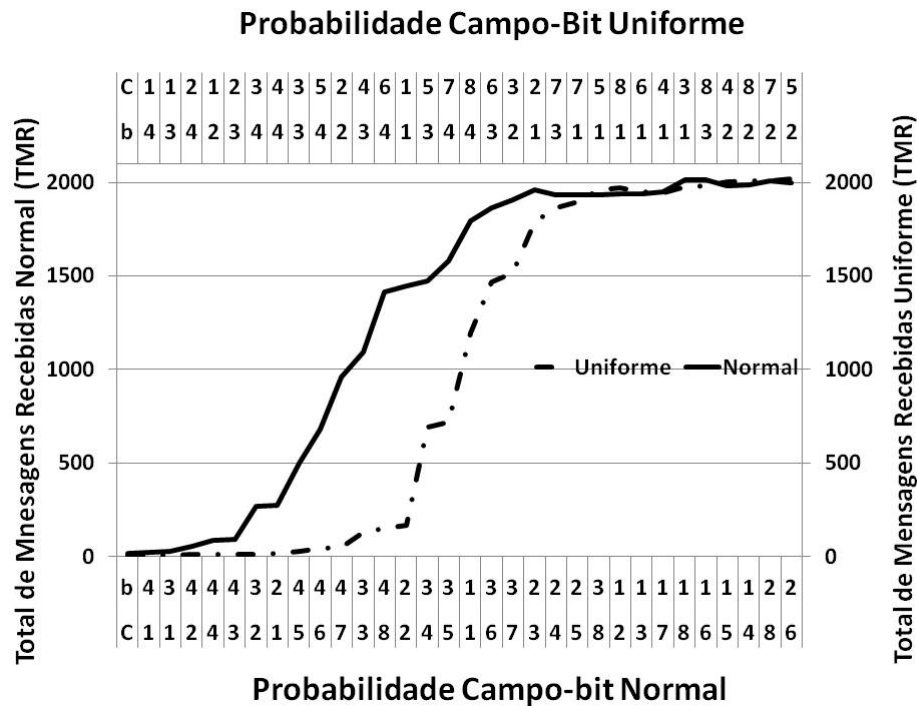


Figura 5.3: Custo do comportamento Bimodal no REP, com distribuição aproximada à normal e uniforme, em Grid 20x50

Gossip3 de $[0, 1; 1]$ e medimos o TNP.

Uma tabela relacionando os pares Campo-Bit e a probabilidade de encaminha-

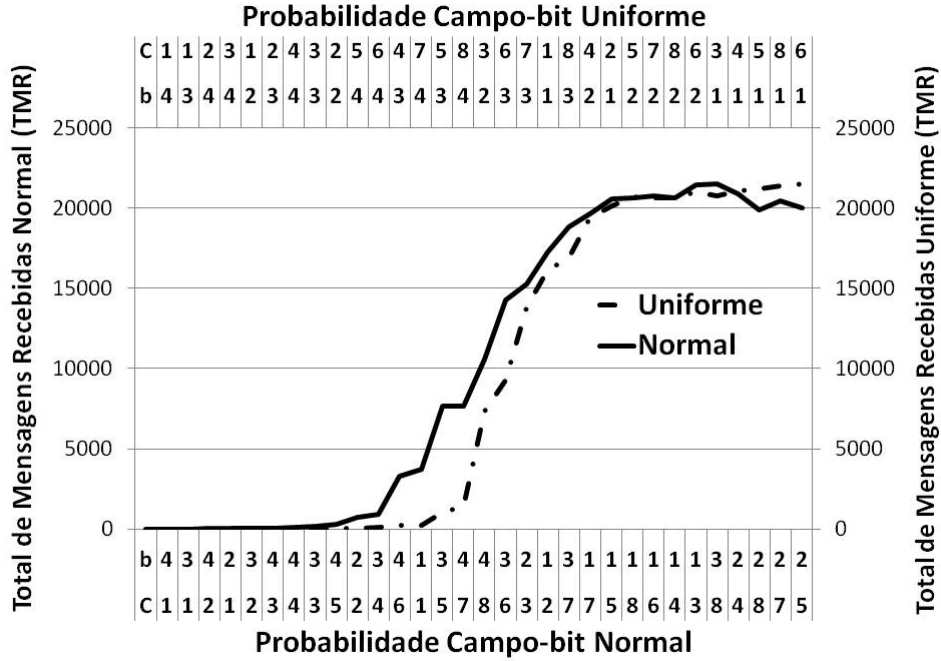


Figura 5.4: Custo do comportamento Bimodal no REP, com distribuição aproximada à normal e uniforme, em Grid 20x500

mento de mensagem p no Gossip3 é apresentada em 5.1.

Baseado nesta tabela pode-se obter uma relação entre o par Campo-Bit e a probabilidade de encaminhamento que cada par possui para cada distribuição de probabilidade, aproximada à normal e uniforme. Desta forma, vê-se que a escolha de $P(8, 3)$ em uma distribuição aproximada à normal possui probabilidade de encaminhamento $p[0, 6, 0, 8]$ de acordo com a tabela 5.1, a mesma faixa de trabalho encontrada no Gossip3.

Nas Figuras 5.5 e 5.6 é apresentado o Total de Nós Participantes (TNP) e o Custo de Mensagens Recebidas, para uma dada probabilidade de encaminhamento, p . Na Figura 5.5 verificamos que, para o Gossip3, $p > 0, 6$, $TNP > 900$. Podemos notar pela Figura 5.6, que para $p > 0, 9$, o custo aumenta. Este resultado explica porque a faixa de trabalho do Gossip3 foi estabelecida entre 0, 65 a 0, 85, com valor de trabalho em 0, 65, com menor custo. Para REP com os campos formados por distribuição aproximada à normal, o valor de $TNP > 900$ é encontrado na Figura 5.1 para o par Campo-Bit à direita de 3 – 2. Desta forma, podemos utilizar os pares Campo-Bit [3 – 2, 2 – 1, 7 – 3, 7 – 1, 5 – 1, 8 – 1, 6 – 1, 4 – 1, 3 – 1, 8 – 3, 4 – 2, 8 – 2, 7 – 2, 5 – 2, 6 – 2] para obtermos encaminhamento das mensagens pelos nós semelhante ao Gossip3 com $p > 0, 6$

A utilização do Prefixo como identificação única foi validada nesta simulação, em que 500000 nós foram gerados e não ocorreu duplicidade na identificação, demons-

Tabela 5.1: Probabilidade Campo-Bit

Gossip3		Normal			Uniforme		
p	TNP	Campo	Bit	TNP	Campo	Bit	TNP
0,1	44	1	4	13	1	4	3
0,2	56	1	3	15	1	3	4
0,3	91	1	1	688	1	1	76
0,4	236	8	4	764	8	4	351
0,5	548	6	3	862	6	3	574
0,6	887	3	2	895	3	2	698
0,7	946	6	1	960	6	1	956
0,8	962	8	3	964	8	3	965
0,9	970	5	2	971	5	2	974
1,0	975	6	2	973	6	2	975

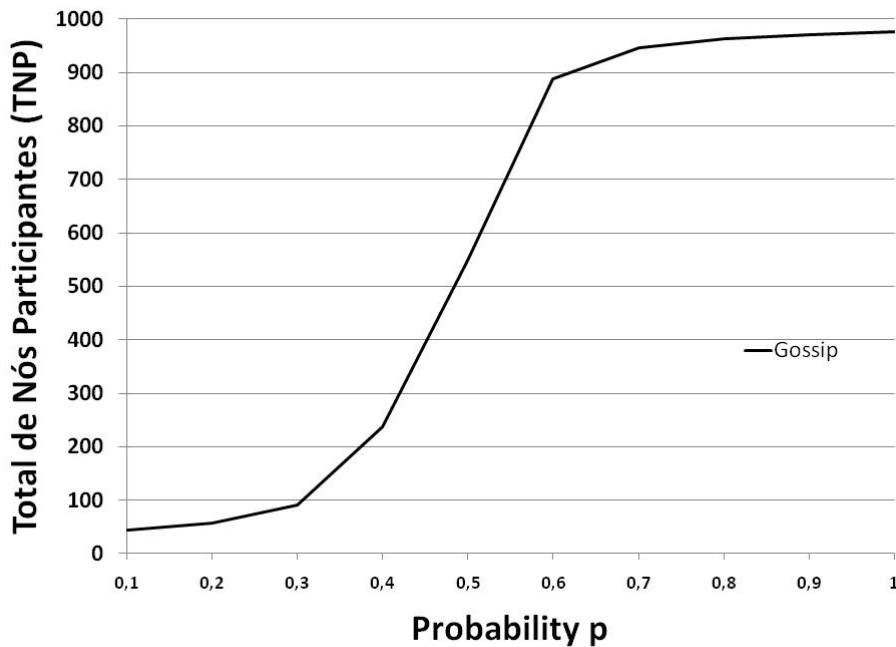


Figura 5.5: Comportamento Bimodal no Gossip em Grid 20x50

trando que, no REP, não há necessidade de endereços topológicos como o IP, embora seu uso possa ser feito, bastando que o endereçamento IP seja um dos interesses no Prefixo. Vemos neste caso que o endereçamento IP não utiliza a hierarquia como no caso de redes cabeadas, perdendo sua principal vantagem.

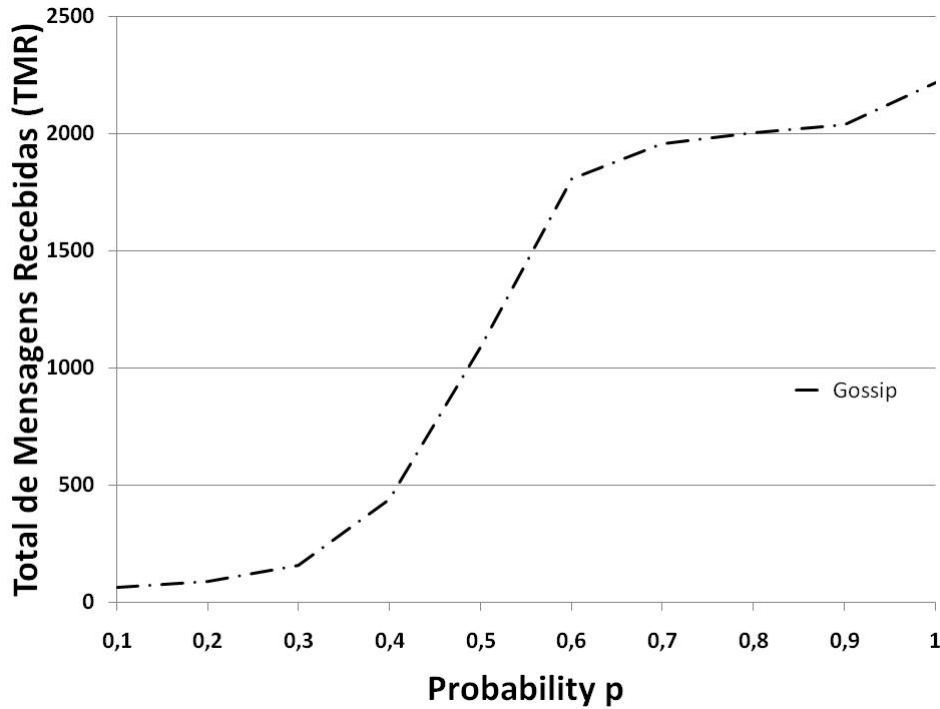


Figura 5.6: Custo no Gossip em Grid 20x50

5.2 Avaliação de Desempenho (Simulações S1 e S2)

5.2.1 Resultados para REP comparado a AODV e G3AODV (S1)

Na comparação de REP e REP_end com os protocolos G3AODV e AODV (como originalmente concebidos, sem interesse e *PA*), para 5 nós, verifica-se pela Figura 5.7 que REP e REP_end têm valores próximos a 100% de Taxa de Entrega, enquanto G3AODV e AODV têm valores menores do que 80%. Quando ocorre o aumento do número de nós para 15 (Rep_end) e 30 (REP) (Figura 5.8), verifica-se que REP permanece com Taxa de Entrega próxima a 100%, e REP_end cai para 64%, enquanto o valor para G3AODV foi 55% e para AODV 50%.

Quanto à Latência, para 5 nós, apresentada na Figura 5.9, verifica-se que as latências de REP e REP_end obtiveram valores em torno de 90 ms, e não variaram com o Pause Time, enquanto a Latência do G3AODV e AODV alcançaram valores de 1200 ms, portanto REP é melhor em uma ordem de grandeza. Com 15 (REP_end) e 30 (REP) nós, apresentado na Figura 5.10, REP obteve Latência igual a 90 ms, não se alterando, e REP_end obteve Latência igual a 120 ms, enquanto G3AODV e AODV obtiveram Latência igual a 1500 ms, mantendo a relação de uma ordem de grandeza com relação a REP e REP_end. Note-se que, caso uma aplicação possa

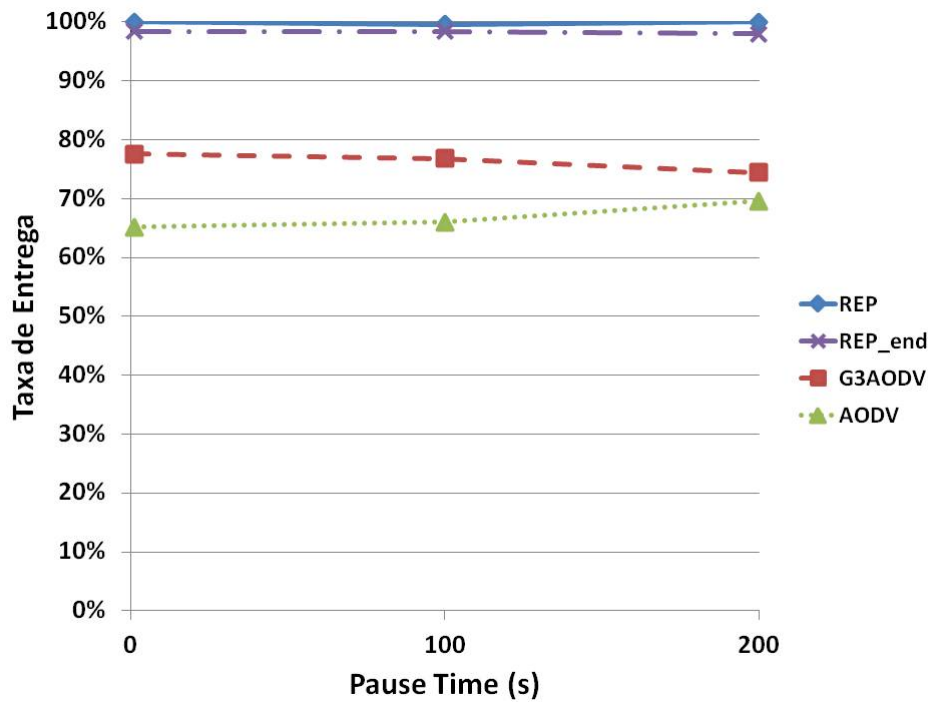


Figura 5.7: Taxa de Entrega de Mensagens para 5 nós geradores de mensagens

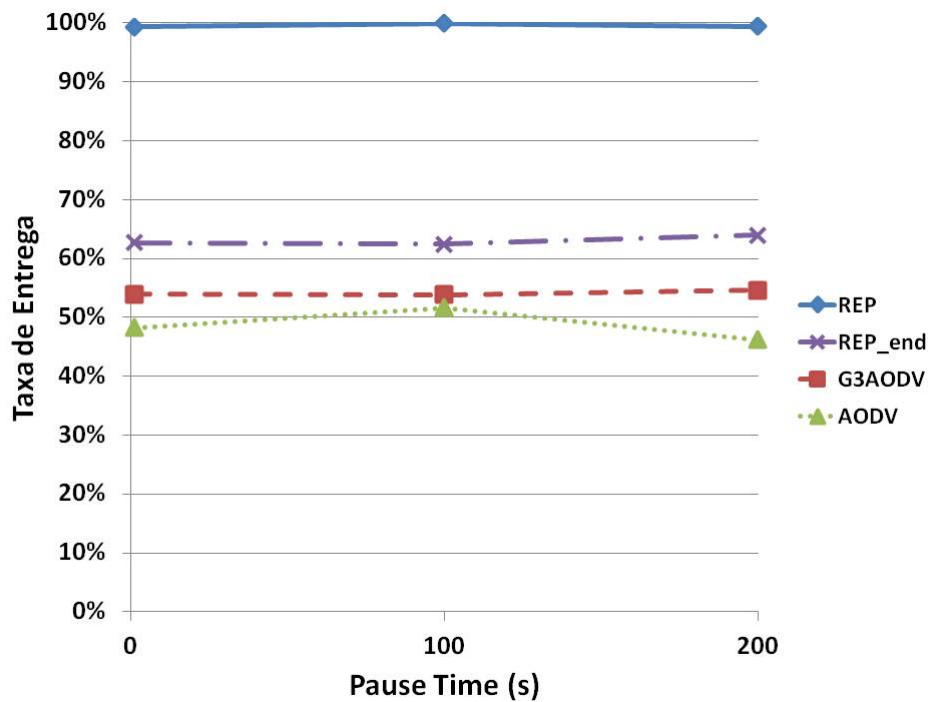


Figura 5.8: Taxa de Entrega de Mensagens para 15 (REP_End) e 30 (REP) nós geradores de mensagens

prejudicar a Taxa de Entrega em relação à Latência, esta pode ser diminuída para 40 ms, bastando diminuir o Intervalo de Mensagens, conforme pode ser visto na Figura A.2 do Apêndice A.

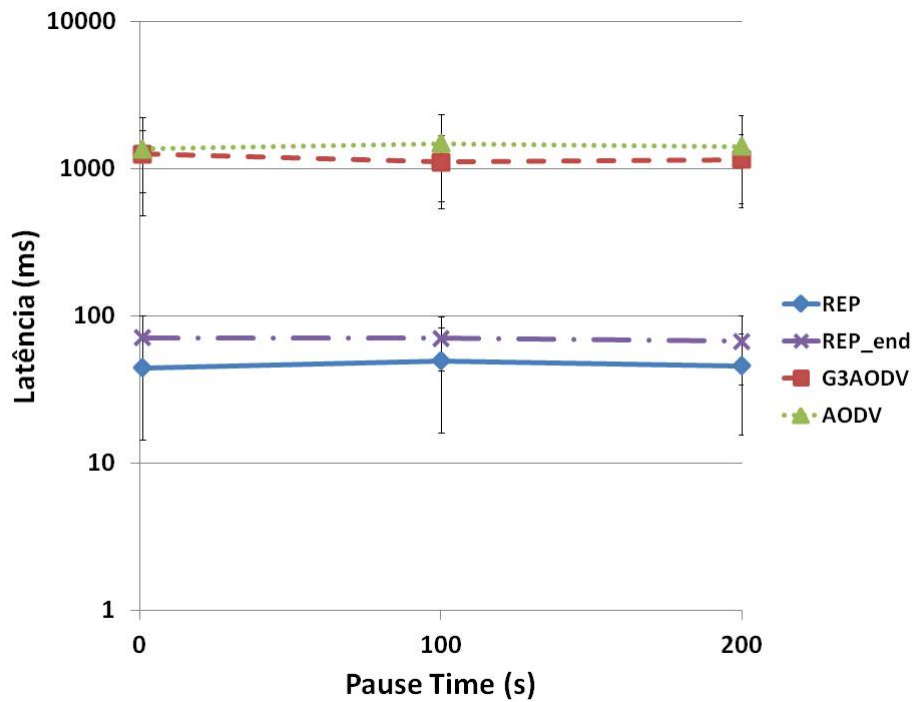


Figura 5.9: Latência para 5 nós geradores de mensagens

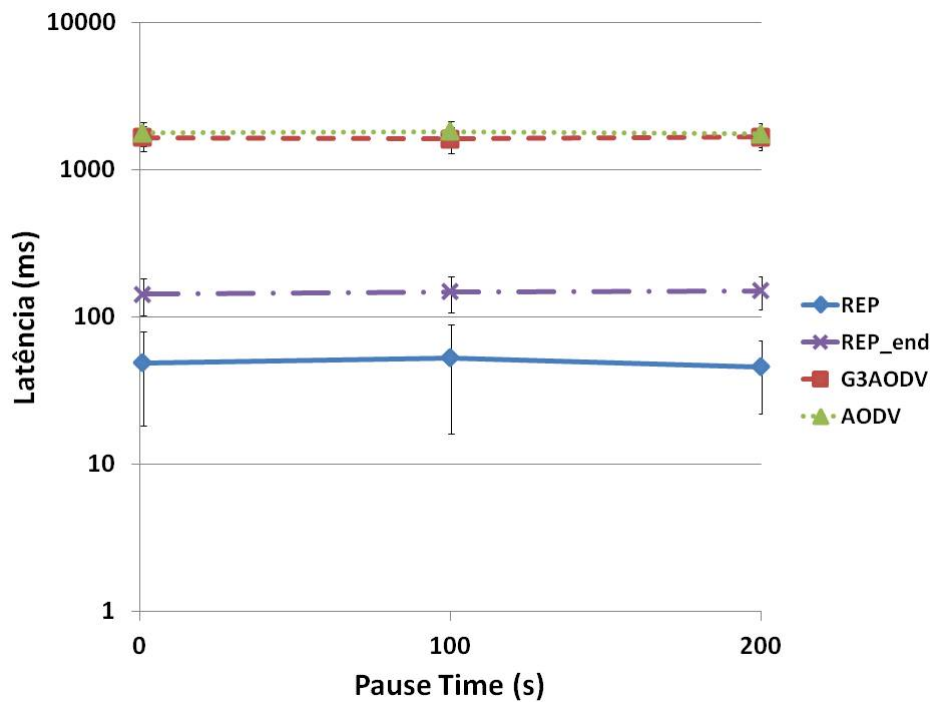


Figura 5.10: Latência para 15 (REP_End) e 30 (REP) nós geradores de mensagens

Quanto ao Total de Mensagens Recebidas, para 5 nós, apresentado na Figura 5.11, verifica-se que o número de mensagens para REP e REP_end se mantém constante independente da variação do Pause Time e com valor de 2000 e 9000 mensagens respectivamente, enquanto para G3AODV e AODV o Total de Mensagens

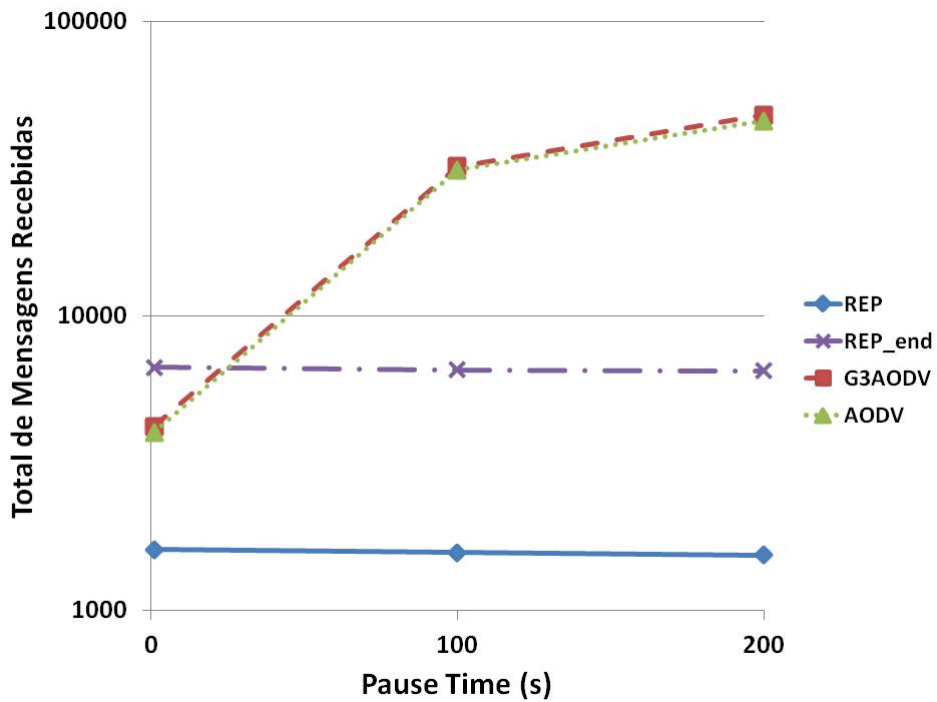


Figura 5.11: Total de Mensagens Recebidas para 5 nós geradores de mensagens

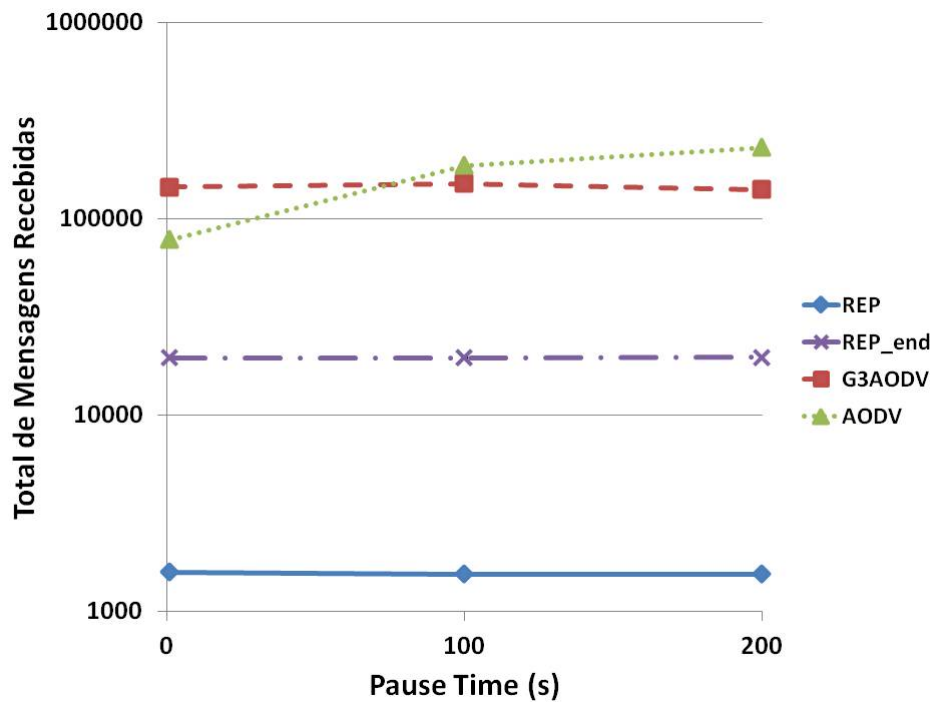


Figura 5.12: Total de Mensagens Recebidas para 15 (REP_End) e 30 (REP) nós geradores de mensagens

Recebidas aumenta de 8000 mensagens para 80000 mensagens quando Pause Time aumenta de 1s para 200s. Para 15 (REP_end) e 30 (REP) nós, apresentada na Figura 5.12, REP mantém o mesmo valor de Total de Mensagens Recebidas (2000

mensagens) e REP_end aumenta de 9000 para 12000 mensagens, permanecendo constante para a variação de Pause Time. Quanto a G3AODV, este permanece constante com a variação de Pause Time, porém com um Total de Mensagens Recebidas de 120000 mensagens. Em AODV percebe-se um aumento no Total de Mensagens recebidas com o aumento do Pause Time, variando de 90000 para 140000 mensagens. Estes valores refletem um ganho de duas ordens de grandeza em REP, e de uma ordem de grandeza em REP_end, em comparação com os valores encontrados em G3AODV e AODV.

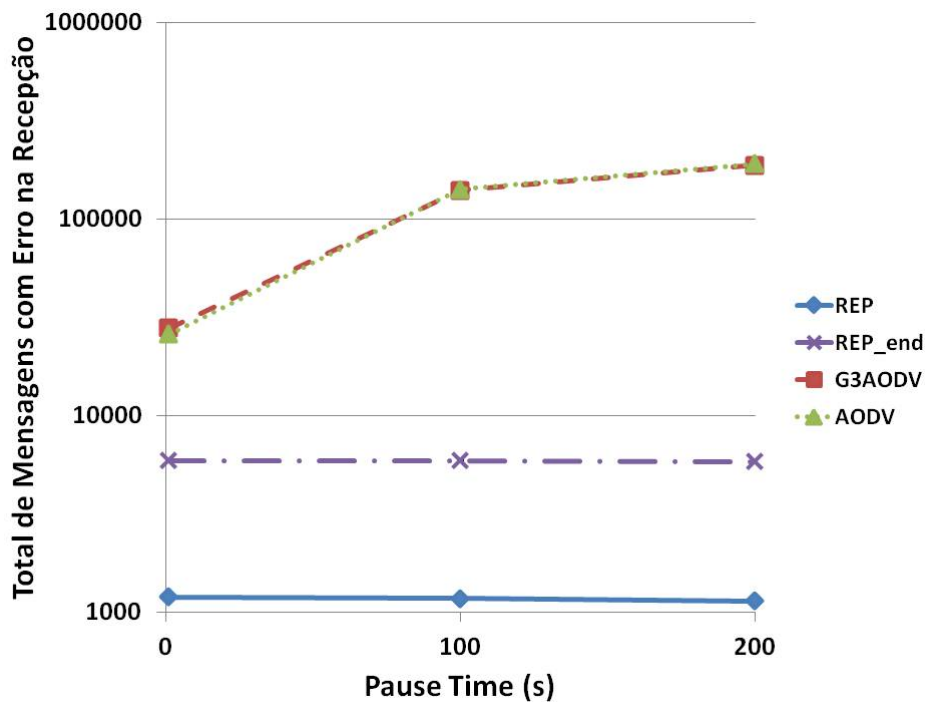


Figura 5.13: Total de Mensagens com Erro na Recepção para 5 nós geradores de mensagens

Pode-se ainda avaliar a quantidade de erros ocorridos na recepção (Total de Mensagens com Erro na Recepção), por meio das Figuras 5.13 e 5.14. Verifica-se que o total de erros na recepção, para 5 nós, para G3AODV e AODV aumentam quando o Pause Time aumenta de 60000 mensagens perdidas para 300000 mensagens. Para REP e REP_end, estas permanecem constantes com a variação de Pause Time, e com valores de Total de Mensagens com Erro Recebidas iguais a 8000 e 2000, respectivamente. Para 15 (REP_end) e 30 (REP) nós, verifica-se que ocorre um aumento para 1100000 de mensagens perdidas tanto para G3AODV quanto para AODV, enquanto para REP_end ocorre um aumento de 8000 para 15000 mensagens perdidas, e para REP não se observa variação nos valores na ocorrência de aumento de 5 para 15 e 30 nós, respectivamente. Este aumento de 300000 para 1100000 mensagens perdidas torna os protocolos G3AODV e AODV inviáveis em um ambiente

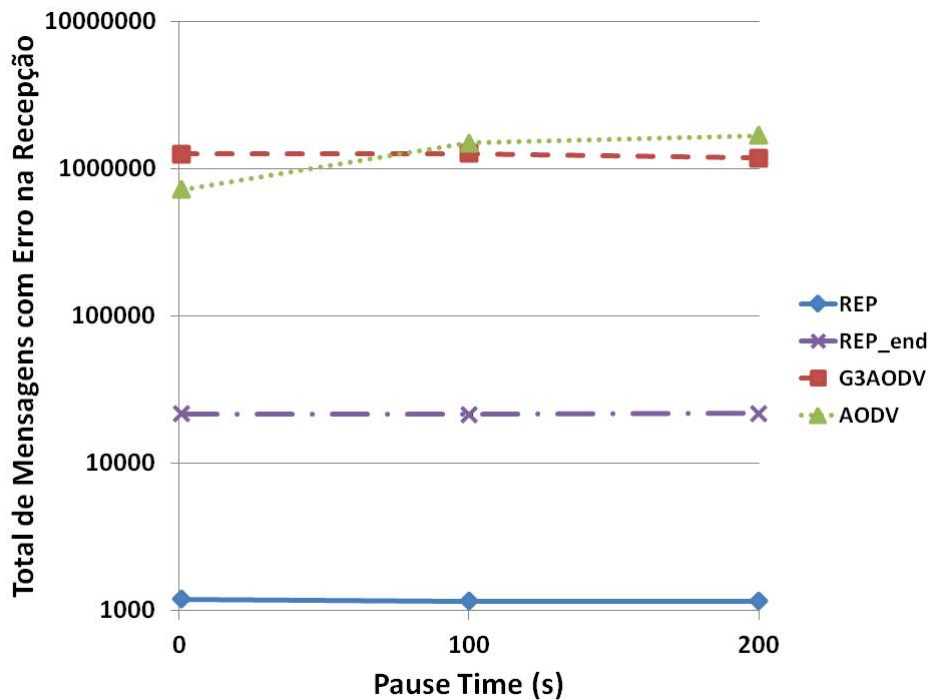


Figura 5.14: Total de Mensagens com Erro na Recepção para 15 (REP_End) e 30 (REP) nós geradores de mensagens

simulado com interferência.

Por fim, foi avaliado o Número de Saltos para 5 (REP e REP_end), 15 (REP_end) e 30 (REP) nós, variando Pause Time, apresentado nas Figuras 5.15 e 5.16. Pode-se verificar que o Total de Saltos, para 5 nós, para REP se aproxima dos valores encontrados para G3AODV e AODV (6,5 saltos), e os valores para REP_end são maiores (8 saltos). Este maior número de saltos para REP_end pode explicar a maior Taxa de Entrega encontrada, devido às mensagens terem se propagado por mais nós aumentando a probabilidade de entrega da mensagem aos nós destino. Para 30 nós, REP obteve Total de Saltos igual a 7, enquanto REP_end para 15 nós caiu para 7 saltos. G3AODV e AODV obtiveram em torno de 4 saltos. Verifica-se que mesmo com REP e REP_end obtendo valores de Total de Saltos maiores do que G3AODV e AODV, isto não se refletiu no aumento da Latência.

5.2.2 Resultados para REP com mensagem longa (S2)

Para mensagem longa, simulações utilizando G3AODV não completaram para as 50 execuções conforme apresentado na Tabela 5.2 (simulações para AODV foram piores e não são apresentadas). Especificamente, G3AODV falhou para todas as execuções para 15 nós, em qualquer Pause Time, logo, 15 nós configuram um limite para G3AODV, em que o custo de mensagens recebidas é o máximo para G3AODV. A partir deste valor, G3AODV falha completamente para manter os caminhos e as

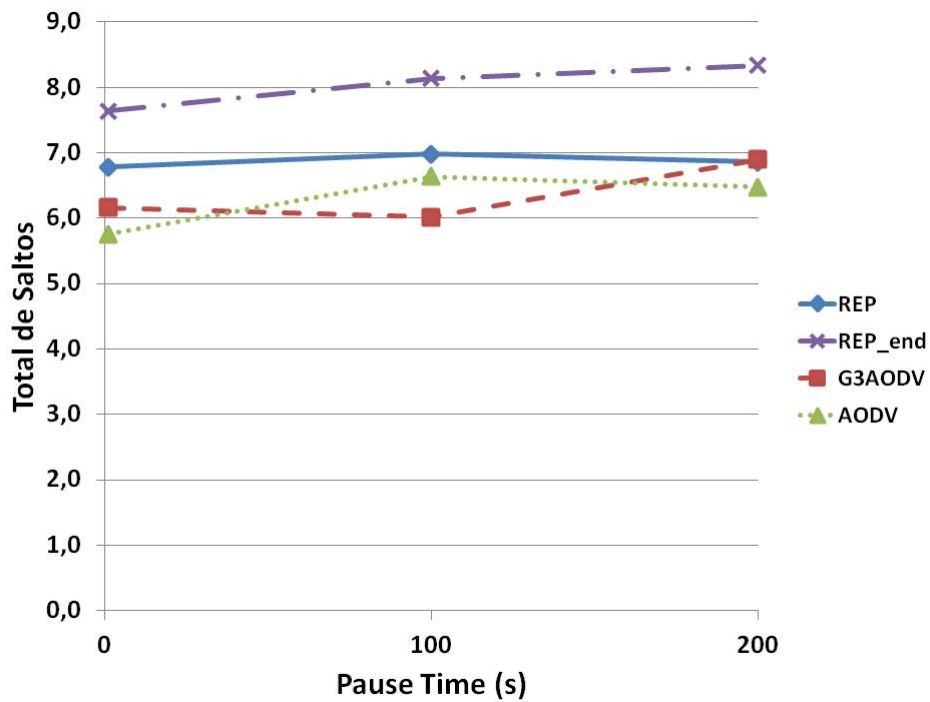


Figura 5.15: Total de Saltos para 5 nós geradores de mensagens

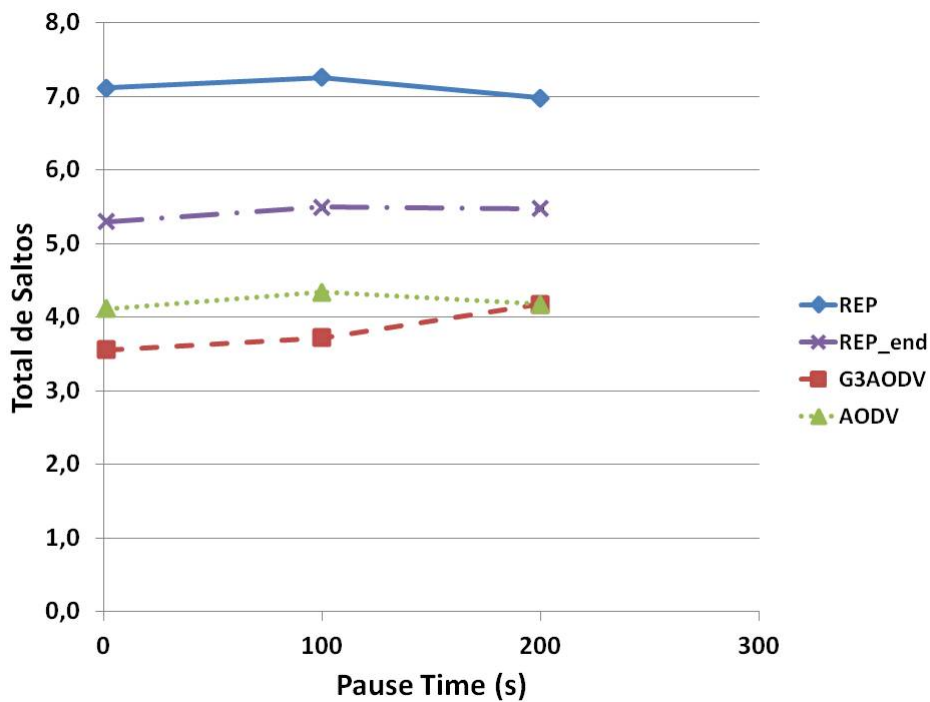


Figura 5.16: Total de Saltos para 15 (REP_End) e 30 (REP) nós geradores de mensagens

tabelas de roteamento, que confirma resultados anteriores na literatura [40].

Em contraste, o protocolo REP completou todas as execuções para mensagens longas e os resultados são apresentados nas Figuras 5.17, 5.18, 5.19, 5.20 e 5.21.

Tabela 5.2: G3AODV - Falhas de execução na simulação (FE) para mensagem longa

Nós	PT(s)	FE (%)	Nós	PT(s)	FE (%)
5	1	62	15	1	98
5	100	46	15	100	100
5	200	38	15	200	100

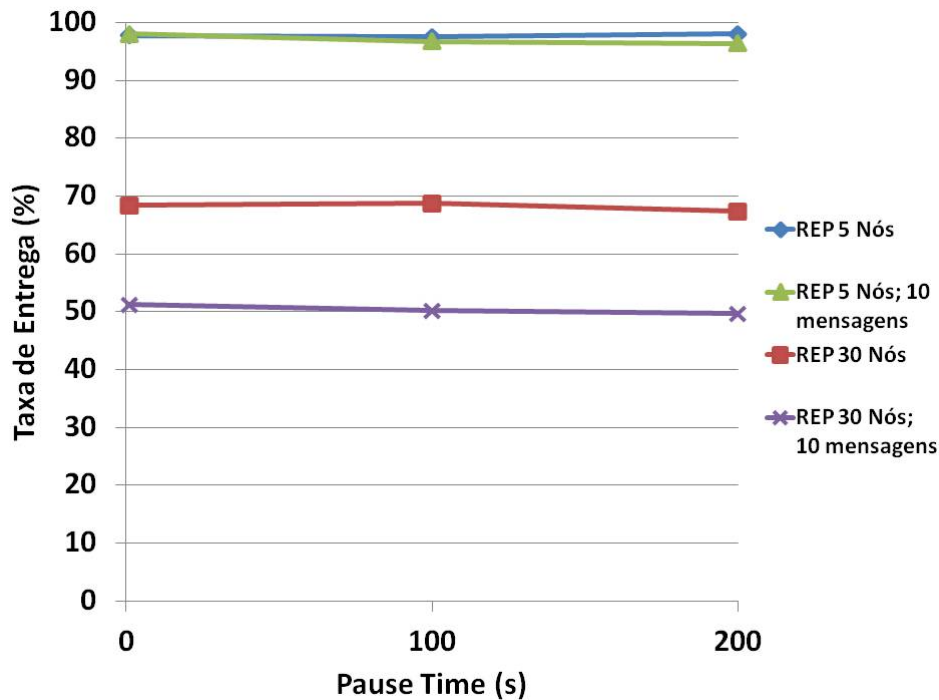


Figura 5.17: Taxa de Entrega REP para 1 e 10 mensagens

A Figura 5.17 mostra que a Taxa de Entrega de mensagens diminuiu de 98 para 51% quando o número de nós variou de 5 para 15. Isto é explicado pelo aumento no número de mensagens transmitidas que aumenta a interferência de transmissões não agendadas, aumentando a contenção para a comunicação no meio. Assim, aumenta a congestão na rede, reduz o número de mensagens sendo transmitidas com sucesso, diminuindo a Taxa de Entrega.

O problema de contenção entre os nós e de congestão na rede é um problema em aberto em MANETs e mais estudos devem ser realizados utilizando o protocolo REP.

A Figura 5.18 apresenta a Latência no protocolo REP. Como pode ser observado, a Latência é baixa, 140 ms e 280 ms, para nós iguais a 5 and 30, respectivamente, o que pode ser explicado pelo baixo custo de mensagens do protocolo REP.

A curva de custo de mensagens na Figura 5.19, aumenta de 8000 para 23000, quando o número de nós varia de 5 para 15. Este resultado explica porque a Taxa de Entrega de mensagem do protocolo REP foi reduzida quando o número de nós au-

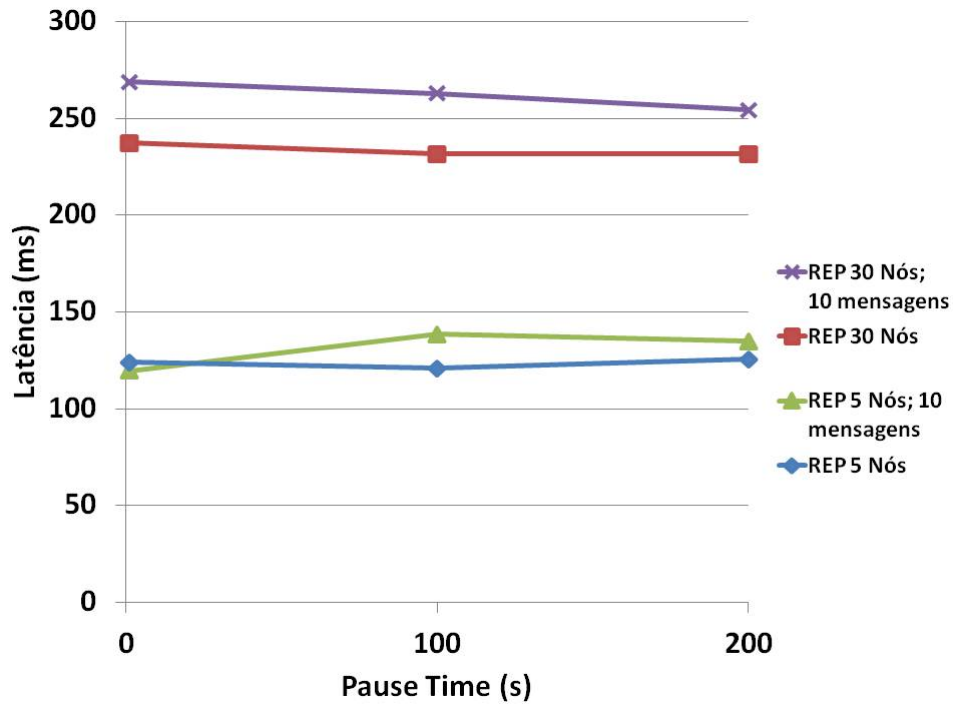


Figura 5.18: Latência REP para 1 e 10 mensagens

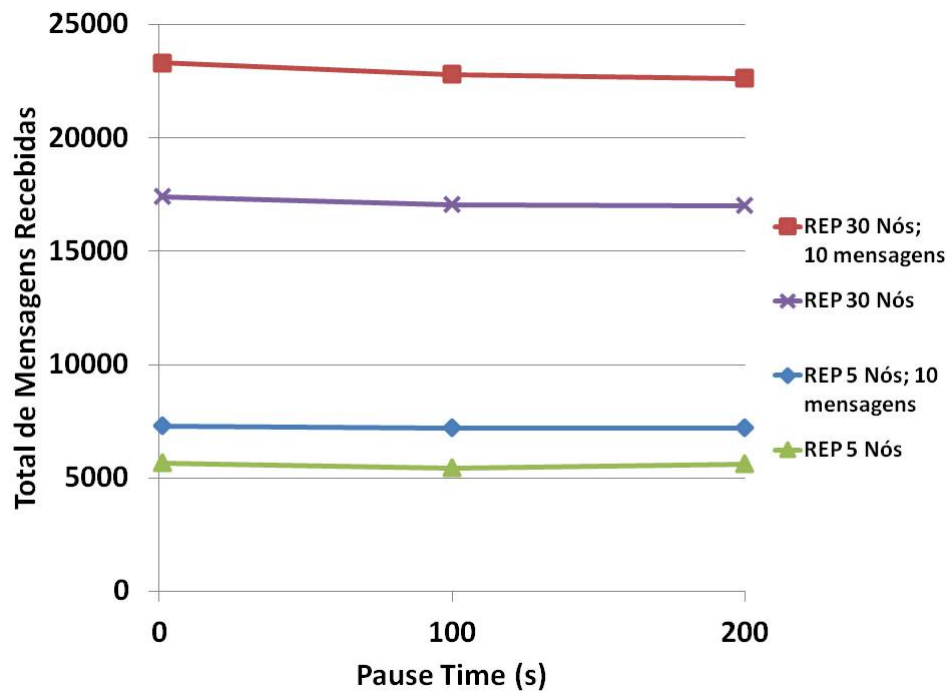


Figura 5.19: Total de Mensagens Recebidas REP para 1 e 10 mensagens

mentou. Como esperado, a Taxa de Entrega foi afetada negativamente pelo número de mensagens que compartilham o meio.

Pela Figura 5.20 verifica-se que REP 5 nós gerando uma mensagem obteve o menor valor para Total de Mensagens com Erro na Recepção (3500), enquanto REP 30

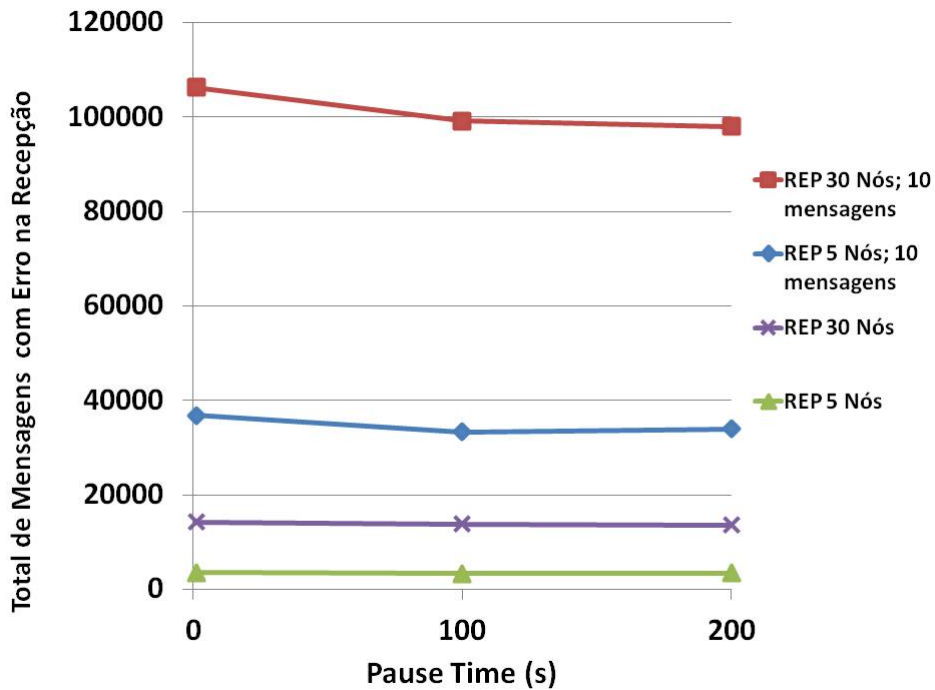


Figura 5.20: Total de Mensagens com Erro na Recepção REP para 1 e 10 mensagens

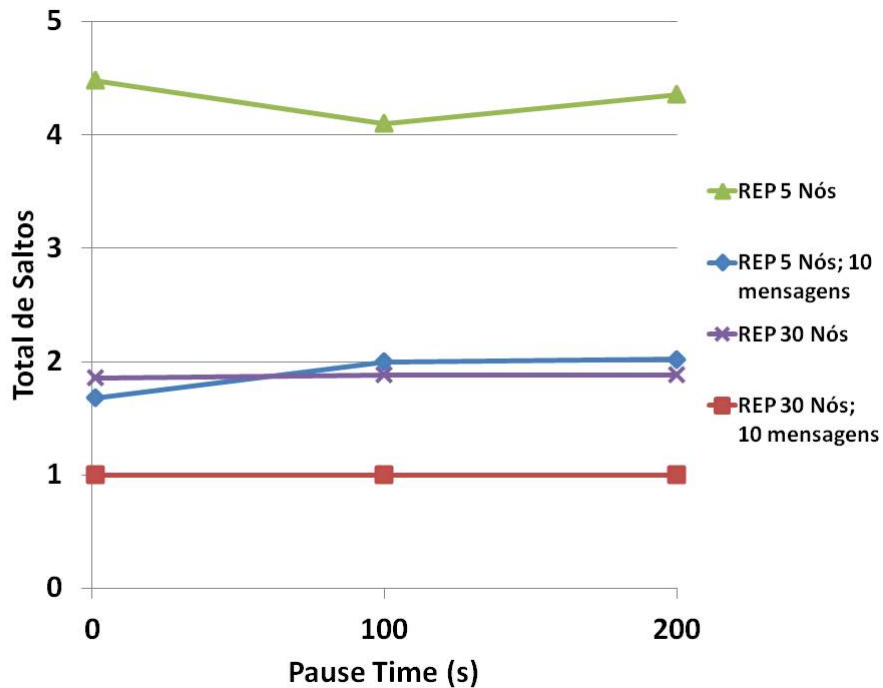


Figura 5.21: Número de Saltos REP para 1 e 10 mensagens

nós com uma mensagem obteve o valor 13900. Ao aumentar o número de mensagens para 10, REP 5 nós alcança o valor de 35000 mensagens com erro na recepção, e REP 30 nós obtém 100000 mensagens. Estes valores sugerem uma alta interferência quando o número de mensagens e o número de nós geradores aumentam.

A Figura 5.21 apresenta o Número de Saltos das mensagens e pode-se verificar que o valor diminui de 2 para 1 quando o número de nós aumenta de 5 para 15 evidenciando a proximidade dos nós origem em relação aos nós destino. Finalmente, a Figura 5.20 apresenta o Total de Mensagens com Erro na Recepção, onde 30 nós e 10 mensagens possui o maior valor entre os alcançados, 110000, mostrando que o envio de muitas mensagens na rede provoca um impacto na interferência e o aumento no número de mensagens recebidas com erro.

5.3 Análise de Sensibilidade

5.3.1 Resultados REP com mobilidade 2D-Gauss-Markov (S3a)

Com o objetivo de avaliar a independência do protocolo REP em relação à mobilidade na rede, foram realizadas simulações para o modelo de mobilidade 2D-Gauss-Markov utilizando as mesmas variáveis e métricas da seção anterior, exceto a métrica Total de Mensagens com Erro na Recepção.

As Figuras 5.22, 5.23, 5.24, 5.25 e 5.26 apresentam os resultados obtidos para REP e para REP_end. É possível verificar pela Figura 5.22 que a taxa de entrega para REP e REP_end foram praticamente iguais, para 5 alcançando o valor 98%, e para 15 (REP_end) e 30 (REP) nós, o valor de 59%. Estes valores também são bem próximos aos alcançados utilizando o modelo de mobilidade *Randomwaypoint*. A Figura 5.23 apresenta a Latência aumentando de 140 ms e 250 ms, para 5 e 30 nós em REP, para 150 e 300 ms, para 5 e 15 em REP_end, valores dentro da margem de erro dos alcançados no modelo *Randomwaypoint* (100 ms, para 5 e 30 nós em REP, e 200 ms, para 5 e 15 em REP_end (Figura 5.18)). Quanto ao Total de Mensagens Recebidas, apresentado na Figura 5.24, o custo se mantém em 8000 e 26000 para ambos REP e REP_end, bem como no caso da mobilidade *Randomwaypoint*. O Total de Mensagens com Erro na Recepção, Figura 5.25 obteve para 5 nós, REP e REP_end, valor de 35000, enquanto para 15 nós, REP e REP_end, valor de 118000. O Número de Saltos em relação a REP e REP_end, Figura 5.26, aumenta consideravelmente, 1 e 2, para 5 nós e 15 (REP_end) e 30 (REP) nós, para 4, 5 e 6, 5, respectivamente, aproximando-se dos valores encontrados na mobilidade *Randomwaypoint*.

É possível observar que a mudança de modelo de mobilidade não influencia os valores encontrados para as métricas medidas, mostrando que REP pode ser utilizado caso os ambientes possuam essas mobilidades.

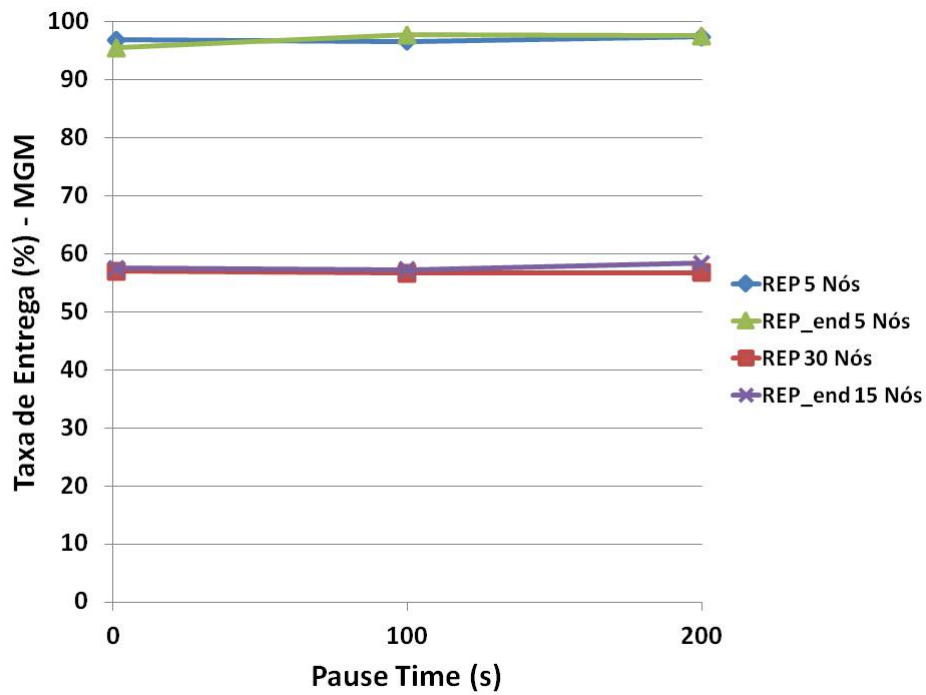


Figura 5.22: Taxa de Entrega REP para 5 e 15 (REP_End) e 30 (REP) nós geradores de mensagens com mobilidade 2D-Gauss-Markov

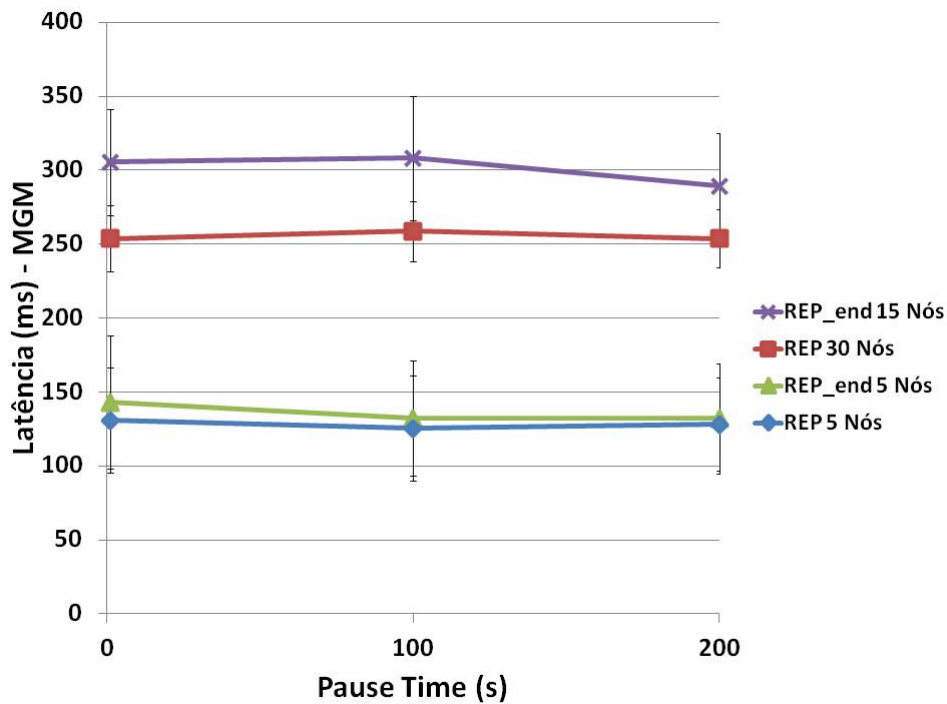


Figura 5.23: Latência REP para 5 e 15 (REP_End) e 30 (REP) nós geradores de mensagens com mobilidade 2D-Gauss-Markov

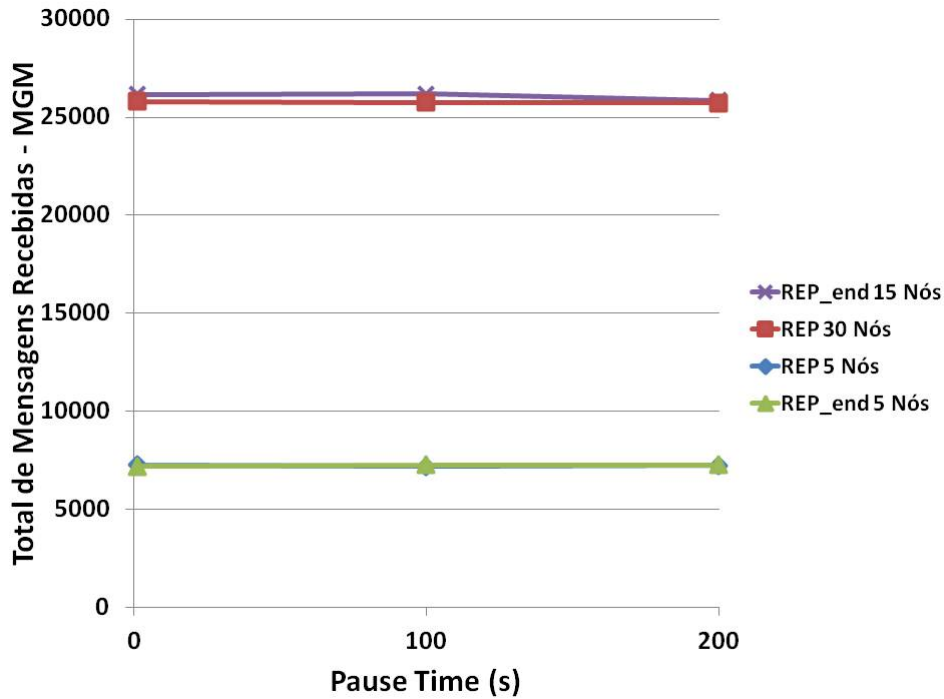


Figura 5.24: Total de Mensagens Recebidas REP para 5 e 15 (REP_End) e 30 (REP) nós geradores de mensagens com mobilidade 2D-Gauss-Markov

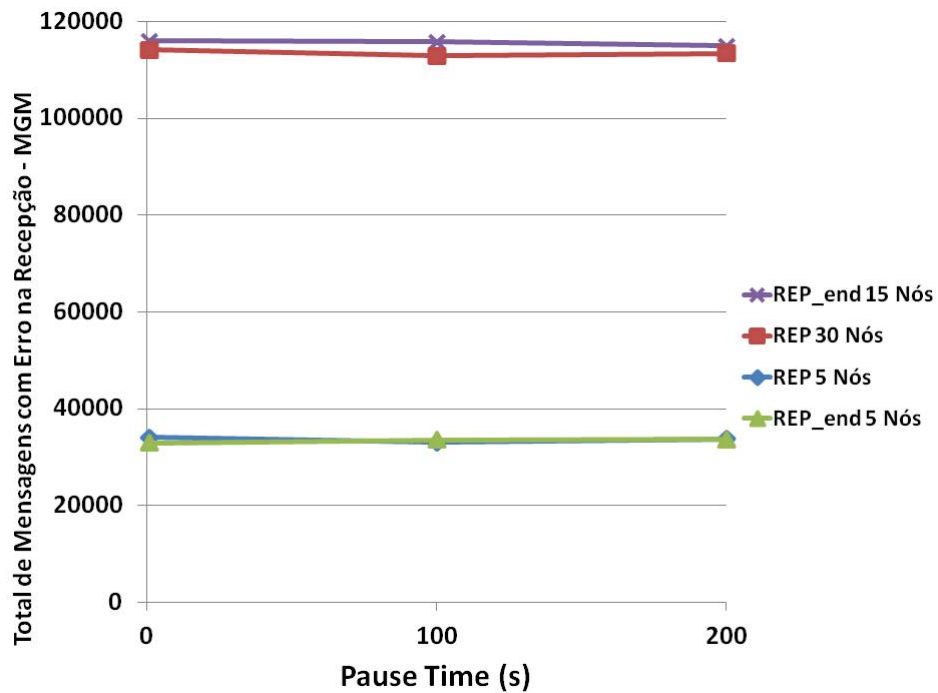


Figura 5.25: Total de Mensagens com Erro na Recepção para 5 e 15 (REP_End) e 30 (REP) nós geradores de mensagens com mobilidade 2D-Gauss-Markov

5.3.2 Avaliação da Densidade de Nós (S3b)

A densidade de nós em uma região é um fator importante para a comunicação de mensagens em redes sem fio, desta forma, foi realizada a variação do número de nós

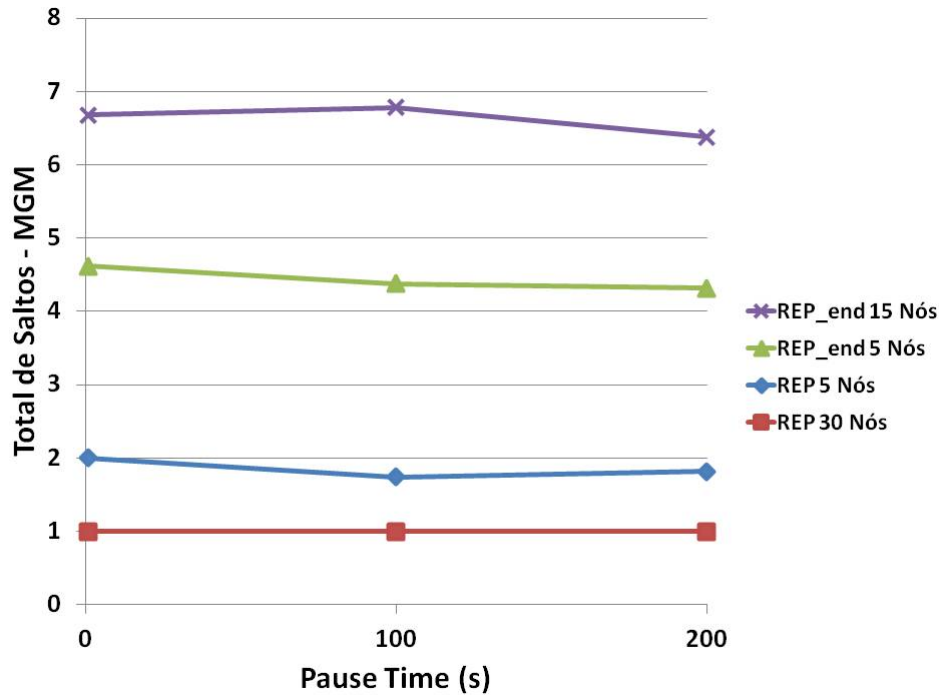


Figura 5.26: Número de Saltos REP para 5 e 15 (REP_End) e 30 (REP) nós geradores de mensagens com mobilidade 2D-Gauss-Markov

na região de trabalho (300 x 700 m) e medidas as métricas anteriores. A Figura 5.27 mostra que a Taxa de Entrega aumentou de 59% para 98% quando o número de nós aumentou de 150 para 550. Devido ao maior número de nós, mais vizinhos cada nó tem e mais caminhos existem para que a mensagem se propague.

Na Figura 5.28 é possível observar que a Latência aumentou de 250 ms para 590 ms quando o número de nós aumenta de 150 para 550.

O Total de Mensagens Recebidas apresentado na Figura 5.29 aumenta de 3000 para 16000 quando o número de nós aumenta de 150 para 550, porém, é possível observar que a taxa de crescimento é constante.

Quanto ao Total de Mensagens com Erro na Recepção 5.30, aumenta de 20000 para 180000 quando o número de nós aumenta, e a taxa de crescimento não é constante. É possível verificar que este aumento da taxa de crescimento pode influenciar o aumento da Latência por contenção no canal provocando uma congestão na rede. O controle da interferência no meio é importante para todo protocolo projetado para redes sem fio.

A Figura 5.31 apresenta um aumento do Número de Saltos, de 1,8 para 2,8 para o mesmo aumento do número de nós.

Pode-se verificar que as Figuras de variação de densidade de 150 para 550 nós apresentam uma variação linear positiva no total de mensagens recebidas, porém, aumenta a Taxa de Entrega das mensagens com o aumento do número de nós.

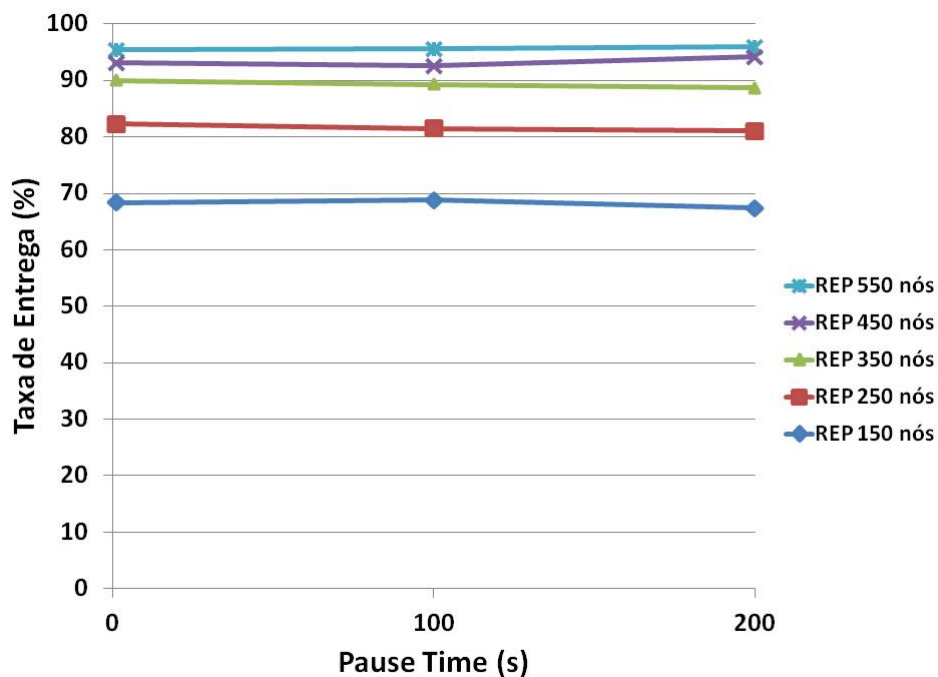


Figura 5.27: Taxa de entrega para 30 nós geradores de mensagens com variação de densidade de nós

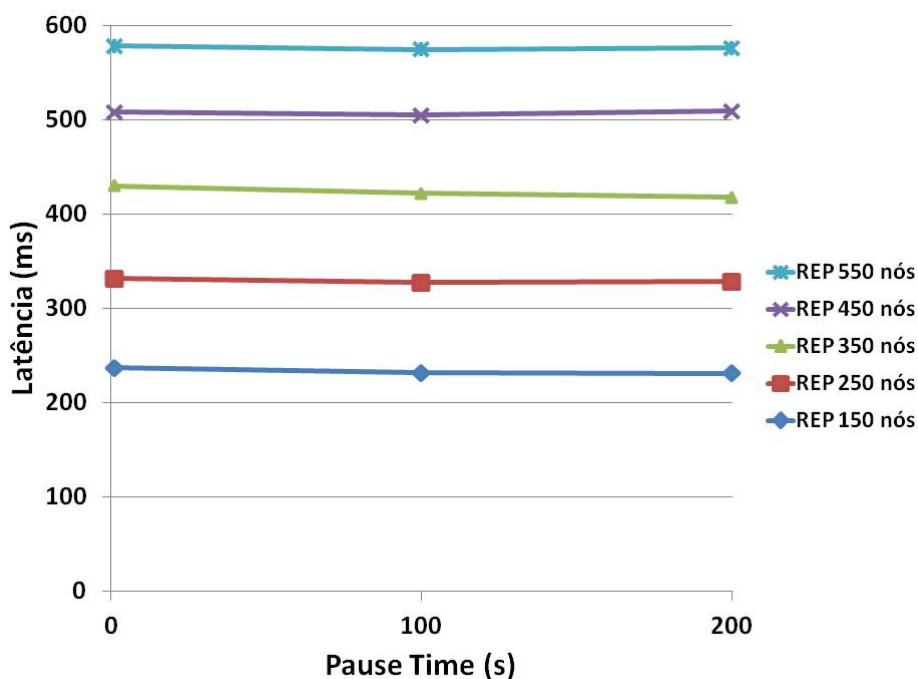


Figura 5.28: Latência para 30 nós geradores de mensagens com variação de densidade de nós

O protocolo REP pode diminuir ou tornar constante o Total de Mensagens com Erro na Recepção pelo uso de um filtro de casamento adaptativo com o número de mensagens recebidas ou com o número de nós na rede. Outra possibilidade é variar

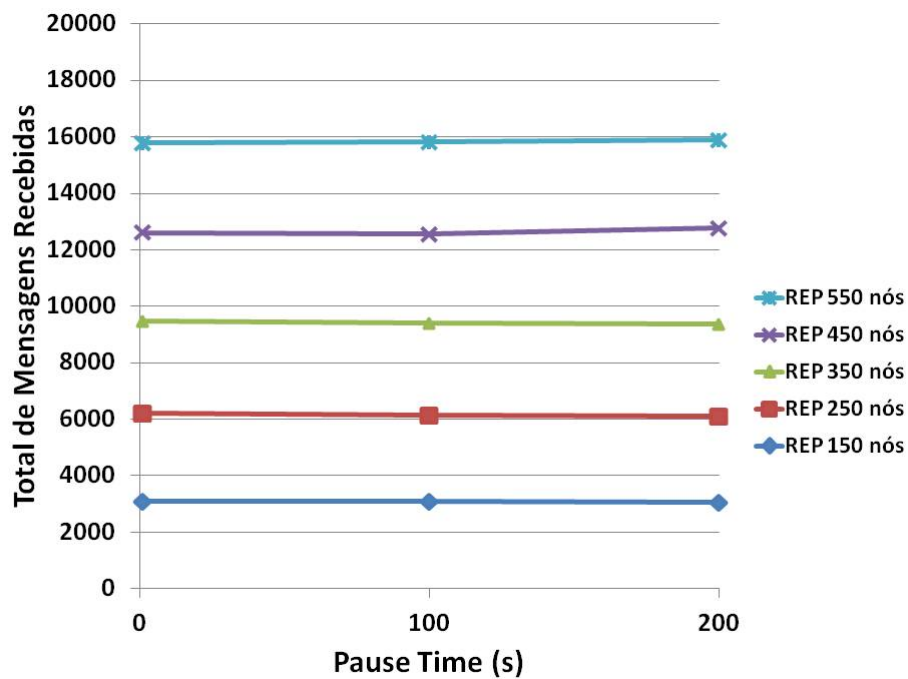


Figura 5.29: Total de mensagens para 30 nós geradores de mensagens com variação de densidade de nós

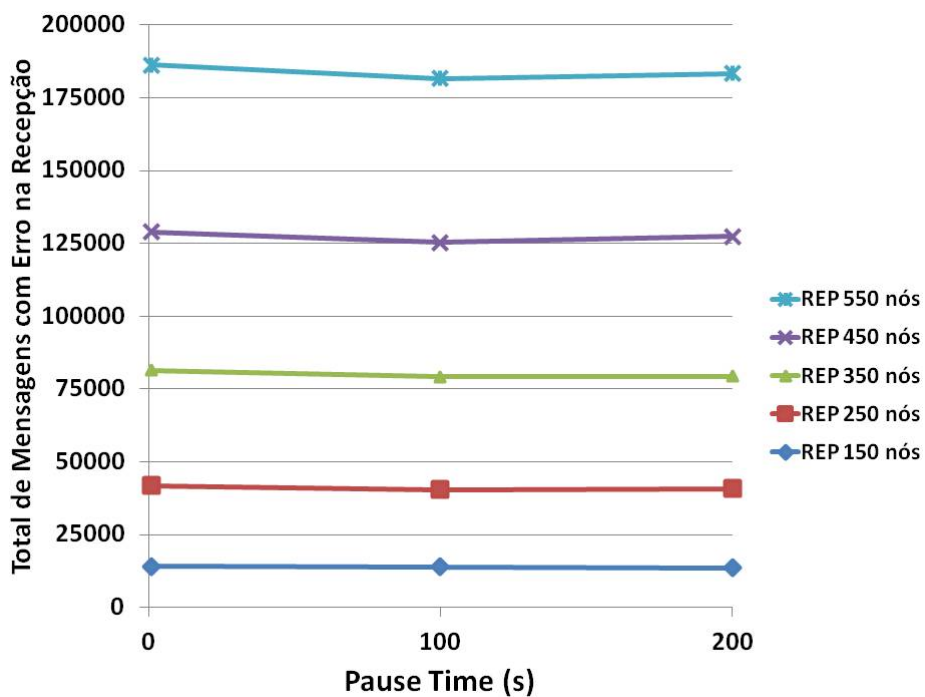


Figura 5.30: Total de Mensagens com Erro na Recepção para 30 nós geradores de mensagens com variação de densidade de nós

o número de campos no prefixo, restringindo mais o encaminhamento de mensagens, possivelmente mantendo uma Taxa de Entrega aceitável.

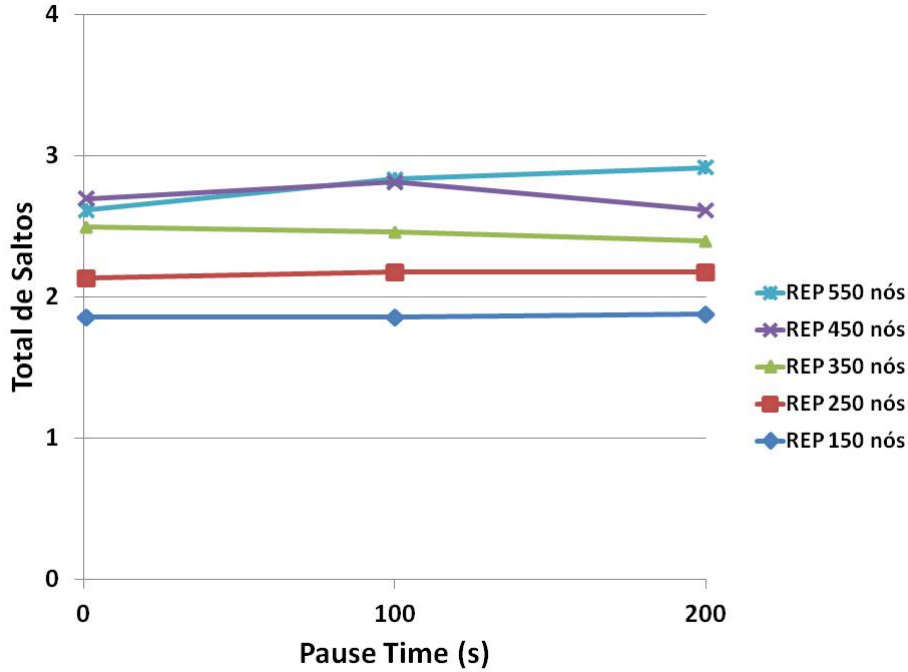


Figura 5.31: Total de Saltos para 30 nós geradores de mensagens com variação de densidade de nós

5.4 Comparação das Premissas com os Resultados Simulados

A partir dos resultados obtidos, pode-se compará-los com as premissas apresentadas no decorrer do texto, confirmando-as ou não de acordo com o caso.

Desta forma, a afirmação de o prefixo P ter a função de encaminhamento probabilístico de mensagens foi alcançado pelo resultado obtido na avaliação do Comportamento Bimodal, quando os resultados mostraram que P possui este comportamento, e pela simulação $S1$ quando os protocolos REP e REP_end obtiveram Total de Mensagens Recebidas melhores do que os protocolos com encaminhamento probabilístico G3AODV e AODV.

Da mesma forma, foi mostrado que o prefixo P serve como identificador dos nós para endereçamento pela simulação $S1$, quando o protocolo REP_end obteve Taxa de Entrega para 5 nós próximo de 100%.

Quanto à afirmação de o interesse I ter a função de formação de grupos de interesse, foi confirmada pelos resultados alcançados pelo protocolo REP, modo grupo, em que a Taxa de Entrega para 5 nós foi também próxima de 100%. Além disso, para o interesse I , no prefixo ativo PA , foi confirmado possuir a função de realizar um *cross-layer* da camada de rede para a camada de aplicação através dos valores de Latência, 80 ms para REP e REP_end com 5 nós geradores.

Com o uso do prefixo ativo *PA* no cabeçalho das mensagens provou-se que o uso de termos como elementos principais das mensagens produzem comunicação entre nós, de acordo com o modelo Pub / Sub, como pode ser verificado pelos resultados da simulação *S1*, em que os protocolos REP e REP_end alcançaram valores competitivos para Taxa de Entrega, Latência, Total de Mensagens na rede, em relação aos protocolos tradicionais G3AODV e AODV. Ainda, provou-se que utilizar as características intrínsecas das MANETs como o *broadcast* permite uma comunicação um-para-muitos entre os nós como mostrado pelos resultados alcançados por REP. Outras características que poderiam prejudicar a comunicação, mobilidade e volatilidade, nos modelos simulados, não foram suficientes para reduzir a Taxa de Entrega e aumentar a Latência e o Total de Mensagens Recebidas.

Os resultados da simulação também mostraram que os limites encontrados no Pub / Sub, desacoplamento entre editor e assinante, e tempestade de *broadcast*, foram solucionados pelo uso do *P* como endereçamento e pelo uso do encaminhamento probabilístico, que reduziu em duas ordens de grandeza o custo na rede. Adicionalmente, mostrou-se que o uso do filtro de casamento evitou a inundação e foi suficiente para reduzir o número de mensagens na rede quando comparado aos protocolos AODV e G3AODV.

Evitar a manutenção de conexões entre os nós, eliminando as mensagens de controle, mostrou-se promissor em ambientes MANETs, como pode ser verificado pelos resultados obtidos por REP e REP_end, que encaminham somente um tipo de mensagem. Esta premissa, reduziu o custo de mensagens e a interferência na rede, contribuindo para a redução de consumo de energia nos equipamentos.

Quanto aos resultados obtidos para REP e REP_end na simulação *S1*, a escolha de utilizar $HTL = 10$ foi confirmada pelos resultados obtidos pelo Número de Saltos $\cong 7$, embora este valor precise ser modificado dependendo do tamanho da rede ou por necessidade da aplicação.

Por fim, o uso de RAdnets em ambiente de alta densidade de nós [um nó por 400 m^2 (ou um nó por região de 20 m x 20 m)] provou-se factível como pode-se verificar pelos resultados da simulação *S3b* em que REP com 15 nós obteve Taxa de Entrega de 95%, embora a Latência tenha sido igual a 580 ms. Para algumas aplicações este valor de Latência obtido é crítico.

5.5 Resultados dos Experimentos Práticos

5.5.1 Experimento com Motes (E1)

No experimento nº1, apresentado na Figura 5.32, o nó 4 transmitiu 1000 mensagens em intervalo de 2 a 4 segundos, aleatoriamente, para todos os outros nós. O número

de campos no prefixo foi constante e igual a 5, com distribuição aproximada à normal, e todos os nós tinham o mesmo interesse. O percentual de mensagens recebidas pelos nós, diretamente ou por *multihop*, com número de saltos médio de 3 é apresentado em cada nó (a Taxa de entrega de mensagens obteve o valor de 93%).

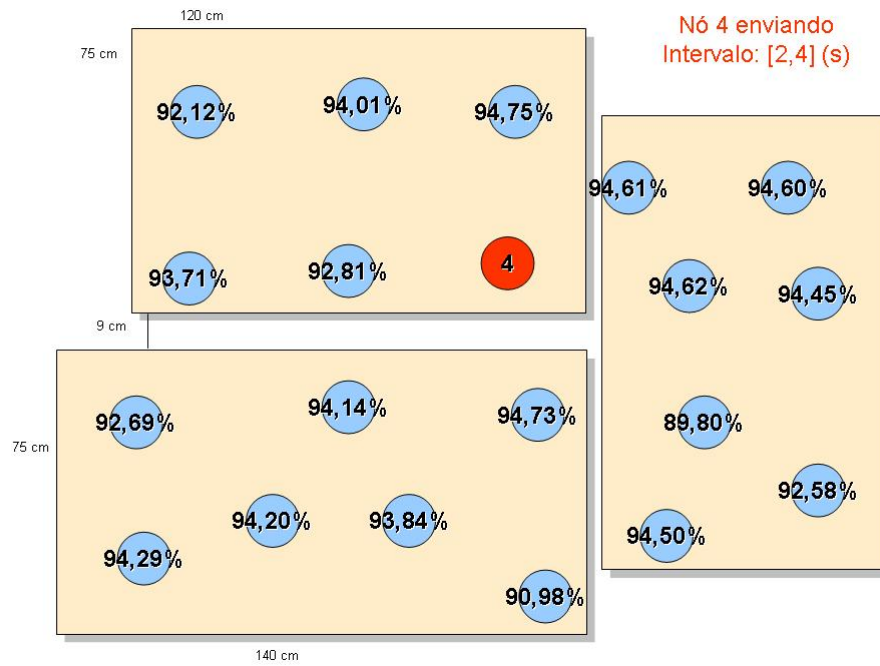


Figura 5.32: Taxa de Entrega de Mensagens por nó para o experimento n°1.

Ainda nesse experimento, foram medidos os percentuais de mensagens entregues em um salto, com o objetivo de avaliar a distribuição de radiofrequência em função da distância relativa entre o nó 4 e os nós restantes, como ilustrada pelo grafo de conectividade da Figura 5.33.

Na Figura 5.33 são identificadas três regiões distintas de acordo com a probabilidade de entrega de mensagem em um salto: (1) região hachurada diagonal, com ocorrência de mais de 90% de conexões; (2) região sem hachurado, com ocorrência de menos de 50% de conexões, indicando instabilidade; e (3) região em hachurado vertical, com nenhuma ocorrência de conexões. Observa-se que o nó 6 não recebeu mensagens do nó 4, embora próximos fisicamente, enquanto que o nó 12, mais distante, recebeu mensagens do nó 4.

No experimento n°2, o Total de Mensagens Recebidas com Erro na Recepção foi medida, variando o número de nós transmitindo. O intervalo de tempo entre o envio das mensagens variou em três intervalos: $\{[2, 4]; [2, 20]; [5, 60]\}$ (s), com cinco campos no prefixo. Os resultados são mostrados na Figura 5.34. Com o intervalo de $[2, 4](s)$ foi obtida uma taxa de perda crescente com o aumento do número de nós transmissores, em torno de 10% para um nó transmitindo e 42% para os 20 nós.

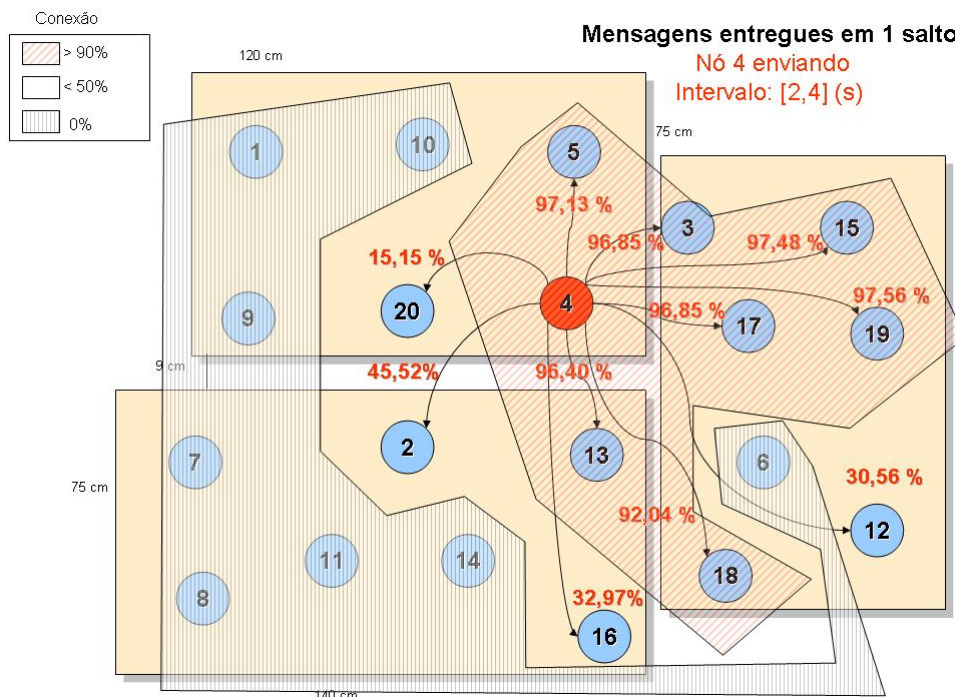


Figura 5.33: Grafo de conectividade para os experimentos n°1, n°2 e n°3.

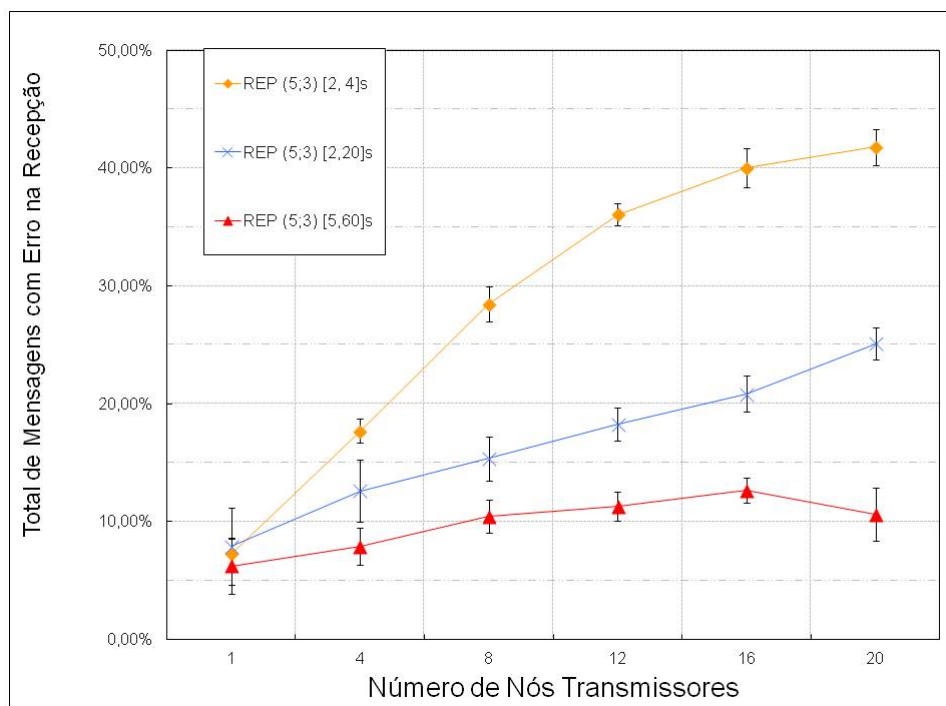


Figura 5.34: Taxa de Perda de Mensagens x Número de nós transmissores

Por outro lado, com um intervalo de [5,60](s) a Total de Mensagens com Erro na Recepção se manteve constante e aproximadamente igual a 10%.

No experimento n°3, cuja topologia é apresentada na Figura 5.35, foram avaliados o total de mensagens recebidas e a taxa de entrega, com 5 nós transmissores,

(1, 7, 8, 9, 11), e 5 nós receptores, (3, 5, 12, 15, 19), sendo os outros nós, colaboradores ou não participantes. O intervalo entre as mensagens foi de [2, 4] (s).

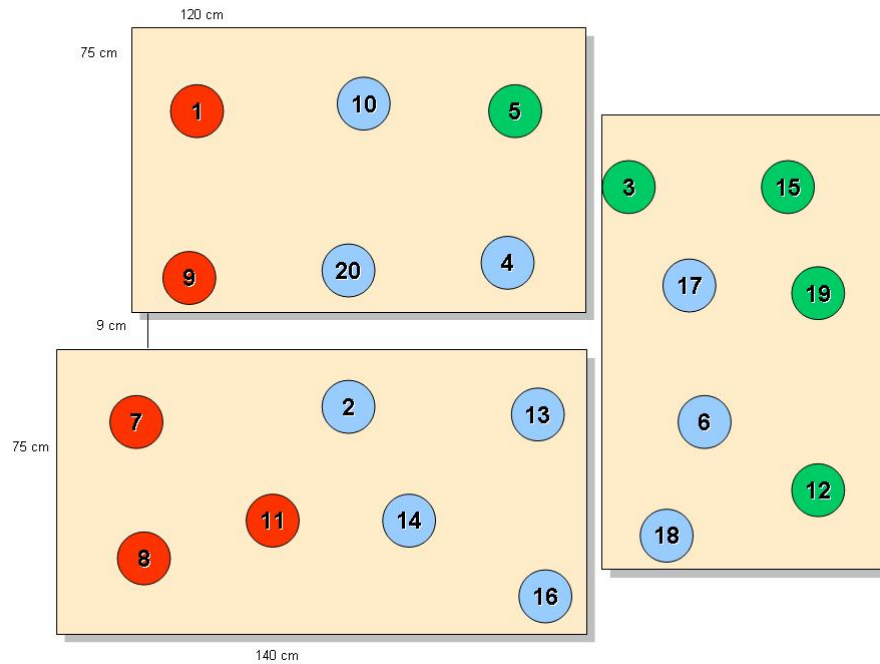


Figura 5.35: Topologia do experimento nº3 (nós 1, 7, 8, 9, 11 transmissores de mensagens com interesse y e nós 3, 5, 12, 15, 19 com interesse y).

Os valores de Total de Mensagens Recebidas e a Taxa de Entrega, apresentados na Figura 5.36, foram medidos para REP, variando o número de campos no prefixo entre (1, 2, 4, 5, 6, 8) (REP(1), REP(2), etc.) cada campo com três bits, *Flooding* e *G3*, com probabilidades de encaminhamento de mensagem em 0,25, 0,50, 0,75 e 0,85¹.

Nota-se que os valores de Total de Mensagens Recebidas e Taxa de Entrega para REP, com qualquer variação de campos no prefixo, são melhores que os do *Flooding*. Comparando-se a Taxa de Entrega de *G3*(0,75), igual a 75,65%, com a taxa de entrega de *REP*(5), igual a 76,88%, verifica-se que ambos os valores são praticamente iguais. Quanto ao Total de Mensagens Recebidas de *G3*(0,75), igual a 12,14, comparado ao Total de Mensagens Recebidas de *REP*(5), igual a 13,70, observa-se que Total de Mensagens Recebidas *REP*(5) é 10,48% maior.

Ainda, no experimento nº3, foi avaliado o Número de Saltos para a variação de campos no prefixo de REP, *Flooding* e *G3* (0,25, 0,50, 0,75 e 0,85), apresentado na Figura 5.37. Observa-se que o Número de Saltos para todas as mensagens na rede possui valor médio 3, para REP com os campos do prefixo variando de 1 a 8,

¹o valor de probabilidade em que o Gossip atende quase todos os nós em qualquer execução fica no intervalo de [0,60,0,80] [119].

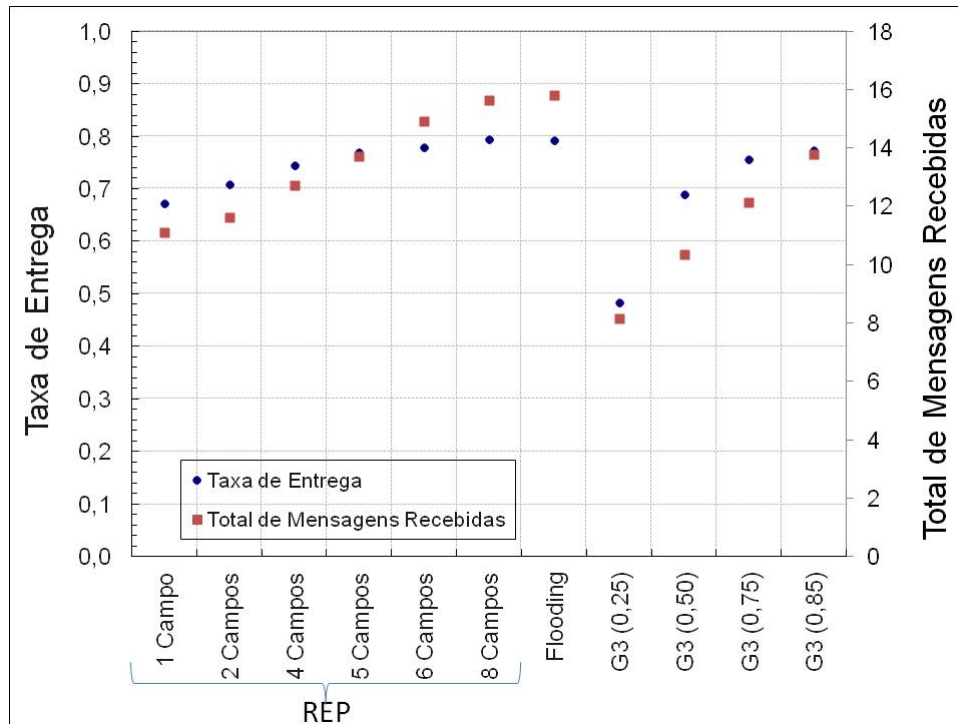


Figura 5.36: Comparação dos protocolos REP, *Flooding* e *G3*.

enquanto o Número de Saltos para as mensagens entregues aos nós com interesses possui valor médio 2,4 para a mesma variação de campos. Os mesmos valores foram encontrados para *Flooding* e para *G3* 0,75 e 0,85, enquanto o número de saltos para *G3* 0,25 foi igual a 2,5 e para 0,50 foi igual a 2,75.

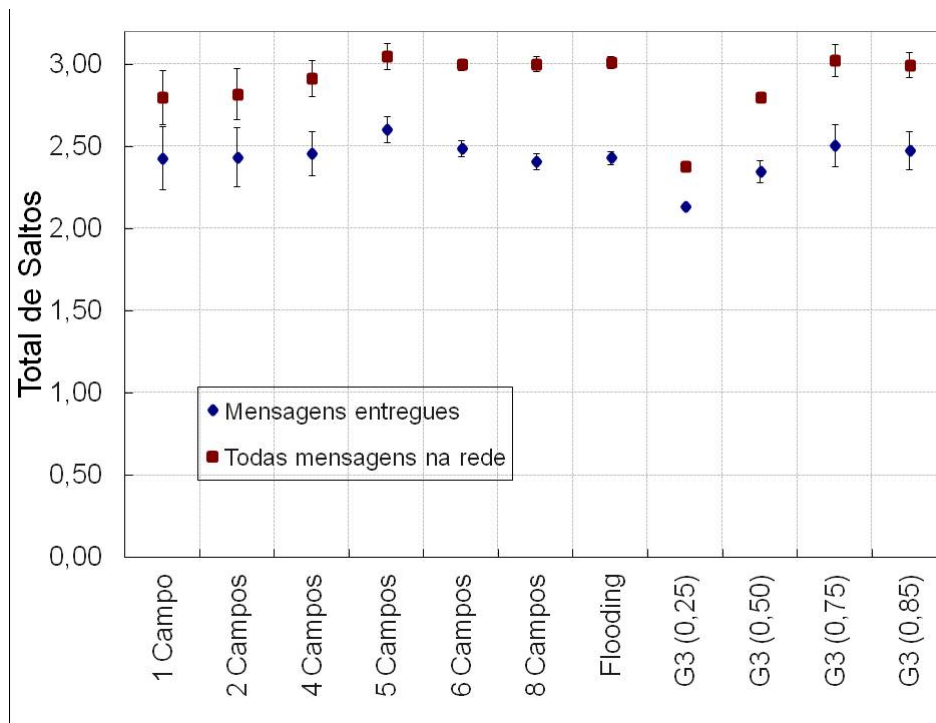


Figura 5.37: Total de saltos no experimento n3.

Quanto à Latência, devido ao protocolo REP ter sido implementado em Java em computadores pessoais aos quais os motes estavam conectados, mediu-se a Latência entre aplicação Java e a Latência de envio da mensagem entre as interfaces 802.15.4 dos motes, obtendo-se os valores de 180 ms e 19 ms, respectivamente. A Latência entre os motes é apresentada na Figura 5.38.

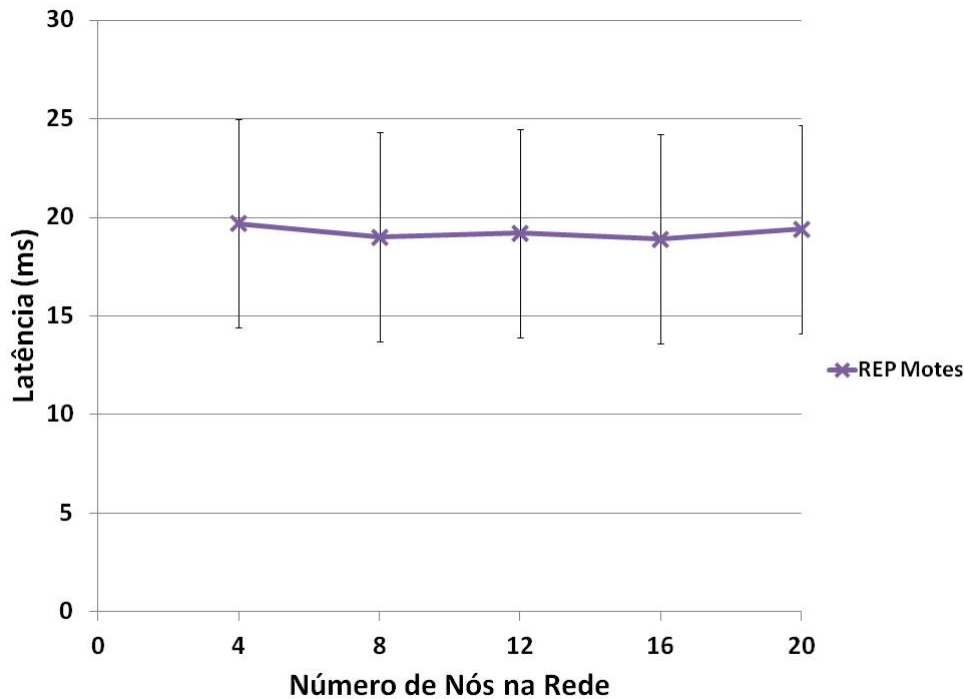


Figura 5.38: Latência no experimento n3.

Quanto à aplicação de troca de mensagens (*chat*) baseado na RAdnet em Java, utilizando motes acoplados aos computadores pessoais utilizados no Laboratório de Computação Paralela (LCP) (COPPE/UFRJ), esta aplicação foi utilizada por seis pessoas durante uma semana confirmando a funcionalidade da RAdnet.

5.5.2 Experimento com Celulares (E2)

Neste experimento prático, realizado utilizando celulares com Android 2.1 e 2.2 com um chat e um *daemon* desenvolvidos para este ambiente. Os celulares agrupados e entregues a seis pessoas que se movimentaram em um cenário de corredor e em uma área aberta arborizada (estacionamento) e que enviavam mensagens caminhando e parados, também houve a confirmação da funcionalidade da RAdnet.

5.6 Comparação das Premissas com os Resultados Práticos

A premissa básica de utilizar somente termos na mensagem baseada no modelo Pub / Sub, foi também confirmada pelos resultados dos experimentos práticos (*E1*), quando REP obteve valores próximos aos do protocolo gossip *G3* e menores do que o do protocolo *Flooding*. Este resultado também confirma que o uso do encaminhamento probabilístico em REP é eficiente na redução de mensagens na RAdnet.

Os resultados dos experimentos *E1* e *E2* mostraram que é possível implementar dois tipos de redes: uma pelo uso do interesse somente (*E1*) e outra por meio do prefixo ativo (*E2*) em uma estrutura de mensagem mais elaborada.

Ainda, pelo experimento *E1* a formação de grupos de interesse foi obtida, juntamente com a identificação dos nós.

A implementação da RAdnet no experimento prático com celulares (*E2*) mostrou que a comunicação por termos é possível e prática em ambientes reais com 14 nós. Evidenciou também o funcionamento do endereço por prefixo *P* e a formação de grupos por interesse *I*.

Além disso, o filtro de casamento foi eficiente na redução de mensagens na rede, impedindo o *Flooding*, como pode ser observado pelo resultado obtido na Figura 5.36, Total de Mensagens Recebidas.

Os resultados da Latência entre os motes no experimento *E1* e de aplicação Java, mostram que a implementação influencia criticamente esta métrica e consequentemente a RAdnet.

Finalmente, a RAdnet mostrou-se aplicável em ambientes reais tornando-se uma ferramenta de pesquisa útil para o desenvolvimento de aplicações originais em ambientes de redes móveis sem fio.

Capítulo 6

Conclusões e Trabalhos Futuros

6.1 Conclusões

1. A Rede Ad hoc Centrada em Interesses - RAdnet é versátil prática e eficaz para o desenvolvimento e implementação de aplicações usando termos como elemento de formação da mensagem. Foi implementada e avaliada no simulador NS-3, de duas formas distintas com prefixo e interesse permitindo comunicação em grupo, e com um cabeçalho de mensagem contendo basicamente prefixo origem, prefixo destino e interesse para permitir comunicação em grupo e endereçada. Foi implementada em dois ambientes reais em redes ad hoc estáticas, utilizando equipamentos heterogêneos (motes, motes acoplados a computadores pessoais) e um ambiente real de rede ad hoc móvel por meio de celulares. Esses usos confirmam a versatilidade, praticidade e eficácia da RAdnet no uso de termos;
2. A RAdnet proporcionou uma redução no custo de mensagens trocadas na rede em duas ordens de grandeza, diminuindo a interferência e o consumo de energia pelo envio e recepção de mensagens desnecessárias quando comparados aos protocolos AODV e G3AODV, dois importantes protocolos de redes sem fio;
3. A RAdnet apresenta latência na ordem de 100 ms, devido ao *cross-layer* e à ausência de roteamento das mensagens, que proporciona a possibilidade de desenvolvimento de aplicações sensíveis à latência em MANETs, tal como jogos multiusuários em que as ações de cada jogador precisam ser transmitidas aos outros, ou aplicações envolvendo áudio, p.ex., voz sobre REP;
4. A RAdnet permite que aplicações originais sejam desenvolvidas devido à comunicação em grupo;

5. A RAdnet pode ser aplicada a ambientes móveis ou estáticos. Foi avaliada em dois ambientes com modelos de mobilidade, Randomwaypoint e 2D-Gauss-Markov, apresentando resultados simulados praticamente independentes da mobilidade, com as métricas se mantendo constante com a variação do tempo de pausa (Pause Time) de 0 a 200 s;
6. O Prefixo Ativo baseado no modelo de comunicação orientado por interesse permite dois modos de comunicação, por grupo e endereçado.
7. O Prefixo Ativo é melhor em custo de mensagens comparado com o protocolo Gossip3 e obtendo taxa de entrega de 98% no caso em que 5 pares de nós endereçados enviam 10 mensagens de 512 Bytes em um total de 150 nós;
8. O Prefixo segue o comportamento bimodal encontrado em disseminação de mensagens probabilística e o uso de endereçamento sem hierarquia pode ser usado para endereçamento fim-a-fim;
9. O protocolo REP nos modos grupo e endereçado é uma alternativa competitiva em relação aos protocolos G3AODV e AODV, possuindo ganhos expressivos na Taxa de Entrega, na Latência e no Custo para redes MANETs;
10. O uso de Prefixo Ativo é uma alternativa promissora que torna realidade a expectativa de uso de atributos como elementos ativos da rede, definindo por estes, grupos de interesses, seleção de caminhos e entrega de mensagens, utilizando informações dos usuários, para identificação, encaminhamento e endereçamento em redes MANETs.

6.2 Trabalhos Futuros

- Avaliar o REP em redes cabeadas, como uma alternativa ao endereçamento topológico.
- Realizar outros experimentos com as ferramentas desenvolvidas tanto para MANETs como para redes cabeadas e modelar as aplicações existentes por meio do original conceito que a REPI introduz.
- Desenvolver novas aplicações utilizando este novo modelo de comunicação.
- Realizar simulações e experimentos com outros modelos de mobilidade, modelos de meio e protocolos de enlace.
- Comparar o REP com outros protocolos híbridos, tal como o ZRP, ou reativos, tal como o DSR.

- Implementar aplicações de jogos multiusuário e voz sobre a REP.
- Testar o uso de RAdnets em segurança de redes, se beneficiando das propriedades de endereçamento probabilístico e interesse do Prefixo Ativo e pelo uso de criptografia.
- Usar mecanismos de ontologia para melhorar o dicionário de termos das aplicações.
- Aperfeiçoar o filtro de casamento, testando outras heurísticas ou incluindo estratégias de *machine learning*;
- Modificar os protocolos de redes cabeadas TCP / IP para a RAdnet, p.ex., HTTP;
- Executar experimentos de escalabilidade da REP programada em centenas de celulares;
- Avaliar outras distribuições de probabilidade na formação do Prefixo;
- Desenvolver um protocolo na camada de enlace e possivelmente o desenvolvimento de um equipamento com a comunicação por interesse para acesso ao meio;
- Comparar uma aplicação RAdnet com uma aplicação que não use o endereçamento hierárquico IP.

Referências Bibliográficas

- [1] TEXNICCENTER. “<http://www.texniccenter.org/>”. versão 1.0 Stable Release Candidate 1.
- [2] MIKTEX. “<http://www.MiKTeX.org>”. versão 2.7.
- [3] EUGSTER, P., FELBER, P., GUERRAOUI, R., et al. “The many faces of publish/subscribe”, *ACM Comput. Surv.*, v. 35, n. 2, pp. 114–131, 2003. ISSN: 0360-0300. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/857076.857078>.
- [4] KORTUEM, G., SEGALL, Z., THOMPSON, T. G. C. “Close Encounters: Supporting Mobile Collaboration through Interchange of User Profiles”. In: *HUC '99: Proceedings of the 1st international symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, pp. 171–185, London, UK, 1999. Springer-Verlag. ISBN: 3-540-66550-1.
- [5] HAAS, Z., HALPERN, J., LI, L. “Gossip-based ad hoc routing”. In: *INFOCOM 2002. Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, v. 3, pp. 1707 – 1716 vol.3, October 2002. doi: [10.1109/INFCOM.2002.1019424](https://doi.org/10.1109/INFCOM.2002.1019424).
- [6] AKYILDIZ, I., WANG, X., WANG, W. “Wireless mesh networks: A survey”, *Computer Networks*, v. 47, pp. 445–487, 2005. Disponível em: citeseer.ist.psu.edu/akyildiz05wireless.html.
- [7] BOUKERCHE, A., ZARRAD, A., ARAUJO, R. B. “A Cross-Layer Approach-Based Gnutella for Collaborative Virtual Environments over Mobile Ad Hoc Networks”, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, v. 21, pp. 911–924, 2010. ISSN: 1045-9219. doi: <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/TPDS.2009.91>.
- [8] AHMED, D., SHIRMOHAMMADI, S., DE OLIVEIRA, J., et al. “Supporting Large-Scale Networked Virtual Environments”. In: *Virtual Environments, Human-Computer Interfaces and Measurement Systems, 2007. VECIMS 2007. IEEE Symposium on*, pp. 150 –154, june 2007. doi: [10.1109/VECIMS.2007.4373946](https://doi.org/10.1109/VECIMS.2007.4373946).

- [9] VIANA, A. C., DE AMORIM, M. D., VINIOTIS, Y., et al. “Twins: A Dual Addressing Space Representation for Self-Organizing Networks”, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, v. 17, pp. 1468–1481, 2006. ISSN: 1045-9219. doi: <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/TPDS.2006.179>.
- [10] GOMES, A. T. A., ZIVIANI, A., DOS SANTOS LIMA, L., et al. “Performance evaluation of a discovery and scheduling protocol for multihop ad hoc mobile grids”, *J. Braz. Comp. Soc. [online]*, v. 15, pp. 15–29, 2009. ISSN: 0104-6500. doi: 10.1590/S0104-65002009000400003.
- [11] KARGER, D., LEHMAN, E., LEIGHTON, T., et al. “Consistent hashing and random trees: Distributed caching protocols for relieving hot spots on the World Wide Web”. In: *Proceedings of the 29th ACM Symposium on Theory of Computing*, pp. 654–663. ACM, ACM Press, 1997.
- [12] KARGER, D., SHERMAN, A., BERKHEIMER, A., et al. “Web caching with consistent hashing”, *Comput. Netw.*, v. 31, n. 11-16, pp. 1203–1213, 1999. ISSN: 1389-1286. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1389-1286\(99\)00055-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1389-1286(99)00055-9).
- [13] LIU, Y., PLALE, B. “Survey of publish subscribe event systems”. Technical Report TR574, Indiana University, May 2003. Disponível em: <http://citeseer.ist.psu.edu/liu03survey.html>.
- [14] OKI, B., PFLUEGL, M., SIEGEL, A., et al. “The Information Bus: an architecture for extensible distributed systems”. In: *SOSP '93: Proceedings of the fourteenth ACM symposium on Operating systems principles*, pp. 58–68, New York, NY, USA, 1993. ACM. ISBN: 0-89791-632-8. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/168619.168624>.
- [15] CARZANIGA, A., RUTHERFORD, M. J., WOLF, A. L. *A Routing Scheme for Content-Based Networking*. Relatório Técnico CU-CS-953-03, Department of Computer Science, University of Colorado, jun 2003. Disponível em: <http://www.inf.unisi.ch/carzaniga/papers/>.
- [16] CAPORUSCIO, M., CARZANIGA, A., WOLF, A. “Design and Evaluation of a Support Service for Mobile, Wireless Publish/Subscribe Applications”, *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 29, n. 12, pp. 1059–1071, dec 2003. Disponível em: <http://www.inf.unisi.ch/carzaniga/papers/>.

- [17] HUANG, Y., GARCIA-MOLINA, H. “Publish/subscribe in a mobile environment”, *Wirel. Netw.*, v. 10, n. 6, pp. 643–652, 2004. ISSN: 1022-0038. doi: <http://dx.doi.org/10.1023/B:WINE.0000044025.64654.65>.
- [18] BALDONI, R. “The Publish/Subscribe Communication Paradigm and its Application to Mobile Systems”. 2005. Disponível em: citeseer.ist.psu.edu/liu03survey.html.
- [19] GARCIASANCHEZ, A.-J., GARCIASANCHEZ, F., PAVON-MARINO, P., et al. “OMCPS: Optimized Middleware for a Content - based Publish / Subscribe Architecture”. In: *Proceedings IEEE Pacific Rim Conference*, pp. 468–472, 2007.
- [20] CARZANIGA, A., HALL, C. P. “Content-based communication: a research agenda”. In: *SEM '06: Proceedings of the 6th international workshop on Software engineering and middleware*, pp. 2–8, New York, NY, USA, 2006. ACM. ISBN: 1-59593-585-1. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/1210525.1210529>.
- [21] ARAUJO, F., RODRIGUES, L., KAISER, J., et al. “CHR: A Distributed Hash Table for Wireless Ad Hoc Networks”. In: *ICDCSW '05: Proceedings of the Fourth International Workshop on Distributed Event-Based Systems (DEBS) (ICDCSW'05)*, pp. 407–413, Washington, DC, USA, 2005. IEEE Computer Society. ISBN: 0-7695-2328-5-04. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/ICDCSW.2005.48>.
- [22] ZAHN, T., SCHILLER, J. “DHT-based Unicast for Mobile Ad Hoc Networks”. In: *PERCOMW '06: Proceedings of the 4th annual IEEE international conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, p. 179, Washington, DC, USA, 2006. IEEE Computer Society. ISBN: 0-7695-2520-2. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/PERCOMW.2006.42>.
- [23] HEER, T., GOTZ, S., RIECHE, S., et al. “Adapting Distributed Hash Tables for Mobile Ad Hoc Networks”. In: *PERCOMW '06: Proceedings of the 4th annual IEEE international conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, p. 173, Washington, DC, USA, 2006. IEEE Computer Society. ISBN: 0-7695-2520-2. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/PERCOMW.2006.16>.
- [24] INTANAGONWIWAT, C., GOVINDAN, R., ESTRIN, D. “Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks”. In: *MobiCom '00: Proceedings of the 6th annual international conference on*

Mobile computing and networking, pp. 56–67, New York, NY, USA, 2000. ACM. ISBN: 1-58113-197-6. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/345910.345920>.

- [25] BRAGINSKY, D., ESTRIN, D. “Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks”. In: *Proceedings of the First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA 2002)*, pp. 1–12, 2002.
- [26] JACOBSON, V., SMETTERS, D. K., THORNTON, J. D., et al. “Networking named content”. In: *Proceedings of the 5th international conference on Emerging networking experiments and technologies, CoNEXT '09*, pp. 1–12, New York, NY, USA, 2009. ACM. ISBN: 978-1-60558-636-6. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/1658939.1658941>. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1658939.1658941>>.
- [27] YOUTUBE. “<http://www.youtube.com>”. 2005.
- [28] LIMEWIRE. “<http://www.limewire.com>”. 2005.
- [29] BITTORRENT. “<http://www.BitTorrent.com>”. 2006.
- [30] KAZAA. “<http://www.kazaa.com>”. 2006.
- [31] SOHRABI, K., J., G., AILAWADHI, V., et al. “Protocols for selforganization of a wireless sensor network”, *IEEE Personal Communications*, v. 7, pp. 16–27, 2000.
- [32] RANTANEN, M., OULASVIRTA, A., BLOM, J., et al. “InfoRadar: group and public messaging in the mobile context”. In: *NordiCHI '04: Proceedings of the third Nordic conference on Human-computer interaction*, pp. 131–140, New York, NY, USA, 2004. ACM. ISBN: 1-58113-857-1. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/1028014.1028035>.
- [33] BORCEA, C., GUPTA, A., KALRA, A., et al. “The MobiSoC middleware for mobile social computing: challenges, design, and early experiences”. In: *MOBILWARE '08: Proceedings of the 1st international conference on MOBILE Wireless MiddleWARE, Operating Systems, and Applications*, pp. 1–8, ICST, Brussels, Belgium, 2007. ICST. ISBN: 978-1-59593-984-5.
- [34] POPESCU, G. V., LIU, Z. “Network overlays for efficient control of large scale dynamic groups”. In: *DS-RT '06: Proceedings of the 10th IEEE international symposium on Distributed Simulation and Real-Time Applications*,

pp. 135–142, Washington, DC, USA, 2006. IEEE Computer Society. ISBN: 0-7695-2697-7. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/DS-RT.2006.25>.

- [35] VENTRESQUE, A., CAZALENS, S., LAMARRE, P., et al. “Improving interoperability using query interpretation in semantic vector spaces”. In: Hauswirth, M., Koubarakis, M., Bechhofer, S. (Eds.), *Proceedings of the 5th European Semantic Web Conference*, LNCS, Berlin, Heidelberg, June 2008. Springer Verlag. Disponível em: <http://data.semanticweb.org/conference/eswc/2008/papers/260>.
- [36] OLIVEIRA, R., IZHAK-RATZIN, R., ZHANG, B., et al. “Measurement of highly active prefixes in BGP”. In: *Global Telecommunications Conference, 2005. GLOBECOM '05. IEEE*, v. 2, p. 5 pp., November 2005. doi: 10.1109/GLOCOM.2005.1577767.
- [37] ORKUT. “<http://www.orkut.com>”. 2005.
- [38] VALDURIEZ, P., MATTOSO, M. “<http://www.sciences.univ-nantes.fr/lina/ATLAS/files/Soumission09.html>”. INRIA - France, 2009.
- [39] HEIDEMANN, J., SILVA, F., INTANAGONWIWAT, C., et al. “Building efficient wireless sensor networks with low-level naming”, *SIGOPS Oper. Syst. Rev.*, v. 35, pp. 146–159, October 2001. ISSN: 0163-5980. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/502059.502049>. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/502059.502049>.
- [40] MEISEL, M., PAPPAS, V., ZHANG, L. “Ad hoc networking via named data”. In: *Proceedings of the fifth ACM international workshop on Mobility in the evolving internet architecture*, MobiArch '10, pp. 3–8, New York, NY, USA, 2010. ACM. ISBN: 978-1-4503-0143-5. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/1859983.1859986>. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1859983.1859986>.
- [41] MACHADO, R. P., CARVALHO, G., PAES, R., et al. “Applying Ontologies in Open Mobile Systems. In: Workshop on Building Software for Pervasive Computing”. In: *OOPSLA*, 2004.
- [42] LI, W. “Random texts exhibit Zipf’s-law-like word frequency distribution”. In: *Proceedings of IEEE Transactions on Information Theory*, v. 38(6), pp. 1842–1845, 1992.

- [43] ISHIKAWA, E., AMORIM, C. L. “Cooperative Video Caching for Interactive and Scalable VoD Systems”. In: *ICN '01: Proceedings of the First International Conference on Networking-Part 2*, pp. 776–785, London, UK, 2001. Springer-Verlag. ISBN: 3-540-42303-6.
- [44] CHERVENAK, A. L., PATTERSON, D. A., KATZ, R. H. “Choosing the best storage system for video service”. In: *MULTIMEDIA '95: Proceedings of the third ACM international conference on Multimedia*, pp. 109–119, New York, NY, USA, 1995. ACM. ISBN: 0-89791-751-0. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/217279.215256>.
- [45] RATNASAMY, S., FRANCIS, P., SHENKER, S., et al. “A Scalable ContentAddressable Network”. In: *In Proceedings of ACM SIGCOMM*, pp. 161–172, 2001.
- [46] AKYILDIZ, I., SU, W., SANKARASUBRAMANIAM, Y., et al. “Wireless Sensor Networks: A Survey”, *Computer Networks*, v. 38, n. 4, pp. 393–422, March 2002.
- [47] BROCH, J., MALTZ, D. A., JOHNSON, D. B., et al. “A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols”. In: *MobiCom '98: Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*, pp. 85–97, New York, NY, USA, 1998. ACM. ISBN: 1-58113-035-X. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/288235.288256>.
- [48] LI, J., BLAKE, C., DE COUTO, D. S. J., et al. “Capacity of Ad Hoc Wireless Networks”. In: *Proceedings of the 7th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 61–69, Rome, Italy, July 2001.
- [49] MOHAPATRA, P., KRISHNAMURTHY, S., GERLA, M. “Ad Hoc Networks: Technologies and Protocols”. Springer, 2005.
- [50] GUPTA, P., KUMAR, P. “The capacity of wireless networks”, *IEEE Transactions on Information Theory*, v. 46, pp. 388–404, 2000.
- [51] GELENBE, E. “A diffusion model for packet travel time in a random multihop medium”, *ACM Trans. Sen. Netw.*, v. 3, n. 2, pp. 10, 2007. ISSN: 1550-4859. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/1240226.1240230>.
- [52] GOSSAIN, H., AGGARWAL, P., BARKER, C., et al. “System and Method for multihop packet forwarding”. WO patent N° 2007/084884, 2007.

- [53] KOTZ, D., NEWPORT, C., ELLIOTT, C. *The Mistaken Axioms of Wireless-network Research*. Relatório técnico, Dartmouth College Computer Science Technical Report TR2003-467, 2003.
- [54] KOSTIN, S., PINHO, L. B. D., AMORIM, C. L. “Transmission Power Levels Prediction for Distributed Topology Control Protocols within Parameterized Scenarios”. In: *15th International Conference on Telecommunication*, pp. 1–10, 2008.
- [55] STOICA, I., MORRIS, R., KARGER, D., et al. “Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for internet applications”. In: *SIGCOMM '01: Proceedings of the 2001 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, pp. 149–160, New York, NY, USA, 2001. ACM. ISBN: 1-58113-411-8. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/383059.383071>.
- [56] YANG, B., GARCIA-MOLINA, H. “Designing a Super-Peer Network”. In: *ICDE*, pp. 49–49, 2003.
- [57] ABAD, C., YURCIK, W., CAMPBELL, R. “A survey and comparison of end-system overlay multicast solutions suitable for network centric warfare”. In: *In Proc.of SPIE'04.*, pp. 215–226, 2004. Disponível em: <http://citeseer.ist.psu.edu/abad04survey.html>.
- [58] ANWAR, Z., YURCIK, W., CAMPBELL, R. “A survey and comparison of peer-to-peer group communication systems suitable for network-centric warfare”. In: *In Proc.of SPIE'05.*, pp. 215–226, 2004.
- [59] MISHRA, A., SHIN, M., ARBAUGH, W. A. “Context Caching using Neighbor Graphs for Fast Handoffs in a Wireless Network”. In: *INFOCOM*, pp. – 361, 2004.
- [60] CAMPOS, C. A. V., DE MORAES, L. F. M. “Investigating the user mobility in wireless mobile networks through real measurements”. In: *CoNEXT '06: Proceedings of the 2006 ACM CoNEXT conference*, pp. 1–2, New York, NY, USA, 2006. ACM. ISBN: 1-59593-456-1. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/1368436.1368503>.
- [61] CAMPOS, C. A. V., DE MORAES, L. F. M. “A Markovian model representation of individual mobility scenarios in ad hoc networks and its evaluation”, *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.*, v. 2007, n. 1, pp. 35–35, 2007. ISSN: 1687-1472. doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2007/35946>.

- [62] WEISER, M. “The Computer for the Twenty-First Century”, *Scientific American*, pp. 94–100, 1991.
- [63] CREPALDI, R., HARRIS III, A. F., KOOPER, R., et al. “Managing heterogeneous sensors and actuators in ubiquitous computing environments”. In: *SANET '07: Proceedings of the First ACM workshop on Sensor and actor networks*, pp. 35–42, New York, NY, USA, 2007. ACM. ISBN: 978-1-59593-735-3. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/1287731.1287739>.
- [64] YANG, S. J., HUANG, A. F., CHEN, R., et al. “Context Model and Context Acquisition for Ubiquitous Content Access in ULearning Environments”. In: *Proceedings of the IEEE international Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing*, v. 2, pp. 78–83, Washington, DC, USA, 2006. IEEE. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/SUTC.2006.47>.
- [65] SATYANARAYANAN, M. “Pervasive Computing: Vision and Challenges”, *IEEE Personal Communications*, v. 8, pp. 10–17, 2001.
- [66] PERKINS, C., BELDING-ROYER, E., DAS, S. “Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing”. RFC 3561, 2003. Disponível em: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>.
- [67] YE, W., HEIDEMANN, J., ESTRIN, D. “An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks”. In: *Proceedings of the 21st International Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2002)*, pp. 1–10, 2002.
- [68] BURLEIGH, S., CERF, V., DURST, B., et al. “The Interplanetary Internet: The Next Frontier in Mobility”, <http://www.ipnsig.org/reports/INETPlenary-06June01.ppt>, 2001.
- [69] CERF, V., BURLEIGH, S., HOOKE, A., et al. “Delay-Tolerant Networking Architecture”. RFC 4838, 2007.
- [70] FALL, K. “A Delay-Tolerant Network Architecture for Challenged Internets”, *Technical Report IRB-TR-03-003*, 2003.
- [71] SCOTT, K., BURLEIGH, S., MITRE, C. “Bundle Protocol Specification”. RFC 5050, 2007.
- [72] ZHANG, Z. “Routing in intermittently connected mobile ad hoc networks and delay tolerant networks: overview and challenges”, *Communications Surveys and Tutorials*, v. 8, pp. 24–37, 2006.

- [73] WANG, Y., JAIN, S., MARTONOSI, M., et al. “Erasure-coding based routing for opportunistic networks”. In: *in Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM Workshop on Delay Tolerant Networking (WDTN05)*, pp. 229–236. ACM Press, 2005.
- [74] LINDGREN, A., DORIA, A., EN, O. S. “Probabilistic routing in intermittently connected networks”. In: *SIGMOBILE Mobile Computing and Communication Review*, p. 2003, 2004.
- [75] EUGSTER, P. T., GUERRAOU, R., KERMARREC, A., et al. “From Epidemics to Distributed Computing”, *IEEE Computer*, v. 37, pp. 60–67, 2004.
- [76] MUSOLESI, M., HAILES, S., MASCOLO, C. “Adaptive Routing for Intermittently Connected Mobile Ad Hoc Networks”. In: *in Proc. WOWMOM*, pp. 183–189. IEEE press, 2005.
- [77] FEENEY, L. M., AHLGREN, B., WESTERLUND, A. “Spontaneous networking: an application-oriented approach to ad hoc networking”, *IEEE Communications Magazine*, v. 39, pp. 176–181, 2001.
- [78] WANG, A. I., SORENSEN, C., FOSSUM, T. “Mobile Peer-to-Peer Technology used to Promote Spontaneous Collaboration”. In: *2005 International Symposium on Collaborative Technologies and Systems (CTS 2005)*, pp. 48–55, St. Louis, Missouri, USA, May 15-20 2005. IEEE Computer Science. ISBN: 0-7695-2387-0. In conjunction with ICSE’05.
- [79] AVVENUTI, M., VECCHIO, A. “An Agent-Based Framework for Nomadic Computing”. In: *FTDCS '99: Proceedings of the 7th IEEE Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems*, p. 213, Washington, DC, USA, 1999. IEEE Computer Society. ISBN: 0-7695-0468-X.
- [80] KLEINBERG, J. M. “Authoritative Sources in a Hyperlinked Environment”, *Journal of the ACM*, v. 46, pp. 668–677, 1999.
- [81] ROWSTRON, A., DRUSCHEL, P. “Pastry: Scalable, Decentralized Object Location, and Routing for Large-Scale Peer-to-Peer Systems”, *Lecture Notes in Computer Science*, v. 2218, pp. 329–350, 2001. Disponível em: citeseer.ist.psu.edu/rowstron01pastry.html.
- [82] ANCEAUME, E., FRIEDMAN, R., ROY, M., et al. *An Architecture for Dynamic Scalable Self - Managed Distributed Transactions - TR 1601*. Relatório técnico, IRISA - France, Oct 2004. Disponível em: citeseer.ist.psu.edu/anceaume04architecture.html.

- [83] MUSOLESI, M., HAILES, S., MASCOLO, C. “An ad hoc mobility model founded on social network theory”. In: *MSWiM '04: Proceedings of the 7th ACM international symposium on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*, pp. 20–24, New York, NY, USA, 2004. ACM. ISBN: 1-58113-953-5. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/1023663.1023669>.
- [84] MOTANI, M., SRINIVASAN, V., NUGGEHALLI, P. S. “PeopleNet: engineering a wireless virtual social network”. In: *MobiCom '05: Proceedings of the 11th annual international conference on Mobile computing and networking*, pp. 243–257, New York, NY, USA, 2005. ACM. ISBN: 1-59593-020-5. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/1080829.1080855>.
- [85] HASSAS, S., MARZO-SERUGENDO, G. D., KARAGEORGOS, A., et al. “On Self-Organising Mechanisms from Social, Business and Economic Domains”. Informatica, 2006.
- [86] MUSOLESI, M., MASCOLO, C. “Designing mobility models based on social network theory”, *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, v. 11, n. 3, pp. 59–70, 2007. ISSN: 1559-1662. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/1317425.1317433>.
- [87] POLICRONIADES, C., VIDALES, P., ROTH, M., et al. “Data management in human networks”. In: *CHANTS '07: Proceedings of the second workshop on Challenged networks CHANTS*, pp. 83–90, New York, NY, USA, 2007. ACM. ISBN: 978-1-59593-737-7. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/1287791.1287807>.
- [88] ALMEIDA, M., D'IPOLITTO, C. “A análise de redes sociais como ferramenta estratégica de desenvolvimento regional”, *Inteligência Empresarial*, v. 30, pp. 19–27, 2007.
- [89] FOSTER, I. “The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations”, *International Journal of Supercomputer Applications*, v. 15, pp. 2001, 2001.
- [90] ALEX, P., CHIRITA, R., DAMIAN, A., et al. “Search Strategies for Scientific Collaboration Networks”. In: *In Proceedings of 2nd P2P Information Retrieval Workshop held at the 14th ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM)*, pp. 33–40. ACM Press, 2005.

- [91] TERPSTRA, W. W., BEHNEL, S., FIEGE, L., et al. “A peer-to-peer approach to content-based publish/subscribe”. In: *DEBS '03: Proceedings of the 2nd international workshop on Distributed event-based systems*, pp. 1–8, New York, NY, USA, 2003. ACM. ISBN: 1-58113-843-1. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/966618.966627>.
- [92] ZHENG, Z., WANG, Y. “SemanticCast: Content-Based Data Distribution over Self-Organizing Semantic Overlay Networks”. In: *Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies (PDCAT), 2010 International Conference on*, pp. 42–49, dec. 2010. doi: 10.1109/PDCAT.2010.68.
- [93] KHAN, S. K. A., TOKARCHUK, L. N. “Interest-based self organization in group-structured P2P networks”. In: *Proceedings of the 6th IEEE Conference on Consumer Communications and Networking Conference, CCNC'09*, pp. 1237–1241, Piscataway, NJ, USA, 2009. IEEE Press. ISBN: 978-1-4244-2308-8. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1700527.1700827>.
- [94] WIESER, S., BO“ ANDSZO“ ANDRMENYI, L. “Flocks: Interest-Based Construction of Overlay Networks”. In: *Advances in Multimedia (MMEDIA), 2010 Second International Conferences on*, pp. 119–124, june 2010. doi: 10.1109/MMEDIA.2010.22.
- [95] ANCEAUME, E., DATTA, A. K., GRADINARIU, M., et al. “Publish/subscribe scheme for mobile networks”. In: *POMC '02: Proceedings of the second ACM international workshop on Principles of mobile computing*, pp. 74–81, New York, NY, USA, 2002. ACM. ISBN: 1-58113-511-4. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/584490.584505>.
- [96] PUCHA, H., DAS, S. M., HU, Y. C. “Ekta: An Efficient DHT Substrate for Distributed Applications in Mobile Ad Hoc Networks”. In: *WMCSA '04: Proceedings of the Sixth IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pp. 163–173, Washington, DC, USA, 2004. IEEE Computer Society. ISBN: 0-7695-2258-0. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/MCSA.2004.11>.
- [97] LEONG, B., LI, J. “Achieving One-Hop DHT Lookup and Strong Stabilization by Passing Tokens”. In: *12th International Conference on Networks (ICON)*, pp. 344–350, Singapore, nov 2004.
- [98] PUCHA, H., DAS, S., HU, Y. “How to Implement DHTs in Mobile Ad Hoc Networks?” *Student Poster in Mobicom, 10th*, 2004.

- [99] YONEKI, E., HUI, P., CHAN, S., et al. “A socio-aware overlay for publish/subscribe communication in delay tolerant networks”. In: *MSWiM*, pp. 225–234, 2007.
- [100] YANG, B., GARCIA-MOLINA, H. “Comparing Hybrid Peer-to-Peer Systems”. In: *The VLDB Journal*, pp. 561–570, sep 2001. Disponível em: citeseer.ist.psu.edu/yang01comparing.html.
- [101] MUNDINGER, J., BOUDEC, J. “Analysis of a Reputation System for Mobile Ad-Hoc Networks with Liars”. In: *WIOPT '05: Proceedings of the Third International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks*, pp. 41–46, Washington, DC, USA, 2005. IEEE Computer Society. ISBN: 0-7695-2267-X. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/WIOPT.2005.13>.
- [102] BUCHEGGER, S. LE BOUDEE, J.-Y. “Self-policing mobile ad hoc networks by reputation systems”, *Communications Magazine IEEE*, v. 47, n. 7, pp. 101–107, 2005. ISSN: 0163-6804. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/1317425.1317433>.
- [103] YUAN, W., GUAN, D., LEE, S., et al. “A reputation system based on computing with words”. In: *IWCMC '07: Proceedings of the 2007 international conference on Wireless communications and mobile computing*, pp. 132–137, New York, NY, USA, 2007. ACM. ISBN: 978-1-59593-695-0. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/1280940.1280968>.
- [104] LAIBOWITZ, M., GIPS, J., AYLWARD, R., et al. “A sensor network for social dynamics”. In: *IPSN '06: Proceedings of the fifth international conference on Information processing in sensor networks*, pp. 483–491, New York, NY, USA, 2006. ACM. ISBN: 1-59593-334-4. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/1127777.1127851>.
- [105] SMALDONE, S., HAN, L., SHANKAR, P., et al. “RoadSpeak: enabling voice chat on roadways using vehicular social networks”. In: *SocialNets '08: Proceedings of the 1st workshop on Social network systems*, pp. 43–48, New York, NY, USA, 2008. ACM. ISBN: 978-1-60558-124-8. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/1435497.1435505>.
- [106] MONTEIRO, A. C., AMORIM, C. L., BRANCO, L. M. C., et al. “Medição Precisa do Consumo de Energia em Dispositivos Móveis de Comunicação Sem Fio”. In: *VIII Workshop em Sistemas Computacionais, III Workshop em Sistemas Computacionais de Alto Desempenho*, pp. 1–10. SBAC, 2007.

- [107] MAY, M., LENDERS, V., KARLSSON, G., et al. “Wireless opportunistic podcasting: implementation and design tradeoffs”. In: *CHANTS '07: Proceedings of the second workshop on Challenged networks CHANTS*, pp. 75–82, New York, NY, USA, 2007. ACM. ISBN: 978-1-59593-737-7. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/1287791.1287806>.
- [108] BRODER, A., MITZENMACHER, M. “Network Applications of Bloom Filters: A Survey”. In: *Internet Mathematics*, pp. 636–646, 2002.
- [109] DAVIES, N., FRIDAY, A., NEWMAN, P., et al. “Using bluetooth device names to support interaction in smart environments”. In: *Proceedings of the 7th international conference on Mobile systems, applications, and services, MobiSys '09*, pp. 151–164, New York, NY, USA, 2009. ACM. ISBN: 978-1-60558-566-6. doi: 10.1145/1555816.1555832. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1555816.1555832>.
- [110] GALATI, A., GREENHALGH, C. “Human mobility in shopping mall environments”. In: *Proceedings of the Second International Workshop on Mobile Opportunistic Networking, MobiOpp '10*, pp. 1–7, New York, NY, USA, 2010. ACM. ISBN: 978-1-60558-925-1. doi: 10.1145/1755743.1755745. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1755743.1755745>.
- [111] BARBOSA, D. N. F., AUGUSTIN, I., BARBOSA, J. L. V., et al. “Learning in a Large-Scale Pervasive Environment”. In: *PERCOMW '06: Proceedings of the 4th annual IEEE international conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, p. 226, Washington, DC, USA, 2006. IEEE Computer Society. ISBN: 0-7695-2520-2. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/PERCOMW.2006.74>.
- [112] NINO, C. P., MARQUES, J., BARBOSA, D. N. F., et al. “Context-Aware Model in a Ubiquitous Learning Environment”. In: *PERCOMW '07: Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, pp. 182–186, Washington, DC, USA, 2007. IEEE Computer Society. ISBN: 0-7695-2788-4. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/PERCOMW.2007.30>.
- [113] DA COSTA, C. A., YAMIN, A. C., GEYER, C. F. R. “Toward a General Software Infrastructure for Ubiquitous Computing”, *IEEE Pervasive Computing*, v. 7, n. 1, pp. 64–73, 2008. ISSN: 1536-1268. doi: <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/MPRV.2008.21>.
- [114] ARNABOLDI, V., CONTI, M., DELMASTRO, F. “Implementation of CAMEO: A context-aware middleware for Opportunistic Mobile So-

- cial Networks”, *A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, International Symposium on*, v. 0, pp. 1–3, 2011. doi: <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/WoWMoM.2011.5986119>.
- [115] MARTÍN-CAMPILLO, A., CROWCROFT, J., YONEKI, E., et al. “Using Huggle to create an electronic triage tag”. In: *Proceedings of the Second International Workshop on Mobile Opportunistic Networking, MobiOpp '10*, pp. 167–170, New York, NY, USA, 2010. ACM. ISBN: 978-1-60558-925-1. doi: 10.1145/1755743.1755775. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1755743.1755775>.
- [116] MANWEILER, J., AGARWAL, S., ZHANG, M., et al. “Switchboard: a matchmaking system for multiplayer mobile games”. In: *Proceedings of the 9th international conference on Mobile systems, applications, and services, MobiSys '11*, pp. 71–84, New York, NY, USA, 2011. ACM. ISBN: 978-1-4503-0643-0. doi: 10.1145/1999995.2000003. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1999995.2000003>.
- [117] MEI, A., MORABITO, G., SANTI, P., et al. “Social-aware stateless forwarding in pocket switched networks”. In: *INFOCOM, 2011 Proceedings IEEE*, pp. 251–255, april 2011. doi: 10.1109/INFCOM.2011.5935076.
- [118] GRIMMETT, G. *Percolation*. N. 321, Grundle Math. Wissen. Second ed. New York, Springer-Verlag, 1999. ISBN: 3-540-64902-6.
- [119] HAAS, Z. J., HALPERN, J. Y., LI, L. “Gossip-based ad hoc routing”, *IEEE/ACM Trans. Netw.*, v. 14, n. 3, pp. 479–491, 2006. ISSN: 1063-6692. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/TNET.2006.876186>.
- [120] CAMP, T., BOLENG, J., DAVIES, V. “A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research”, *Wireless Communications and Mobile Computing (WCMC): Special Issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications*, v. 2, pp. 483–502, 2002.
- [121] BROYLES, D., JABBAR, A., STERBENZ, J. P. G. “Design and analysis of a 3-D Gauss-Markov Mobility Model for Highly-Dynamic Airborne Networks”. In: *Proceedings of the International Telemetering Conference (ITC)*, San Diego, CA, October 2010.
- [122] AUGUSTO, C. H. P. *Controle de Inundação em Redes Ad Hoc Móveis*. Tese de Doutorado, COPPE/PEE/UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, BR, junho 2011.

- [123] ISHIKAWA, T., HAYAKAWA, T. “Gossip protocol on the ad hoc networks and its approximated saturation”. In: *Decision and Control (CDC), 2010 49th IEEE Conference on*, pp. 2638–2643, dec. 2010. doi: 10.1109/CDC.2010.5718202.
- [124] TANG, J., DAI, S., LI, J., et al. “Gossip based scalable directed diffusion for wireless sensor networks”. In: *Int. J. Commun. Syst.*, n. 24, pp. 1418–1430, 2011. doi: 10.1002/dac.1224.
- [125] CHOWDHURY, S., ISLAM, M., JAIGIRDAR, F., et al. “Performance study and simulation analysis of CSMA and IEEE 802.11 in wireless sensor networks and limitations of IEEE 802.11”. In: *Computers and Information Technology, 2009. ICCIT '09. 12th International Conference on*, pp. 431–436, dec. 2009. doi: 10.1109/ICCIT.2009.5407277.
- [126] SARWATE, A., DIMAKIS, A. “The Impact of Mobility on Gossip Algorithms”. In: *INFOCOM 2009, IEEE*, pp. 2088–2096, april 2009. doi: 10.1109/INFCOM.2009.5062132.
- [127] BALDO, N., REQUENA, M., NUNEZ, J., et al. “Validation of the ns-3 IEEE 802.11 model using the EXTREME testbed”. In: *Proceedings of SIMUTools Conference, 2010*, March 2010.
- [128] POLASTRE, J. *TmoteSky*. Relatório técnico, MoteIV, 2005.
- [129] GRANJA, R. S., DUTRA, R. C., MORAES, H. F., et al. “SAMCRA: Um sistema para avaliação experimental de Redes Ad Hoc”, Salão de Ferramentas - XXVIII SBRC - SBC, 2010.
- [130] DUTRA, R. C., GRANJA, R. S., MORAES, H. F., et al. “REPI: Rede de comunicação Endereçada Por Interesses”, *VI Workshop de Redes Dinâmicas e Sistemas Peer-to-Peer (WP2P) 2010, Gramado*, v. 1, pp. 99–112, 2010.
- [131] DUTRA, R. C., AMORIM, C. L. *Modelo de Comunicação Endereçada por Interesses*. Relatório técnico, Relatório Técnico ES 733 / PESC - COPPE - UFRJ, 2009.
- [132] DUTRA, R. C., MORAES, H. F., AMORIM, C. L. *Prefixos Ativos para Redes Móveis Ad-Hoc*. Relatório técnico, Relatório Técnico ES 737 / PESC - COPPE - UFRJ, 2011.
- [133] DUTRA, R. C., MORAES, H. F., AMORIM, C. L. *Active Prefixes for Mobile Ad-Hoc Networks*. Relatório técnico, Relatório Técnico ES 739 / PESC - COPPE - UFRJ, 2011.

- [134] AMORIM, C., DUTRA, R., BRANCO, L. “Method for Building Spontaneous Virtual Communities Based on Common Interests Using Wireless Equipments”. march 2012.
- [135] KOLAR, V., BHARATH, K., ABU-GHAZALEH, N. B., et al. “Contention in multi-hop wireless networks: model and fairness analysis”. In: *Proceedings of the 12th ACM international conference on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*, MSWiM '09, pp. 21–29, New York, NY, USA, 2009. ACM. ISBN: 978-1-60558-616-8. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/1641804.1641812>. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1641804.1641812>>.

Apêndice A

Avaliação da Interferência no Meio

A interferência no meio ocorre devido à competição entre os nós para enviar mensagens em um meio compartilhado. Como o número de canais no meio e a memória de armazenamento de mensagens para enviar são finitos, mensagens podem ser perdidas por erro na transmissão ou apagadas da fila de mensagens para transmitir ou sofrerem um atraso muito longo, caso o número de mensagens a serem transmitidas seja grande [135]. Desta forma, por meio da variação de intervalo de tempo entre a geração e encaminhamento de mensagens, foi realizada a análise de sensibilidade da interferência variando o intervalo de mensagens de 0 ms a 200 ms. As métricas avaliadas foram Taxa de Entrega, Latência, Total de Mensagens Recebidas, Número de Saltos e Número de Mensagens com Erro na Recepção (ErrTx)

A simulação *S2* foi realizada em um cenário em que 150 nós foram posicionados uniformemente em uma região de 750x300m, com mobilidade seguindo o padrão *Randomwaypoint*, e velocidade variando uniformemente de 2 a 8 m/s, *Pause Time* de 200s com tempo de simulação igual a 300s e raio de alcance entre vizinhos de 100m (configurando os ganhos de transmissão e recepção com valor igual a -1 dBm). Um grupo de 30 pares de nós com endereçamento fim-a-fim foi selecionado aleatoriamente para enviar uma mensagem de um nó ao outro utilizando o endereçamento por identificação por Prefixo $PA(P, I)$, onde P utilizou 8 campos e 3 bits e I permitia o uso de uma palavra apenas, diferente para cada par. Uma mensagem era originada por cada par origem em Intervalos entre Mensagens variando de 0 a 200ms e medidas Taxa de Entrega (%), Latência (ms), Número de Saltos, Total de Mensagens Recebidas e Total de Mensagens Recebidas com Erro na Recepção. Foram realizadas 50 execuções e as métricas são as médias dos valores obtidos. O objetivo foi verificar como o ruído devido à interferência pela geração de mensagens em intervalos próximos afeta as medidas.

A variável utilizada para estas simulações foi:

- Tempo de intervalo entre mensagens transmitidas (TI_{msg}) (ms) - tempo entre

o envio de uma mensagem e o envio da próxima mensagem. Esta variável foi utilizada na simulação *S2* assumindo valores na faixa entre 0 e 200 ms;

Os resultados da simulação são apresentados nas Figuras A.1, A.2, A.3, A.4. Pode-se observar pela Figura A.1 que a Taxa de Entrega de Mensagem (TEM) para um Intervalo de Mensagem de 200ms é de 64%, e pela Figura A.2 que a Latência para este mesmo valor de Intervalo de Mensagem é de 150ms. Este valor de Intervalo de Mensagem de 200ms foi escolhido para as simulações *S3*.

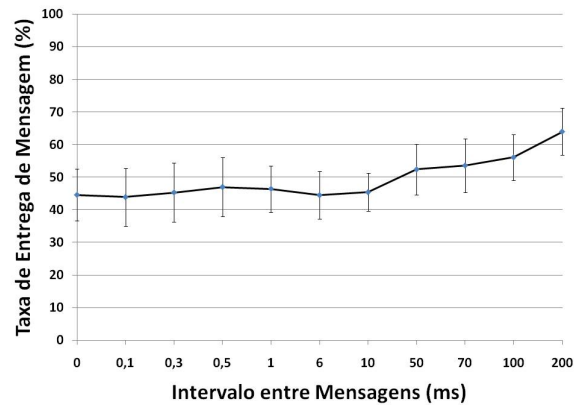


Figura A.1: Taxa de Entrega de Mensagens por Intervalo entre Mensagens

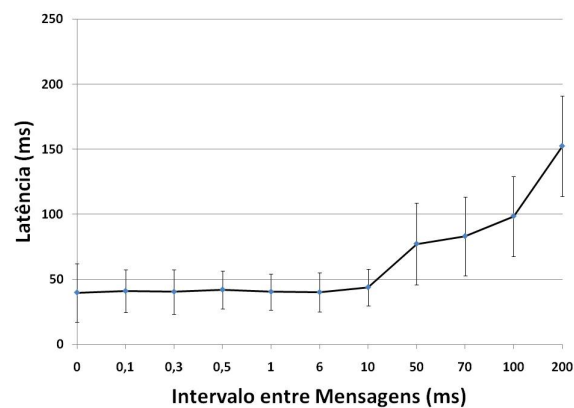


Figura A.2: Latência por Intervalo entre Mensagens

Podemos observar também que a geração de interferência entre mensagens enviadas em intervalos curtos impede o aumento na taxa de entrega, como pode ser visto na Figura A.1. Devido a este compromisso, maior número de mensagens, maior a interferência e menor o número de mensagens entregues, permite avaliar que o aumento do intervalo de envio de mensagens pode diminuir a interferência e permitir a entrega de mais mensagens.

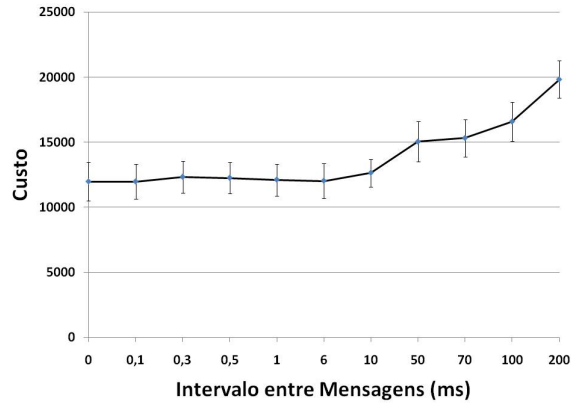


Figura A.3: Custo de Mensagens Recebidas por Intervalo entre Mensagens

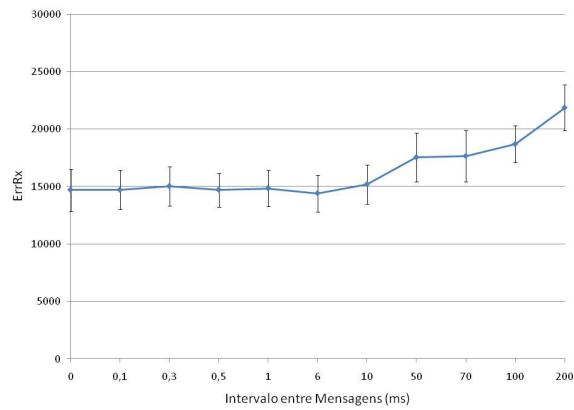


Figura A.4: Erros na Recepção de Mensagens por Intervalo entre Mensagens