

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Louis Philippe Martins da Costa

Dados Nomeados em Redes Tolerantes a Atrasos

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia de
Comunicações

Trabalho efectuado sob orientação de
Doutor Joaquim Melo Henriques de Macedo
Doutor António Luís Duarte Costa

DECLARAÇÃO

Nome: Louis Philippe Martins da Costa

Endereço electrónico: louiscosta99@gmail.com

Telefone: 927711489

Número do Bilhete de Identidade: 13802305

Título da dissertação: Dados Nomeados em Redes Tolerantes a Atrasos

Orientadores: Doutor Joaquim Macedo e Doutor António Costa

Ano de conclusão: 2013

Designação do Mestrado: Mestrado Integrado em Engenharia de Comunicações

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA TESE/TRABALHO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, __/__/____

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de dar um especial agradecimento aos meus orientadores, o Doutor Joaquim Melo Henriques de Macedo e o Doutor António Luís Duarte Costa, cujos conselhos, apoio e motivação prestados foram essenciais neste último ano.

Agradeço aos meus amigos e colegas de curso, muito importantes durante todo o meu percurso académico, dando especial atenção ao João Antunes, Bruno Lopes, Nuno Correia, António Lopes e Pedro Castro.

Por último mas não menos importante, agradeço aos meus pais, José e Goreti, que me proporcionaram esta oportunidade nunca falhando no apoio e carinho prestados, e às minhas irmãs, Claudia e Raquel, que desde sempre fizeram questão de estar presentes.

RESUMO

As Redes Tolerantes a Atrasos são redes cujo objectivo é proporcionar conectividade onde antes seria impensável. Estas redes usam exclusivamente dispositivos móveis devidamente incorporados de tecnologias sem fios, sendo que as suas principais características são a de uma constante modificação de topologia e estarem sujeitos a grandes atrasos na comunicação.

As Redes de Dados Nomeados são redes que vêm inovar o paradigma de difusão de mensagens na rede, pois atribuem nomes às mensagens fazendo com que a entrega passe a ser efectuada com base na informação que transportam, e não utilizando o paradigma normal de entrega entre uma origem e um destino.

O ONE é um simulador que permite o desenvolvimento de protocolos de comunicação em Redes Tolerantes a Atrasos, dando ao utilizador um bom interface gráfico que possibilita a percepção dos acontecimentos.

Este trabalho documenta a realização da *framework ICONE*, cujo propósito é proporcionar ao ONE um método de simular protocolos de Redes Tolerantes a Atrasos utilizando o paradigma dos Dados Nomeados.

Também se encontra descrito o desenvolvimento do protocolo PeopleShare, um protocolo que utiliza a ICONE para simular um algoritmo de encaminhamento baseado na fusão das Redes Tolerantes a Atrasos com as Redes de Dados Nomeados.

Neste documento são também apresentados todos os resultados obtidos nas simulações elaboradas com o protocolo PeopleShare.

Palavras-chave: Redes Tolerantes a Atrasos, Redes de Dados Nomeados, ONE, Redes Centradas em Conteúdos.

ABSTRACT

Delay Tolerant Networks are networks whose objective is to provide connectivity where previously was unthinkable. These networks use only mobile devices properly embedded with wireless technologies, and its main features are a constantly changing topology and that they are subject to long delays in communication.

The Named Data Networks are networks that innovates the paradigm of broadcast messages in the network, because attribute names to the messages causing the delivery to be made based on the information they carry, and not using the normal source and a destination paradigm.

The ONE is a simulator that allows the development of communication protocols in Delay Tolerant Networks, giving the user a good graphical interface that enables the perception of events.

This paper documents the implementation of the framework ICONNE, whose purpose is to provide a method of simulating in ONE protocols of Delay Tolerant Networks using the paradigm of data Nominees.

Also described is the development of PeopleShare Protocol, a protocol that uses the ICONNE to simulate a routing algorithm based on the fusion of Delay Tolerant Networks with Data Networks Named.

This document also lists all simulation results prepared in accordance with the protocol PeopleShare.

Key-words: Delay Tolerant Networks, Named Data Networks, ONE, Information-Centric Networks.

ÍNDICE

Capítulo I - Introdução.....	1
1.1 Motivação	4
1.2 Cenários de Utilização.....	4
1.3 Objectivos	5
1.4 Contribuições	6
1.5 Estrutura do Documento	6
Capítulo II – Encaminhamento em Redes Tolerantes a Atrasos.....	7
2.1 Encaminhamento Epidémico	9
2.2 Prophet	11
2.3 Bubble Rap	13
2.4 FairRoute.....	15
2.5 Sprite.....	16
2.6 Darwin.....	18
2.7 Social Selfish Aware Routing	19
2.7.1 Arquitectura.....	20
2.7.2 Funcionamento do Protocolo	21
2.8 Análise dos Protocolos	22
2.9 Aplicações	23
2.9.1 PeopleNet	24
Capítulo III – Redes Baseadas em Conteúdos.....	27
3.1 Difusão em Redes Tolerantes a Atrasos.....	28
3.2 Redes de Informação Centralizada RTA.....	29
3.3 Redes de Dados Nomeados	30
3.3.1 Arquitectura.....	31
3.3.2 Nomes dos Interesses.....	32
3.3.3 Segurança	32
3.3.4 Encaminhamento.....	33
3.3.5 Guardar em memória cache	33
3.3.6 Tabela de Interesses Pendentes	34
Capítulo IV – Arquitectura ICONE e PeopleShare.....	35
4.1 Arquitectura	37
4.1.1 Nomeação dos Interesses.....	38
4.1.2 Tabelas de armazenamento de informação	39
4.1.2.1 Lista de Interesses	39

4.1.2.2	<i>Lista de Interesses Pendentes</i>	40
4.1.2.3	<i>Lista de Conteúdos</i>	41
4.1.2.4	<i>Lista de Apontadores para Conteúdos</i>	41
4.1.3	Memória Utilizada	42
4.1.4	Estrutura da Mensagem	42
4.2	Protocolo de Comunicação	43
Capítulo V	– Implementação	45
5.1	Simulador ONE	46
5.1.1	Capacidade dos Nós	47
5.1.2	Mobilidade dos Nós	48
5.1.3	Encaminhamento	48
5.1.4	Suporte de Aplicações e Interfaces	49
5.1.5	Relatórios e Visualização	49
5.2	Desenvolvimento da ICONE	50
5.2.1	Alteração do código ONE	51
5.2.2	Gestor de Mensagens RDN	51
5.2.3	Relatório RDN	52
5.2.4	Módulo RDN	53
5.3	Desenvolvimento do PeopleShare	54
5.3.1	Contacto entre Nós	55
5.3.2	Algoritmos de Encaminhamento	56
Capítulo VI	– Testes e Resultados	61
6.1	Difusão Epidémica	62
6.1.1	Resultados	63
6.1.2	Conclusões obtidas	67
6.2	Difusão com Conhecimento de Contacto	67
6.2.1	Resultados	68
6.2.2	Conclusões obtidas	73
6.3	PeopleShare	73
6.3.1	Resultados	74
6.3.2	Conclusões Obtidas	78
6.4	PeopleShare Versão 2	73
6.4.1	Resultados	79
6.4.2	Conclusões Obtidas	83
Capítulo VII	– Conclusões Finais	84
7.1	Trabalho Futuro	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Contactos oportunistas	2
Figura 2: Exemplo de Encaminhamento Epidémico	10
Figura 3: Encaminhamento no Bubble Rap (adaptado de [13])	13
Figura 4: Arquitectura do Sistema Sprite (adaptado de [17])	17
Figura 5: Método de pagamento Sprite	17
Figura 6: Arquitectura SSAR (adaptado de [23])	20
Figura 7: Região devida em 6 bazaar's	24
Figura 8: Modelo de Mensagem usado no PeopleNet	25
Figura 9: Alterações efectuadas na amпуlhetta (adaptado de [28])	31
Figura 10: Comunicação entre dois nós no PeopleShare	36
Figura 11: Estrutura do Pacote Tipo PeopleShare	42
Figura 12: Pacote Interesse	43
Figura 13: Pacote Conteúdo	43
Figura 14: Pacote Informação de Conteúdo	44
Figura 15: Exemplo de comunicação iniciado por um PIC	44
Figura 16: Arquitectura do ONE	46
Figura 17: Ambiente gráfico do simulador ONE	49
Figura 18: Arquitectura ONE com adaptação ICONES	50
Figura 19: PeopleShareRouter no Módulo RDN	54
Figura 20: Recepção de um Pacote	56
Figura 21: Fluxograma do Receber PI	57
Figura 23: Fluxograma do Receber PC	58
Figura 22: Fluxograma do Receber PIC	58
Figura 24: Difusão Epidémica	62
Figura 25: Gráfico DE de Interesses Gerados e Interesses Satisfeitos	64
Figura 26: Gráfico DE com a % de IS e ISN	65
Figura 27: Gráfico DE de Tráfego na Rede	66
Figura 28: Encaminhamento com Conhecimento de Contacto	68
Figura 29: Gráfico DCC de Interesses Gerados e Interesses Satisfeitos	69
Figura 30: Gráfico DCC com a % de IS e ISN	70
Figura 31: Gráfico com a % de IS em DCC e DE	70
Figura 32: Gráfico DCC de Tráfego na Rede	71
Figura 33: Gráfico de Tráfego na Rede comparando DCC com DE	72
Figura 34: Gráfico PeopleShare de Interesses Gerados e Interesses Satisfeitos	74
Figura 35: Gráfico PeopleShare com a % de IS e ISN	75

Figura 36: Gráfico com a % de IS em DCC, DE e PS.....	76
Figura 37: Gráfico PeopleShare de Tráfego na Rede.....	76
Figura 38: Gráfico de Tráfego na Rede comparando DCC e PS	77
Figura 39: Gráfico PSv2 de Interesses Gerados e Interesses Satisfeitos	80
Figura 40: PSv2 com a % de IS e ISN	80
Figura 41: Gráfico com a % de IS em PS e PSv2.....	81
Figura 42: Gráfico PSv2 de Tráfego na Rede	82
Figura 43: Gráfico de Tráfego na Rede comparando DCC e PS	82

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Datasets utilizados pelo Bubble Rap	14
Tabela 2: Principais características dos protocolos estudados	23
Tabela 3: Estrutura da Lista de Interesses	39
Tabela 4: Estrutura da Lista de Interesses Pendentes	40
Tabela 5: Estrutura da Lista de Conteúdos	41
Tabela 6: Resultados obtidos nas simulações do algoritmo DE	63
Tabela 7: Resultados obtidos nas simulações do algoritmo DCC	69
Tabela 8: Resultados obtidos nas simulações do algoritmo PeopleShare.....	74
Tabela 9: Resultados obtidos nas simulações do algoritmo PSv2	79

ACRÓNIMOS

Nome Significado

AP	<i>Access Point</i> – Ponto de acesso
DE	Difusão Epidémica
DCC	Difusão com Conhecimento de Contacto
FIB	<i>Forwarding Information Base</i> – Base de Informação de Encaminhamento
ICDTN	<i>Information-Centric Delay Tolerant Networks</i> – Redes Tolerantes a Atrasos de Centro de Informação
ICN	<i>Information-Centric Networks</i> – Redes de Centro de Informação
IPN	<i>Interplanetary Internet</i> – Redes Interplanetárias
IS	Interesse Satisfeito
ISN	Interesse Satisfeito no Nó
LAC	Lista de Apontadores para Conteúdos
LC	Lista de Conteúdos
LI	Lista de Interesses
LIP	Lista de Interesses Pendentes
MANET	<i>Mobile ad hoc network</i> – Redes que usam tecnologia sem fios para comunicar entre nós
RTA	<i>Delay Tolerant Networks</i> – Redes Tolerantes a Atrasos
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol / Internet Protocol</i>
RDN	<i>Named Data Networks</i> – Redes de Dados Nomeados
PC	Pacote Conteúdo
PCE	Pacote Conteúdo Encaminhado
PI	Pacote Interesse
PIC	Pacote Informação de Conteúdo
PICE	Pacote Informação de Conteúdo Encaminhado
PIE	Pacote Interesse Encaminhado
PIG	Pacote Interesse Gerado
PIT	<i>Pending Interest Table</i> – Tabela de Pedidos Pendentes
PS	PeopleShare

Capítulo I - Introdução

A Internet apresenta-se nos dias de hoje como um bem precioso a qualquer cidadão, prestando serviços e fornecendo informação rapidamente a qualquer utilizador. Para tal o utilizador apenas necessita estar ligado a uma rede fixa ou a um ponto de acesso (AP) que o interligue com a **World Wide Web**. No entanto, a falta de estruturas de rede nas áreas rurais, países em desenvolvimento, redes militares, redes subaquáticas ou mesmo redes interplanetárias, impede uma conectividade contínua, tornando os protocolos de rede comuns inadequados nestes ambientes.

É neste contexto que surgem as **Delay Tolerant Networks (DTN)**[1], ou em português **Redes Tolerantes a Atrasos (RTA)**. O objectivo destas redes é proporcionar conectividade a dispositivos em locais onde antes esta não era possível.

Estas redes são maioritariamente utilizadas em dois casos distintos, 1) em que os nós da rede estão temporariamente ligados (para poupar energia), fazendo as trocas de dados quando “acordam” (ex.: Redes de Sensores Sem Fios)[2], ou 2) utilização de nós móveis, aproveitando a mobilidade dos nós, aproveitando a mobilidade dos nós para passar a mensagem de terminal em terminal até que chegue ao destino. Em ambos 1) e 2) estes têm como principais características terem que lidar com bastantes atrasos no encaminhamento da informação e não recorrerem exclusivamente de infra-estruturas de comunicação.

Actualmente os serviços de rede dependem de infra-estruturas de gestão, (ex.: *Domain Name System* - Sistema de Nomes de Domínios), e usam protocolos de ligação que requerem ligação contínua (ex.: TCP/IP), que pressupõe uma conexão fim-a-fim com atrasos não significativos, um débito relativamente simétrico e uma baixa taxa de erros. Porém estas condições nem sempre são possíveis, a falta de conectividade pode ocorrer devido a conexões intermitentes, grandes atrasos de propagação, baixas taxas de transmissão ou grandes percentagens de erros, situações comuns numa RTA. Face a estes factores é impensável utilizar os protocolos que se usam para a rede Internet nas Redes Tolerantes a Atrasos.

Inicialmente, as RTA tinham como objectivo proporcionar comunicação entre dispositivos tolerantes a grandes atrasos e separados por grandes distâncias. Neste ponto as RTA tinham uma arquitectura específica para as Redes Interplanetárias (IPN). Posteriormente foi sugerido que se adoptasse o conceito nas redes terrestres, visto estas também sofrerem de atrasos e falhas.

Por sua vez, também foi constatado que estas redes podem melhorar a comunicação em redes infra-estruturadas. Ao encontrar caminhos alternativos, as Redes que usam utilizadores comuns como nós retiram tráfego às infra-estruturas de comunicação.

As RTA são também conhecidas como **Redes Oportunistas**, ou seja, sempre que têm uma ligação activa usam o chamado *store-and-forward*. Assim, sempre que um nó da rede tem uma conexão activa com outro nó que se encontra mais próximo do destino da mensagem, ela é encaminhada.

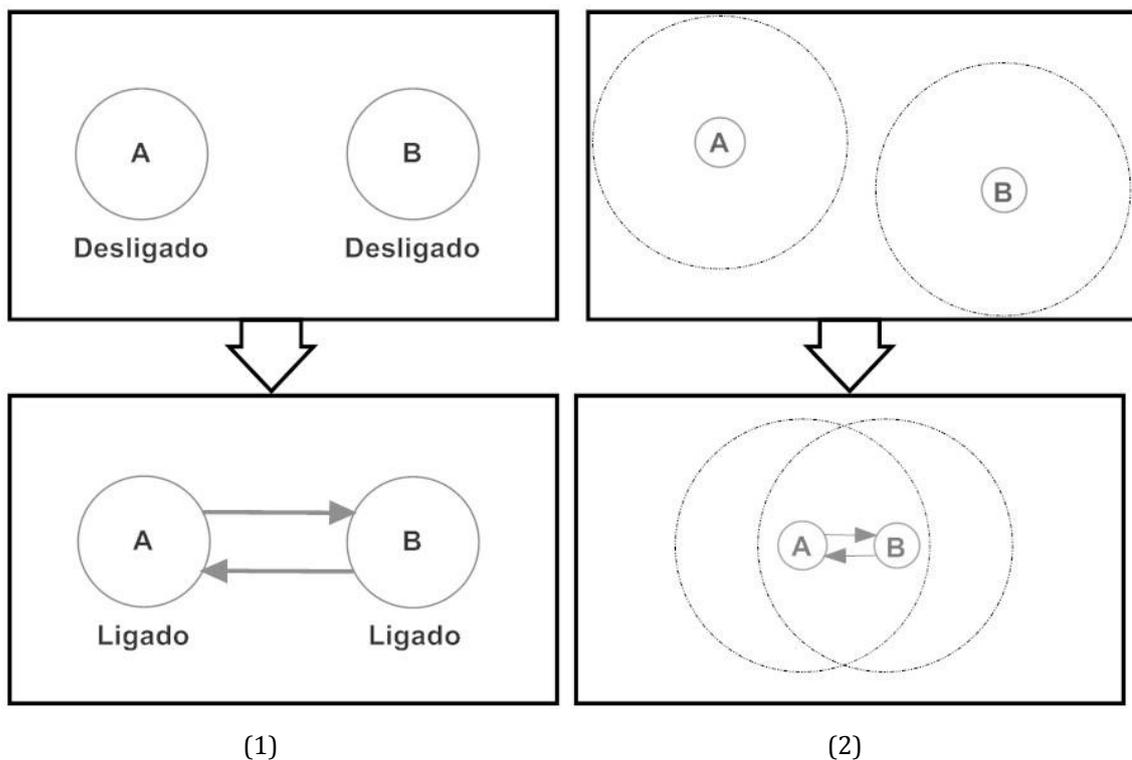


Figura 1: Contactos oportunistas

Na Figura 1 podemos observar duas situações comuns na categoria das redes oportunistas. A situação (1) apresenta dois nós **A** e **B** que inicialmente se encontram desligados. Quando estes se ligam e verificam a presença um do outro, trocam mensagens entre si. A imagem (2) representa um cenário de terminais móveis. Numa primeira fase **A** e **B** estão fora do alcance um do outro, porém, quando estes se aproximam passam para um estado em que é possível comunicar e estabelecem contacto.

Foram criados muitos protocolos baseados neste tipo de sistemas, com resultados bastante interessantes no que diz respeito ao sucesso de mensagens entregues. No entanto, admitindo que os nós de uma RTA são muitas vezes dispositivos pessoais, estes não estão direccionados para servirem de router pois não dispõem dos recursos necessários. Os nós tendem assim a ser mais egoístas e só encaminham mensagens quando tal lhes é favorável.

O desenvolvimento das redes móveis *ad hoc* ou **MANET**[4](*mobile ad hoc network*), trouxe à sociedade um novo sistema em que uma rede é exclusivamente composta por dispositivos móveis. Neste tipo de redes, todos os terminais funcionam como routers, e sendo eles terminais móveis, a rede não possui uma topologia fixa, trocando as suas mensagens sempre que dois nós estiverem ao alcance um do outro.

Visto as redes MANET serem integradas em cenários onde os dispositivos móveis se mantêm desligados por um grande período de tempo, sugeriu-se a inserção destas no desenvolvimento da arquitectura RTA[5].

Tendo estes factores todos em conta torna-se essencial investigar protocolos de comunicação RTA que surgem com muito potencial num futuro próximo.

A par da evolução das RTA tem também crescido um novo paradigma de difusão de informação na rede que trata de **nomear os dados** que vão nas mensagens, como é o caso das *Information-centric Networks(ICN)*[3]. Os autores acreditam que será a arquitectura da futura Internet. Este novo paradigma tem como princípio que, na sociedade actual, a rede deveria ser otimizada para o transporte de conteúdos ao invés de utilizar o método de transporte convencional que troca mensagens entre dois nós predefinidos. Desta forma quando um nó envia uma mensagem para a rede fá-lo de forma a pedir um conteúdo e não enviar uma mensagem a um nó específico.

1.1 Motivação

Com o rápido desenvolver da tecnologia, dispositivos como *smartphones*, computadores portáteis, *tablets*, entre outros, têm incorporado a capacidade de comunicação sem fios. Face à grande concorrência de mercado neste sector, estes aparelhos têm apresentado preços bastante atractivos fazendo com que rapidamente grande parte da população os tenha. Sabe-se também que a implementação e manutenção de infra-estruturas, que fornecem conectividade a estes dispositivos, têm um grande custo associado, além de que a sua construção leva grandes períodos de tempo.

Juntando todos estes factores torna-se **cada vez mais atractivo criar redes em que não se tenha de recorrer a uma estrutura física mas sim utilizando aparelhos móveis que servem de nós numa rede.**

1.2 Cenários de Utilização

Certas aplicações, como as de tempo real, que necessitam de um débito constante, requerem uma ligação conectada fim-a-fim. Porém um vasto número de aplicações beneficia com as RTA, onde não é crucial o tempo que demora a mensagem a chegar ao destino.

Como já foi dito anteriormente, este tipo de redes foi criado para as comunicações IPN, onde não existem infra-estruturas de comunicação e os satélites têm de usar uma comunicação sem fios. Usam protocolos RTA visto que a comunicação entre satélites é de longa distância e tem um tempo de propagação bastante grande, levando a atrasos significativos. Além de que nem sempre estão em linha de vista para transmissão.

Na superfície terrestre também foram surgindo muitos cenários em que se observou que se podia beneficiar com este tipo de redes. Em recuperação de desastres ou operações militares, onde se prevê uma falta de conectividade a infra-estruturas de

comunicação, os utilizadores transportam dispositivos para comunicar, por exemplo, situações de perigo ambiental ou mesmo sobreviventes no terreno.

Também são utilizados em redes de sensores [6], [7], onde, por norma, os sensores têm um dever (ex.: detectar movimentos) e comunicam à estação base; redes de monitorização [8], por exemplo, colocar sensores em animais para verificar os seus movimentos dentro do seu habitat; redes de comunicação entre vilas onde não existem infra-estruturas, temos o exemplo de vilas na Índia e no Camboja que usam o sistema DakNet [9], onde as vilas comunicam com um ponto de acesso móvel que posteriormente passa as mensagens para a infra-estrutura da internet; e em redes temporárias usadas para conferências ou expedições [10].

Em suma, as RTA, além de serem adequadas a ambientes onde os meios que existem para comunicar são nulos ou perto disso, elas também podem ser integradas em meios urbanos onde surgem como um meio alternativo de fazer as mensagens chegar aos seus destinos, num ambiente onde existe muito tráfego de rede associado.

1.3 Objectivos

Este documento foca-se no desenvolvimento de um novo protocolo de comunicações para Redes Tolerantes a Atrasos onde é usado o paradigma de Dados Nomeados.

O objectivo principal passa por conceber e desenvolver um protocolo que ofereça uma alternativa aos que já foram criados, juntando as RTA às RDN. Para isso vai ser elaborado um estudo aprofundado sobre os trabalhos desenvolvidos nestas áreas e posteriormente irá se proceder à implementação e simulação do algoritmo de encaminhamento, onde se vão obter resultados que irão ser devidamente discutidos e avaliados.

1.4 Contribuições

As contribuições neste artigo são a nova *framework* ICONE, uma adaptação do simulador ONE para encaminhar Dados Nomeados em Redes Tolerantes a Atrasos, o protocolo PeopleShare, um protocolo pioneiro que usa a difusão por conteúdos para propagar as mensagens nas RTA, e resultados preliminares de simulação que apontam boas perspectivas na fusão destes dois tipos de redes.

1.5 Estrutura do Documento

O documento está estruturado da seguinte maneira: o Capítulo II e o Capítulo III falam do que já foi desenvolvido e discutido anteriormente, sendo que o primeiro aborda o funcionamento dos protocolos RTA, e o segundo aborda o estudo efectuado sobre as redes de Dados Nomeados. O Capítulo IV vai documentar a arquitectura da nova *framework* onde vão ser desenvolvidos novos protocolos, e também vai ser descrita a comunicação neste tipo de ambientes. O Capítulo V explica a implementação dos sistemas desenvolvidos. Os testes e resultados vão ser discutidos no Capítulo VI e as Conclusões argumentadas no Capítulo VII.

Capítulo II – Encaminhamento em Redes Tolerantes a Atrasos

Desde a criação das redes oportunistas que se tem investido muito na criação de protocolos de encaminhamento adequados ao modelo das RTA. Sendo os terminais da rede móveis, a topologia da rede encontra-se em constantes modificações, visto que podem surgir novos nós assim como desaparecem outros, o que introduz dificuldades a nível de encaminhamento dos pacotes. Face a esta dificuldade, começaram a surgir muitas propostas num modelo armazena-transporta-reenvia¹ onde cada nó armazena a mensagem e encaminha-a quando tiver oportunidade.

O objectivo de um protocolo de encaminhamento RTA passa por maximizar a entrega do maior número de mensagens possível, funcionando assim num mecanismo melhor esforço, onde todos os terminais tentam fazer com que a mensagem chegue ao destino. No entanto, sabendo-se que as RTA usam dispositivos móveis pessoais, tem que se ter em conta o impacto que o envio de uma mensagem tem para o dispositivo, visto que este acto vai consumir recursos como tamanho em buffer, largura de banda e energia. Assim, a entrega de uma mensagem vai ter um custo para a rede. Muitas abordagens foram tomadas face a estes factores.

Numa fase inicial foram propostos algoritmos epidémicos (*baseado na dissiminação*), utilizado pelo **Epidemic Routing** [11], onde a cada contacto entre dois terminais, estes encaminhavam as mensagens que tinham um para o outro para que a mensagem conseguisse chegar o mais rapidamente ao destino. Num ambiente de recursos ilimitados, esta abordagem seria perfeita, porém não é este o ambiente das RTA, muito pelo contrário. Este tipo de algoritmos de difusão epidémica tende a sobrecarregar a rede com o tráfego associado, podendo levar à exaustão da rede.

Chegamos assim ao primeiro impasse: **Como aumentar a taxa de entrega de entrega de mensagens diminuindo o custo que têm para a rede?**

¹ *Store-carry-and-forward*

Neste ponto surgiram outras abordagens, nomeadamente de encaminhamento social (*baseado em contexto*), **PROPHET** [12], **Bubble Rap** [13], **SimBet** [14] e **PeopleRank** [15] são alguns exemplos. Assim, graças a informações de carácter social fornecidas pelos nós, um terminal calcula se esse nó é o melhor (ou pelo menos melhor que o próprio nó) para encaminhar a mensagem. Desta forma tenta prever-se com grande probabilidade um futuro contacto entre dois nós, diminuindo as cópias de mensagens na rede, ou seja, diminuindo o custo, e mantendo uma elevada percentagem de sucesso de entregas.

As informações que os nós partilham passam pelo **histórico de contactos**, lista de endereços com quem um nó estabeleceu uma ligação e a frequência com que as faz, a **popularidade de um nó**, quanto mais contactos um nó tiver mais probabilidade tem de este fazer a mensagem chegar ao destino, e **subdivisão em grupos sociais**, terminais de um grupo que se encontram constantemente têm mais probabilidade de entregar a mensagem a terminais do mesmo grupo.

Aqui deparámo-nos com um segundo impasse: **Até que ponto a quantidade de informação trocada entre dois nós é ou não útil para o encaminhamento?** Pois sabemos que quanto mais dados trocarmos, mais tempo de conexão vai ser consumido, assim como mais recursos processamento de dados. No entanto essa informação vai ser útil na hora da decisão de encaminhamento para o próximo nó.

Porém, algoritmos que se baseiam na popularidade têm tendência a concentrar a informação nos nós mais populares, o que leva a introduzir muito tráfego em determinados nós congestionando-os, fazendo com que estes falhem. Assim foram criados algoritmos que incorporam mecanismos de justiça relativa, onde tentam encontrar diferentes caminhos para enviar uma mensagem, como é o caso do algoritmo **FairRoute** [16].

A criação destes protocolos pressupôs sempre que os terminais estão sempre disponíveis a encaminhar mensagens, facto esse que não é verdade. Todos nós sabemos que vivemos numa sociedade egoísta, onde “ninguém dá nada a ninguém sem receber algo em troca”, daí muitos terminais só vão estar interessados a encaminhar mensagens caso tal os favoreça. Tendo este facto em conta, muitos protocolos criados anteriormente sem contar com este facto não vão ser viáveis, visto

que estes **nós egoístas** vão muitas vezes descartar mensagens sem avisar ninguém impedindo-as de chegarem ao destino.

É desta forma que surgem os algoritmos *baseados em crédito*, *baseados em reputação* e *baseados na teoria dos jogos* que tentam combater o egoísmo dos nós incentivando-os a encaminhar. Os protocolos baseados em crédito, como o **Sprite** [17], baseiam-se na existência de uma entidade controladora que, face ao comportamento dos nós, atribui ou não crédito aos mesmos, que necessitam dele para encaminhar as suas mensagens. Os que se baseiam na reputação, caso do **CONFIDANT** [18] e do **DARWIN** [19], consistem na observação do comportamento do nó por parte dos vizinhos. Estes verificam se o nó encaminha ou não uma mensagem e, caso não encaminhe, a sua reputação desce fazendo com que outros não encaminhem para ele. Outros protocolos usam heurísticas da teoria dos jogos que têm como objectivo incentivar os outros nós a encaminhar.

Em seguida vão ser detalhados e analisados alguns dos protocolos de encaminhamento RTA mais populares.

2.1 Encaminhamento Epidémico

O protocolo de Encaminhamento Epidémico, também conhecido como Epidemic Routing, tira proveito das redes MANET e tem como objectivo maximizar a probabilidade de entregar uma mensagem quando não existe um caminho físico associado entre a fonte e o destino.

Neste protocolo, pares de nós conectados trocam mensagens tornando-se **portadores**, para que as mensagens sejam distribuídas rapidamente por divisões conectadas da rede aumentando a probabilidade de estas chegarem ao destino.

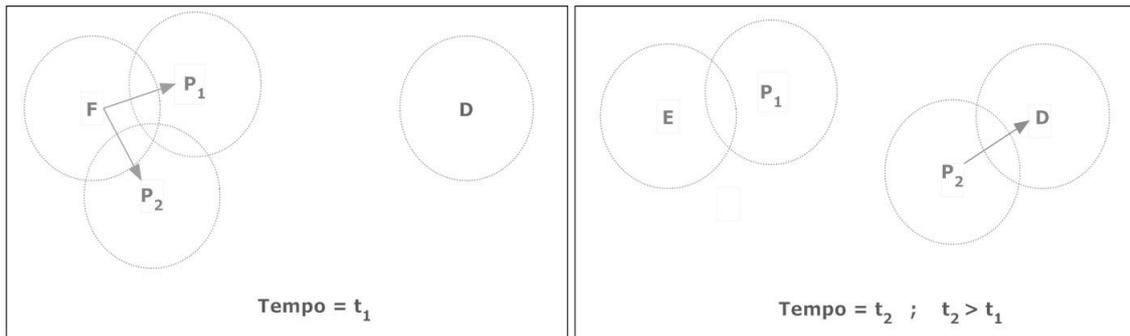


Figura 2: Exemplo de Encaminhamento Epidémico

Na Figura 2 podemos observar o processo de difusão de mensagens do Epidemic Routing, onde no tempo t_1 , a fonte F pretende enviar uma mensagem para o destino D e para isso envia essa mensagem para os dois nós que estão dentro do seu raio de alcance, sendo eles o portador P_1 e o portador P_2 . No tempo t_2 o portador P_2 entra dentro do raio de alcance do destino D fazendo chegar a mensagem proveniente de F .

O desenvolvimento deste protocolo foi feito com as suposições que a Fonte nunca está perto da estação base ou do nó de destino, que não sabe onde se encontra o nó destino, podendo ser um terminal móvel, e que pares de nós encontram-se periodicamente e aleatoriamente.

Tendo em vista o grande objectivo de maximizar a percentagem de emissões bem-sucedidas e minimizar o seu atraso, as principais alterações incluídas neste protocolo face aos criados anteriormente, passaram pelo aumento do número de saltos que cada mensagem pode efectuar, assim como o aumento do buffer destinado a armazenar as mensagens de outros nós. Assim, o Epidemic Routing, apesar de consumir maiores recursos em certas circunstâncias é uma boa forma de fazer chegar as mensagens aos destinos.

Neste protocolo, para um nó se tornar um portador não é uma tarefa complicada, para isso apenas necessita de ter espaço em buffer onde as mensagens estão armazenadas numa tabela. Apenas é estipulado para cada terminal um número máximo da lista de mensagens, e caso esta fique completa a lista funciona como FIFO (*first in first out* – primeiro a entrar é o primeiro a sair) sendo as primeiras mensagens recebidas descartadas. Deste modo, sempre que existir um contacto entre dois nós, primeiro é verificado se houve actividade recente entre eles, senão estes trocam um

summary vector com a lista de mensagens que possuem fazendo a partilha das mensagens que o outro não tem.

Em suma, este protocolo representa um modelo genérico no âmbito das RTA onde poucas suposições são feitas no sentido de respeitar a boa vontade de cada um dos nós, assumindo que só em casos excepcionais estes não iriam encaminhar. Falta assim neste protocolo especular mais neste campo e também implementar Qualidade de Serviço (QoS) para que mensagens de aplicações mais importantes tenham prioridade. Assim, embora apresente excelentes resultados no débito de entregas, é ineficiente no sentido em que inunda a rede com múltiplas cópias provocando excessivo tráfego com mensagens redundantes.

2.2 Prophet

O PROPHET é um protocolo RTA que propõe um mecanismo probabilístico de encaminhar mensagens, assumindo uma mobilidade dos nós não aleatória com o intuito de melhorar a percentagem de sucesso de entregas, diminuindo o tráfego na rede e o uso de memória usado nas máquinas.

Este protocolo tem um funcionamento em tudo semelhante ao Epidemic Routing, porém este introduz uma métrica probabilística designada previsibilidade de entrega, onde $P_{(a,b)} \in [0,1]$ em cada nó a com destino b . Então, a cada contacto entre dois nós, estes trocam o seu vector sumário que, diferentemente do Epidemic Routing, inclui uma medida de previsibilidade de entrega associado a cada nó, efectuando apenas a troca das mensagens que estão dentro dos parâmetros da estratégia utilizada.

$$P_{(a,b)} = P_{(a,b)_{old}} + (1 - P_{(a,b)_{old}}) \times P_{init} \quad (1)$$

O cálculo da previsibilidade de entrega é efectuado em três passos, sendo que o primeiro passa por actualizar a métrica sempre que um nó é encontrado, atribuindo

um valor elevado na previsibilidade de entrega a nós que se encontram diversas vezes. Este cálculo é demonstrado na fórmula (1), onde $P_{init} \in [0,1]$ é uma constante de inicialização.

$$P_{(a,b)} = P_{(a,b)old} \times \gamma^k \quad (2)$$

Caso dois nós não se encontrem frequentemente, é necessário efectuar um processo de envelhecimento para que a previsibilidade de entrega diminua entre estes dois nós. A fórmula (2) mostra o cálculo efectuado onde $\gamma \in [0,1]$ é a constante de envelhecimento e k é o valor temporal que se passou desde a última actualização.

$$P_{(a,c)} = P_{(a,c)old} + (1 - P_{(a,c)old}) \times P_{(a,b)} \times P_{(b,c)} \times \beta \quad (3)$$

Por último temos também que ter em conta a propriedade transitiva, tal que se um nó A tem uma boa previsibilidade de entrega para outro nó B, A pode servir de intermediário entre a fonte e o destino B. A fórmula (3) introduz $\beta \in [0,1]$, que é a constante que indica a escala de impacto desta propriedade na previsibilidade de entrega.

No âmbito das RTA, a selecção do nó ou dos nós seguintes para encaminhar mensagens não é tarefa fácil, visto ter que se ter em conta a probabilidade que esta tem de chegar ao destino, a rapidez e o tráfego que causa na rede. Por isso, existem diversas estratégias de encaminhamento que se podem optar, desde escolher um mínimo de previsibilidade de entrega, escolher um número máximo de nós seguintes, atingir uma probabilidade de entrega boa, entre outras. O PROPHET usa uma estratégia simplista no qual cada nó decide pela entrega de uma mensagem aos nós que têm uma previsibilidade de entrega maior que a sua.

Num cenário de uma população este protocolo prova ter uma melhor performance que o Epidemic Routing a todos os níveis, desde a rapidez, congestionamento na rede e probabilidade de entrega.

2.3 Bubble Rap

Ao contrário de algoritmos como o PROPHET, que elaboram tabelas de encaminhamento de acordo com a mobilidade dos utilizadores, o Bubble Rap concentra-se nos laços sociais de cada utilizador para encaminhar mensagens, acreditando que estes dão maior probabilidade de sucesso na entrega.

A estratégia deste protocolo passa por combinar um algoritmo baseado no conhecimento da comunidade com um algoritmo centrado na popularidade. Isto é, cada nó do sistema tem associado uma etiqueta de acordo com os grupos comunitários a que pertence, e ainda possui um ranking de popularidade dentro de cada comunidade.

O funcionamento do encaminhamento do Bubble Rap passa por, numa primeira fase, encaminhar as mensagens para nós com um ranking mais elevado até encontrar um nó da comunidade ao qual o nó destino pertence. Na segunda fase efectua o mesmo procedimento em passar a mensagem para nós com a mesma etiqueta de ranking superior até encontrar o nó Destino.

No desenvolvimento deste algoritmo foram feitas duas suposições, cada nó pertence a pelo menos uma comunidade e tem que ter associado um ranking global e um ranking dentro de todas as comunidades a que pertence.

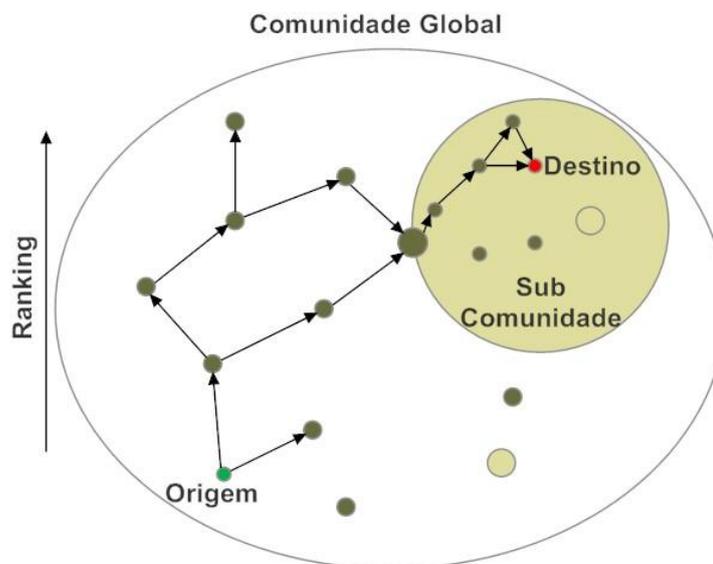


Figura 3: Encaminhamento no Bubble Rap (adaptado de [13])

A Figura 3 apresenta o mecanismo de encaminhamento do Bubble Rap, onde se pode verificar que os nós com maior popularidade têm associado um maior tráfego de informação, sendo designados de *hubs*, daí este ser um sistema centralizado.

No sentido de avaliar o seu protocolo, foram usados alguns datasets com as seguintes características:

Data set	Infocom05	Hong-Kong	Cambridge	Infocom06	Realidade
Dispositivo	iMote	iMote	iMote	iMote	Telemóvel
Tipo de rede	Bluetooth	Bluetooth	Bluetooth	Bluetooth	Bluetooth
Duração (dias)	3	5	11	3	246
Granularidade (seg)	120	120	600	120	300
Nº de dispositivos	41	37	54	98	97
Nº de contactos	22,459	560	10,873	191,336	54,667
Média contactos por dia	4.6	0.084	0.345	6.7	0.024

Tabela 1: Datasets utilizados pelo Bubble Rap

Os dados da Tabela 1 foram adquiridos de *Haggle Project*² e de *MIT Reality Mining Project*[20], e fornecem cinco cenários distintos, que cobre uma boa diversidade de ambientes, desde a populada cidade de Hong-Kong até à pacata cidade de Cambridge, com um período experimental de alguns dias (Infocom05 e Infocom06) até à duração de quase um ano (Realidade).

O Bubble Rap surge como uma alternativa de encaminhamento nas RTA onde são explorados os laços sociais dos utilizadores de maneira a que se consiga um encaminhamento mais eficiente sem mensagens redundantes. No entanto este apresenta-se como um sistema centralizado levando muito tráfego para determinados nós pondo em causa o seu funcionamento. Também não tem em causa o factor egoísta dos terminais não sendo adequado num cenário civil.

² <http://www.haggleproject.org/>

2.4 FairRoute

Os algoritmos RTA de encaminhamento actuais tendem a não duplicar as mensagens na rede usando uma estratégia de “única cópia” requerendo que o encaminhamento seja baseado numa heurística melhor-próximo-salto³ que passa as mensagens para nós com maior probabilidade de fazer chega-las ao destino. Seguindo esta linha de pensamento é necessário ponderar sobre as questões *como é calculado o próximo salto* e *como o tráfego é distribuído pelos utilizadores*.

Quer seja em algoritmos de encaminhamento aleatório, quer seja em algoritmos de encaminhamento com base social, é fácil de constatar que nós com maior conectividade vão ter mais probabilidade de receber mensagens, o que, por vezes, pode juntar muito tráfego no mesmo nó, congestionando o encaminhamento e levando à perda de pacotes. Em sistemas de conectividade em rede como a Internet este problema é resolvido atribuindo mais recursos a esses nós especiais. Neste caso isso não é possível pois todos os nós que constituem uma rede DTN são de diferentes domínios administrativos (como utilizadores individuais), sendo muito similares em termos de recursos. Com isto podemos distinguir três problemas significantes num sistema que utiliza estes nós de grande conectividade, sendo eles: 1) os nós não têm recursos suficientes para manusear todo o tráfego associado, acabando por falhar; 2) nós importantes são sempre alvos lógicos de ataque; 3) um nó com muita conectividade, ao encaminhar mensagens de outros põe em causa o envio das suas próprias mensagens assim como do seu contributo para rede.

O FairRoute tenta introduzir um conceito de justiça nas redes DTN fazendo uma melhor distribuição de tráfego por todos os nós. Este protocolo consegue atingir este resultado introduzindo duas métricas, a força de interacção percebida, que calcula a probabilidade de um nó conseguir entregar uma mensagem ao destino com sucesso, e a assortatividade, que limita a comunicação aos nós com menos importância na rede, fazendo com que estes tenham que descobrir novos caminhos para entregar as mensagens, visto que os nós só encaminham mensagens para nós com nível de conectividade na rede igual ou superior.

³ *next-best-hop*

O protocolo FairRoute consegue atingir um bom nível de eficiência verificando-se que consegue diminuir o tráfego na rede mantendo um bom nível de entregas com sucesso. Por sua vez volta a estar em causa a boa vontade de encaminhar dos nós, que neste protocolo não é estudado.

2.5 Sprite

Inicialmente, as RTA foram criadas com o intuito de prestar serviço em cenários de emergência ou de aplicações militares, onde todos os nós na rede pertencem a uma única autoridade funcionando com um único objectivo. Porém, com o rápido crescimento deste tipo de redes, é fácil visualizar a inserção destas num cenário civil, onde os nós são utilizadores independentes com o objectivo de maximizar apenas o seu bem-estar, que é calculado pelo benefício das suas acções menos o custo das mesmas, afastando a hipótese de cooperamento entre todos os nós.

Assim surge Sprite, um protocolo de encaminhamento RTA que se apresenta como simples, seguro e baseado num sistema de crédito que pretende incentivar os nós egoístas a encaminhar.

Explicando o seu funcionamento, quando um nó recebe uma mensagem, este guarda o recibo dela. Mais tarde, quando o nó tem uma ligação de alta velocidade com o *Credit Clearance Service* (CCS) - sistema responsável pelo **serviço de compensação de crédito** - reporta ao CCS as mensagens recebidas/encaminhadas fazendo o upload dos recibos. Por sua vez, o CCS trata de determinar a carga e o crédito para cada nó envolvido na transmissão de uma mensagem.

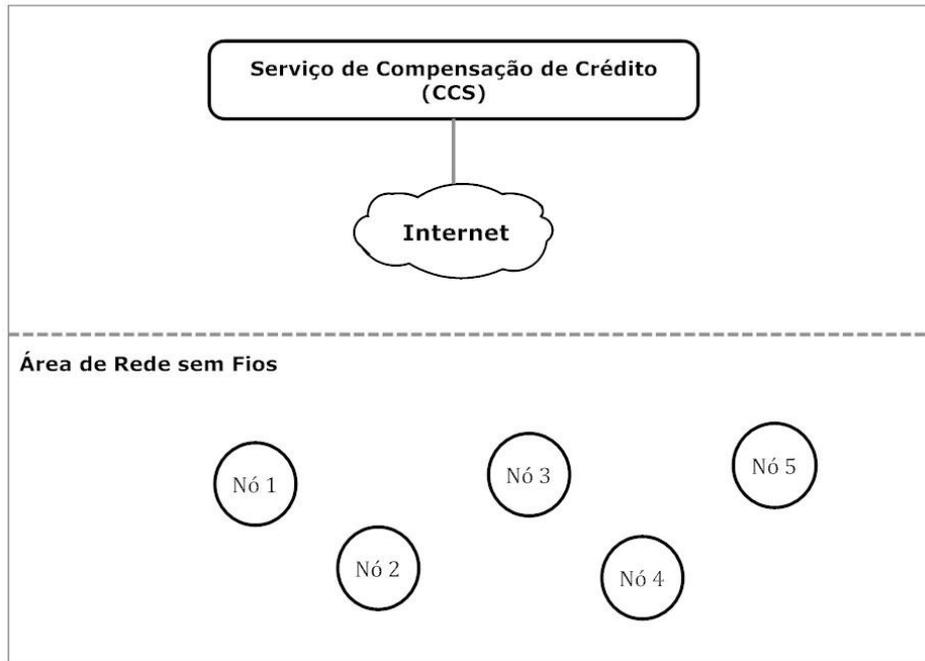


Figura 4: Arquitectura do Sistema Sprite (adaptado de [17])

Na Figura 4 é apresentada a arquitetura do sistema Sprite. Como se pode verificar, este sistema pressupõe que todos os nós se encontram equipados com interfaces de rede, de maneira a que possam comunicar com o CCS via internet através de tecnologias como o GPRS, ou comunicar entre nós mudando para tecnologias como o Bluetooth ou o Wi-Fi 802.11.

O mecanismo de atribuição de crédito implementado associa o custo da mensagem ao emissor da mesma, dando crédito a todos os nós intermediários que encaminhem a mensagem com sucesso para o nó seguinte. O custo do envio é maior que o crédito recebido por cada nó intermediário, e o CCS trata de periodicamente devolver o crédito de volta aos nós emissores. Isto é atingido sem pôr o incentivo em causa, pois o CCS concede mais crédito aos nós encaminhadores.

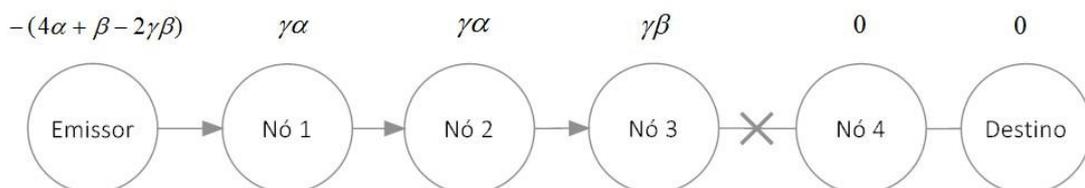


Figura 5: Método de pagamento Sprite

Para efeitos de apresentação, foi considerado que o emissor conhece o caminho até ao destino. O método de pagamento Sprite é ilustrado na Figura 5, onde por cima de cada nó está apresentado o custo adequado à função que desempenham. Todos os nós intermediários que encaminhem a mensagem recebem um pagamento de α (muito perto de 1), enquanto os nós que não encaminhem recebem um pagamento de $\beta < \alpha$ (valor muito baixo). Para impedir que os terminais aldrabem o sistema, como subornos entre nós ou emissão de falsos recibos, foi atribuído um maior custo ao emissor e introduzido o factor γ que diminui o ganho nos nós intermédios caso a mensagem não chegue ao destino. O nó Emissor paga por todos os nós que encaminhem a sua mensagem e recebe pelos nós ao qual a mensagem não chegou.

Resumindo, Sprite determina os pagamentos e cobranças do ponto de vista da teoria dos jogos, onde tentam motivar todos os nós egoístas a encaminhar. Este sistema encontra-se, no entanto, dependente de um mecanismo externo designado de CCS, que recebe os recibos dos nós fazendo os respectivos ajustes de crédito.

2.6 Darwin

Em cenários de aplicação civil de RTA, onde todos os nós não se encontram sob o controlo de uma única autoridade, a cooperação entre os utilizadores não é dada como garantida face à existência de nós egoístas que apenas pretendem maximizar o seu bem-estar. A criação do protocolo DARWIN tenta resolver o problema dos nós egoístas incentivando estes a encaminhar mantendo o seu bem-estar.

As propostas baseadas em crédito têm por norma inserir um hardware suplementar nos nós com a funcionalidade de armazenar informação de crédito, tornando esta solução inviável num cenário civil. Ou então, estas recorrem a uma autoridade central de confiança, como se verifica no caso do Sprite, o que implica a criação de uma infraestrutura nova de trabalho. Nos protocolos baseados na reputação, o comportamento dos nós é avaliado pela vizinhança, que face ao egoísmo apresentado por um nó, este pode ser desconectado parcialmente ou mesmo totalmente da rede. No entanto, factores como interferências ou colisão de pacotes, tornam impossível determinar se

um nó chegou mesmo a tentar encaminhar uma mensagem, que por sua vez leva a que a rede o veja sendo egoísta quando pode ser cooperativo, deteriorando o *throughput* (taxa de transferência) da rede.

O protocolo de encaminhamento baseado na reputação DARWIN (Distribute and Adaptive Reputation Mechanism for Wireless ad-hoc Networks) tenta determinar efectivamente quais são os nós egoístas punindo o comportamento egoísta, conseguindo obter comportamento totalmente cooperativo por parte dos nós.

Este protocolo, baseando-se nas propostas Tit For Tat [21] e Generous Tit For Tat [22], elabora uma estratégia que não depende de uma estimativa perfeita para chegar a uma cooperação total sendo mais robusto que as estratégias anteriores. Para tal usa o Contrite Tit For Tat (CTFT), técnica da teoria dos jogos, que define quais os nós que devem cooperar para estar nas boas graças da rede.

Este protocolo é robusto face a avaliações sociais imperfeitas, a colisões e consegue atingir total cooperação. É no entanto limitado à escolha de parâmetros sendo que o CTFT define quais os nós que devem encaminhar perdendo-se a verdadeira essência egoísta do nó.

2.7 Social Selfish Aware Routing

O *Social Selfish Aware Routing* (SSAR) [23], como o nome indica, introduz nas redes DTN um protocolo com nós egoístas com uma perspectiva do ponto de vista social.

Baseados em protocolos anteriores que tratam o tema dos nós egoístas, os criadores do SSAR crêem que através de abordagens baseadas na reputação, confiança ou da teoria dos jogos, estes retiram o egoísmo dos nós através dos incentivos para encaminhar. Desta maneira, este protocolo olha este tema de um novo ponto de vista permitindo aos utilizadores comportarem-se de uma forma verdadeiramente egoísta, tentando contudo, melhorar o encaminhamento tendo conhecimento deste facto.

Parte-se assim de duas suposições no qual a primeira será que um utilizador egoísta está disposto a encaminhar uma mensagem para outros com quem partilha laços sociais, e seguidamente diferencia o tipo de serviços prestados aos seus supostos “amigos”, favorecendo sempre aqueles com quem tem melhores laços sociais.

2.7.1 Arquitectura

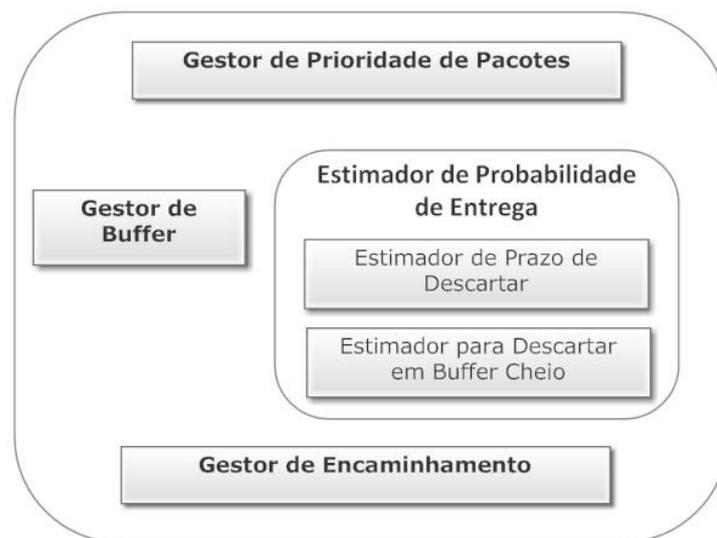


Figura 6: Arquitectura SSAR (adaptado de [23])

Como se pode verificar na Figura 6, a arquitectura do protocolo SSAR é dividida em quatro componentes principais:

- **Gestor de Prioridade de Pacotes:** este componente serve para calcular a prioridade de cada pacote em buffer baseado na boa vontade dos nós pelo qual passou. Esta prioridade do pacote mede a importância social deste para o nó.
- **Gestor de Buffer:** componente que gere os pacotes em buffer consoante a sua prioridade, sendo que pacotes com prioridade 0 não vão ser guardados e quando é atingido o limite do buffer os pacotes com menor prioridade são descartados.
- **Estimador de Probabilidade de Entrega:** neste sector é estimado a probabilidade de entrega de uma pacote, que é usado para determinar a capacidade

do nó para encaminhar esta mensagem. Este cálculo é efectuado tendo em conta os factores probabilidade de contacto e boa vontade do nó.

- Estimador de Encaminhamento: o processo de encaminhamento é feito com recurso ao MKPAR (Multiple Knapsack Problem with Assignment Restrictions), que trata de decidir quais os pacotes a encaminhar face às restrições de recursos, como o buffer, dando uma melhor performance ao sistema.

2.7.2 Funcionamento do Protocolo

De uma forma breve, vai ser explicado em seguida quais os principais passos no funcionamento do protocolo SSAR:

1. Após constatar a presença de outro nó na rede, um par de nós A e B trocam informação incluindo o parâmetro da boa vontade que têm em encaminhar nós um para o outro.

2. Caso A tenha boa vontade em encaminhar para B (>0), B envia para A um sumário com a lista de pacotes que possui (ID do destino, tempo de expiração, prioridade).

3. Com a informação de prioridade, A calcula o novo valor de prioridade para cada pacote. Com base na nova prioridade e na restante informação contida no sumário, A calcula a probabilidade de entrega de cada pacote e juntamente com o tamanho do buffer disponível envia a informação para B.

4. B determina quais os pacotes com maior probabilidade de entrega em A.

5. Com a informação do tamanho em buffer, B recorre ao MKPAR para determinar quais os pacotes a encaminhar para A.

O SSAR apresenta um algoritmo onde o egoísmo é resolvido do ponto de vista do utilizador, dando liberdade ao egoísmo pessoal e não forçando a encaminhar.

2.8 Análise dos Protocolos

Ao longo deste Capítulo foram introduzidos diversos protocolos RTA. Todos eles foram detalhados e argumentados. Podemos dizer que o nível de complexidade dos protocolos foi aumentando na mesma ordem com que foram apresentados, contudo todos eles possuem os seus prós e contras que vamos relembrar rapidamente na tabela seguinte:

Protocolo	Prós	Contras
Epidemic Routing	Enorme taxa de mensagens entregues com sucesso.	Excesso de tráfego na rede; grande probabilidade de congestionamento da rede.
Prophet	Grande taxa de mensagens entregues com sucesso; redução de tráfego na rede.	Visto ser indicado para cenários de bastante população tem que ter em conta o factor egoísmo.
Bubble Rap	Usa factor social como métrica de encaminhamento e garante uma boa taxa de entrega de mensagens.	O factor popularidade leva a muitos nós a encaminharem para o mesmo o que pode levar a um congestionamento.
FairRout	Fornece justiça no encaminhamento tirando congestionamento aos nós.	Não se preocupa com a boa vontade dos nós.
Sprite	Usa a teoria dos jogos para fazer o encaminhamento lidando com o egoísmo do utilizador.	Necessita de um mecanismo externo para a atribuição de créditos.
Darwin	Robusto e consegue atingir total cooperação entre os nós.	Limita a escolha de parâmetros perdendo-se a verdadeira essência egoísta do nó.

Protocolo	Prós	Contras
SSAR	Lida com o egoísmo ponto de vista do utilizador, dando liberdade ao egoísmo pessoal e não forçando a encaminhar	Face a outros protocolos dispõe de uma taxa de encaminhamento mais baixa e as mensagens demoram mais a chegar ao destino.

Tabela 2: Principais características dos protocolos estudados

A Tabela 2 ilustra as principais características que os protocolos estudados apresentaram, fazendo assim um sumário daquilo que cada protocolo representa.

É impossível obter um funcionamento ideal pois todos eles são bons em algo, tendo também aspectos negativos, ou aspectos onde são piores que os outros. O SSAR é o protocolo mais próximo do objectivo pois tenta solucionar todos as questões tendo um comportamento bastante satisfatório.

2.9 Aplicações

A verdade sobre as Redes Tolerantes a Atrasos é que actualmente não são muito conhecidas pois são poucas as aplicações direccionadas para as mesmas. O estudo que vem a ser feito em busca de otimizar estes protocolos tem sido posto em prática em essencialmente em conferências, como é o caso do *Pocket Switched Network* [10].

No entanto, têm surgido algumas ideias aplicacionais para pôr em prática as RTA no meio civil, como é o caso do *PeopleNet*[24], um exemplo de um sistema de partilha de conteúdos que usa as Redes Tolerantes a Atrasos para propagar a informação. Uma descrição alargada sobre esta aplicação vai ser efectuada em seguida.

2.9.1 PeopleNet

Inspirado pelos benefícios das redes sociais, o PeopleNet quer introduzir um sistema de partilha de informação como as pessoas fazem no seu dia-a-dia, perguntando a amigos que por sua vez perguntam a outros amigos até chegarem a uma resposta.

Este protocolo RTA pretende criar um sistema de pergunta/resposta em que se pretende que os utilizadores consigam obter um resultado rapidamente e eficientemente. Pode por exemplo servir de comunicação para negócios, onde um utilizador tem algo para vender e o outro quer comprar esse mesmo artigo.

A ideia na implementação do PeopleNet passa por usufruir, por um lado, da infraestrutura de comunicações já existente, e por outro, tira proveito das partilhas peer-to-peer que os telemóveis oferecem, através de Bluetooth. Introduce também um novo conceito designado de *bazaar*. Trata-se de uma região destinada a resolver um determinado tema de pergunta/resposta, como desporto, música, política, cinema, etc. Assim o PeopleNet divide uma região em diversos bazaar's destinados a resolver queries de um só tema, tentando com isso aumentar a rapidez de uma possível resposta. Na Figura 7 podemos observar uma região dividida em várias células onde foram criados 6 bazaar's.

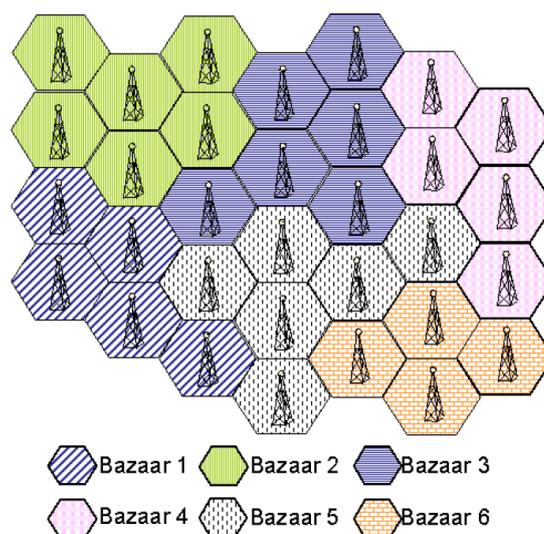


Figura 7: Região dividida em 6 bazaar's

O funcionamento prático deste protocolo passa por duas etapas. Primeiro, um utilizador interessado em obter uma resposta para a sua questão, envia uma mensagem para este serviço indicando qual o assunto e qual a pergunta. Esta mensagem chega ao bazaar correcto graças à introdução de um PeopleNet Coordenator (PC) integrado no Mobile Switching Center (MSC), que tem como função apenas encaminhar a mensagem para o bazaar correcto. Sendo o PC apenas um encaminhador, este requer o mínimo de software e, não armazenando nenhuma mensagem, torna o sistema totalmente escalável. Chegando a query ao PC do bazaar correcto, este encaminha-a como uma mensagem de texto para um máximo de k elementos inseridos no Visitor Location Register (VLR) do MSC. A segunda etapa passa por utilizar o sistema peer-to-peer para propagar a pergunta/resposta para outros utilizadores até chegarem a uma correspondência correcta. Depois uma mensagem de texto é outra vez enviada para os agentes intervenientes na query a informar a conclusão da pergunta/resposta.

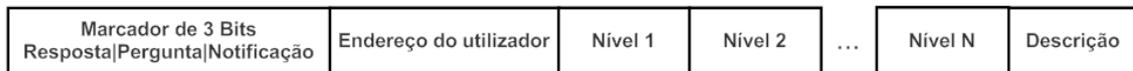


Figura 8: Modelo de Mensagem usado no PeopleNet

O modelo de mensagem utilizado neste sistema está representado na Figura 8 e usa os 3 primeiros bits para marcar o tipo de mensagem, sendo os primeiros dois para definir se é resposta ou pergunta e o terceiro para definir se o utilizador pretende ser notificado caso haja uma correspondência (este ponto é utilizado no caso de um utilizador disponibilizar uma informação pela qual não lhe interessa obter o resultado). O segundo campo representa o endereço do utilizador em causa, para que um desfecho à query lhe seja comunicado, e posteriormente vêm os campos que descrevem a query hierarquicamente até um nível N . O campo Descrição é apenas uma opção para o utilizador poder inserir uma breve descrição do conteúdo.

O PeopleNet investiga dois tipos de propagação no modo peer-to-peer, são eles o modo *random spread* (difusão aleatória) e *random swap* (troca aleatória). O *random spread* utiliza um modelo em que a cada contacto dois nós entregam uma mensagem aleatória um ao outro. Num cenário onde estão sempre a ser inseridas novas queries, os buffers destinados às mensagens vão ficar cheios e por sua vez queries vão ser descartadas.

O modelo *random swap* efectua uma troca aleatória de queries entre dois nós, onde não são armazenadas cópias na origem, de maneira a garantir um maior espaço no buffer, no entanto a difusão pode ser mais lenta.

Este protocolo introduz assim uma noção de bazaar que traz um impacto positivo neste cenário, concentrando queries numa determinada localização onde se torna mais fácil encontrar uma resposta num período de tempo aceitável dentro de um mecanismo peer-to-peer.

Em suma, o PeopleNet tem uma nova visão no aproveitamento das aplicações peer-to-peer fornecidas pelos telemóveis, tentando fazer questões a quem tem conhecimento, ou seja, às pessoas.

Capítulo III – Redes Baseadas em Conteúdos

As ideias chave no desenvolvimento da Internet foram desenvolvidas nos anos 70. Nesta época, o único modelo de comunicações bem-sucedido em grande escala era a rede telefónica. Do mesmo modo, o modelo TCP/IP era o único modelo que assegurava a interoperacionalidade e interconexão de redes diversas de computadores. Desta maneira a Internet foi criada utilizando o protocolo TCP/IP que encaminhava os dados entre duas entidades utilizando a infra-estrutura telefónica.

Desde então, a rede Internet evoluiu dramaticamente chegando a estar ao alcance da maioria da população, que dispõem de diversos dispositivos conectados à World Wide Web.

Embora o IP tenha sido criado para comunicações fim-a-fim, hoje em dia, é maioritariamente utilizado para distribuição de informação, havendo uma mudança de paradigma onde as mensagens passam a ser propagadas por conteúdos e não pelos endereços. Assim surgem as **Redes Baseadas em Conteúdos (RBC)**[25][26], redes cujo objectivo é lidar com o processo de encaminhamento não através de endereços, mas sim através de conteúdos.

Estas redes de difusão de conteúdos usam **Dados Nomeados**, ou seja, cada mensagem vai ter um nome único, tal como um endereço URL. Contudo, para se obter um conteúdo não é estritamente necessário pedir ao seu publicador que o envie (modelo IP ponto-a-ponto), mas sim fazer um pedido de conteúdo à rede. Desta maneira a rede passa a fazer encaminhamento com base no nome do conteúdo e não no endereço do destino. Assim podem-se evitar muitos saltos na rede desde que um Conteúdo se encontre disponível num nó mais próximo que o publicador, atingindo melhores resultados da rapidez da obtenção de pacotes da rede.

3.1 Difusão em Redes Tolerantes a Atrasos

Existem diversas situações de comunicação assíncrona que não necessitam de uma conectividade contínua. Uma conectividade intermitente com um atraso justo pode muito bem ser uma solução para estes casos. As RTA são indicadas para efectuar estes serviços pois assumem à partida que a rede é constituída por nós que não são fixos.

Gunnar Karlsson, Vincent Lenders e Martin May[27] criaram um sistema de disseminação de conteúdos em RTA cujo objectivo é fornecer uma alternativa aos sistemas de difusão terrestres e por satélite já criados. O sistema é indicado para ser utilizado em zonas densas em população, visto que a qualidade de uma RTA depende da mobilidade dos seus nós. Logo, zonas de muitos cidadãos a movimentarem-se fornecem uma garantia de um funcionamento razoável da RTA.

Este sistema apresenta também como aspecto positivo o facto de usar as bandas não licenciadas ISM⁴. Assim não tem as complicações de obter uma licença num espectro muito preenchido por diversas aplicações.

O termo difusão é utilizado pois as mensagens são difundidas para todos os utilizadores de um grupo que se encontram dispostos a obtê-las. A difusão é organizada em diferentes canais, onde **cada canal corresponde a um tipo de conteúdo diferente** que é seleccionado pelo produtor. A novidade introduzida por este sistema é que a recepção de mensagens é uma opção do utilizador que opta por quais os canais que pretende “escutar”, estando aqui a principal diferença do cenário epidémico[11].

Resumindo, foi apresentado um novo sistema de *broadcast* que usa as RTA e tenta impor-se como alternativa às redes tradicionais. Esta alternativa é abordada do ponto de vista do utilizador, onde ele só recebe as mensagens que pretende receber. Para isso é feita uma conexão a um canal que está a transmitir um tipo de conteúdo. As mensagens são transmitidas todas num só salto para todos os nós que as solicitem ou que não se importem de encaminhá-las.

⁴ ISM: Industrial, Scientific and Medical band allocations

Esta abordagem é semelhante à apresentada pelo PeopleNet[24], contudo diferencia-se pois não utiliza infra-estruturas e aborda o assunto pela propagação dos conteúdos e não pela busca dos mesmos.

3.2 Redes de Informação Centralizada RTA

O estudo das Redes de Informação Centralizada - *Information-Centric Network* (ICN)[3][30], tem aumentado rapidamente no decorrer dos últimos anos, sendo um tema bastante atractivo que inova na abordagem à internet. Têm como objectivo principal que a infra-estrutura de rede deveria centrar-se na eficiência da entrega de conteúdos e não na eficiência da entrega de pacotes entre dois nós.

Diversos estudos já foram efectuados verificando a capacidade destas redes melhorarem a segurança, escalabilidade, gestão de rede e mobilidade. Assim, Gareth Tyson, John Bigham e Eliane Bodanese[26] sugeriram a criação de uma fusão entre as redes de Dados Nomeados com as RTA chegando ao nome ICDTN (*Information-Centric Delay Tolerant Networks*).

Como é sabido, as RTA são propícias para ambientes hostis, onde a conectividade é intermitente, o que fez destas redes um sucesso nestes cenários alternativos. No entanto, o mecanismo de encaminhamento é a passagem das mensagens de nó para nó sempre que acontece um contacto. As ICN permitem à rede obter um melhor conhecimento do conteúdo que circula, podendo ser guardado em cache e reutilizado, sendo uma mais-valia no uso das RTA onde não existe uma conexão contínua.

Porém, o motivo da criação das ICDTN baseia-se mais no que ambas as redes têm em comum do que o que não têm. Podem-se verificar as seguintes semelhanças:

- Armazenamento na rede: ambas as abordagens se baseiam num armazenamento dentro da rede;
- Ligação tardia: ambas as abordagens usam uma ligação tardia de nomes a localizações;
- Longevidade da informação: ambas as abordagens atribuem um período de vida mais alargado à informação comparativamente às redes IP;

- Encaminhamento flexível: ambas as abordagens têm uma perspectiva mais flexível no encaminhamento de mensagens, tornando o encaminhamento mais rico em soluções.

Estas similaridades levam à lógica fusão destas duas arquitecturas de rede onde se pode beneficiar das suas mais-valias em conjunto.

3.3 Redes de Dados Nomeados

O protocolo TCP/IP tem como principal funcionalidade estabelecer uma ligação ponto-a-ponto entre duas máquinas. Quando este foi criado, surgiu como uma solução única e inovadora no mercado e usando as linhas telefónicas como meio de comunicação teve um impacto imediato. O seu crescimento superou todas as expectativas facilitando a interconexão ubíqua da rede.

Embora o IP tenha sido criado para comunicações fim-a-fim, hoje em dia, é maioritariamente utilizado para distribuição de conteúdos, assim surge a ideia das **Redes de Dados Nomeados (RDN)** – ou na versão inglesa *Named Data Networks (NDN)*[25], redes cujo objectivo é lidar com o processo de encaminhamento não através de endereços, mas sim através de conteúdos.

Este tipo de redes é uma derivação das ICN e com esta visão surgem novas oportunidades:

- Com as RDN muitas aplicações não vão ter de usar um mediador para fazer o mapeamento (nome-endereço);
- Segurança nas comunicações fim-a-fim;
- Pode evitar o salto entre nós;
- Apesar das RDN usarem nomes maiores que o endereço IP (semelhantes a um URL), os seus criadores acreditam que ao agregar hierarquicamente atingem reduções de espaço exponenciais tal como o IP;
- Acreditam também na rapidez da propagação dos dados com este novo sistema.

Estes pontos vão ser explicados com mais precisão no decorrer desta secção.

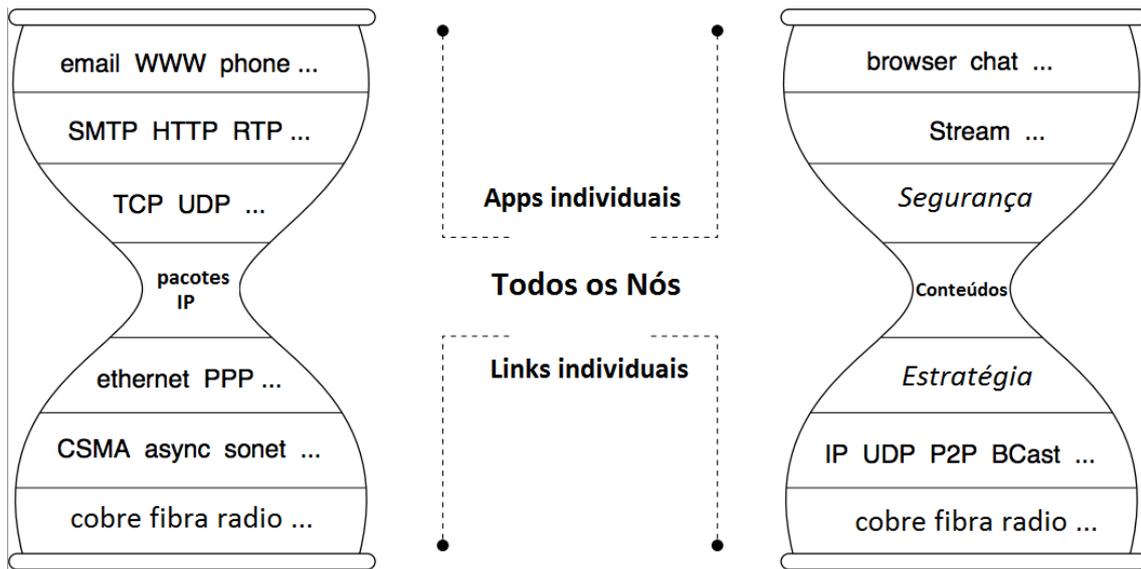


Figura 9: Alterações efectuadas na ampulheta (adaptado de [28])

A Figura 9 ilustra as alterações necessárias na arquitectura da ampulheta da Internet, em que as modificações são efectuadas na cintura fina da mesma. Como podemos observar os pacotes IP são adaptados para pacotes Conteúdos, e ainda podem ser adaptados os campos Segurança e Estratégia.

3.3.1 Arquitectura

A RDN apresenta uma arquitectura totalmente diferente mas que pode ser facilmente integrada na prática corrente.

A comunicação é originada pelo nó receptor. Para receber dados, um nó envia um pacote **Interesse**, uma mensagem de interesse que contém um nome que identifica os dados pretendidos. A mensagem Interesse é armazenada na Base de Informação Encaminhamento - *Forwarding Information Base (FIB)*, que faz o mapeamento entre o conteúdo e o nó receptor. Assim que um Interesse encontra um nó com os dados pretendidos, um pacote do tipo **Dados** é enviado de volta com o pedido feito, transportando na mensagem o nome e conteúdo do Interesse.

Um router RDN guarda temporariamente tanto Interesses como Dados. Quando múltiplos pedidos do mesmo interesse são feitos, apenas o primeiro pedido é encaminhado para a rede. Assim os Interesses são armazenados na Tabela de

Interesses Pendentes – *Pending Interest Table* (PIT), onde ficam associados aos interfaces que pretendem o seu conteúdo. Quando o pacote Dados chega, é verificado na PIT os interfaces que solicitaram a mensagem de forma a ser encaminhado para estes. Um pacote Dados é encaminhado no sentido inverso a um pacote Interesse alcançando um fluxo de tráfego salto a salto.

3.3.2 Nomes dos Interesses

A nomeação dos interesses é a área mais importante das RDN, visto ser este o campo que distingue o funcionamento das redes IP para as Redes de Dados Nomeados.

Os nomes são opacos para a rede e assumem uma estrutura hierárquica. Não precisam ser nomes únicos globalmente embora necessitem de uma garantia de exclusividade dentro de uma comunidade para se obterem os dados desejados.

Para receberem os dados pretendidos, um consumidor tem que determinar o nome do interesse sem nunca ter visto o nome ou o seu conteúdo, para isso existem duas soluções possíveis, ou chega-se a um consenso com o produtor através de algoritmos determinísticos baseados nos dados disponíveis por ambos os agentes, ou então o consumidor pode obter informação pedindo partes do nome completo.

O campo da nomeação tem um grande foco na investigação das RDN, onde têm sido feitos estudos com o intuito de otimizar a estrutura do nome, os processos de descoberta do nome, entre outros.

3.3.3 Segurança

Nas RDN a segurança dos dados é efectuada nos próprios nós, estando incluída na cintura fina da nova ampulheta proposta pelos autores. Sendo as aplicações obrigadas a autenticar as suas mensagens, cada pacote vai devidamente assinado fazendo uma ligação segura entre conteúdo e nome. Esta assinatura em conjunto com os dados informativos do publicador permite saber a origem dos dados.

3.3.4 Encaminhamento

As RDN encaminham pacotes com base em nomes dando uma solução a quatro problemas encontrados na arquitectura IP: **Exaustão de endereços** - não existe este problema na RDN pois a nomeação não tem limite; **Network Address Translation (NAT) transversal** - como um terminal não tem de expor o seu endereço não é necessário este mecanismo de mapeamento de endereços; **Mobilidade** - na arquitectura IP é necessário fazer alterações de endereços IP quando existe mobilidade, problema ultrapassado nas RDN pois o nome mantém-se igual; **Gestão da escalabilidade de endereços** - esta gestão deixa de ser necessária em redes locais, potencializando as redes de sensores sem fios[29].

O encaminhamento é efectuado da mesma maneira que o encaminhamento IP, só que em vez de anunciar endereços IP, os anúncios feitos são dos nomes dos Interesses, que apontam para um conteúdo específico. Estes anúncios são propagados pela rede actualizando as FIB dos nós.

Os nomes podem ser agregados por secções, sendo que o router tem o papel de encaminhar para o correspondente prefixo mais longo. Por exemplo, caso o nome seja */miecom/aluno/LouisCosta* pode corresponder a ambos */miecom* e */miecom/aluno/* encaminhando para o prefixo mais longo que é o último.

Depois de um Interesse encontrar o correspondente pacote Dados, este faz o caminho inverso até ao nó origem.

3.3.5 Guardar em memória cache

Sempre que um pacote Interesse chega a um router, este verifica se existe o pacote Dados correspondente em memória cache. A grande diferença entre um router IP e um router RDN é que o primeiro não pode voltar a usar um pacote depois de o encaminhar, porém nas RDN, é possível reutilizar mensagens pois estas são identificadas por nomes que as tornam únicas na rede, sabendo os respectivos conteúdos. Assim o armazenamento do pacote Dados em memória torna-se essencial na optimização do encaminhamento RDN.

3.3.6 Tabela de Interesses Pendentes

Como já foi dito, a PIT contém os interfaces dos Interesses que foram recebidos mas ainda não foram satisfeitos. Esta informação é essencial para encaminhar os pacotes Dados para o seu destino.

De forma a maximizar as PIT, é estabelecido um período para se possuir uma entrada na mesma, sendo que deverá ser o tempo de uma viagem de ida e volta. No entanto isto apresenta o risco de caso a mensagem ser apagada da PIT antes do seu pacote Dados chegar, o pacote vai ser descartado.

A inclusão da PIT ainda pode servir para outras funções críticas, tais como encaminhamento *multicast*, controlar o débito de entrada reduzindo o número de entradas na PIT e detectar ataques como o DDoS⁵.

⁵ Distributed Denial-of-Service

Capítulo IV – Arquitectura ICONE e PeopleShare

No mundo das Redes Tolerantes a Atrasos já foram testadas diversas formas de encaminhar mensagens, desde protocolos epidémicos, de uma só cópia, de n cópias, de carácter social, egoístas, entre outros. Com o estudo das Redes de Dados Nomeados efectuado no Capítulo III pôde-se constatar que o mundo da difusão de dados nas redes de comunicação pode trazer uma nova abordagem. Ao invés de propagar os dados por endereços estes fazem-no através de conteúdos, algo que hoje em dia verifica-se ser muito comum. Certas aplicações RTA mostram que esta tecnologia pode ser bastante útil, porém ainda estão aquém das expectativas.

É então que surge a ideia do **PeopleShare**, um protocolo de comunicações para RTA, cujo objectivo é proporcionar a difusão de conteúdos com base nos seus nomes. O nome PeopleShare (partilha entre pessoas) surgiu pelo facto de ser um protocolo de partilha de conteúdos, onde as mensagens são passadas de pessoa para pessoa caso essa pessoa tenha interesse nisso ou não se importe de encaminhar essas mensagens para outros. Sendo assim trata-se de um sistema cujo objectivo é fazer com que os conteúdos cheguem aos seus interessados sem que haja obrigação para os nós de reencaminhar mensagens, mas sim encaminham quando têm motivos para tal.

Este protocolo destaca-se por ser pioneiro na **inclusão da arquitectura RDN** nas RTA, onde as mensagens na rede são **Interesses** e **Conteúdos**. Para isso foi criada a *framework* **ICONE** (Information-Centric no ONE) cujo objectivo é integrar as RND no simulador RTA **Opportunistic Network Environment (ONE)**[31]. Este simulador é indicado para redes oportunistas mas foi desenvolvido com o paradigma das redes comuns, onde a comunicação se faz com base nos endereços de origem e de destino.

O protocolo PeopleShare também faz questão de tratar o egoísmo dos nós do ponto de vista do utilizador, onde um nó não é forçado a encaminhar e apenas o faz para “amigos” ou pessoas com os mesmos interesses - **assuntos de interesse são passíveis de partilha**. Este método de encaminhamento é indicado para áreas densas

em população (áreas urbanas, praias, acampamentos, campos desportivos e transportes públicos) e deverá usar a largura de banda não licenciada ISM.

Na criação do protocolo os objectivos eram que este fosse eficiente, descentralizado e preocupado com os nós egoístas. Para isso os temas com grande popularidade são os primeiros a ser encaminhados. Caso haja conhecimento social o encaminhamento também pode ser lido com base em servir de portador de conteúdos para “amigos”.

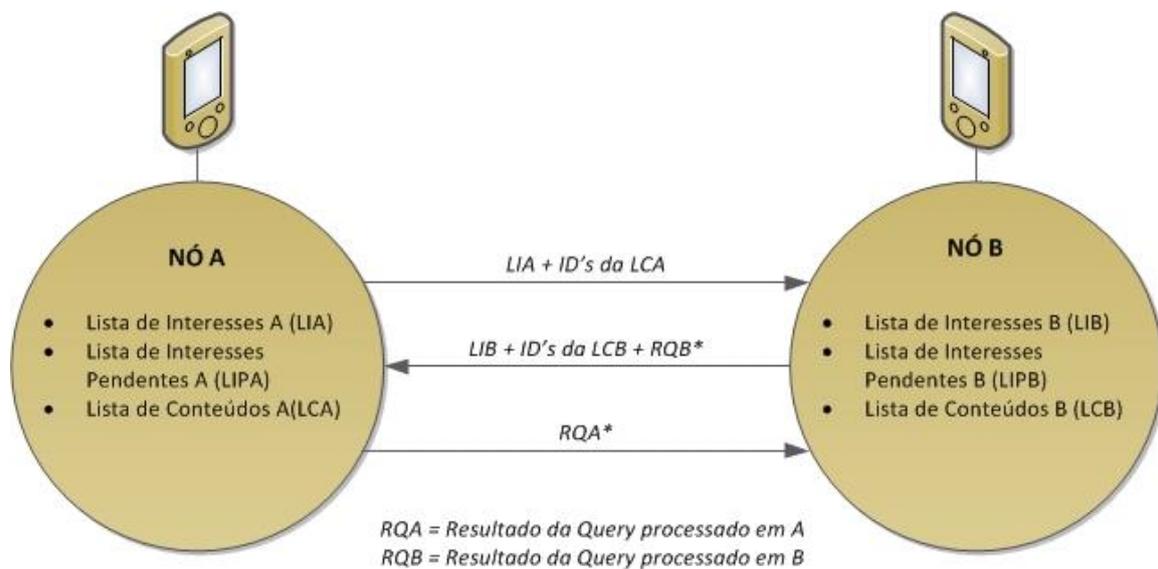


Figura 10: Comunicação entre dois nós no PeopleShare

A Figura 10 apresenta um contacto entre dois nós pertencentes ao PeopleShare onde existe uma comunicação. Como se pode constatar na figura, cada nó possui uma Lista de Interesses (LI), uma Lista de Interesses Pendentes (LIP) e uma Lista de Conteúdos. Neste contacto o nó A começa por enviar a sua LI para B juntamente com os IDs que possui na LC. Por sua vez ao receber a mensagem de A, o nó B envia a lista LI e os IDs da LC assim como os pacotes que resultem da *query* feita. Esta *query* serve para determinar quais os conteúdos que possui para A e quais os conteúdos extra que pretende de A. O terceiro momento é a resposta de A a B com o Resultado da sua Query (RQ).

Esta troca de dados é apresentada num alto nível e vai ser detalhada na secção Protocolo de Comunicação. O objectivo desta comunicação é trocar informações entre pares de nós de forma a enriquecerem as suas listas e elaborar um melhor cálculo de encaminhamento.

4.1 Arquitectura

O PeopleShare é um novo protocolo de comunicação que tenta fundir as duas arquitecturas RTA e RDN numa só, aproveitando o melhor de ambas de forma a proporcionar melhores resultados em redes de conectividade intermitente.

Com as Redes de Dados Nomeados temos um paradigma de rede que usa a difusão de mensagens por conteúdos. Ao introduzir este paradigma nas RTA passamos a possuir uma rede onde as mensagens que circulam ou são **Pacotes Interesse (PI)** ou **Pacotes Conteúdo (PC)**.

O objectivo de um utilizador da rede é obter PC, para isso, este inicia a comunicação enviando um PI para a rede. Cada PI tem associado um PC. Com os vários encontros entre pares de nós na rede, o PI vai saltando de nó em nó até chegar a um dispositivo que tenha o PC correspondente. Da mesma forma o PC é respondido de maneira a chegar ao destino o mais rápido possível.

Cada nó possui quatro tabelas de armazenamento de informação, são elas a **Lista de Interesses (LI)**, **Lista de Interesses Pendentes (LIP)**, **Lista de Conteúdos (LC)** e **Lista de Apontadores para Conteúdos (LAC)**.

Sempre que um nó recebe um pacote, as listas são devidamente actualizadas de maneira a serem utilizadas posteriormente para a decisão de encaminhamento.

Tanto os PC como os PI são armazenados temporariamente na memória do dispositivo. O seu armazenamento permite uma melhor difusão do pedido e da resposta. Sendo a comunicação direccionada a conteúdos e não a ligações ponto-a-ponto, torna-se um factor muito importante armazenar os pacotes em memória pois faz diminuir o número de saltos para se obter um PC, visto o pedido não ter que ir ao seu publicador, podendo ir a um nó mais próximo que tenha o conteúdo pretendido.

Existem também os **Pacotes Informação de Conteúdo (PIC)** que têm como objectivo indicar que um nó possui um certo conteúdo. Estes pacotes são importantes pois sabendo os conteúdos que o outro nó dispõe, o primeiro pode solicitar o envio de um conteúdo que pretende transportar para outro terminal que o tenha solicitado.

4.1.1 Nomeação dos Interesses

A filosofia adoptada na nomeação dos Interesses segue os parâmetros das RDN. Isso significa que estes vão ser únicos e vão possuir uma estrutura hierárquica.

Cada Pacote Interesse vai ter um Pacote Conteúdo correspondente e, como os pacotes são reconhecidos pelos seus nomes, estes vão ter de ser únicos na rede. A diferença entre um PI e o seu PC vai ser no campo Tipo da mensagem, e caso a mensagem seja PC esta também vai possuir os dados do conteúdo.

A decisão de incorporar nos nomes uma estrutura hierárquica tem que ver com o encaminhamento. Tal como existe o agregamento de endereços no encaminhamento IP, também vai ser possível agregar os nomes dos Interesses. Vejamos o seguinte exemplo em que o nó A possui os Interesses **/artigo1/página1de3**, **/artigo1/página2de3** e **/artigo1/página3de3**. O nó A quando anunciar a posse destes interesses agrega o nome anunciando apenas **/artigo1**. Esta solução simplifica o encaminhamento impedindo que sejam utilizados nomes muito grandes sempre que possível.

A atribuição de nomes aos Interesses é uma área de grande estudo nas Redes de Dados Nomeados. Esta nomeação implica o acordo entre publicador e interessado e pode ser atingida de diversas maneiras. Como neste documento o estudo é direccionado ao encaminhamento, a geração de Interesses vai ser com nomes que são definidos na rede, não sendo necessário o consenso de ambos os nós.

4.1.2 Tabelas de armazenamento de informação

Como já foi referido anteriormente neste documento, cada nó possui quatro tabelas distintas necessárias para a decisão de encaminhamento. As tabelas são designadas de **Lista de Interesses (LI)**, **Lista de Interesses Pendentes (LIP)**, **Lista de Conteúdos (LC)** e **Lista de Apontadores para Conteúdos (LAC)**.

Cada tabela foi criada com um propósito específico que vai ser detalhado em seguida.

4.1.2.1 Lista de Interesses

A LI é utilizada para armazenar a informação relativa a todos os Interesses que o nó teve conhecimento. Esta informação é crucial no encaminhamento pois em cada Interesse vai ficar registado o **nº de pedidos** efectuados sobre o mesmo. Este valor vai ser utilizado como a métrica popularidade de um Interesse usado na decisão de encaminhamento.

ID	INTERESSE			
	Nome	Nº de Pedidos	Assinante	ID
/artigo1	/artigo1	10	Não	1
/jornal/noticia1	/jornal/noticia1	5	Sim	2
.				
.				
.				
/musica/Mariza	/musica/Mariza	25	Sim	10

Tabela 3: Estrutura da Lista de Interesses

A Tabela 3 ilustra um exemplo de uma possível Lista de Interesses. Como se pode verificar foram adicionados dois novos campos no Interesse fora os já descritos. O campo **assinante** dá a informação ao router se se trata de um Interesse que o nó quer o conteúdo ou não. O campo **id** é utilizado para associar um interesse a outras tabelas.

4.1.2.2 *Lista de Interesses Pendentes*

A LIP é a lista que destaca as Redes de Dados Nomeados das redes tradicionais. Nas redes tradicionais as mensagens são enviadas de nó para nó sem que se tenha conhecimento do seu conteúdo, o que leva aos encaminhadores a apagar estas mensagens sempre que são enviadas pois não irão ser outra vez utilizadas.

No entanto este mecanismo é diferente nas RDN. Como as mensagens são propagadas pelos seus nomes o router tem informação do conteúdo que se encontra dentro do pacote.

Ao receber um Pacote Interesse do qual não tenha o respectivo Pacote Conteúdo, um nó guarda a informação que esse Interesse ficou pendente, ou seja, ainda não obteve resposta. Esta informação é útil para um nó poder encaminhar PC que não deseja para si mas que sabe que já lhe foi solicitado por outro nó da rede.

ID	NÓS
5	P4
9	C3
	.
	.
	.
14	P7, P12

Tabela 4: Estrutura da Lista de Interesses Pendentes

A Tabela 4 ilustra um exemplo de uma Estrutura da Lista de Interesses Pendentes devidamente preenchida. Os campos que contém são o id que encontra-se associado a um Interesse e o campo nós que indica todos os terminais que têm o interesse pendente.

4.1.2.3 Lista de Conteúdos

Ao receber um PC, o dispositivo trata de guardar temporariamente o conteúdo em memória cache. Desta forma, a LC vai conter associado a um id de um interesse um apontador para a posição de memória ou URL onde se encontra o conteúdo pretendido.

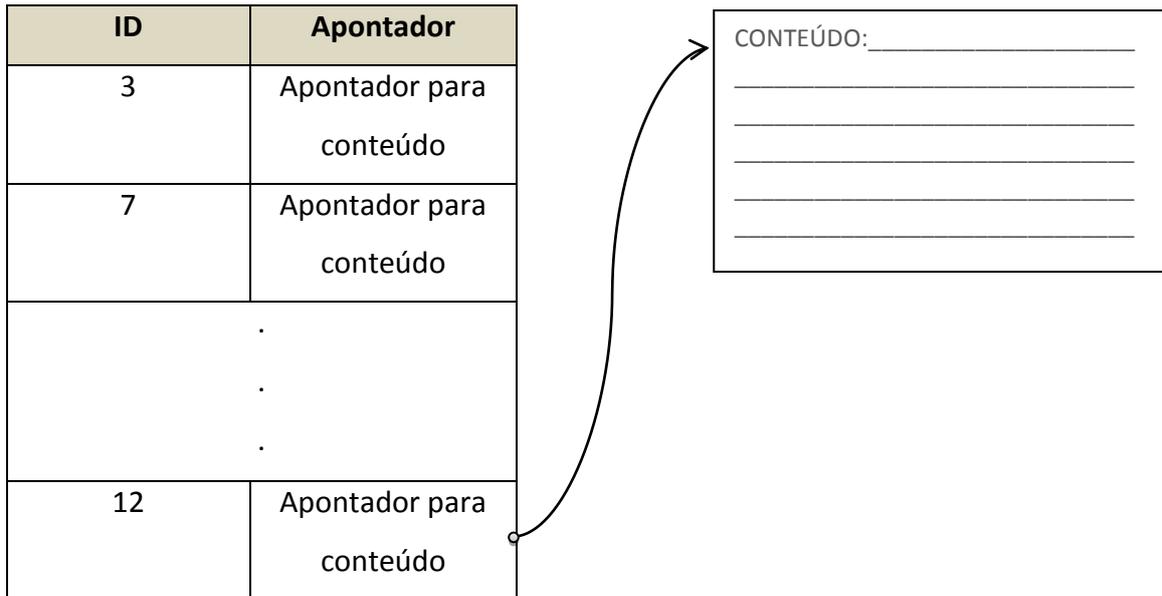


Tabela 5: Estrutura da Lista de Conteúdos

Na Tabela 5 é visível a Lista de Conteúdos onde cada interesse tem um apontador para uma posição de memória da cache.

4.1.2.4 Lista de Apontadores para Conteúdos

A LAC tem como objectivo oferecer o papel inverso à LIP. Isto é, como já foi referido, a LIP fornece informação de contacto com um nó que procura um certo interesse. Com essa informação um nó passa a estar disponível para transportar conteúdos cujo interesse já lhe foi pedido.

Por outro lado, a LAC, que tem como função armazenar quais os nós que têm determinado conteúdo, oferece ao protocolo o outro lado da moeda, podendo um nó transportar um PI apenas quando tiver informação de contacto com o seu publicador.

A estrutura da Lista de Apontadores para Conteúdos é idêntica à da LIP (Tabela 4).

4.1.3 Memória Utilizada

A Memória Utilizada pelos dispositivos tem tendência a ser maior nas redes RDN, visto os nós armazenarem os Pacotes Interesse e Conteúdo o máximo de tempo possível transportando-os pela rede para que os pedidos sejam respondidos.

De forma a maximizar o proveito da memória, os Pacotes Conteúdo e Interesse têm um limite estipulado pelo utilizador, pelo que a ordem com que os pacotes são descartados tem que ver com a popularidade de cada Interesse. Assim é garantido que os Interesses mais requisitados são aqueles que mais tempo irão ser armazenados em buffer.

4.1.4 Estrutura da Mensagem

Um nó tem a possibilidade de receber um de três possíveis pacotes. São eles o Pacote Interesse (PI), o Pacote Conteúdo (PC) e o Pacote Informação de Conteúdo.

Estes pacotes encontram-se inseridos na mensagem e são constituídos por três campos, o campo **Tipo**, o campo **Nome** e o campo **Conteúdo**. O primeiro campo, o Tipo serve para diferenciar os pacotes, podendo ser do tipo PI, PC ou PIC. Este campo permite ao router diferenciar o comportamento face aos tipos de pacotes que recebe. O campo nome vai ser igual para os três tipos de pacotes, sendo que é o identificador único da informação que se pretende obter. O campo conteúdo vai ser somente utilizado pelo PC onde vão estar contidos os dados requisitados.

Na Figura 11 está representado o Pacote Tipo de uma rede que usa o protocolo PeopleShare. Este pacote é baseado nas RDN e é composto pelos três campos acima referidos.



Figura 11: Estrutura do Pacote Tipo PeopleShare

4.2 Protocolo de Comunicação

Fazendo um breve resumo do que já foi dito previamente, cada nó do PeopleShare vai conter quatro tabelas distintas, sendo elas a LI, a LIP, a LC e a LAC. A LI vai conter os nomes dos interesses dos quais o nó pretende receber mensagens. A LIP é uma lista com os nomes dos interesses que já foram pedidos ao nó mas que ainda não tiveram resposta. Por sua vez, a LC são os nomes dos Interesses associados aos seus conteúdos que se encontram armazenados em buffer no nó, e a LAC é a lista que indica ao router quais os nós que possuem determinado conteúdo.

Com estes dados readquiridos, podemos passar ao protocolo de comunicação usado pelo PeopleShare. Este funciona de maneira a que em cada contacto com outro nó, ambos troquem dados entre si de forma a saberem quais as necessidades dos dois (Figura 10).

Para a comunicação iniciar é necessário que um nó tenha um Interesse. O próximo passo é a oportunidade de contacto, isto é, quando um nó com um Interesse tem uma conexão com outro nó ele vai-lhe entregar o seu **Pacote Interesse (PI)**.

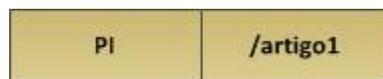


Figura 12: Pacote Interesse

A Figura 12 representa um exemplo de um Pacote Interesse.

Quando um nó recebe um PI este trata de verificar na sua Lista de Conteúdos se tem o **Pacote Conteúdo (PC)** correspondente. Caso tenha responde imediatamente (se a conexão se mantiver activa) com o PC desejado.



Figura 13: Pacote Conteúdo

A Figura 13 dá-nos um exemplo de um Pacote Conteúdo.

Se não possuir o PC pretendido, o nó armazena o Interesse na LIP para mais tarde quando tiver acesso ao conteúdo poder servir de portador.

Na comunicação entre dois nós, a prioridade é entregar os Pacotes Conteúdos. Desta maneira se houver PC para entregar ao terminal com quem se encontra emparelhado, estes são os primeiros a ser encaminhados. Em segundo na ordem de envio estão os PI. Um nó envia os PI, começando pelos interesses que é assinante, e depois fazendo o restante envio pela ordem de popularidade. O **Pacote Informação de Conteúdo (PIC)** é o último na ordem de envio, e representa a informação que um nó passa ao outro indicando que se encontra de um determinado conteúdo.

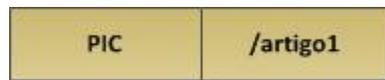


Figura 14: Pacote Informação de Conteúdo

A Figura 14 apresenta-nos um PIC que nos dá a informação que o nó que nos enviou este pacote se encontra na posse do conteúdo **/artigo1**.

Ao receber um PIC, o nó averigua se possui o interesse recebido na sua LIP. Caso esteja na sua posse, é respondido um PI para se poder obter o PC de forma a tentar encaminhar para os terminais que o desejam.

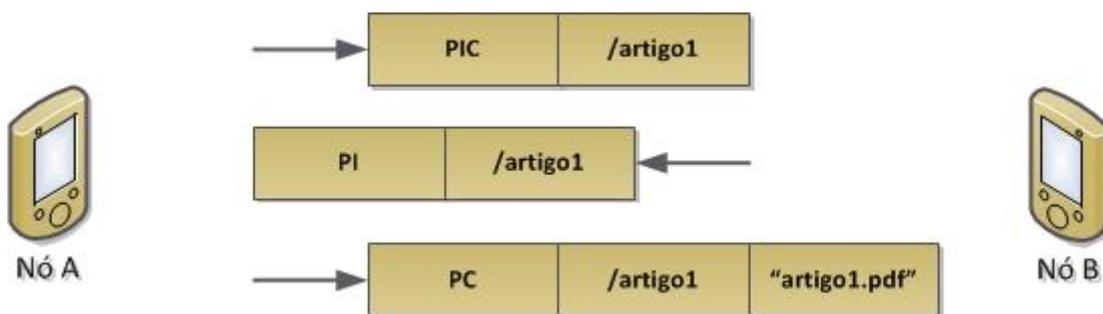


Figura 15: Exemplo de comunicação iniciado por um PIC

Na Figura 15 está ilustrado o caso onde o nó B recebe um PIC e possui na LIP o interesse **"/artigo1"**. Logo, estando disposto a encaminhar este Pacote Conteúdo ele envia o PI solicitando o PC.

Os PIC não são guardados na memória sendo logo descartados.

Capítulo V – Implementação

Tendo em vista o objectivo final de testar um novo protocolo de comunicações RTA, tornou-se necessário utilizar um simulador especializado para estes tipos de redes de forma a testar o encaminhamento e avaliá-lo consoante os resultados produzidos.

O simulador adoptado para a função foi o ONE, uma plataforma de simulação de eventos discretos com base em agentes e implementado em Java. O simulador é caracterizado por ter vários modelos de movimento, que podem variar desde modelos de movimento artificiais a movimentos de carácter real.

Quando um nó se encontra com conectividade, o ONE possui a sua localização no mapa, raio de alcance e débito de transferência de dados. Os geradores de eventos têm o propósito de criar mensagens sempre com uma origem e um destino e o encaminhamento das mensagens é feito com base nos módulos de encaminhamento.

O novo protocolo designado por PeopleShare usa o encaminhamento de Dados Nomeados para encaminhar nas Redes Tolerantes a Atrasos. Como o ONE foi criado com o paradigma de difusão de mensagens com base em nomes de origem e destino, tornou-se necessário efectuar alterações na sua arquitectura de modo a conseguir simular o encaminhamento com conteúdos. Sendo os Dados Nomeados um resultado das *Information Centric Networks* (ICN) tornou-se natural chamar à nova *framework* criada de ICONE (Information Centric ONE).

Este Capítulo pretende demonstrar todo o trabalho desenvolvido na realização da ICONE e do PeopleShare, começando por fazer uma introdução ao simulador utilizado ONE.

5.1 Simulador ONE

O ONE, *Opportunistic Network Environment simulador*, é um simulador desenvolvido para testar protocolos de encaminhamento RTA.

As principais funções desta aplicação são a simulação dos movimentos dos nós, contacto entre nós, encaminhamento e manuseamento de mensagens. A recolha e análise da informação é feita através de um ambiente gráfico que permite a visualização em mapa e através de relatórios e ferramentas de análise pós processamento. A Figura 16 ilustra a arquitectura do ONE.

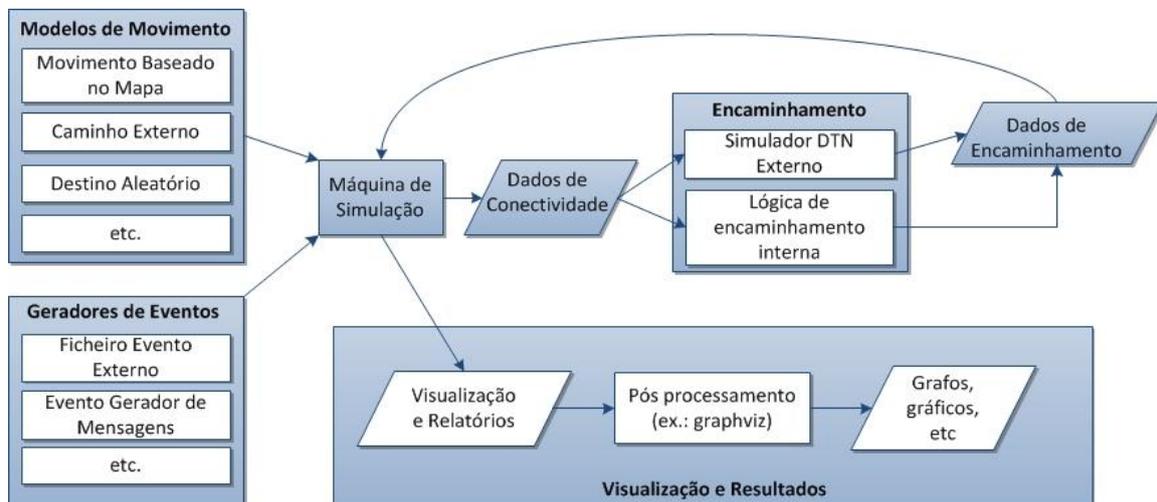


Figura 16: Arquitectura do ONE

A movimentação dos nós é feita pelo módulo **Modelos de Movimento**, que podem ser movimentos aleatórios ou pré-definidos.

A conectividade entre os nós é estabelecida tendo em conta os factores *localização*, *alcance de comunicação* e *bit-rate*.

O encaminhamento de mensagens é feito no módulo **Routing** que decide que mensagens e a que contactos se deve encaminhar.

As mensagens são originadas no módulo **Gerador de Eventos**.

No módulo **Visualização e Resultados** está inserido o GUI (Graphical User Interface) responsável por apresentar um ambiente gráfico ao utilizador onde é visível o

estado da simulação permitindo saber a localização, contactos activos e mensagens transportadas pelos nós. Também neste módulo são criados os relatórios da simulação, onde são obtidos os diversos resultados simulação realizada, e por fim, as ferramentas de pós-pocessamento que permitem observar os resultados através de grafos, mapas, etc.

5.1.1 Capacidade dos Nós

Os agentes básicos do simulador são os chamados nós. Um nó é um actor móvel que tem o papel de ser um dispositivo de comunicação com a capacidade de transportar mensagens para outros destinatários. Os nós podem ser pedestres, automóveis ou transportes públicos com o hardware requerido. Os cenários de simulação são construídos com grupos de nós com diferentes capacidades integrados num mapa de simulação.

Cada nó tem um conjunto de características que podem ser alteradas, sendo elas o *interface rádio*, *capacidade de armazenamento*, *tipo de movimento*, *consumo de energia* e *encaminhamento de mensagens*.

Características como o interface rádio ou a capacidade de armazenamento são facilmente implementadas na definição de parâmetros, já características como o encaminhamento ou o movimento tem uma implementação mais complexa daí o uso de módulos específicos para tratar destas configurações.

O consumo de energia é simulado dando um crédito de energia a todos os nós que são debitados quando o nó executa tarefas como transmitir mensagens ou procurar outros dispositivos. A energia é reposta em certos locais designados para o efeito.

5.1.2 Mobilidade dos Nós

As capacidades de movimento dos nós são implementadas pelo módulo Modelos de Movimento, que definem as regras e algoritmos pelos quais os nós se baseiam para escolherem o caminho a percorrer. No simulador ONE estão integrados três tipos de movimento: movimento aleatório, movimento aleatório pelos caminhos do mapa e movimento baseado no comportamento humano.

Os modelos de movimento implementados são o *Random Walk – RW* (deslocação aleatória), *Random Waypoint – RWP* (Ponto de destino aleatório), *Random Map-Based Movement – MBM* (movimento aleatório baseado no mapa), *Shortest Path Map-Based Movement – SPMBM* (caminho mais curto baseado no mapa), *Routed Map-Based Movement – RMBM* (movimento encaminhado baseado no mapa), *Working Day Movement – WDM* (movimento de dia de trabalho).

O mapa incorporado é o de Helsínquia onde se podem observar estradas e caminhos para peões.

5.1.3 Encaminhamento

Como já foi referido anteriormente, o encaminhamento é tratado no módulo Routing, e este apresenta incluído alguns protocolos de encaminhamento bem conhecidos como são o caso do *Direct Delivery (DD)*[32], *First Contact (FC)*, *Spray-and-Wait*, *Prophet*, *MaxProp*[33] e o *Epidemic Routing*. Esta escolha de protocolos foi com o intuito de abranger as mais importantes classes de encaminhamento nas RTAs com protocolos de cópia única, n cópias e cópias ilimitadas.

Para se avaliar um novo protocolo de encaminhamento é necessário criar um novo módulo dentro do Routing, no entanto este módulo poderá usar funcionalidades básicas respectivas a todos os protocolos.

5.1.4 Suporte de Aplicações e Interfaces

O ONE põe à disposição duas formas de gerar mensagens no decorrer da simulação, através do módulo Gerador de Eventos, onde se pode gerar mensagens, ou através de ficheiros externos. As mensagens poderão ser unidireccionais ou do género pergunta/resposta.

Uma importante vantagem do uso deste simulador é a sua capacidade de interagir com outros programas e códigos, visto este estar apetrechado com interfaces como por exemplo, para o movimento de nós, conectividade e percurso das mensagens encaminhadas.

5.1.5 Relatórios e Visualização

O ONE tem uma unidade de representação gráfica designada por GUI (Interface Gráfico para o Utilizador) cujo propósito é permitir ao utilizador verificar o que está a ocorrer na simulação.

Este ambiente gráfico está ilustrado com a ajuda de um mapa, por onde circulam os nós, sendo possível verificar as conexões efectuadas, as mensagens trocadas, o raio de alcance, entre muitos outros.

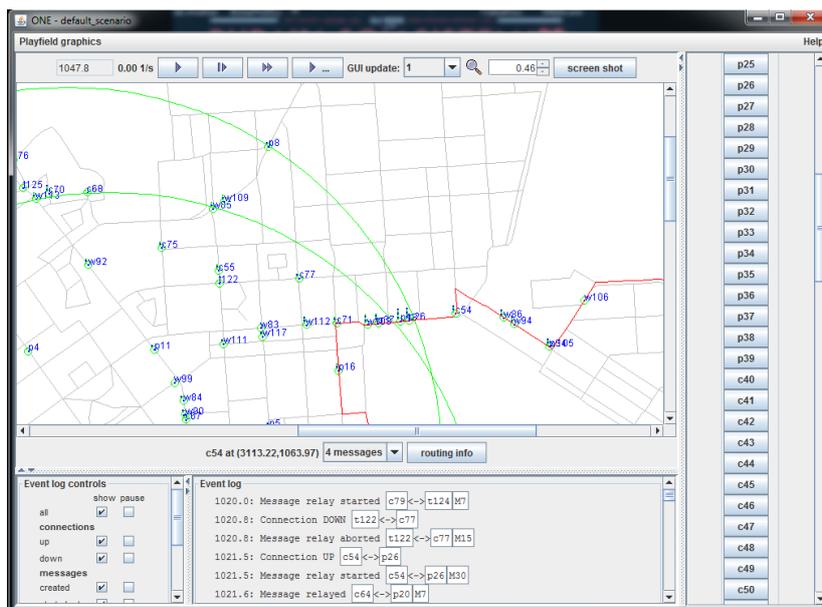


Figura 17: Ambiente gráfico do simulador ONE

5.2 Desenvolvimento da ICONe

Para se pôr em prática o protocolo PeopleShare, tornou-se necessário adaptar o simulador de Redes Tolerantes a Atrasos ONE para testar esse novo encaminhamento. Assim surgiu a urgência de criar uma *framework* que adaptasse o ONE a um novo paradigma de difusão de conteúdos que se baseia em Dados Nomeados. Foi assim que se chegou ao ICONe (Information Centric ONE), uma *framework* cujo objectivo é disponibilizar a difusão de mensagens por conteúdos, coisa que até então seria impossível no ONE.

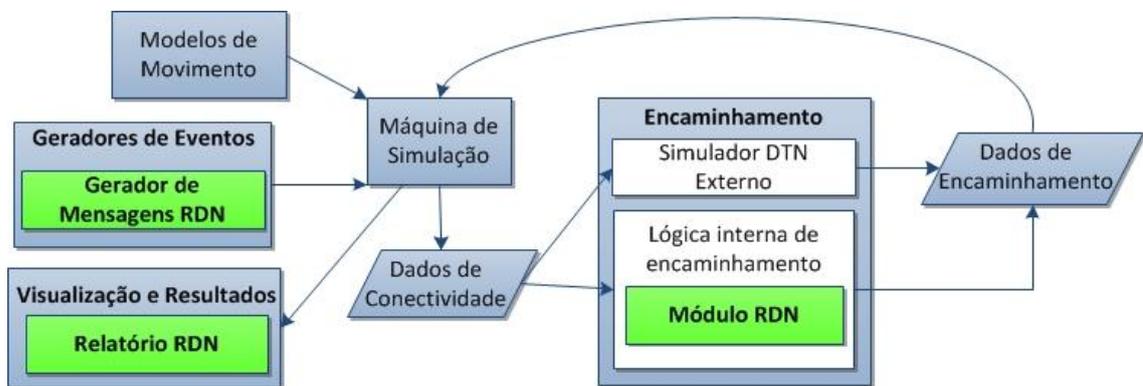


Figura 18: Arquitectura ONE com adaptação ICONe

A Figura 18 ilustra arquitectura do ONE com destaque a verde para as inserções do **Módulo RDN**, o **Gerador de Mensagens RDN** e o **Relatório RDN**, implementações realizadas na criação da ICONe.

Nesta secção vão ser detalhadas as alterações realizadas na estrutura do ONE, assim como o novo módulo implementado. As alterações foram realizadas usando a versão 1.4.1 do ONE.

5.2.1 Alteração do código ONE

Já se sabe que o ONE foi realizado para Redes Tolerantes a Atrasos com comunicação fim-a-fim, onde uma mensagem é encaminhada de uma origem para um destino final sem poder ser reutilizada.

A mensagem utilizada no ONE contém **endereço Origem**, **endereço Destino**, parâmetros de controlo (ex.: **TTL**⁶), **tamanho da mensagem**, entre outros. No entanto não existia no ONE um campo de conteúdo, ou seja, o principal da mensagem. O motivo para tal é que até então não era necessário saber qual o recheio das mensagens, sendo que cada uma simulava o seu conteúdo utilizando um tamanho aleatório da mensagem. Com o valor do tamanho era possível simular o tempo que uma mensagem demoraria a ser entregue a outro nó, o suficiente para simular anteriores cenários propostos.

Nas RDN a informação não é transmitida baseando-se em endereços, mas sim em conteúdos. Daí um passo muito importante na alteração do ONE é a **reestruturação da Mensagem**. Como ilustrado na Figura 11, a Mensagem passa a ser formada por três campos específicos de pacotes RDN. Assim na Mensagem foi introduzido o parâmetro **Dados** onde vão ser inseridos estes pacotes.

5.2.2 Gestor de Mensagens RDN

Para garantir a simulação, é necessário a criação de mensagens aleatórias periodicamente. No ONE as mensagens são criadas gerando endereços origem e destino aleatórios, juntamente com um tamanho aleatório de mensagem, onde parâmetros como o TTL são definidos por um ficheiro de configuração. Estas mensagens podem ter início num nó qualquer.

Com o ICONE, a geração de Mensagens é completamente modificada. A alteração efectuada introduzindo a classe **Gerador de Mensagens RDN**. Em primeiro lugar são

⁶ TTL: *Time To Live*, parâmetro usado para definir um tempo limite de duração de uma mensagem. No fim desse tempo ela é descartada.

retirados os nós origem e destino, pois já não fazem parte do encaminhamento. Em segundo lugar as mensagens que são geradas são todas do tipo Pacote Interesse, onde o Interesse é obtido aleatoriamente por um ficheiro de configuração com todos os Interesses disponíveis. É também seleccionado aleatoriamente um nó que vai ser responsável pela geração do interesse. O pacote é enviado para a rede pela primeira vez pelo nó responsável pelo seu interesse, coisa que não era feita no antigo modelo.

Na implementação do modelo ICONE equacionou-se a possibilidade de um nó ser responsável pela publicação de um tipo de conteúdo, definido pela hierarquia do nome. Este funcionamento foi implementado fazendo com que um nó não possa criar um Pacote Interesse que publica. Ou seja, se o nó A é responsável pelos conteúdos referentes a “/noticias”, este não pode gerar o Interesse “/noticias/desporto”.

Os PI vão possuir um tamanho que será definido pelos campos da mensagem, ou seja tipo + nome + parâmetros de controlo. Este aspecto é muito importante porque permite diferenciar um pacote que se supõe ser muito pequeno, com uma média de 40kB a 50kB, de um Pacote Conteúdo cujo tamanho é pré-definido nas configurações e está estipulado entre 500KB a 1MB.

5.2.3 Relatório RDN

Os relatórios gerados pelo ONE são relatórios que têm como métricas *mensagens entregues*, *mensagens criadas*, *mensagens descartadas*, *probabilidade de entrega*, etc. Estes valores não podem ser assumidos no ICONE, pois deixam de fazer sentido nas RDN, onde não existem endereços e onde todas as mensagens na rede são tratadas de igual modo.

Foi então criada a classe **Relatório RDN** cujos relatórios produzidos satisfazem este novo tipo de redes. Como se sabe o objectivo de uma rede RDN é obter um conteúdo pelo qual indicou interesse. É também necessário diferenciar as mensagens que são propagadas na rede, daí todos os parâmetros relativos às mensagens previamente criadas deixam de ser relevantes para análise pois não sabemos a que tipo de pacotes se refere.

Assim, as métricas inseridas no Relatório RDN, que são obtidas no final da simulação, são:

- **Pacotes Interesse Gerados (PIG):** o número de pacotes do tipo Interesse que foram criados por todos os nós;
- **Interesses Satisfeitos (IS):** o número de pacotes do tipo Conteúdo que chegaram a um nó que solicitou Interesse nos mesmos;
- **Interesses Satisfeitos no Nó (ISN):** o número de pacotes do tipo Conteúdo que que já se encontram no Nó quando é gerado um Interesse;

- **Pacotes Interesse Encaminhados (PIE):** o número de PI que são entregues com sucesso de um nó para outro;
- **Pacotes Conteúdo Encaminhados (PCE):** o número de PC que são entregues com sucesso de um nó para outro;
- **Pacotes Informação de Conteúdo Encaminhados (PICE):** o número de PIC que são entregues com sucesso de um nó para outro.

Estas métricas foram introduzidas para podermos avaliar e aperfeiçoar o mais importante no protocolo desenvolvido, que é a verificação da difusão dos pacotes na rede e a quantidade de Interesses que são satisfeitos.

5.2.4 Módulo RDN

O Módulo RDN foi criado com o objectivo de preparar o ONE para o desenvolvimento de futuros protocolos de encaminhamento com base nas Redes de Dados Nomeados.

Foi então inserido neste módulo as listas de armazenamento de Interesses, de Conteúdos, de Interesses Pendentes e de Apontadores para Conteúdos. Estas listas podem ser personalizadas com o tamanho de entradas permitidas.

Neste módulo também está definido o modo de carregamento dos conteúdos nos nós, podendo ser aleatório ou pré-definido. Os conteúdos encontram-se num documento de texto previamente definido. No modo aleatório os conteúdos são

distribuídos pelos nós, onde um nó fica responsável por um só tema. No modo pré-definido cada nó fica com o conteúdo que o utilizador optar.

A classe Interesse está contida neste módulo, pois define o objecto que é o centro das RDN. Os seus parâmetros são:

- **Nome:** O nome do Interesse, único na rede de forma a só existir um Conteúdo correspondente;
- **Id:** Identificador do Interesse, único no nó e serve para o associar às listas;
- **Assinante:** Indicador do Interesse que define se pretende receber o seu conteúdo ou não;
- **N^a pedidos:** Número de pedidos que o nó recebeu acerca do Interesse;
- **Popularidade:** Popularidade do Interesse face aos outros armazenados no router;

O Módulo RDN está definido na parte de encaminhamento do ICONE, estendendo classe ActiveRouter. O protocolo PeopleShare estar contido neste módulo como um protocolo que usa as RDN, estendendo-o.

5.3 Desenvolvimento do PeopleShare

Estando a *framework* ICONE preparada para receber protocolos RDN, torna-se o momento de implementar o algoritmo de encaminhamento PeopleShare. O seu funcionamento foi explicado na secção **Protocolo de Comunicação** do **Capítulo IV**.



Figura 19: PeopleShareRouter no Módulo RDN

A Figura 19 representa a localização onde foi implementado o novo protocolo de comunicação desenvolvido neste documento, designado de **PeopleShareRouter**. Este foi introduzido, como expectável, dentro do Módulo RDN da nossa *framework* ICONE, estando este módulo preparado para receber protocolos de encaminhamento com o modelo das RDN.

Nesta secção vão ser explicados todos os passos efectuados no encaminhamento, assim como vão ser ilustrados fluxogramas respectivos à decisão de encaminhamento.

5.3.1 Contacto entre Nós

Sempre que um nó entra no raio de alcance com outro, estes criam uma conexão entre ambos permitindo a transferência de dados. Nesse contacto é definida uma ordem de pacotes para enviar, estando o router sujeito a encaminhar pela seguinte ordem:

1. Pacotes Conteúdo: caso tenha pacotes conteúdos na lista de mensagens para o outro nó estes são os primeiros a ser encaminhados;
2. Pacotes Interesse: encaminha todos os interesses que possui e que é assinante (factor egoísmo, só difunde os seus Interesses);
3. Pacotes Informação de Conteúdo: estes pacotes só são enviados quando não existirem nenhum dos outros pendentes.

Dentro destes três passos, a ordem de envio dos pacotes contidos em cada um é decidida pela popularidade de cada Interesse. Esta popularidade é calculada através da seguinte Equação:

$$Popularidade Interesse_i = \frac{N^{\circ} Pedidos do Interesse_i}{N^{\circ} Pedidos Total} \quad (4)$$

Da Equação 4 resulta o valor da popularidade de um Interesse no Nó. Este valor vai permitir ordenar o encaminhamento de pacotes, dando prioridade na difusão de Interesses que mais utilizadores requisitaram, fazendo com que mais pedidos sejam satisfeitos.

5.3.2 Algoritmos de Encaminhamento

Um router do PeopleShare está preparado para receber um pacote de dados de três tipos diferentes: Pacote Interesse, Pacote Conteúdo e Pacote Informação de Conteúdo. Consoante o pacote que receber, este vai tomar uma decisão relativa a quais os próximos passos a efectuar.

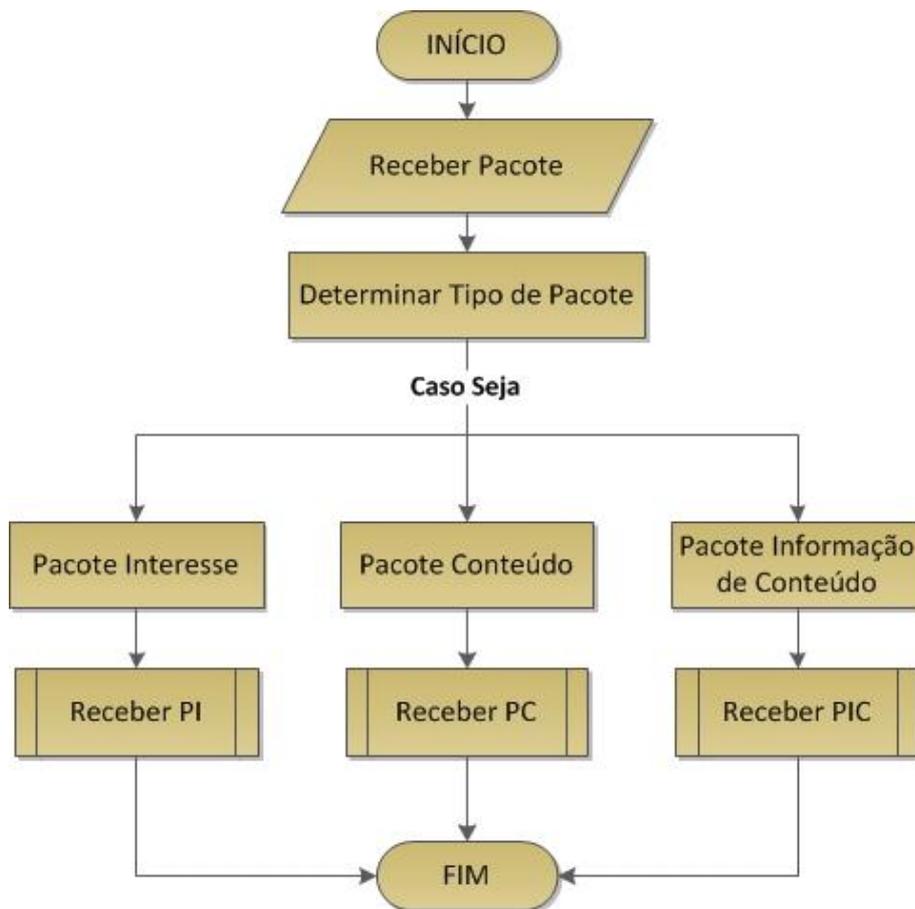


Figura 20: Recepção de um Pacote

A Figura 20 demonstra a recepção de um pacote de dados, que, consoante o tipo que for, trata-o de formas distintas. Logo, se receber um Pacote Interesse vai passá-lo à função **Receber PI**, se for um Pacote Conteúdo trata-o no **Receber PC** e caso seja um Pacote Informação de Interesse ele vai ser processado em **Receber PIC**.

Quando um nó **recebe um PI**, o router do mesmo verifica se existe o Conteúdo deste Interesse na memória do dispositivo. Caso este exista é construído o PC e enviado para o nó com quem está emparelhado. Caso não exista, o Id do Interesse é armazenado na LIP para em futuros contactos se saber que este Interesse é pretendido.

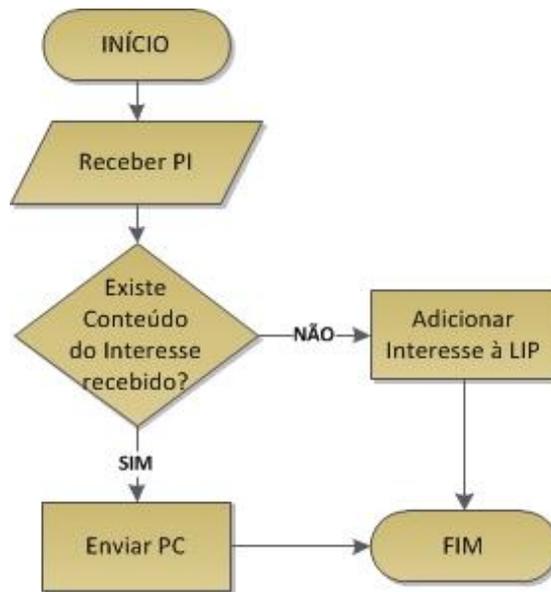


Figura 21: Fluxograma do Receber PI

Na Figura 21 foi desenhado o fluxograma da recepção de um PI, onde são explicados os procedimentos efectuados quando o nó recebe um Pacote Interesse.

A primeira etapa ao **receber um PIC** é armazenar a informação que existe o Conteúdo deste Interesse num determinado nó, para isso é inserido o Id do Interesse juntamente com o Id do nó que o retém na LAC.

A segunda etapa trata de verificar se existe o Id do Interesse na LIP. Se existir é enviado um PI ao nó emparelhado para receber o PC deste Interesse. Assim este nó vai-se tornar portador de um conteúdo que outro nó requisitou.

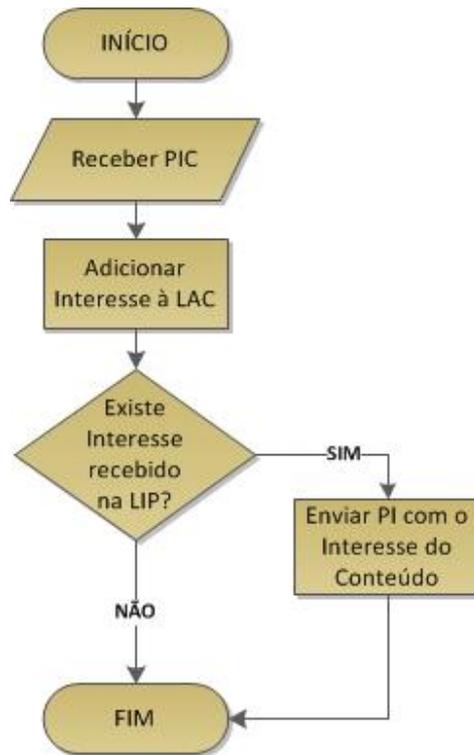


Figura 22: Fluxograma do Receber PIC

Na Figura 22 foi desenhado o fluxograma da recepção de um PIC, onde são explicados os procedimentos efectuados quando o nó recebe um Pacote Interesse.

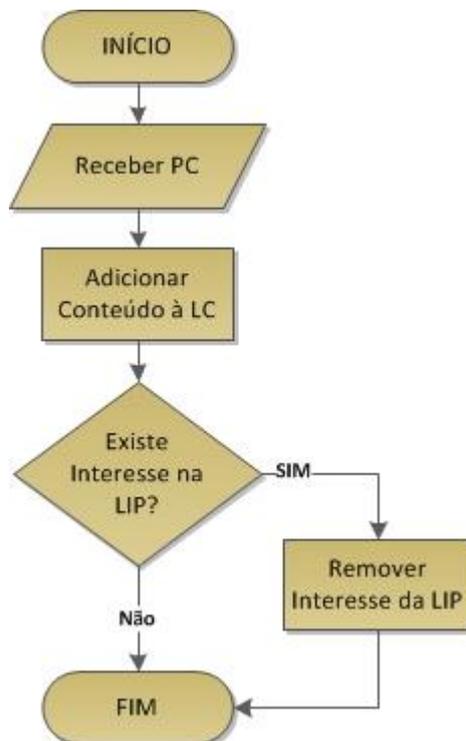


Figura 23: Fluxograma do Receber PC

Na Figura 23 está exposto o algoritmo implementado para tratar a recepção de um Pacote Conteúdo. Assim que um PC chega a um dispositivo, este trata de inserir a informação na Lista de Conteúdos que existe um conteúdo em buffer.

Se o Interesse estiver inserido na Lista de Interesses Pendentes, o mesmo é retirado de lá pois já cumpriu o seu propósito, que seria receber o correspondente Pacote Conteúdo para poder ser encaminhado posteriormente para destinatários que o requisitem.

Capítulo VI – Testes e Resultados

Neste capítulo pretende-se avaliar e discutir os resultados obtidos nas simulações realizadas. As simulações vão ser efectuadas usando o simulador ONE, devidamente alterado com a incorporação da *framework* ICONE, com os respectivos módulos acrescentados e modificações necessárias para encaminhar usando o PeopleShare.

Visto o nosso protocolo de encaminhamento ser pioneiro na difusão de conteúdos em redes RTA, torna-se complicado avaliar o seu comportamento relativamente a outros protocolos usados nas RTA, pois não segue o mesmo paradigma de difusão de mensagens na rede. Desta forma, o rumo seguido foi o de criar diversos tipos de encaminhamento e obter os seus resultados, com o intuito de evoluir introduzindo novos parâmetros no encaminhamento para avaliar o nosso protocolo.

Foram testados três tipos de encaminhamento distintos, o **Difusão Epidémica**, o **Difusão com Conhecimento de Contacto** e o **PeopleShare**. Estes protocolos de encaminhamento foram inseridos no novo módulo RDN inserido no encaminhamento do ONE, fazendo parte da ICONE.

Apesar de serem distintos no encaminhamento, o cenário utilizado é o mesmo. Em seguida vão ser referidos os parâmetros do cenário mais importantes para uma melhor compreensão da simulação.

O cenário utilizado é o fornecido por defeito pelo ONE, que corresponde ao mapa de Helsínquia. Na simulação vão participar 126 nós, sendo que 80 são pedestres, 40 são automóveis e 6 são eléctricos. O TTL definido por defeito é de 300min, aplicado aos PI e aos PC, sendo que os PIC apenas têm 10min.

Embora haja a possibilidade de um carregamento de conteúdos aleatório, achou-se melhor fazer o carregamento por predefinição, onde os temas com mais conteúdos estão carregados nos eléctricos fornecendo uma melhor difusão de pacotes. A geração de Interesses também é um parâmetro predefinido cujo surgimento é periódico e varia entre os 40 a 50 segundos.

6.1 Difusão Epidémica

O Difusão Epidémica (DE) é inspirado no protocolo *Epidemic Routing*, onde o objectivo é encaminhar o máximo de pacotes possíveis sem ter preocupações de tráfego de rede e utilização de recursos (ex.: memória, largura de banda, energia).

O primeiro passo para simular este cenário é o surgimento de um Interesse aleatório, feito por um nó também aleatório (este procedimento é igual em todos os cenários pois, com este novo paradigma de difusão de conteúdos, é preciso alguém pedir um conteúdo, ou seja, enviar um Pacote Interesse para a rede).

Em seguida o Interesse é propagado na rede epidemicamente, ou seja, sempre que um nó tenha contacto directo com outro, reencaminha-lhe todos os Pacotes Interesse que possui.

Quando um nó receber um pedido de um Interesse e possuir o conteúdo pretendido, é feito o mesmo procedimento para o Pacote Conteúdo gerado, isto é, este é reencaminhado em todas as conexões de forma a garantir que o solicitador do conteúdo seja respondido o mais rapidamente possível.

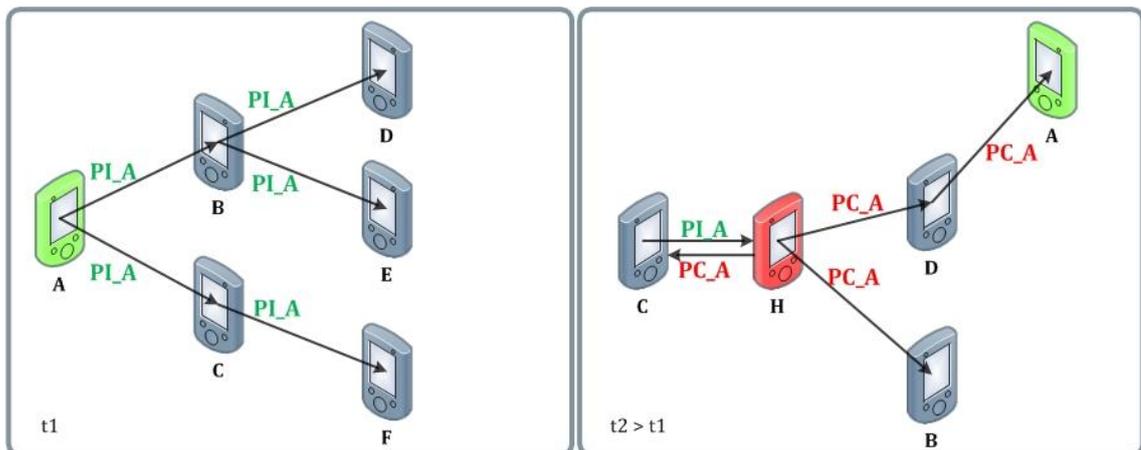


Figura 24: Difusão Epidémica

A Figura 24 ilustra a ideia do encaminhamento epidémico na rede. No momento t_1 , o nó A gera um Pacote Interesse que é difundido por todos os nós no raio de alcance. No momento $t_2 > t_1$, o PI gerado por A chega ao nó H que contém o conteúdo

pretendido. Desta maneira é o Pacote Conteúdo pedido por A é enviado epidemicamente pela rede, onde todos os nós se apresentam disponíveis para servirem de portadores deste pacote.

6.1.1 Resultados

Os resultados atingidos vão ser ilustrados numa tabela com os seguintes parâmetros gerados pelo relatório RDN, inserido no módulo do ONE Visualização e Resultados, na adaptação para ICONE. Os parâmetros foram introduzidos no Capítulo V na secção 5.2.3 Relatório RDN. Neste cenário vão-se poder obter o número de Pacotes Interesse gerados (PIG), o número de Interesses Satisfeitos (IS), o número de Interesses Satisfeitos no Nó (ISN), o número de Pacotes Interesse encaminhados (PIE) e o número de Pacotes Conteúdo encaminhados (PCE).

Tempo	PIG	IS	ISN	PIE	PCE
6h	482	71	4	25.874	212.576
12h	941	225	28	44.422	435.617
1d	1.840	651	99	60.990	615.659
2d	3.605	2.015	270	79.950	1.087.084
3d	5.322	3.887	494	95.719	1.393.936
4d	7.064	5.694	696	145.596	1.475.967

Tabela 6: Resultados obtidos nas simulações do algoritmo DE

Na Tabela 6 estão representados alguns valores obtidos nos testes efectuados simulando a duração de 6h, 12h, 1 dia, 2 dias, 3 dias e 4 dias. Esta diferença de períodos permite-nos verificar a evolução do algoritmo de encaminhamento no decorrer do tempo.

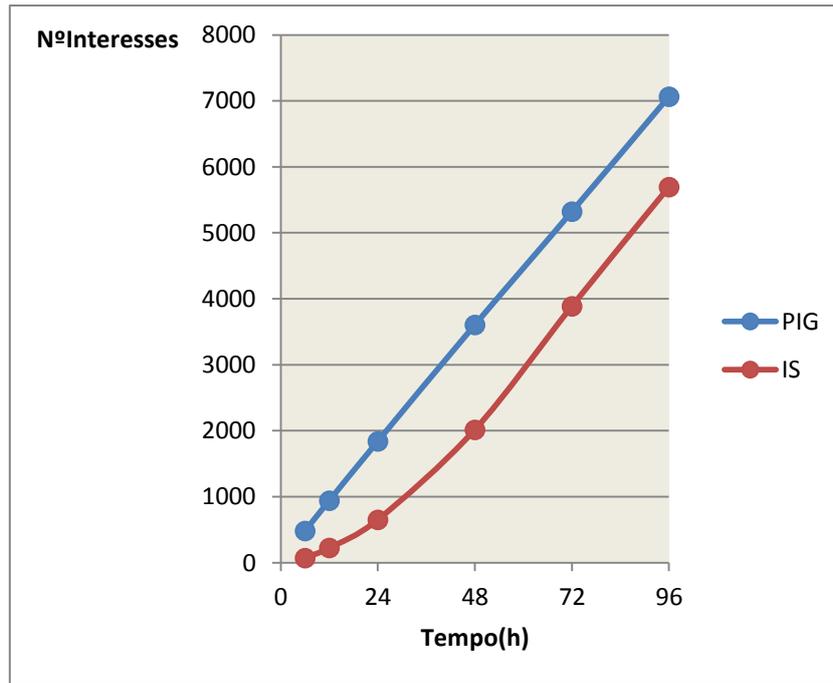


Figura 25: Gráfico DE de Interesses Gerados e Interesses Satisfeitos

Como já foi referido, durante as simulações foram gerados aleatoriamente Interesses por parte dos nós. Esses Interesses foram gerados periodicamente a cada 40/50 segundos.

O Gráfico ilustrado na Figura 25 representa a evolução dos Interesses Satisfeitos face à geração de Pacotes de Interesse. Como a geração de Interesses é periódica, torna-se expectável que o seu crescimento seja contínuo. O número de Interesses Satisfeitos no DE tem um crescimento que se torna mais acentuado à medida que o tempo passa, aproximando-se da linha dos Interesses Gerados com o evoluir do tempo.

Estando o gráfico apresentado em relação ao tempo com espaçamentos de 24horas, podemos observar que o número de Interesses Satisfeitos supera o número de Interesses Gerados a cada dia que passa, levando à conclusão natural que a grande maioria dos Interesses são respondidos num período inferior a 1 dia.

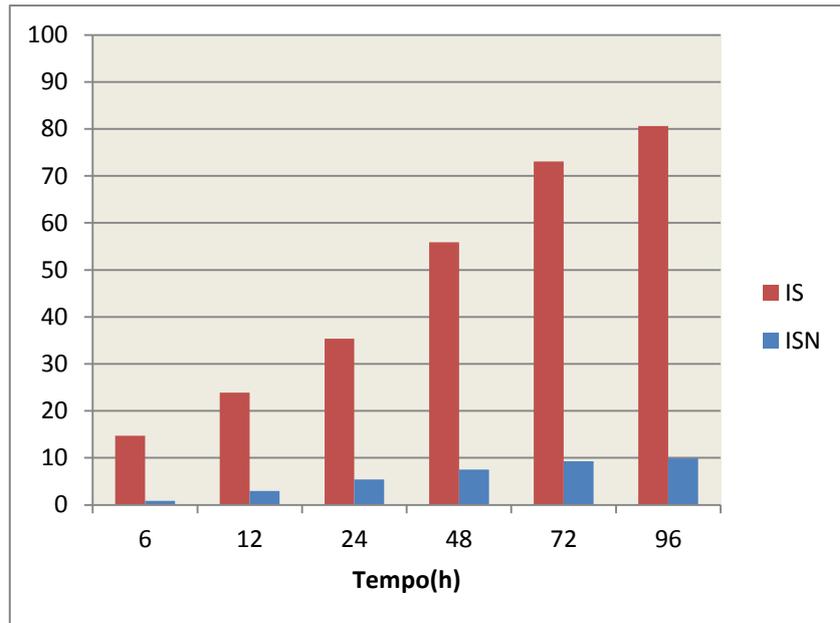


Figura 26: Gráfico DE com a % de IS e ISN

Observando a Figura 26, podemos verificar que a percentagem de Interesses Satisfeitos tende a aumentar com o passar do tempo, chegando a atingir os 80% ao fim de 4 dias (96h). Também é visível que a percentagem de Interesses Satisfeitos no Nó tem tendência a evoluir com o tempo.

Estes resultados eram previstos pois no protocolo DE, é efectuado uma disseminação de conteúdos pela rede, fazendo com que os nós sejam muitas vezes portadores de conteúdos que não os seus. Dessa maneira, quando um interesse aleatório for gerado, a probabilidade de estar contido no router vai evoluindo à medida que os conteúdos são difundidos na rede, chegando nesta simulação a atingir os 10%.

A medida ISN é uma medida introduzida para se verificar um factor muito importante das redes RDN, que é a redução de saltos necessários na procura do conteúdo, onde neste caso, o número de saltos é zero, pois o PC do Interesse originado já se encontra no próprio nó.

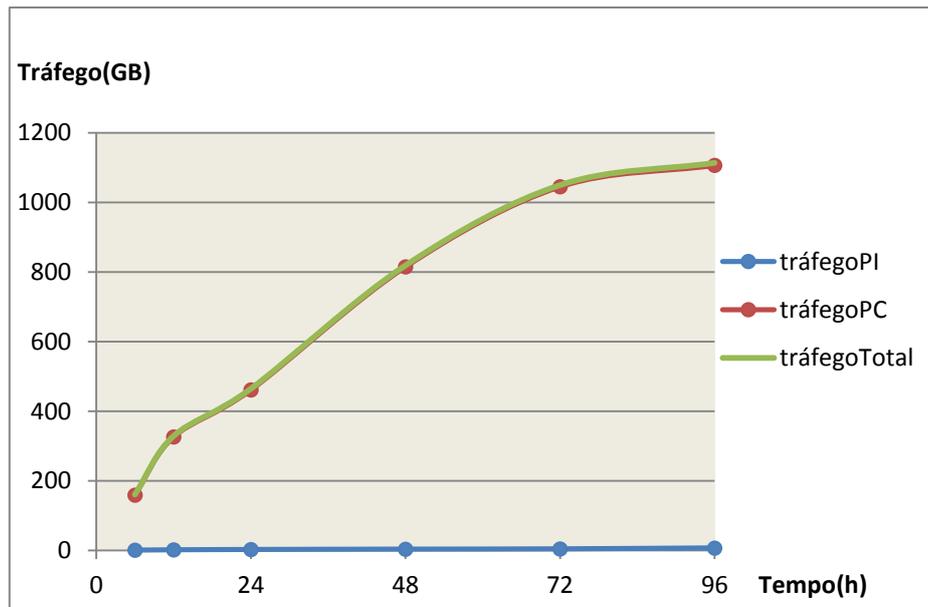


Figura 27: Gráfico DE de Tráfego na Rede

Qualquer cenário que use um protocolo epidémico está sujeito a grandes volumes de tráfego na rede, pois a cada contacto, dois pares de nós tentam transmitir todos os pacotes que possuem um para o outro.

Na Figura 27 está apresentado o tráfego produzido ao longo do tempo usando o protocolo DE. Este gráfico utiliza o valor médio de cada tipo de pacote, onde a cada Pacote Interesse está associado um tamanho de 50kBytes e aos Pacotes Conteúdo está associado o valor de 750kBytes.

Sabendo que o encaminhamento DE ordena o envio de pacotes começando pelos PC, é natural que sejam estes a produzir o maior número de tráfego na rede. O gráfico DE resultante do tráfego na rede demonstra que a diferença entre o tráfego causado pelos PC é abismal comparado com o causado pelos PI, sendo estes podendo ser desprezados no cálculo do tráfego total.

O tráfego causado pelos PC tem um crescimento acentuado numa primeira fase onde os conteúdos são difundidos pela rede, estabilizando a partir do 3º dia (72h) no valor dos 1100 Giga Bytes.

6.1.2 Conclusões obtidas

Esta forma de encaminhamento é idealizada para se conseguir entregar as mensagens o mais rapidamente possível aos seus destinos. No entanto, como já foi verificado em outros protocolos, um encaminhamento que não tem em consideração o uso de recursos é impensável no mundo real.

As redes RTA têm por norma propagar mensagens utilizando dispositivos pessoais que trabalham em prol de toda uma rede. No entanto, é sabido que estes nós não possuem recursos ilimitados, antes pelo contrário, as suas capacidades são bastante diminutas. Também se sabe que com o passar do tempo cada vez mais tráfego irá circular na rede, sendo que muitas vezes este método acaba por congestionar a saída de pacotes reduzindo a entrega de mensagens com sucesso.

Fica assim introduzido o primeiro encaminhamento testado, o Difusão Epidémica, cujos resultados foram analisados correspondendo às expectativas criadas, ou seja, muito tráfego associado e uma probabilidade de entrega bastante aceitável.

6.2 Difusão com Conhecimento de Contacto

O protocolo Difusão com Conhecimento de Contacto (DCC) é semelhante ao protocolo Epidémico, contudo, usa uma nova métrica que diferencia bastante depois na recolha de resultados.

Como o protocolo apresentado em 6.1, quando um nó gera um Interesse, este é disseminado pela rede epidemicamente até chegar ao nó que contém o seu Conteúdo. Contudo, a novidade neste protocolo é que **um nó só está disposto a ser portador de um conteúdo se tem interesse pelo mesmo ou se já recebeu um Pacote Interesse desse conteúdo.**

Neste protocolo é introduzido um conceito novo utilizado nas RDN que são os Interesses Pendentes. Com a informação de que já foram solicitados pedidos por um determinado conteúdo, um nó sabe que é um possível encaminhador para esse terminal pois teve conhecimento do seu pedido.

Esta lógica pretende reduzir à quantidade de tráfego na rede, solicitando apenas os nós com mais probabilidade de fazer com que o conteúdo chegue ao seu destino, para encaminhar Pacotes Conteúdo.

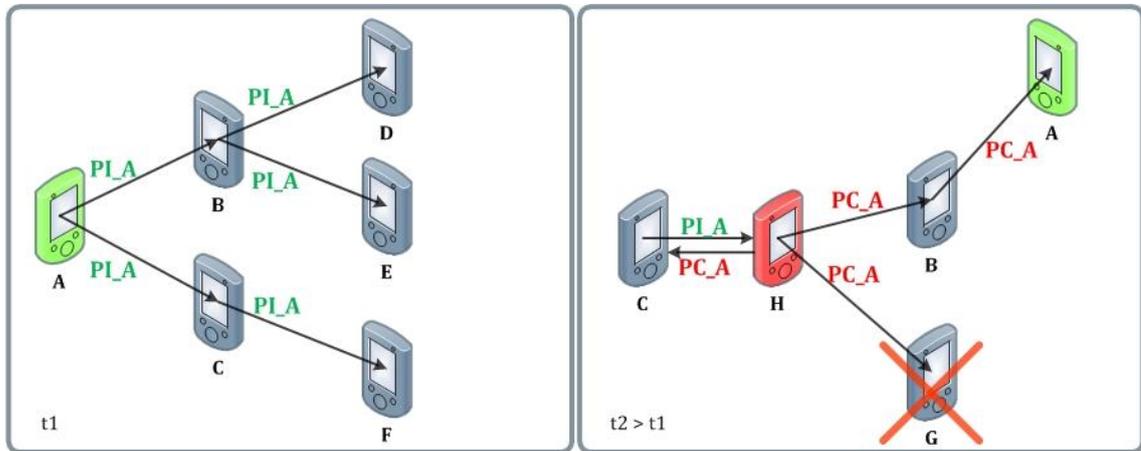


Figura 28: Encaminhamento com Conhecimento de Contacto

Na Figura 28 está ilustrado um exemplo do protocolo criado, onde em t_1 o nó A difunde epidemicamente o seu pedido e em t_2 é encontrado o seu conteúdo no nó H. No entanto, o PC solicitado já não vai ser difundido para todos, mas só para aqueles que já tiveram informação que este é pretendido. Como se pode ver o terminal G não recebe o PC_A pois não recebeu o PI_A, economizando recursos. Porém o nó B que teve informação do PI_A, solicita o seu conteúdo e retransmite-o para A.

6.2.1 Resultados

Para representar os resultados obtidos foram usadas as mesmas métricas utilizadas no protocolo anterior. Porém, foi também acrescentado o parâmetro Pacotes Informação de Conteúdo Encaminhados (PICE), que são introduzidos neste encaminhamento. Estes são utilizados para um nó informar outro que se encontra na posse de um conteúdo. Consoante a sua LIP, um nó envia ou não um PI para solicitar o conteúdo do interesse pendente.

Tempo	PIG	IS	ISN	PIE	PCE	PICE
6h	480	80	6	114.576	480	11.533
12h	941	220	28	580.875	1.720	53.351
1d	1.841	486	98	1.660.191	5.081	177.998
2d	3.543	1.498	332	3.998.759	15.657	268.190
3d	5.204	3.105	612	6.171.138	29.535	343.429
4d	6.860	5.005	900	8.073.196	47.247	479.252

Tabela 7: Resultados obtidos nas simulações do algoritmo DCC

Na Tabela 7 estão representados os valores obtidos nos testes efectuados com o encaminhamento DCC, tirando resultados até ao quarto dia. Como se pode verificar, nesta tabela já se encontra a coluna PICE, um parâmetro de avaliação adicional face ao DE.

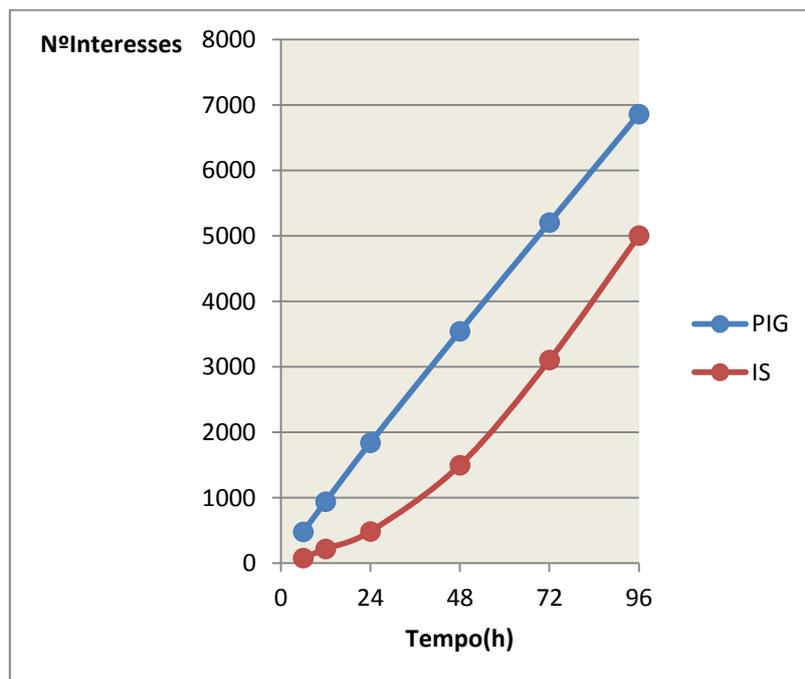


Figura 29: Gráfico DCC de Interesses Gerados e Interesses Satisfeitos

O gráfico apresentado na Figura 29 revela-se ser muito semelhante ao apresentado na Figura 25 na análise ao protocolo DE. Este gráfico revela um crescimento bastante acentuado dos Interesses Satisfeitos seguindo uma trajectória que se vai aproximando da linha dos Pacotes Interesse Gerados. Utilizando a medida temporal podemos

verificar que o número de IS alcança o número de PIG com um período superior a um dia, mais elevado que o apresentado pelo DE.

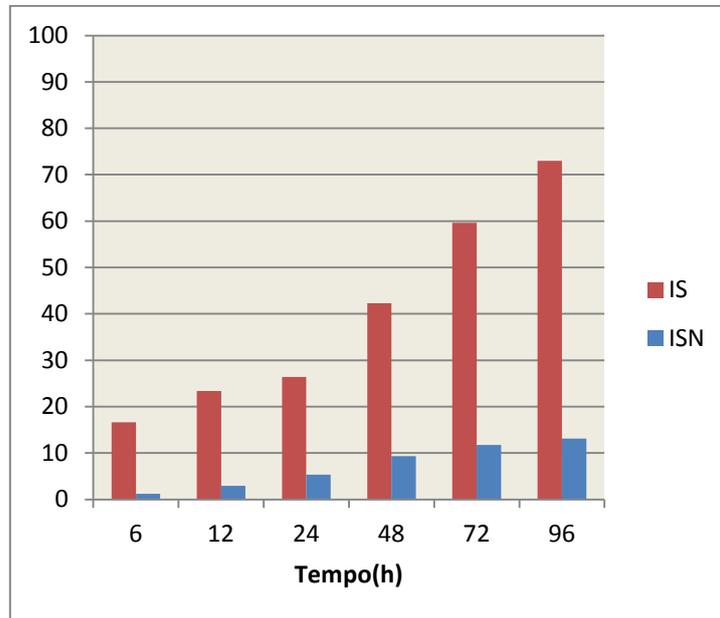


Figura 30: Gráfico DCC com a % de IS e ISN

A Figura 30 ilustra o crescimento tanto dos Interesses Satisfeitos como os Interesses Satisfeitos no Nó utilizando o algoritmo de encaminhamento DCC.

Este algoritmo consegue atingir ao fim de quatro dias a percentagem de cerca de 73% de IS e 13% de ISN.

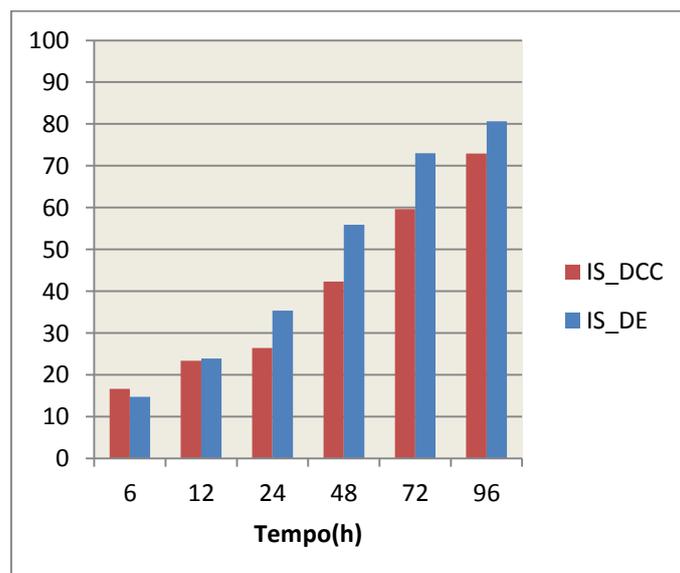


Figura 31: Gráfico com a % de IS em DCC e DE

Na Figura 31 encontra-se a comparação de Interesses Satisfeitos entre os protocolos DE e DCC. Como é possível verificar, o protocolo DE tem uma maior percentagem de Interesses Satisfeitos ao fim de quatro dias. Os resultados são os esperados pois o algoritmo de DE, usando a difusão epidémica de conteúdos, tende a que mais Interesses sejam satisfeitos num curto intervalo de tempo. No entanto a ascensão da percentagem de IS no último dia leva a pensar que este protocolo pode vir a chegar aos mesmos resultados do DE com o evoluir do tempo.

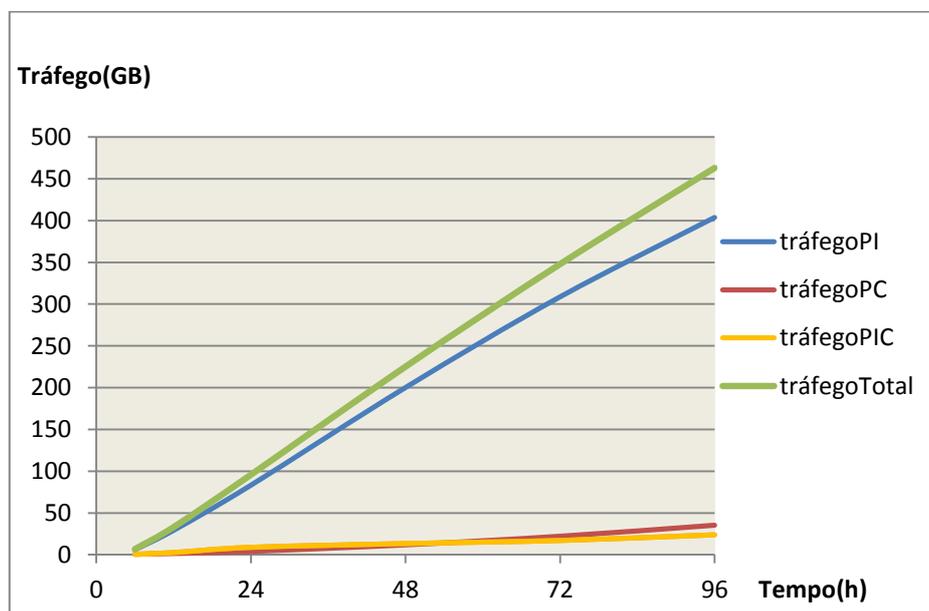


Figura 32: Gráfico DCC de Tráfego na Rede

São três os tipos de pacotes que contribuem para o tráfego na rede deste protocolo, sendo eles o PI, o PC e o PIC. Como já foi referido, para gerar este Gráfico foram feitas as suposições que cada PI equivale a 50kB e cada PC equivale a 750kB. Sendo o tamanho médio dos PIC igual ao tamanho médio dos PI, a mesma suposição foi feita para os PIC fazendo com que estes gerem o tráfego de 50kB na rede.

Como é possível verificar na Figura 32, o tipo de pacote que causa mais tráfego na DCC é o PI, possuindo uma diferença enorme face aos PC e PIC. Estes dois últimos causam um tráfego semelhante na rede, sendo que os PIC encaminhados na rede são muito mais que os PC.

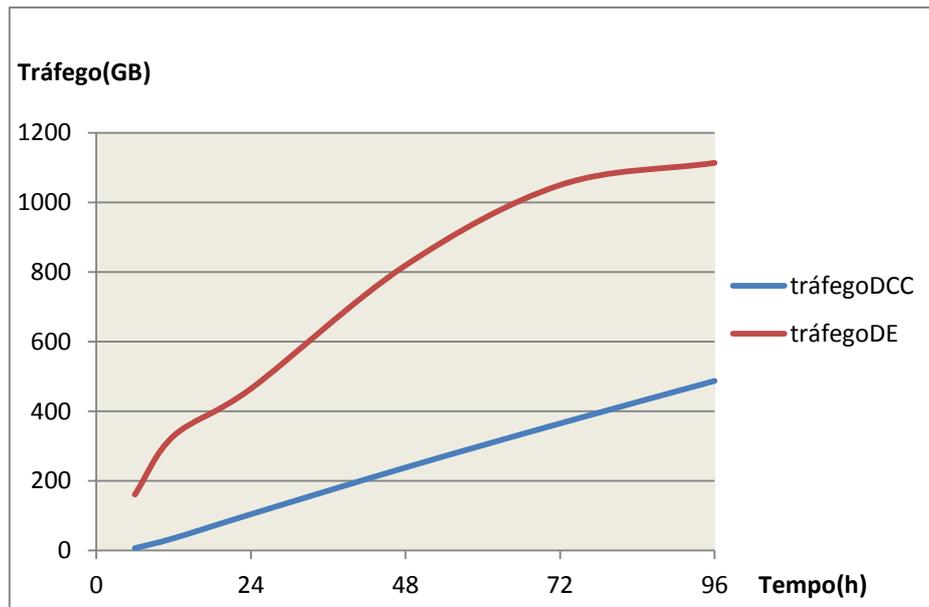


Figura 33: Gráfico de Tráfego na Rede comparando DCC com DE

A Figura 33 apresenta no mesmo gráfico o valor do tráfego gerado pelo DCC e pelo DE. Com o intuito de diminuir o tráfego causado pelo encaminhamento epidémico dos conteúdos feito pelo DE, o DCC retira essa métrica limitando os conteúdos a serem transportados apenas por nós assinantes ou nós que já lhes tenha sido pedido esse interesse. No entanto, de forma a permitir que o pedido de Interesse chegasse rapidamente a um nó com o seu conteúdo, manteve-se a opção de encaminhamento epidémico dos PI.

Assim, o objectivo principal na implementação deste protocolo, que era a diminuição de tráfego, foi atingido. Ainda foi possível visualizar que a redução de PC na rede foi imensa, sendo a disseminação de PI o principal responsável pelo tráfego gerado.

Isto dá-nos boas indicações para a simulação do nosso protocolo PeopleShare, que não utiliza nem difusão epidémica de conteúdos nem difusão epidémica de interesses, acrescentado uma métrica nova na ordenação de pacotes a enviar – a popularidade.

6.2.2 Conclusões obtidas

O algoritmo de encaminhamento DCC tem como base retirar a disseminação epidémica dos conteúdos na rede. Essa medida foi inserida para reduzir o tráfego gerado sem que tivesse muito impacto na percentagem de Interesses Satisfeitos.

Os resultados obtidos pelas simulações efectuadas permitem perceber que o tráfego gerado pela difusão epidémica dos Interesses continua a ser muito elevado, reduzindo minimamente face ao DE. E com isso, a percentagem de entrega de Interesses Satisfeitos também diminui.

Assim podemos concluir que a enquanto houver uma difusão de pacotes Epidémicos, sejam eles Pactos Interesse ou Pacotes Conteúdo, o tráfego gerado vai ser muito ineficiente. Logo o protocolo DCC, ao retirar a difusão epidémica dos conteúdos por si só, não produz resultados que satisfaçam.

6.3 PeopleShare

E assim chegamos à demonstração do nosso protocolo. Este destaca-se por ser pioneiro ao encaminhar em Redes Tolerantes a Atrasos usando o paradigma das Redes de Dados Nomeados.

O PeopleShare (PS) apresenta-se como um mecanismo de encaminhamento de conteúdos, onde os nós não se importam de encaminhar os interesses que lhes sejam comuns. Este é o um protocolo que apresenta uma visão virada para o utilizador onde os conteúdos são nomeados graças à utilização das RDN.

Face aos protocolos demonstrados nos pontos anteriores, o PeopleShare implementa dois parâmetros adicionais. O primeiro é o lado egoísta do protocolo, ou seja, um nó só está disposto a anunciar interesses que possui, renegando todos os outros que tem conhecimento mas que não pretende obter. O segundo é uma métrica cujo objectivo é propagar mais rapidamente os Interesses mais requisitados. Essa métrica é o valor Popularidade de um Interesse. Esse valor é relativo ao nó de forma a afectar apenas o seu próprio encaminhamento.

No entanto, os nós são na mesma portadores de conteúdos cujo destino são nós com quem já esteve conectado, dando um carisma social ao PeopleShare.

6.3.1 Resultados

Os parâmetros usados para avaliar o comportamento do PeopleShare são os mesmos que o Difusão com Conhecimento de Contacto.

Tempo	PIG	IS	ISN	PIE	PCE	PICE
6h	482	156	4	31.768	206	3.866
12h	951	547	18	80.060	861	4.382
1d	1.898	1.622	41	132.530	1.622	5.588
2d	3.808	3.606	66	166.209	6.091	7.585
3d	5.743	5.591	73	177.783	9.416	8.352
4d	7.671	7.552	89	193.008	12.615	37.492

Tabela 8: Resultados obtidos nas simulações do algoritmo PeopleShare

Na Tabela 8 estão representados os valores obtidos nos testes efectuados com o encaminhamento PeopleShare, sendo registados os resultados até ao quarto dia. Estes resultados vão ser apresentados em gráficos para uma melhor compreensão do leitor.

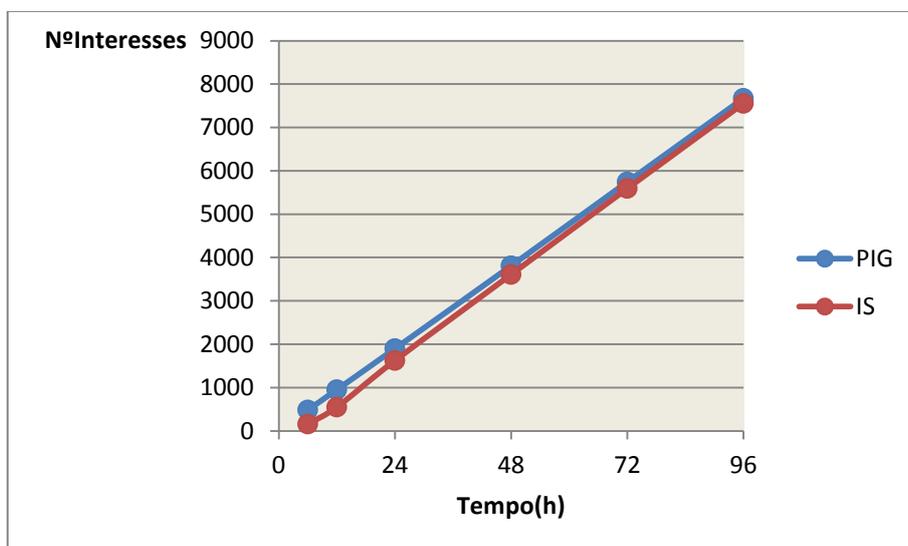


Figura 34: Gráfico PeopleShare de Interesses Gerados e Interesses Satisfeitos

No gráfico apresentado pela Figura 34 é visível que desde cedo a linha de Interesses Satisfeitos encontra-se muito próxima da linha de Pacotes Interesses Gerados. Este resultado permite desde já perceber que a percentagem de Interesses Satisfeitos vai ser muito boa.

Também é visível no gráfico que em poucas horas o número de IS atinge o número de PIG, podendo assim admitir que a grande maioria dos Interesses gerados são satisfeitos num curto período de tempo.

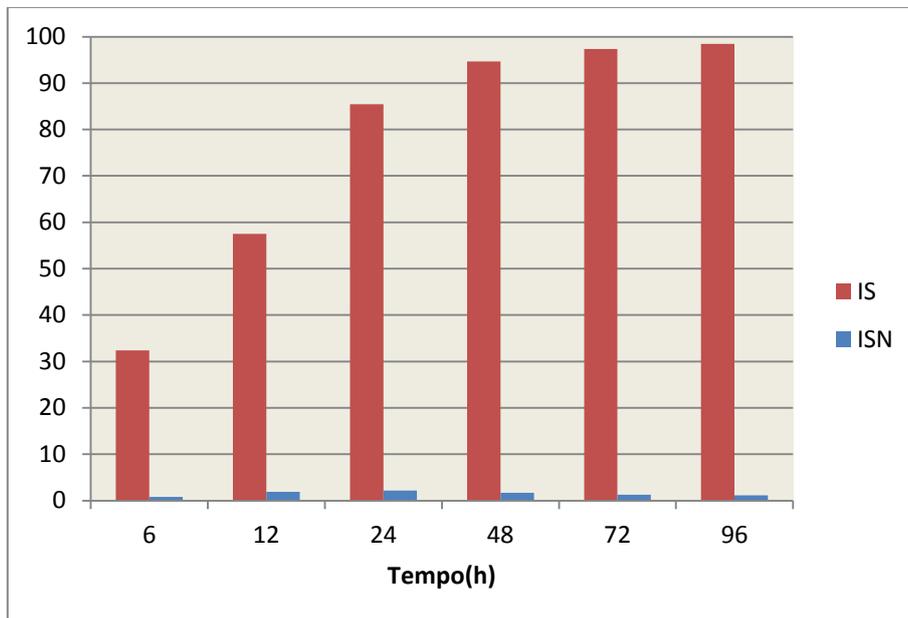


Figura 35: Gráfico PeopleShare com a % de IS e ISN

Na Figura 35 está apresentado a percentagem de Interesses Satisfeitos e a percentagem de Interesses Satisfeitos no Nó. Os resultados que este gráfico produz são, como especulado pela Figura 34, excelentes! A percentagem de Interesses Satisfeitos chega a atingir os 98% no quarto dia, sendo que ao fim de dois dias, este valor já superava os 90%.

Por outro lado os Interesses Satisfeitos no Nó tendem a ser muito reduzidos. Isto tem que ver com a objectividade deste protocolo discutido no ponto 6.3.2 Conclusões Obtidas.

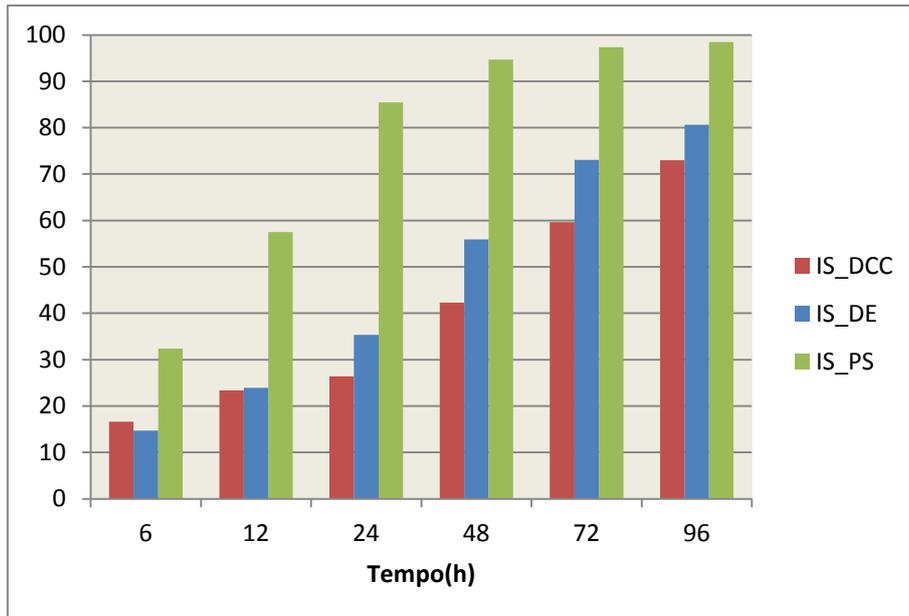


Figura 36: Gráfico com a % de IS em DCC, DE e PS

Como se pode verificar na Figura 36, os resultados atingidos pelo PeopleShare são muito melhores face aos outros protocolos apresentados (DCC e DE).

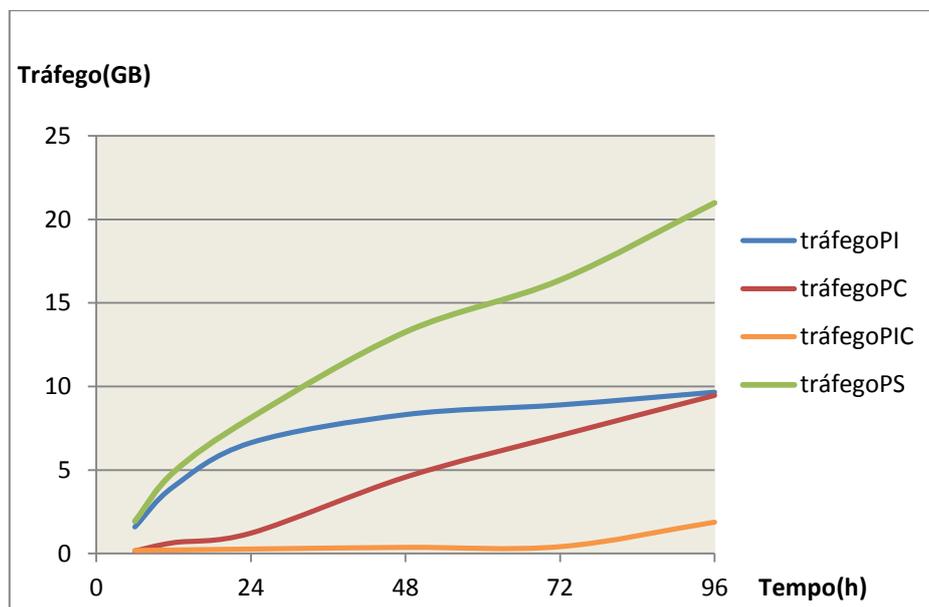


Figura 37: Gráfico PeopleShare de Tráfego na Rede

Na Figura 37 podemos verificar o tráfego causado pelos três tipos de pacotes na rede. Olhando para este gráfico, verificamos que os PI têm uma ascensão rápida estabilizando a partir do primeiro dia. Em sentido contrário estão os PC que começam a ser propagados em maior número ao fim do primeiro dia. Este fenómeno resulta da

maneira como o encaminhamento é realizado, onde os PI são os primeiros a entrarem na rede e os PC começam a entrar com grande impacto assim que os Interesses se encontrem difundidos por toda a rede, chegando aos nós com os Conteúdos pretendidos.

Os Pacotes Informação de Conteúdo apresentam um tráfego muito menor que os outros dois, pois são pacotes apenas possuídos pelos publicadores, que não são encaminhados por outros nós.

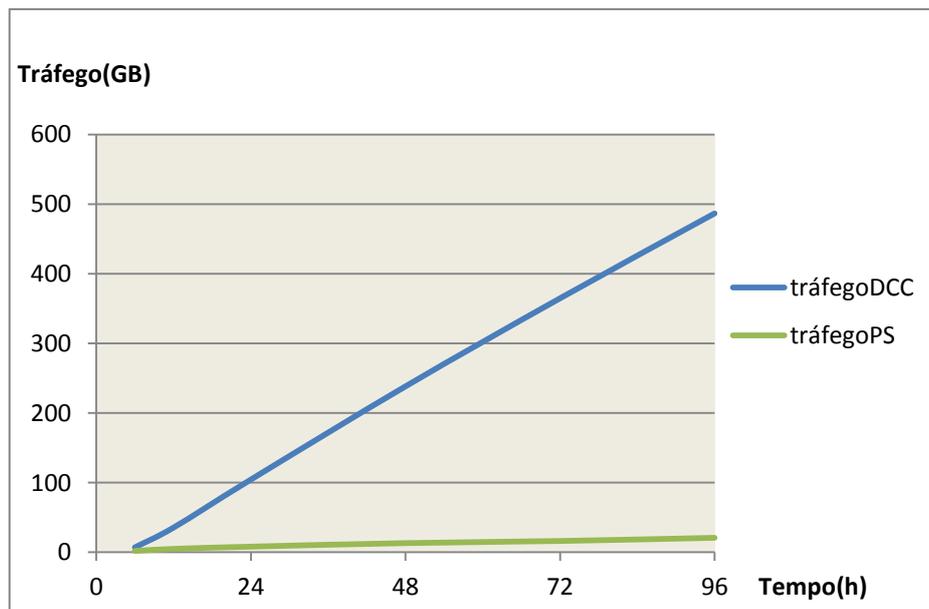


Figura 38: Gráfico de Tráfego na Rede comparando DCC e PS

Na Figura 38 estão representados os tráfegos causados nos encaminhamentos DCC e PeopleShare. Como seria de se prever o PeopleShare apresenta um tráfego muito menor que os restantes, isto porque não usa uma medida de difusão epidémica, levando a ser introduzidos na rede apenas os pacotes necessários.

Esta enorme diferença de tráfego, em que no PS o tráfego acaba perto dos 20GB de tráfego e no DCC perto dos 500GB, é um factor importante na discussão dos resultados obtidos, onde muito tráfego leva a muitas perdas de pacotes.

6.3.2 Conclusões Obtidas

Foi elaborado um protocolo pioneiro nas Redes Tolerantes a Atrasos usando o paradigma dos Dados Nomeados, o PeopleShare, que apresentou resultados que superaram todas as expectativas.

Os primeiros protocolos de encaminhamento Difusão Epidémica e Difusão com Conhecimento de Contacto foram elaborados para servirem como base de comparação ao PeopleShare. Estes usam métodos de encaminhamento epidémico cujo objectivo seria proporcionar os melhores resultados possíveis na entrega de Pacotes Conteúdo aos interessados. Ambos apresentaram resultados expectáveis, onde conseguiram satisfazer uma grande percentagem dos pedidos incluindo muito tráfego na rede.

No entanto, contra todos as provisões, o protocolo que esteve melhor nos aspectos estudados (taxa de Interesses Satisfeitos e Tráfego na Rede) foi o PeopleShare. Este facto deve-se a um conjunto de situações que o nosso protocolo propõe diferenciando-se dos outros dois.

Para começar, foi implementado no PeopleShare uma nova medida no encaminhamento que é a popularidade do Interesse. Esta popularidade faz com que os primeiros Interesses a satisfazer são aqueles que têm mais pedidos. Esta medida trás uma grande vantagem fazendo com que um maior número de pedidos sejam respondidos.

A outra métrica introduzida no PeopleShare foi a de um nó apenas propagar os seus Interesses. Esta medida retira muito tráfego da rede fazendo com que as mensagens trocadas entre dois pares de Nós tenham uma menor duração, permitindo a conexão com mais dispositivos no mesmo espaço.

Assim, o PeopleShare torna-se o melhor protocolo de encaminhamento neste cenário testado, pois dá-nos uma maior objectividade ao encaminhamento, situação que não acontecia nos outros protocolos testados, onde a entrega de muitos pacotes para o mesmo nó impossibilitava a conectividade com mais nós da rede. Outro factor que faz com que o PeopleShare seja melhor é que, estando muito tráfego associado aos outros protocolos e sendo os dispositivos limitados em recursos como a memória, muitos pacotes eram perdidos não atingindo os destinos finais.

6.4 Segunda Versão do PeopleShare

A segunda versão do PeopleShare (PSv2) foi realizada para implementar um novo parâmetro na decisão de encaminhamento. Além de todas as características já introduzidas no algoritmo anterior, esta versão utiliza a Lista de Apontadores para Conteúdos (LAC) para dar mais inteligência ao encaminhamento.

A LAC é a Lista que armazena a informação de quem são os publicadores dos conteúdos. Ela é utilizada nesta versão fazendo com que o router de um nó só passe um Pacote Interesse para outro nó caso este saiba quem é o seu publicador, ou seja, já teve contacto com o publicador deste conteúdo.

Esta métrica é importante na medida em que pretende retirar tráfego de PIs na rede continuando com uma boa percentagem de entrega com sucesso.

6.4.1 Resultados

Em seguida estão representados os resultados obtidos nas simulações deste protocolo.

Tempo	PIG	IS	ISN	PIE	PCE	PICE
6h	484	357	2	17.912	542	3.422
12h	961	900	8	31.514	1.757	3.953
1d	1.934	1.910	5	48.467	4.854	4.467
2d	3.867	3.848	8	60.249	11.347	5.438
3d	5.800	5.788	16	61.945	16.815	7.503
4d	7.744	7.732	16	67.500	22.878	9.110

Tabela 9: Resultados obtidos nas simulações do algoritmo PSv2

Na Tabela 9 estão representados os valores obtidos nos testes efectuados com o encaminhamento PSv2, sendo registados os resultados até ao quarto dia. Estes resultados vão ser apresentados em gráficos para uma melhor compreensão do leitor.

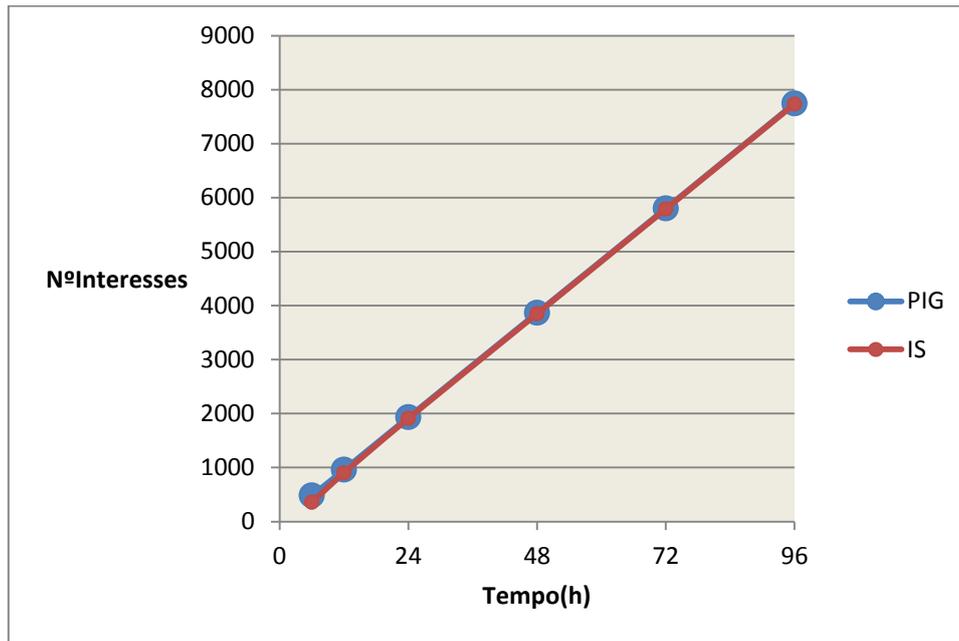


Figura 39: Gráfico PSv2 de Interesses Gerados e Interesses Satisfeitos

No gráfico apresentado pela Figura 39 é visível que as linhas de Interesses Satisfeitos e Pacotes de Interesses Gerados quase que se sobrepõem, havendo um período mínimo de tempo desde que o Interesse é gerado até ser respondido.

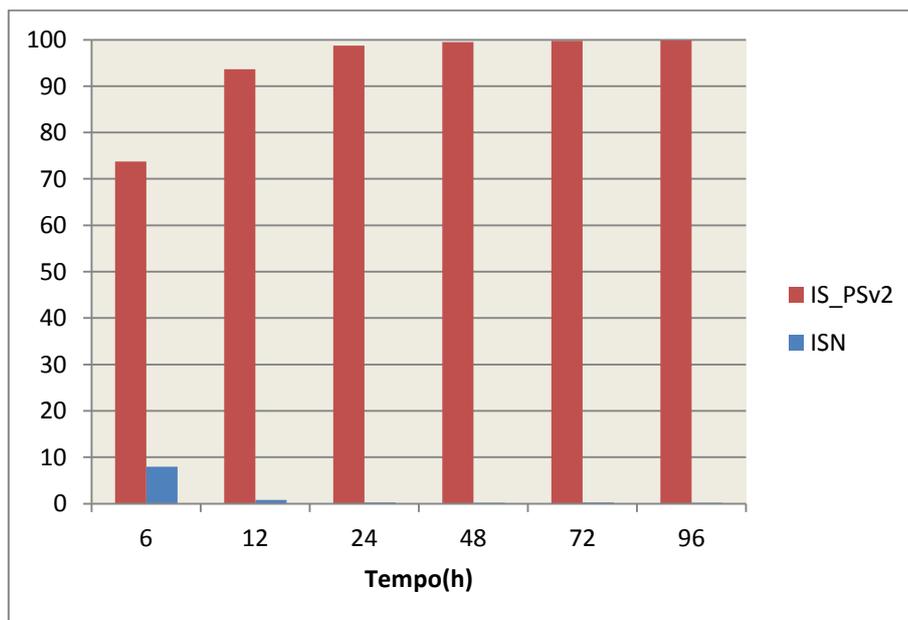


Figura 40: PSv2 com a % de IS e ISN

Na Figura 40 está apresentado a percentagem de Interesses Satisfeitos e a percentagem de Interesses Satisfeitos no Nó. Os resultados mantêm-se excelentes com uma grande percentagem de Interesses Satisfeitos muito próxima dos 100%.

No entanto os Interesses Satisfeitos no Nó continuam a ser reduzidos. Tal como foi referido anteriormente este facto deve-se à objectividade deste protocolo.

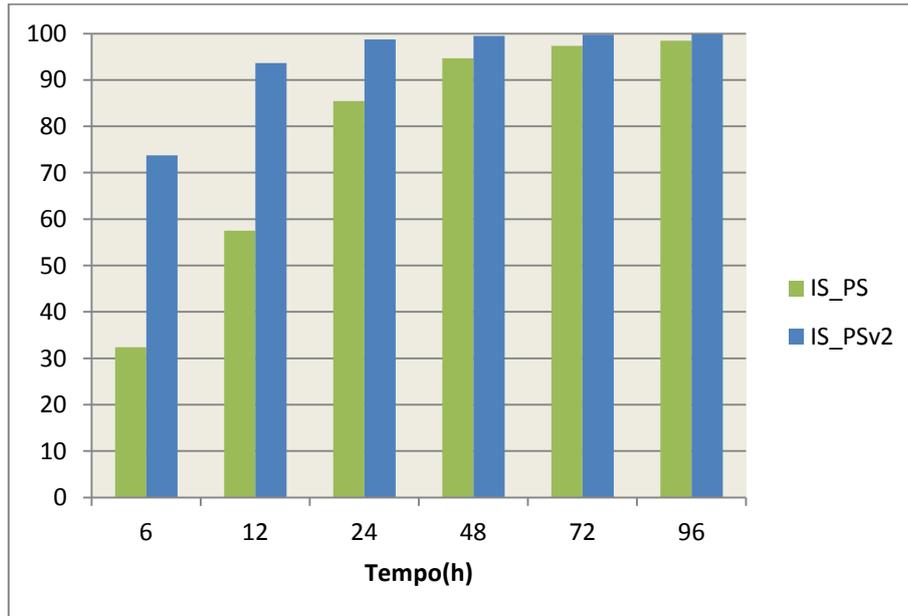


Figura 41: Gráfico com a % de IS em PS e PSv2

Como se pode verificar na Figura 41, os resultados atingidos pela segunda versão do PeopleShare conseguem ainda ser melhores que a primeira versão tendo resultados mais altos muito mais rapidamente, e que depois vão-se aproximando à medida que o tempo vai progredindo.

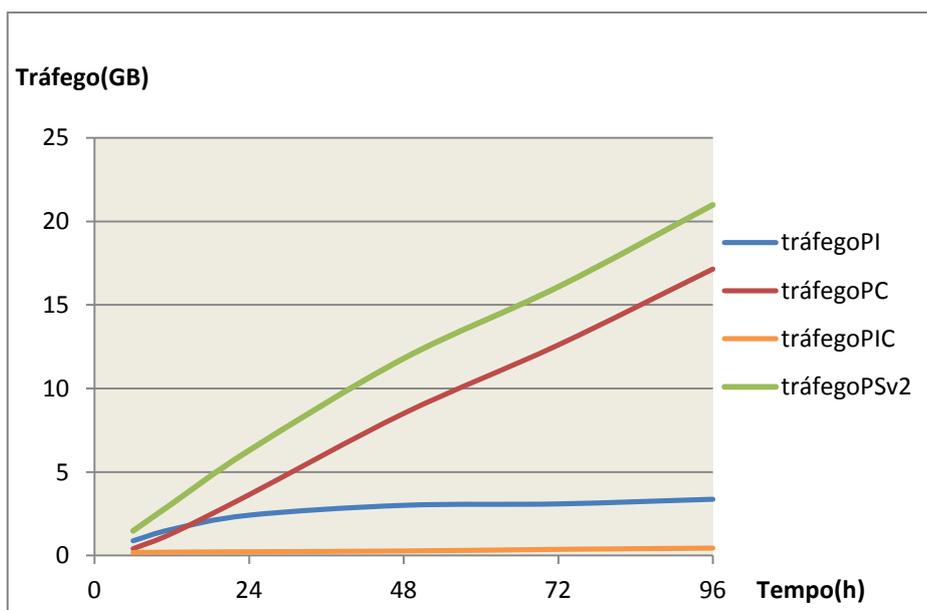


Figura 42: Gráfico PSv2 de Tráfego na Rede

Na Figura 42 podemos verificar o tráfego originado pelos três tipos de pacotes na rede. Observando melhor este gráfico podemos constatar que o tráfego causado pelos Pacotes de Informação de Conteúdo é quase nulo. Os Pacotes Interesse têm um início mais rápido que os Pacotes Conteúdo mas que rapidamente é estabilizado. Já os Pacotes Conteúdo são os que mais tráfego causam na rede trazendo também mais resultados positivos.

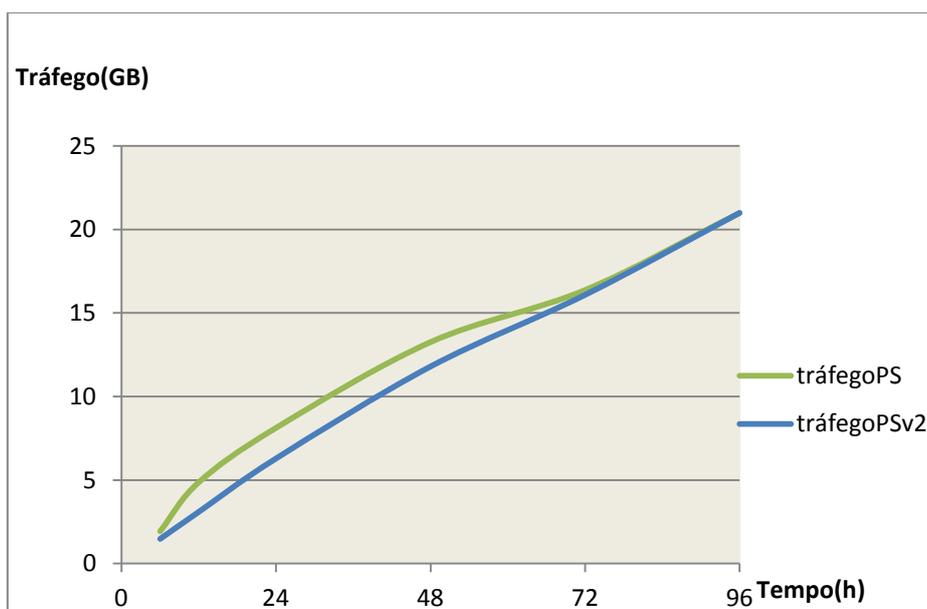


Figura 43: Gráfico de Tráfego na Rede comparando DCC e PS

Na Figura 42 estão representados os tráfegos causados nos encaminhamentos PS e PSv2. A criação do PSv2 tinha como objectivo inicial reduzir ao tráfego da rede, o que no gráfico é visível que o conseguiu fazer até ao 3º dia. No entanto, a partir deste dia atinge um tráfego semelhante à primeira versão do PS pois com tem um maior encaminhamento de Pacotes Conteúdo, otimizando o encaminhamento.

6.4.2 Conclusões Obtidas

O desenvolvimento da segunda versão do protocolo PeopleShare teve como principal objectivo diminuir o tráfego gerado pelos Pacotes Interesse. Para isso, nesta versão passou-se a utilizar a Lista de Apontadores para Conteúdos que permite ao encaminhamento restringir os Pacotes Interesse encaminhados só passando Interesses aos nós que tenham histórico de contacto com o seu publicador.

O desempenho deste protocolo voltou a superar as expectativas, onde a percentagem de Interesses Satisfeitos foi notória estando muito próxima dos 100%. Já o tráfego associado esteve relativamente próximo da primeira versão, sendo que o principal causador de tráfego nesta rede foi o originado pelos Pacotes Conteúdo, verificando-se assim que novamente dando mais objectividade ao sistema melhor ele se comporta.

Assim podemos observar que a segunda versão do PeopleShare foi um êxito pois apresentou melhores resultados demonstrando ser uma mais-valia neste tipo de encaminhamento.

Capítulo VII – Conclusões Finais

Neste documento foi apresentado todo o trabalho elaborado na medida de obter os objectivos pretendidos.

Um dos objectivos era o de elaborar uma *framework* de trabalho designada de ICONE, cujo papel principal seria o de fornecer uma base de trabalho no simulador ONE, onde poderiam ser testados novos protocolos de encaminhamento em Redes Tolerantes a Atrasos usando o paradigma dos Dados Nomeados.

O segundo objectivo passava por testar a nova *framework* criada, usando um novo protocolo designado de PeopleShare que, com base nos protocolos já criados para as RTA, pretendia abordar o encaminhamento tendo como base o egoísmo do ponto de vista do utilizador, e medidas de carácter social feitas com a informação de contacto com outros nós.

Para se desenvolver a ICONE, foi primeiro necessário estudar o simulador ONE. Este simulador foi criado para testar protocolos em Redes Tolerantes a Atrasos, proporcionando ao utilizador um bom interface gráfico onde é possível observar os movimentos dos dispositivos no mapa, as conexões efectuadas, as mensagens trocadas, entre outros.

Esta fase do desenvolvimento teve algumas complicações, pois teve que se adaptar um código já elaborado por outrem, com a finalidade de implementar a ICONE. Contudo, a criação da mesma foi um sucesso, possibilitando agora a introdução de novos métodos de encaminhamento utilizando os Dados Nomeados na difusão de mensagens.

No desenvolvimento do novo protocolo de comunicação PeopleShare, foi necessário criar outros métodos de encaminhamento que utilizassem os Dados Nomeados, para servirem de apoio à avaliação do PeopleShare, protocolo pioneiro a incorporar os Dados Nomeados nas Redes de Tolerantes a Atrasos.

Os resultados proporcionados pelo novo protocolo revelaram-se ser bastante bons, sendo que proporciona mais de 95% de Interesses Satisfeitos ao fim de três dias, num cenário que utiliza a cidade de Helsínquia para simular o movimento de peões, carros e eléctricos que funcionam como dispositivos portadores de mensagens. Os resultados também demonstram que o tráfego associado a este protocolo é muito baixo, relativamente aos modelos de encaminhamento também avaliados.

Assim podemos concluir que o trabalho foi um êxito, na medida em que a ICONE fornece um espaço de trabalho para se poderem implementar novos protocolos que utilizem as RTA com utilizando os Dados Nomeados, e o protocolo PeopleShare fornece um mecanismo de difusão de mensagens neste contexto que se revelou ser muito efectivo.

7.1 Trabalho Futuro

Neste ramo das Redes Tolerantes a Atrasos fundidas com as Redes de Dados Nomeados, são muitos os campos cujo estudo podem ser aprofundados.

Neste trabalho, posteriormente ao desenvolvimento da ICONE foi implementado o protocolo de comunicação PeopleShare. Neste protocolo foram avaliados a percentagem de Interesses Satisfeitos e o tráfego causado na rede, porém outras métricas podem ser calculadas como o caso de tempo médio de recepção de um Pacote Conteúdo, ocupação de memória dos nós, entre outros.

Outra área de estudo que deve ser aprofundada para uma futura implementação deste género de protocolos em cenários reais, será o estudo da nomeação dos pacotes onde tanto publicador como interessado têm que chegar a acordo na identificação dos conteúdos.

Outro ponto crítico é que as simulações efectuadas tiveram todos os mesmos parâmetros, sendo que o estudo com base nas suas alterações também pode ser efectuado.

REFERÊNCIAS

- [1] "Home - Delay Tolerant Networking Research Group." [Online]. Available: <http://www.dtnrg.org/wiki>. [Accessed: 10-May-2013].
- [2] F. L. Lewis, "Wireless Sensor Networks," *Smart Environ. Technol. Protoc. Appl.*, pp. 1–18, 2004.
- [3] D. Trossen and G. Parisi, "Designing and realizing an information-centric internet," *Commun. Mag. IEEE*, vol. 50, no. 7, pp. 60–67, 2012.
- [4] "Wireless Ad Hoc Networks Bibliography." [Online]. Available: http://w3.antd.nist.gov/wctg/manet/manet_bibliog.html. [Accessed: 02-Sep-2013].
- [5] K. Fall and S. Farrell, "DTN: an architectural retrospective," *Areas Commun. IEEE J.*, vol. 26, no. 5, pp. 828–836, 2008.
- [6] D. Estrin and R. Govindan, "Next century challenges: Scalable coordination in sensor networks," *Proc. 5th*, no. Section 4, 1999.
- [7] W. R. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks," *Proc. 5th Annu. ACM/IEEE Int. Conf. Mob. Comput. Netw. - MobiCom '99*, pp. 174–185, 1999.
- [8] P. Juang, H. Oki, Y. Wang, and M. Martonosi, "Energy-efficient computing for wildlife tracking: Design tradeoffs and early experiences with ZebraNet," *ACM Sigplan*, 2002.
- [9] A. Pentland, R. Fletcher, and A. Hasson, "DakNet: rethinking connectivity in developing nations," *Computer (Long. Beach. Calif.)*, 2004.
- [10] P. Hui, A. Chaintreau, J. Scott, R. Gass, J. Crowcroft, and C. Diot, "Pocket switched networks and human mobility in conference environments," *Proceeding 2005 ACM SIGCOMM Work. Delay-tolerant Netw. - WDTN '05*, pp. 244–251, 2005.
- [11] A. Vahdat and D. Becker, "Epidemic routing for partially connected ad hoc networks," *Science (80-.)*, vol. CS-200006, no. CS-200006, pp. CS–2000–06, 2000.
- [12] A. Lindgren, A. Doria, and O. Schelén, "Probabilistic routing in intermittently connected networks," *ACM SIGMOBILE Mob. Comput.*, pp. 1–8, 2003.

- [13] P. Hui, J. Crowcroft, and E. Yoneki, "Bubble rap: Social-based forwarding in delay-tolerant networks," *Mob. Comput. IEEE*, vol. 10, no. November, pp. 241–250, 2011.
- [14] E. M. Daly and M. Haahr, "Social network analysis for routing in disconnected delay-tolerant MANETs," *Proc. 8th ACM Int. Symp. Mob. ad hoc Netw. Comput. - MobiHoc '07*, p. 32, 2007.
- [15] A. Mtibaa, M. May, C. Diot, and M. Ammar, "PeopleRank: Social Opportunistic Forwarding," *2010 Proc. IEEE INFOCOM*, pp. 1–5, Mar. 2010.
- [16] J. Pujol, A. Toledo, and P. Rodriguez, "Fair routing in delay tolerant networks," *INFOCOM 2009, IEEE*, pp. 837–845, 2009.
- [17] S. Zhong, J. Chen, and Y. Yang, "Sprite: A simple, cheat-proof, credit-based system for mobile ad-hoc networks," *INFOCOM 2003. Twenty-Second*, vol. 00, no. C, 2003.
- [18] S. Buchegger and J.-Y. Le Boudec, "Nodes bearing grudges: towards routing security, fairness, and robustness in mobile ad hoc networks," *Proc. 10th Euromicro Work. Parallel, Distrib. Network-based Process.*, pp. 403–410.
- [19] J. Jaramillo and R. Srikant, "DARWIN: distributed and adaptive reputation mechanism for wireless ad-hoc networks," *Annu. ACM Int. Conf. Mob.*, pp. 87–97, 2007.
- [20] N. Eagle and A. (Sandy) Pentland, "Reality mining: sensing complex social systems," *Pers. Ubiquitous Comput.*, vol. 10, no. 4, pp. 255–268, Nov. 2005.
- [21] R. Axelrod, "The Emergence of Cooperation among Egoists The Emergence of Cooperation among Egoists," vol. 75, no. 2, pp. 306–318, 2011.
- [22] T. Chen, F. Wu, and S. Zhong, "FITS: A Finite-Time Reputation System for Cooperation in Wireless Ad Hoc Networks," *IEEE Trans. Comput.*, vol. 60, no. 7, pp. 1045–1056, 2011.
- [23] Q. Li, S. Zhu, and G. Cao, "Routing in socially selfish delay tolerant networks," *INFOCOM, 2010 Proc. IEEE*, pp. 1–9, 2010.
- [24] M. Motani, V. Srinivasan, and P. Nuggehalli, "Peoplenet: engineering a wireless virtual social network," *Comput. Netw.*, pp. 243–257, 2005.
- [25] L. Zhang, D. Estrin, and J. Burke, "Named data networking (ndn) project," *NDN-0001, Xerox Palo*, no. October, 2010.

- [26] G. Tyson, J. Bigham, and E. Bodanese, "Towards an information-centric delay-tolerant network," 2013.
- [27] G. Karlsson, V. Lenders, and M. May, "Delay-Tolerant Broadcasting," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 53, no. 1, pp. 369–381, Mar. 2007.
- [28] "Named Data Networking » A Future Internet Architecture." [Online]. Available: <http://named-data.net/>.
- [29] F. L. Lewis, "Wireless sensor networks," *Smart Environ. Technol. Protoc. Appl.*, pp. 11–46, 2004.
- [30] C. Dannewitz, D. Kutscher, B. Ohlman, S. Farrell, B. Ahlgren, and H. Karl, "Network of Information (NetInf) – An information-centric networking architecture," *Comput. Commun.*, vol. 36, no. 7, pp. 721–735, 2013.
- [31] A. Keränen, J. Ott, and T. Kärkkäinen, "The ONE simulator for DTN protocol evaluation," *Proc. Second Int. ICST Conf. Simul. Tools Tech.*, 2009.
- [32] T. Spyropoulos, K. Psounis, and C. S. Raghavendra, "Single-copy routing in intermittently connected mobile networks," *2004 First Annu. IEEE Commun. Soc. Conf. Sens. Ad Hoc Commun. Networks, 2004. IEEE SECON 2004.*, pp. 235–244.
- [33] J. Burgess, B. Gallagher, D. Jensen, and B. N. Levine, "MaxProp: Routing for Vehicle-Based Disruption-Tolerant Networks," *Proc. IEEE INFOCOM 2006. 25TH IEEE Int. Conf. Comput. Commun.*, pp. 1–11, 2006.