

CINARA MENEGAZZO

MÉTODO ADAPTATIVO PARA PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO EM REDES
TOLERANTES A ATRASOS E DESCONEXÕES BASEADO EM CONHECIMENTO DE
CONTEXTO

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Ciência da Computação, no Programa de Pós-graduação em Informática, Setor de Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Dr. Luiz Carlos P. Albini, Prof.

Co-orientador: Dr. Eduardo J. Spinosa, Prof.

CURITIBA

2015

Menegazzo, Cinara

Método adaptativo para protocolos de roteamento em redes tolerantes a atrasos e desconexões baseado em conhecimento de contexto / Cinara Menegazzo. – Curitiba, 2015

149 f. : il.; tabs.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Informática.

Orientador: Luiz Carlos P. Albini

Coorientador: Eduardo J. Espinosa

Bibliografia: p.127-134

1. Redes de computadores - Protocolos. 2. Adaptação dinâmica.
3. Parâmetros de contexto. I. Albini, Luiz Carlos P. II. Espinosa, Eduardo J. III. Título

CDD 004.6



Ministério da Educação
Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Informática

PARECER

Nós, abaixo assinados, membros da Banca Examinadora da defesa da aluna de Doutorado em Ciência da Computação, Cinara Menegazzo, avaliamos a tese de doutorado intitulada “CARPA: Um Método Auto-Adaptativo para Protocolos de Roteamento em Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões Baseado em Ciência de Contexto”, cuja defesa pública foi realizada no dia 24 de setembro de 2015, às 08:30 horas, no Departamento de Informática do Setor de Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná. Após avaliação, decidimos pela:
aprovação da candidata. ()reprovação da candidata.

Curitiba, 24 de setembro de 2015

Prof. Dr. Luiz Carlos Pessoa Albini
PPGINF/UFSC – Orientador

Prof. Dr. Eduardo Spinosa
PPGInf – Coorientador

Prof. Dr. Rivalino Matias Junior
UFU – Membro Externo

Prof.ª. Dra. Ana Cristina Barreiras Kochem Vendramin
UTFPR– Membro Externo

Prof. Dr. Carlos Alberto Mazieiro
PPGInf – Membro Interno

Prof. Dr. Eduardo Todt
PPGInf – Membro Interno



AGRADECIMENTOS

O primeiro agradecimento vem a pessoa que tornou essa fase da minha vida possível, mesmo quando eu não acreditei que conseguiria. Meu muito obrigada, sem dimensão possível, ao eterno mestre Professor Luiz Carlos P. Albini, por sua dedicação, paciência, sorrisos e acima de tudo, competência e caráter. Um obrigada especial ao Eduardo da Silva pelo caminho da oportunidade que me proporcionou no momento em que as portas se fecharam. Muito obrigada por ter me viabilizado participar desta veia acadêmica na UFPR.

Esta jornada é um caminho sem volta e a cada dia de luta e desespero, chegar em casa e encontrar tanto carinho, compreensão, amor e sorrisos é mais que possa ter esperado da vida. Não encontro palavras para expressar o agradecimento ao meu incrível marido Luciano e as minhas muito amadas filhas Izabela e Luiza. Desculpem pelos dias em que era melhor nem chegar perto e por estarem sempre torcendo pela mamãe. Vocês são as maiores conquistas que tive, SEMPRE. Minha querida e saudosa mãe Amábile, obrigada por ter tido a coragem de me deixar voar e chegar até aqui. Desculpa por não ter alcançado este momento de alegria antes da tua partida.

A todos os colegas do Departamento de Ciência da Computação da UDESC pelo apoio e segurada de piano durante meu afastamento, em especial ao Parpinelli, Cláudio, Rafael e Maurício pelos sábios ensinamentos, obrigada. À UDESC, obrigada por ter acreditado que este título seria possível durante quarenta e oito meses e nem mais um dia.

Amigos, como fazer um doutorado sem amigos? Meus amigos trouxeram flores e sorrisos a esta etapa cruel. Rebeca e Elisa, vocês tornaram esta caminhada forte e mais alegre. O tamojuntó é eterno e táparatu todo o agradecimento pelo companheirismo e ajuda que me fizeram acreditar e sorrir muito. Quantas e memoráveis lembranças que este período vai me dar para o resto da vida, assim como a amizade de vocês que é eterna. Obrigada por terem aparecido no início do caminho (ainda mais de catarinense!!!).

À minha eterna companheira e amiga Débora, obrigada por ter estado na mesma luta e sempre junto, você tem um lugar muito especial no meu coração. Nem um pouco menos importante, obrigada minhas amigas Luluzinhas (Ava, Eve e Isa) pela força na peruca de sempre, pela torcida e champanhes.

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Santa Catarina (FAPESC) pelo apoio financeiro e pela gentileza que sempre encontrei por parte de seus funcionários. Ao Departamento de Informática da UFPR, um obrigada pela oportunidade e aulas com

mestres memoráveis, e aos funcionários da secretaria, especialmente à Jucélia, pelo apoio acadêmico, presteza e simpatia que sempre recebi. Obrigada especial ao meu co-orientador Eduardo Spinosa pela crença, gentilezas, paciências e ensinamentos.

Por fim, obrigada a todos que contribuíram para que essa conquista fosse possível, vou lembrar de vocês somente enquanto eu respirar.

Obrigadão !!!

*“Obstáculos tem duas funções: parar-nos ou fazer-nos ultrapassá-los.
Optei viver de decisões e não de possibilidades....”*

RESUMO

Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões (*Delay and Disruption Tolerant Network - DTN*) são redes caracterizadas pela mobilidade dos nós e entrega de mensagens sob elevadas taxas de desconexões e atrasos. Nos últimos anos, diversos protocolos de roteamento para DTN foram propostos. Em sua maioria, reagem de maneira otimizada dentro de um cenário de rede especificamente determinado para seu funcionamento. Contudo, a cada evolução de novas propostas fica evidente que, quando alteradas as características dos cenários, torna-se difícil manter o desempenho dos protocolos. Este comportamento evidencia que os protocolos de roteamento para DTN tem virtudes e fraquezas em relação a determinados contextos de rede. Na maioria das propostas de roteamento, quando os nós se encontram as decisões são tomadas de forma individual, baseadas no relacionamento do nó encontrado com o destino de uma mensagem, desconsiderando as restrições de um ambiente. As dificuldades para equilibrar decisões de roteamento aos limites e oscilações de contextos motivam a proposta desta tese. Um método de adaptação ciente do contexto instantâneo da rede, denominado CARPA (*Context-Aware Routing Protocol Adaptation*), é proposto para garantir desempenhos globais otimizados. O CARPA é um método dinâmico e instantâneo (*on-the-fly*) para adaptação a contextos que permite a seleção do protocolo mais otimizado a cada transferência de uma mensagem em DTN. O protocolo de roteamento é escolhido dentre os disponíveis nos nós em contato a cada salto da mensagem. As decisões são tomadas baseadas no contexto momentâneo, que envolve os requisitos da mensagem e as restrições da região visitada. O método CARPA é executado antes do processo de roteamento em cada nó DTN e não altera o algoritmo de roteamento. Para avaliar o contexto momentâneo, o CARPA utiliza informações da rede que o nó DTN tem disponível, das transmissões que realiza quando em contato com nós vizinhos de uma mesma região. O CARPA é comparado com os protocolos parametrizáveis para DTN *Epidemic*, *PRoPHET* e *Spray and Wait*. Os parâmetros utilizados para definir os contextos são? capacidade de armazenamento dos nós, densidade da rede, quantidade de contatos dos nós, velocidade dos nós e tempo de disponibilidade da rede para efetuar entregas. Porém, o método não se limita ao uso apenas dos protocolos e parâmetros usados nas simulações. Os resultados de simulações obtidos através do simulador *The ONE* mostram que a solução proposta é efetiva para melhorar o desempenho destes protocolos obtendo maiores taxas de entrega, menor atraso e menor sobrecarga. Na grande maioria das avaliações, verifica-se que o método supera os demais protocolos de roteamento para as mais variadas combinações de cenários quanto às métricas de atraso, sobrecarga, e taxa de entrega.

Palavras-chave: Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões, Protocolo de Roteamento, Adaptação Dinâmica a Contextos, Parâmetros de Contexto.

ABSTRACT

Delay Tolerant Network (DTN) consists of mobile nodes with large delivery delays and frequent disruptions. In recent years, many routing protocols have been proposed for DTN. Most of them demonstrate the ability to achieve good performance metrics under scenarios for which they were developed. However, variations imposed on standard configurations of various routing protocols lead to significant oscillations in performance of metrics, like message delivery rates and delay. This behavior demonstrates that most of the routing protocols for DTN have strengths and weaknesses depending on the scenario used. Most of the decisions take into account the individual relationship between the encountered node and the destination of the message, disregarding the constraints of an environment. A trade-off between routing decisions and contexts oscillations is the main motivation for this thesis. Thus, a context-aware method decoupled from the protocol for adapting the routing process in DTNs is proposed, called CARPA (Context-Aware Routing Protocol Adaptation). CARPA is an on-the-fly method that runs on each node of the network, based on the node's own context information and on the routing protocols available at the possible next hops. Hence, the decision process does not overload the network. From this, the method responds with the most suitable routing protocol for each hop transmission. In order to explore the strengths of all protocols and reduce their weaknesses, every message can be forwarded from the source to the destination node through several different routing protocols, one for each hop if necessary, without any changes to DTN routing protocols. The proposed method is compared to the Epidemic, P_{Ro}PHET, and Spray and Wait protocols over several distinct network scenarios, implemented in the THE ONE simulator. The scenarios are composed of combined contexts from the network parameters, such as buffer capacity, network density, speed of the nodes, number of contacts, and period of time that the network is available to deliver the messages. In most of the evaluations, CARPA outperforms the routing protocols simulated on delivery, delay, and overhead, when the network has more than one context. The more different contexts the network has, the better CARPA performs.

Keywords: Delay Tolerant Network, Routing Protocol, Context Awareness, Context Parameter.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Atrasos causados por desconexões.	26
Figura 2 – Camadas de rede TCP/IP e DTN.	28
Figura 3 – Região em DTN.	31
Figura 4 – <i>Trade-off</i> entre desempenho e conhecimento.	32
Figura 5 – Disseminação pelo <i>Epidemic</i> em três rodadas sucessivas.	35
Figura 6 – Disseminação pelo SPW com $L=6$ - Fase <i>Spray e Wait</i>	36
Figura 7 – Composição do atraso em DTN.	64
Figura 8 – Capacidade de armazenamento.	70
Figura 9 – Comportamento do parâmetro de densidade na rede quando variada a capacidade de armazenamento dos nós e o tamanho das mensagens.	71
Figura 10 – Desempenho sob diversas políticas de densidade.	72
Figura 11 – Número de contatos.	73
Figura 12 – Velocidade dos nós.	74
Figura 13 – Tempo de tráfego das mensagens.	76
Figura 14 – Rede modelo.	82
Figura 15 – Arquitetura do método CARPA.	84
Figura 16 – Processamento de contexto.	85
Figura 17 – Execução do CARPA.	86
Figura 18 – Impacto da capacidade de armazenamento.	98
Figura 19 – Impacto na entrega para diferentes oscilações.	98
Figura 20 – Desempenho sob oscilações de densidade.	101
Figura 21 – Desempenho sob densidade variando o conjunto de cenários.	102
Figura 22 – Oscilações de velocidade.	104
Figura 23 – Taxa de entrega para oscilações variadas de velocidade.	104
Figura 24 – Oscilações na quantidade de contato.	107
Figura 25 – Taxa de entrega para combinações variadas de contato.	108
Figura 26 – Desempenho dos protocolos para cenários com oscilações no tempo de uso da rede.	110
Figura 27 – Taxa de entrega sob um conjunto de oscilações no tempo de uso da rede.	111
Figura 28 – Entrega para combinação de parâmetros.	113
Figura 29 – Atraso e sobrecarga com combinação de parâmetros.	114
Figura 30 – Impacto da capacidade de armazenamento sob o modelo SP.	115
Figura 31 – Impacto da variação de densidade sob o modelo SP.	116
Figura 32 – Desempenho para variações na velocidade de deslocamento sob o modelo SP.	117

Figura 33 – Simuladores usados nas evoluções.	145
Figura 34 – Protocolos usados nas simulações.	145
Figura 35 – Custo para entrega de mensagens em relação à capacidade de armazenamento.	147
Figura 36 – Resultados das simulações para (a) Sobrecarga de mensagens gerada pelos protocolos com variação na capacidade de armazenamento; (b) Taxa de entrega com variação de área e capacidade de armazenamento sob o modelo de movimento RW.	148

LISTA DE TABELAS

Tabela 3 – Propostas por segmentação de Contexto	57
Tabela 4 – Características de adaptação a contexto.	58
Tabela 5 – Parâmetros utilizados nas simulações das métricas de roteamento.	68
Tabela 6 – Adequação de protocolos a determinados cenários de rede.	78
Tabela 7 – Parâmetros dos cenários.	93
Tabela 8 – Atribuição de contextos delimitados por parâmetros da rede.	94
Tabela 9 – Parâmetros para o cenário 1.	96
Tabela 10 – Combinação de contextos para o cenário 1.	97
Tabela 11 – Parâmetros para o cenário 2.	100
Tabela 12 – Combinação de contextos para o cenário 2.	100
Tabela 13 – Parâmetros para o cenário 3.	103
Tabela 14 – Combinação de contextos para o cenário 3.	103
Tabela 15 – Parâmetros para o cenário 4.	105
Tabela 16 – Combinação de contextos para o cenário 4.	106
Tabela 17 – Parâmetros para o cenário 5.	109
Tabela 18 – Combinação de contextos para o cenário 5.	109
Tabela 19 – Cenários gerados por combinação de diferentes contextos.	112
Tabela 20 – Parâmetros para cenários com dois modelos de movimento.	146

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADU	- <i>Application Data Unit</i>
ARBR	- <i>Adaptive Reinforcement-Based Routing</i>
ARMON	- <i>Adaptive Routing in Mobile Opportunistic Networks</i>
BSW	- <i>Binary Spray and Wait</i>
CAMR	- <i>Context Aware Multicast Routing Scheme</i>
CANC	- <i>Context-Aware Network Coding</i>
CAR	- <i>Context-Aware Routing</i>
CARPA	- <i>Context-Aware Routing Protocol Adaptation</i>
CARTOON	- <i>Context-Aware Routing Protocol for Opportunistic Network</i>
CP	- <i>Continuity Probability</i>
CRL	- <i>Collaborative Reinforcement Learning</i>
CSA	- <i>Composable Services Architecture</i>
DA-SW	- <i>Density-Aware Spray and Wait</i>
DAWN	- <i>Density Adaptive routing With Node awareness</i>
DP	- <i>Delivery Predictability</i>
DSDV	- <i>Destination-Sequenced Distance-Vector</i>
DSG	- <i>Dynamic Social Grouping</i>
DSL	- <i>Digital Subscriber Line (DSL)</i>
DTBR	- <i>Dynamic Tree-Based Routing</i>
DTN	- <i>Delay and Tolerant Network</i>
DTNRG	- <i>DTN Research Group</i>
EAR	- <i>Efficient Adaptive Routing</i>
ECAM	- <i>Epidemic-based Controlled Flooding and Adaptive Multicast</i>
FARA	- <i>Feedback Adaptive Routing Algorithm</i>
GUID	- <i>Globally Unique Identifier</i>
HiBOP	- <i>History Based Routing Protocol for Opportunistic Networks</i>
HT	- <i>History Table</i>
IT	- <i>Identity Table</i>
MANET	- <i>Mobile Ad Hoc Networks</i>
MARS	- <i>Multi-Attribute Routing Scheme</i>
MF	- <i>Message Ferrying</i>
MFV	- <i>Most Frequently Visited</i>
MLN	- <i>Most Likely Nest</i>
NECTAR	- <i>Neighborhood Contact History Routing</i>
ORWAR	- <i>Opportunistic Routing with Window-Aware Replication</i>
O-SW	- <i>Oracle-based Spray-and-Wait</i>

PDC - Problema de Detecção de Contexto
PDU - *Protocol Data Unit*
PRA - Problema do Roteamento Adaptativo
PRoPHET - *Probabilistic Routing using History of Encounters and Transitivity*
QoS - Qualidade de Serviço
RAPID - *Resource Allocation Protocol for Intentional DTN*
RW - *Random Way-point*
S&F - *Spray and Focus*
SARP - *Self-Adaptive Routing Protocol*
SMART - *Simple Multi-Attribute Rating Technique*
SP - *Shortest Path*
SPW - *Spray-And-Wait*
SV - *Summary Vector*
TCP/IP - *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*
TTL - *Time To Live*
UIV - *Utility Incremental Value*
UWSN - *Underwater Sensor Network*
VMT - *Virtual Mesh Test*
XML - *Extensible Markup Language*

LISTA DE NOTAÇÕES

P_{init}	Constante de inicialização
ϵ	Constante de atenuação
l	Tempo decorrido
$\tau \in [0, 1]$	Quantifica o impacto da transitividade na métrica dp .
$T = (t_1, \dots, t_n)$	Conjunto de instantes de tempo
$N = (i, j, \dots, n)$	Conjunto de nós da rede
$V = (v_1, \dots, v_n)$	Conjunto de vértices de um grafo
$E = (e_1, \dots, e_n)$	Conjunto de dinâmico de arestas de um grafo
Viz	Conjunto de nós vizinhos
$G(V, E, T)$	Grafo simples que representa uma DTN
$e = (n_i, n_j)$	Aresta do grafo que incide sobre os vértices n_i e n_j
$\Delta T_{(n_i, n_j)}$	Intervalo de tempo entre o contato os nós i e j
$enc_{(n_i, n_j)}$	Média da quantidade de encontros entre dois nós
TJ	Sequência de vértices da trajetória de uma mensagem
$m(t_0, s, d, TTL)$	Tupla que representa uma mensagem na rede
t_0	Tempo de criação da mensagem
s	Nó origem
d	Nó destino
M_{n_i}	Conjunto de mensagens armazenadas no nó n
M_{fila}	Conjunto de mensagens na fila do nó
$Q_{(t)}$	Número total de mensagens na rede por no tempo t
$Taxa_{entrega}$	Taxa de entrega de mensagens
$M_{entregues}$	Mensagens entregues
$M_{criadas}$	Mensagens criadas
n_{dtn}	Nó carregador de mensagens em uma DTN
tam_m	Tamanho em <i>bits</i> da mensagem m
tam_{canal}	Dimensão do canal dividido pela velocidade de propagação
vel_{ps}	Velocidade de propagação do canal
$Atraso_{enlace}$	Atraso no enlace
S	Sobrecarga na rede

$ m_{tx} $	Número total de mensagens transmitidas durante o trajeto
$ m_{rec} $	Número total de mensagens recebidas pelo nó
req_i	Requisito da mensagem no nó i
$Ordem_{req}$	Contagem de participação de req na filtragem do protocolo
$C = C_1 \times \dots \times C_n$	Espaço de busca em potencial para um contexto
$c = (c_1, \dots, c_n)$	Vetor de parâmetros da rede
C_t	Contexto atual
$(entrega \prec urgência \prec sobrecarga)$	Entrega precede urgência que precede sobrecarga
$H_{CARPA} : \alpha \rightarrow (\beta \rightarrow \mathcal{P}) \Rightarrow C$	Função CARPA que representa um contexto composto por: requisitos, parâmetros e protocolos
α	Conjunto de requisitos de desempenho da mensagem
$ \alpha $	Tamanho de um dado conjunto α
β	Contexto de rede atual coletado localmente
$C_{n_{dn}}$	Tabela que representa o contexto do nó carregador
$\mathcal{P} = (p_1, \dots, p_n)$	Conjunto de protocolos disponível na rede
p_n	Protocolo disponível no nó

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Definição do Problema	21
1.2 Objetivos	22
1.3 Objetivos Específicos	23
1.3.1 Metodologia	23
1.3.2 Motivação	24
1.3.3 Contribuições	24
1.4 Estrutura do Documento	25
2 REDES TOLERANTES A ATRASOS	26
2.1 Arquitetura DTN	27
2.1.1 Nós e Transferências	29
2.1.2 Contatos, Cenários e Regiões em DTN	29
2.1.3 Oráculo de Conhecimento	32
2.2 Roteamento em DTN	33
2.2.1 <i>Epidemic</i>	34
2.2.2 <i>Spray And Wait - SPW</i>	35
2.2.3 <i>Probabilistic Routing using History of Encounters and Transitivity - PProPHET</i>	37
2.3 Protocolos de Roteamento Adaptativos Cientes de Contextos	38
2.3.1 <i>Context-Aware Community-Oriented Routing</i>	39
2.3.2 <i>Multi-Attribute Routing Scheme</i>	40
2.3.3 <i>Density Adaptive Routing with Node Awareness</i>	41
2.3.4 <i>Context-Aware Routing Protocol for Opportunistic Network</i>	41
2.3.5 <i>Density-Aware Spray and Wait</i>	43
2.3.6 <i>Adaptive Reinforcement-Based Routing for DTN</i>	44
2.3.7 <i>Probabilistic Routing using History of Encounters and Transitivity+</i>	45
2.3.8 <i>Opportunistic Routing with Window-Aware Replication</i>	45
2.3.9 <i>Feedback Adaptive Routing Algorithm for DTN</i>	46
2.3.10 <i>Self-Adaptive Routing Protocol</i>	47
2.3.11 <i>Self Adaptive Contention Aware Routing Protocol for Intermittently Connected Mobile Networks</i>	48
2.3.12 <i>Efficient Adaptive Routing in Delay Tolerant Networks</i>	49
2.3.13 <i>Social-based Forwarding in DTN</i>	50
2.3.14 <i>Context-Aware Routing</i>	52
2.3.15 <i>History Based Opportunistic Routing</i>	54

2.3.16 <i>Resource Allocation Protocol for Intentional DTN</i>	55
2.3.17 Comparativo dos Protocolos Adaptativos a Contextos	56
2.4 Conclusão	59
3 MÉTRICAS EM DTN	61
3.1 Métricas de Desempenho	62
3.1.1 Taxa de Entrega	63
3.1.2 Atraso	63
3.1.3 Sobrecarga	64
3.2 Métricas de Roteamento	64
3.2.1 Capacidade de Armazenamento	65
3.2.2 Densidade	65
3.2.3 Contato oportunista	66
3.2.4 Velocidade de Deslocamento	66
3.2.5 <i>Time To Live</i>	67
3.2.6 Descarte	67
3.3 Impacto de Diferentes Contextos sobre Protocolos Padrões de Roteamento em DTN	68
3.3.1 Cenário A: Efeito da Capacidade de Armazenamento no Nó	69
3.3.2 Cenário B: Impacto da Densidade	70
3.3.3 Cenário C: Avaliação do Contato Oportunista	72
3.3.4 Cenário D: Análise da Velocidade de Deslocamento dos Nós	74
3.3.5 Cenário E: Influência do Tempo de Vida da Rede	75
3.4 Conclusão	77
4 MÉTODO PARA ADAPTAÇÃO DE PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO A CONTEXTOS REGIONAIS	79
4.1 Definições Preliminares	80
4.2 Visão Geral	82
4.3 Atribuição de Contexto	85
4.4 Adaptação ao Contexto Atual	87
4.5 Conclusão	90
5 ANÁLISE DE DESEMPENHO DO MÉTODO CARPA	92
5.1 Cenários de Avaliação	92
5.1.1 Protocolos para Comparações	95
5.1.2 Escolha de Parâmetros e Requisitos	95
5.2 Resultados das Simulações	95
5.2.1 Efeito da Variação na Capacidade de Armazenamento	96
5.2.2 Desempenho para Diferentes Densidades de Rede	99

	18
5.2.3 Análise sob Oscilações na Velocidade de Deslocamento dos Nós	102
5.2.4 Análise de Desempenho sob Quantidade de Contatos Oportunistas	105
5.2.5 Avaliação de Comportamento sob Diversos Períodos de Uso da Rede	108
5.2.6 Avaliação da Adaptação à Combinação de Diferentes Parâmetros e Estados da Rede	111
5.2.7 Avaliação da Adaptação sob Diferente Modelo de Mobilidade	114
5.2.8 Análise do Consumo de Recursos	118
5.3 Conclusão	119
6 CONCLUSÃO	121
6.1 Contribuições	123
6.2 Trabalhos Futuros	124
PUBLICAÇÕES REALIZADAS NO DOUTORADO	126
REFERÊNCIAS	127
ANEXO A PROPOSTAS DE ADAPTAÇÃO A CONTEXTOS COM ABORDA- GENS EM ROTEAMENTO	135
A.1 <i>Context-and Social-Aware Middleware</i>	135
A.2 <i>Context-Aware Network Coding</i>	138
A.3 <i>Epidemic-based Controlled Flooding and Adaptive Multicast for DTN</i>	140
A.4 <i>Context Aware Multicast Routing Scheme</i>	140
A.5 <i>Underwater Sensor Network</i>	142
ANEXO B ADAPTIVE ROUTING IN MOBILE OPPORTUNISTIC NETWORKS	144
ANEXO C RESULTADOS ESTATÍSTICOS DA AVALIAÇÃO DO ROTEAMENTO ADAPTÁVEL A CONTEXTO	145
ANEXO D ANÁLISE DOS PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO SOB ARMA- ZENAMENTO, DENSIDADE E MODELOS DE MOVIMENTAÇÃO .	146

1 INTRODUÇÃO

Os limites entre uma distância real e uma virtual estão se tornando invisíveis, devido à capacidade e variedade tecnológica dos dispositivos de comunicação aos quais se tem acesso. Estes novos limiares alteram a maneira e as oportunidades de comunicação, além de encurtar distâncias. Atualmente, os recursos de comunicação estão se tornando essenciais e parte do cotidiano da grande maioria da população. A conectividade fim-a-fim não pode mais ser o principal requisito para comunicação entre nós de uma rede.

A necessidade de garantir a comunicação de serviços, mesmo entre dispositivos com conectividade intermitente, levou ao surgimento de novas arquiteturas de rede que precisam considerar a perda de conectividade entre os nós que pode atingir horas ou até mesmo dias. Para manter a comunicação, as aplicações e os serviços de rede passam a priorizar as oportunidades de conectividade e a se adaptar a constantes mudanças na rede. Assim, surgiram as Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões (DTN - *Delay and Disruption Tolerant Networks*).

Segundo Fall (2003), uma DTN é uma rede sobreposta construída de forma subjacente, por exemplo, sobre uma rede *ad hoc* móvel (MANET - *Mobile Ad Hoc Networks*) (CHLAMTAC; CONTI; LIU, 2003; CORSON; MACKER, 1999). Uma DTN se caracteriza por garantir a continuidade da comunicação mesmo na ausência de conectividade fim-a-fim, devido à definição de um serviço de armazenamento de mensagens em trânsito, denominado *store-carry-and-forward* (FALL, 2003). Um nó passa a não apenas receber uma mensagem, mas a proporcionar mecanismos para que ela possa ser armazenada de forma persistente até que se restabeleça a conectividade.

A arquitetura TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) (SO-COLOFSKY; KALE, 1991) foi concebida sem prever este estado de intermitência da rede. O TCP é um protocolo de transporte orientado a conexão projetado para garantir a entrega de dados fim-a-fim em cima de redes não confiáveis, independente da infraestrutura da rede. Ele não se preocupa com a tecnologia de rede empregada, tarefa que fica sob a responsabilidade das camadas inferiores, tolerando altos mas limitados níveis de atrasos na entrega de mensagens. Um dos poucos serviços com maior capacidade de suportar longos atrasos é o serviço de correio eletrônico.

A mobilidade e desconexões são vistas em DTN como uma forma de ligação entre os nós e tornam-se parte da arquitetura da rede e não uma exceção (LEGUAY et al., 2006). A simples mobilidade de um nó proporciona uma oportunidade, muitas vezes única, para que uma mensagem possa ser encaminhada a um próximo salto, pois os

nós pertencentes à trajetória de uma mensagem podem nunca estar conectados na mesma rede ao mesmo tempo.

Os cenários formados por esse tipo de rede apresentam estados e atributos excessivamente variados, decorrentes de características particulares, como longos atrasos, perdas de mensagens e frequentes desconexões. Para que as oportunidades de contato possam ser mantidas, existe a necessidade do serviço de roteamento nó-a-nó, com alguns nós intermediários operando paradigmas diferenciados, como armazenamento persistente de mensagens por longos períodos, o que torna o serviço de roteamento um tanto dispendioso. Um contato em DTN representa uma oportunidade de comunicação prevista ou não, que deve ser aproveitada ao máximo (FALL, 2003).

Diversas propostas de protocolos de roteamento para DTN estão surgindo, como descritas em (D'SOUZA; JOSE, 2010; ALI; QADIR; BAIG, 2010; ABRAHAM; S, 2012; YASMIN; RAIS; QAYYUM, 2014; JOHARI; GUPTA; ANEJA, 2015). Cada proposta utiliza uma abordagem própria para garantir otimização na definição do melhor carregador para uma mensagem, além de mostrar um bom desempenho em cenários para os quais foram desenvolvidos. Protocolos de roteamento para DTN, denominados tradicionais ou parametrizados como *Epidemic* (VAHDAT; BECKER et al., 2000), *Spray-And-Wait* (SPW) (SPYROPOULOS; PSOUNIS; RAGHAVENDRA, 2005), e *Probabilistic Routing using History of Encounters and Transitivity* (PRoPHET) (LINDGREN; DORIA; SCHELÉN, 2003) consideram o histórico de contatos entre os nós ou o montante de mensagens na rede como parâmetros para decidir sobre o próximo salto para uma mensagem. A eficiência destas propostas é medida pelo desempenho que apresentam quando executados dentro dos cenários para os quais foram projetados.

Grandes oscilações de desempenho dos protocolos são percebidas quando as características desses cenários sofrem alterações, acarretando atrasos na entrega, ou mesmo perda de mensagens. Uma nova classe de protocolos tem sido proposta, a qual toma decisões a respeito do próximo salto baseada na quantidade de conhecimento que possui a respeito do estado da rede. Estes protocolos são denominados *cientes de contexto* (BOLDRINI et al., 2010). Eles consideram *contexto* como qualquer informação que possa ser usada para caracterizar o estado de uma entidade da rede e o ambiente no qual ela está atualmente inserida (CHEN; KOTZ et al., 2000).

Um contexto provê informações consistentes e otimizadas para o roteamento, tornando possível adaptar processos de acordo com limites críticos de valores (PELUSI; PASSARELLA; CONTI, 2006; LAKKAKORPI; PITKÄNEN; OTT, 2010; SANDULESCU; NADJM-TEHRANI, 2008; OLIVEIRA; ALBUQUERQUE, 2012). Porém, a capacidade de adaptação da maioria das propostas existentes é limitada ao conhecimento inserido nos mecanismos implementados (BOLDRINI et al., 2010; PELUSI; PASSARELLA; CONTI, 2006). Apenas informações previamente conhecidas são utilizadas para tomadas de

decisão e atreladas ao funcionamento das propostas. A troca destas informações acarretaria em novas propostas de roteamento. Atualmente, algumas pesquisas demonstram a falta de capacidade dos protocolos em lidar com diferentes informações oriundas do contexto de rede (TOURNOUX et al., 2011; CHEN; KOTZ et al., 2000; BOLDRINI et al., 2010; OLIVEIRA; ALBUQUERQUE, 2012; MOTA et al., 2014), sejam estes protocolos tradicionais ou cientes de contexto.

No entanto, uma DTN apresenta uma característica única, a qual não é explorada para rotear mensagens e que pode reduzir drasticamente o ponto fraco dos protocolos, independente de seu tipo. Nestas redes, as mensagens são encaminhadas autonomamente nó-a-nó, sem a existência de um caminho ativo entre a origem e o destino. Esta característica, aliada à sua arquitetura que permite diferentes protocolos entre pares de comunicação, torna possível a troca do protocolo de roteamento durante a trajetória de uma mensagem pela rede. Em outras palavras, a cada transferência uma mensagem pode ser encaminhada ao próximo salto por um protocolo de roteamento diferente, desacoplando totalmente o protocolo do caminho entre a origem e o destino.

A partir do momento em que um nó consegue escolher o melhor protocolo de roteamento baseado em seu contexto instantâneo e nos protocolos que tenha disponíveis, é possível minimizar as fraquezas destes protocolos. Assim, a presente tese propõe um mecanismo que permite a troca do protocolo de roteamento a cada salto em uma DTN, durante o trajeto de uma mensagem. As decisões deste mecanismo são baseadas nas informações do contexto instantâneo que envolve a mensagem e o nó que a carrega, chamado de nó carregador ou simplesmente nó DTN, bem como nos protocolos de roteamento disponíveis em cada nó.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Pela inexistência de um caminho fim-a-fim entre origem e destino em uma DTN, os protocolos de roteamento enfrentam desafios constantes mediante atrasos, sobrecargas e perdas de mensagens. Para contornar, principalmente o problema de atrasos, o serviço de entrega de mensagens implementa o paradigma *store-carry-and-forward*, diferenciando o processo de repasse utilizado pelos protocolos de roteamento. Assim, uma enorme quantidade de propostas de protocolos de roteamento para DTN tem surgido, cada qual com uma abordagem específica para tomada de decisão, se mostrando eficiente dentro dos cenários para os quais foi construída.

Uma DTN é caracterizada por cenários com trajetos longos e desafiadores, como em operações espaciais, militares ou grandes áreas rurais. Nestes, manter uma única decisão torna-se incoerente devido às grandes oscilações sofridas no estado da rede. Diversas propostas de protocolos consideram essas oscilações e propõem decisões baseadas nos contextos que se formam durante uma trajetória.

A grande maioria das propostas considera alcançar apenas uma métrica de desempenho, tais como maximizar a entrega ou diminuir a sobrecarga, e é negligente quanto aos requisitos da mensagem, que compreendem os da própria aplicação, como a urgência. Além de que, sua capacidade de adaptação fica limitada à existência de um mecanismo próprio que altere seu comportamento conforme um contexto, bem como se limita ao montante de informações do estado da rede que são previamente conhecidas e não aos limites de contexto, como por exemplo, baixa densidade de nós ou restrição de armazenamento.

Inúmeros algoritmos de decisão para o serviço de roteamento em DTN são propostos para superar limitações, porém cada qual comprovadamente eficiente dentro de cenários para os quais foram desenvolvidos. Um método capaz de detectar o contexto momentâneo da rede, inclusive o da própria mensagem, e definir, dentre os algoritmos disponíveis no nó, aquele com melhor desempenho para atender as restrições de contexto percebidas, se justifica pelo uso de soluções comprovadamente eficientes. Além de considerar métricas de desempenho em conjunto.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral desta tese é propor um método autônomo de adaptação para o serviço de roteamento que utilize o protocolo que melhor se adeque ao contexto instantâneo da rede e aos requisitos de uma mensagem, dentre os protocolos disponíveis nos nós DTN durante um contato. O método de adaptação ao contexto proposto, nomeado como CARPA (*Context-Aware Routing Protocol Adaptation*), é derivado a partir da observação de informações de contextos que se formam ao longo da trajetória de uma mensagem, entre o nó origem e destino em uma DTN. Desta forma, o protocolo de roteamento é desacoplado da trajetória de uma mensagem, ao mesmo tempo em que garante um bom desempenho em relação as métricas de desempenho taxa de entrega, atraso e sobrecarga.

A detecção de um contexto é realizada pela coleta passiva de informações da mensagem e do estado da rede. Este processo é realizado quando um nó carregador se desloca e passa a formar uma nova região de rede com outros nós. A caracterização do contexto é baseada em heurísticas para guiar o serviço de roteamento pela descoberta do comportamento mais otimizado, e conseqüentemente, pelo uso do protocolo com melhor desempenho no contexto detectado. A tomada de decisão é sempre direcionada para a escolha determinística do melhor protocolo dentre os disponíveis no nó.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral, alguns objetivos específicos são definidos, os quais compreendem:

- Analisar diversos protocolos de roteamento para DTN e seus desempenhos sob uma variedade de cenários de rede através de:
 - a) Investigação da funcionalidade de protocolos parametrizáveis para DTN;
 - b) Investigação das situações de rede nas quais os protocolos parametrizáveis degradam ou melhoram seu desempenho.
- Analisar informações de contexto que permitam garantia de desempenho dos protocolos por:
 - a) Avaliação de fatores da rede que impactam na decisão do roteamento;
 - b) Definição de situações da rede em que a troca entre decisões de roteamento pode garantir requisitos da mensagem e melhorar o desempenho dos protocolos durante o processo de entrega de mensagem.
- Desenvolver um método para garantir requisitos da mensagem e melhorar o desempenho da rede pela troca autônoma entre protocolos de roteamento em cada salto dentro ou entre regiões, através de:
 - a) Planejamento de uma generalização que pode ser aplicada aos nós DTN para tornar possível a escolha do modo de roteamento mais favorável às condições de contexto avaliadas em cada salto em uma região;
 - b) Desenvolvimento de um protótipo na forma de um modelo de simulações e sua validação em comparação com o uso de apenas um protocolo durante todo o trajeto de uma mensagem.

1.3.1 Metodologia

A classificação desta pesquisa enquadra-se como de natureza original por apresentar conhecimento novo a partir de observações e teorias. Os levantamentos teóricos são desenvolvidos pelo uso de pesquisa descritiva com o objetivo de descobrir como os assuntos abordados ocorrem e se relacionam, para tornar possível a sua manipulação. A pesquisa bibliográfica é utilizada para conhecimento e evolução da arquitetura DTN e de seus principais protocolos de roteamento. A adaptação do serviço

de roteamento aos contextos de DTN é abordada mediante revisão bibliográfica e simulações.

De posse do conhecimento adquirido, uma metodologia exploratória é utilizada para quantificar, qualificar e investigar as informações levantadas. Os resultados dessa investigação guiam uma heurística para classificação de contextos baseada no comportamento dos protocolos padrões de roteamento em DTN. A definição heurística fornece conhecimento ao arcabouço proposto, através da definição de contexto momentâneo da rede e raciocínio otimizado para o serviço de roteamento. Na qualificação e validação desta pesquisa são empregadas avaliação analítica, simulação e medição.

1.3.2 Motivação

Uma das motivações desta tese de doutorado está nas avaliações alcançadas pelo estudo das inúmeras propostas existentes para roteamento em DTN: *(i)* cada proposta existente apresenta um algoritmo próprio e parâmetros de rede específicos para decidir o próximo salto; *(ii)* a grande maioria destas propostas é avaliada em cenários para os quais foram desenvolvidas e tem seu comportamento enaltecido pela garantia de métricas como taxa de entrega, menor atraso ou uso de recursos; *(iii)* percebe-se que estas propostas alteram consideravelmente seu desempenho caso os cenários oscilem; *(iv)* em uma DTN, embora as mensagens sejam encaminhadas autonomamente nó-a-nó, sem a existência de um caminho ativo entre a origem e o destino, o protocolo de roteamento é único por todo um caminho.

A falta de consenso sobre um protocolo capaz de superar as inúmeras oscilações de contexto e, principalmente atender requisitos de uma mensagem, torna-se outro fator motivador para esta pesquisa. Embora os protocolos *Epidemic*, *PRoPHET* e *Spray and Wait* sejam os mais referenciados e evoluídos em comparativos.

A característica de encaminhamento nó-a-nó, aliada a arquitetura DTN que permite diferentes protocolos entre entidades pares de comunicação, torna possível a troca do protocolo de roteamento durante a trajetória de uma mensagem. Portanto, a motivação desta tese se resume em desacoplar a trajetória de uma mensagem em DTN do uso de apenas um protocolo de roteamento.

1.3.3 Contribuições

Nos últimos anos, algumas propostas evidenciam a questão de fornecer um comportamento mais dinâmico e autônomo aos protocolos de roteamento para redes DTN. No entanto, estas ainda requerem convergência e autonomia na definição e adaptação para os contextos que se formam durante a trajetória de uma mensagem.

Assim, esta tese tem como contribuições:

- Uma avaliação dos principais protocolos de roteamento adaptáveis a contextos para DTN existentes na literatura, de modo a elencar as características e comportamentos de adaptação abordadas por cada proposta, bem como uma classificação das noções de contexto que envolvem cada uma (Capítulo 2);
- Um estudo do comportamento dos protocolos de roteamento parametrizáveis para DTN, com o objetivo de quantificar as situações de rede nas quais eles degradam ou melhoram seu desempenho (Capítulo 3);
- Uma abordagem heurística capaz de modelar e parametrizar um contexto favorável a um protocolo de roteamento em DTN, levando em consideração também os requisitos de uma mensagem (Capítulo 4);
- Estudos experimentais que validam o uso de protocolos de roteamento diferenciados a cada salto de uma mensagem, desacoplando completamente o protocolo do caminho fim-a-fim (Capítulo 5);
- Proposta de um método denominado CARPA que seleciona um o protocolo de roteamento em cada nó, de acordo com o contexto instantâneo de uma mensagem (Capítulo 4).

1.4 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Este trabalho está organizado em mais 6 capítulos. No capítulo 2 são apresentadas as características de uma rede DTN e seus desafios. Também são abordados em detalhes os protocolos de roteamento padrões e cientes de contexto para DTN. Um estudo sobre métricas de desempenho e roteamento, bem como, o impacto que provocam no desempenho de protocolos padrões para DTN é apresentado no capítulo 3. O capítulo 4 apresenta a proposta de um método para o serviço de roteamento ciente de contexto que atende aos objetivos expostos nessa proposta de tese, denominado CARPA. A avaliação do uso do método mediante diversos contextos de rede é descrita no capítulo 5. Por fim, o capítulo 6 dedica-se as conclusões deste trabalho e trabalhos futuros.

2 REDES TOLERANTES A ATRASOS

Redes Tolerantes a Atrasos são redes sem fio conectadas ocasionalmente e planejadas para prover comunicação em ambientes extremamente instáveis, sem a necessidade de estação base ou de uma rede com infraestrutura fixa (CERF et al., 2007; FALL, 2003). No entanto, os nós devem ter a capacidade de armazenar mensagens de forma persistente até que uma oportunidade de transmissão seja estabelecida. Segundo Cerf et al. (2007) e Spyropoulos, Turletti e Obraczka (2009) são considerados exemplos de DTN: redes interplanetárias, redes de sensores, redes sem fio terrestres em áreas remotas, redes de satélites, redes acústicas embaixo d'água, redes terrestres móveis, redes *ad hoc* militares, redes *ad hoc* veiculares, entre outras.

Estas redes representam cenários em que o atraso é bastante elevado, pode ser de várias horas, dias ou meses, como ilustrado na Figura 1. Este atraso compreende um período de tempo bem maior do que suportado por protocolos como o TCP. Além disso, são redes que sofrem com inúmeros fatores, como a mobilidade dos nós que produzem particionamentos frequentes (ZHANG et al., 2007), a quantidade de recursos nos nós, os obstáculos, a distância entre vizinhos, dentre outros. A existência de caminhos fim-a-fim completamente conectados entre duas entidades que desejam se comunicar são raros ou inexistentes, portanto uma DTN tem como objetivo prover a continuidade de comunicação mesmo nestes cenários, além de fornecer interoperabilidade entre diferentes tipos de redes de comunicação.

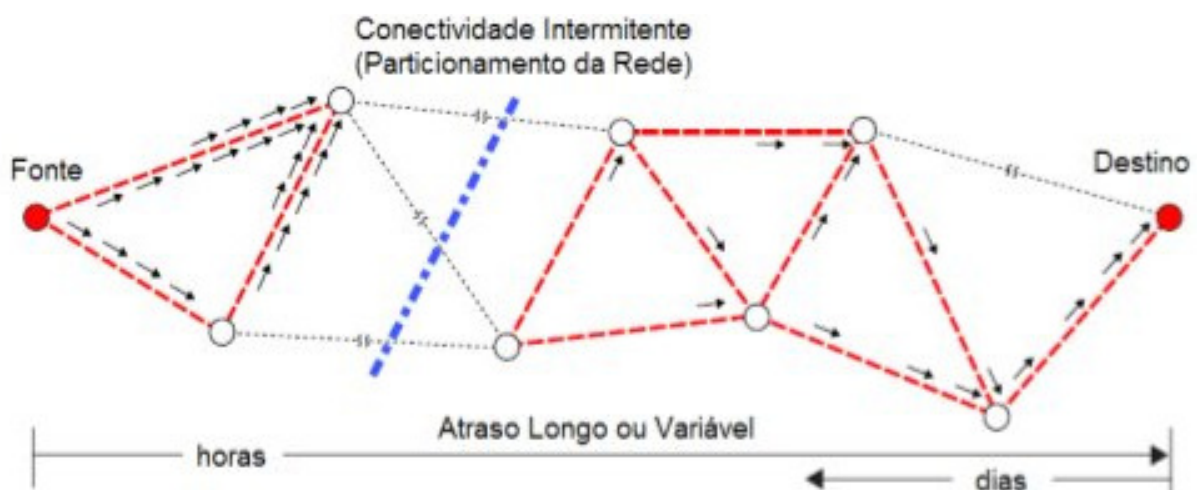


Figura 1 – Atrasos causados por desconexões.

Fonte: Adaptado de Warthman (2003)

A arquitetura para DTN é definida por Cerf et al. (2007) na RFC 4838 como um método de interconexão entre regiões heterogêneas, independente da tecnologia de rede que está sustentando a comunicação entre os nós. Devido aos problemas

característicos, o serviço de roteamento em DTN ainda é considerado um desafio e precisa ser executado em cada nó DTN. O fato de os protocolos tradicionais ou os executados em redes *ad hoc* não estarem preparados para lidar com cenários característicos de uma DTN, tem levado ao desenvolvimento de inúmeras propostas de roteamento. Cada qual adotando um algoritmo específico para contornar os desafios e selecionar o melhor próximo salto para uma mensagem.

Ainda não há um consenso ou padronização sobre a melhor solução para se trabalhar o problema de interrupções prolongadas e cenários estocásticos extremamente dinâmicos. Soluções precisam ser criadas, não necessariamente únicas e sim compartilhadas, configurando esse um dos maiores desafios desse tipo de rede e uma das motivações desta tese.

O grupo de pesquisa em DTN DTNRG (*DTN Research Group*) adotou o uso de comutação de mensagens e armazenamento persistente para contornar atrasos e desconexões. A solução se deu pela criação de uma camada adicional à arquitetura TCP/IP, chamada de camada de agregação (*bundle layer*) (FALL, 2003). Assim, para entender melhor o funcionamento de uma DTN, este capítulo descreve a especificação de sua arquitetura, conceitos básicos e funcionamento de seus principais protocolos de roteamento. As propostas de protocolos de roteamento cientes de contexto também são abordadas em detalhes no decorrer deste capítulo.

2.1 ARQUITETURA DTN

A arquitetura DTN é centrada na camada de agregação inserida entre a de aplicação e de transporte da arquitetura TCP/IP. A Figura 2 mostra o posicionamento desta camada que é responsável pela agregação e repasse dos dados, conforme definições da camada de rede. O serviço de agregação busca fornecer interoperabilidade com todos os tipos de rede, além do tratamento dos dados para serem entregues à aplicação.

Durante as transmissões intermitentes, o processo de repasse demanda que o nó possua capacidade de armazenamento da mensagem de maneira persistente, até que surja uma nova oportunidade de transferência. Assim, a camada de agregação foi definida baseada no paradigma *store-carry-and-forward*, com o uso da técnica de comutação de mensagens (nó-a-nó), armazenamento persistente e mensagens assíncronas (SCOTT; BURLEIGH, 2007).

A técnica de comutação de mensagens não estabelece nenhuma conexão com antecedência entre a origem e o destino, não existindo qualquer fase anterior ao envio de dados. Portanto, a mensagem precisa ser enviada, recebida, armazenada e encaminhada nó-a-nó. A camada de agregação transforma unidades de dados

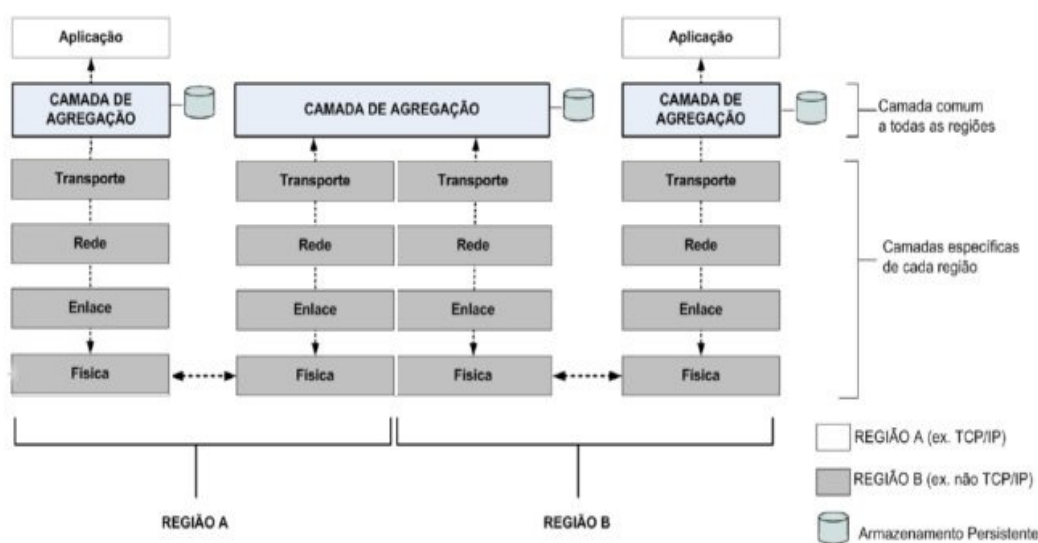


Figura 2 – Camadas de rede TCP/IP e DTN.

Fonte: Adaptado de (OLIVEIRA; DUARTE, 2007)

da aplicação (*Application Data Unit* - ADU) em uma ou mais unidades de dados de protocolo (*Protocol Data Unit* - PDU) denominadas agregados (*bundle*), que são armazenados e encaminhados pelos nós DTN (FALL, 2003; CERF et al., 2007).

O termo agregado foi escolhido em DTN para indicar que cada mensagem deve conter o maior número possível de informações para ser enviada em uma única viagem entre origem e destino (CERF et al., 2007). Por simplicidade, na presente tese, o termo mensagem e agregado são utilizados como sinônimos. Os agregados podem apresentar tamanhos variados e possuem um formato definido, contendo dois ou mais “*bloco*”¹ de dados, sendo necessário que o primeiro bloco e apenas ele seja um bloco primário. Para suportar extensões do protocolo de agregação, tipos de blocos adicionais do protocolo de agregação podem seguir o bloco primário, porém há a necessidade de que um deles, no mínimo, seja um bloco com carga útil (*payload*) (SCOTT; BURLEIGH, 2007).

Cada mensagem possui uma Classe de Serviço que define a classe de prioridade requerida pela aplicação. Três classes de prioridades são especificadas (CERF et al., 2007): baixa (*bulk*), normal (*normal*) e expressa (*expedited*). A classe baixa possui a menor prioridade, nenhum agregado desta classe é transportado até que todos os agregados das outras duas classes tenham sido transmitidos, esta prioridade é utilizada por aplicações de “melhor esforço”. Os agregados da classe normal são transportados antes dos agregados da classe baixa, e os agregados da classe expressa são transmitidos com prioridade sobre as outras duas classes.

¹ Em DTN, um bloco corresponde a um cabeçalho, pois as informações de controle nem sempre encontram-se no início de um agregado.

Múltiplas cópias de um mesmo agregado podem existir simultaneamente em diferentes partes da rede, tanto na memória local de um ou mais nós DTN quanto em trânsito entre os nós. Este processo depende da forma de disseminação de mensagens adotada pelos protocolos de roteamento da rede. Todas as informações são agregadas e enviadas uma única vez, evitando a sequência interativa de trocas de mensagens que são realizadas numa transferência convencional TCP/IP.

2.1.1 Nós e Transferências

Para a arquitetura DTN, um nó é uma entidade que implementa a camada de agregação e funcionalidades específicas pelas quais é classificado (FALL, 2003). Um nó é considerado DTN padrão (*host*) quando consegue enviar, receber e armazenar mensagens, ou seja, somente os nós que implementam o paradigma *store-carry-and-forward* podem ser denominados nós DTN. Além dessas funções, um nó DTN deve ter a capacidade de encaminhar mensagens dentro de uma região ou entre regiões, denominados roteador ou *gateway*.

Ao conjunto de nós utilizados para encaminhamento de agregados dá-se o nome de nós de ponto de extremidade (*endpoint*) (CERF et al., 2007). Eles se inserem em uma ou mais regiões com características e comportamentos diversificados, formando cenários específicos de rede. Cada nó pode prover conectividade e comunicação na forma de um agente ou carregador DTN, denominado "*mula de dados*" (*data mule*) (CERF et al., 2007).

Um nó carregador pode ser identificado como qualquer nó que participe de pelo menos duas regiões e tenha a capacidade de enviar, receber, armazenar e encaminhar mensagens. Este nó também aceita transferências de mensagens sob custódia (TC) (JAIN; FALL; PATRA, 2004), ou seja, um nó carregador é um *gateway* com capacidades adicionais. Ao aceitar este processo, o nó se responsabiliza por armazenar uma mensagem enviada por/para uma região diferente e só removê-la quando entregue para a região de destino ou tenha seu tempo de vida expirado (TTL - *Time To Live*). O nó que aceita a custódia de um agregado envia um reconhecimento positivo (*ACK*) para o nó emissor.

2.1.2 Contatos, Cenários e Regiões em DTN

As DTN apresentam frequentes alterações em sua topologia e parâmetros devido a formação de regiões a partir da sobreposição de outras redes, portanto manter a comunicação e os serviços são desafios constantes. Uma trajetória (jornada) neste tipo de rede é uma sequência de oportunidades de comunicação previstas ou não, definidas como contatos. Cada contato viabiliza as transmissões para encaminhar ou copiar mensagens, mesmo sem haver garantia de estabilidade de conectividade. Embora

possam ocorrer falhas durante a transmissão, a oportunidade deve ser aproveitada ao máximo.

A arquitetura DTN classifica que os contatos entre nós podem acontecer de modo persistente, sob demanda, programado, oportunista, ou previsível (CERF et al., 2007):

- **Persistente:** Tipo de contato que encontra-se sempre disponível, portanto não requer nenhum processo para ser ativado. Uma conexão Internet sempre disponível como a *Digital Subscriber Line* (DSL) é um exemplo deste tipo de contato.
- **Sob demanda:** Este contato necessita de uma solicitação para ser ativado, após se comporta como um contato persistente. Uma rede de sensores usa contato sob demanda quando requer o envio de uma mensagem específica para “acordar” um sensor.
- **Programado:** Uma espécie de acordo deve ser firmado entre a origem e o destino para que esse contato aconteça. Nele são definidos os termos do agendamento da conectividade, como horário e duração do contato. Este tipo de contato é bastante comum em redes interplanetárias.
- **Oportunista:** Um contato oportunista ocorre de forma totalmente aleatória, sem que tenha sido programado e a arquitetura deve estar preparada para sua ocorrência. Este tipo de contato se caracteriza por obter vantagem de qualquer oportunidade de transmissão ao longo do trajeto para que o encaminhamento da mensagem alcance o destino, por exemplo, através de um dispositivo móvel com *bluetooth*.
- **Previsível:** Cada nó DTN estima uma previsão de quando o contato deve acontecer e até qual será sua duração. Uma rede terrestre móvel quando a mensagem é carregada por veículos, como de transporte coletivo, é um exemplo deste tipo de contato. Mesmo que exista uma previsão de encontros, nada garante que ele realmente ocorra no período acordado, o que evidencia a necessidade dos nós em realizar armazenamento persistente.

Uma região ou sub-rede DTN pode ser formada de diversos nós ou, simplesmente, por apenas um nó. Estes nós podem ser um *host*, um roteador ou um *gateway*. Como comentado na seção anterior, um *host* pode enviar ou receber mensagens dentro de uma região, quando este aceita receber uma mensagem dentro de uma região ele é denominado roteador e, caso seja responsável por encaminhar mensagens entre duas ou mais regiões DTNs passa a ser chamado de *gateway* (WARTHMAN, 2003), como demonstrado na Figura 3.

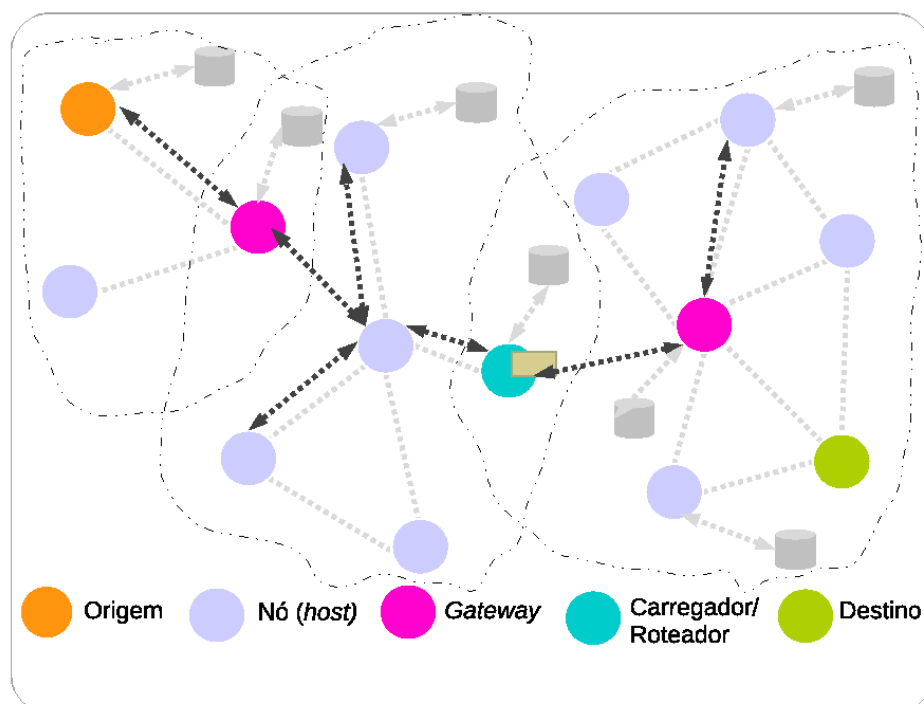


Figura 3 – Região em DTN.

Zhang (2006) classifica os cenários de uma DTN em determinístico ou estocástico, de acordo com o grau de informações disponíveis sobre suas topologias. Um cenário determinístico é caracterizado pela previsibilidade ou pré conhecimento das conexões e movimentações dos nós na região, podendo haver um prévio acordo de programação de novos contatos. O que não ocorre no cenário estocástico ou dinâmico, no qual o comportamento da rede é totalmente aleatório e desconhecido e os nós se comunicam em encontros não programados.

O comportamento aleatório torna os protocolos de roteamento convencionais da arquitetura TCP/IP ineficientes quando a rede apresenta grandes interrupções (JAIN; FALL; PATRA, 2004). Um ambiente estocástico pode ser encontrado facilmente em MANETs, devido à sua falta de infraestrutura e ao comportamento imprevisível de seus nós, como em cenários de desastres ou emergências.

Soluções que contemplem os problemas de uma arquitetura DTN podem ser trabalhadas, tanto na camada de rede como diretamente na de aplicação. A primeira opção torna-se mais convidativa, pois a definição de camadas proporciona que as aplicações se comuniquem sem saber dos problemas das outras camadas e que cada camada independa da tecnologia aplicada. Assim, o problema é solucionado antes de chegar à aplicação, evitando que esta encerre a comunicação por falta de respostas. A solução trabalhada na camada de aplicação demanda, até o momento, uma solução específica para cada tipo de aplicação, o que pode dificultar o uso de uma heurística.

A maioria das políticas de armazenamento e repasse da camada de agregação

são definidas pelo protocolo de roteamento. Eles não podem deixar a cargo da aplicação o trabalho de controlar os retardos e não recebimentos de mensagens. As decisões a respeito desses processos não são convencionais e ainda demandam pesquisas, tornando-se um problema, principalmente, para a camada de rede.

2.1.3 Oráculo de Conhecimento

Segundo [Jain, Fall e Patra \(2004\)](#), a habilidade em criar rotas otimizadas para uma DTN está diretamente relacionada com a quantidade de conhecimento global da rede disponível em determinado instante. A diversidade de características que envolve este cenário permite apenas conhecimentos parciais da rede, conseqüentemente, dificultam o cálculo de rotas mais otimizadas.

Para avaliar o *trade-off* entre desempenho e conhecimento, [Jain, Fall e Patra \(2004\)](#) criaram um conjunto abstrato para encapsular informações particulares da rede, chamado oráculo de conhecimento (*knowledge oracle*). A intenção era definir uma entidade capaz de responder a respeito de qualquer pergunta sobre o estado da rede, dependendo do conhecimento disponível.

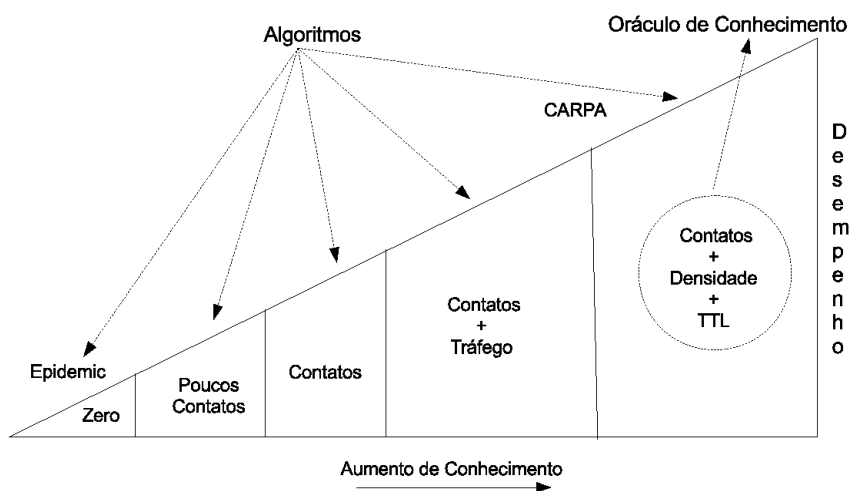


Figura 4 – *Trade-off* entre desempenho e conhecimento.

Fonte: Adaptada de [Jain, Fall e Patra \(2004\)](#)

O oráculo relaciona determinados algoritmos de roteamento e as informações conhecidas da rede com o nível de desempenho que este conhecimento pode proporcionar ao algoritmo, conforme demonstrado na Figura 4. Esta mostra o relacionamento entre o desempenho e o montante de conhecimento, de forma que, quanto maior o nível de conhecimento, melhor o desempenho alcançado pelos protocolos.

Os oráculos descritos pelos autores dizem respeito às informações sobre os parâmetros da rede: contato, enfileiramento e tráfego. Por exemplo, o oráculo de contato pode responder informações sobre qualquer questão que envolva o contato entre dois nós em qualquer período de tempo. A representação da proposta desta tese está

ilustrada na Figura 4 pela união do conhecimento de vários parâmetros ao método CARPA, o qual toma decisões baseado no conhecimento adquirido.

2.2 ROTEAMENTO EM DTN

O roteamento em DTN exige que um nó carregador armazene a mensagem enquanto aguarda a existência de uma oportunidade para trocá-la com um vizinho e, se possível, que continue enviando esta mensagem até que o destino a receba. Por exemplo, o movimento de um ônibus com conectividade ativa pode se tornar a oportunidade esperada para entrega das mensagens (PELUSI; PASSARELLA; CONTI, 2006). A ausência de conhecimento acerca da dinâmica da topologia da rede, assim como, a inexistência de um caminho fim-a-fim durante o encaminhamento de uma mensagem entre origem e destino, impedem a distinção entre os caminhos bons e ruins.

Em determinados cenários, as rotas precisam ser construídas mesmo que um enlace entre a origem e o destino nunca venha a existir. Inúmeros algoritmos de roteamento foram propostos nos últimos tempos, cada um com uma abordagem específica para otimizar a entrega de uma mensagem em cenários de DTN, conforme informações da rede estejam disponíveis (JAIN; FALL; PATRA, 2004; ZHANG, 2006; LIU; YANG; QIN, 2011; ABRAHAM; S, 2012).

Trabalhar uma decisão a respeito do próximo salto de uma mensagem para aumentar as chances de alcançar o destino é uma busca constante e uma das principais questões de um projeto de protocolo de roteamento para DTN. Independente do modo de disseminação usado por um algoritmo, a transmissão pode ser feita por replicação ou encaminhamento. A diferença entre elas está em manter uma cópia da mensagem disseminada no nó emissor, se usada a replicação, ou apagá-la, caso se opte pelo encaminhamento.

Zhang (2006) propõem o agrupamento das propostas de roteamento pela forma como guiam a disseminação de mensagens em seus algoritmos em sete grupos:

- Contato Direto: o nó de origem só transmite a mensagem para seu próximo contato se esse for diretamente o destino da mensagem (WANG et al., 2004).
- Primeiro Contato: O nó de origem envia a mensagem para o primeiro nó com a qual estabelecer contato. Por sua vez, este nó deve enviar a mensagem para a primeira região que estabelecer contato, e assim sucessivamente (JAIN; FALL; PATRA, 2004).
- Epidêmico: este tipo de disseminação se baseia em suposições mínimas sobre a topologia da rede para entregar a mensagem para destinos arbitrários. A filosofia

aplicada é de garantir maior rapidez e entrega da mensagem através de sua replicação ao maior número de nós em contato, porém não é um comportamento desejável para mensagens sigilosas (VAHDAT; BECKER et al., 2000) ou para nós com restrições de recursos. As mensagens trafegam pela rede por um tempo excessivo, onerando os recursos da rede.

- Baseado em Estimativa: mesmo que o momento do contato seja desconhecido, este tipo de protocolo calcula uma probabilidade de ocorrência do contato e a usa para decidir para quem e quando devem entregar a mensagem, visando alcançar o destino de forma mais otimizada (DAVIS; FAGG; LEVINE, 2001).
- Baseado em Modelo: os protocolos pertencentes a esse grupo geram um modelo de movimentação dos nós. A partir do modelo construído encaminham a mensagem pelo nó que tem a melhor probabilidade de se mover em direção ao destino (OLIVEIRA; DUARTE, 2007).
- Baseado no Controle de Movimento do Nó: nesse agrupamento, os protocolos buscam aumentar o desempenho da rede pelo conhecimento prévio do movimento de alguns nós. Para isto, eles utilizam nós móveis especiais, denominados balsas de mensagens (*Message Ferrying - MF*) (ZHAO; AMMAR; ZEGURA, 2004), para facilitar o repasse de mensagens em redes esparsas. Os MF ajustam sua trajetória conforme há solicitações de outros nós para transferência de mensagens.
- Baseado em Codificação: ao contrário de somente replicar as mensagens, esse grupo usa técnicas de codificação das mensagens para aumentar a probabilidade de entrega e não sobrecarregar demasiadamente a rede. A ideia principal é a junção de mensagens para envio em nós intermediários e a reconstrução no destino. As técnicas de codificação mais utilizadas são: técnica por apagamento (*erasure coding*) e codificação pela rede (*network coding*) (ZHANG, 2006).

As classificações epidêmicas e por estimativas alçaram destaques maiores que as demais e tornaram-se padrões ou tradicionais em comparativos para outras propostas (FALL, 2003; SPYROPOULOS et al., 2010; OLIVEIRA, 2008). Os maiores sucessos para abordagem epidêmica é sem dúvida os protocolos *Epidemic* e SPW, já para a abordagem de estimativa merece destaque o protocolo P_{Ro}PHET.

2.2.1 *Epidemic*

A classificação epidêmica tornou-se a principal proposta de disseminação para cenários estocásticos, principalmente pelo surgimento do protocolo de roteamento clássico para DTN denominado *Epidemic*, proposto por Vahdat, Becker et al. (2000).

Ele se baseia na grande mobilidade dos nós e adota a forma mais simples de comunicação em redes intermitentes, a replicação de toda e qualquer mensagem de um nó carregador para todos os nós em sua área de cobertura. O *Epidemic* representa um típico caso do padrão de replicação gulosa (*greedy*), similar a uma proliferação de doenças por epidemia. A Figura 5 ilustra este processo para uma mensagem originada no nó "a" e que deve ser entregue ao nó destino "d".

O *Epidemic* foi um dos primeiros protocolos de roteamento para redes intermitentes. O seu processo de encaminhamento consiste em que cada nó mantenha uma lista de todas as mensagens que carrega e que ainda não foram entregues ao destino. Quando um destes nós encontra outro nó, ambos trocam as mensagens que não tem em comum. Assim, todas as mensagens são espalhadas por todos os nós e todos se tornam nós carregadores (de maneira epidêmica). A lista de mensagens a ser replicada é disposta sob a forma de um vetor resumido² (*Summary Vector - SV*).

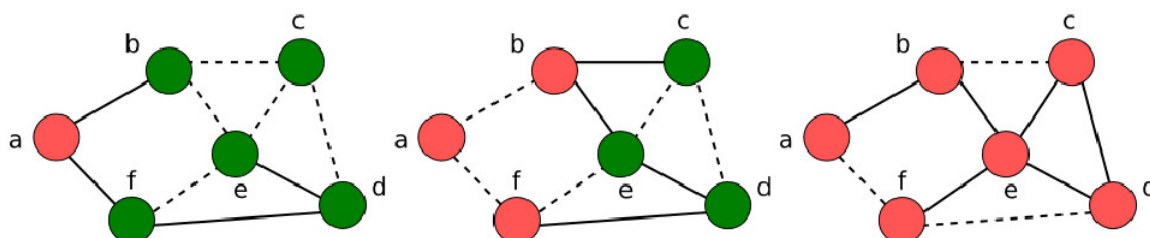


Figura 5 – Disseminação pelo *Epidemic* em três rodadas sucessivas.

Sob diversos cenários de redes DTN, o protocolo *Epidemic* tem conseguido maximizar as taxas de entrega de mensagens a destinos arbitrários sem nenhum conhecimento sobre a topologia da rede. Ele é um protocolo capaz de minimizar a latência na entrega, porém depende da capacidade de armazenamento dos nós e da duração do contato entre eles. A sua principal limitação é assumir que todos os nós possuem a mesma capacidade ou propriedades, além de consumir recursos de modo excessivo. Diversas propostas buscam aliar o desempenho na entrega de mensagens alcançado pelo *Epidemic* com a otimização dos recursos da rede durante o processo de replicação.

2.2.2 *Spray And Wait* - SPW

O protocolo SPW (SPYROPOULOS; PSOUNIS; RAGHAVENDRA, 2005) faz parte de uma família de protocolos, chamada família *Spray*, da qual também fazem parte os protocolos S&F (*Spray and Focus*) (SPYROPOULOS; PSOUNIS; RAGHAVENDRA, 2007) e BSW (*Binary Spray and Wait*) (XUE et al., 2009). Estes protocolos realizam o controle de replicações através da estimativa da quantidade de réplicas necessária para alcançar o destino de uma mensagem.

² Lista de atributos específicos de uma mensagem (VAHDAT; BECKER et al., 2000)

O protocolo SPW é composto por duas fases: pulverização ou *Spray* e espera ou *Wait*, como mostra a Figura 6. Na fase de pulverização o nó origem repassa n cópias da mensagem para todos os nós conectados exceto para ele mesmo, sendo n o número de nós que recebem a mensagem. Caso o nó destino não esteja nos n nós atingidos, o protocolo entra na fase de espera, na qual os nós que receberam a replicação da mensagem somente a repassam para o destino. Spyropoulos, Psounis e Raghavendra (2007) não definem qual o número de cópias (L) que deve ser inicialmente espalhada, apenas sugerem que este valor seja deduzido do tamanho do grafo da rede.

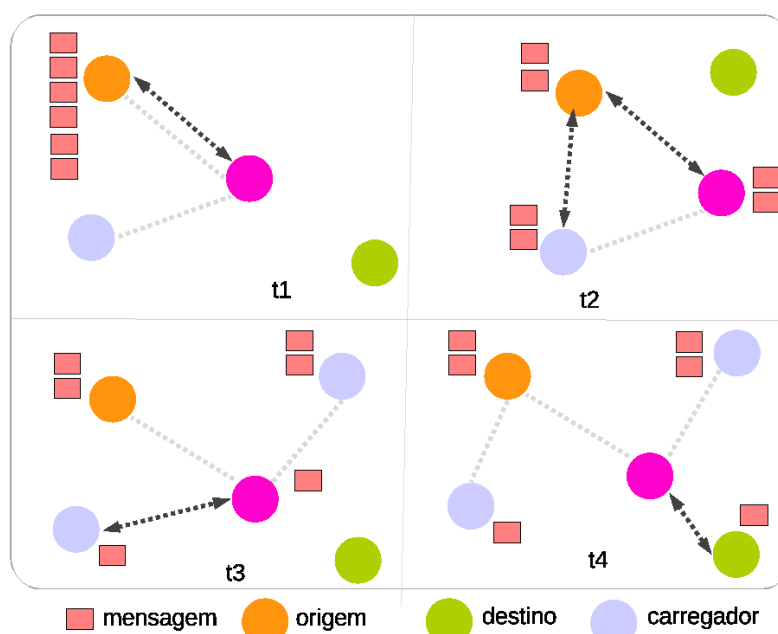


Figura 6 – Disseminação pelo SPW com $L=6$ - Fase *Spray* e *Wait*.

De forma semelhante ao SPW, o S&F usa um esquema de utilidade baseado em cópia simples, podendo entregá-la a qualquer nó independente de ser o destino. Este protocolo explora o grafo de conectividade esparsa e descobre um caminho mais curto para o destino através do registro dos últimos encontros. O S&F é executado em duas fases, a fase *Spray* e a fase *Focus* que repassa a última cópia da mensagem para o destino ou para o nó que esteja mais próximo deste destino, ou seja, que apresente o menor caminho.

O BSW corresponde a uma otimização do S&W, na qual o nó origem inicia a fase *Spray* com n cópias ($\lfloor \frac{n}{2} \rfloor$) e repassa a metade do que sobrar ($\lfloor \frac{n}{2} \rfloor$) aos próximos nós em contato. Assim, sucessivamente até ficar com $n = 1$ quando entra na fase *Wait*. Com esse procedimento, o BSW busca diminuir os períodos compreendidos pela fase *Wait*. O BSW é considerado o mais eficiente da família *Spray* em termos de rapidez na distribuição das mensagens (XUE et al., 2009). Os protocolos da família *Spray* sofrem com problemas de estagnação de repasses em determinados cenários.

2.2.3 Probabilistic Routing using History of Encounters and Transitivity - P_{Ro}PHET

O P_{Ro}PHET, como o *Epidemic*, é um dos protocolos mais conhecidos e usados para DTN, porém baseado em probabilidade (LINDGREN; DORIA; SCHELÉN, 2003). Ele considera que os nós não se movem de forma aleatória o tempo todo e apresentam movimentos com comportamentos que podem ser estimados. Assim, gera um algoritmo de roteamento probabilístico que utiliza uma métrica chamada previsibilidade de entrega (*dp - delivery predictability*), baseada na previsão de encontros do nó em contato com o nó destino da mensagem.

O processamento do algoritmo consiste em calcular a *dp* e trocar o *SV* toda vez que dois nós se encontram (LINDEGRAN et al., 2012). Posteriormente, cada nó atualiza seu *SV* com as informações do nó em contato e adiciona o novo valor para *dp*. O cálculo do *dp* envolve três passos como mostra a Equação 2.1. Ao definir e comparar as previsibilidades, o algoritmo adapta-se às melhores previsões.

$$\begin{aligned}
 P(x, y) &= P(x, y)_{old} + [1 - P(x, y)_{old}]P_{init}, \\
 P(x, y) &= P(x, y)_{old} \times \epsilon^l, \\
 P(x, p) &= P(x, p)_{old} + [1 - P(x, p)_{old}] \times P(x, y) \times P(y, p) \times \tau
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

Tal que, dado o encontro entre um par de nós (x, y) , $P(x, y)$ representa o comparativo de probabilidade do nó x em relação ao nó y para encontrar o nó destino d . Assim, se $P(x, d) < P(y, d)$ significa que o nó y apresenta maior probabilidade de encontrar o nó destino comparada a probabilidade do nó x , portanto a mensagem é repassada ao nó y . Por sua vez, $P_{init} \in [0, 1]$ é uma constante de inicialização, ϵ é uma constante de atenuação para o envelhecimento e l representa o tempo decorrido desde a última atualização, no último encontro. $\tau \in [0, 1]$ é usado para quantificar o impacto da transitividade na métrica *dp*.

As mensagens são repassadas conforme o caminho formado pelas maiores probabilidades. Deste modo, uma mensagem somente é repassada ao nó em contato, se este apresentar um valor para *dp* maior que o valor do nó atual. Este comportamento garante ao P_{Ro}PHET redução da sobrecarga na rede, especialmente quando comparado ao *Epidemic*. Entretanto, sua tabela de roteamento usa envelhecimento de rotas baseada em unidades de tempo que podem convergir a atrasos e usar rotas obsoletas. O P_{Ro}PHET é indicado para cenários com baixa mobilidade e ambientes mais esparsos, pois como seu cálculo de *dp* é um processo caro perde muitas oportunidades de contato.

2.3 PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO ADAPTATIVOS CIENTES DE CONTEXTOS

A mobilidade proporciona uma oportunidade de conectividade, ao mesmo tempo em que permite a um nó participar de diversas regiões e disseminar mensagens até seu destino. Porém, as peculiaridades existentes em cada região provocam oscilações de desempenho nos protocolos de roteamento. Processos para mensurar e contornar estas alterações favorecem a decisão de roteamento mais adequada a cada cenário.

Dessa forma, para obtenção de um melhor desempenho durante uma entrega é necessário que os requisitos de uma mensagem possam ser garantidos e as limitações de cada região contornadas. Estes requisitos estão diretamente relacionados com o tipo de aplicação que gera uma mensagem e são influenciados pelos parâmetros que ditam a limitação da rede durante um trajeto. Ao conjunto total dessas informações sobre a rede, denomina-se contexto.

Um contexto refere-se a um conjunto de parâmetros que representam estados e definições de um ambiente, o qual determina o comportamento de um serviço ou do próprio ambiente (CHEN; KOTZ et al., 2000). Como alguns desses parâmetros são mais relevantes que outros, o escopo de um contexto se reflete em propriedades relacionais delimitadas e separadas de um serviço. A detecção de um contexto em DTN não é uma tarefa convencional. Trata-se de um ambiente no qual qualquer informação ou fragmento dela pode ser utilizada para descrever uma situação e assim, influenciar diretamente o comportamento de uma aplicação ou protocolo. A identificação de um contexto requer regras específicas de detecção e análise das informações oriundas da mensagem e do estado da rede, afim de permitir a melhor tomada de decisão para otimizar o desempenho de um processo.

Um protocolo de roteamento para DTN é dito adaptável a contexto se dispor da habilidade para detectar e classificar parâmetros que influenciam o roteamento. Além de, guiar suas decisões conforme as características momentâneas da rede, visando a garantia de métricas pré estabelecidas (MUSOLESI M., 2009; ELWHISHI et al., 2012; OLIVEIRA; ALBUQUERQUE, 2012), como garantia de entrega e menor atraso.

Boldrini, Conti e Passarella (2009) categorizaram os protocolos de roteamento para DTNs pelo montante do conhecimento de contexto utilizado em suas tomadas de decisões. A classificação criada compreende protocolos: **completamente cientes de contexto** os quais geram mecanismos para extrair informações de contexto e as usam para otimizar o serviço de roteamento; **parcialmente cientes de contexto** que exploram algumas informações de contexto para encaminhar mensagens; e **sem conhecimentos de contexto** que usam apenas formas de disseminação por inundação.

Existem diversas propostas para soluções de roteamento ciente de contexto

para DTN. Uma análise destas é apresentada nas próximas seções, porém apenas os protocolos que se enquadram como parcialmente ou completamente cientes e adaptáveis a contexto são considerados.

O levantamento compreende a avaliação do estado da arte dos protocolos classificados, que tipo de abordagens de contexto eles aplicam, quais mecanismos são empregados para obtenção desses contextos, com que grau de autonomia seus parâmetros são adquiridos, e como são normalizados. Também buscou-se conhecer as métricas de rede ou desempenho que cada proposta visa garantir, além da forma como os processos são elaborados. Uma discussão é apresentada, posteriormente, através do comparativo das abordagens de cada protocolo, bem como, suas principais características são resumidas.

2.3.1 *Context-Aware Community-Oriented Routing*

O protocolo de roteamento para DTN, chamado *Context-Aware Community-Oriented Routing* (CONCOR) (JOHARI; GUPTA; ANEJA, 2015), explora o conhecimento do contexto e da comunidade dos nós para proporcionar entregas eficientes. O CONCOR é uma técnica de roteamento baseado na origem, sua noção de contexto envolve a identificação de um conjunto de parâmetros para obter um vetor de probabilidade (DPV) do nó encontrado em relação ao destino. O conjunto compreende a centralidade do nó em uma comunidade, o total de mensagens repassadas durante um período de tempo, quantidade de contatos, disponibilidade de armazenamento e nível de energia.

Primeiramente, os nós descobrem sua comunidade que compreende um ponto de interesse entre eles. Cada estação base na qual um ponto de interesse esteja localizado é considerada uma comunidade. Todos os parâmetros são utilizados para derivar uma função de utilidade de múltiplas variáveis. Esta é responsável por selecionar o próximo nó que deve possuir a maior probabilidade de encontrar o destino. A cada encontro os nós trocam o DPV (*Delivery Probability Vector*).

O CONCOR foi simulado no simulador para Ambientes de Redes Oportunísticas (*The Opportunistic Network Environment - The ONE*)³. O objetivo foi avaliar seu desempenho em relação aos protocolos *Dynamic Social Grouping* (DSG) (CABANISS et al., 2010) e *Context-Aware Routing* (CAR) (MUSOLESI M., 2009) quanto à taxa de entrega, atraso e sobrecarga. O CONCOR alcançou um desempenho superior a 50% dos demais protocolos simulados para taxa de entrega. As simulações demonstraram o impacto do parâmetro de disponibilidade de armazenamento para adaptação a contexto, bem como, a utilidade da probabilidade de entrega dentro do processo do CONCOR.

De forma contrária, o uso do parâmetro quantidade de contatos demonstrou

³ <http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/>

ser ineficiente para a proposta. A manutenção e troca de DPV entre os nós mostrou-se um processo dispendioso e válido desde que obedecidos limites mínimos para atualizações.

Nenhuma evolução sobre a participação dos nós nas comunidades foi realizada, assim como, nenhum algoritmo de detecção de comunidade foi utilizado. A atribuição de comunidade foi simplificada através da associação com a estação base de cada ponto de interesse.

2.3.2 *Multi-Attribute Routing Scheme*

O *Multi-Attribute Routing Scheme* (MARS) (YASMIN; RAIS; QAYYUM, 2014) é um protocolo de roteamento para ambientes oportunistas que controla a replicação de mensagens baseado em um método de representatividade de múltiplos parâmetros da rede. O MARS determina o próximo salto para uma mensagem baseado na combinação mais otimizada entre um conjunto de múltiplos parâmetros da rede, os quais são selecionados de forma independente.

Cada parâmetro é associado a um valor relativo de peso dentro da combinação e o nó com maior valor para o conjunto torna-se o próximo salto. Os valores são derivados do histórico de encontros entre os nós. Assim, o conjunto reflete a aptidão de um nó para ser o próximo salto e é composto por parâmetros como frequência e duração dos encontros, disponibilidade de armazenamento e tempo entre contatos.

O MARS ainda apresenta uma forma de controle de replicação semelhante ao adotado pelo SPW. O qual pode ser utilizado em conjunto com o método de múltiplos parâmetros ou isolado.

O MARS foi comparado aos protocolos *Epidemic*, PRoPHET e SPW através de simulações realizadas no The ONE. Para cenários compostos por diversos nós heterogêneos que usam diferentes modelos de mobilidade, o MARS superou os demais protocolos em termos de sobrecarga e atraso fim-a-fim. Porém, quando a rede registrou altas taxas de tráfego, o atraso do MARS foi bem maior que dos protocolos PRoPHET e SPW devido à execução do processo de seleção do próximo salto.

O método para atribuição de peso relativo aplicado aos parâmetros pelo MARS, pode ser considerado um tanto subjetivo. Os parâmetros são evoluídos a partir de registros históricos com opções de pesos classificados por análises sensíveis, conforme recomendado pela técnica SMART (*Simple Multi-Attribute Rating Technique*) (VALIRIS; CHYTAS; GLYKAS, 2005). Porém, quando múltiplas informações são consideradas simultaneamente, o maior desafio está em gerar processos combiná-los eficientemente.

2.3.3 *Density Adaptive Routing with Node Awareness*

A junção da arquitetura veicular a adaptação a contextos para DTN serviram de base para a proposta do *Density Adaptive routing With Node awareness* (DAWN) (FU et al., 2011). Esta proposta se refere a um algoritmo de roteamento que torna os nós cientes da densidade da rede e permite ajustes de comportamento durante as transmissões de acordo com a capacidade de vazão do canal local.

O DAWN é baseado em uma função de utilidade, denominada valor incremental de utilidade (UIV - *Utility Incremental Value*), para priorizar a replicação das mensagens antes que expirem. A UIV representa os valores de atrasos permitidos para as mensagens, atualizados a cada repasse desde sua origem. Antes de repassar as mensagens, cada nó de uma região (célula) executa o DAWN para verificar o valor de sua densidade local. Esta densidade é estimada através da média dos valores históricos de seus encontros por período de tempo.

Caso a densidade local apresente um valor de vazão suficiente para atender as necessidades das mensagens na fila do nó, essas serão repassadas da mesma forma que no protocolo *Epidemic*. O DAWN ajusta a replicação para priorizar as mensagens com maior valor de UIV, caso a vazão seja insuficiente para atender a fila de mensagens.

A taxa de entrega do DAWN foi comparada a dos protocolos *Epidemic*, SPW, PRoPHET e *Epidemic-based Controlled Flooding and Adaptive Multicast* (ECAM) (JIN et al., 2010) em cenários com alterações de densidade na rede. O DAWN apresentou melhores taxas de entrega quando a densidade da rede foi aumentada, devido à sua capacidade de replicação e de evitar congestionamento pelo processo de dimensionamento do tráfego no canal. No entanto, é um protocolo que adapta-se apenas ao parâmetro de densidade, novos métodos precisariam ser desenvolvidos para torná-lo adaptável a outro contexto de rede.

2.3.4 *Context-Aware Routing Protocol for Opportunistic Network*

Oliveira e Albuquerque (2012) propuseram um protocolo de roteamento para DTN denominado *Context-Aware Routing Protocol for Opportunistic Network* (CARTOON), o qual modifica seu comportamento e se adapta de modo instantâneo e automático, conforme informações de contexto são recebidas da camada de rede e/ou adaptação. Segundo os autores, a definição de um contexto envolve o estabelecimento de regras específicas para alcançar o melhor desempenho de métricas da rede, que permitam aos nós determinar ações adequadas baseadas em conhecimento prévio da rede.

As decisões do CARTOON são baseadas no uso de medidas de utilidade definidas a partir de três parâmetros da rede: densidade da rede, capacidade de

armazenamento em cada nó e periodicidade de contato entre pares de nós. A densidade e o percentual de ocupação do nó determinam a periodicidade e duração do modo de disseminação epidêmica. Enquanto que a duração de contato responde pela estimativa de possíveis ocorrências de contatos diretos entre nós indiretos⁴, sendo adotada como métrica de roteamento do protocolo.

O CARTOON se baseia na prerrogativa que a maioria dos protocolos da literatura são elaborados para um problema ou cenário específico e que os movimentos dos nós não são totalmente aleatórios. Assim, este protocolo foi desenvolvido sob dois módulos de processamento: a detecção de contexto (Problema de Detecção de Contexto - PDC) e o roteamento adaptativo (Problema do Roteamento Adaptativo -PRA). O processo de adaptação adotado se refere, basicamente, à alternância entre o modo de disseminação de mensagens epidêmico e probabilístico.

O contexto de um cenário no PDC é definido tendo por base um conjunto de parâmetros da rede, limitados às dimensões estabelecidas. Portanto, os nós devem capturar informações precisas provenientes de seus vizinhos diretos e as repassar ao PRA, que por sua vez analisa as informações produzidas pelas heurísticas do PDC e as adapta dinamicamente ao protocolo de roteamento.

O nó que implementa o CARTOON é inicializado com o modo de disseminação probabilístico. Este modo pode ser alterado para epidêmico de acordo com a mediana da estimativa do percentual de ocupação da capacidade de armazenamento de seus vizinhos diretos.

Toda vez que ocorre um contato entre um par de nós, o CARTOON entrega as mensagens que são destinadas ao nó em contato e encaminha mensagem de reconhecimento passivo para a origem (*Passive Ack*) (JUBIN; TORNOW, 1987). Durante o modo probabilístico, ocorre o cálculo da métrica de roteamento; a manutenção da tabela de roteamento; o envelhecimento de rotas; a atualização dinâmica de variáveis de controle que lidam com a adaptação ao contexto; aplicação da política de escalonamento de mensagens; e o envio de mensagens.

Em Oliveira (2008) o CARTOON foi comparado aos protocolos *Epidemic*, *PProPHET* e *Neighborhood Contact History Routing* (NECTAR) (OLIVEIRA; ALBUQUERQUE, 2009) e com uso do oráculo de pleno conhecimento (JAIN; FALL; PATRA, 2004), para mensurar a diferença de desempenho entre os protocolos. Todos os protocolos foram simulados no The ONE em cenários com alterações na capacidade de armazenamento e densidade.

As simulações revelaram a capacidade do CARTOON em alternar o seu modo de disseminação conforme alterações em um contexto. Dentre os protocolos simulados,

⁴ Nós que não se encontram dentro da área de alcance de determinado nó

ele obteve a menor taxa de sobrecarga, a menor quantidade de descartes, o menor atraso e uma aceitável taxa de entrega.

O CARTOON também exibiu um mínimo de oscilações de desempenho, mesmo com as mudanças de cenários. Ainda, como trata cada parâmetro da rede de forma isolada e os usa em cálculos medianos consegue contornar problemas de influências entre eles durante um processo de adaptação, os quais podem elevar um mesmo parâmetro para valores contraditórios.

A capacidade de adaptação do CARTOON é limitada a três parâmetros de rede e dois modos de disseminação. Além disso, para alcançar o desempenho registrado, este protocolo utilizou uma grande quantidade de recursos computacionais, principalmente, armazenamento e precisou elevar o tempo de contato entre os nós para executar seus processos na íntegra.

2.3.5 *Density-Aware Spray and Wait*

O controle do número máximo de réplicas de uma mensagem aplicado pelo protocolo SPW serviu de base para o algoritmo de roteamento *Density-Aware Spray and Wait* (DA-SW) (TOURNOUX et al., 2011). O DA-SW utiliza o conceito do fenômeno acordeom (*accordion phenomenon*) (TOURNOUX et al., 2011) que envolve três fases: agregação, expansão e estabilização, para adaptar o roteamento ao parâmetro de densidade da rede. O conceito do fenômeno envolve a instabilidade de caracteres decorrentes da alternância nas fases de mobilidade, ou seja, entre a fase de espera e a fase de movimento do nó. Para entender a dinâmica da conectividade da rede são utilizadas as métricas de número de nós conectados em relação à duração de uma janela de contato e média de atraso na transmissão entre pares de nós.

O roteamento produzido pelo DA-SW foi comparado a um oráculo de conhecimento criado pelos próprios autores, denominado *Oracle-based Spray-and-Wait* (O-SW) (TOURNOUX et al., 2009). Para a evolução do algoritmo foram consideradas as métricas de atraso na entrega de agregados e de sobrecarga gerada. Os resultados mostraram que o DA-SW consegue desempenhos similares aos de um oráculo de conhecimento. Segundo os autores, as métricas elencadas estariam diretamente relacionadas ao número de cópias das mensagens na rede, que por sua vez, pode ser reduzido conforme a densidade da rede.

Embora esta relação faça sentido, admitir que apenas o controle da densidade é suficiente para garantir baixos atrasos e entregas otimizadas, não é muito coerente. Diversas características heterogêneas presentes na maioria das redes DTN impactam fortemente em tomadas de decisões quando se visa garantir métricas otimizadas, dentre as quais, capacidade de armazenamento, tráfego e velocidade dos nós.

2.3.6 Adaptive Reinforcement-Based Routing for DTN

Elwhishi et al. (2010) propuseram o *Adaptive Reinforcement-Based Routing* (ARBR) para adaptar o serviço de roteamento às condições de uma DTN. O ARBR provém um mecanismo que se adapta à mobilidade dos nós; aos estados e congestionamentos da rede; e as questões de armazenamento nos nós. Assim, ele é um protocolo que busca tomar decisões de repasse de mensagens baseado nas estatísticas de contato entre os nós e no comportamento deles e da própria rede.

O ARBR utiliza o modelo CRL (*Collaborative Reinforcement Learning*) (DOWLING et al., 2005) como técnica para melhorar o desempenho e escalabilidade nos processos de roteamento. O CRL é utilizado para resolver problemas complexos de variáveis no tempo, nos quais o conhecimento global do comportamento do sistema não é conhecido. Ele identifica explicitamente os estados, ações, transições e funções de utilidade do sistema proposto. O uso do CRL dentro do ARBR é exclusivo para definir ações no encaminhamento de mensagens, sendo elas, centradas na política de roteamento e nas funções de utilidade que definem o comportamento da rede.

No ARBR, os nós trocam suas tabelas de roteamento quando em contato, o que permite construir e exercitar as estratégias de aprendizagem ou funções de utilidade. Assim, um nó repassa uma mensagem quando encontra outro nó, somente após avaliar o histórico da qualidade do enlace entre eles e o estado de armazenamento do nó encontrado para evitar transmissões incompletas.

O ARBR foi comparado com os protocolos *Epidemic*, *SPW* e *Self Adaptive Routing Protocol* (SARP) (ELWHISHI; HO, 2009). As simulações analisaram seu comportamento quando a rede apresenta baixo alcance de transmissão com variação na capacidade de armazenamento dos nós e altas cargas de tráfego. Outra forma de análise foi feita para altos níveis de conectividade com variação de carga de tráfego. Por último, ocorreu a medição de seu desempenho em termos de alterações nos níveis de conectividade.

Em todos os cenários, o ARBR apresentou a maior taxa de entrega entre os protocolos testados, com menor taxa de transmissão de mensagens e menor atraso, mesmo quando o cenário apresentou contenções nos enlaces ou problemas de armazenamento. O ARBR alcançou uma taxa de entrega até 88% superior aos demais protocolos. Embora tenha apresentado um ótimo desempenho em relação aos principais protocolos de roteamento parametrizáveis para DTN, o ARBR considera apenas os atributos que envolvem condições de conectividade dos enlaces e de armazenamento nos cálculos de utilidade.

Como executa processos complexos quando um par de nós se encontra, com uso de informações históricas, a exigência de recursos para processamento deveria

ter sido avaliada. Assim como, o tamanho da janela de contato necessário para que as mensagens possam ser transmitidas por completo. O ARBR não descreve a forma como classifica as heurísticas de contexto, o que não permite sua avaliação.

2.3.7 *Probabilistic Routing using History of Encounters and Transitivity+*

Huang, Lee e Chen (2010) propuseram usar uma maior capacidade de adaptação para o protocolo de roteamento PProPHET através de um esquema que calcula o valor da capacidade de entrega (*deliverability*) de um nó em relação a um destino e utiliza esse valor para definir o melhor caminho para uma mensagem. Este esquema, denominado PProPHET+, acontece quando ocorre o encontro entre um nó carregador e um candidato a receber a mensagem.

O repasse é efetivado somente se o candidato tiver um valor de capacidade de entrega maior do que o valor encontrado no carregador e energia suficiente para realizar o encaminhamento da mensagem. A capacidade de entrega é resultado de uma função ponderada de parâmetros como: capacidade de armazenamento, quantidade de energia, largura de banda e popularidade do nó. O PProPHET+ é adaptável a estes parâmetros e exige que cada nó consiga determinar seu consumo para receber e transmitir um pacote. Portanto, avalia-se este protocolo como uma solução dispendiosa por requerer o uso de dispositivos com recursos especiais.

O simulador DTNSIM (EKMAN et al., 2008) foi utilizado para as simulações. No cálculo da probabilidade, a localização do nó destino em relação ao nó candidato foi desconsiderada durante as simulações. Além também, dos problemas causados pela alteração no número de saltos em um caminho e pela velocidade dos nós. Os autores concluíram que o parâmetro de popularidade não é útil para a adaptação, pois apresentou-se como o menor fator responsável pela perda de mensagens, além do que, seu processo de descoberta impacta nas taxas de atraso.

Um comportamento homogêneo foi assumido para todos os nós durante as simulações, ou seja, não foram consideradas alterações na capacidade de armazenamento, consumo de energia e energia restante dos nós. O uso de cenários ideais nas simulações impossibilitaram a observação da adaptação proposta, além de não caracterizarem uma rede real. Parâmetros de contexto da aplicação e do usuário não foram tratados durante as simulações.

2.3.8 *Oportunistic Routing with Window-Aware Replication*

Para obter melhores decisões de encaminhamento para uma mensagem, (SANDULESCU; NADJM-TEHRANI, 2008) propuseram o protocolo *Oportunistic Routing with Window-Aware Replication* (ORWAR). Ele se baseia no contexto de mobilidade dos

nós para estimar o tamanho das janelas de contato e garantir a transmissão completa das mensagens.

No ORWAR, uma mensagem é selecionada por seus parâmetros de taxa de transmissão de *bits* (SANDULESCU; NADJM-TEHRANI, 2008) e pela duração da janela de contato entre os nós. Portanto, ele é um protocolo que diferencia as mensagens pelo que define como valor de “*utilidade por bit*”(utilidade/bit). Este valor estima a maior mensagem (agregado) que pode ser transmitida durante uma janela de contato, visando otimizar o uso da largura de banda e redução do consumo de energia. A transmissão completa de uma mensagem evita retransmissões e gastos desnecessários de energia, caso a janela de contato não possa ser mantida até o final da transmissão.

Simulações foram realizadas nas quais o ORWAR foi comparado aos protocolos *MaxProp* (BURGESS et al., 2006), SPW, *Epidemic*, PProPHET e entrega direta. As avaliações foram feitas em relação a sobrecarga, taxa de entrega e latência. O ORWAR demonstrou ser um protocolo propício para lidar com mensagens grandes, além de produzir menor sobrecarga que os demais protocolos. A cada encontro entre os nós, ele toma decisões sobre replicação ou transmissão de mensagens.

Embora consiga evitar desperdícios de transmissões que não poderão ser finalizadas, este protocolo negligência algumas oportunidades de contatos para transmissão, devido a duração dos contatos e fixação do número máximo de replicações.

Para garantir a transmissão completa das mensagens torna-se necessária a precisão no cálculo do tamanho da janela de contato, estimado pelo conhecimento de parâmetros como localização, velocidade e direção de movimento. A forma como o protocolo foi construído, leva-o a ser considerado adaptável apenas ao contexto de mobilidade da rede devido a centrar suas decisões no tamanho da janela de contato.

2.3.9 *Feedback Adaptive Routing Algorithm for DTN*

Ling e Wei (2009) consideram a capacidade de armazenamento dos nós a maior limitação de cenários DTN. Portanto, propuseram o *Feedback Adaptive Routing Algorithm* (FARA) que gerencia a capacidade de armazenamento e a largura de banda durante o processo de roteamento para garantir melhores taxas de entrega.

Os nós decidem como salvar e rotear uma mensagem baseados na reputação do nó encontrado em efetuar entregas ao destino. O nó com maior percentual de mensagens entregues é considerado um nó com alto desempenho, isto é, o *feedback* de entregas processadas influencia novas rotas e encaminhamentos. Desta forma, o FARA faz uso de nós centrais durante seu processo de encaminhamento e armazenamento de mensagens, o que pode causar gargalos.

A avaliação de desempenho do FARA foi realizada em comparação com os

algoritmos *Epidemic* e Contato Direto (*First Contact*) (JAIN; FALL; PATRA, 2004). Segundo Ling e Wei (2009), os resultados mostraram um desempenho aceitável do FARA quanto à taxa de mensagens entregues e economia de recursos de armazenamento nos nós.

No entanto, seu processo de gerenciamento de armazenamento apresenta fraquezas por considerar apenas o número de mensagens armazenadas em um nó e não seus tamanhos, o que não expressa a verdadeira ocupação nos nós. Outra deficiência percebida refere-se a desconsiderar parâmetros como densidade da rede, frequência de contatos, destinos alcançados, mobilidade dos nós, dentre outros.

Além do problema enfrentado quanto a sobrecarga de processamento nos nós, a qual é aumentada devido as trocas das tabelas de roteamento e seu processamento ao final de cada transmissão. Dadas as características levantadas do FARA, considera-se ele como um protocolo adaptável apenas ao parâmetro de reputação dos nós quanto ao histórico de entrega de mensagens.

2.3.10 *Self-Adaptive Routing Protocol*

Elwhishi e Ho (2009) propuseram o protocolo *Self-Adaptive Routing Protocol* (SARP), que tem por objetivo adaptar-se ao comportamento da rede para determinar o melhor nó para transportar uma mensagem, de acordo com a avaliação do histórico de encontros entre os nós. O SARP define funções de utilidade a partir do movimento dos nós e da previsão de suas localizações no futuro. Dessa forma, cada nó possui uma função de utilidade assumida como o peso de adequação do nó para entregar a mensagem a um destino.

A frequência com que esses encontros acontecem é registrada ou atualizada nas chamadas tabelas entre encontros. Os valores em cada tabela auxiliam na tomada de decisão quanto ao repasse da mensagem a cada novo contato. Para o SARP, o contato entre dois nós ocorre quando a duração consecutiva do contato é, no mínimo, igual ao tempo necessário para transmitir uma mensagem entre eles.

Durante os contatos, o controle de cópias do SARP é semelhante ao do protocolo P_{Ro}PHET, ou seja, quando dois nós se encontram caso um deles possua mensagens que o outro não tem, ele as replica ao nó encontrado se esse tiver probabilidades melhores que as suas de encontrar o destino da mensagem. O nó repassador, por sua vez, mantém cópias suficientes para si definidas por um cálculo que considera essas probabilidades.

Este comportamento evita congestionamentos ao mesmo tempo em que garante um número considerável de cópias espalhadas pela rede, distribuídas somente nos nós que apresentam melhores informações sobre o destino.

Em [Elwhishi e Ho \(2009\)](#) o desempenho do SARP é comparado ao dos protocolos *Epidemic*, SPW e S&F ([SPYROPOULOS; PSOUNIS; RAGHAVENDRA, 2007](#)). A primeira análise baseou-se no número de cópias de uma mensagem e em comparações com o SPW e o S&F. Os resultados mostraram que o SARP entregou as mensagens com menor atraso e com menor número de cópias.

Outra análise realizada variou o tráfego e a largura de banda. Em relação aos demais protocolos, o SARP alcançou melhores resultados nas entregas das mensagens independente das cargas de tráfego. Ele também se comportou de forma favorável quando a largura de banda foi limitada, pois fez contenção de transmissões como SPW e S&F. Quanto a capacidade de armazenamento, o SARP mostrou-se menos sensível que os demais protocolos, conseguindo manter suas taxas de entrega e atraso.

Para verificar o efeito da conectividade foram analisadas as redes de esparsas para as altamente conectadas através da variação do raio de transmissão dos nós. A conectividade produziu pouquíssimo atraso na entrega do SARP, devido a forma de contenção de mensagens que ele utiliza. De todos os protocolos usados nas simulações, somente o SARP não foi afetado pelos cenários esparsos. O que causa estranheza pelo comportamento genérico a todos os protocolos, pois as mensagens em cenários esparsos levam mais tempo para atravessar a rede e chegar ao destino.

Com base nas simulações realizadas, pode-se perceber que os parâmetros de disponibilidade de banda e a capacidade de armazenamento nos nós tem forte impacto no desempenho dos protocolos. O SARP poderia ser classificado como adaptável por ter mantido um desempenho favorável durante alterações de contextos realizados nas simulações. Contudo, observando-se o comportamento dos demais protocolos simulados e comparados constata-se que, exceto o *Epidemic*, todos apresentaram oscilações semelhantes ao SARP, embora não sejam considerados adaptáveis ao contexto.

2.3.11 *Self Adaptive Contention Aware Routing Protocol for Intermittently Connected Mobile Networks*

[Elwhishi et al. \(2012\)](#) propuseram o SAURP, decorrente de estudos mais avançados a partir do protocolo SARP ([ELWHISHI; HO, 2009](#)). O SAURP pode ser descrito como adaptável por sua habilidade em identificar oportunidades para encaminhar mensagens a seus destinos. A identificação envolve cálculos de funções de utilidade baseados no comportamento da rede. Este comportamento é expresso como parâmetros resultantes de medidas da rede realizadas durante contatos, incluindo a duração de contato dos nós, condições do canal, e disponibilidade de armazenamento. A adaptação visa melhorar o desempenho da rede em termos de taxa de entrega e atrasos, além do número de transmissões necessárias.

A decisão de encaminhamento das mensagens é baseada integralmente nos valores da função de utilidade em relação ao destino e ao número de cópias da mensagem nos nós. O SAURP utiliza cálculos de transitividade como parte da utilidade, atualizados a cada encontro entre pares de nós.

A análise da proposta do SAURP foi realizada a partir de um modelo analítico estático. Dois cenários foram utilizados, um com registros de congestionamentos e outro com restrições de recursos. O comportamento do protocolo no cenário com congestionamento foi armazenar as mensagens nos nós pelo maior tempo possível, ocasionando atrasos e perdas de mensagens. Caso contrário, o encaminhamento foi guiado pelo tempo entre contatos.

Em [Elwhishi et al. \(2012\)](#), um outro comparativo é realizado envolvendo o SARP e SAURP. Os resultados demonstram que ambos obtêm desempenhos muito semelhantes. Salvo em simulações com alto tráfego em que o SARP supera o SAURP na taxa de entrega, o contrário é observado para a métrica de aumento da largura de banda. Portanto, pode-se avaliar que o protocolo SAURP trabalha de forma adaptável aos atributos propostos e aplica-se, principalmente, a cenários sem restrições ou congestionamentos, tidos como ideais. Em cenários com restrições de recursos como largura de banda e armazenamento, o SAURP sofre com problemas de contenção no canal, pois necessita enviar quantidades maiores de mensagens para alcançar o destino em menos tempo.

2.3.12 *Efficient Adaptive Routing in Delay Tolerant Networks*

O uso combinado de protocolos de roteamento guiados pela mobilidade e múltiplos saltos, flexibilizam a entrega de mensagens por componentes de rede desconectados. [Liu e Wu \(2009\)](#) baseados na mobilidade e em melhorar o desempenho do serviço de roteamento, propuseram o protocolo *Efficient Adaptive Routing* (EAR) para redes com recursos críticos e limitados.

No EAR são especificadas heurísticas para alocar dinamicamente a utilidade da largura de banda e obter melhores taxas de entrega. Seu padrão de adaptação é guiado por estatísticas em tempo real quando há desconhecimento de parâmetros de rede, como densidade e mobilidade. Ele também possui um componente de roteamento para mobilidade assistida e outro para múltiplos saltos, proporcionando melhor alocação de largura de banda entre esses dois componentes. Uma adaptação do protocolo SPW foi utilizado como componente de mobilidade e o protocolo *Destination-Sequenced Distance-Vector* (DSDV) ([PERKINS; BHAGWAT, 1994](#)) como componente de múltiplos saltos.

A adaptação ao protocolo SPW diz respeito a não fixação do número máximo de nós para repasses. O DSDV é um protocolo de roteamento pró-ativo para redes

MANETs que garante rotas livres de ciclos. Ele fornece um único caminho para um destino, que é selecionado usando o algoritmo de roteamento vetor de distância (*Distributed Bellman-Ford*) (CHENG et al., 1989). Este é um dos primeiros protocolos desenvolvidos para redes *ad hoc*.

O EAR trabalha com as definições que cada nó pertence a uma *cloud* lógica e só repassa mensagens dentro dela. Portanto, a largura de banda é alocada de forma adaptativa através da limitação do tamanho da *cloud*. A rede é considerada homogênea com nós se movendo aleatoriamente. O EAR aplica uma heurística para definir o tamanho lógico médio para uma *cloud*, visando obter o melhor desempenho de utilidade da largura de banda dentro dessa definição lógica.

A largura da banda total é dividida em três partes que se relacionam: (1) largura de banda alocada para espalhar cópias das mensagens pela rede, (2) largura alocada para repasses a múltiplos saltos e (3) largura alocada para manutenção de rota pró-ativa. Cada nó seleciona vizinhos dentro da *cloud* para repassar mensagens. Os repasses, primeiramente, são realizados dentro da *cloud* e após, espalhados para destinos externos a ela.

As simulações serviram para analisar o desempenho do algoritmo sobre diferentes parâmetros da rede, sempre visando otimização da largura de banda através da limitação do tamanho da *cloud*. Elas demonstraram que existe uma forte relação entre densidade e uso da largura de banda, devido aos procedimentos que envolvem disseminação (*broadcast*). Conforme os repasses para múltiplos saltos aumentam, ocorre o consumo de toda a largura de banda.

O EAR foi comparado a uma variação dele mesmo, porém sem limite de tamanho para a *cloud*, chamado adaptativo, e ao protocolo SPW que consideraram como possuidor de um *cloud* lógico limitado em um salto. Nos comparativos o EAR foi mais eficiente na métrica de taxa de entrega, mostrando que há uma relação muito próxima entre a utilidade da largura de banda e a taxa de entrega. Também mostrou-se bastante sensível a capacidade de armazenamento nos nós.

A proposta deixa claro que o EAR controla o fluxo de mensagens conforme exista largura de banda, não detalhando seu processo e características como protocolo de roteamento. O EAR é um protocolo adaptativo no sentido que adéqua a largura de banda às restrições da rede, porém sua aplicabilidade é limitada ao escopo de um cenário e dos protocolos envolvidos.

2.3.13 *Social-based Forwarding in DTN*

O desafio de trabalhar com comunidades originou o protocolo de roteamento para rede DTN chamado BUBLE Rap (HUI; CROWCROFT; YONEKI, 2008). Ele é

definido como um protocolo de roteamento híbrido que seleciona nós centrais e membros da comunidade de destino para repassar mensagens. Seu algoritmo combina conhecimento da estrutura de uma comunidade de rede (LUSSEAU; NEWMAN, 2004) com o conhecimento de um nó central e assim, decide qual heurística é mais efetiva para alcançar a comunidade de destino.

O algoritmo trabalha com duas intuições para repasse, a primeira transmite as mensagens para nós que são mais populares que o nó atual. A segunda considera que as pessoas formam comunidades em sua vida social e estas comunidades, definidas como BUBBLE, podem ser identificadas pela camada de rede para encaminhamento de mensagens.

Um nó que detém uma mensagem passa pelas comunidades de forma hierárquica e disseminada. Quando esse nó encontra um outro que pertença à mesma comunidade do nó de destino, a mensagem é repassada. Então, o nó que recebe a mensagem trata de encaminhá-la imediatamente ao nó que possui a maior popularidade em sua comunidade, buscando aumentar as chances de alcançar o destino antes que a mensagem expire.

O BUBBLE Rap usa padrão de intermediação centralizada para encontrar um nó que leve a mensagem até seu destino. Isso pode representar problemas de desempenho e atraso para o protocolo. Caso a entrega direta ou a poucos saltos seja negligenciada, esses problemas podem ser agravados.

Segundo os autores, a manutenção de uma tabela de roteamento é desnecessária, pois ela não causa melhoras significativas. Pequenos *labels* são utilizados para os repasses, partindo do princípio que pessoas da mesma comunidade se encontram com maior frequência e se entendem.

Na avaliação de desempenho do BUBBLE Rap foi utilizado o emulador Huggle-Sim⁵, o algoritmo K-CLIQUE (PALLA et al., 2005) como detector de centralidade de comunidade e o protocolo PRoPHET (LINDGREN; DORIA; SCHELÉN, 2003) como algoritmo comparativo nas métricas de tráfego produzido, taxa e custo nas entregas. Uma das principais contribuições da proposta deste protocolo foi mostrar que é possível detectar grupos sociais para utilização em decisões de roteamento.

Os resultados também mostraram que o uso de informações sobre a previsão da mobilidade e de encontros passados, favorecem entregas otimizadas. A mesma avaliação é feita quanto a duração e frequência de conexão, muito útil para definir uma comunidade. Porém, não foram avaliados atributos de contextos sociais oriundos de uma estrutura de comunidade, nem abordados processos de aquisição desses atributos, nem tão pouco o nível de sensibilidade que a proposta teria em relação a

⁵ <http://www.huggleproject.org>

eles.

2.3.14 *Context-Aware Routing*

Para [Musolesi M. \(2009\)](#) contexto é entendido como um conjunto de aspectos do sistema que pode ser usado para guiar o processo de entrega de mensagens em uma rede. Da busca por um protocolo de roteamento para rede DTN ciente de contexto surgiu o *framework Context-Aware Routing (CAR)*, com o objetivo de otimizar a entrega de uma mensagem ao destino.

O CAR tem como atividade principal decidir para qual nó repassar uma mensagem. Sua tomada de decisão é baseada nas predições futuras de dois atributos identificados dimensão de contextos e posicionamento futuro do nó. Este protocolo não assume nenhum conhecimento prévio de rotas e considera que todos os nós cooperam para entregar mensagens. Nele nenhum nó é ciente da localização geográfica de qualquer outro nó, nem dele próprio. Sua forma de replicação é proporcional a frequência e ao tempo do último encontro com um nó, sendo que apenas uma cópia de cada mensagem circula pela rede.

A predição dos parâmetros de contexto é derivada do uso de filtros de Kalmann ([KALMAN, 1960](#)), definidos como um vetor de estados. No vetor são representadas as estimativas futuras dos parâmetros, resultantes de observações periódicas no sistema. A precisão dessas informações, associadas às tendências futuras de cada dimensão de contexto, é dada pelo valor de um parâmetro e sua disponibilidade em um contexto. Para este cálculo, o CAR faz uso de uma função de utilidade que atribui pesos aos parâmetros conforme são identificados em um contexto.

O protocolo CAR pode entregar uma mensagem sem armazenamento de mensagens, quando o destino e o nó carregador encontram-se na mesma porção da rede. Neste caso, qualquer protocolo de MANET poderá ser usado, como o DSR e DSDV que foram usados nas simulações.

Caso contrário, se os nós estiverem em porções diferentes da rede a mensagem é repassada ao nó que possuir as maiores probabilidades de entrega. Essa probabilidade de entrega é assumida pelo protocolo como informações do contexto local. Ele necessita calcular a precisão das informações dos contextos atuais, associada às tendências de cada dimensão do contexto.

Para a ocorrência de variações no contexto, os valores dos parâmetros também devem ser alterados. O CAR utiliza uma forma de adaptação autonômica dos parâmetros de cada contexto através de pesos que alteram a função de utilidade, conforme o contexto se altera.

A predição e a evolução do contexto é composta pelos seguintes processos:

- Cada nó calcula sua previsibilidade de entrega, dado um conjunto de nós. Este processo é baseado no cálculo de utilidade de cada atributo que descreve o contexto.
- Cada nó mantém uma tabela lógica de encaminhamento, que descreve uma tupla com o próximo nó lógico e sua probabilidade de entrega. Isso descrito para cada nó conhecido.
- Cada nó usa probabilidades locais de entrega entre as atualizações de informações de previsibilidade, que podem ser utilizadas em casos de desconexões temporárias.

A composição da utilidade no CAR relaciona diferentes contextos com diferentes dimensões desses contextos. Os protocolos usados para comparação de desempenho do CAR foram o *Epidemic*, *Random Choice*⁶, PRoPHET, e SPW. O CAR foi implementado na plataforma Huggle e no simulador OMNet++.

Os resultados foram avaliados sob as métricas de atraso na entrega, número de mensagens, taxa de entrega e nível de previsibilidade. A análise foi desenvolvida para investigar alguns aspectos considerados críticos pelos autores: (a) distribuição do atraso, (b) influência da disponibilidade de armazenamento, (c) influência dos pesos nas funções de utilidade, (d) intervalos de transmissão da tabela de roteamento, (e) influência do número máximo de nós, (f) nível de previsibilidade em relação ao desempenho do protocolo.

O CAR superou os demais protocolos quando a entrega ocorreu em uma mesma porção da rede, ou seja, com uso de protocolos de roteamento para MANET. Para a entrega ele conseguiu taxas melhores que o *Epidemic*, em torno de 30% superior, porém apenas quando houveram restrições na capacidade de armazenamento. Alcançou também o menor número de replicações entre os protocolos comparados.

Uma característica importante percebida diz respeito a influência do nível de conectividade como uma utilidade. A conectividade e seu peso foram responsáveis por determinar o carregador de uma mensagem, favorecendo o bom comportamento de uma rota. Da mesma forma, a predição de localização futura e seu peso mostraram-se extremamente importantes.

A quantidade de nós influencia o CAR quanto a limitação de oportunidades para transferências, como seria esperado para qualquer protocolo. O aumento na velocidade dos nós resulta na não detecção de nós, porém esse comportamento dinâmico é característico de DTNs. Assim, este comportamento é avaliado como uma limitação da proposta.

⁶ Corresponde a uma versão do CAR, onde o melhor candidato a receber uma mensagem é selecionado por escolha aleatória, e não probabilidade de entrega.

De maneira geral, as simulações demonstraram que o CAR é capaz de garantir um bom desempenho quando se considera a métrica de sobrecarga. Além de trabalhar bem com redes esparsas e com baixa capacidade de armazenamento, mesmo quando comparado a outros protocolos de simples e múltiplas cópias.

O CAR é uma proposta que combina quaisquer informações de contexto, porém não as gera ou gerencia. Nas suas definições faz-se necessário o entendimento do protocolo de roteamento, permanecendo centrado apenas em probabilidade de parâmetros da rede. Ele requer a determinação, *a priori*, de valores estáticos e adequados às características de cada cenário. No entanto, vê-se como seu mais grave problema trabalhar com apenas uma cópia da mensagem na rede, negligenciando disponibilidades de recursos e contatos oportunistas.

2.3.15 *History Based Opportunistic Routing*

Boldrini et al. (2007) consideram um contexto como uma coleção de informações que descreve a comunidade na qual o usuário vive e seu histórico de relacionamentos sociais. Com base nestes relacionamentos, os autores propuseram o *History Based Routing Protocol for Opportunistic Networks* (HiBOp). Um *framework* para gerenciamento e tomada de decisões sobre encaminhamentos de mensagens.

No HiBOp, o compartilhamento do conjunto de informações entre os nós de uma porção da rede possibilita o aprendizado do contexto no qual os nós estão inseridos. Este *framework* também proporciona que uma mensagem possa ser encaminhada mesmo que o destinatário não seja conhecido devido a forma de endereçamento que utiliza, a qual favorece o roteamento. Ele não foca em um conjunto específico de informações de contexto, mas em qualquer tipo de informação que o usuário esteja disposto a compartilhar para descrever seu contexto.

O HiBOp é considerado um protocolo que define e gerencia informações de contexto sob dois componentes, um provido pelas informações atuais (correntes) e outro pelas informações legadas. Ele assume que: (i) cada nó deve ser capaz de automaticamente aprender sobre o seu contexto, assim como, lembrar de informações de contextos nos quais ele já tenha estado inserido; (ii) as informações de contexto devem servir para tomadas de decisões em busca de melhores nós para repassar uma mensagem.

As informações de contextos aprendidas são armazenadas em uma tabela de identidade (IT), contendo informações pessoais do usuário do dispositivo, informações sobre seus vizinhos e trocas realizadas durante contatos. Os nós trocam as ITs a cada contato, portanto a união da IT local com as dos vizinhos compõem o contexto atual de um nó. Esse contexto serve para determinar as medidas instantâneas do nó, a fim de defini-lo como a melhor opção de encaminhamento para a mensagem.

Um nó pode vir a ser escolhido também por sua localização/vizinhança, suas experiências e hábitos legados, mesmo que não tenha obtido uma boa medida instantânea. Cada atributo do contexto atual é registrado em outra tabela, chamada tabela histórica (HT). Essa tabela armazena ainda um índice de probabilidade contínua (CP), que representa a probabilidade de encontrar aquele atributo no futuro. A intenção do CP é, no futuro, procurar por nós que possam ter atributos de contexto em comum com o destino de uma mensagem, expressando similaridade entre contextos.

Um nó que deseja encaminhar uma mensagem através do HiBOP especifica a IT do nó destino no cabeçalho da mensagem. Qualquer nó no caminho entre origem e destino da mensagem tem seus atributos comparados com o destino, se o grau de similaridade entre os nós for alto, o nó origem replica a mensagem. Portanto, o processo de similaridade expressa a probabilidade final de entrega, que é baseada na probabilidade do contexto corrente e na probabilidade histórica.

Um comparativo do HiBOP com os protocolos *Epidemic* e P_{Ro}PHET é apresentado em [Boldrini et al. \(2007\)](#). Seu desempenho foi avaliado em termos das métricas de atraso, disponibilidade de armazenamento, perda de mensagens e tráfego gerado. Segundo os autores, ele reduz o consumo de recursos e a perda de mensagens, sem onerar a taxa de atraso na entrega de mensagens e a necessidade de armazenamento. Portanto, pode ser considerado como um sistema de controle efetivo de congestionamento.

As simulações foram realizadas em uma rede ideal e não realística, ou seja, com enlaces perfeitos, sem atrasos nas transmissões e com capacidade infinita de armazenamento. A intenção foi isolar apenas o efeito do conhecimento das informações de contexto na rede, desde que elas estejam disponíveis para os nós, o HiBOP é muito eficiente. No entanto, a necessidade dos nós em compartilhar dados durante seus contatos e aprender sobre os contextos nos quais estão imersos, implicam em problemas de privacidade não tratados pela proposta.

2.3.16 *Resource Allocation Protocol for Intentional DTN*

O protocolo *Resource Allocation Protocol for Intentional DTN* (RAPID) ([BALASUBRAMANIAN; LEVINE; VENKATARAMANI, 2007](#)) modela o roteamento em DTN como um problema de alocação de recursos. Uma mensagem é replicada até que uma cópia, no mínimo, alcance o destino. O RAPID deriva uma função de utilidade por mensagem para atender uma métrica de roteamento. A cada oportunidade de transferência, ele transmite as mensagens armazenadas por ordem crescente de utilidade para aquele instante.

A utilidade é definida como a contribuição esperada que um recurso ou mensagem pode ter em relação a uma métrica de roteamento, como por exemplo para

minimizar o atraso. Se a mensagem pode ser entregue dentro de um menor atraso, ela então pontua mais em sua utilidade e passa a ter prioridade de transmissão ao próximo salto em relação as demais mensagens na fila do nó. A contribuição dessa mensagem é calculada pelo atraso registrado nas transmissões anteriores e quanto ainda lhe resta de tempo para alcançar o destino.

Os autores consideram o RAPID como um protocolo de roteamento baseado em uma heurística de otimização local, ou seja, o quanto o recurso usado no momento contribui para melhorar a utilidade de uma métrica. A utilidade torna-se baixa para replicar uma mensagem quando (i) a mensagem tem muitas réplicas no nó, (ii) o nó torna-se uma escolha de baixa qualidade a respeito da métrica, ou (iii) os recursos utilizados não justificam o benefício de fazer a replicação.

O RAPID é considerado um protocolo que usa disseminação probabilística. Ele foi comparado em [Balasubramanian, Levine e Venkataramani \(2007\)](#) aos protocolos SPW, Random e MaxProp. Embora todos os experimentos para avaliar o RAPID tenham utilizado apenas a métrica de menor atraso, os resultados mostraram que ele supera os demais protocolos perfazendo mais entregas com menor uso de recursos e menor atraso. Ele alcança uma taxa de entrega 14% superior ao MaxProp com redução de 20% no atraso. Sua taxa de entrega é 28% superior que a do SPW e 45% maior que do protocolo Random com 35% menos de atraso. O RAPID é um protocolo direcionado apenas a uma métrica por utilidade e, para tanto, precisa estimar probabilidades a partir de informações conhecidas e processos ocorridos no passado.

2.3.17 Comparativo dos Protocolos Adaptativos a Contextos

Segundo [Boldrini et al. \(2010\)](#), um contexto dentro de uma DTN envolve, além do relacionamento entre diferentes arquiteturas, também o relacionamento entre os nós. Estes relacionamentos guiam o serviço de roteamento e produzem severas alterações no desempenho dos protocolos quando modificações ocorrem.

A formação de um contexto foi classificado por [Boldrini et al. \(2010\)](#) a partir de três diferentes noções: **usuário**, **serviço**, e **dispositivos**. A noção de usuário envolve dados pessoais do usuário e suas características sociais. Por sua vez, a noção de serviço diz respeito ao serviço ou aplicação que está sendo utilizada no dispositivo móvel e com quem ele interage. Enquanto que, a noção de dispositivos refere-se às características físicas e limitações dos dispositivos móveis.

Um serviço tende a oscilar suas taxas de desempenho para métricas como entrega e uso de recursos durante intervalos de tempo. Portanto, decisões de roteamento baseadas em parâmetros que caracterizam um contexto podem favorecer métricas que expressam o melhor funcionamento de uma rede. Exemplos de um contexto pode ser um conjunto de parâmetros da rede como capacidade de armazenamento, densidade

e largura de banda, dentre outros.

Uma avaliação dos protocolos de roteamento para DTN que apresentam propostas de adaptação ao contexto da rede foi apresentada. A avaliação focou na classificação de contexto sobre as noções de usuário, serviço e dispositivo, conforme definição feita por [Boldrini et al. \(2010\)](#). Porém, durante o processo de classificação percebeu-se que a maioria dos contextos são formados por parâmetros medidos ou estimados do funcionamento instantâneo da rede, como densidade, velocidade, latência, dentre outros.

Salvo melhor entendimento, estes parâmetros não estariam explicitamente representados na classificação de [Boldrini et al. \(2010\)](#). Assim, uma adaptação foi gerada pelo acréscimo da noção de **rede** à classificação. Esta noção se refere aos parâmetros que representam métricas instantâneas da rede que necessitam ser derivadas e que influenciam no comportamento de um serviço ou protocolo. Diferentemente do entendimento da noção de dispositivo que passa a responder por parâmetros diretamente lidos dos dispositivos.

Uma visão geral da noção de contexto que cada protocolo aborda é mostrada na Tabela 3, na qual fica evidente a incidência de uso das noções de dispositivo e rede, e carência nas de usuário e serviço. Porém, a maioria dos protocolos que usa noção de rede limita o processo de adaptação a uma quantidade específica de parâmetros, que se alterados acarretam na construção de novos algoritmos.

Tabela 3 – Propostas por segmentação de Contexto

Protocolo	Contexto			
	Usuário	Serviço	Dispositivo	Rede
CONCOR			X	X
MARS			X	X
DAWN			X	X
CARTOON			X	X
SAURP			X	X
DA-SW			X	X
ARBR			X	X
PROPHET+			X	X
ORWAR			X	X
FARA			X	X
SARP			X	X
EAR			X	X
BUBLE Rap	X	X	X	X
CAR	X	X	X	X
HiBOp	X	X	X	X
RAPID			X	X

A Tabela 4 expõe resumidamente a correspondência entre os parâmetros de rede, desempenho, limitação e disseminação adotada por cada proposta de adaptação a contexto estudada. Dentre os parâmetros elencados destacam-se a densidade da rede, velocidade dos nós e capacidade de armazenamento. Também, é possível

perceber a influência de alguns parâmetros nas decisões de roteamento sob a forma de métricas, como taxa de entrega, atraso e sobrecarga na rede. Dessa forma, se evidência a necessidade de monitoramento constante das condições da rede, bem como, a definição de funções que alimentem mecanismos para tomadas de decisão sobre o roteamento, guiadas por métricas e conhecimento do estado da rede.

Tabela 4 – Características de adaptação a contexto.

Protocolos	Parâmetros	Desempenho	Limites	Disseminação
CONCOR 2015	Centralidade Histórico de repasses Armazenamento	Maior entrega Alta densidade	Alta centralidade dos nós	Probabilidade
MARS 2014	Armazenamento Frequência e duração de contatos	Menor replicação Menor sobrecarga	Depende de informações históricas dos encontros	Probabilidade através de múltiplos parâmetros
DAWN 2013	Densidade	Menor atraso	Descartes \times Utilidade	Epidêmica Utilidade crescente
CARTOON 2012	Duração contato Densidade Armazenamento	Maior entrega e menor atraso	Processamento	Epidêmica e probabilidade
SAURP 2012	Duração contato Condições do canal Armazenamento	Menor atraso e sobrecarga	Cenários restritos	Replicação controlada
DA-SW 2011	Relação densidade, duração de contato e atraso	Menor atraso e sobrecarga	Estagnação da replicação Base de efeitos acordeon	Controle pelo fenômeno acordeon
ARBR 2010	Estimativa contato e mobilidade Armazenamento	Menor sobrecarga	Processamento Avaliação de informações históricas	Baseado no modelo CRL
PROPHET+ 2010	Armazenamento Energia Banda Popularidade	Menor perda de mensagens	Cálculo de consumo Uso em redes ideais	Previsibilidade de entrega
ORWAR 2010	Mobilidade Tamanho contato	Transmissão mensagens maiores Menor sobrecarga	Precisão no cálculo do tempo de contato	Contenção de replicação pelo tamanho do contato \times da mensagem
FARA 2009	Armazenamento Largura de banda	Maior entrega	Processamento elevado	Reputação de entrega ao destino
SARP 2009	Histórico de encontros Mobilidade Intervalo entre contatos	Redução de transmissão	Manutenção tabelas de encontros	Taxa de encontro
EAR 2009	Densidade Largura de banda	Alocação da largura de banda	Definição <i>cloud</i> Transmissão dentro da <i>cloud</i>	Tamanho da <i>cloud</i>
BUBBLE Rap 2008	Estrutura de comunidade Centralidade	Detecção de grupos sociais	Detecção de grupos sociais Maior entrega	Centralidade Comunidade BUBLE
CAR 2007	Mobilidade Posicionamento futuro	Otimização na entrega	Conhecimento a priori	<i>Unicast</i> Probabilística por filtros de Kalman
HiBOP 2007	Compartilhamento social e de interesses	Otimização de recursos Redução de descartes de mensagens	Contextos legados Compartilhamento e aprendizado de contextos Privacidade	Classificação qualitativa do contexto
RAPID 2007	Métricas de roteamento	Menor atraso	Informações históricas Utilidade para métrica única	Probabilidade

Para que uma proposta de adaptação a contexto possa funcionar de maneira coerente, entende-se como necessário que esta seja composta por parâmetros que

determinem um contexto; heurísticas para o correto funcionamento de cada parâmetro dentro desse contexto; e tomadas de decisões para adaptar seu comportamento às oscilações encontradas. Além de propor uma forma de definir limites aceitáveis para o bom funcionamento dos parâmetros monitorados.

A expressão de como avaliar os limites de valores que representam o estado da rede ou pesos referenciados em funções de utilidades são de suma importância para trabalhos de adaptação, porém poucas foram as descrições que abordaram esse aspecto com detalhes. Dentre elas, o CARTOON, relatado na seção 2.3.4, descreve como são obtidos e calculados os parâmetros para as dimensões de densidade, armazenamento e periodicidade de contato. Contudo, aplica o conhecimento apenas para alternar o modo de disseminação entre epidêmico e probabilístico.

Cabe aqui destacar a proposta do CANC (*Context-Aware Network Coding*) descrita no Apêndice A.2. Trata-se de um *framework* para roteamento com codificação que extrai e monitora parâmetros de contexto de forma passiva, sem onerar o processo de roteamento. Embora utilize processos epidêmicos para realizar compartilhamento de visões da rede que geram considerável sobrecarga. Finalmente, sobre os objetivos de cada proposta, pode-se concluir que a maioria investe em garantir a entrega de mensagens com menor taxa de atraso. Para tanto, investem em novas soluções para disseminação controlada, mesmo que para isso precisem de recursos adicionais nos nós da rede.

2.4 CONCLUSÃO

Como pode ser observado pela descrição de sua arquitetura, uma DTN se diferencia de outras redes por prover paradigmas que lidam com altas taxas de atrasos e intermitência, além de realizar comutação de mensagens. O roteamento neste tipo de rede é desempenhado nó-a-nó, o que leva à necessidade de armazenamento persistente nos nós. A garantia de entrega das mensagens é determinada pelas oportunidades de encontro entre os nós decorrentes de sua mobilidade. Assim, uma mensagem durante seu trajeto enfrenta as mais variadas condições de rede para ser transmitida pelo nó carregador. Estas condições determinam o contexto em que o nó se encontra em determinado instante e podem resultar em oscilações no desempenho dos protocolos de roteamento.

Um levantamento sobre os processos de disseminação utilizados nos protocolos de roteamento considerados tradicionais para DTN foi apresentado neste capítulo, além das principais propostas de protocolos adaptáveis a contextos para DTN. Através da análise realizada nestas propostas, foi possível perceber que cada uma aborda processos distintos de disseminação, baseados nos mais variados parâmetros de rede para tomada de decisão. Em uma DTN estocástica, quanto mais os nós se movimentam

maiores são as oscilações sofridas pelos parâmetros de rede, conseqüentemente, maiores serão as alterações necessárias a cada rota. Pelas fraquezas elencadas em cada proposta avaliada percebe-se que a grande maioria delas não consegue acompanhar as limitações presentes nos contextos.

Embora um contexto precise ser construído a partir de parâmetros e seus valores, também se conclui que há uma ausência de propostas que consigam extrair, medir e mensurar esses parâmetros de forma autônoma e, principalmente, passiva para um contexto, assim como usar estas medições para alimentar tomadas de decisões dentro de um mecanismo adaptável para o serviço de roteamento. Alguns aspectos desafiadores continuam em aberto e representam pontos importantes de pesquisa que precisam ser desenvolvidos. A maioria das propostas estudadas demonstra a importância de tornar-se adaptativa, sem o suporte de adaptação em tempo de execução.

Como o roteamento em DTN é realizado nó-a-nó, estes desafios podem ser vencidos sob a forma de um mecanismo genérico para adaptar o serviço de roteamento a decisões coerentes com os recursos e fraquezas existentes em cada contexto. Assim, é factível a criação de um processo para identificar passivamente a formação de um contexto e, então, escolher o algoritmo de roteamento "mais"adequado ao contexto atual, dentre os algoritmos disponíveis em um nó. A presente tese visa investigar e parametrizar estes desafios e, então, propor um mecanismo para solucioná-los.

A fim de definir corretamente um contexto de rede e o desempenho alcançado pelos protocolos de roteamento, o próximo capítulo analisa métricas de rede que impactam o desempenho dos protocolos de roteamento tradicionais em DTN. Também, os resultados obtidos de extensas simulações são apresentados para a contextualização desse desempenho, quando os protocolos são expostos a cenários guiados por oscilações.

3 MÉTRICAS EM DTN

Uma mensagem ou agregado¹ em DTN é um bloco inteiro de dados de uma aplicação ou um segmento dele, sendo considerada entregue quando atinge seu nó destino. Nestas circunstâncias, o propósito geral do roteamento em uma DTN é minimizar o uso de recursos para transmitir uma mensagem entre a origem e o destino (PICU; SPYROPOULOS, 2011; MOREIRA; MENDES; SARGENTO, 2011). O conjunto de nós candidatos que são usados pelos nós carregadores e suas prioridades impactam diretamente no desempenho do roteamento.

O uso de uma métrica de qualidade para selecionar e priorizar um candidato é o fator principal para garantir um impacto aceitável por parte do serviço de roteamento. Uma métrica define como cada parâmetro da rede é assumido, de forma que sua precisão depende de uma medida apropriada e da disseminação de informações. Uma **métrica de roteamento** pode ser definida como uma maneira de classificar rotas dentro de uma rede, de forma que seja possível decidir o melhor caminho entre dois nós (GRASIC; LINDGREN, 2012). Diversos parâmetros da rede podem ser utilizados para priorizar um candidato ou definir o contexto de um cenário de rede. Entretanto, nem todos impactam o desempenho de protocolos de roteamento ou podem ser empregados de forma irrestrita, especialmente em uma DTN.

No conjunto de propostas analisadas no capítulo anterior, observa-se que um subconjunto de parâmetros são comumente utilizados para medir o desempenho dos protocolos de roteamento, nesta tese denominados **métricas de desempenho**, que são: taxa de entrega de mensagens, atraso e sobrecarga.

Ao longo de um período de observação os parâmetros de um contexto podem sofrer diversas alterações, afetando as métricas de desempenho e a garantia de requisitos. Determinar o grau de influência destes parâmetros em relação à métricas, além de ações adequadas a cada comportamento, são imprescindíveis para garantir um desempenho favorável e compõem um dos objetivos deste trabalho. Assim, nas próximas seções, tanto as métricas de desempenho como as de roteamento são definidas, contextualizadas e analisadas através de simulações em diversos contextos de rede.

Para o perfeito entendimento do restante desta pesquisa, um modelo de DTN torna-se necessário às análises. Assim, considera-se que durante instantes de tempo $t \mid t \in T$, a rede é modelada por um conjunto de nós N , os quais se movem baseados em um modelo de mobilidade dentro de uma área finita.

¹ Mensagens e agregados serão tratados como sinônimos nessa tese.

Uma DTN é definida como um par $[G, T]$, tal que G representa um grafo simples $G(V, E)$, onde (i) V é o conjunto finito de nós denominados vértices, (ii) E é o conjunto dinâmico de conexões entre pares de nós denominadas arestas. T é o conjunto de intervalos de tempos em que as conexões estão habilitadas. Cada aresta $e \in E$ é bidirecional composta por um par não ordenado de elementos distintos de V , durante um intervalo de tempo. De modo que uma aresta $e = (n_i, n_j)$ incide nos vértices n_i e n_j , que são extremidades da aresta e , ou seja: $E_{(t)} = \{(n_i, n_j) \mid \{(n_i, n_j), (n_j, n_i)\} \in V_{(t)}, i \neq j \wedge t \in T\}$, tal que $E \subseteq V \times V$,

Todo e qualquer nó n armazena um conjunto $M_i = \{m_1, \dots, m_k\}$ de mensagens, tal que $k \geq 1$ e cada $m_k \in M$. Uma mensagem armazenada pelo nó n_i é expressa como a tupla $m(t_0, s, d, TTL)$, onde t_0^2 é o instante de tempo em que a mensagem foi criada, s o nó origem, d o nó destino, e TTL é o valor instantâneo restante do TTL da mensagem. As mensagens são geradas de forma arbitrária na origem. Toda vez que uma mensagem atinge o valor zero para o TTL, ela é descartada pelo nó carregador.

Assim, ainda como parte da definição da rede considera-se: (a) $Viz_{(n_i)}$ o conjunto de nós que encontram-se dentro do raio de alcance de um nó n_i , tal que $Viz_{(n_i)} = \{\forall n_j \mid (n_i, n_j) \in E\}$; (b) TJ o conjunto de nós carregadores que compõem o trajeto de uma mensagem, tal que $TJ_m = \bigcup_{i=0}^d n_i$.

Desde que dois nós estejam dentro da mesma área de alcance, se considera que a transmissão de mensagens pode acontecer a qualquer instante. O conjunto de mensagens enfileiradas em um nó para encaminhamento ao próximo salto é definido como M_{fila} e o número total de mensagens na rede por $Q_{(t)}$.

3.1 MÉTRICAS DE DESEMPENHO

Segundo [Al-Siyabi, Cruickshank e Sun \(2011\)](#), o desempenho de aplicações DTN é expresso através da melhor utilização dos recursos da rede que implicará na satisfação, por exemplo, do usuário. A importância de se obter um melhor desempenho cresce com a heterogeneidade da rede, sendo que algumas aplicações requerem diferentes níveis de desempenho.

Como as DTNs são sobrepostas (*overlay*) à redes existentes, a sua heterogeneidade aumenta a dificuldade em prover melhores desempenhos, pois fazem uso de diferentes tecnologias e meios de transmissão. Este tipo de comportamento impacta diretamente no provimento do serviço de roteamento. A abrangência deste impacto, comumente é delimitada na literatura por métricas de desempenho tais como: entrega de mensagens, atraso, descarte e sobrecarga produzida. As próximas seções tratam

² *time stamp*

da definição destas métricas

3.1.1 Taxa de Entrega

Um dos maiores desafios dos protocolos de DTN talvez seja garantir taxas aceitáveis de entregas de mensagens, dada a característica de inexistência de caminhos fim-a-fim. O total de mensagens entregues em uma rede durante um intervalo de tempo é definido pela razão entre o número de mensagens que atingem o nó destino e o número de mensagens enviadas pelo nó de origem (ABDULLA; SIMON, 2007). Múltiplas cópias da mesma mensagem que tenham sido recebidas pelo nó destino não são computadas. Dessa forma, ao se considerar M um conjunto de mensagens, a taxa de entrega é definida pela Equação 3.1, onde me_k representa um contador de mensagens entregues ao seu destino, tal que $me_k = 1$ se e somente se a mensagem é entregue, senão $me_k = 0$. Esta métrica permite analisar a eficiência do protocolo na entrega relativamente às mensagens enviadas.

$$Taxa_{entrega} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M me_k \quad (3.1)$$

A fim de favorecer as oportunidades de entrega, uma grande porção das propostas de roteamento investem em aumentar o número de cópias das mensagens na rede simultaneamente. Porém, o desempenho é melhorado ao custo de um maior uso de recursos.

Uma entrega deve configurar um processo que garanta, não apenas atingir o destino, mas percorrer o trajeto com economia de recursos.

3.1.2 Atraso

O atraso na entrega das mensagens compreende o intervalo de tempo entre o envio da mensagem pelo nó de origem até o momento em que a primeira cópia dela atinja o destino, portanto se refere a uma variação no tempo. Segundo Abdulla e Simon (2007), o atraso engloba a soma dos tempos em filas de espera e em trânsito desde o envio até a recepção final.

Atrasos elevados são inerentes aos encaminhamentos em DTN e geram métricas de roteamento menos efetivas, pois essas informações tornam-se rapidamente obsoletas quando disseminadas. Pior ainda, as informações de diferentes regiões de rede quando combinadas podem representar um estado que nunca existiu.

Na presença de contato, o atraso envolve o custo de cada enlace e o tempo de duração do contato, conforme ilustrado na Figura 7. O custo do enlace leva em

consideração o tempo para envio dos *bits* da mensagem, tempo de propagação do sinal no canal e tempo de enfileiramento no nó. O tempo de contato diz respeito ao tempo em que dois nós estão um no raio de alcance do outro e podem efetuar transmissões.

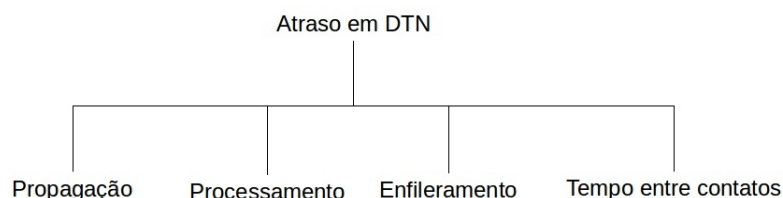


Figura 7 – Composição do atraso em DTN.

3.1.3 Sobrecarga

As DTNs enfrentam com problemas com a quantidade de mensagens que precisam ser replicadas e o tempo máximo de contato disponível. Geralmente, os contatos existem durante breves períodos de tempo, nos quais apenas uma pequena quantidade de dados pode ser trocada. Sob estas condições, uma sobrecarga nos enlaces pode ocorrer facilmente devido ao enfileiramento de mensagens nos nós e representa as mensagens adicionais inseridas na rede para cada entrega bem sucedida.

Assim, a sobrecarga (S) é calculada como a quantidade de cópias de uma mensagem necessária ao protocolo de roteamento para processar sua entrega ao destino (BALASUBRAMANIAN; LEVINE; VENKATARAMANI, 2007). Conforme a Equação 3.2, na qual $|m_{tx}|$ representa o número total de mensagens transmitidas durante o trajeto e $|m_{rec}|$ o número total de mensagens recebidas pelo nó. O menor custo de entrega significa que um número menor de cópias de uma mensagem foi necessário para alcançar o destino, permitindo aos protocolos de roteamento métricas com melhor desempenho.

$$S = \frac{|m_{tx}| - |m_{rec}|}{|m_{rec}|} \quad (3.2)$$

3.2 MÉTRICAS DE ROTEAMENTO

As métricas de roteamento conduzem ao melhor encaminhamento de uma mensagem e impactam diretamente no desempenho dos protocolos de roteamento, ao mesmo tempo em que buscam atender requisitos da rede. Algumas métricas de roteamento são populares a vários tipos de redes, como número de saltos, atraso fim-a-fim, *jitter*, tempo de vida da rota, dentre outras (STEENSTRUP, 1995). Estas métricas são otimizadas durante o cálculo de uma rota, porém algumas delas podem

ser questionáveis em DTNs e não correspondem a um processo trivial. Claramente, um importante objetivo para DTN é aumentar a probabilidade de entrega de mensagens com atraso reduzido.

Os algoritmos de roteamento em DTN precisam lidar com o fato que os nós não estão constantemente conectados e o conceito de contato tem que estar claramente definido. Enquanto os contatos são extremamente úteis para o roteamento, sua ausência obriga retransmissões ou recálculo de rotas. Todavia, nem todos os parâmetros de rede representam métricas impactantes para o roteamento. Nas próximas seções são descritos os principais parâmetros de rede que são aplicados mais comumente em tomadas de decisões de roteamento em DTN.

3.2.1 Capacidade de Armazenamento

Nos cenários típicos de DTN observa-se que os nós necessitam de armazenamento de mensagens por longos períodos, até que uma oportunidade de encaminhamento aconteça. Uma das condições para que uma mensagem possa ser repassada a um nó é que este apresente capacidade de armazenamento no mínimo igual a quantidade de *bits* da mensagem.

As restrições causadas pela falta de capacidade de armazenamento acarretam retransmissões devido aos processos de descartes ou perdas de oportunidades de transferência, além da falta de garantia de entrega.

Um cenário pode ser caracterizado como restrito ou irrestrito quanto à sua capacidade, dependendo do nível de armazenamento registrado em seus nós. O nível restrito compreende uma capacidade insuficiente de armazenamento para atender a necessidade de todos os repasses dos nós carregadores e descrevem cenários com baixa capacidade de armazenamento nos nós. Por sua vez, o nível irrestrito considera que o cenário possui uma capacidade de armazenamento infinita ou alta.

O controle da sobrecarga gerada pelos protocolos de roteamento é fundamental para evitar extrapolação de recursos, principalmente em cenários restritos. Por outro lado, quando não há limites de armazenamento, é possível escolher a decisão de roteamento baseada em uma métrica, sem considerar a sobrecarga produzida. Sem dúvida, o parâmetro de capacidade de armazenamento de um nó é uma métrica que deve ser considerada em qualquer avaliação de contexto de roteamento em DTN.

3.2.2 Densidade

A densidade corresponde a quantidade de nós existentes dentro de uma região, que a classificam como região esparsa ou densa conforme o montante de nós. Uma região esparsa apresenta uma quantidade reduzida de nós em uma área total e a

presença de frequentes desconexões. Enquanto que uma densa caracteriza-se por grandes concentrações de nós e conectividades dentro de uma mesma área.

A literatura apresenta inúmeros estudos que provam que a densidade é capaz de afetar diversas métricas de rede devido ao consumo de recursos, como os registrados em (VAHDAT; BECKER et al., 2000; LINDGREN; DORIA; SCHELÉN, 2003; SPYROPOULOS; PSOUNIS; RAGHAVENDRA, 2005; BALASUBRAMANIAN; LEVINE; VENKATARAMANI, 2007; ABDULLA; SIMON, 2007; JIN et al., 2010; LAKKAKORPI; PITKÄNEN; OTT, 2010; OLIVEIRA; ALBUQUERQUE, 2012; ELWHISHI et al., 2012; MOTA et al., 2014).

Em determinadas situações, o cálculo da densidade global de uma DTN pode retornar medições inconsistentes dado o uso de informações distribuídas e frequentes alterações. Assim, a densidade pode ser melhor estimada a cada novo contato pelo grau médio de conectividade local de cada nó, denominado grau de densidade de um nó ou, simplesmente, grau de um nó.

A manutenção dos dados sobre o grau de densidade requer a troca de inúmeras informações. Para esse fim, o uso das informações sobre vizinhança colhidas pelos protocolos de roteamento se apresenta como uma excelente alternativa, conforme demonstrado em Oliveira e Albuquerque (2012), evitando sobrecarga de comunicação entre os nós.

3.2.3 Contato oportunista

Dentro de uma janela de tempo, não necessariamente contígua, o contato entre um par de nós determina a viabilidade de comunicação e troca de mensagens entre eles (JAIN; FALL; PATRA, 2004). Em outras palavras, o contato é essencialmente o volume ou a capacidade de dados que podem ser transmitidos durante uma conexão e é o produto da duração do contato com a largura de banda.

A duração de um contato tem influência no processo de entrega de uma mensagem e no atraso que possa ser gerado. Está diretamente ligada ao processo de escalonamento das mensagens armazenadas em um nó e sua transmissão ao próximo salto. Quanto menor for a janela de contato menor será a quantidade *bits* transmitidos. Embora a duração de contato impacte na métrica de atraso, ela é proporcional à quantidade de ocorrências de contatos oportunistas entre os nós.

3.2.4 Velocidade de Deslocamento

A velocidade de um nó impacta no seu deslocamento e contato. Ela é responsável por ditar se um nó está se aproximando ou afastando de seus vizinhos, assim como por quanto tempo eles estarão um na área de cobertura do outro. Cada nó detém

o conhecimento de sua velocidade de deslocamento, que depende das configurações da própria rede.

Ao mesmo tempo em que torna o serviço de entrega de mensagens altamente dependente de seu comportamento, a velocidade de deslocamento provoca interrupções de conectividade. Os nós mais velozes conseguem entregar mensagens mais rapidamente, mesmo que a conectividade com vizinhos seja breve.

A duração de uma conexão pode interromper a transmissão de uma mensagem, desperdiçando uma oportunidade de contato. Portanto, nós mais velozes devem ter prioridade na entrega de mensagens com tamanhos menores ou com restrições quanto ao tempo de vida.

3.2.5 *Time To Live*

O tempo de vida (TTL) em DTN representa o montante de tempo que o protocolo de roteamento tem para entregar uma mensagem. Toda vez que uma mensagem é gerada na origem, seu valor de TTL é definido. No entanto, o custo computacional pode torna-se maior de acordo com o aumento no tempo de entrega.

O impacto do TTL para o roteamento implica no uso de decisões que priorizam a entrega mais rápida para casos de TTL menores, independente da sobrecarga que possa ser gerada. Porém, as mensagens com maior valor de TTL podem utilizar decisões aliadas à menores sobrecargas.

3.2.6 Descarte

A incapacidade de entrega de mensagens ao destinatário é decorrente principalmente da falta de conectividade e de descartes durante os trajetos. O parâmetro de descarte diz respeito às mensagens que são eliminadas do repositório de um nó, levando a processos onerosos e indesejados, porém esperados para este tipo de cenário. O descarte é influenciado por parâmetros como o nível da capacidade de armazenamento do nó, tráfego existente na rede, tamanho da mensagem, tipo de disseminação adotado na região, esgotamento do TTL da mensagem, dentre outros.

Para avaliar a representatividade do parâmetro de descarte em um contexto é preciso levar em consideração que uma maior capacidade de armazenamento favorece a redução de descartes, ou seja, nós com capacidade de armazenamento comprometida implicam em riscos elevados de descarte. Dessa forma, o descarte pode ser avaliado considerando-se a capacidade de armazenamento dos nós e o tamanho das mensagens a serem transferidas.

3.3 IMPACTO DE DIFERENTES CONTEXTOS SOBRE PROTOCOLOS PADRÕES DE ROTEAMENTO EM DTN

O mecanismo proposto nesta tese envolve o estabelecimento de regras para examinar um contexto a partir do estado da rede para que se determine o protocolo de roteamento mais otimizado, a fim de garantir melhores desempenhos. Assim, uma avaliação mais minuciosa a respeito da composição de um contexto, bem como a parametrização de seus parâmetros precisam ser desenvolvidas.

As próximas seções descrevem simulações realizadas sobre diferentes cenários, destinadas a avaliar o impacto das métricas de roteamento sobre o desempenho dos protocolos *Epidemic*, PRoPHET e SPW. Os cenários são construídos para refletir o impacto de métricas no roteamento DTN. As simulações também objetivam a parametrização de cada métrica, inclusive quanto a limiares de comportamento que, posteriormente, serão utilizados na definição das heurísticas que guiarão o mecanismo proposto.

A Tabela 5 resume os principais parâmetros de simulação utilizados nos cenários RW. De forma que os nós origens são aleatoriamente selecionados e geram mensagens em um intervalo de 1 a 80 segundos, até que aproximadamente 6600 mensagens sejam criadas. O montante de mensagens é constante independentemente da duração de cada simulação, o que permite simular desde redes congestionadas até com baixo tráfego. O número de cópias (L) para o SPW é configurado nas simulações como 3 e 7, assim o protocolo passa a ser denominado SPW-3 e SPW-7, respectivamente. Esta consideração é adotada devido às oscilações que este parâmetro pode causar ao protocolo, como demonstrado em [Spyropoulos, Psounis e Raghavendra \(2005\)](#). Todos os resultados são considerados com um percentual de confiança de 90% obtido da variância média de vinte execuções sob as mesmas configurações.

Tabela 5 – Parâmetros utilizados nas simulações das métricas de roteamento.

Parâmetros	Valores
Área ($m \times m$)	800 × 800, 1000 × 1000, 1500 × 1500, 2000 × 2000, 5000 × 5000, 10000 × 10000, 20000 × 20000
Duração (seg)	2115, 10800, 32400, 43200, 89400, 172800, 259200
Número de Nós	30, 100, 120, 200
Velocidade do Nó (m/s)	(1, 11), (1, 21), (10, 21), (20, 21)
Capacidade de Armazenamento(MB)	1, 2.5, 5, 10, 20, 30, 600
Tamanho da Mensagem(KB)	1, 100, 200
Tempo de Uso da Rede (horas)	3, 9, 24, 12, 48, 72

De forma a prevenir circunstâncias que impeçam a adoção ampla e irrestrita

da adaptação dinâmica a contextos por todos os nós da rede, esta tese considera apenas os parâmetros de rede denominados métricas de roteamento que possam ser avaliados indiscriminadamente em nós comuns. Isto se deve também aos parâmetros utilizados nos projetos de cada protocolo parametrizável adotado para as avaliações. Assim, os parâmetros considerados nas evoluções compreendem: capacidade de armazenamento, densidade da rede, velocidade de mobilidade e disponibilidade da rede, e são avaliados quanto ao impacto gerado nas métricas de desempenho da rede quando diferentes contextos se formam.

3.3.1 Cenário A: Efeito da Capacidade de Armazenamento no Nó

A partir do momento em que a restrição de armazenamento é observada para um cenário, a escolha por protocolos de roteamento que possam garantir requisitos da mensagem em conjunto com métricas de desempenho da rede, deve ser priorizada em detrimento a decisões anteriores. A capacidade de armazenamento de um nó se torna um parâmetro de rede importante toda vez que um nó está prestes a receber uma nova mensagem. Qualquer decisão de roteamento que avalie as condições de armazenamento, só tem efeito se esta informação puder ser compartilhada com os vizinhos. Para tanto, um processo viável e menos dispendioso é o repasse destas informações pelo encapsulamento à mensagem de *HELLO*.

Para avaliar o custo e comportamento dos protocolos padrões para DTN quando expostos a diferentes contextos de armazenamento, diversas simulações foram realizadas com base na Tabela 5 e alguns resultados são apresentados nas Figuras 8 e 9. Os resultados foram agrupados para representar contextos de capacidade restrita ou não. A atribuição é denominada armazenamento "Alto" ao contexto sem restrição de armazenamento, compreendido nas simulações pela capacidade acima de 600MB. Respectivamente, o armazenamento "Médio" 30MB e "Baixo" 1MB, isto levando em consideração as demais configurações dos cenários como tamanho da mensagem e quantidade.

A Figura 8 mostra os resultados de uma rede com 100 nós com raio de comunicação de 150m espalhados sobre uma área de 10000m × 10000m, cada nó possui até 6411 mensagens de 100KB. Por sua vez, a Figura 9 expõe os resultados de uma rede mais densa com uma área de 800m × 800m com a mesma quantidade de mensagens e capacidade de armazenamento de 1MB, 30MB e 600MB.

O protocolo *Epidemic* é a melhor opção se a disponibilidade de armazenamento é alta, este chega a alcançar $100 \pm 0,02\%$ na taxa de entrega independente do tamanho da mensagem. Ao mesmo tempo em que efetua as entregas com menor atraso. No entanto, se torna a pior opção se a capacidade é muito limitada. Assim, é factível se concluir que para um cenário de rede em que o requisito da mensagem seja a

garantia de entrega (Figura 8(a)), a decisão deve considerar a disponibilidade de armazenamento e optar entre o protocolo *Epidemic* para maior disponibilidade. Porém, se o cenário apresentar um contexto com restrições de tráfego (Figura 9(a)), a família SPW se torna a melhor escolha por ser capaz de aliar entrega, com um menor uso de armazenamento e sobrecarga.

Caso contrário, se o requisito da mensagem é menor atraso ou urgência (Fig. 8(b) e 9(b)), a escolha para o contexto de armazenamento ilimitado deve ser priorizada para o SPW-3, para contexto médio de armazenamento o protocolo adequado é o SPW-7 e o PRoPHET se o armazenamento for limitado. A escolha pela menor sobrecarga gerada, como observado nas Figuras 8(c) e 9(c), indica a família SPW.

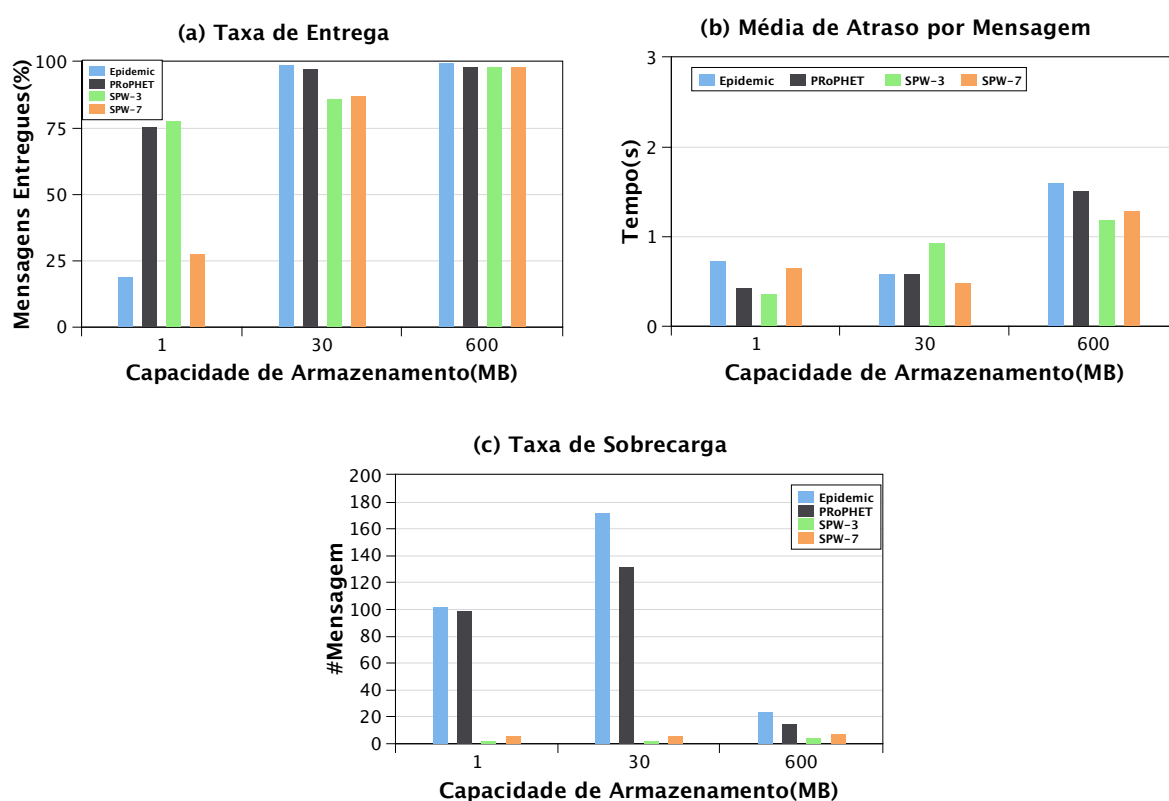


Figura 8 – Capacidade de armazenamento.

3.3.2 Cenário B: Impacto da Densidade

A densidade da rede pode ser alterada de diversas maneiras, dentre elas através da dimensão da rede, quantidade de nós em uma determinada área ou raio de alcance dos nós. A fim de examinar a influência efetiva da densidade nos protocolos *Epidemic*, PRoPHET e SPW, neste trabalho considera-se primeiramente uma variação na área da rede de 800×800 , 2000×2000 e 5000×5000 metros e fixa-se o raio em 150m. Os resultados são mostrados e comentados na seção 3.3 e Figura 36(b).

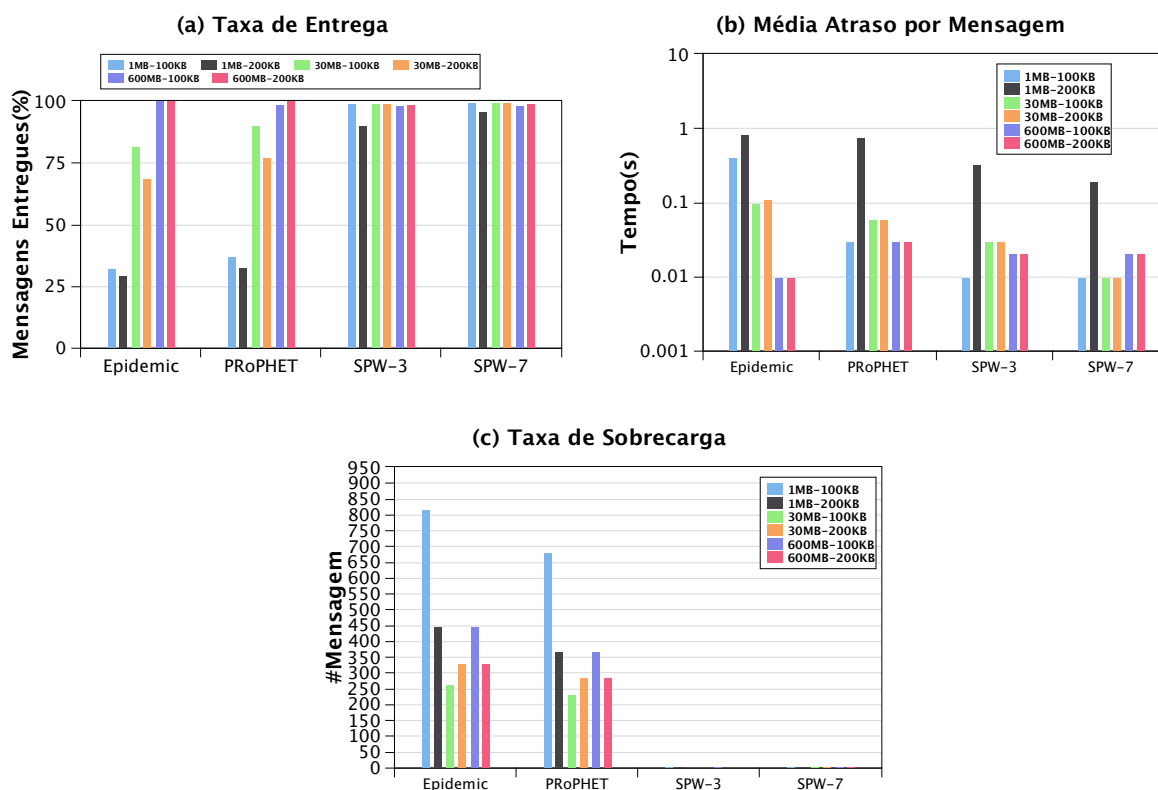


Figura 9 – Comportamento do parâmetro de densidade na rede quando variada a capacidade de armazenamento dos nós e o tamanho das mensagens.

Em um segundo cenário configurado com 100 nós e raio de 150m, apenas as dimensões da rede são alteradas para afetar a densidade. A área é variada de 800×800 para 10000×10000 e 20000×20000 metros. Ao se considerar a área de $800\text{m} \times 800\text{m}$ e o raio de alcance de 150m, tem-se sem sobreposição aproximadamente 11 nós/m^2 , caracterizando o cenário como denso. As demais atribuições seguem o mesmo cálculo³, assim a rede é chamada de esparsa para $20000\text{m} \times 20000\text{m}$ ($\pm 1 \text{ nó/m}^2$) e média para $10000\text{m} \times 10000\text{m}$ ($\pm 7 \text{ nó/m}^2$).

Conforme esperado, o desempenho de todos os protocolos é afetado nos cenários de menor densidade, quando poucas cópias das mensagens são espalhadas pela rede. Este comportamento é devido à necessidade de mais tempo para que uma mensagem atravesse a rede e alcance o destino ou mesmo que nunca seja entregue.

A Figura 10 mostra o desempenho dos protocolos sobre esta variação de densidade. Para o cenário denso, o *Epidemic* não é uma boa escolha devido a sobrecarga que origina no armazenamento. Muitas vezes causando a eliminação de mensagens.

Em contrapartida, sua técnica de inundação apresenta um ótimo comportamento em redes mais esparsas. O SPW tem um desempenho oposto, dentro do

³ $\text{nó/m}^2 = \left(\frac{(\pi \times R^2) \times |N|}{(\text{área da rede})^2} \right)$

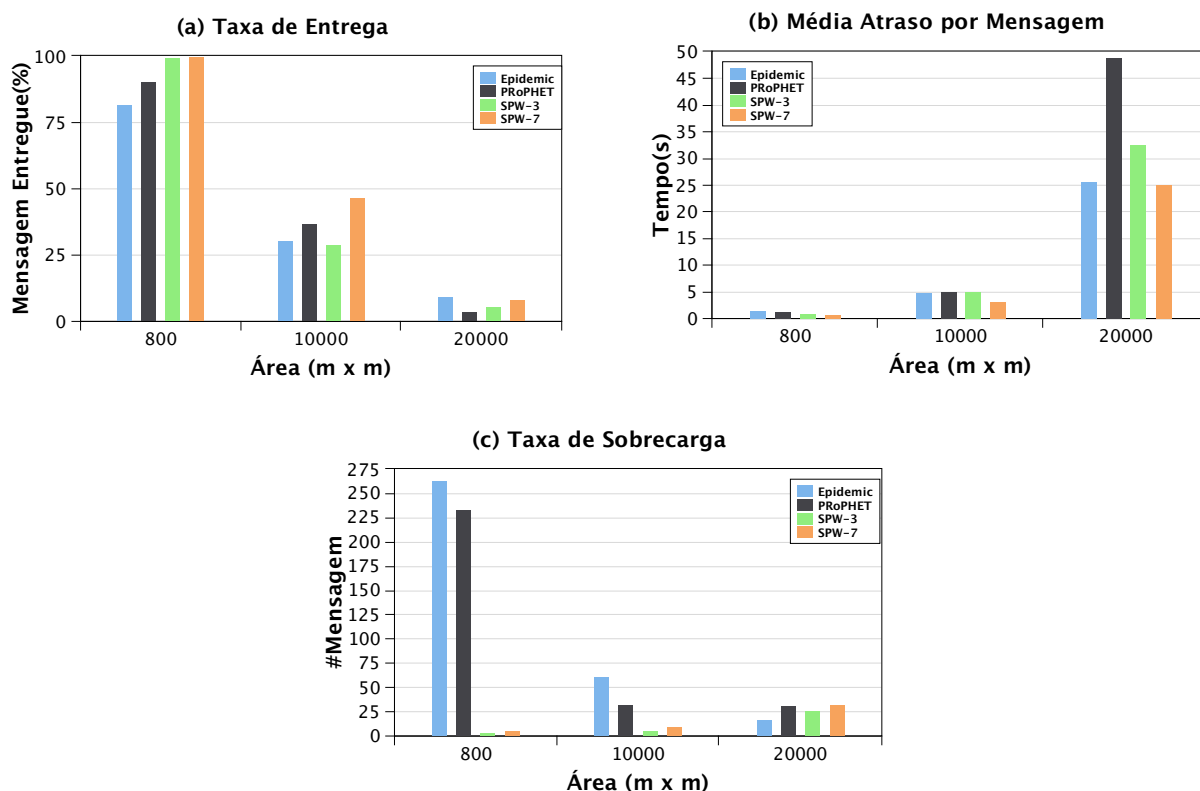


Figura 10 – Desempenho sob diversas políticas de densidade.

previsto, devido ao seu esquema de controle de cópias da mensagem. Desta forma, se a mensagem deseja garantia de entrega, a decisão deve ser pelo SPW em rede densa e o *Epidemic* em esparsa. A mesma escolha deve ser feita caso o requisito da mensagem seja menor atraso.

3.3.3 Cenário C: Avaliação do Contato Oportunista

Do ponto de vista dos sistemas, um contato oportunista é aquele que acontece de forma aleatória, sem nenhum conhecimento prévio. A frequência e duração dos contatos são comumente utilizadas como indicadores na predição da probabilidade de entrega durante o processo de roteamento em DTN (LINDGREN; DORIA; SCHELÉN, 2003). A quantidade de contatos em um intervalo de tempo tem influência direta em métricas de atraso e consumo de recursos da rede e pode configurar um contexto restrito.

Com a finalidade de avaliar a relação da quantidade de contatos existente entre os nós com as métricas de desempenho dos protocolos padrões, simulações foram realizadas empregando um conjunto de cenários com 100 nós de raio 150m, 30MB de capacidade de armazenamento e velocidade entre 1 e 21m/s. Nestes cenários, apenas o número de contatos foi alterado para caracterizar diferentes contextos através da alteração no tempo de simulação. A ocorrência de contato é atribuída, neste trabalho,

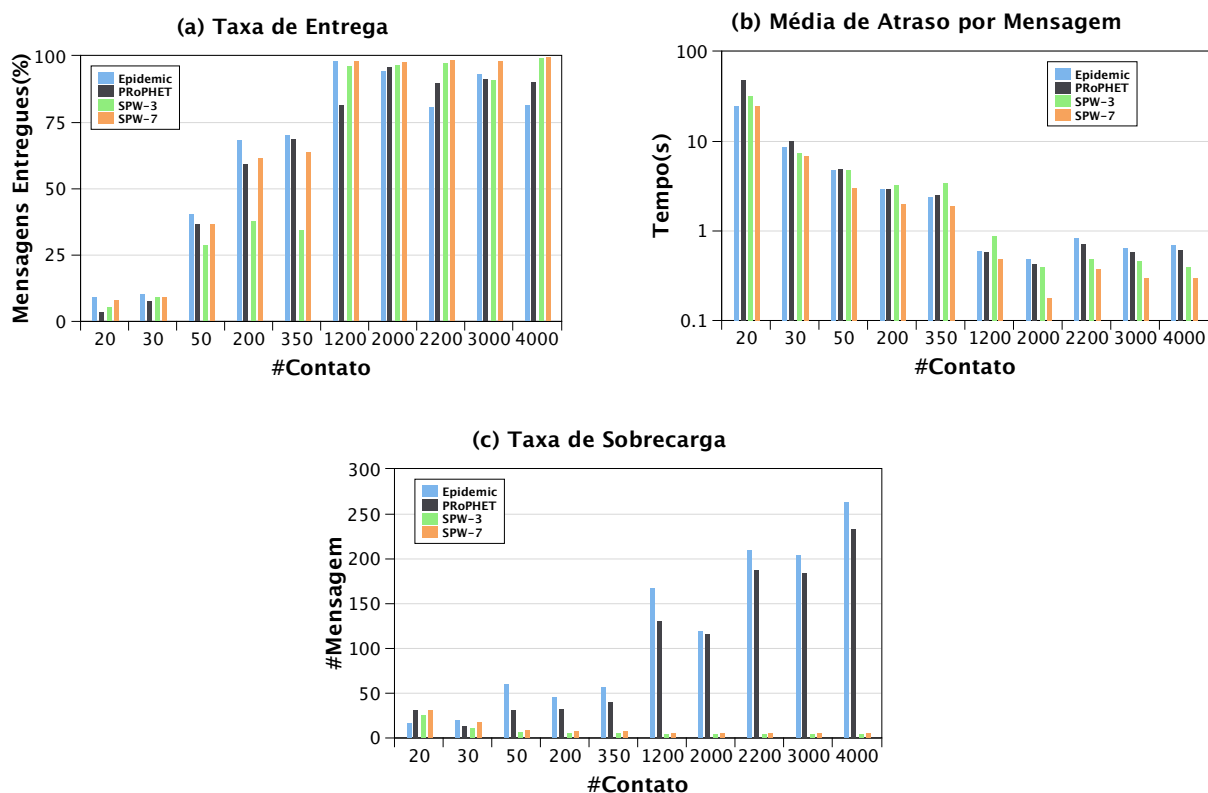


Figura 11 – Número de contatos.

como “Alta” para os contatos que ocorrem dentro da área de $800\text{m} \times 800\text{m}$ com raio de alcance de 150m e 100 nós. Estes compreendem a quantidade acima de 2000 contatos por intervalo de observação. As demais classificações seguem o mesmo tipo de cálculo e são denominadas “Média” para acima de 50 até 2000 contatos e área $10000\text{m} \times 10000\text{m}$, e “Baixa” para até 50 contatos e área $20000\text{m} \times 20000\text{m}$.

A Figura 11 resume os resultados do contato oportunista. Primeiramente se observa que o *Epidemic* supera os demais protocolos no número de entregas quando os contatos são reduzidos, ou seja, até 1200 contatos. Da mesma forma, considerando o atraso e sobrecarga, o *Epidemic* alcança a melhor média em cenários com poucos contatos. Outra observação importante se refere ao fato que o SPW-7 é a melhor escolha conforme os contatos são aumentados, enquanto o SPW-3 diminui sua taxa de entrega. Ainda vale ressaltar os resultados de comportamento similares entre os protocolos SPW-3 e ProPHET, quanto a métrica taxa de entrega.

A habilidade dos nós em transferir dados depende da quantidade de contatos existentes durante um intervalo de tempo. Esta quantidade delimita que quanto mais contatos houverem, mais cópias de mensagens o nó poderá transferir ou receber. Assim, pode-se perceber uma relação estreita entre os parâmetros contato e grau de densidade do nó.

Redes esparsas apresentam diminuição das oportunidades de contato e, obviamente, redes com alta mobilidade possuem oportunidades maiores, porém com duração menor. Nas redes densas, a disputa pelo acesso ao meio contribui para diminuir o desempenho global, embora a oportunidade de contato aumente.

3.3.4 Cenário D: Análise da Velocidade de Deslocamento dos Nós

Uma decisão de roteamento depende do padrão de mobilidade dos nós. Por exemplo, se todos os nós estão se movendo em uma direção com a mesma velocidade, então seus movimentos não afetarão o roteamento. Porém, se alguns nós se movem em outra direção a uma velocidade diferente, este comportamento pode afetar a conectividade e prover quebras de desconexões. A velocidade dos nós é um parâmetro de contexto que necessita ser levado em conta no planejamento de um protocolo.

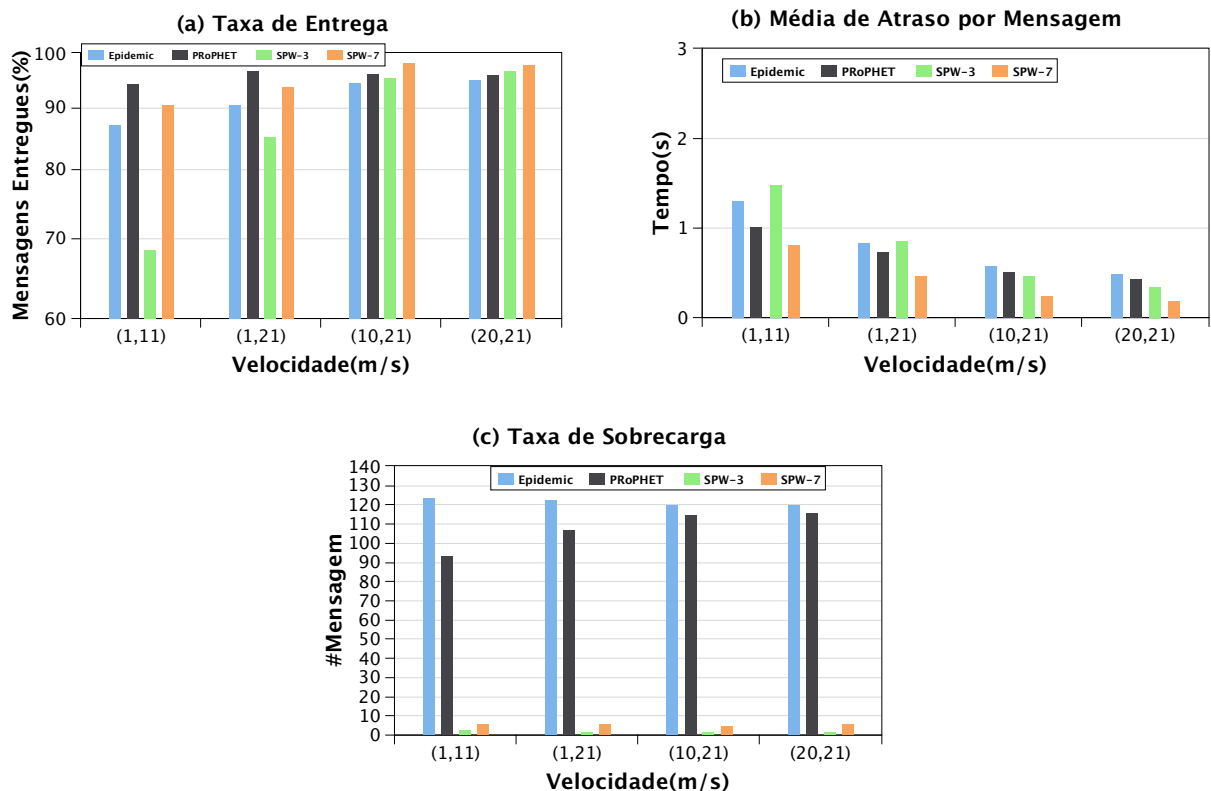


Figura 12 – Velocidade dos nós.

A velocidade dos nós também é avaliada neste trabalho com o objetivo de observar como a mobilidade dos nós contribui para a entrega de uma mensagem. A velocidade usada se refere àquela que indica se ele está se aproximando ou não de um vizinho. Nós carregadores mais rápidos são preferidos em relação a outros mais lentos, pois eles podem aumentar de forma significativa a disseminação de mensagens. Sobre quaisquer situações, os nós mais rápidos garantem melhores desempenhos em termos de atraso na entrega.

Para verificar o impacto da velocidade dos nós, um conjunto de simulações com variadas combinações de velocidades dos nós é realizada. Três diferentes categorias são atribuídas para representar a intensidade desta velocidade: alta, média e baixa. Na velocidade “Baixa”, os nós arbitrariamente escolhem sua velocidade em um intervalo entre 1m/s e 11m/s. A velocidade “Média” é atribuída entre 1m/s e 21m/s, enquanto na velocidade “Alta”, a seleção é feita entre 10m/s e 21m/s ou entre 20m/s e 21m/s.

De acordo com os resultados mostrados na Figura 12, o PRoPHET é a melhor escolha para contextos com velocidades baixas e médias. Enquanto para nós mais velozes, a escolha é pelo SPW-7 quando a métrica for garantir maior entrega, menor atraso e sobrecarga. Nós mais velozes são preferidos para carregar mensagens pequenas e com tempo de vida restrito. Nestes cenários, as oportunidades de contatos tendem a ser mais frequentes, embora com menor tempo de duração. O parâmetro da velocidade dos nós tem um impacto direto na taxa de entrega das mensagens e no atraso, assim como afeta o número de contatos entre os nós e, conseqüentemente, tem a capacidade de alterar o grau de densidade.

3.3.5 Cenário E: Influência do Tempo de Vida da Rede

O tempo de vida (TTL) de uma mensagem representa o tempo que ela dispõe para ser entregue ao seu destino por um protocolo de roteamento, ou seja, o tempo máximo permitido para que trafegue em uma rede. Pode-se relacionar o TTL das mensagens com o tempo máximo da simulação. Portanto para verificar a influência do tempo que os nós tem para entregar as mensagens no destino, optou-se por variar o tempo de vida da rede.

Um conjunto de simulações é executado com diferentes tempos de duração, compreendendo [3 - 72] horas. Cada simulação é realizada para 100 e 200 nós com disponibilidades alternadas de armazenamento e demais parâmetros conforme definições feitas na seção 3.3. Um total aproximado de 432 simulações são executadas para avaliar o comportamento.

Para avaliar isoladamente o impacto do tempo para a mensagem trafegar, a Figura 13 apresenta os resultados para o cenário de 100 nós com 30MB de disponibilidade de armazenamento e velocidade entre 1 e 21m/s, distribuídos sobre uma área de 20000m × 20000m. Todos os protocolos se mostraram sensíveis à variação do tempo disponível para trajetória da mensagem. Como pode ser observado para tempos de tráfego inferior a 24 horas, o SPW-3, em relação aos demais protocolos, diminui sua taxa de entrega, enquanto aumenta o atraso. Este comportamento reflete o ponto de estagnação do processo de repasse utilizado pela família SPW.

Conforme o tempo aumenta, o *Epidemic* e o PRoPHET diminuem o atraso médio e aumentam a sobrecarga nos nós. O SPW-7 tem a melhor taxa de entrega entre

os demais protocolos para tempos abaixo de 72 horas, a partir deste valor é superado pelo *Epidemic*. De maneira diferente, o atraso do SPW-7 é sempre melhor que dos demais protocolos em todos os cenários, enquanto que a sobrecarga do SPW-3 supera os demais. Isto porque as configurações da quantidade de nós e de vizinhos não extrapolam o tamanho máximo da árvore de replicação para $L = 7$, conforme descrito em [Spyropoulos, Psounis e Raghavendra \(2005\)](#).

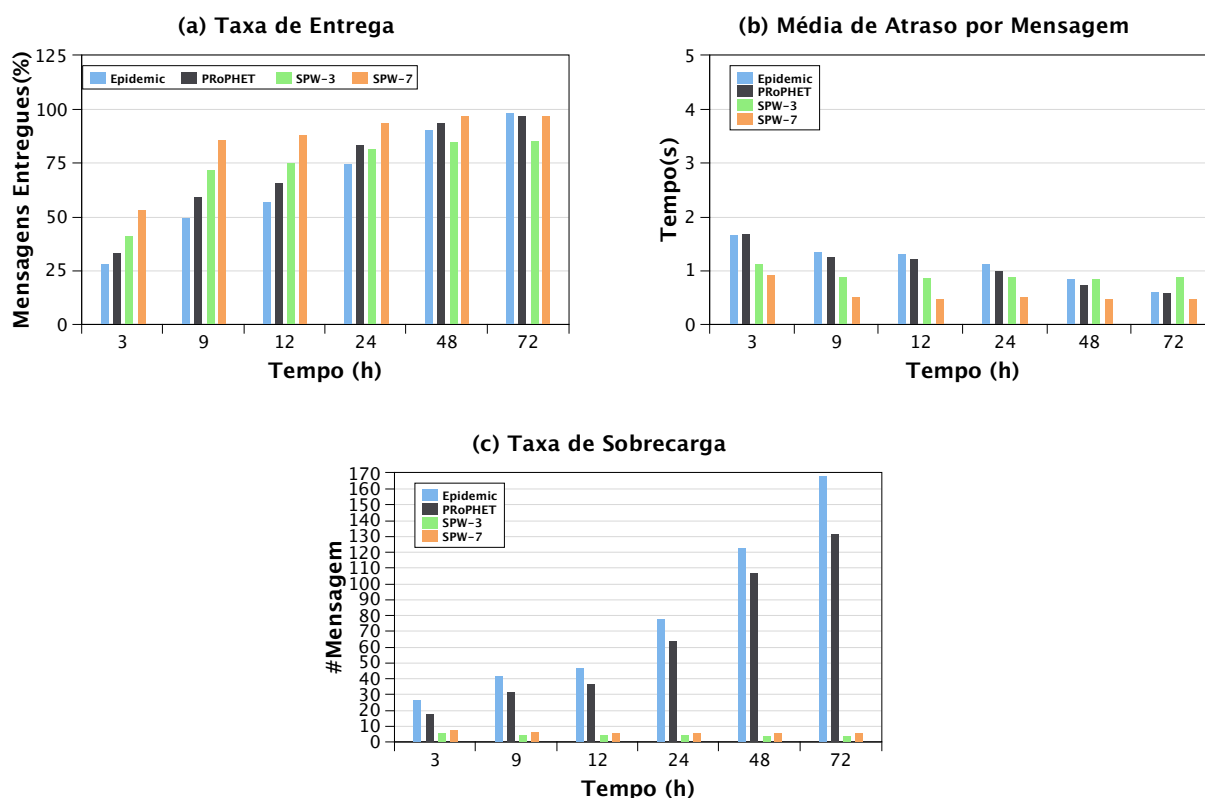


Figura 13 – Tempo de tráfego das mensagens.

Como comentado anteriormente, o limite de tempo para tráfego de uma mensagem está ligado especialmente aos requisitos de uma aplicação, como urgência, e demais parâmetros de um cenário. Dentre eles, o número de cópias da mensagem, tamanho da rota, velocidade dos nós e de transmissão na rede.

O tempo de uso da rede para tráfego da mensagem impacta o contexto quando a mensagem não consegue atingir o destino dadas as condições de recursos necessários. Desta forma, considerando a área de simulação de $20000m \times 20000m$, os resultados das simulações foram divididos em contexto “Alto” para tempo de uso da rede acima de 24 horas, “Médio” acima de 9 até 24 horas e “Baixo” de 3 até 9 horas. A divisão foi baseada nos níveis de descartes e nas taxas de entrega que demonstram a existência ou não de tempo necessário para que as mensagens alcancem o destino.

Pela análise das simulações realizadas, conclui-se que o valor alto de tempo de uso da rede permite que uma mensagem seja armazenada nos nós por tempo

suficiente para que alcance o destino, mesmo em redes esparsas. Portanto, vale ressaltar que quanto maior o tempo residual de uso da rede, maior a média de desempenho. Ao contrário, valores reduzidos de tempo de uso podem provocar o descarte da mensagem prematuramente. Este comportamento é especialmente crítico se os nós descartam mensagens com reduzidas taxas de duplicações, pois resulta em falhas de transmissões.

3.4 CONCLUSÃO

Neste capítulo diversos parâmetros de rede que impactam o desempenho dos protocolos de roteamento padrões para DTN são discutidos e simulados. O desempenho apresentado pelos protocolos evidencia a importância de escolher o protocolo de roteamento adequado ao contexto atual de um cenário de rede para garantir melhores métricas de desempenho.

Os resultados também demonstram que se o contexto de rede é alterado, a escolha de um protocolo pode se tornar ruim. O protocolo com o desempenho mais otimizado em um contexto pode ser o menos favorável a outro. A Tabela 6 resume o comportamento dos protocolos *Epidemic*, PRoPHET, SPW-3 e SPW-7, conforme o desempenho alcançado para cada contexto avaliado.

Pela natureza dinâmica de uma DTN, obter e manter contextos globais torna-se um tanto dispendioso. Os estudos realizados neste capítulo demonstram que contextos locais podem ser eficientemente explorados para melhorar o desempenho dos sistemas.

A partir destas evidências, um novo método de adaptação para o serviço de roteamento em DTN, denominado CARPA, baseado em contextos momentâneos, encontra viabilidade e é apresentado no capítulo seguinte. As parametrizações e heurísticas elaboradas para cada métrica neste capítulo provém o método CARPA com as informações fundamentais para o processo de adaptação.

Tabela 6 – Adequação de protocolos a determinados cenários de rede.

<i>Parâmetro</i>	<i>Métrica</i>	<i>Contexto</i>	<i>Protocolo com Melhor Desempenho</i>
Capacidade de Armazenamento	Entrega	Alta	<i>Epidemic</i>
		Média	PRoPHET/SPW-3/SPW-7
		Baixa	SPW-3
	Atraso	Alta	SPW-3
		Média ~ Baixa	SPW-7
Sobrecarga	Alta ~ Média ~ Baixa	SPW-3	
Densidade	Entrega	Densa ~ Média	SPW-7
		Esparsa	<i>Epidemic</i>
	Atraso	Densa ~ Média	SPW-7
		Esparsa	<i>Epidemic/SPW-7</i>
	Sobrecarga	Densa ~ Média	SPW-3
Esparsa		<i>Epidemic</i>	
Contato Oportunista	Entrega	Alta	SPW-7
		Média ~ Baixa	<i>Epidemic</i>
	Atraso	Alta ~ Média	SPW-7
		Baixa	<i>Epidemic/SPW-7</i>
	Sobrecarga	Alta ~ Média	SPW-7
Baixa		<i>Epidemic</i>	
Velocidade dos Nós	Entrega	Alta	SPW-7
		Média ~ Baixa	PRoPHET
	Atraso	Alta ~ Média ~ Baixa	SPW-7
Sobrecarga	Alta ~ Média ~ Baixa	SPW-3	
Tempo de Uso da Rede	Entrega	Alto	<i>Epidemic/PRoPHET/SPW-7</i>
		Médio ~ Baixo	SPW-7
	Atraso	Alto ~ Médio ~ Baixo	SPW-7
	Sobrecarga	Alto ~ Médio ~ Baixo	SPW-3

4 MÉTODO PARA ADAPTAÇÃO DE PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO A CONTEXTOS REGIONAIS

As redes DTN são um desafio constante para os serviços de roteamento por apresentarem contextos instáveis, principalmente quanto às desconexões frequentes e prolongadas causadas pela mobilidade dos nós. Muitas soluções que visam adaptar a dinamicidade deste tipo de rede ao serviço de roteamento são encontradas na literatura, como descrito no Capítulo 2.3.

Na maioria das propostas de roteamento quando os nós se encontram, as decisões são tomadas de forma individual baseadas no relacionamento do nó encontrado com o destino de uma mensagem, priorizando métricas que expressam apenas a qualidade da entrega e não de um ambiente. As propostas priorizam um contexto geral da rede e não as diversas oscilações oriundas de um trajeto.

Este comportamento atrela o serviço de roteamento a uma forma pré-determinada de disseminação de mensagens, além de única, e a garantia de métricas de desempenho específicas. Portanto, não leva em consideração as características e restrições de diferentes contextos, nem tão pouco, os requisitos da mensagem.

Cada proposta é gerada e evoluída dentro do seu universo, buscando a melhor forma de responder aos prováveis problemas enfrentados nos cenários, na maioria das vezes, previsíveis. Quando estas propostas são avaliadas em cenários para os quais foram elaboradas alcançam desempenhos satisfatórios, porém caso algum comportamento da rede seja modificado, dificilmente o desempenho é mantido. O planejamento de um algoritmo que una os indicadores ideais ainda é considerado um problema de difícil solução, face às inúmeras propostas existentes e à falta de convergência entre elas.

Este capítulo apresenta uma nova solução para prover adaptação a contexto para os protocolos de roteamento em DTN, denominado CARPA (*Context-Aware Routing Protocol Adaptation*). O CARPA é um método autônomo e instantâneo (*on-the-fly*) que utiliza conhecimento de contexto da rede para seleção do protocolo mais otimizado a cada transferência de uma mensagem em DTN. O protocolo de roteamento que apresenta o melhor desempenho para o contexto momentâneo, dentre os protocolos disponíveis nos nós em contato, é utilizado para realizar a transferência da mensagem na região atual. Este processo se repete antes de cada transferência durante todo o trajeto da mensagem até que ela atinja o destino. Desta forma, tem-se um método de desacoplamento entre o protocolo de roteamento e o caminho fim-a-fim da mensagem, além do alcance de melhores taxas para métricas de desempenho global.

As seções deste capítulo encontram-se estruturadas em ordem para descrever

o completo funcionamento do método CARPA. Primeiramente, a Seção 4.1 apresenta o objetivo do método, além de um conjunto de definições e asserções preliminares. A visão geral e as características do método são apresentadas na Seção 4.2. Em seguida, o processamento da descoberta de contexto é descrito na Seção 4.3. A Seção 4.4 apresenta o processo de tomada de decisão a respeito do protocolo mais otimizado para o contexto, que corresponde a parte de adaptação do método. Por fim, as considerações finais são expostas.

4.1 DEFINIÇÕES PRELIMINARES

Alguns estudos demonstram a falta de capacidade dos protocolos para lidar com as variações de contexto (TOURNOUX et al., 2011; CHEN; KOTZ et al., 2000; BOLDRINI et al., 2010; OLIVEIRA; ALBUQUERQUE, 2012; MOTA et al., 2014). Nesta tese, contexto é definido como qualquer informação ou fragmento dela que pode ser usada para descrever o comportamento da rede. Assim, um contexto é composto por um conjunto de pares de atributo-valor de informações que podem impactar no desempenho do roteamento. Formalmente, um contexto é definido como um vetor C de parâmetros $C = (c_1, \dots, c_n)$, no qual $C_i \in C_i$ e $C = C_1 \times \dots \times C_n$ representa o espaço de busca em potencial para um contexto. Alguns exemplos de contextos são restrição na capacidade de armazenamento, densidade da rede, largura de banda, dentre outros e possíveis combinações entre eles.

O contexto de um nó carregador, denotado por $C_{n_{dtn}}$, é atribuído como uma composição de dois conjuntos: α que representa os requisitos de desempenho da mensagem e β o contexto de rede atual coletado localmente durante um período de tempo de contato. α é definido pela origem de cada mensagem e representa os requisitos da mensagem ou da própria aplicação, por exemplo, uma mensagem m deve ser transmitida com o menor atraso possível (urgência). Por outro lado, β é a saída do monitoramento da rede durante um período de contato. Ela é representada pelos parâmetros de estado da rede e contém informações como a largura de banda, tamanho para armazenamento, protocolos de roteamento disponíveis, etc.

Assume-se que o CARPA obtém o estado da rede a partir das informações trocadas pelos nós quando em contato, que por sua vez, podem ser enviadas em *piggyback* em mensagens de anúncio como *HELLO* ou a partir de informações contidas nas tabelas de roteamento, conforme parâmetro e modelo de rede. Portanto, o CARPA não necessita de mensagens extras para o envio de informações, o que o torna uma solução com *baixo custo de comunicação*.

O método CARPA evolui o contexto de rede durante o processo de roteamento. Ele recebe o contexto atual do nó corrente como entrada, e resume o contexto estimado dos nós em contato. Então, avalia as restrições e limites do cenário atual e sugere o

protocolo de roteamento mais apropriado para o contexto, através do comparativo com a capacidade de cada protocolo em atender o contexto avaliado, ou seja, as restrições da região. A decisão é tomada em cada nó carregador antes do repasse da mensagem e atinge as mensagens na fila do nó, bem como todos os nós em contato.

Conforme definido no Capítulo 3, uma mensagem é expressa na forma de uma tupla $m(t_0, s, d, TTL)$. Assim como, uma DTN é representada por um grafo simples $G = (V, E)$ com modelo de funcionamento que pode ser classificado como *best-effort*, principalmente por seu modo de operação sem garantia.

Para o processo de adaptação considera-se que cada nó DTN que possui uma mensagem a ser encaminhada, é capaz de ajustar dinamicamente sua função de roteamento ao protocolo selecionado, independente dos protocolos utilizados dentro da região. Para melhor compreensão este tipo de nó será denominado como nó carregador¹ ou, simplesmente, n_{dtn} .

Os processos do CARPA são realizados em função da mensagem e do relacionamento que mantém com os nós durante uma trajetória, além dos protocolos de roteamento que estes nós dispõem. Assim, é estritamente dependente dos dispositivos e serviços que formam um cenário de rede, bem como, com quem interagem durante o intervalo de observação. O método porém não se limita ao conjunto de contextos apresentados nesta tese, nem tão pouco aos protocolos avaliados.

Outra consideração a ser feita sobre os cenários é que todos os nós cooperam entre si para entrega da mensagem, não se considera nós que se recusam a participar das entregas. Esta é uma consideração típica a protocolos de roteamento em redes móveis.

O CARPA é planejado para suportar comunicação intermitentemente entre os nós, portanto não há um caminho fim-a-fim entre origem e destino quando a mensagem é enviada. Também, a existência do mecanismo de *store-and-forward* é necessária para permitir o processamento do método proposto e a entrega da mensagem.

Desde que o destino de uma mensagem esteja na mesma região de rede que o nó carregador, o CARPA não precisa ser processado. A mensagem é repassada diretamente ao destino pelo uso do protocolo de roteamento padrão da região, evitando desperdício de recursos como armazenamento. Do contrário, se a mensagem não pode ser entregue de forma síncrona, o CARPA é utilizado antes do processo de encaminhamento à próxima região.

O CARPA assume que o nó origem determina os requisitos da mensagem e garante que estas informações possam ser transportadas durante o trajeto. Os requisitos são oriundos das aplicações ou determinados pelo gerente da rede, como

¹ Nó carregador e mula de dados (*data mule*) são considerados sinônimos.

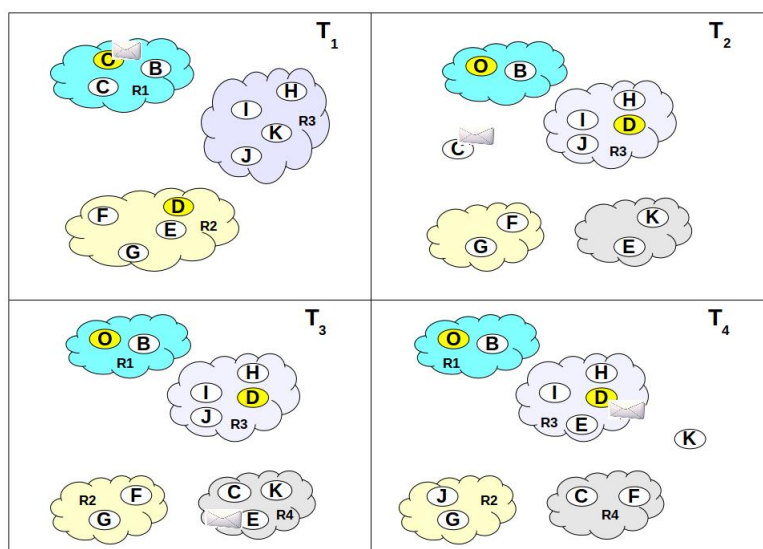


Figura 14 – Rede modelo.

garantia de entrega ou urgência. As seções seguintes apresentam o método CARPA e detalham suas principais características, processos e funcionalidades.

4.2 VISÃO GERAL

As decisões de roteamento processadas pela maioria dos protocolos para DTN adota um algoritmo único de disseminação para todo o trajeto de uma mensagem, independente da abordagem. O método CARPA usa um conjunto de parâmetros que descreve o estado da rede sob a forma de um contexto para alternar decisões e modos de disseminação.

A Figura 14 representa um cenário típico de DTN, no qual várias regiões são formadas em diferentes períodos de tempo conforme o alcance dos nós. Com o objetivo de entender o perfeito funcionamento do CARPA, adota-se este cenário como modelo. Nele, uma mensagem é criada no nó O num instante T_1 , sendo que o seu destino D não se encontra na mesma partição de rede. Conforme os nós se movimentam, alteram seus contatos e, conseqüentemente, a formação das regiões. Assim, a cada período de tempo a rede possui uma formação e regras específicas.

Frequentemente, regiões distintas que se formam em um mesmo período de tempo não se comunicam entre si. Como ilustrado no período T_1 , as regiões R_1 e R_2 que correspondem as regiões origem e destino, respectivamente, só poderão se comunicar perante o deslocamento de um de seus nós.

Decorridos os tempos T_1 até T_4 necessários para que a mensagem seja entregue, o trajeto de exemplo percorrido pela mensagem corresponde ao conjunto

$TJ = \{O, C, E, D\}$. Toda vez que a mensagem participa de uma região, ela passa a sofrer regras específicas impostas por esta região. Assim, o uso de armazenamento persistente se faz necessário para que a mensagem possa percorrer um trajeto até atingir seu destino.

O CARPA é executado em cada nó carregador no momento em que ele passa a fazer parte de uma região DTN, a princípio, como um processo de monitoramento do estado da rede. Após a coleta destas informações, o CARPA responde por processos adicionais para a formação de contexto e definição da adaptação. Portanto, na rede modelo o CARPA pode ser executado nos nós pertencentes ao trajeto completo da mensagem, exceto nos nós origem e destino, tal que $TJ = TJ \setminus \{O_{R_1(\tau_1)}, D_{R_3(\tau_4)}\}$.

A Figura 15 ilustra o modelo do método CARPA, composto por três módulos: *provedor de contexto*, *agente adaptativo*, e *processador de roteamento*. O *provedor de contexto* é responsável por fornecer as informações sobre o estado de rede do nó atual ao *agente adaptativo*. Assim, o *provedor de contexto* deve coletar todo tipo de informação das interfaces da rede, inclusive informações referentes ao usuário e/ou aplicação, conforme política de permissões.

A seleção de parâmetros da rede fica sob responsabilidade do *agente adaptativo*, além do fornecimento do tipo de contexto e tomada de decisão pelo protocolo de roteamento disponível mais adequado. A ideia básica deste módulo é considerar os requisitos da mensagem para decidir o caminho e o uso de recursos. Ele é composto por quatro processos: (a) coletor de informações de contexto, (b) consultor de informações de contexto, (c) identificador de contexto e (d) seletor de protocolo otimizado.

O coletor de informações recebe os parâmetros oriundos do contato entre os nós, inclusive os tipos de algoritmos de roteamento que cada um possui. Por sua vez, o consultor de informações seleciona apenas aqueles parâmetros que impactam no desempenho dos protocolos de roteamento disponíveis. Com base nas medidas registradas para cada parâmetro, uma heurística é aplicada pelo identificador de contexto para classificar o estado instantâneo da região em um contexto.

Posteriormente, o componente seletor de protocolo relaciona o contexto atribuído com um protocolo disponível no nó carregador e receptor e repassa esta decisão ao módulo *processador de roteamento*. Para tanto, cada nó armazena de forma persistente uma relação de adequação dos protocolos a contextos específicos de rede, semelhante à descrição apresentada na Tabela 6. Nesta tese, assume-se que o conjunto de protocolos armazenado corresponde aos protocolos de roteamento padrões para DTN, os quais não são alterados pelo CARPA e encontram-se disponíveis nos nós da rede. Quando o *processador de roteamento* é informado da decisão do *agente adaptativo*, ele configura o protocolo de roteamento selecionado como o protocolo ativo para a janela de contato.

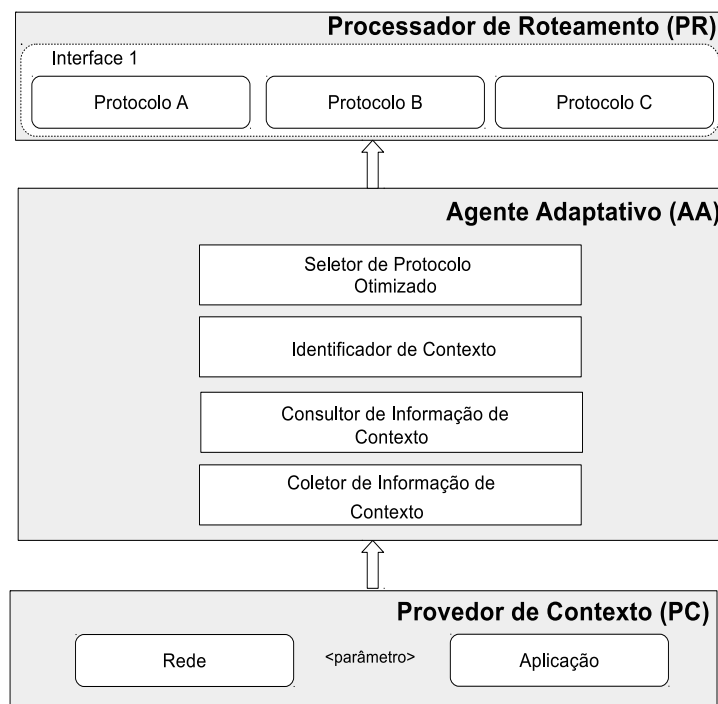


Figura 15 – Arquitetura do método CARPA.

Para exemplificar a execução dos processos, considera-se novamente a rede modelo da Figura 14 em sua formação no tempo T_3 . O nó C coleta de seus vizinho K e E , as informações atuais do estado da rede, como capacidade de armazenamento de cada nó, velocidade, vizinhos a um salto, dentre outros, inclusive quais protocolos de roteamento estão disponíveis. Como comentado anteriormente, os parâmetros são obtidos a partir de mensagens de anúncio entre os nós ou de registros de roteamento.

De posse dos parâmetros atuais da região, C processa o *agente adaptativo* que tem como saída um protocolo p_1 . C usa o algoritmo de roteamento selecionado para encaminhar as mensagens em sua fila de saída para os nós com quem tem contato, portanto, dependendo do protocolo selecionado, os nós E e K poderiam receber a mensagem. Posteriormente, considerando-se que o nó E esteja com a mensagem e que se desloca passando a fazer parte da região R_3 no tempo T_4 , este propicia a entrega da mensagem ao destino.

Caso o nó E visitasse uma região então sem contato com o nó destino, ele obrigatoriamente deveria processar o *agente adaptativo* antes do encaminhamento da mensagem. De modo diferente, considerando que durante T_3 o nó C alcançou contato também com nós de R_3 , as decisões seriam influenciadas pelo estado desta região e, após o processamento do CARPA, a mensagem atingiria os nós em R_3 .

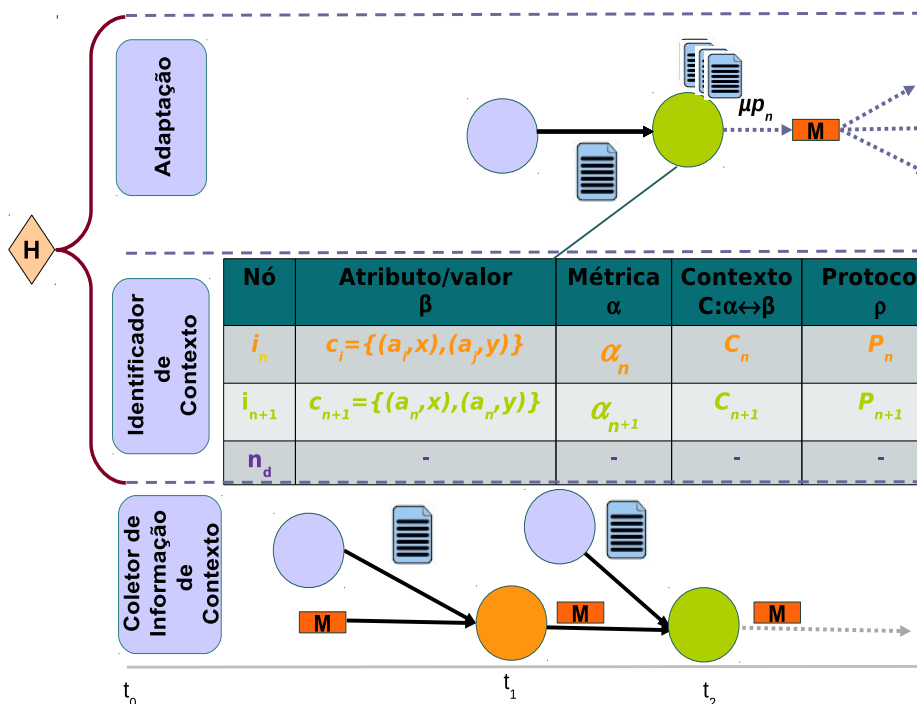


Figura 16 – Processamento de contexto.

4.3 ATRIBUIÇÃO DE CONTEXTO

O processamento do CARPA compreende considerar os requisitos da mensagem e o estado da rede para decidir o caminho e o uso de recursos. Toda e qualquer decisão do método está atrelada à modelagem de uma heurística com capacidade para guiar os processos através do espaço de busca. No escopo desta tese, uma heurística tem por finalidade detectar e quantificar os parâmetros relevantes de um cenário, para então definir um contexto momentâneo da rede e tomar decisões acerca do algoritmo de roteamento mais otimizado, desde que considerados os requisitos da mensagem.

A Figura 16 resume a derivação da heurística padrão chamada (H), a qual guia a seleção de parâmetros para formar um contexto a partir de uma função de utilidade da rede. Todo nó DTN constrói seu contexto através de parâmetros instantâneos coletados pelo processo *coletor de informações de contexto*.

No *identificador de contexto*, a heurística relaciona a visão que tem da rede com os limites de valores para os parâmetros dentro dos quais cada protocolo garante um determinado desempenho. O CARPA considera verdadeira a premissa que o nó DTN possui um conjunto de mais de um protocolo de roteamento disponível, denominado \mathcal{P} . Cada protocolo representado pelo vetor $p \in \mathcal{P}$ tem limites diferenciados para diversos contextos de rede, a fim de garantir métricas específicas de desempenho, como ilustrado na Figura 17. Para o CARPA, p é selecionado a partir de uma tabela previamente definida.

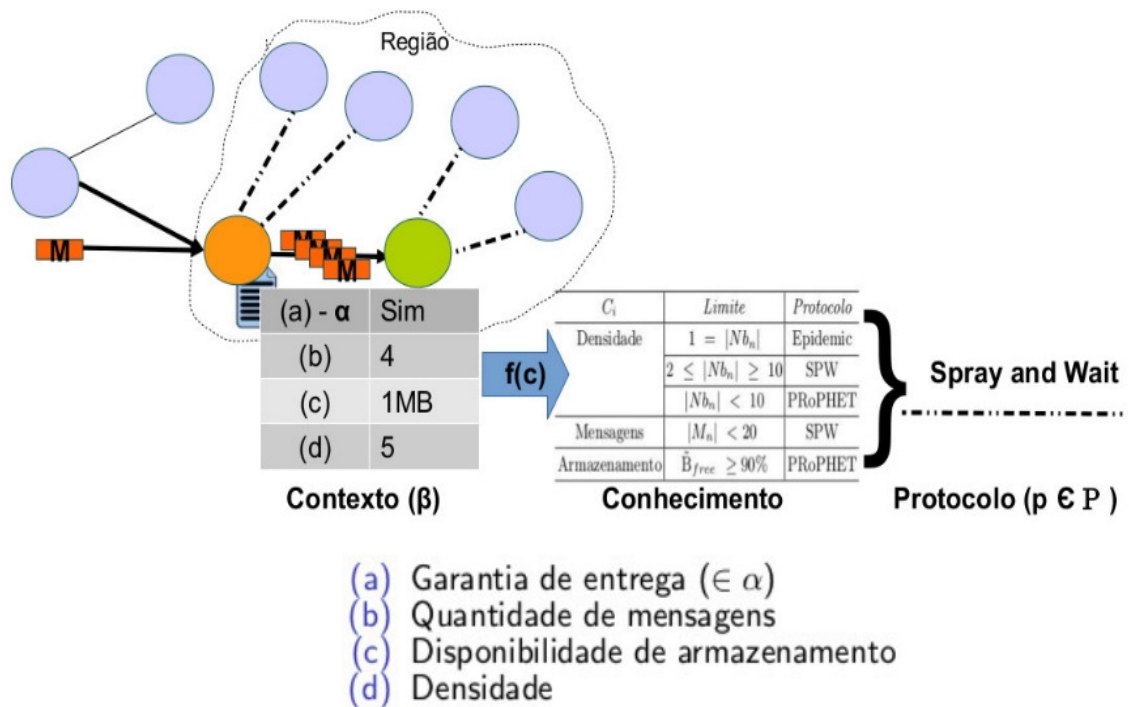


Figura 17 – Execução do CARPA.

O Algoritmo *CARPA 1* detalha os procedimentos para atribuição de contexto realizados pelo processo *identificador de contexto*. Toda vez que um nó carregador se desloca e passa a fazer parte de uma nova região, ele monitora o estado atual da rede e gera o conjunto β com pares atributo-valor dos parâmetros lidos. O estado da rede diz respeito aos parâmetros coletados de cada vizinho ao alcance do nó carregador a um salto, representado no algoritmo por $\beta_{n_{ctn}}$ (I.13). O nó carregador executa este algoritmo durante uma janela de tempo e após trocar informações de anúncio com seus vizinhos imediatos.

Cada parâmetro do estado da rede e seus valores é então comparado aos limites de atribuição de contexto para os protocolos em \mathcal{P} (I.16 e I.17). Desta forma, os parâmetros são enquadrados em uma atribuição, por exemplo, a região passa a ser considerada densa ou esparsa devido a quantidade de nós encontrados. Outra atribuição que a região pode receber é quanto a percepção da capacidade de armazenamento, a qual pode ser definida como restrita ou não para este parâmetro. Para que a atribuição de contexto se torne mais autônoma, o uso de um método para adotar pesos aos parâmetros de contexto, de acordo com seus valores, torna-se uma opção viável. Além de possibilitar que o aprendizado possa ser inserido aos processos do CARPA.

Algoritmo CARPA 1 - Atribuição de contexto do estado da rede

```

Input: Vetores de estado da rede:  $\beta = \{b_1, \dots, b_n\}$  /* ▷ (parâmetro-valor) */
1 Tuplas com limites de  $\beta$  para  $\mathcal{P}$ :  $L\beta$  /* ▷ (parâmetro,limite,atribuição, protocolo) */
2 Intervalo de tempo:  $T = \{t_1, \dots, t_n\}$ 
3 Conjunto de mensagens:  $M = \{m_1, \dots, m_n\}$ 
4 Conjunto de vizinhos:  $Viz = \{v_1, \dots, v_n\}$ 
5 Nó carregador:  $n_{dtn}$ 
6  $n_{dtn} \neq n_d$ ; /* ▷ nó carregador não é o destino */
Output: Atribuição do estado atual da rede:  $\beta_{t'} = \{(b_1, atb_1), \dots, (b_n, atb_n)\}$  /* ▷ (parâmetro, atribuição) */
*/

7  $C \leftarrow \{\}$ ;
8  $T \leftarrow t$ ;
9  $L\beta \subseteq \beta$ ;
10 while ( $t < t + 1$ )  $\wedge$  ( $n_{dtn} \in NovaRegiao$ )  $\wedge$  ( $n_d \notin NovaRegiao$ ) do
11   if ( $M_{n_{dtn}} \neq \{\}$ )  $\wedge$  ( $|Viz_{n_{dtn}}| > 0$ ) then
12     foreach  $v_i \in Viz_{n_{dtn}}$  do
13        $\beta_{n_{dtn}} \leftarrow \beta_{v_i}$ ; /* ▷ nó carregador recebe visão de rede dos vizinhos */
14     foreach  $b_i \in \beta_{n_{dtn}}$  do
15       if  $MAX(L\beta.b_i) \leq \beta_{n_{dtn}}.b_i \leq MIN(L\beta.b_i)$  then
16          $\beta_{t'} \leftarrow (b_i, atb_i)$ ; /* ▷ avalia limites dos parâmetro de  $\beta$  para atribuição */
17         /* ▷ adiciona parâmetro e atribuição ao estado atual */
18        $t ++$ ;

```

4.4 ADAPTAÇÃO AO CONTEXTO ATUAL

O CARPA objetiva a adaptação pelo uso do protocolo mais otimizado ao contexto, desde que o requisito da mensagem não seja violado. Esta decisão expressa a capacidade de adaptação do método proposto. A classificação feita pelo *identificador de contexto* torna-se entrada para o módulo *seletor de protocolo otimizado*.

Para cada atribuição de contexto obtida, o módulo *seletor* filtra o protocolo com melhor desempenho de acordo com o contexto e o requisito da mensagem. Este processamento completa a heurística (*H*) do CARPA, tratado conforme mostra o Algoritmo *CARPA 2*. Nesta tese, assume-se que o requisito está disponível nas mensagens, conforme descrito na Seção 2.1 e Seção 4.1, seja através da especificação de sua classe de prioridades ou políticas da rede.

Para um melhor entendimento, considera-se como exemplo um contexto de rede atribuído como densidade esparsa. O processo *seletor* filtra o protocolo com maior desempenho para a densidade (1.6 a 1.10) se sua métrica neste contexto for o requisito da mensagem, por exemplo urgência. O protocolo que atende estas condições torna-se o protocolo mais otimizado para o CARPA que repassa esta informação ao processo *processador de protocolo*.

Diferente das propostas de protocolos de roteamento descritas no Capítulo 2.3, o método CARPA não usa probabilidade de contexto para tomada de decisão, devido a seu propósito de servir também a redes totalmente imprevisíveis e a economia de recursos. O CARPA assume contextos baseado apenas nos valores locais e atuais dos parâmetros de rede, com isso não necessita guardar dados históricos. Cada nó calcula

seus parâmetros locais e de seus vizinhos e os enquadra em atribuições de contexto e melhor desempenho dinamicamente, sem ser necessária nenhuma alteração no protocolo de roteamento.

O CARPA registra todas as ocorrências de protocolos no conjunto de contexto atual ($C_{t'}$) (I.7), portanto é factível a existência de vários protocolos para um mesmo contexto devido ao foco em diferentes métricas. O tratamento destas duplicidades se torna necessário para que apenas um protocolo seja repassado ao próximo módulo. Surge então o problema de combinar os resultados, dados alguns objetivos ou comportamentos conflitantes. Esta é uma conduta comum aos processos de otimização com vários objetivos (KEENEY; RAIFFA, 1993).

Algoritmo CARPA 2 - Decisão de contexto no nó carregador

```

Input: Estado atual da rede:  $\beta_{t'} = \{(b_1, atb_1), \dots, (b_n, atb_n)\}$  /* ▷ (parâmetro, atribuição) */
1 Conjunto de protocolos do nó:  $\mathcal{P} = \{p_1, \dots, p_n\}$  /* ▷ (parâmetro, atribuição, desempenho, protocolo) */
2 Conjunto de requisitos da mensagem:  $\alpha = \{(m_1, req_1), \dots, (m_n, req_n)\}$ 
3 Conjunto de mensagens:  $M = \{m_1, \dots, m_n\}$ 
4 Nó carregador:  $n_{dn}$ 
5  $dsp = req$ 
Output: Contexto atual:  $C_{t'}$  Protocolo mais otimizado:  $p_{opt}$ 
6 foreach  $b_i \in \beta_{t'}$  do
7    $(b_i, atb_i, dsp_i, p_i) \leftarrow \beta_{t'}.(b_i, atb_i) == \mathcal{P}.(b_i, atb_i);$  /* ▷ retorna protocolo otimizado por contexto */
8    $C_{t'} \leftarrow (b_i, atb_i, dsp_i, p_i);$ 
9   foreach  $((m_i, req_i) \in \alpha)$  do
10    if  $\alpha.req_i == C_{t'}.dsp_i$  then
11       $p_{opt} \leftarrow C_{t'}.p_i;$  /* ▷ seleciona protocolo por desempenho */

```

Como exemplo, assume-se o resultado de uma filtragem com métrica de desempenho máxima entrega tal que, o *Epidemic* é selecionado como protocolo otimizado para o contexto de densidade esparsa e o SPW para a restrição de armazenamento. Neste escopo, o *Epidemic* é a escolha pela busca de alcançar a maior quantidade de nós e garantir que a entrega seja realizada. Por outro lado, o SPW objetiva que a busca seja feita com economia de recursos devido ao seu controle de replicação. Ambos os protocolos são incluídos em $C_{t'}$. Como resultado tem-se um conjunto de protocolos otimizados para a adaptação da região atual, cada um selecionado dentro de uma métrica.

Normalmente é necessário um critério adicional para gerenciamento de decisões e objetivos. Em muitas situações cabe a um especialista decidir, ou algum critério pode ser adotado para que se diferencie as soluções do conjunto. Técnicas como as baseadas em prioridades lidam com conflitos de objetivos através de decisões que equilibram valores incertos (KEENEY; RAIFFA, 1993).

Segundo Henricksen e Indulska (2006) e Bettini et al. (2010), um modelo de contexto deve capturar dentre outros: (a) relacionamentos e dependências, (b)

heterogeneidade e mobilidade, e (c) medidas momentâneas e imprecisões de medidas. A definição de uma função de utilidade representa uma solução viável para conflitos por apresentar mecanismos de priorização, geralmente pela atribuição de pesos aos parâmetros. Embora não tenha sido possível incluir esta abordagem nos objetivos desta tese, o uso de métodos de aprendizagem configuram-se como trabalhos futuros para tomada de decisão.

Para contornar a ocorrência de mais de uma solução “ótima” a respeito do protocolo, uma decisão por tipo de requisito da mensagem é aplicada pela heurística do CARPA. Como o CARPA não aplica pesos, a decisão é por regra simples de ordenação, e se necessário, precedência. A ordenação consiste em optar pelo desempenho de maior preferência das mensagens, ou seja, pelo protocolo que tenha maior competência em atender o requisito mais frequente no contexto da região.

Assim, a ordenação leva em conta a quantidade disponível de cada requisito dividido pela soma da disponibilidade de todos. Conforme definição na Equação 4.1, onde $Ordem$ representa a média do número de vezes que um requisito (req_i) participou da filtragem do protocolo, $|\alpha|$ a quantidade total de requisitos das mensagens. Por exemplo, dado que a maior incidência de requisitos para as mensagens seja entrega, esta torna-se o fator de decisão para o protocolo com maior competência em garantir entrega sob o contexto de rede.

Vale lembrar que um contexto também pode ser formado pela combinação de vários requisitos e por dois ou mais parâmetros. Para estes casos e em havendo empate para ordenação, o método usa precedência ($entrega \prec urgência \prec sobrecarga$). De forma que a primeira escolha é pelo requisito entrega, o qual torna possível a ocorrência das demais e, em sequência, a precedência é dada à urgência.

$$Ordem_{req_i} = \frac{\sum req_i}{|\alpha|} \quad \text{onde} \quad \begin{cases} 1, & \text{se } req_i \in C_r \\ 0, & \text{senão.} \end{cases} \quad (4.1)$$

Embora nesta tese se considere três métricas de desempenho que são: garantia de entrega, urgência (atraso) e sobrecarga para tomada de decisão, o CARPA não se limita somente a elas. Um conjunto maior de métricas pode ser incluído sem alteração do método, desde que previamente relacionadas ao comportamento dos protocolos existentes. O resultado de um contexto para o método CARPA é portanto definido por uma heurística (H), conforme Expressão 4.2, que expressa uma função composta por requisitos, parâmetros e protocolos.

$$H_{CARPA} : \alpha \rightarrow (\beta \rightarrow \mathcal{P}) \Rightarrow C \quad (4.2)$$

A função gera atribuições para o estado da rede (β), conforme o desempenho registrado para cada protocolo $p \in \mathcal{P}$ sob os mesmos limites da rede, e após para as métricas de desempenho requeridas pelas mensagens (α). Assim, a heurística gera um contexto de roteamento que preza pelo *trade-off* entre desempenho e restrição.

4.5 CONCLUSÃO

Este capítulo apresentou o CARPA (*Context-Aware Routing Protocol Adaptation*), um método para garantir requisitos da mensagem e melhorar o desempenho da rede pela troca autônoma entre protocolos de roteamento, conforme contextos se formam durante a trajetória de uma mensagem. O método permite que uma mensagem possa ser transferida entre origem e destino utilizando diversos protocolos de roteamento, se necessário, um diferente a cada oportunidade de transferência. Desta forma, o método desacopla a existência de apenas uma forma de disseminação durante um trajeto entre origem e destino.

Inicialmente, os processos do CARPA verificam os parâmetros de rede que impactam o desempenho dos protocolos disponíveis em um nó carregador e buscam alternativas para contornar fraquezas detectadas. De maneira que apenas o protocolo com melhor desempenho para o contexto evoluído é aplicado à região. Contudo, a tomada de decisão leva em consideração, além da capacidade do protocolo no contexto, também que sua aplicação não viole os requisitos da mensagem.

Toda vez que um nó participa de uma nova região, antes de processar o repasse das mensagens em sua fila de saída, ele executa o CARPA para selecionar a melhor forma de disseminação da mensagem para os nós com os quais tem contato. O funcionamento do método é baseado em três processos principais para evoluir o contexto instantâneo da rede e tomar decisões sobre o roteamento. Sendo eles o *provedor de contexto* que fornece a leitura dos parâmetros de rede, o *identificador de contexto* que recebe as informações, processa o contexto e toma decisões sobre que disseminação a ser usada e, por fim, o *processador de roteamento* que executa o protocolo selecionado.

O contexto é evoluído dinamicamente durante o processo de roteamento pela adequação dos parâmetros atuais lidos da rede a padrões de comportamento dos protocolos. Embora o método proposto necessite de classificação prévia dos padrões de comportamento dos protocolos mediante contextos, este processo é estático e escalável por fazer parte do raciocínio do método. O CARPA permite que qualquer protocolo de roteamento possa ser inserido em suas tomadas de decisão, sem que nenhuma alteração no funcionamento do protocolo seja necessária.

O próximo capítulo apresenta a avaliação de desempenho do método CARPA.

A partir dos resultados obtidos no Capítulo 3 fica evidente que cada protocolo tem suas vantagens e limitações dependendo do cenário de rede a que são expostos. Então, a habilidade para escolher o melhor protocolo para cenários instantâneos (contexto) leva a um enorme avanço e minimiza os pontos fracos de cada protocolo, como será mostrado no próximo capítulo.

5 ANÁLISE DE DESEMPENHO DO MÉTODO CARPA

Este capítulo apresenta a avaliação de desempenho do método CARPA para DTN. Esta análise avalia a viabilidade do método e demonstra que para alcançar um desempenho otimizado em cenários dinâmicos, a melhor opção é o uso de combinação entre protocolos de roteamento.

Assim, os resultados das simulações apoiam e demonstram os princípios e decisões adotados na proposta. O objetivo aqui não é argumentar a favor de protocolos específicos, mas sim demonstrar a validade da adaptação por alternância dinâmica de protocolos de roteamento, a fim de obter desempenhos otimizados em cenários com oscilações de contextos.

As próximas seções apresentam: (i) descrição dos experimentos realizados com o método CARPA; (ii) resultados das simulações; (iii) avaliação de desempenho do método em comparação à execução dos protocolos de roteamento acoplados ao trajeto, tanto para parâmetros individuais quanto para combinações de diferentes contextos do estado da rede; (iv) considerações finais.

5.1 CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO

Nesta seção discutem-se os cenários de simulação utilizados para a análise de desempenho do método CARPA. Inicialmente, para atender as premissas do CARPA, o conhecimento do desempenho dos protocolos utilizados pelos nós em contato é levantado. O conhecimento utilizado é decorrente da observação de aproximadamente 4.150 cenários, tendo como base a combinação dos parâmetros descritos na Tabela 7 e os protocolos de roteamento *Epidemic*, PRoPHET, SPW-3 e SPW-7.

O desempenho de cada protocolo é representado na forma de um contexto que expressa seu comportamento mediante um estado da rede e um requisito da mensagem. Nesta tese, o estado da rede é representado pelos parâmetros capacidade de armazenamento, densidade, velocidade do nó, quantidade de contatos e período de uso da rede. Já os requisitos compreendem as métricas de desempenho maior taxa de entrega, menor atraso e menor sobrecarga. Cada contexto é delimitado por uma atribuição que expressa haver restrição ou não de recursos na rede mediante específica configuração de um cenário. Os contextos utilizados pelo CARPA são atribuídos conforme a descrição apresentada na Tabela 8.

Ainda como parte da heurística do CARPA, é necessária a correta relação entre a atribuição do contexto, o requisito da mensagem e o desempenho alcançado pelos protocolos. Nestes experimentos são utilizadas as relações construídas e apresentadas

Tabela 7 – Parâmetros dos cenários.

Parâmetros	Valores
Área ($m \times m$)	800 \times 800, 1000 \times 1000, 1500 \times 1500, 2000 \times 2000, 5000 \times 5000, 10000 \times 10000, 20000 \times 20000, 40000 \times 40000
Duração (seg)	10800, 32400, 43200, 89400, 172800, 259200
Número de Nós	30, 100, 120, 200
Armazenamento(MB)	1, 2.5, 5, 10, 20, 30, 600
Tamanho da Mensagem(KB)	1, 100, 200
Raio de Transmissão(m)	50, 150
TTL (min)	10, 100, 1000

na Seção 3.4, Tabela 6, as quais expressam o conhecimento de contexto armazenado no oráculo e são resultantes das inúmeras simulações realizadas. Nesta tese, o oráculo foi construído através de uma tabela *HASH*, sem capacidade de adaptação a novos parâmetros de rede ou protocolos. Para que o conhecimento pudesse ser aprendido em tempo de execução, métodos de aprendizagem precisariam ser incluídos ao oráculo.

Para avaliar a eficiência do método proposto é necessário que os resultados sejam decorrentes de cenários diversificados. Embora, o modelo de movimento seja único para todos os cenários como justificado no Anexo D, assim o CARPA é aplicado a cenários oportunistas e não previsíveis, através do modelo de movimento RW. As decisões aplicadas para cada cenário são baseadas nas informações do contexto instantâneo e nos protocolos disponíveis nos nós em contato. As simulações são realizadas usando uma versão estendida do simulador The ONE, na qual cada nó carregador executa o CARPA quando a entrega direta ao destino não é possível.

Os cenários são decorrentes de configurações combinadas a partir dos valores especificados na Tabela 7. Os nós se movem pelo mapa da cidade de Helsinki sem percursos definidos com variação na movimentação dos nós, alterando a média de conexões. Portanto, tem-se áreas densas ou esparsas, cenários com e sem restrições que proporcionam situações variadas para o processo de avaliação.

As mensagens são geradas por origens aleatórias em intervalos de 1 a 80 segundos, até que alcancem um montante aproximado de 6600 mensagens, ou conforme necessidade do contexto a ser considerado. Os nós pertencentes à rede são móveis com interfaces WiFi 802.11 e raio de transmissão de 50m a 150m, da mesma forma que os cenários da Seção 3.3.

Tabela 8 – Atribuição de contextos delimitados por parâmetros da rede.

Parâmetro	Atribuição	Limite
Armazenamento	Alto	600MB
	Médio	30MB
	Baixo	1MB
Densidade	Alta	$ Viz > 7 \text{ nós/m}^2$
	Média	$4 \leq Viz \leq 7 \text{ nós/m}^2$
	Baixa	$1 \leq Viz \leq 3 \text{ nós/m}^2$
# Contatos	Alta	≥ 2000 contatos
	Média	[50 - 2000] contatos
	Baixa	≤ 50 contatos
Velocidade	Alta	[10m/s - 21m/s] ou [20m/s - 21m/s]
	Média	[1m/s - 21m/s]
	Baixa	[1m/s - 11m/s]
Tempo Vida da Rede	Alta	≥ 24 horas
	Média	[9 - 24] horas
	Baixa	[3 - 9] horas

Com o objetivo de compor um trajeto diversificado para as mensagens, cada cenário descrito nos conjuntos de simulações deste capítulo compreende uma combinação de vários contextos agrupados de forma aleatória. Assim, em cada cenário, denominados *C1*, *C2*, *C3*, *C4* e *C5*, foram utilizadas combinações diferenciadas entre contextos que representam altas, médias ou baixas restrições de recursos. A denominação *C1* descreve um cenário com apenas um contexto de rede, por sua vez, *C2* representa duas combinações, assim sucessivamente, até *C5* que indica a combinação de cinco contextos.

5.1.1 Protocolos para Comparações

O ponto inicial de funcionamento do CARPA envolve a definição dos protocolos de roteamento disponíveis nos nós da rede. A partir dos protocolos é construído o oráculo de conhecimento sobre o desempenho de cada um. A maioria das propostas de roteamento para DTN que surgem, sejam elas cientes ou não de contextos, exploram a capacidade de desempenho que apresentam em comparação a pelo menos um dos protocolos considerados parametrizados para DTN. Os quais compreendem *Epidemic*, PRoPHET e SPW, este último geralmente com configuração $L = 3$. A partir destas considerações, torna-se um fluxo natural utilizar estes protocolos como fatores de evoluções e combinações para avaliar os resultados desta proposta.

Desta forma, os cenários para experimentos compreendem: (i) uso exclusivo do protocolo *Epidemic*; (ii) uso exclusivo do protocolo PRoPHET; (iii) uso exclusivo do protocolo SPW-3; (iv) uso exclusivo do protocolo SPW-7; (v) uso do método CARPA. Sendo que cada nó ao usar o CARPA escolhe o protocolo que melhor se adequa ao contexto de cada transmissão, dentre os usados de forma exclusiva (*Epidemic*, PRoPHET, SPW-3 e SPW-7).

5.1.2 Escolha de Parâmetros e Requisitos

Conforme análise realizada no Capítulo 3, adota-se os parâmetros capacidade de armazenamento, densidade da rede, quantidade de contato, velocidade de deslocamento dos nós e tempo máximo de uso da rede (tempo de simulação) para experimentos do método CARPA. Vale ressaltar que a escolha se deve ao impacto que causam aos protocolos e, principalmente, pela possibilidade de leitura instantânea de seus valores, sem onerar os recursos existentes. Portanto, as informações discriminadas para cada protocolo na Tabela 6 são utilizadas como conhecimentos necessários para definição dos contextos de desempenho dos protocolos, bem como para avaliação do CARPA.

A consideração a respeito do desempenho dos protocolos está relacionada diretamente com a seleção de métricas que representam os requisitos das mensagens. Para as simulações são fixadas as seguintes métricas: máxima entrega, mínimo atraso e mínima sobrecarga.

5.2 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Esta seção apresenta a avaliação do comportamento e desempenho do método CARPA quando comparado ao uso exclusivo de um dos protocolos *Epidemic*, PRoPHET, SPW-3 e SPW7 durante todo o trajeto de uma mensagem. Os resultados apresentados foram obtidos a partir de diversas simulações realizadas para cada combinação de

parâmetros, como quantidade de nós, tamanho da área ou da mensagem, conforme descrição na Tabela 7.

Para avaliar o desempenho do CARPA, os contextos foram aleatoriamente combinados a fim de compor cenários com oscilações abruptas. Cada cenário é escolhido pelo impacto que os parâmetros provocam no desempenho dos protocolos de roteamento, resultando em diferentes contextos com oscilações de recursos.

As subseções a seguir apresentam os resultados agrupados por oscilações dos parâmetros capacidade de armazenamento, densidade, velocidade de deslocamento dos nós, quantidade de contato e período de uso da rede. Por fim, são apresentados os resultados para cenários com combinações de oscilações entre estes parâmetros.

5.2.1 Efeito da Variação na Capacidade de Armazenamento

O primeiro conjunto de simulações analisa o comportamento dos protocolos e do método sob o efeito da variação na capacidade de armazenamento dos nós. Os cenários foram construídos para compor contextos com baixa, média e alta capacidade de armazenamento, distribuídos em cinco cenários diferentes combinados aleatoriamente. De modo que, no mínimo, uma alteração na disponibilidade de armazenamento é introduzida para compor um contexto diferenciado no trajeto da mensagem.

Com o objetivo de isolar o impacto do parâmetro capacidade de armazenamento cada um dos quatro protocolos de roteamento e o método CARPA foram avaliados em 216 diferentes contextos a partir de combinações dos valores da Tabela 7.

Tabela 9 – Parâmetros para o cenário 1.

Parâmetros	Valores
Área ($m \times m$)	10000 \times 10000
Duração (seg)	259200
Número de Nós	100
Armazenamento(MB)	1, 30, 600
Tamanho da Mensagem(KB)	100
TTL (min)	1000

A Figura 18 mostra o efeito da variação na capacidade de armazenamento para uma combinação de cenários quanto às métricas de desempenho taxa de entrega, menor atraso e sobrecarga. Com o objetivo de isolar o impacto do parâmetro capacidade de armazenamento, os cenários de simulação foram definidos conforme a Tabela 9, com raio de transmissão de 150m. A quantidade de mensagens é fixada em 6411 mensagens, geradas em intervalos de 1 a 80 segundos, para refletir uniformidade à carga de armazenamento para o tempo de simulação. A respeito do nível de armazenamento, um contexto é considerado de baixa capacidade quando cada

nó utiliza apenas 1MB para armazenar todas as mensagens. A atribuição de média capacidade é feita para o uso de 30MB e alta para 600MB de armazenamento. A Tabela 10 descreve duas combinações diferentes para cada um dos cinco cenários. As combinações são referentes a cinco cenários compostos aleatoriamente a partir de combinações de diferentes contextos sobre armazenamento, ou seja, somente o parâmetro de capacidade de armazenamento é alterado. Os protocolos e o CARPA são executados sobre cada um dos cenários e os resultados mostrados na Figura 18 e Figura 19.

Tabela 10 – Combinação de contextos para o cenário 1.

Cenário	Capacidade de armazenamento	Cenário	Capacidade de armazenamento
C1	Alta	C1.1	Média
C2	Baixa → Alta	C2.1	Alta → Média
C3	Média → Baixa → Baixa	C3.1	Baixa → Média → Alta
C4	Baixa → Baixa → Alta → Baixa	C4.1	Alta → Média → Baixa → Alta
C5	Média → Baixa → Média → Alta → Alta	C5.1	Alta → Média → Baixa → Média → Baixa

Os resultados dos experimentos demonstram que o uso do método CARPA gera um aumento na taxa de entrega de mensagens comparado ao uso dos demais protocolos, como mostra a Figura 18(a). Este comportamento se deve à capacidade do método em escolher o melhor protocolo para cada contexto. Além de que, o desempenho do CARPA aumenta conforme aumentam as variações de contexto. O cenário C5 demonstra esta capacidade do método, nele são registrados cinco contextos aleatoriamente alternados, no qual o CARPA é capaz de entregar $71 \pm 0, 14\%$ das mensagens criadas, enquanto o *Epidemic* entrega $17 \pm 0, 18\%$, o P_{Ro}PHET $62 \pm 0, 20\%$, o SPW-3 $55 \pm 0, 11\%$ e o SPW-7 $25 \pm 0, 10\%$.

No cenário C3, por sua vez, prevalecem os contextos de baixa capacidade de armazenamento, porém o desempenho do CARPA continua se destacando em relação aos demais. Neste cenário ele consegue entregar $59,17 \pm 0, 13\%$ das mensagens em comparação ao *Epidemic* que entrega $3,54 \pm 0, 08\%$, o P_{Ro}PHET $56,20 \pm 0, 07\%$, o SPW-3 $52,20 \pm 0, 11\%$ e o SPW-7 $7,53 \pm 0, 10\%$. Percebe-se que todos sofrem com a restrição de armazenamento e, conseqüentemente, com o descarte das mensagens que atinge uma média de 15,6% das mensagens criadas quando o contexto de armazenamento é baixo.

Na Figura 18(a), a coluna CARPA-ATR¹ representa o desempenho do CARPA quando a prioridade da mensagem deixa de ser a melhor entrega e passa a ser o menor atraso. Como pode ser observado, mesmo quando a prioridade é alterada o CARPA continua garantindo o melhor desempenho, tanto para melhor entrega quanto menor atraso em comparação ao uso exclusivo dos demais protocolos.

¹ Atraso.

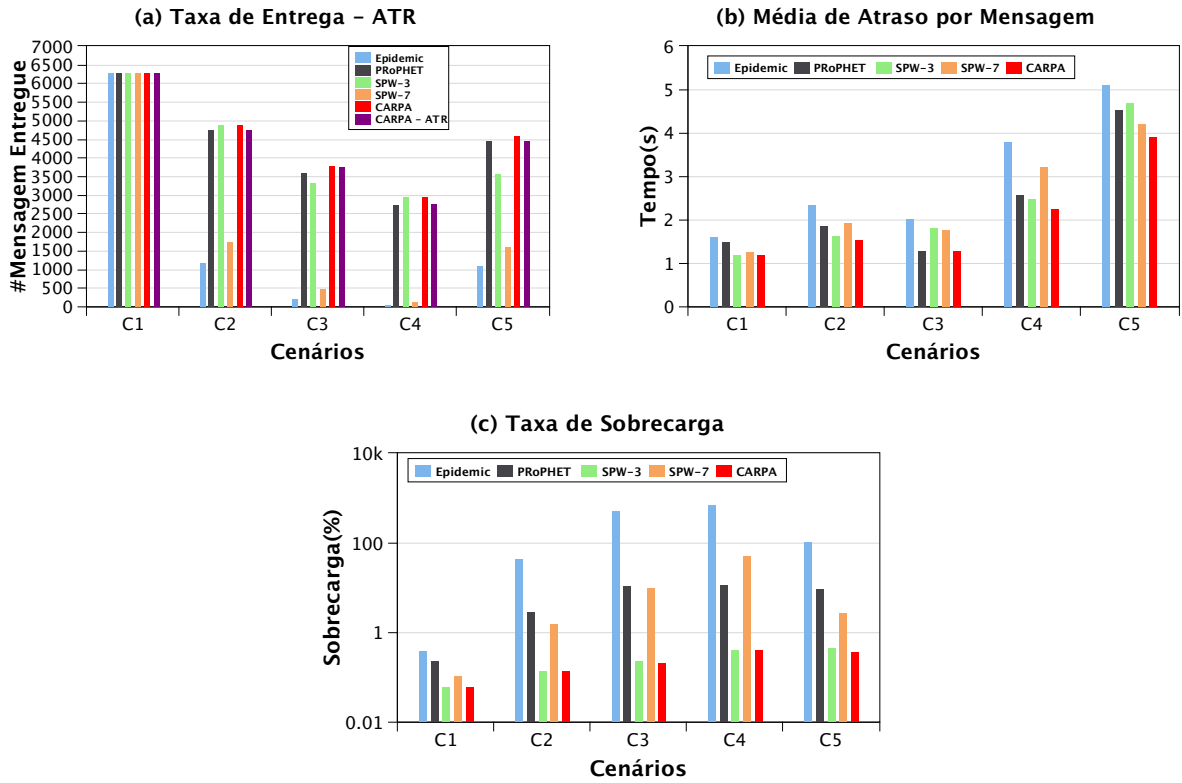


Figura 18 – Impacto da capacidade de armazenamento.

A Figura 19 demonstra que mesmo se diferentes combinações de contextos são registradas em cada cenário, o CARPA, no mínimo, iguala seu desempenho aos melhores protocolos para os cenários quanto à taxa de entrega. Conforme as variações de contextos aumentam, o CARPA torna-se mais eficiente superando os demais protocolos. Os resultados apresentados referem-se ao segundo conjunto de cinco cenários descritos na Tabela 10.

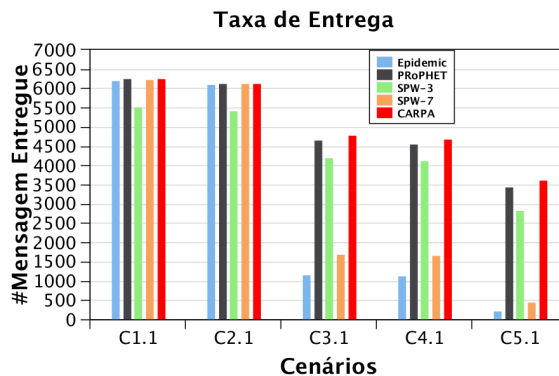


Figura 19 – Impacto na entrega para diferentes oscilações.

A Figura 18(b) apresenta a melhor média para o atraso fim-a-fim para a mesma variação de contextos. A opção de escolher o protocolo com melhor desempenho para cada contexto, novamente demonstra efetividade. No entanto, é muito importante

perceber que o protocolo que apresenta a melhor taxa de entrega nem sempre é o que minimiza o atraso ou sobrecarga. Este tipo de informação é considerada pelo CARPA como parte integrante de um contexto. Portanto, ele apresenta condições de optar por um dos requisitos ou combiná-los, conforme a exigência de cada mensagem.

A métrica de sobrecarga foi calculada conforme a Equação 3.2 e normalizada em função dos valores de entrega para o melhor caso de todos os cenários. Assim, a Figura 18(c) ilustra os valores computados para todos os protocolos avaliados sobre a mesma quantidade de mensagens entregues.

Como esperado, o protocolo *Epidemic* apresenta a maior sobrecarga entre os protocolos simulados. O P_{Ro}PHET sofre com as alterações de contextos devido à necessidade de cálculos probabilísticos que reflete em uso de armazenamento, principalmente pela densidade do cenário considerado. Por sua vez, a família SPW apresenta ótimos níveis de sobrecarga dado o controle de replicação que realizam, mas que em determinadas situações compromete a taxa de entrega, como observado nos resultados da Figura 18(a). Enquanto o CARPA comprova sua capacidade de selecionar sempre o protocolo com melhor desempenho para o contexto avaliado.

5.2.2 Desempenho para Diferentes Densidades de Rede

Nesta seção é investigado o impacto de diferentes densidades de rede ao longo da trajetória das mensagens. A densidade impacta diretamente no desempenho dos protocolos de roteamento devido às alterações que provoca na quantidade de vizinhos que cada nó possui durante um intervalo de tempo. Vale ressaltar que este parâmetro de rede pode ser variado pela alteração da área de rede, pelo movimento dos nós e pela quantidade de nós por área de simulação.

A densidade é definida pela opção de manter o número e a velocidade dos nós constantes e alterar apenas a área da rede. A densidade para cada contexto é, portanto, atribuída como baixa, média ou alta, em função da distribuição dos nós em uma área de rede, conforme descrito na Tabela 8.

A Figura 20 descreve os resultados das simulações para cinco cenários de rede, aleatoriamente combinados e formados a partir do uso dos parâmetros da Tabela 11. Para estes cenários apenas o parâmetro que representa a densidade é alterado, ou seja, o tamanho da área da rede. Os nós se movem aleatoriamente a uma velocidade de 1m/s a 11m/s e o número total de mensagens usado para cada cenário é de 2173 unidades.

Nestes cenários, devido à necessidade do CARPA definir limites de desempenho para os contextos, a densidade é atribuída como baixa ou esparsa para as regiões em que os nós estão aleatoriamente distribuídos por uma área de 20000m ×

Tabela 11 – Parâmetros para o cenário 2.

Parâmetros	Valores
Área ($m \times m$)	800 × 800, 10000 × 10000, 20000 × 20000
Duração (seg)	10800
Número de Nós	100
Armazenamento(MB)	30
Tamanho da Mensagem(KB)	100
Raio de Transmissão(m)	150
TTL (min)	1000

20000m; média quando a área é de 10000m × 10000m; e alta ou densa para área de 800m × 800m. A fim de representar situações adversas de densidade, os resultados apresentados são obtidos a partir dos contextos formados conforme mostra a Tabela 12.

Tabela 12 – Combinação de contextos para o cenário 2.

Cenário	Densidade	Cenário	Densidade
C1	Alta	C1.1	Baixa
C2	Média → Baixa	C2.1	Baixa → Alta
C3	Alta → Alta → Baixa	C3.1	Alta → Médio → Baixa
C4	Baixa → Alta → Média → Baixa	C4.1	Alta → Baixa → Média → Baixa
C5	Baixa → Alta → Média → Média → Baixa	C5.1	Baixa → Média → Alta → Alta → Média

A Figura 20 mostra o desempenho de todos os protocolos quando ocorrem variações na densidade de rede durante o trajeto das mensagens.

Cabe ressaltar que o cenário C1 está representado separadamente na Figura 20(a) para facilitar a compreensão, dada a sua escala diferenciada em relação aos demais cenários. Todos os protocolos tem resultados semelhantes para este cenário sem variações. Porém, quanto mais oscilações são aplicadas a um cenário, maior o impacto sofrido pelos protocolos.

Nos cenários esparsos, a taxa de entrega de todos os protocolos sofre uma redução dramática, como esperado. Este comportamento é devido à diminuição no número médio de contatos, que fica em torno de 200, o que representa uma quantidade extremamente baixa dado o tamanho da área de rede. No entanto, a opção de selecionar o melhor protocolo para ser aplicado sob estas condições ainda é uma maneira efetiva de maximizar a taxa de entrega, bem como minimizar o atraso e sobrecarga.

Exceto para o cenário C1 (Figura 20(a)) onde não ocorrem alterações, é possível perceber que o CARPA entrega mais mensagens que os demais protocolos, como exemplo, considera-se o cenário C2 da Figura 20(b). Como pode ser observado sob este estado de rede específico, o CARPA entrega o dobro de mensagens que o SPW-3 com o mesmo uso de recursos, ambos produzem quatro mensagens de

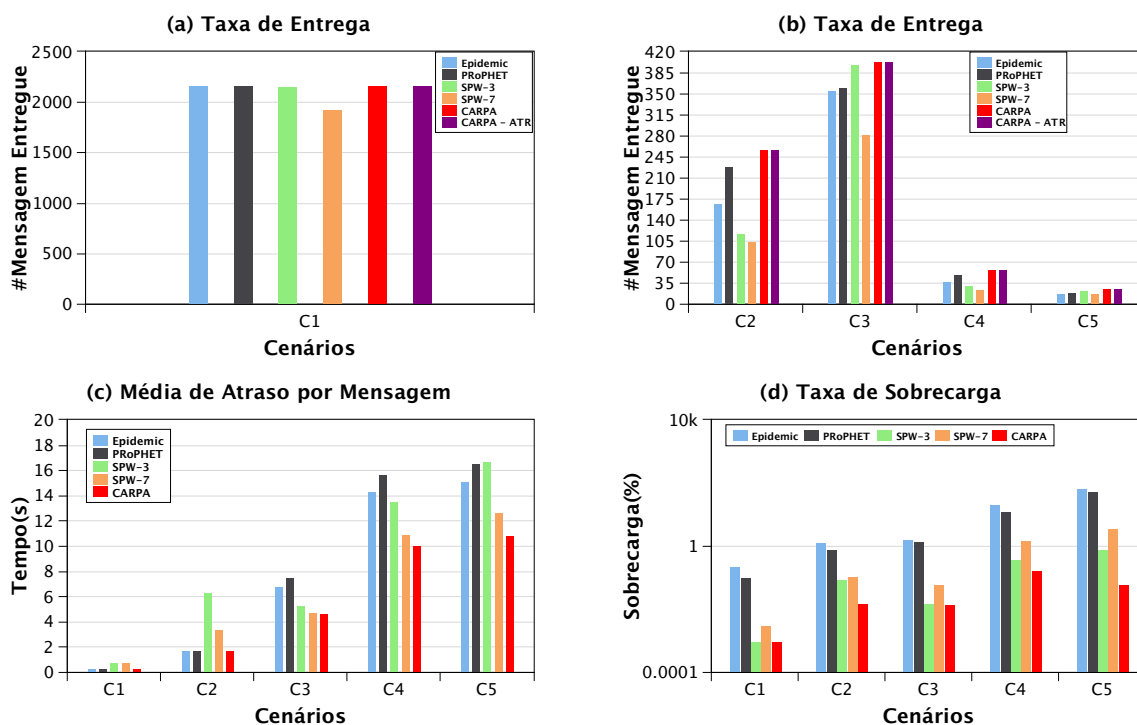


Figura 20 – Desempenho sob oscilações de densidade.

sobrecarga.

No entanto, percebe-se que em determinados cenários o CARPA apresenta um comportamento semelhante ao protocolo SPW-3, como acontece em *C1* e *C3*, nas Figuras 20(a) e (b). Em ambos existe uma predominância de contextos com densidade alta, nos quais todos os protocolos tem desempenhos parecidos, exceto o SPW-7. Como o SPW-3 fixa o número máximo de réplicas para as mensagens, ele é favorecido pela alta quantidade de contatos e torna-se um tanto epidêmico, porém com menor sobrecarga e evitando descartes, o que permite maior entrega de mensagens.

A Figura 21 ilustra o comportamento dos protocolos quanto à taxa de entrega para o segundo conjunto de cenários descritos na Tabela 12. Os resultados mostram que o método proposto alcança, no mínimo, taxas iguais ou superiores ao protocolo com melhor desempenho, inclusive no cenário *C1.1*. Este comportamento reforça que o CARPA é eficiente independente de configurações de cenários. Além de evidenciar sua capacidade de adaptação a qualquer oscilação sofrida em um cenário, sempre favorecendo as métricas de desempenho.

A Figura 20(c) exibe o atraso médio em segundos para que uma mensagem atinja seu destino para cada protocolo. Mesmo para o cenário de pior caso quando os contextos esparsos são mais frequentes, como no cenário *C5*, o CARPA consegue um atraso inferior ao obtido pelo uso de apenas um protocolo por trajeto. O seu atraso médio para entrega em *C5* é de 10.8 segundos, enquanto o *Epidemic* registra de 15, 1

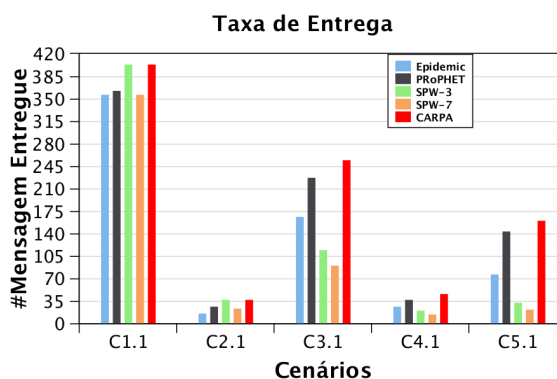


Figura 21 – Desempenho sob densidade variando o conjunto de cenários.

segundos, o PRoPHET 15,5, o SPW-3 16,7 e o SPW-7 12,6 segundos.

O desempenho do CARPA quanto à métrica de sobrecarga é ilustrado pela Figura 20(d). Em relação à comparação com o PRoPHET descrita anteriormente, pode-se verificar que o CARPA também se sobressai quanto ao uso de recursos. Para alcançar a taxa de entrega registrada no cenário C5, o PRoPHET originou 176 mensagens de sobrecarga, enquanto o CARPA apenas 6 para uma taxa de entrega superior. A média registrada para este cenário demonstra que o CARPA consegue entregar mensagens ao destinatário com valores bem inferiores a uma transmissão. Os resultados reforçam que a escolha do melhor protocolo para ser aplicado sobre o estado conhecido da rede favorece o envio de mensagens com custo reduzido.

5.2.3 Análise sob Oscilações na Velocidade de Deslocamento dos Nós

A velocidade de deslocamento dos nós influencia diretamente diversos parâmetros de rede, como por exemplo, quantidade, duração e frequência de encontros. Nós com baixa mobilidade tem encontros de melhor qualidade, pois proporcionam um tempo maior para realizar transmissões. No entanto, se a velocidade for demasiadamente elevada, a duração do contato é breve e pode afetar a entrega de mensagens.

Com o intuito de avaliar o desempenho do CARPA frente a contextos de oscilações na velocidade dos nós, um conjunto de simulações foi desenvolvido utilizando as configurações de cenários descritos na Tabela 12. Cada rodada foi executada conservando-se os demais parâmetros e variando-se apenas a velocidade dos nós, aleatoriamente escolhida em intervalos de [1 - 11] m/s, [1 - 21] m/s, [10 - 20] m/s e [20 - 21] m/s. A velocidade média é atribuída para nós entre [1 - 21] m/s, enquanto a alta é denominada aos nós que usam velocidades entre [10 - 21] m/s, [20 - 21] m/s.

A Figura 22 mostra o impacto da velocidade dos nós nas métricas de entrega, atraso e sobrecarga para cinco cenários. Estes obtidos dos resultados de simulações configuradas conforme descrito na Tabela 13. De forma que cada cenário registra, no

mínimo, uma alteração na velocidade dos nós e até cinco, combinada aleatoriamente conforme mostra a Tabela 14. Nesta tabela são descritos dois conjuntos de combinações de até cinco alterações. O objetivo é analisar o comportamento do CARPA independente de configuração de cenário.

Tabela 13 – Parâmetros para o cenário 3.

Parâmetros	Valores
Área ($m \times m$)	10000 \times 10000
Duração (seg)	172800
Número de Nós	100
Armazenamento(MB)	30
Tamanho da Mensagem(KB)	100
Raio de Transmissão(m)	150
TTL (min)	1000

O CARPA alcança as melhores taxas de entrega para todos os cenários independente do registro de oscilação na velocidade dos nós, dada a sua capacidade de avaliar o contexto instantâneo da rede e gerar combinações de desempenho, como observado nas Figuras 22(a) e 23. Estes resultados mostram a habilidade do CARPA em aproveitar ao máximo os pontos fortes dos protocolos de roteamento e reduzir os pontos fracos detectados. No entanto, seu desempenho é dependente da heurística e conhecimentos utilizados.

Tabela 14 – Combinação de contextos para o cenário 3.

Cenário	Velocidade dos nós	Cenário	Velocidade dos nós
C1	Alta	C1.1	Baixa
C2	Média \rightarrow Baixa	C2.1	Baixa \rightarrow Alta
C3	Baixa \rightarrow Média \rightarrow Alta	C3.1	Média \rightarrow Baixa \rightarrow Alta
C4	Alta \rightarrow Baixa \rightarrow Alta \rightarrow Alta	C4.1	Média \rightarrow Baixa \rightarrow Alta \rightarrow Baixa
C5	Baixa \rightarrow Alta \rightarrow Baixa \rightarrow Alta \rightarrow Média	C5.1	Alta \rightarrow Baixa \rightarrow Média \rightarrow Alta \rightarrow Média

Outra avaliação pertinente ao desempenho do método proposto, diz respeito à sua capacidade de aliar maior velocidade dos nós com maior taxa de entrega. Em outras palavras, considera-se o cenário C4 em que há predominância de contextos com alta velocidade dos nós, e conseqüentemente, menores intervalos de contato e de transmissões. Mesmo assim, o uso combinado de protocolos de roteamento para atender as oscilações de contextos garante ao CARPA o melhor desempenho de entrega em comparação ao uso de apenas um protocolo por cenário.

Nos cenários simulados facilmente se percebe a fraqueza do protocolo SPW-3 para a taxa de entrega de mensagens sob oscilações frequentes na velocidade dos nós. A compreensão é que devido ao esquema de controle de replicação que este protocolo utiliza, acaba por descartar oportunidades de contato, comprometendo as entregas.

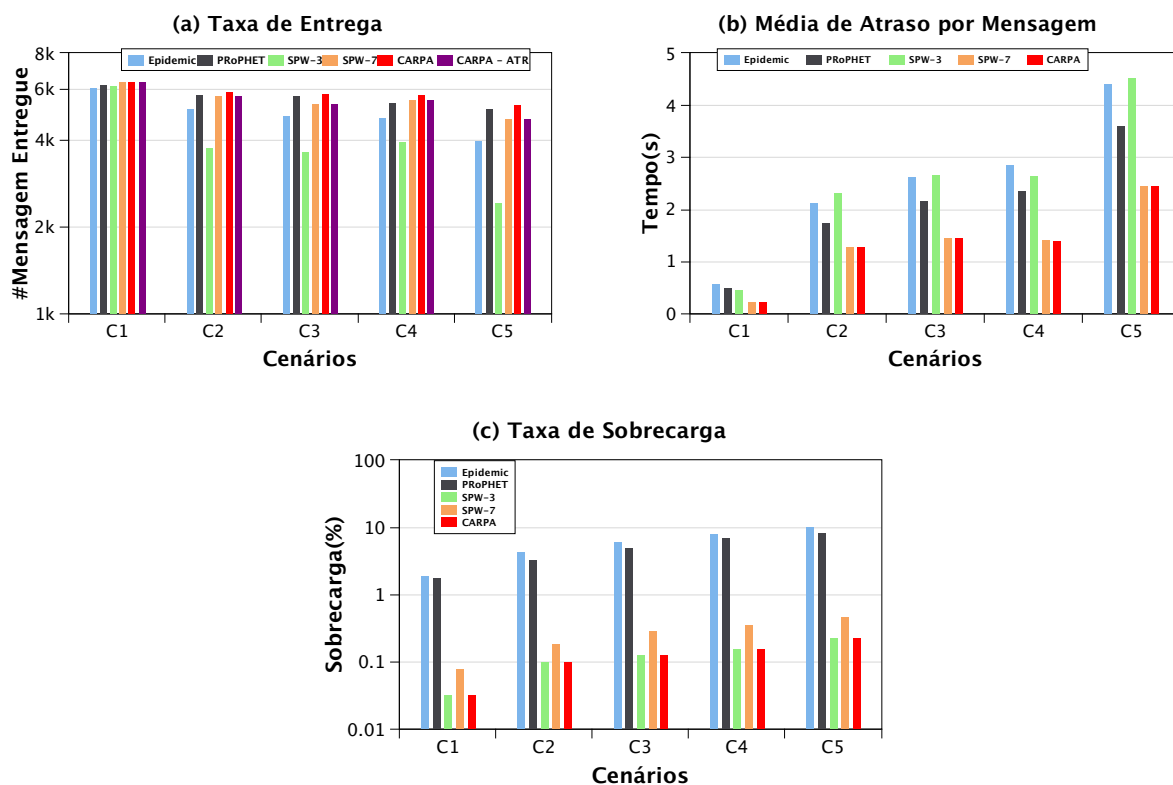


Figura 22 – Oscilações de velocidade.

A Figura 22(b) apresenta o tempo em segundos necessários para que cada um dos protocolos simulados consiga entregar uma mensagem ao seu destino em cada cenário. Os resultados mostram que o CARPA gasta o mesmo tempo que o SPW-7 em todos os cenários. Este comportamento é devido ao CARPA selecionar sempre o protocolo de roteamento com desempenho mais favorável ao parâmetro medido.

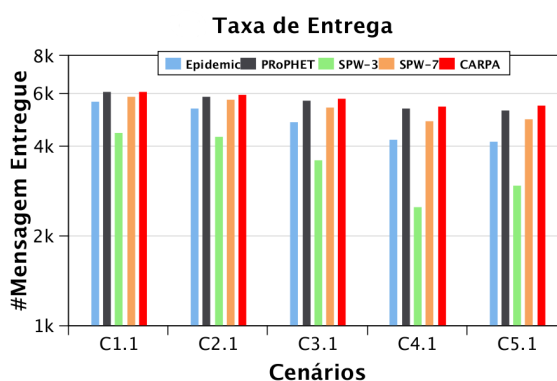


Figura 23 – Taxa de entrega para oscilações variadas de velocidade.

A Figura 22(c) mostra a sobrecarga produzida pelos protocolos para realizar entregas de mensagens nos cenários configurados. Através dos resultados, se observa que tanto o SPW-3 quanto o CARPA apresentam o mesmo consumo de recursos para

encaminhar uma mensagem da origem até seu destino, independente do cenário. Como o SPW-3 é o protocolo que faz uso de menor replicação para entregar uma mensagem, obviamente, torna-se a escolha do CARPA quando o parâmetro considerado é menor sobrecarga.

5.2.4 Análise de Desempenho sob Quantidade de Contatos Oportunistas

Os contatos representam uma ocasião favorável para que os nós troquem informações e são decorrentes de outros parâmetros de rede, como densidade, estado dos enlaces, quantidade e movimentação dos nós. Eles influenciam fortemente as quantidades de entregas, bem como sua eficiência, conforme análise feita na Seção 3.3.3.

Uma DTN se caracteriza por apresentar cenários extremamente restritos quanto ao número de contatos entre os nós. O tipo mais frequente de contato que ocorre nestas redes é o oportunista, aquele que acontece como se por acaso. Não há previsão de quando os contatos oportunistas vão acontecer e nem se eles vão ser possíveis. Por conseguinte, são contatos que tendem a enfraquecer a eficácia de protocolos de roteamento que trabalham com previsibilidade ou controle de replicação nos processos de entrega.

Como um dos objetivos do CARPA é reduzir as fraquezas geradas pelos protocolos nas métricas de desempenho, a influência do parâmetro quantidade de contato é avaliado por uma série de experimentos com diferentes contextos. Para isolar o comportamento dos cenários quanto a quantidade de contatos, cada conjunto de simulações é executado por uma configuração específica, a partir dos valores apresentados na Tabela 5 com variação apenas no parâmetro de tempo de simulação. A quantidade de contatos resultante é de no mínimo 15 até um valor aproximado de 4000 contatos por nó, alcançados conforme os tempos de uso da rede.

Tabela 15 – Parâmetros para o cenário 4.

Parâmetros	Valores
Área ($m \times m$)	20000 \times 20000
Duração (seg)	2115, 10800, 32400, 43200, 89400, 172800, 259200
Número de Nós	100
Armazenamento(MB)	30
Tamanho da Mensagem(KB)	100
Raio de Transmissão(m)	150
Velocidade dos nós(m/s)	[10 – 21]
TTL (min)	1000

O desempenho dos protocolos sob influência da quantidade de contatos para cenários gerados a partir da Tabela 15, é mostrado na Figura 24. Os protocolo e

o método CARPA são avaliados em cada um dos cinco cenários que representam combinações de diferentes contextos. Da mesma forma que nas seções anteriores, os cenários são selecionados aleatoriamente e perfazem dois conjuntos de combinações mostrados na Tabela 16. Os contextos desta avaliação são atribuídos como na Seção 3.3.3. Dado o tamanho da área de simulação, o contexto é atribuído alto para registros de contatos acima de 2000, médio quando são registrados entre 500 e 2000 contatos, e por fim, o contexto é considerado baixo quando a quantidade é inferior a 500 contatos.

Tabela 16 – Combinação de contextos para o cenário 4.

Cenário	Contato	Cenário	Contato
C1	Baixo	C1.1	Médio
C2	Médio → Baixa	C2.1	Médio → Alta
C3	Baixo → Alto → Alto	C3.1	Médio → Baixo → Médio
C4	Médio → Médio → Baixo → Alto	C4.1	Médio → Alto → Baixo → Médio
C5	Baixo → Alto → Média → Baixa → Alta	C5.1	Alta → Baixa → Média → Baixa → Alta

A eficiência do método CARPA quando o requisito de desempenho se torna garantir a melhor taxa de entrega em cada cenário, é ilustrada na Figura 24(a). Como esperado, a existência de poucos contatos reflete em baixas taxas de entrega, especialmente para os protocolos que utilizam probabilidade ou controle de replicação em suas tomadas de decisão. Claramente se percebe que os protocolos mais afetados pelos limites de contato são o P_{Ro}PHET e o SPW-3. Além de que apresentam taxas de entrega inversamente proporcionais à quantidade de oscilações de contextos para os cenários. Embora todos os protocolos sofram com os baixos índices de contatos, como pode ser observado nos cenários C1 e C5.

Nos cenários C1 e C2, o CARPA tem desempenho semelhante ao *Epidemic*, pois este protocolo gera mais réplicas para as mensagens por aproveitar todo contato que surge. Conforme a frequência de oscilações aumenta, o CARPA alcança melhores taxas de entrega em comparação aos demais protocolos.

Como exemplo, pode-se observar o cenário C5 da Figura 24(a) que apresenta maior incidência de oscilações. Neste cenário, o CARPA alcança uma taxa de entrega $31 \pm 0,8\%$ superior ao protocolo *Epidemic* e $69 \pm 0,5\%$ maior em relação ao P_{Ro}PHET. Enquanto que em comparação com SPW-3 e SPW-7, ele registra uma taxa de entrega $56 \pm 0,2\%$ e $10 \pm 0,2\%$ superior, respectivamente.

Assim como para a taxa de entrega, a média de atraso registrada pelo CARPA é superior à dos demais protocolos simulados. Este comportamento também pode ser observado na Figura 25. Ela ilustra os resultados obtidos quando os protocolos são executados sob as variações registradas na segunda combinação de cenários descritos na Tabela 16. Para estes cenários, o CARPA demonstra novamente que sua

eficiência é diretamente proporcional à quantidade de alterações de contextos. Embora os contextos variem, ele continua superando os demais protocolos. O PProPHET, por exemplo, registra uma taxa de atraso em média $72,2 \pm 0,6\%$ maior que CARPA para o pior caso (C5), Figura 24(b). A sobrecarga gerada pelos protocolos para perfazer a entrega de mensagens em cada cenário é apresentada na Figura 24(c). A taxa de sobrecarga é normalizada novamente nesta seção para representar a média de sobrecarga por entrega efetuada. A comparação entre os protocolos, mais uma vez, demonstra a fraqueza do PProPHET em gerenciar oscilações na quantidade de contatos. Em alguns cenários, ele precisa gerar mais do que o dobro das mensagens que entrega.

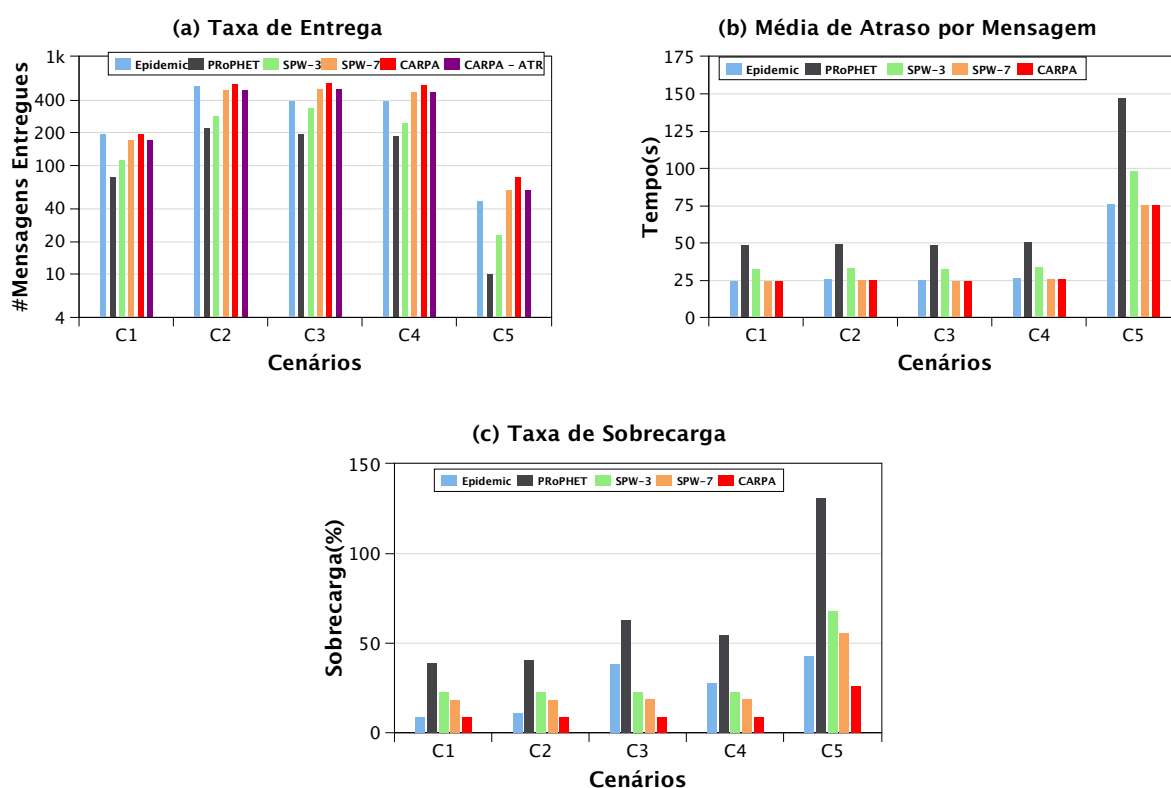


Figura 24 – Oscilações na quantidade de contato.

A análise dos resultados mostra que a sobrecarga cresce linearmente com a quantidade das oscilações. Todavia, o CARPA produz as menores taxas de sobrecarga dentre todos os protocolos quando ocorrem oscilações de contexto.

Ele consegue manter os níveis de sobrecarga mesmo em cenários com baixíssimas quantidades de contatos ou severas alterações de quantidades. As baixas taxas de sobrecarga registradas pelo CARPA demonstram que o conhecimento do estado da rede torna possível a customização de recursos através do uso de processos adequado a cada contexto.

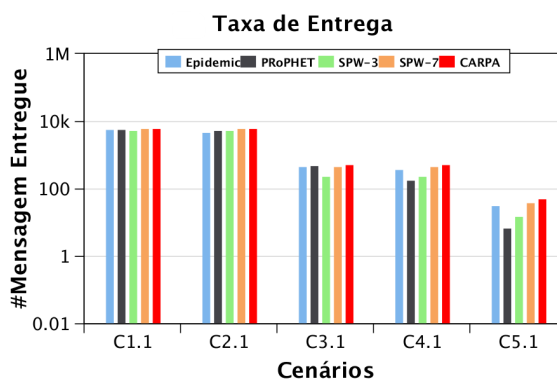


Figura 25 – Taxa de entrega para combinações variadas de contato.

5.2.5 Avaliação de Comportamento sob Diversos Períodos de Uso da Rede

A definição do período de tempo remete ao valor de TTL de uma mensagem, ou seja, o tempo máximo que a mensagem pode trafegar pela rede. Quando uma mensagem chega a um nó com seu TTL expirado, ela é eliminada da rede conforme o processo de descarte adotado no nó. Entretanto, a escolha do valor ideal do TTL para avaliação envolvendo diversos protocolos de roteamento é muito difícil (WITTIE et al., 2009; KAVEEVIVITTHAI; OCHIAI; ESAKI, 2010; XIAOYANG et al., 2012; VILLARES; CAMPO; VIANA, 2013). Principalmente para os protocolos utilizados nesta tese, a discrepância de valores úteis é bastante elevada. Durante as simulações observou-se que para determinados cenários, os valores adotados para alcançar melhores resultados pelo *Epidemic* e PProPHET são relativamente semelhantes, enquanto que para o SPW-3 e SPW-7 os valores úteis são totalmente opostos.

Por exemplo, para simulações de 2115 e 4230 segundos, 100 e 200 nós com 30MB de armazenamento e 539 mensagens de 100KB foram utilizados os valores de TTL 10, 100, 1000, 10000 minutos. As melhores taxas de entrega registradas para o *Epidemic* e PProPHET foram alcançadas para o TTL de 10 minutos ($99,77 \pm 0,3\%$ e $99,72 \pm 0,22\%$, respectivamente). Enquanto que para a família SPW, esta melhoria se deu com TTL de 10000 minutos ($91,57 \pm 0,01\%$ contra $85,64 \pm 0,3\%$ do *Epidemic*). Este tipo de comportamento não evidencia a utilidade do CARPA, tendo em vista que as decisões seriam tomadas no início e, desde que a rede ainda estivesse disponível, apenas próximo ao esgotamento do valor de TTL.

Pelas avaliações realizadas na Seção 3.3 fica evidente que, dadas condições favoráveis de recursos, as taxas de entrega são consideravelmente aumentadas se houver continuidade nas tentativas de contatos. Para este fim, definiu-se o tempo de uso ou disponibilidade da rede como sendo o período máximo de tempo em que a rede fica habilitada para que uma mensagem procure por seu destino, ou seja, o período máximo de funcionamento de uma configuração de rede. Quando o valor máximo de

tempo é alcançado, a rede é desfeita e mais nenhuma conexão é permitida para aquela determinada configuração.

As simulações para o parâmetro de tempo de uso da rede são executadas a partir das configurações definidas na Tabela 11, em cenários para os quais apenas os tempos de simulação são alterados e os valores de TTL correspondem a metade deste valor (WITTIE et al., 2009). A Figura 26 mostra o desempenho entre os protocolos quando utilizados isoladamente ou alternados através das decisões processadas pelo CARPA. Os resultados apresentados correspondem as simulações realizadas para as configurações descritas na Tabela 17.

Tabela 17 – Parâmetros para o cenário 5.

Parâmetros	Valores
Área ($m \times m$)	20000 \times 20000
Duração (seg)	10800, 32400, 43200, 89400, 172800, 259200
Número de Nós	100
Armazenamento(MB)	30
Tamanho da Mensagem(KB)	100
Raio de Transmissão(m)	150
Velocidade dos nós(m/s)	[1 – 21]

Dado que os contextos são criados a partir da alteração apenas do parâmetro tempo máximo de uso da rede (duração de simulação), dois conjuntos com cinco cenários de diferentes quantidades e combinações de contextos são formados, conforme mostra a Tabela 18.

Estes períodos de uso da rede são atribuídos de acordo com a sua representatividade em uma DTN, os quais precisam ser consideravelmente maiores para garantir comunicação com altas taxas de atraso. Assim, optou-se por definir um contexto que emprega um tempo máximo de uso da rede de até 32400 segundos como sendo de baixa disponibilidade de uso para uma DTN. Acima deste e até 89400 segundos como de média disponibilidade, e por sua vez, de alta disponibilidade para os contextos que lidam com um tempo máximo superior a 89400 segundos.

Tabela 18 – Combinação de contextos para o cenário 5.

Cenário	Período de uso da rede	Cenário	Período de uso da rede
C1	Baixo	C1.1	Médio
C2	Alto \rightarrow Baixo	C2.1	Alto \rightarrow Médio
C3	Baixo \rightarrow Médio \rightarrow Alto	C3.1	Baixo \rightarrow Alto \rightarrow Baixo
C4	Baixo \rightarrow Alto \rightarrow Baixo \rightarrow Alto	C4.1	Baixo \rightarrow Médio \rightarrow Médio \rightarrow Alto
C5	Baixo \rightarrow Médio \rightarrow Alto \rightarrow Médio \rightarrow Médio	C5.1	Médio \rightarrow Alto \rightarrow Alto \rightarrow Baixo \rightarrow Médio

Os resultados das avaliações mostram que em relação ao uso exclusivo de um

protocolo de roteamento durante um trajeto completo, as decisões do CARPA afetam favoravelmente as taxas de entrega dos cenários. Sua decisão em utilizar sempre o protocolo com maior taxa de entrega para o contexto atribuído eleva a taxa de entrega.

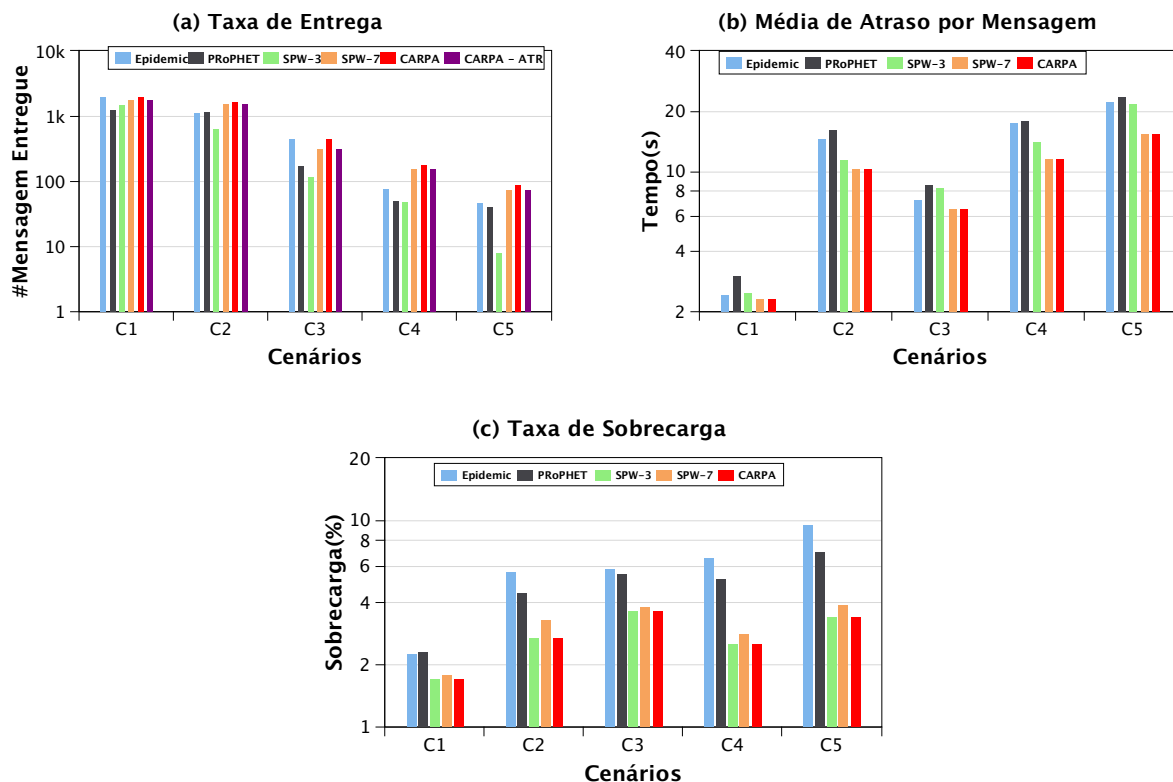


Figura 26 – Desempenho dos protocolos para cenários com oscilações no tempo de uso da rede.

Por exemplo, no cenário C2 (Figura 26(a)) a diferença entre o CARPA e os demais protocolos fica clara. Para a taxa de entrega, ele supera o *Epidemic* em $9,79 \pm 0,08\%$, o PRoPHET em $8,75 \pm 0,05\%$, o SPW-3 em $16,79 \pm 0,01\%$ e SPW-7 em $2,63 \pm 0,02\%$. O mesmo comportamento é obtido ao se avaliar o segundo conjunto de cenários descritos na Tabela 18. Os resultados são ilustrados na Figura 27, percebe-se que para o desempenho do CARPA é mantido mesmo para um conjunto aleatório de variações do estado da rede. Enquanto os demais protocolos alteram desfavoravelmente seu desempenho em relação aos resultados apresentados na Figura 26(a) para o primeiro conjunto de testes, o CARPA mantém-se como o mais indicado para todos os cenários.

Conforme são registradas mais oscilações de contexto, o CARPA alcança taxas de entrega ainda maiores, como acontece no cenário C5. Seu ganho é $50,54 \pm 0,08\%$ superior ao *Epidemic* e em relação ao PRoPHET $54,95 \pm 0,03\%$. Já contra a família SPW, o CARPA alcança até 91,21% a mais de entregas que o SPW-3 e 19,78% a mais que o SPW-7. Fica evidente que mesmo com a incidência de maior

tempo disponível para propiciar as entregas, o SPW-3 é limitado por seu processo de controle de replicação, devido, principalmente, às características esparsas da rede. O

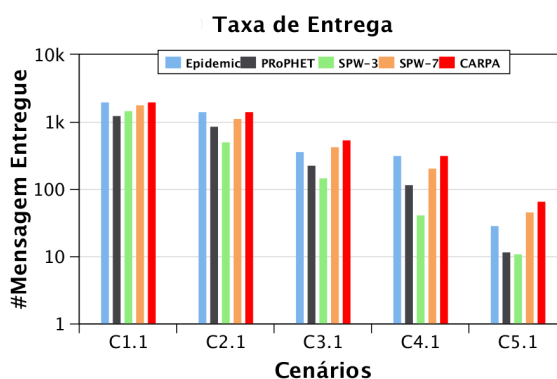


Figura 27 – Taxa de entrega sob um conjunto de oscilações no tempo de uso da rede.

comportamento similar apresentado pelos protocolos *Epidemic* e PRoPHET durante todos os cenários também chama a atenção, eles obtêm baixas taxas de entrega para contextos com períodos maiores de uso da rede. Sob estas configurações, o *Epidemic* e o PRoPHET proporcionam ocorrências de replicações e conservam as mensagens armazenadas por períodos maiores nos nós, respectivamente 1033 e 1052 segundos em média. Enquanto que para contextos com menor uso da rede, este tempo de armazenamento fica entre 559 e 545 segundos, impactando no uso do espaço disponível para armazenamento das mensagens e ocasionando descartes.

A Figura 26(b) representa a média de atraso registrada para cada protocolo nos cenários simulados. No gráfico fica claro que o SPW-7 apresenta as menores taxas de atraso, conseqüentemente, o CARPA seleciona este como sendo o protocolo mais otimizado para os cenários. É factível perceber o ótimo desempenho do SPW-7 quando há predominância de contextos médios e altos, como nos cenários C2, C4 e C5 e, conseqüentemente, do CARPA. Assim, o uso do CARPA não representa nenhuma vantagem em relação ao SPW-7 para os cenários específicos. No entanto para os demais protocolos, o uso do CARPA garante um atraso consideravelmente menor.

Para a taxa de sobrecarga, como mostrado na Figura 26(c), o comportamento dos protocolos e do método em todos os cenários é semelhante ao apresentado para a média de atraso, porém desta vez, o CARPA assume o comportamento do SPW-3.

5.2.6 Avaliação da Adaptação à Combinação de Diferentes Parâmetros e Estados da Rede

Os resultados dos experimentos analisados nas seções anteriores deixam evidentes os benefícios em se desacoplar o protocolo de roteamento do trajeto de uma mensagem, de forma que cada protocolo seja utilizado apenas nos contextos

em que garante os melhores desempenhos. A escolha do protocolo de roteamento mais otimizado para atender as limitações de um contexto, bem como a métrica de desempenho imposta pela mensagem ou aplicação, contribui para elevar os índices de desempenho dos protocolos e a economia de recursos.

No entanto, o principal objetivo desta tese é comprovar que a adoção de um método para adaptação dinâmica do serviço de roteamento ao contexto de rede atual supera as limitações dos protocolos, contribui para aumentar o desempenho global da rede, e também proporciona economia de recursos. O método proposto utiliza processos de alternância entre protocolos de roteamento, de acordo com os contextos diversificados que se formam a cada salto da origem até o destino da mensagem. De forma que qualquer protocolo de roteamento pode ser adotado para atender os mais diversificados contextos.

O método CARPA é dependente do conhecimento que tem a respeito dos protocolos disponíveis nos nós (oráculo), porém não limitado ao conhecimento avaliado nesta tese, nem tão pouco aos parâmetros e métricas de desempenho utilizados durante as análises. Ele responde ao conhecimento que lhe é fornecido e as combinações feitas entre os parâmetros deste conhecimento. Para evidenciar que o método proposto também atende as necessidades de contextos em conjunto, bem como métricas de desempenho, nesta seção a adoção do CARPA é avaliada sob cenários diferenciados. Estes formados a partir de contextos resultantes de combinações aleatórias entre vários parâmetros e estados diversificados da rede.

Assim, três cenários são definidos conforme mostra a Tabela 19. Por exemplo, no cenário *C1* (Figura 29(a)) considera-se que os contextos gerados durante um trajeto apresentam características de baixa capacidade de armazenamento, alta densidade, baixa velocidade de deslocamento dos nós, baixa quantidade de contatos e tempo disponível para uso da rede como médio. De modo resumido, o cenário *C1* tem como contexto favorável ao roteamento apenas a densidade. Já o cenário *C2* é favorecido pela velocidade dos nós que tendem a aumentar a frequência de seus contatos (com diminuição da duração), da mesma forma que acontece com o cenário *C3* que é favorecido pela densidade e quantidade de contatos.

Tabela 19 – Cenários gerados por combinação de diferentes contextos.

Parâmetro	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>
Capacidade de Armazenamento	Baixa	Baixa	Média
Densidade	Alta	Baixa	Alta
Velocidade	Baixa	Alta	Baixa
#Contato	Baixa	Alta	Alta
Período de Uso da Rede	Médio	Médio	Alta

Quando o encaminhamento de uma mensagem utiliza apenas um protocolo por todo o trajeto, ou seja, da origem até o destino, tem-se o SPW-3 como melhor caso quanto ao requisito maior taxa de entrega. Conforme ilustrado na Figura 28 para o cenário C1. Porém nos demais cenários mostrados, o SPW-7 é o melhor caso.

Ao se aplicar o método CARPA, os protocolos utilizados são alternados conforme ocorrem mudanças de contexto. No cenário C1, o CARPA supera o melhor caso individual (SPW-3) em $55,96 \pm 0,03\%$, devido a ocorrência de variados contextos durante o trajeto e, conseqüentemente, a seleção do protocolo mais otimizado em cada um deles. Assim, para um total de 168 mensagens entregues pelo CARPA no cenário, o *Epidemic* consegue entregar apenas $12,5 \pm 0,09\%$ deste total, contra $24,40 \pm 0,7\%$ do PProPHET e $30,95 \pm 0,02\%$ do SPW-7.

Para os cenários C2 e C3 da Figura 28, o comportamento do SPW-7 supera os demais protocolos em todos os contextos e torna-se a escolha natural do CARPA. Ambos entregam aproximadamente 23% das 6411 mensagens criadas por 100 nós durante períodos de tempo entre [10800 - 259200] segundos. Para estes casos específicos, a adoção do CARPA não representa nenhuma melhora em função da taxa de maior entrega. Entretanto, o CARPA se torna a melhor opção ao se comparar o seu desempenho com dos demais protocolos para os mesmos cenários.

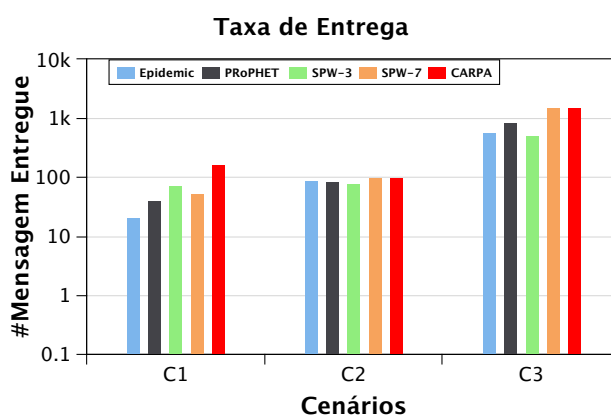


Figura 28 – Entrega para combinação de parâmetros.

Os mesmos cenários com combinações de contextos são utilizados para avaliação de desempenho do CARPA quando o requisito passa a ser garantir o menor atraso e, posteriormente, menor sobrecarga. A Figura 29 mostra os resultados alcançados pelos protocolos para os dois requisitos. Para os cenários adotados, o SPW-7 obteve sempre as melhores taxas em comparação com os demais protocolos para garantir menor atraso, enquanto o SPW-3 para alcançar menor sobrecarga. Por conseguinte, embora o CARPA selecione o protocolo mais otimizado para cada contexto, seu desempenho é igual ao do protocolo SPW-7 para menor atraso e do SPW-3 para menor sobrecarga. Novamente, a adoção do CARPA nestes cenários não representa vanta-

gens em relação ao uso dos protocolos SPW-7 e SPW-3 acoplados ao trajeto para os respectivos requisitos.

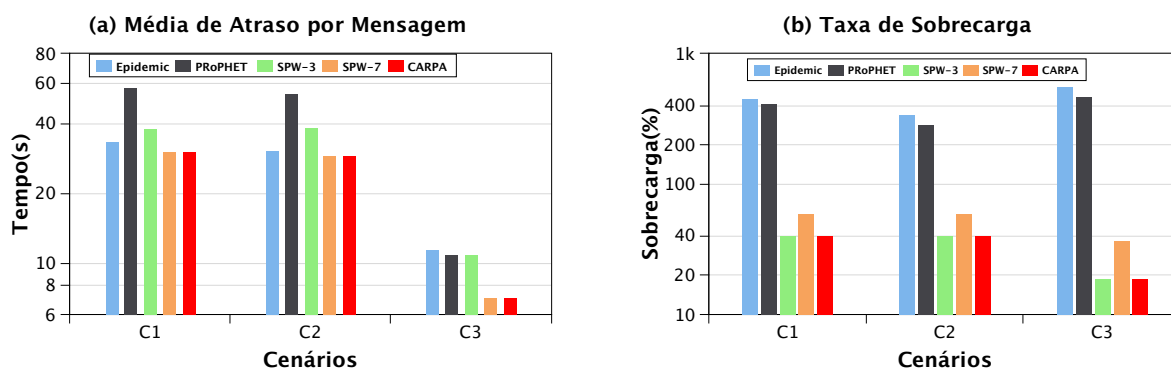


Figura 29 – Atraso e sobrecarga com combinação de parâmetros.

5.2.7 Avaliação da Adaptação sob Diferente Modelo de Mobilidade

O modelo de mobilidade dos nós altera as oportunidades de comunicação e pode representar frequentes alterações nos cenários. O CARPA toma suas decisões baseado no conhecimento do contexto em que a mensagem se encontra. Assim, torna-se relevante analisar o impacto da mobilidade dos nós no desempenho dos protocolos. Neste cenário, a capacidade dos protocolos de se adaptar às diferentes mobilidades é medida.

O modelo de mobilidade adotado para esta avaliação é o *Shortest Path* (SP), no qual o movimento dos nós é baseado em mapas. Inicialmente, o modelo define aleatoriamente a posição dos nós e os pontos que serão considerados como destinos para os mesmos. Após, aplica o algoritmo de menor caminho de Dijkstra (EKMAN et al., 2008) para selecionar os nós a serem visitados durante o trajeto.

As simulações correspondem às execuções dos mesmos cenários avaliados nas seções de 5.2.1 a 5.2.4, porém sob o modelo SP. Em cada rodada varia-se apenas o parâmetro correspondente à avaliação de desempenho, conforme abordagem descrita na seção 3.3. A Figura 30 (a) ilustra o comportamento dos protocolos para alterações apenas na capacidade de armazenamento dos nós. A variação dos cenários é considerada conforme a primeira Tabela descrita em 10.

Por haver maior restrição de armazenamento nos cenários C3 e C4, percebe-se que os protocolos *Epidemic* e PRoPHET efetuam as menores taxas de entrega, com os maiores atrasos e sobrecargas. Isto se deve a grande quantidade de replicação que efetuam. Para estes cenários, o CARPA seleciona o melhor dentre os protocolos da família *Spray* para efetuar suas entregas. Os protocolos SPW-3 e SPW-7 otimizam a replicação em relação à quantidade de contato, conseqüentemente, economizando

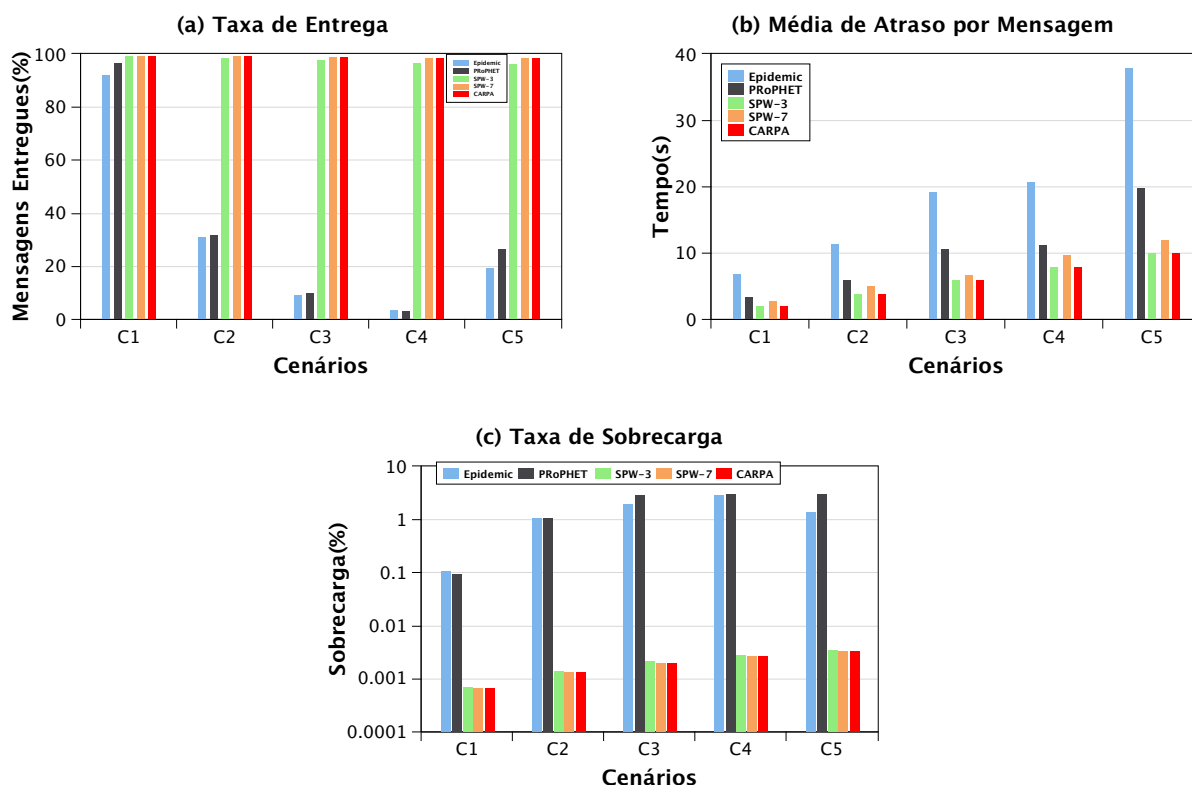


Figura 30 – Impacto da capacidade de armazenamento sob o modelo SP.

armazenamento. Assim, o CARPA obtêm taxas de entrega e sobrecarga iguais as do protocolo SPW-7, com menores taxas de atraso.

O uso do menor caminho acaba por elencar nós com maior contato como os melhores carregadores para as mensagens, consumindo rapidamente a capacidade de armazenamento destes. Em todos os cenários observa-se que o comportamento do CARPA está em acordo com os protocolos de melhor desempenho. Isto se deve a sua capacidade de selecionar o melhor protocolo a cada alteração de cenário. Portanto, o comportamento do CARPA iguala-se a do protocolo com replicação mais otimizada para cada cenário.

A densidade da rede afeta diretamente o comportamento dos protocolos analisados. Para verificar esta propriedade, varia-se o tamanho da área de simulação (800, 10000 e 20000 m^2), mantém-se os demais parâmetros conforme descritos na Tabela 11 e varia-se os cenários de acordo com a primeira das duas tabelas em Tabela 12. Dentre as métricas aferidas estão taxa de entrega, atraso por mensagem e sobrecarga por entrega. Os resultados obtidos da variação dos cenários são mostrados na Figura 31.

Para o modelo de mobilidade SP, conforme a rede se torna mais densa, a existência de caminhos vai se tornando mais frequente, permitindo que a porcentagem de mensagens entregues também aumente. Porém, quando a rede está demasiada-

mente densa e as colisões são frequentes, a porcentagem de mensagens entregues é reduzida. Os contatos entre origem e destino das mensagens se tornam cada vez mais raros, implicando diretamente na sobrecarga dos protocolos *Epidemic* e *PRoPHET*. Isto pode ser observado nos cenários com maior concentração de baixas densidades como em *C4* (baixa, alta, média e baixa) e *C5* (baixa, alta, média, média e baixa).

Nestes cenários ocorre um maior favorecimento aos protocolos *SPW-3* e *SPW-7*, que tornam-se a escolha do *CARPA*. Dada a busca de um menor caminho para o destino, os encontros passam a ser planejados reforçando a eficiência no uso do controle de replicação.

Comportamento semelhante é observado ao se alterar sucessivamente a velocidade dos nós. A Figura 31 ilustra este impacto. Nesses cenários, a capacidade dos protocolos de se adaptar à diferentes mobilidades é medida a partir de alterações na velocidade dos nós, conforme descrição na Tabela 14 com tempo de repouso nulo.

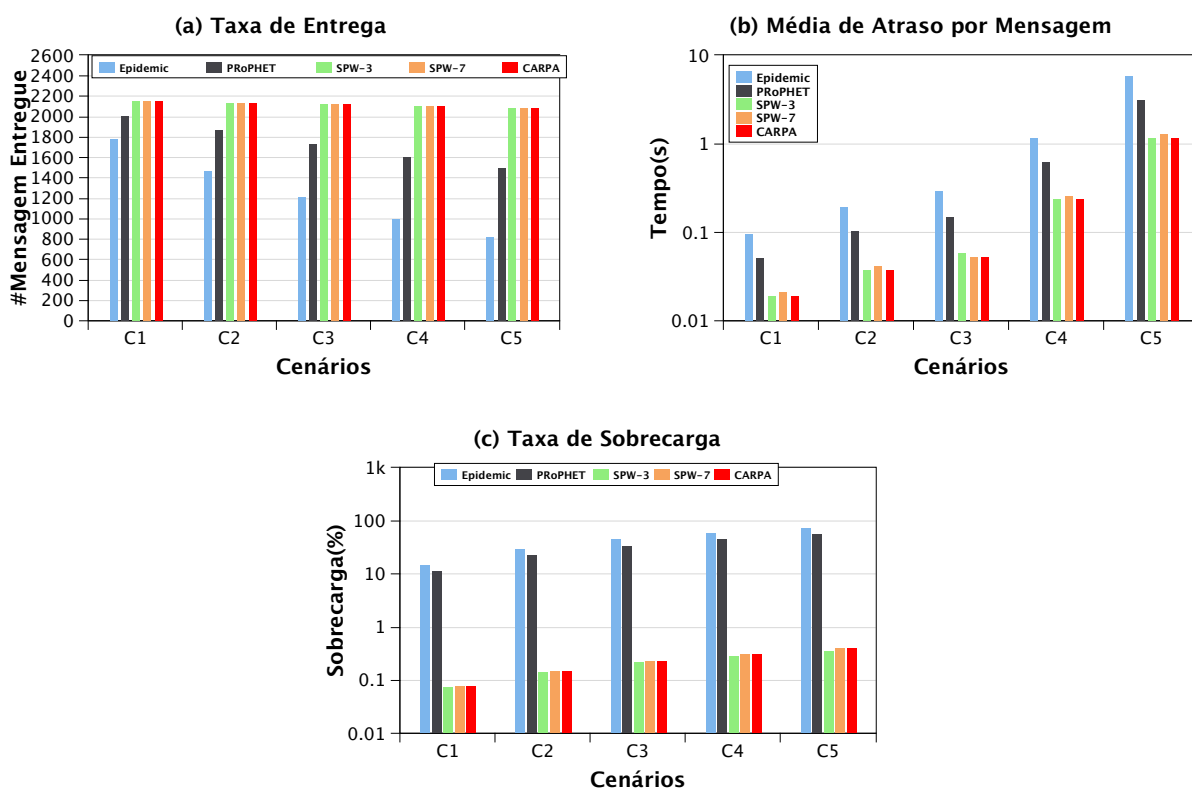


Figura 31 – Impacto da variação de densidade sob o modelo SP.

Por não haver restrição de armazenamento, os protocolos *SPW* (3 e 7) e o *CARPA* atingem quase 100% nas taxas de entrega, independente das variações nas velocidades de deslocamento (Figura 32 (a)). Porém, todos os protocolos tem comportamento semelhante quanto ao atraso e sobrecarga para frequentes trocas na velocidade de deslocamento, conforme ilustram as Figuras 32 (b) e (c). Todos são

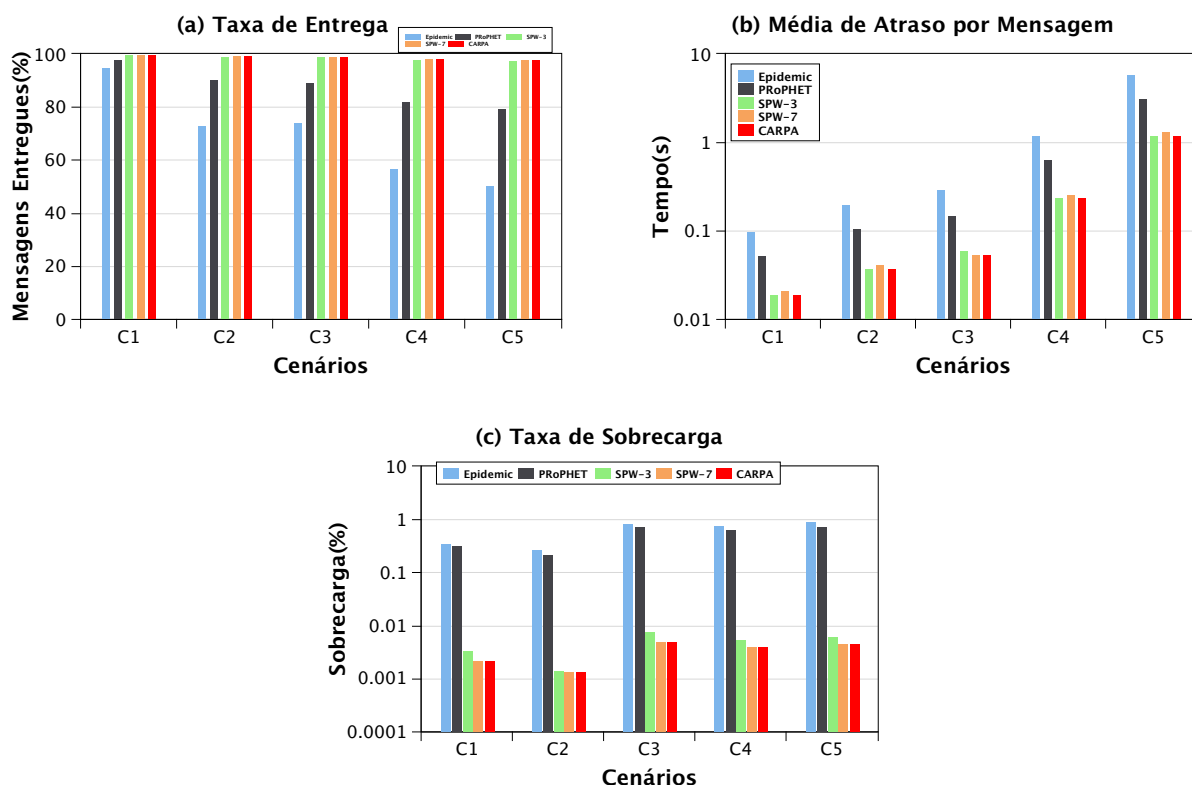


Figura 32 – Desempenho para variações na velocidade de deslocamento sob o modelo SP.

influenciados, principalmente pelo aumento na velocidade dos nós.

Os protocolos *Epidemic* e PProPHET apresentam comportamento similar ao se registrar aumento na velocidade dos nós. Ambos sofrem com sobrecarga e atrasos devido a um maior nível de contatos que influencia no número de colisões e armazenamento de mensagens.

O modelo de movimentação SP utiliza um mapa para restringir o movimento dos nós, os quais escolhem o seu destino de forma aleatória dentro do mapa. Em seguida, cada nó calcula o menor caminho para chegar ao destino e se desloca em sua direção. Neste modelo, os destinos são escolhidos a partir de um conjunto de pontos de interesse (POI).

O uso de POI tem por objetivo indicar pontos de relevância que devam ser visitados pelo nó durante seu deslocamento para o destino. A metodologia CARPA se destina a cenários totalmente aleatórios e desconhecidos, portanto a avaliação de pontos de interesse específicos(como lojas, escritórios, estações) não faz parte do conjunto de parâmetros selecionados para ditar o contexto da rede dentro dos cenários de estudo.

Ao se analisar o comportamento dos protocolos com o uso do modelo SP

percebe-se que para os parâmetros armazenamento, densidade e velocidade dos nós, o comportamento dos protocolos e, em especial do CARPA, não se altera mesmo quando ocorrem variações frequentes dos cenários. Isto se deve à restrição de movimento imposta aos nós pelo modelo de movimentação. Dado este fato, optou-se por omitir os resultados das simulações para alterações do parâmetro de quantidade de contatos, o qual é intrínseco na análise de contexto do parâmetro densidade.

A mesma decisão foi adotada para a avaliação do comportamento dos protocolos quanto ao tempo de uso da rede. Desde que o POI não é um parâmetro alterado nos cenários simulados, a decisão do algoritmo de menor caminho será sempre visitar os mesmos nós intermediários de um determinado mapa, independente do tempo de uso da rede, dada a restrição de movimento do nós ao mapa considerado.

Assim, para os cenários que utilizam o modelo movimentação SP, a escolha do CARPA será sempre pelo protocolo SPW-7, se disponível no nó. Caso contrário, a ordem de seleção será pelo SPW-3, PProPHET e, por último, *Epidemic*. O SPW-7 torna-se a escolha do CARPA, pois apresenta uma forma de disseminação controlada balanceada com o uso de recursos dos nós para os parâmetros usados nos cenários simulados.

5.2.8 Análise do Consumo de Recursos

A complexidade de um algoritmo depende de muitos fatores, em especial, do tempo de execução e do espaço alocado. Ambos estimados em função do tamanho da entrada que deve ser processada. Logo é importante estabelecer de que forma o tamanho da entrada influi no comportamento do algoritmo.

O desempenho do CARPA foi avaliado em relação a requisitos preferenciais para as mensagens e aos parâmetros da rede, porém o método acrescenta um processo aos nós antes do roteamento. Este processo corresponde apenas a uma seleção de parâmetros, não resultando em novas transmissões. Todas as informações que o CARPA utiliza são retiradas do próprio nó ou de transmissões executadas durante o funcionamento normal da rede. Todavia, o seu custo de processamento está diretamente atrelado à construção do oráculo. A complexidade do oráculo é proporcional à estrutura utilizada por ele para armazenamento, manutenção e recuperação das informações.

Especificamente para as avaliações do CARPA realizadas nesta tese, o oráculo foi implementado sob a forma de uma tabela de dispersão (*HASH*) sem colisões. Assim, entende-se que a contabilização de recursos usados pelo método onerou a rede com uma função de busca de complexidade temporal constante $O(1)$. O armazenamento desta tabela é necessária a cada nó que implementa o CARPA. De forma que durante as simulações, o espaço alocado para armazenar a tabela em cada nó correspondeu a uma média de 10% a 20% do tamanho original de uma mensagem enviada.

As decisões tomadas pelo método CARPA convergem ao serviço de roteamento que é inerente ao fluxo normal da rede e contabiliza gastos de recursos conforme o protocolo escolhido. Este custo é inalterado pela solução proposta. Por exemplo, o mecanismo utilizado pelo protocolo *Epidemic* visa atingir o maior número possível de nós, chegando a transmitir $O(N)$ mensagens no pior caso. Os protocolos da família SPW consomem menos recursos devido à adoção do mecanismo de controle de disseminação, que na fase *Spray* encaminha cópias da mensagens a um número constante ($L \times \#n\acute{ı}veis\ do\ grafo$) para o pior caso. Já, a disseminação do P_{Ro}PHET é considerada controlada, pois se baseia em transferir a mensagem apenas para os nós com maior probabilidade de encontrar o destino, estimada em atingir no máximo o conjunto de nós com maior probabilidade.

Evidentemente, o CARPA sofre com as sobrecargas e atrasos característicos de cada protocolo de roteamento, pois como não altera o funcionamento padrão de nenhum deles. Como pode ser observado nas análises apresentadas neste capítulo, muitas destas perdas são diluídas através da tomada de decisão do método em fazer escolhas combinadas.

Caso as decisões do CARPA estejam sempre corretas, ele no mínimo iguala seu desempenho aos dos melhores protocolos de roteamento disponíveis para todas as métricas pertencentes a um contexto instantâneo. Estes resultados indicam que o CARPA pode aproveitar ao máximo os pontos fortes dos protocolos de roteamento e reduzir os seus pontos fracos, no entanto, seu desempenho depende da heurística utilizada e do conhecimento representado no oráculo.

5.3 CONCLUSÃO

A avaliação de parâmetros que influenciam o desempenho dos protocolos contribui para a criação de soluções otimizadas. Nesse sentido, o método CARPA se baseia no conhecimento do desempenho de determinados protocolos de roteamento e adota decisões que elevam a sua capacidade, enquanto garante um desempenho global mais otimizado para cada cenário de rede.

O CARPA toma decisões sobre os parâmetros e protocolos de roteamento que tem conhecimento, ou seja, a partir de um oráculo sobre o desempenho de determinados protocolos. De posse deste conhecimento e das informações instantâneas que obtêm sobre o estado da rede, ele indica o protocolo que apresenta o desempenho mais otimizado para atender o requisito da mensagem, além de superar as limitações identificadas nos contextos evoluídos. Vale ressaltar que a decisão do CARPA é dependente do conhecimento que possui, porém não limitado aos parâmetros e estados avaliados nesta tese. Mesmo que um oráculo seja direcionado a outro tipo de conhecimento ou protocolo, a decisão do CARPA é sempre atender determinados

requisitos e garantir um equilíbrio entre os objetivos e os recursos existentes.

Os resultados apresentados demonstram a eficácia da estratégia de seleção dinâmica do serviço de roteamento a contextos instantâneos da rede, que pode ser empregada em qualquer DTN com quaisquer protocolos de roteamento.

6 CONCLUSÃO

Uma DTN é caracterizada por uma topologia de rede parcialmente conectada que acarreta frequentes desconexões e longos atrasos, além de mobilidade e operações descentralizadas. A conectividade intermitente entre os nós torna a tarefa de entrega de mensagens um desafio constante, pois os serviços e as aplicações encontram-se indisponíveis em grande parte do tempo. A maioria dos protocolos de roteamento de outros tipos de rede, não se aplicam a uma DTN. Para contornar os desafios que circundam os processos de roteamento e garantir a continuidade dos serviços mesmo na ausência de comunicação fim-a-fim, os nós DTN utilizam o paradigma *store-carry-and-forward*. Assim, o nó adquire a capacidade de proporcionar mecanismos para que uma mensagem possa ser armazenada de forma persistente até que a conectividade seja restabelecida.

Inúmeras são as propostas de protocolos criadas para adicionar este paradigma ao serviço de roteamento. No entanto, cada uma se dedica a contornar uma ou alguma fraqueza detectada em um contexto de rede, através de abordagens e tomadas de decisão específicas. Algumas propostas se baseiam em conhecimento de padrões sociais dos nós, outras em níveis de densidade da rede, ou históricos de probabilidades, dentre outras abordagens. Todas usam um protocolo de roteamento único durante todas as transferências, da origem ao destino da mensagem. Na maioria das vezes, os "bons" resultados são alcançados pelo acréscimo de transmissões e processamentos nos nós e garantem a cada proposta suas próprias virtudes e fraquezas. As dificuldades em se equilibrar decisões de roteamento aos limites e oscilações de um contexto motivaram os objetivos desta tese de doutorado.

Com o intuito de otimizar o serviço de roteamento em DTN e aplicar as propostas existentes, foi proposto um método de adaptação ciente do contexto instantâneo da rede, denominado CARPA. O método habilita o nó carregador a decidir dinamicamente pelo protocolo mais otimizado para o contexto em que ele se encontra. A decisão é baseada no conhecimento que um oráculo tem disponível sobre o desempenho dos protocolos de roteamento que o nó detém, e as atribuições do contexto instantâneo ditadas pelo estado da rede e requisitos da mensagem. Assim, usa-se diversos protocolos de roteamento durante o trajeto da mensagem, se necessário, um diferente a cada transmissão.

A ideia de adaptação foi inserida no nó carregador como um processo anterior ao roteamento, de forma que nenhuma modificação é efetuada no algoritmo de roteamento selecionado. Um importante diferencial da proposta está em não alterar o protocolo de roteamento e sim selecioná-lo ao contexto que lhe é mais conveniente,

contornando suas eventuais fraquezas em um determinado contexto de rede. Deste modo, qualquer novo protocolo comprovadamente eficiente pode fazer parte das decisões do método. A estratégia de avaliar o estado da rede apenas pelos parâmetros que interferem na construção dos protocolos disponibilizados pelo nó, configura uma metodologia sumarizada para avaliar o conjunto todo da rede.

Para avaliar a proposta, simulações foram executadas considerando-se como métricas de desempenho a melhor taxa de entrega, menor atraso e menor sobrecarga, denominadas também requisitos das mensagens. O CARPA foi comparado aos protocolos parametrizáveis para DTN *Epidemic*, P_{Ro}PHET, SPW-3 e SPW-7. Primeiramente para avaliar o comportamento do método em comparação a cada um dos protocolos, as simulações foram realizadas com variações para cada parâmetro considerado impactante no desempenho dos protocolos. Posteriormente, as simulações foram conduzidas para uma combinação entre parâmetros para configurar cenários compostos por diversos contextos. Assim, obteve-se as mais variadas oscilações de contextos e foi possível medir a capacidade da proposta em relação ao uso acoplado de cada protocolo durante todo o trajeto de uma mensagem. Os parâmetros evoluídos nesta tese e que delimitaram os contextos foram a capacidade de armazenamento, a densidade, a velocidade dos nós, a quantidade de contato oportunista e o tempo disponível de uso da rede. Embora os resultados tenham sido gerados a partir destes parâmetros e dos protocolos citados, vale ressaltar que o método não é limitado a eles, e sim, adaptável a quaisquer outros conhecimentos.

Pelos resultados obtidos verificou-se que o CARPA supera os demais protocolos de roteamento nas mais variadas combinações de cenários. No mínimo, ele alcança o mesmo desempenho registrado para o protocolo mais otimizado dentro de um contexto, do contrário, sempre resulta no aumento na taxa de entrega e economia de recursos. Desde que o oráculo detenha o conhecimento adequado e corretamente delimitado. Como o método utiliza informações disponíveis no nó, não gera acréscimos de transmissões. O uso de recursos se limita ao processamento de uma escolha mediante a atribuição de um contexto. Evidentemente, o método faz uso de uma base de conhecimento onde são registrados os limites de desempenho para cada protocolo disponível no nó. Por se tratar de uma rede descentralizada, este conhecimento deve ser armazenado em cada nó DTN, onerando a capacidade de armazenamento do nó. Nas simulações este acréscimo representou uma média entre 11KB e 23KB a mais de armazenamento em cada nó, ou seja, em torno de 10% a 20% do tamanho original de uma mensagem.

6.1 CONTRIBUIÇÕES

Nesta tese, o foco foi centrado nas oscilações de desempenho dos protocolos de roteamento para DTNs. A partir das fraquezas detectadas foi proposto um método generalizado para adaptar dinamicamente o serviço de roteamento ao contexto que se forma durante um trajeto, sem a necessidade de alterar o algoritmo de roteamento. Apenas alternando o uso entre os protocolos conforme o desempenho de cada um dentro de um cenário de rede. Este estudo gerou contribuições importantes que são elencadas a seguir:

- Elaboração de um estudo sobre protocolos de roteamento completamente cientes de contextos para DTN (Seção 2.3);
- Avaliação da funcionalidade dos principais protocolos de roteamento para DTN, além da avaliação de métricas de roteamento e desempenho que impactam estes protocolos (Capítulo 3 e Seção 3.3);
- Análise e definição de métricas relevantes para capturar o estado dinâmico da rede e dos nós DTN (Capítulo 3);
- Desenvolvimento de um método para DTN com capacidade de contornar oscilações de contextos ao longo do trajeto de uma mensagem (Capítulo 4);
- Desacoplamento do protocolo de roteamento ao trajeto de uma mensagem (Capítulos 4 e 5);
- Definição de contextos nos quais a alternância entre protocolos de roteamento favorecem o desempenho dos protocolos parametrizáveis para DTN e garantem requisitos da mensagem (Capítulo 5);
- Elaboração de uma heurística para detectar, quantificar e atribuir contextos de DTN independente do parâmetro de rede e requisito da mensagem (Capítulo 3 e 4);
- Proposta de um método aplicado em nós DTN para tornar possível a escolha dinâmica e alternada do modo de roteamento mais favorável às condições de contexto instantâneas avaliadas a cada salto;
- Implementação do método CARPA na forma de um modelo de simulações e sua validação em comparação com o uso exclusivo de um protocolo por todo o trajeto de uma mensagem (Capítulo 5).
- Avaliação detalhada do desempenho do CARPA em diversos cenários com contextos contratantes (Capítulo 5).

6.2 TRABALHOS FUTUROS

A pesquisa desenvolvida nesta tese apresentou contribuições para a área de serviço de roteamento em DTN. Contudo, existem alguns aspectos sobre os quais a continuidade da pesquisa contribui para o seu aperfeiçoamento e novas abordagens de soluções. Os resultados do desempenho alcançado pelo método nas simulações deixam claro que a abordagem proposta configura uma tomada de decisão eficiente para otimizar o serviço de roteamento, através da adequação do protocolo mais otimizado com as limitações de cada contexto. Porém, o CARPA foi testado com o uso de um oráculo predefinido, embora os contextos pudessem ser avaliados e atribuídos de modo dinâmico e instantâneo.

A partir deste ponto, cabe uma investigação de processos para que a construção do conhecimento dos protocolos disponíveis no nó possa acontecer em tempo de execução, sem necessidade de um pré cadastramento do oráculo. Este módulo deverá responder pela criação dinâmica do oráculo de conhecimento, de forma que, a cada parâmetro detectado como relevante ao comportamento do contexto para um protocolo existente, seja atribuída uma função de utilidade baseada em pesos. A atribuição de contexto passaria a ser realizada a partir do cálculo de relevância de cada parâmetro para o desempenho do protocolo. Métodos de otimização multiobjetivos como aprendizado de máquina supervisionados ou processo hierárquico analítico (*Analytic Hierarchy Process* - AHP) se configuram em investigações viáveis ao objetivo. Desde que sejam observados os percentuais acrescidos quanto ao uso de recursos e atrasos, devido às limitações do nós.

Os contextos utilizados no conhecimento do CARPA foram avaliados quanto à capacidade de armazenamento, densidade, velocidade dos nós, quantidade de contato e tempo de disponibilidade da rede. A observação do comportamento de outros parâmetros, como percentual de energia remanescente nos nós e número de regiões visitadas, tornam-se avaliações pertinentes a um trabalho futuro necessário para dotar o CARPA de um conhecimento mais abrangente sobre o estado da rede e também para explorar sua dinamicidade.

Outro aspecto de trabalho futuro, tem relação com os modelos de movimentação utilizados na rede. Nesta tese, considerou-se uma topologia de rede totalmente aleatória, ou seja, sem registros de comportamento previsíveis. A topologia utilizada para a proposta e evoluções caracterizou-se por ser oportunista. Pretende-se avaliar o comportamento do CARPA mediante encontros previsíveis e, também, protocolos cientes de relacionamentos sociais. Este tipo de evolução servirá para averiguar o quanto a alternância entre protocolos de roteamento em um trajeto se torna eficiente quando utilizados em conjunto com decisões de roteamento cientes de contexto. Como última, mas nem tão pouco finita proposta de trabalho futuro, considera-se prover o

CARPA de experimentos em cenários reais.

PUBLICAÇÕES REALIZADAS NO DOUTORADO

A lista a seguir registra os artigos publicados durante o período deste doutorado e referentes ao tema desta tese.

1. Menegazzo, C. ; Alabini, L. C. P. . A Context-Aware Method Decoupled from Protocol for Adapting Routing Process in DTN. *International Conference on Mobile Networks and Management (MONAMI)*, Set. 2015.
2. Menegazzo, C. ; Albin, L. C. P. . Unadvertised energy saving method for static and homogeneous wireless sensor networks. *IET Wireless Sensor Systems*, v. 4, p. 105-111, 2014.
3. Gielow, F. H. ; Bernardelli, F. C. ; Menegazzo, C. ; PARI, N. L. ; Santos, A. L. . Um Mecanismo para Mitigar Ataques DDoS em Serviços Web sob Nuvem. *Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais*, Nov. 2012.

REFERÊNCIAS

- ABDULLA, M.; SIMON, R. The impact of the mobility model on delay tolerant networking performance analysis. In: **Simulation Symposium, 2007. ANSS '07. 40th Annual**. [S.l.: s.n.], 2007. p. 177–184. ISSN 1080-241X. Citado 2 vezes nas páginas 63 e 66.
- ABRAHAM, A.; S, J. Article: Routing strategies in delay tolerant networks: A survey. **International Journal of Computer Applications**, v. 42, n. 19, p. 44–48, March 2012. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 33.
- AL-SIYABI, M.; CRUICKSHANK, H.; SUN, Z. Dtn qos metrics and fair resources management model. In: **Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2011 24th Canadian Conference on**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 000704–000707. ISSN 0840-7789. Citado na página 62.
- ALI, S.; QADIR, J.; BAIG, A. Routing protocols in Delay Tolerant Networks - a survey. **2010 6th International Conference on Emerging Technologies (ICET)**, leee, p. 70–75, out. 2010. Citado na página 20.
- BALASUBRAMANIAN, A.; LEVINE, B.; VENKATARAMANI, A. Dtn routing as a resource allocation problem. **SIGCOMM Computer Communication Review**, ACM, New York, NY, USA, v. 37, n. 4, p. 373–384, ago. 2007. ISSN 0146-4833. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1282427.1282422>>. Citado 4 vezes nas páginas 55, 56, 64 e 66.
- BETTINI, C. et al. A survey of context modelling and reasoning techniques. **Pervasive and Mobile Computing**, Elsevier, v. 6, n. 2, p. 161–180, 2010. Citado na página 88.
- BOLDRINI, C. et al. Context-and social-aware middleware for opportunistic networks. **Journal of Network and Computer Applications**, Elsevier, v. 33, n. 5, p. 525–541, 2010. Citado 9 vezes nas páginas 20, 21, 56, 57, 80, 135, 136, 137 e 138.
- BOLDRINI, C. et al. Hibop: a history based routing protocol for opportunistic networks. In: **World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, 2007. WoWMoM 2007. IEEE International Symposium on a**. [S.l.: s.n.], 2007. p. 1–12. Citado 2 vezes nas páginas 54 e 55.
- BOLDRINI, C.; CONTI, M.; PASSARELLA, A. **Autonomic Communication**. Boston, MA: Springer US, 2009. ISBN 978-0-387-09752-7. Citado na página 38.
- BURGESS, J. et al. Maxprop: Routing for vehicle-based disruption-tolerant networks. In: **In Proceedings IEEE INFOCOM**. [S.l.: s.n.], 2006. Citado na página 46.
- CABANISS, R. et al. Dynamic social grouping based routing in a mobile ad-hoc network. In: **Mobile Data Management (MDM), 2010 Eleventh International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2010. p. 295–296. Citado na página 39.
- CERF, V. et al. **Delay-Tolerant Networking Architecture**. [S.l.]: IETF, 2007. RFC 4838. (Request for Comments, 4838). Citado 4 vezes nas páginas 26, 28, 29 e 30.

CHEN, G.; KOTZ, D. et al. **A survey of context-aware mobile computing research**. [S.l.], 2000. Citado 4 vezes nas páginas 20, 21, 38 e 80.

CHENG, C. et al. A loop-free extended bellman-ford routing protocol without bouncing effect. In: **Symposium Proceedings on Communications Architectures & Protocols**. New York, USA: ACM, 1989. (SIGCOMM '89), p. 224–236. ISBN 0-89791-332-9. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/75246.75269>>. Citado na página 50.

CHLAMTAC, I.; CONTI, M.; LIU, J. J.-N. Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges. **Ad Hoc Networks**, v. 1, n. 1, p. 13–64, 2003. Citado na página 19.

CHUAH, M. C.; YANG, P. Context-aware multicast routing scheme for Disruption Tolerant Networks. **International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing**, v. 4, n. 5, p. 269, 2009. ISSN 1743-8225. Citado na página 140.

CORSON, S.; MACKER, J. **Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations"**, RFC 2501. 1999. Citado na página 19.

DAVIS, J. A.; FAGG, A. H.; LEVINE, B. N. Wearable computers as packet transport mechanisms in highly-partitioned ad-hoc networks. In: **ISWC**. [S.l.]: IEEE Computer Society, 2001. p. 141–148. ISBN 0-7695-1318-2. Citado na página 34.

DOWLING, J. et al. Using feedback in collaborative reinforcement learning to adaptively optimize manet routing. **Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on**, v. 35, n. 3, p. 360–372, 2005. ISSN 1083-4427. Citado na página 44.

D'SOUZA, R. J.; JOSE, J. Routing Approaches in Delay Tolerant Networks: A Survey. **International Journal of Computer Applications**, v. 1, n. 17, p. 9–15, fev. 2010. ISSN 09758887. Citado na página 20.

EKMAN, F. et al. Working day movement model. In: **Proceedings of the 1st ACM SIGMOBILE workshop on Mobility models**. [S.l.: s.n.], 2008. (MobilityModels '08), p. 33–40. ISBN 978-1-60558-111-8. Citado 3 vezes nas páginas 45, 114 e 147.

ELRAKABAWY, S.; LINDEMANN, C. A clean-slate architecture for reliable data delivery in wireless mesh networks. In: **Wireless Communications and Networking Conference, 2009. WCNC 2009. IEEE**. [S.l.: s.n.], 2009. p. 1–6. ISSN 1525-3511. Citado na página 135.

ELWHISHI, A.; HO, P.-H. Sarp - a novel multi-copy routing protocol for intermittently connected mobile networks. In: **Global Telecommunications Conference, 2009. GLOBECOM 2009. IEEE**. [S.l.: s.n.], 2009. p. 1–7. ISSN 1930-529X. Citado 3 vezes nas páginas 44, 47 e 48.

ELWHISHI, A. et al. ARBR: adaptive reinforcement-based routing for DTN. In: **Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)**. [S.l.: s.n.], 2010. p. 376–385. Citado na página 44.

ELWHISHI, A. et al. Self Adaptive Contention Aware Routing Protocol for Intermittently Connected Mobile Networks. **IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems**, p. 1–14, 2012. ISSN 1045-9219. Citado 4 vezes nas páginas 38, 48, 49 e 66.

FALL, K. A delay-tolerant network architecture for challenged internets. In: **SIGCOMM '03: Proceedings of the 2003 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications**. [S.l.: s.n.], 2003. p. 27–34. Citado 7 vezes nas páginas 19, 20, 26, 27, 28, 29 e 34.

FU, Q. et al. Dawn: A density adaptive routing algorithm for vehicular delay tolerant sensor networks. In: **Communication, Control, and Computing (Allerton), 2011 49th Annual Allerton Conference on**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 1250–1257. Citado na página 41.

GRASIC, S.; LINDGREN, A. An analysis of evaluation practices for dtn routing protocols. In: **Proceedings of the Seventh ACM International Workshop on Challenged Networks**. New York, USA: ACM, 2012. (CHANTS '12), p. 57–64. ISBN 978-1-4503-1284-4. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2348616.2348629>>. Citado na página 61.

GUO, Z. et al. Adaptive routing in underwater delay disruption tolerant sensor networks. In: **Wireless on Demand Network Systems and Services, 2008. WONS 2008. Fifth Annual Conference on**. [S.l.: s.n.], 2008. p. 31–39. Citado 2 vezes nas páginas 142 e 143.

HAHN, D. et al. Using virtualization and live migration in a scalable mobile wireless testbed. **SIGMETRICS Performance Evaluation Review**, v. 38, n. 3, p. 21–25, jan. 2011. ISSN 0163-5999. Citado na página 139.

HENRICKSEN, K.; INDULSKA, J. Developing context-aware pervasive computing applications: Models and approach. **Pervasive and mobile computing**, 2006. Citado na página 88.

HUANG, T.-K.; LEE, C.-K.; CHEN, L.-J. Prophet+: An adaptive prophet-based routing protocol for opportunistic network. In: **Advanced Information Networking and Applications (AINA), 2010 24th IEEE International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2010. p. 112–119. ISSN 1550-445X. Citado na página 45.

HUANG, W.; ZHANG, S.; ZHOU, W. Spray and wait routing based on position prediction in opportunistic networks. In: **Computer Research and Development (ICCRD), 2011 3rd International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2011. v. 2, p. 232–236. Citado na página 148.

HUI, P.; CROWCROFT, J.; YONEKI, E. Bubble rap: social-based forwarding in delay tolerant networks. In: **Proceedings of the 9th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing**. [S.l.: s.n.], 2008. (MobiHoc '08), p. 241–250. ISBN 978-1-60558-073-9. Citado na página 50.

JAIN, S.; FALL, K.; PATRA, R. Routing in a delay tolerant network. **SIGCOMM Comput. Commun. Rev.**, v. 34, p. 145–158, ago. 2004. ISSN 0146-4833. Citado 7 vezes nas páginas 29, 31, 32, 33, 42, 47 e 66.

JIN, Z. et al. Epidemic-based controlled flooding and adaptive multicast for delay tolerant networks. In: **Ubiquitous Intelligence Computing and 7th International Conference on Autonomic Trusted Computing (UIC/ATC), 2010**. [S.l.: s.n.], 2010. p. 191–194. Citado 3 vezes nas páginas 41, 66 e 140.

JOHARI, R.; GUPTA, N.; ANEJA, S. Concor: context-aware community-oriented routing for intermittently connected network. **EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking**, Springer International Publishing, v. 2015, n. 1, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1186/s13638-015-0357-7>>. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 39.

JUBIN, J.; TORNOW, J. The darpa packet radio network protocols. **Proceedings of the IEEE**, v. 75, n. 1, p. 21–32, 1987. ISSN 0018-9219. Citado na página 42.

KALMAN, R. E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. **Transactions of the ASME, Journal of Basic Engineering**, n. 82 (Series D), p. 35–45, 1960. Citado na página 52.

KAVEEVIVITTHAI, S.; OCHIAI, H.; ESAKI, H. Message deletion and mobility patterns for efficient message delivery in dtns. In: **Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), 2010 8th IEEE International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2010. p. 760–763. Citado na página 108.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs**. Cambridge University Press, 1993. ISBN 0521438837, 9780521438834. Disponível em: <<http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=GPE6ZAqGrnC&oi=fnd&pg=PR11&ots=EjFIKy8www&sig=XdCfgeoXofOpcjMIH-26bZy3T2A>>. Citado na página 88.

KERÄNEN, A.; OTT, J.; KÄRKKÄINEN, T. The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation. In: **Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques (SIMUTools)**. [S.l.: s.n.], 2009. ISBN 978-963-9799-45-5. Citado na página 146.

KIM, Y.-P. et al. Composite methods for improving spray and wait routing protocol in delay tolerant networks. In: **Communications and Information Technologies (ISCIT), 2010 International Symposium on**. [S.l.: s.n.], 2010. p. 1229–1234. Citado na página 148.

LAKKAKORPI, J.; PITKÄNEN, M.; OTT, J. Adaptive routing in mobile opportunistic networks. In: **Proceedings of the 13th ACM international conference on Modeling, analysis, and simulation of wireless and mobile systems**. New York, NY, USA: ACM, 2010. (MSWIM '10), p. 101–109. ISBN 978-1-4503-0274-6. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1868521.1868539http://doi.acm.org/10.1145/1868521.1868539>>. Citado 3 vezes nas páginas 20, 66 e 144.

LEGUAY, J. et al. Opportunistic content distribution in an urban setting. In: **Proceedings of the 2006 SIGCOMM workshop on Challenged networks**. [S.l.: s.n.], 2006. (CHANTS '06), p. 205–212. ISBN 1-59593-572-X. Citado na página 19.

LINDEGRAN, A. et al. **Probabilistic Routing Protocol for Intermittently Connected Networks**. [S.l.]: IETF, 2012. RFC 6693. (Request for Comments, 6693). Citado na página 37.

- LINDGREN, A.; DORIA, A.; SCHELÉN, O. Probabilistic routing in intermittently connected networks. **SIGMOBILE**, v. 7, n. 3, p. 19–20, jul. 2003. ISSN 1559-1662. Citado 6 vezes nas páginas [20](#), [37](#), [51](#), [66](#), [72](#) e [146](#).
- LING, S.; WEI, W. Feedback adaptive routing algorithm for dtn. In: **Communications and Mobile Computing, 2009. CMC '09. WRI International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2009. v. 2, p. 267–271. Citado 2 vezes nas páginas [46](#) e [47](#).
- LIU, C.; WU, J. Efficient adaptive routing in delay tolerant networks. In: **Communications, 2009. ICC '09. IEEE International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2009. p. 1–5. ISSN 1938-1883. Citado na página [49](#).
- LIU, M.; YANG, Y.; QIN, Z. A survey of routing protocols and simulations in delay-tolerant networks. In: **Proceedings of the 6th international conference on Wireless algorithms, systems, and applications**. [S.l.: s.n.], 2011. (WASA'11), p. 243–253. ISBN 978-3-642-23489-7. Citado na página [33](#).
- LUSSEAU, D.; NEWMAN, M. E. J. Identifying the role that animals play in their social networks. **Proceedings. Biological sciences / The Royal Society**, School of Biological Sciences, University of Aberdeen, Lighthouse Field Station, Cromarty, Ross-shire IV11 8YJ, UK. d.lusseau@abdn.ac.uk, v. 271, n. Suppl 6, p. pages 477–481, dez. 2004. ISSN 0962-8452. Citado na página [51](#).
- MOREIRA, W.; MENDES, P.; SARGENTO, S. Assessment model for opportunistic routing. In: **Communications (LATINCOM), 2011 IEEE Latin-American Conference on**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 1–6. Citado na página [61](#).
- MOTA, V. F. et al. Protocols, mobility models and tools in opportunistic networks: A survey. **Computer Communications**, v. 48, n. 0, p. pages 5 – 19, 2014. ISSN 0140-3664. Citado 3 vezes nas páginas [21](#), [66](#) e [80](#).
- MUSOLESI M., M. C. Car: Context-aware adaptive routing for delay-tolerant mobile networks. **Mobile Computing, IEEE Transactions on**, v. 8, n. 2, p. 246–260, 2009. ISSN 1536-1233. Citado 3 vezes nas páginas [38](#), [39](#) e [52](#).
- OLIVEIRA, C.; DUARTE, O. Uma análise da probabilidade de entrega de mensagens em redes tolerantes a atrasos e desconexões. **Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC-07)**, p. 293–305, 2007. Citado 2 vezes nas páginas [28](#) e [34](#).
- OLIVEIRA, E. C. R.; ALBUQUERQUE, C. V. N. Nectar: a dtn routing protocol based on neighborhood contact history. In: **Proceedings of the 2009 ACM symposium on Applied Computing**. [S.l.: s.n.], 2009. (SAC '09), p. 40–46. ISBN 978-1-60558-166-8. Citado na página [42](#).
- OLIVEIRA, E. C. R.; ALBUQUERQUE, C. V. N. Roteamento adaptativo a contextos para redes tolerantes a atrasos e desconexões. In **XXX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**, p. 872–885, 2012. Citado 6 vezes nas páginas [20](#), [21](#), [38](#), [41](#), [66](#) e [80](#).
- OLIVEIRA, E. C. R. d. **Roteamento Adaptativo a Contextos para Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões**. 2008. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Fluminense, Programa de Pós Graduação em Computação, Niterói, RJ, Brasil. Citado 2 vezes nas páginas [34](#) e [42](#).

PALLA, G. et al. Uncovering the overlapping community structure of complex networks in nature and society. **Nature**, v. 435, p. 814–818, 2005. Citado na página 51.

PELUSI, L.; PASSARELLA, A.; CONTI, M. Opportunistic networking: data forwarding in disconnected mobile ad hoc networks. **Communications Magazine, IEEE**, v. 44, n. 11, p. 134–141, november 2006. ISSN 0163-6804. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 33.

PERKINS, C. E.; BHAGWAT, P. Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (dsv) for mobile computers. In: **Proceedings of the conference on Communications architectures, protocols and applications**. [S.l.: s.n.], 1994. (SIGCOMM '94), p. 234–244. ISBN 0-89791-682-4. Citado na página 49.

PETZ, A. et al. Network coded routing in delay tolerant networks: an experience report. In: **Proceedings of the 3rd Extreme Conference on Communication: The Amazon Expedition**. [S.l.: s.n.], 2011. (ExtremeCom '11), p. 4:1–4:6. ISBN 978-1-4503-1079-6. Citado na página 138.

PETZ, A. et al. An architecture for context-aware adaptation of routing in delay-tolerant networks. In: **Proceedings of the 4th Extreme Conference on Communication (ExtremeCom 2012)**. [S.l.: s.n.], 2012. Citado na página 138.

PETZ, A. et al. Passive network-awareness for dynamic resource-constrained networks. In: **Proceedings of the 11th IFIP WG 6.1 international conference on Distributed applications and interoperable systems**. [S.l.: s.n.], 2011. (DAIS'11), p. 106–121. ISBN 978-3-642-21386-1. Citado na página 138.

PICU, A.; SPYROPOULOS, T. Performance of distributed algorithms in dtns: Towards an analytical framework for heterogeneous mobility. In: **Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2011), 2011 IEEE**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 1–6. ISSN 1930-529X. Citado na página 61.

SANDULESCU, G.; NADJM-TEHRANI, S. Opportunistic dtn routing with window-aware adaptive replication. In: **Proceedings of the 4th Asian Conference on Internet Engineering**. [S.l.: s.n.], 2008. (AINTEC '08), p. 103–112. ISBN 978-1-60558-127-9. Citado 3 vezes nas páginas 20, 45 e 46.

SCOTT, K.; BURLEIGH, S. **Bundle Protocol Specification**. [S.l.]: IETF, 2007. RFC 5050 (Experimental). (Request for Comments, 5050). Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.

SOCOLOFSKY, T.; KALE, C. **TCP/IP tutorial**. [S.l.], 1991. Citado na página 19.

SPYROPOULOS, T.; PSOUNIS, K.; RAGHAVENDRA, C. Single-copy routing in intermittently connected mobile networks. In: **Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, 2004. IEEE SECON 2004. 2004 First Annual IEEE Communications Society Conference on**. [S.l.: s.n.], 2004. p. 235–244. Citado na página 142.

SPYROPOULOS, T.; PSOUNIS, K.; RAGHAVENDRA, C. S. Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. In: **Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking**. [S.l.: s.n.], 2005. (WDTN '05), p. 252–259. ISBN 1-59593-026-4. Citado 6 vezes nas páginas 20, 35, 66, 68, 76 e 146.

SPYROPOULOS, T.; PSOUNIS, K.; RAGHAVENDRA, C. S. Spray and focus: Efficient mobility-assisted routing for heterogeneous and correlated mobility. In: **Pervasive Computing and Communications Workshops, 2007. PerCom Workshops '07. Fifth Annual IEEE International Conference on.** [S.l.: s.n.], 2007. p. 79–85. Citado 3 vezes nas páginas 35, 36 e 48.

SPYROPOULOS, T. et al. Routing for disruption tolerant networks: taxonomy and design. **Wireless Networks**, v. 16, n. 8, p. 2349–2370, set. 2010. ISSN 1022-0038. Citado na página 34.

SPYROPOULOS, T.; TURLETTI, T.; OBRACZKA, K. Routing in delay-tolerant networks comprising heterogeneous node populations. **IEEE Transactions on Mobile Computing**, IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, USA, v. 8, n. 8, p. 1132–1147, 2009. ISSN 1536-1233. Citado na página 26.

STEENSTRUP, M. (Ed.). **Routing in Communications Networks**. Hertfordshire, UK, UK: Prentice Hall International (UK) Ltd., 1995. ISBN 0-13-010752-2. Citado na página 64.

TOURNOUX, P. et al. The accordion phenomenon: Analysis, characterization, and impact on dtn routing. In: **INFOCOM 2009, IEEE**. [S.l.: s.n.], 2009. p. 1116–1124. ISSN 0743-166X. Citado 2 vezes nas páginas 43 e 148.

TOURNOUX, P. et al. Density-aware routing in highly dynamic dtms: The rollernet case. **Mobile Computing, IEEE Transactions on**, v. 10, n. 12, p. 1755–1768, 2011. ISSN 1536-1233. Citado 3 vezes nas páginas 21, 43 e 80.

VAHDAT, A.; BECKER, D. et al. **Epidemic routing for partially connected ad hoc networks**. [S.l.], 2000. Citado 5 vezes nas páginas 20, 34, 35, 66 e 146.

VALIRIS, G.; CHYTAS, P.; GLYKAS, M. Making decisions using the balanced scorecard and the simple multi-attribute rating technique. **Performance Measurement and Metrics**, Emerald Group Publishing Limited, v. 6, n. 3, p. 159–171, 2005. Citado na página 40.

VILLARES, T. L.; CAMPO, C. A.; VIANA, A. C. A influência de nós especiais na entrega de mensagens nas redes tolerantes a atrasos e interrupções. In: **Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC 2013**. Porto Alegre - RS: [s.n.], 2013. Citado na página 108.

WANG, G.; WANG, B.; GAO, Y. Dynamic spray and wait routing algorithm with quality of node in delay tolerant network. In: **Communications and Mobile Computing (CMC), 2010 International Conference on.** [S.l.: s.n.], 2010. v. 3, p. 452–456. Citado na página 148.

WANG, R. Y. et al. Turning the postal system into a generic digital communication mechanism. In: YAVATKAR, R.; ZEGURA, E. W.; REXFORD, J. (Ed.). **SIGCOMM**. [S.l.]: ACM, 2004. p. 159–166. ISBN 1-58113-862-8. Citado na página 33.

WARTHMAN, F. **Delay-Tolerant Networks (DTNs) - A Tutorial**. 2003. Disponível em: http://www.ipnsig.org/reports/DTN_Tutorial11.pdf. Acessado em: (Dezembro 2014). Disponível em: http://www.ipnsig.org/reports/DTN_Tutorial11.pdf. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 30.

WITTIE, M. P. et al. On the implications of routing metric staleness in delay tolerant networks. **Computer Communications**, Elsevier, v. 32, n. 16, p. 1699–1709, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 108 e 109.

XIAOYANG et al. Tafr: A ttl-aware message ferry scheme in dtn. In: **Computational and Information Sciences (ICCIS), 2012 Fourth International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2012. p. 1380–1383. Citado na página 108.

XUE, J. et al. Spray and wait routing based on average delivery probability in delay tolerant network. In: **Proceedings of the International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing, 2009. NSWCTC '09**. [S.l.: s.n.], 2009. v. 2, p. 500–502. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 36.

YASMIN, S.; RAIS, R. N. B.; QAYYUM, A. A multi-attribute routing protocol for opportunistic network environments. **2014 23rd International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN)**, IEEE, p. 1–6, ago. 2014. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6911876>>. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 40.

YE, Q. et al. Os-multicast: On-demand situation-aware multicasting in disruption tolerant networks. In: **Proceedings of IEEE 63 rd VTC**. [S.l.: s.n.], 2006. p. 96–100. Citado na página 141.

ZHANG, X. et al. Study of a bus-based disruption-tolerant network: mobility modeling and impact on routing. In: **Proceedings of the 13th annual ACM international conference on Mobile computing and networking**. [S.l.: s.n.], 2007. (MobiCom '07), p. 195–206. ISBN 978-1-59593-681-3. Citado na página 26.

ZHANG, Z. Routing in intermittently connected mobile ad hoc networks and delay tolerant networks: overview and challenges. **Communications Surveys Tutorials, IEEE**, v. 8, n. 1, p. 24–37, First 2006. ISSN 1553-877X. Citado 3 vezes nas páginas 31, 33 e 34.

ZHAO, W.; AMMAR, M.; ZEGURA, E. A message ferrying approach for data delivery in sparse mobile ad hoc networks. In: **Proceedings of the 5th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing**. [S.l.: s.n.], 2004. (MobiHoc '04), p. 187–198. ISBN 1-58113-849-0. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 141.

ZHAO, W.; AMMAR, M.; ZEGURA, E. Multicasting in delay tolerant networks: semantic models and routing algorithms. In: **Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking**. [S.l.: s.n.], 2005. (WDTN '05), p. 268–275. ISBN 1-59593-026-4. Citado na página 141.

ANEXO A – PROPOSTAS DE ADAPTAÇÃO A CONTEXTOS COM ABORDAGENS EM ROTEAMENTO

A.1 CONTEXT-AND SOCIAL-AWARE MIDDLEWARE

Para [Boldrini et al. \(2010\)](#) contexto engloba diversas redes de pessoas, nas quais a conectividade reflete a interação social entre usuários que se movem por cidades, lugares e eventos. O movimento destes usuários carregando seus dispositivos móveis dá origem à comunicação oportunista. Com base nesta definição e na segmentação de contexto em **usuário**, **serviço** e **dispositivo**, [Boldrini et al. \(2010\)](#) propuseram um *middleware* (*CSA-Middleware*) que aprende sobre contextos e informações sociais do usuário na rede e os utiliza para prever movimentos futuros. Ele também se propõe a otimizar a distribuição de dados e maximizar a probabilidade de entrega de conteúdo de interesse dos usuários.

A proposta foi baseada na arquitetura *clean-slate* ([ELRAKABAWY; LINDEMANN, 2009](#)), e construída para ser integrada de maneira flexível na plataforma de referência do projeto Hagggle European¹. Esta plataforma é considerada autônoma e centrada em conteúdo. A Hagggle é composta por, no mínimo, sete gerentes que se comunicam. Sendo eles de: conectividade; encaminhamento; dados; recursos; atributos; segurança e protocolo.

Cada informação gerada pelos gerentes é organizada e armazenada em um *DataStore* no formato de uma mensagem chamada *DataObject*, ou seja, um metadado definido por um conjunto de atributos como um cabeçalho *Extensible Markup Language* (XML). A Hagggle trabalha com a geração de quatro entidades: o nó; a interface; o dado; e os atributos dos dados na forma de pares nome-valor. Assim, ela implementa as características básicas necessárias para comunicar e entregar mensagens na rede, e qualquer módulo com funcionalidades específicas pode ser incorporado a sua arquitetura.

O *middleware* proposto foi incluído como mais um gerente chamado gerente de contexto. Ele interage diretamente com o serviço que está sendo usado no dispositivo para obter informações de ambos, as quais podem ser tratadas como privadas ou compartilhadas com os outros gerentes da plataforma.

O contexto de serviço depende exclusivamente do serviço ou aplicação que está sendo utilizado no dispositivo móvel e com quem ele interage diretamente. Cada categoria de serviço possui características bem definidas e informações específicas para garantir desempenhos favoráveis. O levantamento do contexto de serviço feito pelo *middleware* se dá por meio da análise do conteúdo a ser trocado entre os nós.

¹ <http://www.hagggleproject.org>.

Para tornar outros usuários cientes dos interesses e conteúdos compartilhados, os contextos de serviço e usuário devem ser disseminados pela rede. De forma que cada usuário cadastra seus interesses mediante uma interação com o *middleware*. Este cadastro é declarado na forma de atributo-valor dentro do *DataObject*. A troca de informações entre os nós é realizada por mensagens (*beacons*), durante o processo de descoberta de seus vizinhos e acontece sempre a um salto (1-hop).

As definições da noção de serviço são entregues ao gerente de contexto para serem disseminadas aos vizinhos do nó, se for usado o contexto compartilhado. Se for privado, somente os vizinhos que utilizam o mesmo serviço receberão estas informações, na condição que eles tenham declarado seus interesses. Igualmente para o contexto de dispositivos, as informações podem ser diretamente recuperadas pela interação do *middleware* com o gerente interessado, geralmente local.

O contexto de dispositivos refere-se principalmente as características físicas e limitações dos dispositivos móveis. Basicamente, envolve informações do gerenciamento de recursos como energia restante, tecnologias envolvidas, níveis de armazenamento, conectividade ou dados trocados entre os nós.

O contexto de usuário requer uma interação direta com o usuário para recuperar dados pessoais e a autorização de uso destes pelo sistema. Esse contexto é construído pelo cruzamento de todas as informações relacionadas com os contatos sociais e comunidades, composto por dois conjuntos distintos de informações. O primeiro está relacionado com os dados pessoais do usuário como nome, endereço, lugares mais visitados, interesses em aplicações e serviços específicos. Enquanto o segundo, envolve características sociais do usuário, como contatos com outras pessoas, caracterizado pelos interesses e preferências e a afiliação com comunidades sociais. Os dois conjuntos de informações ditam a situação da conexão atual do usuário e a análise probabilística de seus contatos na rede no futuro. Internamente, o gerente de contexto evolui todas essas informações através de análises estatísticas baseadas na troca de contextos entre vizinhos.

O gerente de contexto coleta todas as informações relacionadas ao nó local e ao usuário, e as encaminha para os vizinhos como um *DataObject* através das mensagens implementadas pela Hagggle. Quando um vizinho recebe um *DataObject*, seu gerente de contexto o armazena em seu *DataStore*, verifica se possui informações deste contexto e avisa gerentes interessados. Assim, cada nó se torna ciente do contexto de usuário e serviço de todos os seus vizinhos. Toda a parte de disparos de eventos e interação nos processos do *middleware* são de responsabilidade da plataforma Hagggle.

Para demonstrar a eficiência da proposta, (BOLDRINI et al., 2010) utilizaram um serviço de compartilhamento de conteúdo. Este serviço foi baseado em uma função de utilidade calculada pela relação de interesse do usuário local e das comunidades, a

respeito de um item específico de conteúdo. Tal função auxilia a divulgação de interesse do conteúdo pela rede e também de cada usuário naquele conteúdo, habilitando um componente para cada nó e um para cada comunidade disponível no ambiente.

A função utilidade ainda permite que cada nó classifique os seus itens de conteúdos e de seus vizinhos para melhorar o processo de recuperação. A classificação requer que cada nó mantenha dados históricos e atualizados, assim duas estruturas de dados são definidas em cada nó, o contexto atual e a evolução do contexto no tempo. Considerando que um usuário possa pertencer a mais de uma comunidade, a utilidade é definida como:

$$U(c) = u_l(c) + \sum_{i \neq l} \omega_i u_i(c) \quad (\text{A.1})$$

onde $u_l(c)$ é a utilidade específica do conteúdo para o usuário local, $u_i(c)$ a utilidade para a comunidade a qual o usuário está em contato no momento, e ω_i o peso da cooperação do usuário dentro da comunidade, em termos de consumo de recursos.

Ao avaliar o *middleware* proposto, os autores geraram um protótipo do gerente de contexto acoplado a plataforma Huggle para uso em um serviço de compartilhamento de conteúdo. Para fins de simulação, consideraram que apenas os nós dentro de uma comunidade eram totalmente conectados. Além de, enlaces sem fio ideais, com largura de banda infinita e negligente a atrasos na transmissão. Claramente um cenário não realístico, mas serviu para isolamento de problemas como congestionamento, erros de compartilhamento de serviços e de transmissão.

As simulações ajudaram na investigação de uma política social eficiente e efetiva para o *middleware*. As políticas foram avaliadas em função da qualidade de serviço oferecida ao usuário, ou seja, cooperação na disponibilidade de conteúdo, e consumo de recursos. Todas elas foram medidas em termos de taxa de acertos, utilidade e nível de imparcialidade (*fairness*). Em detalhes, as políticas selecionadas compreendem (BOLDRINI et al., 2010):

- *Greedy* - Os nós colaboram entre si apenas a respeito do conteúdo pelo qual tem interesse;
- *Uniform Social* - Sob influência desta política, os nós transferem conteúdo de forma randômica;
- *Future* - Os nós cooperam de forma diferenciada em cada comunidade, de acordo com o tempo em que permanecem nela;
- *Most Likely Nest(MLN)* - Nesta política, os nós exploram seus próprios recursos para favorecer vizinhos que provavelmente serão seus próximos encontros;
- *Most Frequently Visited (MFV)* - As comunidades, as quais o nó tem contatos mais frequentes, são favorecidas por esta política;

- *Present* - Os nós transferem apenas os conteúdos que são de seu interesse ou de interesse da comunidade na qual estão no momento.

As políticas *Greedy*, *Uniform Social*, *Future* and MLN foram as mais rápidas em disseminar conteúdos de interesse do nó visitante na comunidade. Já, as políticas *Future* and MLN foram consideradas pelos autores como as melhores políticas de serviços em termos de percentagem de usuários alcançados com menores taxas de *timeouts*.

Uma recomendação oriunda das simulações foi o uso da política *Future* como a que pode prover melhores resultados de QoS (Qualidade de Serviço) para os usuários, economizar recursos em termos de tráfego na rede e explorar múltiplos caminhos entre comunidades. Algumas simulações provaram que as políticas sociais com efeitos de sincronização sofrem com o aumento do número de nós nas comunidades, pois os encontros entre os nós são mais frequentes.

Este *middleware* serviu como implementação real de gerenciamento de contexto, a partir do *framework* proposto em [Boldrini et al. \(2010\)](#). Mesmo tendo sido usado apenas para coletar e compartilhar informações de contexto com todos os interessados fica claro que pode ser aplicado para qualquer serviço ou protocolo, dependendo do tipo de atributo coletado.

Como foi planejado para trabalhar sob a forma de um *middleware* há a necessidade de uma plataforma para o processamento dos eventos, interações e módulos não contemplados. Os autores conseguiram provar que o compartilhamento de políticas conscientes socialmente são estratégias eficientes e eficazes para disseminação de conteúdo em redes oportunistas, quando se visa qualidade de serviço com preservação de recursos.

A.2 CONTEXT-AWARE NETWORK CODING

[Petz et al. \(2012\)](#) evoluíram sua proposta de adaptação de contexto de redes MANET ([PETZ et al., 2011](#)) para DTN através de um *framework* chamado *Context-Aware Network Coding* (CANC). Para melhorar o desempenho do serviço de roteamento em DTN, o CANC adapta as características dos ambientes de rede às decisões de roteamento, com o mínimo de custo possível.

O CANC foi desenvolvido para funcionar em redes com pacotes codificados ([PETZ et al., 2011](#)), visando economia de transmissões. Além disso, ele propõe um agente de contexto passivo, desacoplado de qualquer protocolo de roteamento, para monitorar o ambiente de rede e influenciar a tomada de decisão dos roteadores.

Na arquitetura do CANC, o agente de contexto capta e processa informações da rede, gerando uma visão de contexto através de parâmetros. Cada nó compartilha sua visão de forma epidêmica e faz uma junção da visão que tem armazenada com

a que recebe de seus vizinhos, assim, ele possui uma espécie de visão global do contexto do cenário.

O agente de contexto não toma decisões de roteamento por agregado, mas para vários fragmentos de agregados codificados. Como os agregados devem ser codificados, é necessário o processamento e envio de blocos de codificação. A codificação é separada da parte de roteamento.

A comunicação entre o agente de contexto e o serviço de roteamento é feito através de um portal de adaptação, o qual é responsável pela configuração interna dos roteadores. Estas configurações representam as tomadas de decisão dos roteadores. Este portal pode funcionar diretamente pelas configurações que recebe do agente de contexto ou através de regras ditadas pelo administrador da rede.

O CANC identificou três parâmetros relevantes de contexto para configuração de roteamento que são o peso, a ordenação/classificação, e o balanceamento. Estes parâmetros são utilizados para controlar o fluxo das mensagens para o serviço de roteamento, através da classificação entre os valores obtidos em redes codificadas.

O peso é usado para favorecer nós que carregam pacotes codificados associados a múltiplos identificadores únicos globais (*Globally Unique Identifier* - GUID) de fragmentos de pacotes. Os parâmetros de peso são analisados conforme o resultado obtido pela ordenação/classificação dos GUIDs. O balanceamento serve para favorecer algum comportamento em especial, como largura de banda para um vizinho em específico. O fato de haver flexibilidade no comportamento de um roteador, significa que pode-se direcionar o fluxo de dados na rede e encontrar um equilíbrio entre as abordagens.

As simulações do CANC foram concentradas em representar um contexto de mobilidade do nó (localização, destino, móvel ou não) e o comportamento de adaptação dos agentes de codificação da rede conforme esse contexto. Para avaliar a proposta foram utilizados os *testbed* de computação móvel *Pharos* e *Virtual Mesh Test (VMT)* (HAHN et al., 2011). A adaptação foi guiada pelos valores observados, porém o nível de confiança deles em termos de adaptação do serviço de roteamento ao contexto, não foram medidos.

Salvo melhor entendimento, o CANC pode ser considerado um portal para classificação de parâmetros de contexto que influenciam o roteamento. Não é possível avaliar se esta proposta inclui em sua arquitetura um serviço capaz de extrair os parâmetro de contexto a serem utilizados, nem como avalia ou gera regras e limites para cada parâmetro a fim de atingir uma métrica de rede.

A troca frequente de visões de contexto, assim como, a quantidade de informações que ficam armazenadas nos nós, podem causar problemas de sobrecarga e uso excessivo de recursos da rede. Este comportamento poderia ser evitado pelo

uso de outras formas de compartilhamento de visões e de diferentes estruturas das informações, ambos não tratados pelos autores.

A.3 EPIDEMIC-BASED CONTROLLED FLOODING AND ADAPTIVE MULTICAST FOR DTN

O algoritmo de roteamento denominado *Epidemic-based Controlled Flooding and Adaptive Multicast* (ECAM) foi proposto por (JIN et al., 2010) para atender aplicações que necessitam alguma forma de comunicação em grupo. Ele dissemina mensagens *multicast* limitando o tempo e raio de transmissão que envolve uma mensagem, buscando diminuir a inundação de mensagens e, conseqüentemente, o consumo de recursos na rede.

O ECAM adota adaptação baseada na variação da densidade da rede. Seu processo de transmissão utiliza um mecanismo de transmissão hierárquica com distinção entre transmissões de dados que usam grupos *multicast* daquelas que não usam. Essa distinção efetua um gerenciamento sobre as transmissões das mensagens e resulta em economia de recursos, ao mesmo tempo em que evita inundações na rede.

O ECAM mantém uma lista de vizinhos resultantes dos contatos que realiza, chamada de lista de encontros, que influencia no cálculo de densidade do nó. A densidade de um nó é calculada pela média da densidade de seus vizinhos. Para comparar o ECAM, o simulador QualNet² foi utilizado. Embora tenha sido comparado apenas ao protocolo *Epidemic*, as simulações demonstraram sua capacidade em obter altas taxas de entrega de mensagens com uso de poucas cópias.

O ECAM também mostrou-se capaz de respeitar e evoluir sobre a regra genérica de que redes mais densas tem maior tráfego e boa qualidade de enlaces, enquanto redes menos densas apresentam conectividade prejudicada. Porém da mesma forma que o protocolo ARBR, o ECAM não trata múltiplas informações na rede, apenas aspectos de densidade.

A.4 CONTEXT AWARE MULTICAST ROUTING SCHEME

Diversas aplicações de DTN necessitam de serviço *multicast*, porém é difícil manter os enlaces deste tipo de árvore por muito tempo. Chuah e Yang (2009) focados no roteamento *multicast* e na sua necessidade de conhecimento sobre a topologia da rede, propuseram o *Context Aware Multicast Routing Scheme* (CAMR).

O esquema proposto se baseia no atributo de densidade da rede para fornecer serviço de roteamento *multicast* a diferentes cenários, usando informações da localização dos nós e sua velocidade. Para atender os objetivos propostos, o CAMR foi definido por cinco componentes: (1) estimativa da densidade dos nós locais, (2)

² <http://web.scalable-networks.com/content/qualnet>

estimativa da probabilidade de contato com vizinhos a dois saltos, (3) descoberta de rota, (4) manutenção de rota, e (5) entrega de dados.

As informações para cálculos de estimativas são trocadas entre vizinhos por disseminação a cada 20 segundos, quando o vizinho responde com suas informações e as de seu vizinhos atuais, a um salto. As descobertas de rotas são realizadas sob demanda e suas manutenções acontecem quando um nó perde a informação do próximo salto.

A política de armazenamento do CAMR define que um agregado (mensagem) deve ser eliminado do espaço de armazenamento de um nó sempre que a confirmação de sua entrega seja recebida. A entrega de dados é realizada por um esquema no qual o nó passa a agir como um carregador para a mensagem, em busca do destino. Assim, pode-se considerar o CAMR como um esquema flexível capaz de adaptar-se a diferentes ambientes de rede, com densidades variadas ou modelos de mobilidade, a fim de otimizar o serviço de roteamento *multicast*.

As simulações do CAMR foram realizadas no NS2³. Seu desempenho foi testado em comparação com o *Dynamic Tree-Based Routing* (DTBR) (ZHAO; AMMAR; ZEGURA, 2005), *On-Demand situation-Aware Multicast* (OS-multicast) (YE et al., 2006) e o *Unicast Multicast* (ZHAO; AMMAR; ZEGURA, 2005) (U-multicast), todos padrões de protocolos de roteamento *multicast* para redes DTN. As métricas avaliadas foram taxa de entrega, média de atraso e dados eficientes, isto é, a taxa entre agregados recebidos e o total de tráfego gerado na rede.

Pela avaliação apresentada em Zhao, Ammar e Zegura (2004), a proposta garantiu altas taxas de entrega em comparação aos demais protocolos. Para redes esparsas apresentou custo e atraso elevados. Segundo os autores, este atraso seria devido a longa fila para entrega provocada pela densidade da rede. Durante as análises, o tamanho do grupo *muticast* mostrou ser um atributo que afeta o desempenho do roteamento e o descarte eficiente. Alguns requisitos para o funcionamento dessa proposta podem caracterizar limitações ao seu uso, como no processo de descoberta da velocidade dos nós, quando tornam-se necessários nós com recursos extras. Além do que, a troca de informações para a manutenção dos dados adaptativos a cada 20 segundos (ex: localização, vizinhança) pode representar um problema para redes DTN devido ao tráfego e disponibilidades de enlaces. A proposta não especifica normalizações de limites para os atributos considerados, nem mesmo para a densidade. Contudo, pode-se considerá-la como uma proposta de adaptação a requisitos do comportamento da rede.

³ <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

A.5 UNDERWATER SENSOR NETWORK

Guo et al. (2008) consideram que um ambiente aquático se caracteriza como um sistema de restrições para aplicações, dadas suas condições. Assim, as aplicações precisam ter requisitos diferenciados para tipos diferentes de mensagens dentro destes ambientes.

Guo et al. (2008) propuseram o protocolo de roteamento *Underwater Sensor Network* (UWSN) para redes de sensores subaquáticos DTN. Os autores consideram esse protocolo inteligente e adaptável as necessidades da mensagem e da aplicação, como emergência e nível de energia, buscando um *trade-off* entre taxa de entrega, média de atraso e consumo de energia.

O UWSN calcula um nível de prioridade para cada mensagem baseado na energia residual de cada sensor, tempo de vida da mensagem e densidade da rede. A prioridade representa a importância da mensagem em um determinado instante, sendo que, valores de prioridades maiores permitem redundância de mensagens visando alcançar menores taxas de atrasos. O protocolo analisa cada pacote que transita na rede e assume que cada sensor conhece apenas a sua posição. Ele precisa que cada sensor descubra seus vizinhos, calcule a prioridade das mensagens e tome decisões de roteamento. Para medir a prioridade de cada mensagem, o UWSN trabalha com dois tipos de pacotes: (a) pacotes *HELLO* para descoberta de vizinhança e troca de informações, e (b) pacotes de dados que possuem o *payload* e uma sobrecarga do protocolo.

Neste pacote de dados são descritos os campos de nível de emergência e tempo de vida do pacote. O cálculo da prioridade é obtido do vetor de informações em cada nó, composto por: nível de emergência, idade do pacote, densidade e nível de bateria. Esse cálculo é realizado apenas quando há contato entre os nós.

O UWSN obriga que cada nó gerencie sua relação de vizinhança, nó a nó. Também, utiliza um gerenciamento de armazenamento que limita o recebimento de novas mensagens à capacidade do nó. O nó com a mensagem deve manter a sua custódia até ocorrer outro contato no qual possa repassá-la, esse procedimento envelhece a mensagem e altera os valores de sua prioridade. O nó toma decisões de roteamento, somente após o cálculo da prioridade. O padrão de roteamento adotado pelo UWSN é o geográfico baseado em conceito criado pelos autores chamado de área de encaminhamento (GUO et al., 2008) que corresponde ao raio de transmissão dos nós. Assim, cada nó sempre repassa a mensagem para o nó com maior área de transmissão e mais próximo do nó destino.

A avaliação do UWSN foi realizada através de simulações e comparativos com os protocolos *Epidemic* e *Single-copy* (SPYROPOULOS; PSOUNIS; RAGHAVENDRA, 2004). Três métricas serviram para comparar o desempenho dos protocolos: taxa

de entrega, média de atraso e consumo de energia. No uso de rede com restrições de recursos pode-se perceber, pelos resultados das simulações apresentadas em [Guo et al. \(2008\)](#), que o UWSN trata mensagens de forma diferenciada, priorizando as que possuem maior nível de emergência. Ele realocou recursos para diferentes mensagens, embora não tenha sido possível avaliar a diferença de alocação para diferentes prioridades. As prioridades consideradas foram atribuídas e não calculadas pelo protocolo, portanto não é possível verificar processos de normalização embutidos no protocolo.

ANEXO B – ADAPTIVE ROUTING IN MOBILE OPPORTUNISTIC NETWORKS

Lakkakorpi, Pitkänen e Ott (2010) avaliaram que o consumo de recursos, como largura de banda e armazenamento, são maiores quando se usa protocolos de roteamento para DTN ao invés de protocolos para MANETs. Então, propuseram o *Adaptive Routing in Mobile Opportunistic Networks* (ARMON), um método para determinar dinamicamente quando usar o protocolo de roteamento AODV ou protocolos específicos para DTN. A decisão é tomada através do uso de métricas como densidade, tamanho da mensagem e velocidade dos nós, sendo as duas últimas coletadas e a densidade estimada. Para otimizar os recursos da rede, esta decisão ficou a cargo da camada de aplicação.

Lakkakorpi, Pitkänen e Ott (2010) concluíram que quanto maior a velocidade do nó, menor o tempo de vida de uma rota. Então, propuseram que para mensagens maiores ou nós mais velozes, o roteamento deva ser realizado por agentes DTN. Enquanto que para redes mais densas, a preferência é pelo uso de protocolos de roteamento para MANET. Da mesma forma, quando o tempo estimado para envio da mensagem fosse menor que o tempo de vida do caminho, a preferência seja por roteamento MANET.

O custo de sua adaptação exige que os nós consigam calcular suas velocidades de deslocamento, o que segmenta os tipos de dispositivos envolvidos na rede e onera o processo. As DTNs apresentam fortes características de instabilidades nos enlaces, que tendem a se romper mais rapidamente. Desta forma, o tamanho das janelas de contatos entre os nós são extremamente pequenos e difíceis de serem estimados.

A decisão de atribuir roteamento DTN para arquivos maiores baseada apenas no parâmetro de tamanho pode se tornar um problema para a métrica de entrega, além de produzir processos sem garantia de entrega completa. Decisões de roteamento coerentes deveriam levar em consideração, não apenas parâmetros isolados, mas sim um conjunto composto por densidade, velocidade e tamanho da mensagem de forma indissolúvel e complementar.

ANEXO C – RESULTADOS ESTATÍSTICOS DA AVALIAÇÃO DO ROTEAMENTO ADAPTÁVEL A CONTEXTO

Nas Figuras 33 e 34 são reportados alguns resultados estatísticos do estudo. Em termos gerais, estas estatísticas apontam para o uso massivo do simulador THE ONE, além de comparativos das propostas com o protocolo *Epidemic*. Embora seja um protocolo com limitações de contexto, sua capacidade em alcançar altas taxas de entrega tornam-o um limiar para essa métrica.

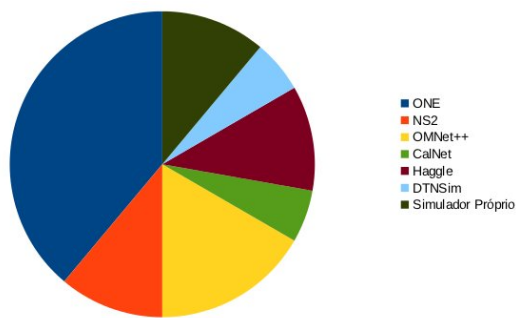


Figura 33 – Simuladores usados nas evoluções.

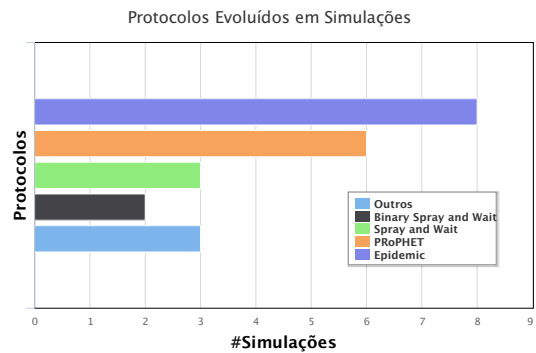


Figura 34 – Protocolos usados nas simulações.

ANEXO D – ANÁLISE DOS PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO SOB ARMAZENAMENTO, DENSIDADE E MODELOS DE MOVIMENTAÇÃO

Os mais variados contextos são formados durante a trajetória de uma mensagem em DTN. Estes contextos desafiam a capacidade dos protocolos de roteamento em manter um padrão de desempenho em relação a métricas importantes para toda e qualquer aplicação, tais como taxa de entrega, atraso e sobrecarga. Para tornar evidente esta afirmação, uma avaliação do comportamento dos protocolos de roteamento sob diferentes cenários é realizada nesta seção. O objetivo é obter uma análise de parâmetros de rede passíveis de serem empregados nos processos de avaliação de um contexto momentâneo da rede.

Desta forma, inicialmente são levados em consideração os protocolos de roteamento e métricas de desempenho mais comumente utilizados neste tipo de rede. Assim, a avaliação considera os três principais e mais comumente protocolos de roteamento utilizados em DTN, *Epidemic*, P_{Ro}PHET e SPW. Todos exploram o montante de mensagens na rede e, na grande maioria, representam os limiares de comparativos para novas propostas.

Uma primeira bateria de simulações é realizada a partir de contextos variados de capacidade de armazenamento e densidade, e conforme os parâmetros mostrados na Tabela 20. Nestas rodadas, o objetivo é delimitar parâmetros para as demais simulações e métricas.

Tabela 20 – Parâmetros para cenários com dois modelos de movimento.

Parâmetros	Valores
Área ($m \times m$)	800 \times 800, 1000 \times 1000, 1500 \times 1500, 2000 \times 2000, 5000 \times 5000
Duração (seg)	2115, 43200, 86400, 172800
Número de Nós	30, 80, 90, 120
Armazenamento (MB)	1, 2.5, 5, 10, 20
Tamanho da Mensagem(KB)	1, 100, 200
TTL (min)	10, 100, 1000

Todos os protocolos são implementados e simulados no simulador The ONE (KERÄNEN; OTT; KÄRKKÄINEN, 2009). As implementações dos três protocolos seguem as versões de seus artigos originais, como apresentado em Vahdat, Becker et al. (2000), Lindgren, Doria e Schelén (2003), Spyropoulos, Psounis e Raghavendra (2005).

Apenas para as configurações do SPW são feitas variações no parâmetro de número máximo de cópias da mensagem (L). A rede é composta por nós móveis equipados com uma interface de rede WiFi 802.11 com taxa de transmissão de 1375 Kbps e raio de 50m e 150m.

Dois modelos de movimento são usados nas simulações (EKMAN et al., 2008): o modelo *Shortest Path Map-Based Movement* (SP), o qual usa o algoritmo de menor caminho para mover os nós pelo mapa da cidade de Helsinki, e o modelo *Random Waypoint* (RW), no qual os nós se movem de forma aleatória ao longo de um caminho em *zig-zag* em direção a um destino. Os nós origem são aleatoriamente selecionados e geram mensagens num intervalo de 1 a 10. Os protocolos são avaliados pelas métricas de desempenho: taxa de entrega, média de atraso e taxa de sobrecarga.

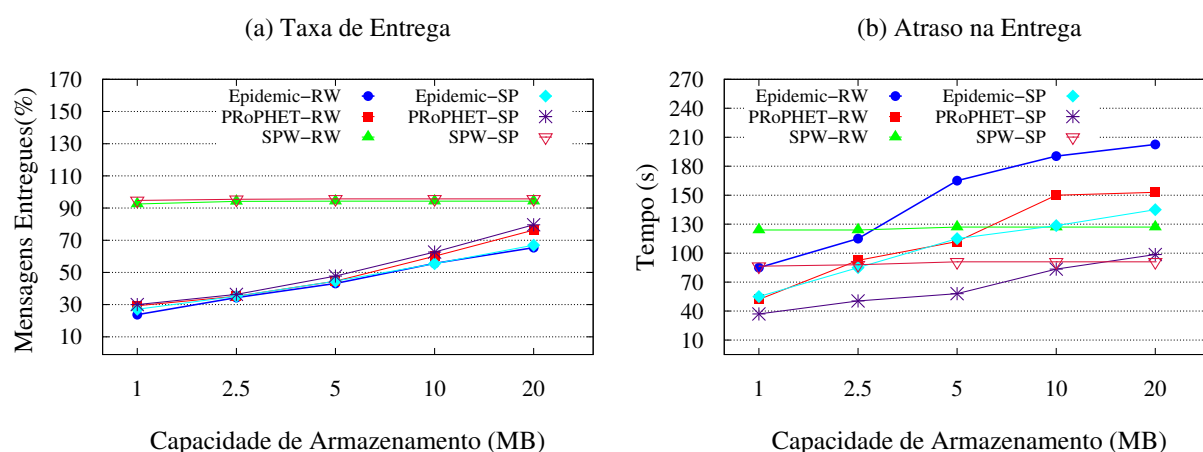


Figura 35 – Custo para entrega de mensagens em relação à capacidade de armazenamento.

O resultado destas simulações é apresentado nas Figuras 35 e 36. A Figura 35(a) apresenta a taxa de entrega para cada protocolo variando o modelo de movimento e a capacidade de armazenamento de 1MB até 20MB para um cenário de 80 nós com raio de transmissão de 150m, distribuídos em uma área de 800m \times 800m. Na configuração do protocolo SPW, o limite do número de cópias (L) foi fixado em 8.

Pelos resultados das simulações é possível perceber que o desempenho do *Epidemic* e PRoPHET sofrem com a limitação na capacidade de armazenamento. Suas taxas de entrega são proporcionais ao tamanho do armazenamento. No entanto, o desempenho do *Epidemic* neste contexto é pior que do PRoPHET devido a retransmissão de mensagens que realiza com todos os vizinhos, causando exaustão de armazenamento. Contudo, o SPW não é afetado pela disponibilidade de armazenamento e provém taxa de entrega maior que os demais protocolos.

O atraso para o cenário é mostrado na Figura 35(b), observa-se que os protocolos *Epidemic* e PRoPHET variam a média de atraso conforme a variação da

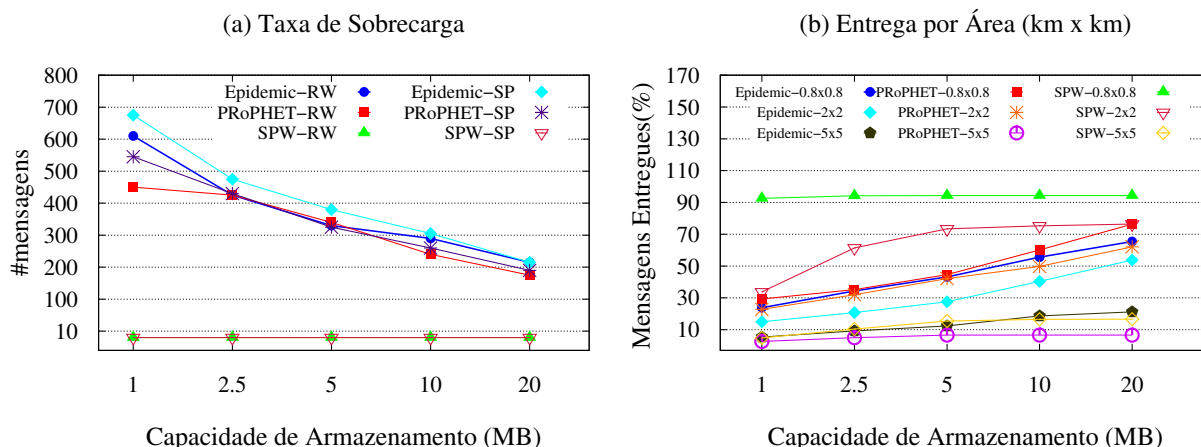


Figura 36 – Resultados das simulações para (a) Sobrecarga de mensagens gerada pelos protocolos com variação na capacidade de armazenamento; (b) Taxa de entrega com variação de área e capacidade de armazenamento sob o modelo de movimento RW.

capacidade de armazenamento, independente do modelo de movimento utilizado. Eles apresentam comportamento semelhante ao obtido para taxa de entrega de mensagens, quando a capacidade de armazenamento é limitada. Estes protocolos entregam menos mensagens, porém mais rapidamente.

A Figura. 36(a) indica que a sobrecarga é inversamente proporcional a taxa de entrega e ao tamanho do armazenamento para o *Epidemic* e PRoPHET. Isto porque quanto menor a quantidade de mensagens entregues, maior a redundância gerada pelos protocolos. Por outro lado, o SPW superou os demais protocolos nos diversos contextos, em termos de consumo de recursos, taxa de entrega e atraso. Este comportamento é devido ao seu mecanismo de limitação do número de mensagens replicadas. Porém, o SPW é parte de uma família de protocolos com diversas variações. Em Tournoux et al. (2009), Kim et al. (2010), Huang, Zhang e Zhou (2011), Wang, Wang e Gao (2010) é possível observar as oscilações sofridas pelas especificações conforme os cenários de rede são alterados.

Na sequência, a influência da capacidade de armazenamento é analisada sob diversos contextos de densidade através da manutenção do raio de transmissão em 50m, porém variando a área de simulação. A relação dos parâmetros de armazenamento e densidade refletem alterações da carga de mensagens sobre a rede, dependendo da forma de disseminação adotada. Assim, um primeiro cenário é definido como denso para área de simulação de 800m × 800m com 10 nós/m². Um segundo cenário, considerado como de densidade média é atribuído para uma área de 2km × 2km com 2 nós/m². Enquanto, um terceiro é tido como esparso para uma área de 5km × 5km com um nó a cada 5m², todos mantendo as demais configurações.

Como reportado na Figura 36(b), o desempenho dos protocolos *Epidemic*, PProPHET e SPW demonstra que todos são pouco eficientes em áreas desconectadas. Neste caso, quanto mais esparsa se torna a rede, menores as quantidades de mensagens espalhadas. As mensagens precisam de um tempo maior para percorrer a rede e alcançar o destino ou podem nunca encontrá-lo. Portanto, pode-se concluir que quanto mais esparsa for um cenário, menor será a taxa de entrega e, conseqüentemente, maior o atraso registrado. A evolução dos resultados obtidos nas simulações indica que este comportamento é similar a todos os protocolos.

A mobilidade dos nós é um fator relevante nas oportunidades de comunicação em DTN e podem alterar o comportamento de um cenário de rede. Portanto, é importante que se estabeleça o modelo de mobilidade dos nós em acordo com o tipo de rede a ser simulado. Dado o comportamento semelhante e constante dos protocolos, tanto para o modelo de movimento SP como para o modelo RW, a fim de evitar avaliações errôneas ou duvidosas, optou-se por avaliar os demais impactos das métricas apenas sobre o modelo RW.