

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**AMAZONSOCIALDTN: IBR-DTN COM *BLUETOOTH* PARA
INCLUSÃO DIGITAL NA AMAZÔNIA**

RONEDO DE SÁ FERREIRA

DM: 20/2015

UFPA / ITEC / PPGE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

RONEDO DE SÁ FERREIRA

**AMAZONSOCIALDTN: IBR-DTN COM *BLUETOOTH* PARA
INCLUSÃO DIGITAL NA AMAZÔNIA**

DM: 20/2015

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

RONEDO DE SÁ FERREIRA

**AMAZONSOCIALDTN: IBR-DTN COM *BLUETOOTH* PARA
INCLUSÃO DIGITAL NA AMAZÔNIA**

Dissertação submetida à Banca Examinadora ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal do Pará, para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica na área de Computação Aplicada

Orientador: Eduardo Coelho Cerqueira

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil

2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Ferreira, Ronedo de Sá, 1980-

Amazonsocialdtn: ibr-dtn com bluetooth para inclusão digital na amazônia / Ronedo de Sá Ferreira. - 2015.

Orientador: Eduardo Coelho Cerqueira.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Belém, 2015.

1. Sistemas de comunicação sem fio - Amazônia. 2. Inclusão digital - Amazônia. 3. Tecnologia bluetooth. I. Título.

CDD 22. ed. 621.3845609811

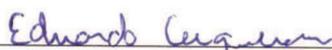
**“AMAZON SOCIAL DTN: IBR-DTN COM BLUETOOTH PARA INCLUSÃO
DIGITAL NA AMAZÔNIA”**

AUTOR: RONEDO DE SÁ FERREIRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO
COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, SENDO
JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA
ELÉTRICA NA ÁREA DE COMPUTAÇÃO APLICADA.

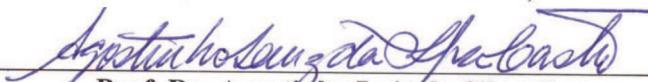
APROVADA EM: 29/05/2015

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Eduardo Coelho Cerqueira

(Orientador – PPGEE/UFPA)



Prof. Dr. Agostinho Luiz da Silva Castro

(Avaliador Externo ao Programa – FCT/UFPA)



Prof. Dr. Denis Lima do Rosário

(Avaliador Externo ao Programa – ESTÁCIO/BELÉM)

VISTO:

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes

(Coordenador do PPGEE/ITEC/UFPA)

DEDICATÓRIA

Dedico a minha dissertação de mestrado primeiramente a Deus; aos meus pais, Odenor Rodrigues Ferreira e Ancila de Sá Ferreira pelo apoio e orientações recebidos na trajetória de minha vida; ao meu irmão Roney Ferreira por sempre estar ao meu lado e, em especial, a uma pessoa que marcou a minha vida, minha avó Catarina Rodrigues Ferreira (in memoriam) pela sabedoria, pelo discernimento, pela força e coragem em conduzir seus filhos, netos, bisnetos na seara do bem ao próximo.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, por mostrar que cada dia pode ser melhor que o anterior. Por permitir que cada obstáculo sirva como oportunidade de fazer coisas melhores, desvendando novos caminhos, renovando conhecimentos e aprendizados.

À minha amada mãe, Ancila Alves de Sá Ferreira; ao meu grande pai Odenor Rodrigues Ferreira.

Ao meu irmão, Roney e minha cunhada Laryssa Ferreira, que me deram de presente uma afilhada linda chamada Luisa.

Às minhas amadas tias, Odicéia Ferreira, Odinéa Ferreira Miranda, Enedina Nahum, Odinete Ferreira e Odomarina Ferreira por estarem sempre presentes em minha vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Eduardo Cerqueira, pelo voto de confiança depositado, pela oportunidade de realizar este trabalho, pela disponibilização de recursos, pelo apoio e ajuda necessários para o desenvolvimento e conclusão desta dissertação de mestrado.

À Universidade Federal do Pará - UFPA, pela oportunidade de estar realizando este mestrado.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo suporte financeiro.

A todos os amigos que sempre torceram e acreditaram na realização deste sonho. Em especial, aos amigos do GERCOM (Grupo de Estudos em Redes de Computadores e Comunicação Multimídia), pela colaboração significativa ao meu amadurecimento acadêmico, onde tive a oportunidade de desenvolver este trabalho.

*"O HOMEM PARA
CONSEGUIR O QUE QUER
PRECISA SE LIGAR A UMA META,
NÃO A PESSOAS OU COISAS."*

ALBERT EINSTEIN

RESUMO

A presente dissertação de mestrado tem como objetivo discorrer sobre a maneira como as pessoas acessam informações, ressaltando que apesar da evolução tecnológica ainda existem grupos sociais que são excluídos, estando à margem do contexto social por não terem acesso à informação, devido à sua localização geográfica, por exemplo: as comunidades ribeirinhas da região Amazônica. Esta dissertação tem por base um trabalho que propõe uma extensão para a arquitetura IBR-DTN, de forma que permita a divulgação de informações, incluindo vídeos educacionais curtos e áudio livros. Com o objetivo de facilitar a troca de informações de curto alcance, foi desenvolvido uma camada de convergência Bluetooth para arquitetura IBR-DTN e para melhorar a troca de dados em contatos oportunistas de curta duração entre os nós DTNs, foi agregado um mecanismo para compressão do Bundle. Foram efetuados também experimentos em um testbed de pequena escala e em um simulador, onde através da extrapolação de valores para uma escala maior podemos avaliar a eficiência da solução AmazonSocialDTN em contatos oportunistas para a troca de uma maior quantidade de dados e, desta forma, permitir às pessoas de comunidades ribeirinhas receberem conteúdo relacionado a serviços de inclusão digital.

PALAVRAS-CHAVE: Camadas de convergência, DTN, Bluetooth, Bundle, compressão de dados, vídeo, áudio, mensagens de texto e comunidades ribeirinhas.

ABSTRACT

Despite the evolution in deployed infrastructure and in the way that people access information, still there are those who are socially excluded and have no access to information due to their geographic location (e.g., riverside/countryside communities). This paper proposes an extension to a DTN architecture implementation to allow the dissemination of information in such communities, including educational short-video clips and audio books. The IBR-DTN architecture is complemented with a Bluetooth Convergence Layer, to facilitate the exchange of information over this short-range wireless technology, and with a Bundle Compression mechanism that aims at improving data exchange in short-lived opportunistic contacts happening among nodes. Experiments in a small-scale testbed and in a large-scale simulator environment show that nodes are indeed able to efficiently use contact opportunities to exchange an increased amount of data, allowing people in riverside communities to receive more content related to digital inclusion services.

KEYWORDS: Convergence Layers, DTN, Bluetooth, Bundle Compression and Infrastructureless, Video, Audio, Text Messages and Riverside People.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vídeos disponíveis na Khanacademy	- 8 -
Figura 2: Arquitetura DTN	- 12 -
Figura 3: Pilha de Protocolos Bluetooth.....	- 17 -
Figura 4: Cenário da comunidade ribeirinha na Amazônia.....	- 22 -
Figura 5: Componentes da Arquitetura IBR-DTN	- 24 -
Figura 6: Componentes do agente AmazonSocialDTN	- 25 -
Figura 7: Streaming de dados comprimidos	- 31 -
Figura 8: Compressão dos dados usando Deflate	- 32 -
Figura 9: Transmissão da Bundle arquitetura IBR-DTN integrada AmazonSocialDTN....	- 34 -
Figura 10: Cenário do Testbed	- 36 -
Figura 11: Número de <i>Bundles</i> Comprimidos Recebido para cada dispositivo móvel	- 38 -
Figura 12: Taxa Média de Entrega de Bundle para cada aplicação.....	- 39 -
Figura 13: Cenário simulado	- 41 -
Figura 14: Entrega de Bundles para Comunidades C1,C2,C3 e C4.....	- 43 -
Figura 15: Entrega Vídeos, Audio e Texto nas Comunidades C1,C2,C3 e C4.....	- 44 -

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características dos Smartphones Android.....	- 36 -
Tabela 2: Parâmetros do Testbed	- 37 -
Tabela 3: Características das Comunidades	- 40 -
Tabela 4: Parâmetros de Simulação.....	- 42 -

LISTA DE SIGLAS

- AAC** *Advanced Audio Coding*
- ACK** *Acknowledgement*
- AMR** *Audio Modem Riser*
- CHANTS** *Challenged Networks*
- DTN** *Delay-Tolerant Networking*
- DTNRG** *Delay Tolerant Networking Research Group*
- EDGE** *Enhanced Data rates for GSM Evolution*
- GHz** *Gigahertz*
- GIF** *Graphical Interchange Format*
- GPS** *Global Positioning System*
- GPU** *Graphics Processing Unit*
- GSM** *Groupe Special Mobile*
- IEEE** *Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos*
- IP** *Internet Protocol*
- IRTF** *Internet Research Task Force*
- ISM** *Industrial, Scientific and Medical*
- JPG** *Joint Photographic Experts Group*
- JVM** *Máquina Virtual Java*
- Kbps** *Kilobit Por Segundo*
- LAN** *Local Architecture Network*
- MAC** *Media Access Control*
- MANET** *Mobile Ad-Hoc Network*
- MPEG** *Moving Picture Experts Group*
- MP3** *MPEG-12 Audio Layer 3*
- OHA** *Open Handset Alliance*
- OSI** *Open Systems Interconnection*
- PNG** *Portable Network Graphics*
- POO** *Programação Orientada a Objetos*
- PROPHET** *Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity*
- RFC** *Request for Comments*
- SDK** *Kit de Desenvolvimento de Software*
- SIG** *Bluetooth Special Interest Group*

SSL *Secure Socket Layer*

TCP *Transmission Control Protocol*

URI *Uniform Resource Identifier*

Sumário

CAPÍTULO 1	- 1 -
INTRODUÇÃO	- 1 -
1.1 - PROPOSTA E CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO	- 2 -
1.2 - ESTRUTURAS DO TRABALHO	- 3 -
CAPÍTULO 2	- 4 -
TECNOLOGIAS RELACIONADAS	- 4 -
2.1- REDES MÓVEIS SEM FIO	- 4 -
2.2 - APLICAÇÕES MULTIMÍDIA PARA INCLUSÃO DIGITAL	- 6 -
2.2.2 – ÁUDIO	- 9 -
2.3 - REDES TOLERANTES A ATRASOS E DESCONEXÕES	- 10 -
2.3.1 - A ARQUITETURA DTN	- 10 -
2.3.2 - ROTEAMENTO EPIDÊMICO	- 13 -
2.3.3 - ROTEAMENTO BASEADO EM ESTIMATIVA	- 14 -
2.3.5 TIPOS DE CONTATOS	- 14 -
2.4 – BLUETOOTH EM REDES DTN	- 16 -
2.5 - ESTADO DA ARTE DAS ARQUITETURAS DTN	- 17 -
CAPÍTULO 3	- 21 -
3.1 - INTRODUÇÃO	- 21 -
3.2- AMAZONSOCIALDTN	- 21 -
3.3- ARQUITETURA IBR-DTN	- 23 -
3.4- AGENTE AMAZONSOCIALDTN	- 24 -
3.5 – CONCLUSÃO	- 34 -
CAPÍTULO 4	- 35 -
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO	- 35 -
4.1 - INTRODUÇÃO	- 35 -
4.2- REDE EXPERIMENTAL	- 35 -
4.3 – AMBIENTE DE SIMULAÇÃO	- 38 -
CAPÍTULO 5	- 46 -
CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	- 46 -
TRABALHO FUTUROS	- 47 -
PUBLICAÇÃO EM PERIÓDICOS	- 47 -
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	- 48 -

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A evolução das tecnologias sem-fio aumentou a popularidade de dispositivos móveis e permitiu que as pessoas tenham acesso a diferentes tipos de aplicações, tais como vídeos educacionais e vídeos de utilidade pública. Essa evolução não contempla todos os universos existentes como as áreas ribeirinhas e rurais isoladas, onde há falta de conectividade com *Internet* ou com redes infra-estruturadas, assim contribuindo para a exclusão social de muitas pessoas.

A tecnologia *Delay/Disruption - Tolerant Networking* (DTN) é uma solução adequada para permitir a distribuição de informações, mesmo em áreas geograficamente isoladas (KioskNet, 2007). Como uma forma de facilitar a inclusão no mundo digital de pessoas localizadas em comunidades afastadas (regiões ribeirinhas e rurais), esse novo paradigma de rede pode ser utilizado para transmitir informações em formato de vídeo, possibilitando às pessoas de serem enquadradas nesse universo geográfico. Informações sobre a prevenção e tratamentos de doenças, áudio educacionais podem ser facilmente disseminados nessas áreas, promovendo um significativo aumento na qualidade de vida dessas pessoas.

O emprego da abordagem *store-carry-and-forward* (*armazenar, carregar e encaminhar*) em DTN permite a veiculação com eficiência de dados que não necessitam ser entregues em tempo real. Através *hop-by-hop*, isto quer dizer *de salto em salto*, a informação pode chegar ao destino utilizando conexões oportunistas (D. F. Kotz & L. Song, 2007).

A arquitetura IBR-DTN é uma implementação estável com possibilidade de permitir a troca de informações em áreas rurais sem infraestrutura. As atuais implementações da arquitetura DTN, como DTN2 (Gang Zhang, Xiaolian Cai, Tingting Han, & Runxuan Xiao, 2011), Bytewalla (B. project, 2014), e IBR-DTN (D. Michael, L. Sven, M. Johannes, & W. Lars, September, 2008), só são adequados para ambientes que apresentam um certo nível de infraestrutura sem fio, incluindo pontos de acesso Wi-Fi (APs) e roteadores. Entretanto, em cenários rurais, as pessoas possuem dispositivos móveis com tecnologias como: *Wi-Fi*, *Bluetooth* e suporte a *GSM* (*Global System for Mobile Communications*) sem possuírem conexões com *Access Point* (APs) ou rede de celular, mesmo em suas casas ou escolas.

Bluetooth é a capacidade de proporcionar conexões de curto alcance, utilizando a banda de 2,4 GHz globalmente não licenciada e de baixa potência. Essa tecnologia já está presente na maioria dos *smartphones* atuais e pode ser usada como uma solução eficaz para proporcionar a comunicação *DTN* em regiões rurais isoladas.

No entanto, a arquitetura IBR-DTN não suporta conexões Bluetooth, o que limita seu uso nas comunidades ribeirinhas ou no campo acima mencionados. Nesse caso, é necessário implementar uma camada de convergência para suportar o *Bluetooth*, permitindo assim a troca direta de informações entre os nós *DTNs* em áreas sem infra-estrutura de rede.

Essa comunicação direta, nó para nó, permite a troca direta de pacotes de dados, utilizando a camada de *Bundle Layer* (Cerf, V., et al., Delay-tolerant networking architecture - draft-irtf-dtnrgbundle-spec-08, 2006). Além disso, é importante desenvolver um mecanismo de compressão de dados para conexões *DTN utilizando o Bluetooth* (baixa taxa de transmissão), a fim de permitir a transmissão de mais dados por instante de tempo.

1.1 - PROPOSTA E CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Esta dissertação estende à implementação IBR-DTN, incluindo módulos de *Bluetooth Convergence Layer* (BCL) e um módulo de compressão de Bundle para permitir a comunicação direta entre os nós em comunidades ribeirinhas, com melhor transmissão de dados durante uma oportunidade de contato entre os mesmos. O impacto e os benefícios da solução proposta são implementados e avaliados em um *Testbed* (ambiente experimental) de pequena escala e foi utilizado simulações para extrapolações de valores em grande escala. Os resultados mostram que a solução proposta aumenta a quantidade de dados recebidos em relação as outras propostas durante um contacto sobre a tecnologia Bluetooth.

O problema abordado neste trabalho é a falta de uma implementação *DTN* para *smartphones* e sem a necessidade da utilização de redes infraestruturadas, tanto encontradas em redes cenários esparsos, quanto encontrado na Amazônia. Como aplicação, esta dissertação visa serviços para fins educacionais e busca alcançar comunidades distantes com o intuito de levar informação de cunho social, de saúde e segurança pública, de um modo que seja transparente para os usuários. A análise do comportamento dessa arquitetura utilizou parâmetros de tempo, contacto e destinos das informações, como os cenários das comunidades da Amazônia. Por meio deste estudo é possível selecionar e agrupar as melhores características em cada paradigma *DTN*, permitindo assim a criação de mecanismos adequados para inclusão social nestes cenários.

As contribuições desta dissertação de mestrado:

- Criar uma camada de convergência para permitir a troca de informações entre nós DTN através da tecnologia IEEE 802.15;
- Desenvolver um mecanismo de compressão para acelerar a entrega oportunista entre nós DTN;
- Implementar uma aplicação para gerenciar o recebimento e o envio de *Bundles* em formatos de vídeos, áudio e textos;
- Avaliar a solução AmazonSocialDTN em cenários como encontrados nas comunidades ribeirinhas da Amazônia, através de uma rede experimental em pequena escala e simulação para experimentos em larga escala.

Espera-se que as contribuições desta dissertação de mestrado possam favorecer a elaboração de novas propostas para inclusão social em cenários desafiadores como na Amazônia, com a utilização Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões. Foi possível compreender as benfeitorias provenientes da capacidade de transmitir informações entre nós DTN e estender o alcance de importantes plataformas educacionais, por exemplo Khan Academy¹, ao possibilitar transmitir vídeos, áudios e textos disponíveis na Internet para as comunidades ribeirinhas

1.2 - ESTRUTURAS DO TRABALHO

Para o bom entendimento e descrição do trabalho desenvolvido, esta dissertação foi estruturada da seguinte forma:

- Capítulo 2—Aborda os tecnologias relacionadas à solução como: conceitos DTN, tecnologia Bluetooth;
- Capítulo 3—Implementação do agente AmazonSocialDTN, os módulos de camada de convergência Bluetooth;
- Capítulo 4— Discussão dos resultados obtidos em um *testbed* e um simulador;
- Capítulo 5—Apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

¹ <http://www.fundacaolemann.org.br/khanportugues/>

CAPÍTULO 2

TECNOLOGIAS RELACIONADAS

Este capítulo apresenta uma visão geral sobre as tecnologias escolhidas para o desenvolvimento do trabalho e tem o objetivo de fornecer conceitos, os quais, posteriormente, serão importantes para o entendimento de como redes tolerantes a atrasos e desconexões podem influenciar no desenvolvimento da nossa proposta como: a escolha de cenários e os melhores protocolos de roteamento, arquiteturas e suas limitações quanto às tecnologias utilizadas.

A Seção 2.1 introduz conceitos importantes sobre as MANET (*Mobile ad hoc Networks*); na Seção 2.2 será introduzido conceito de aplicações multimídia para inclusão digital; na Seção 2.3 serão abordados os conceitos de redes tolerantes a atrasos e desconexões; Seção 2.4 a tecnologia Bluetooth será introduzida e a Seção 2.5 explanará as arquiteturas DTN relacionadas e suas características.

2.1- REDES MÓVEIS SEM FIO

As redes móveis ad hoc, do inglês *Mobile ad hoc Networks* - MANETs, surgiram da necessidade de se estabelecer conexões entre dispositivos móveis sem uma infraestrutura previamente instalada. Inicialmente as redes *ad hoc* consistiram num projeto do departamento de defesa americano no começo dos anos 70, chamado DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*). Em 2004, DARPA (DARPA, 2004) iniciou os estudos relacionados às redes tolerantes a atrasos e desconexões e sua importância de não ter um nó centralizador em redes móveis para campo de batalha usualmente utilizadas, mas tornando DTN um interessante objeto de pesquisa pela indústria da computação.

Uma MANET é um sistema autônomo composto por nós móveis que não dependem de nenhuma infraestrutura para operar. Os nós se comunicam sem nenhum ponto de acesso, controlando o acesso ao meio, necessitando para isto, que o nó destino esteja no alcance de transmissão do nó emissor ou que algum outro nó intermediário possa reencaminhar a mensagem. Dessa forma, os pacotes são encaminhados de um nó ao outro até que atinjam seu

destino e, como os nós podem estar em constante movimento, a topologia da rede está sempre sofrendo alterações.

As MANETs possuem algumas características que devem ser destacadas:

- Auto Organizável: podem ser instaladas rapidamente sem a necessidade de planejamento e cabeamento, além de dispensar o uso de dispositivos de interconexão, como computadores, por exemplo. Conseqüentemente, uma MANET deve ser autônoma para configuração de seus parâmetros, como atribuição de endereço aos nós participantes da rede, roteamento, identificação de posição, controle de energia, entre outros;
- Robustez: podem resistir a desastres, como terremotos, pois se os dispositivos permanecerem intactos pode-se ainda estabelecer a comunicação;
- Topologias Dinâmicas: como os nós são livres para se movimentar arbitrariamente, a topologia da rede pode mudar rápida e aleatoriamente;
- Banda Passante Restrita: enlaces de redes locais sem fio possuem, tipicamente, capacidades menores que os enlaces equivalentes em redes cabeadas;
- Limitação de Energia: os nós de uma MANET dependem, normalmente, de alguma fonte limitada de energia, como baterias. Isto faz com que a economia de energia seja um fator importante nessas redes;
- Problemas de Roteamento: apesar da mobilidade dos nós proporcionar uma maior robustez, dificulta a localização física dos nós e, conseqüentemente, o encaminhamento de mensagens, pois seus endereços não estão associados a nenhuma localização geográfica.

A mobilidade é um das principais características de uma MANET e também um dos principais desafios no desenvolvimento de aplicações *ad-hoc*. O modelo de mobilidade utilizado pode ter um grande impacto no desempenho do algoritmo de roteamento selecionado (Gerla *et al.*, 2005).

Para tirar mais proveito desse tipo de rede, é importante que exista uma comunicação direta entre os nós ou através da Internet. Em áreas esparsas, como encontradas na Amazônia, é necessário integrar soluções que possuem a capacidade de armazenar dados como DTN, e também possuem a capacidade de se adaptarem à mobilidade como as redes MANETs, a fim de permitir a troca de dados mesmo quando a conectividade for intermitente.

2.2 - APLICAÇÕES MULTIMÍDIA PARA INCLUSÃO DIGITAL

Com o uso das redes de computadores e dos inúmeros recursos de *software*, atividades de diversão, aprendizado e trabalho ocorrem quase que simultaneamente, modificando substancialmente as tradicionais formas de buscar informação, produzir conhecimento, produzir um bem, executar um trabalho ou usufruir um momento de lazer. A educação tem um papel fundamental no desenvolvimento pessoal e social, podendo ser vista como um dos principais meios disponíveis para fomentar uma forma de desenvolvimento humano mais profundo e harmonioso na busca do conhecimento e habilidades, permitindo reduzir a pobreza, exclusão e ignorância (Jacques, 1998).

A respeito da interatividade, multimídia não é apenas uma maneira de apresentar informações ao usuário, como fosse seu mero recipiente passivo. Multimídia é uma forma de o usuário ativamente interagir com as informações, buscando-as, recuperando-as, interligando-as, construindo com novas informações e, assim permitindo com aplicações de vídeos, áudios e textos que possam contribuir com conteúdo educacionais para desenvolvimento de conhecimento através de simples aplicações, contribuindo para uma inclusão digital.

Percebe-se a importância da utilização desse recurso na promoção de inclusão digital; a informação onde o participante é ativo na sua busca e recuperação de sons e imagens. Várias iniciativas como a ²Khan Academy fornecem vídeos educacionais para facilitar o aprendizado de pessoas remotamente. Além disso, existem plataformas para conteúdos somente de áudio como o a plataforma ³YouTube Edu, criando mecanismo para submeter vídeo aulas e áudio aulas para publicação ou ainda escolher outras aulas prontas para utilizar com alunos. O projeto é uma parceria entre a ⁴Fundação Lemann e o Google para a criação de um espaço exclusivo do YouTube, na qual professores, gestores e alunos podem encontrar conteúdos educacionais gratuitos e de qualidade; em português, a curadoria dos vídeos foi feita por professores especialistas e altamente capacitados, selecionados pelo Sistema de Ensino Poliedro e coordenados pela Fundação Lemann. Os conteúdos disponíveis são voltados para os níveis de Ensino Fundamental e Ensino Médio, englobando as disciplinas como: Língua Portuguesa, Matemática, Ciências (Química, Física e Biologia), História, Geografia, Língua Espanhola e Língua Inglesa. Nos últimos anos, iniciativas como as citadas acima vêm

² www.khanacademy.org

³ www.youtube.com/edu

⁴ www.fundacaolemann.org.br/

crecendo do Brasil e no mundo, mas precisam de conectividades para possibilitar que o conteúdo seja compartilhado para a população, inclusive comunidades em áreas rurais isoladas.

2.2.1 – VÍDEOS

Uma das formas de se promover a inclusão digital pode ser feita através da distribuição e produção de pequenos vídeos sobre educação, conhecimentos diversos que possam ser vistos, compreendidos pelas pessoas, mesmo que estas se encontrem com poucos recursos, como em pontos longínquos de um ponto de acesso ou mesmo quando disponibilizado o conteúdo desses vídeos para áreas rurais. Uma partida de futebol pode ser uma ótima oportunidade de aprender geometria; uma conversa familiar costumeira vira lição de ortografia; e uma divertida performance de teatro de bonecos pode ser a melhor forma de aprender sobre a abolição da escravatura no Brasil. Essas são algumas das ideias que professores e alunos podem utilizar na produção de vídeos.

Com relação a conteúdos de vídeos educacionais, a *Khan Academy*, que é uma organização sem fins lucrativos, um *website* educacional criado em 2006 pelo educador Salman Khan, é um exemplo de sucesso no Brasil e no mundo sobre como vídeo aulas podem auxiliar na formação de milhares de pessoas. A Figura 1 mostra a estrutura do aplicativo utilizado para os dispositivos móveis. Declarou ser missão fornecer "uma educação de classe mundial livre para qualquer um, em qualquer lugar". O *site* possui milhares de recursos educacionais, incluindo um painel de aprendizagem personalizado, mais de 100.000 problemas exercício e mais de 4000 micro palestras através de tutoriais de vídeo armazenados no YouTube. A Khan Academy atinge cerca de 10 milhões de alunos por mês e já entregou mais de 300 milhões lições.

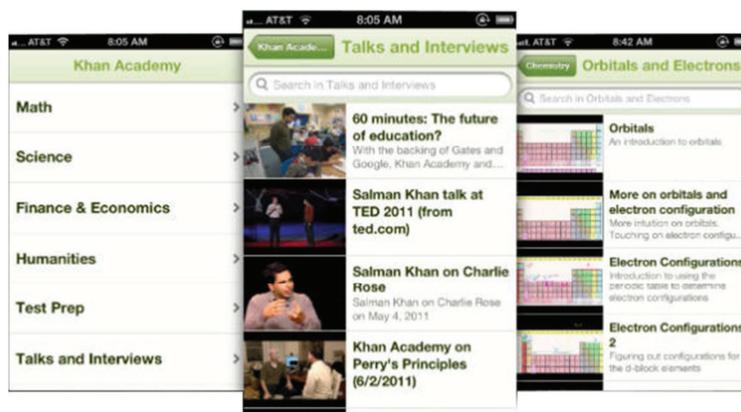


Figura 1: Vídeos disponíveis na Khan Academy

2.2.2 – ÁUDIO

As pessoas não podem ficar fora do avanço tecnológico e, para isso, é necessário criar condições, como o uso de áudio para que possam usufruir desta tecnologia, pois o acesso à informação contribui para a inserção desses indivíduos excluídos da sociedade, os deficientes visuais. Dessa forma, o áudio como ferramenta de inclusão digital contribui para a socialização dessas pessoas.

Audiobook, audiolivro ou Podcast é uma gravação do conteúdo de um livro lido em voz alta ou aulas diversas como ciências, matemática, história etc. Essa gravação se apresenta em suportes informacionais diversificados, podendo em formatos mais modernos como o MP3 (*MPEG-1/2 Audio Layer 3*), o WMA (*Windows Media Audio*), *streaming* (fluxo de mídia) e o Ogg, entre outros, gratuitos ou pagos.

Versões gratuitas trazem uma grande variedade de obras para download, a maioria em domínio público, *copyleft* ou outra licença pública livre disponível, narradas por voluntários ou profissionais, gratuitamente.

Conteúdos em áudio são ideais para pessoas que necessitam de algum conhecimento, mas que não possuem instrução suficiente para tal atividade; por exemplo, para deficientes visuais ou pessoas disléxicas e para aquelas que são mais auditivas que visuais.

Hoje no Brasil, o mercado está em expansão com novas empresas investindo em títulos diversos, desde *best-sellers* a nichos específicos como aquele voltado para concursos públicos. Contamos hoje com quase mil títulos em português em formato de áudio MP3 e sites especializados em conteúdos para *download* de pequenos arquivos como a *Pod Academy*, que é o novo modo de ser expressar na academia. Uma plataforma independente, sem fins lucrativos para *podcasts* gratuitos na pesquisa acadêmica, que foi criada por um grupo de acadêmicos, jornalistas e especialistas de TI e tem o objetivo de informar o debate público e descobrir intrigantes e desafiadoras novas ideias. Estamos sempre à procura de novas pesquisas interessantes, incluindo a investigação que lança luz sobre os acontecimentos da notícia. Trabalhamos como pesquisadores para desenvolver *podcasts* acadêmicos de entretenimento, que são acessíveis ao público em geral como: *podcasts* educacionais, de quatro faculdades - Artes e Cultura, Negócios e Economia, Humanidades e Ciências Sociais e Ciência e Meio Ambiente. *Pod Academy* é uma vitrine para novas pesquisas e um recurso para inclusão digital, ONGs e do setor público nacional e internacional.

2.3 - REDES TOLERANTES A ATRASOS E DESCONEXÕES

A arquitetura da *Internet* é uma solução tecnológica de comprovado sucesso, sendo utilizado no mundo todo para interconectar os mais variados tipos de dispositivos de comunicação, em diferentes cenários e dando suporte a diversas aplicações. Entretanto, algumas premissas necessárias ao bom funcionamento da arquitetura da Internet não são encontradas em determinados ambientes, tornando o perfil de protocolos da Internet inadequado e pouco robusto. Exemplos de tais ambientes são: comunicações sem fio, comunicações entre dispositivos móveis, comunicações entre dispositivos com restrições de energia, comunicações rurais, comunicações em campo de batalha, comunicações submarinas, comunicações interplanetárias etc. Esses ambientes, considerados “desafiadores”, possuem em comum a dificuldade de manter uma comunicação fim-a-fim com baixa latência e pequena perda de pacotes. Devido a essas características, as redes que consideram esses aspectos foram denominadas Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões (*Delay and Disruption Tolerant Networks* - DTNs). Apesar de o termo DTN ser o mais utilizado na literatura, também podem ser encontradas outras terminologias, tais como: redes com conectividade eventual, redes móveis parcialmente conectadas, redes desconectadas, redes com conectividade transiente, redes incomuns, redes extremas e, mais recentemente, Redes com Desafios (CHALLENGED NeTworkS - CHANTS) (Chen et al., 2006).

2.3.1 - A ARQUITETURA DTN

A necessidade de uma nova arquitetura, capaz de suprir as características peculiares das DTNs, foi promovida na década de 90 durante o desenvolvimento do projeto Internet Interplanetária (IPN) por um grupo de engenheiros do Jet Propulsion Laboratory (JPL) da agência espacial americana NASA (Farrell et al., 2006a). O objetivo do IPN é definir uma arquitetura de redes que permita a interoperabilidade da Internet convencional (“terrestre”) com uma Internet Interplanetária, que envolve outros planetas e aeronaves em movimento [IPN, 2007]. O grande problema da Internet Interplanetária é o atraso que pode ser de horas e até dias.

Observou-se que as soluções para o projeto IPN também atendiam aos problemas de quebras de conexões bastante comuns em algumas redes terrestres. Assim, em 2002, o *Internet Research Task Force* (IRTF) (IRTF, 2007), uma comunidade que realiza pesquisas de longo prazo referentes ao funcionamento da Internet, criou um grupo de pesquisa em redes

tolerantes a atrasos (*Delay Tolerant Network Research Group* - DTNRG) com o objetivo de empregar o conceito de DTN também em ambientes operacionais terrestres (DTNRG, 2006). No ano de 2004, a *Defense Advanced Research Projects Agency* diferencia entre os nomes, o IPN, o DTNRG e a DARPA, que trabalham em busca de uma solução comum para resolver os problemas associados às DTNs (Farrell e Cahill, 2006).

A proposta de uma arquitetura DTN é definida em uma Internet Draft, que descreve como um conjunto de nós se organiza para armazenar e encaminhar mensagens em ambientes sujeitos a atrasos longos e/ou variáveis e com frequentes desconexões (Cerf et al., 2006).

A arquitetura DTN prevê a utilização da técnica de comutação de mensagens e o armazenamento persistente dos dados, definindo uma sobre camada (*overlay*) abaixo da camada de aplicação. Esta nova camada é denominada camada de agregação (*Bundle Layer*) e o protocolo de agregação é executado em todos os nós pertencentes à rede DTN, denominados nós DTN, da origem até o destino, à semelhança da camada IP. As “sub-redes” são denominadas redes regionais e a arquitetura em sobre camada permite tornar a DTN totalmente independente das diversas redes regionais, permitindo que as aplicações se comuniquem através de múltiplas regiões. Para garantir interoperabilidade com qualquer tipo de rede, essa sobre camada se situa acima da camada transporte das redes que se servem do perfil de protocolos TCP/IP. Como ilustrado na Figura 2, as camadas abaixo da camada de agregação são definidas de acordo com a conveniência do ambiente de comunicação de cada região, podendo ser específicas para cada região englobada pela DTN.

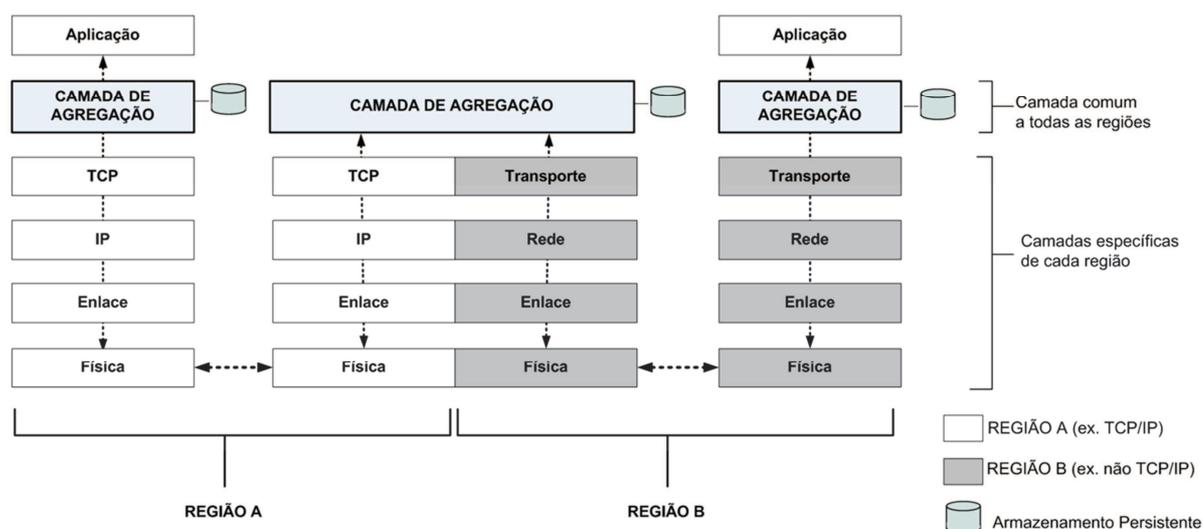


Figura 2: Arquitetura DTN

As aplicações das DTNs enviam mensagens de tamanhos variáveis chamadas de unidades de dados da aplicação (*Application Data Units - ADUs*). As mensagens são transformadas pela camada de agregação em uma ou mais unidades de dados de protocolo (*Protocol Data Units - PDUs*) denominadas agregados (Bundles), que são armazenados e encaminhados pelos nós DTN. Cabe ressaltar que o termo agregado foi escolhido para ser usado em DTN, ao invés de transação para evitar a associação a algum tipo de interatividade [Cerf et al., 2001], que é ineficaz em ambientes de longos atrasos e frequentes desconexões. Assim, nesses ambientes, por exemplo, o pedido de transferência de um arquivo pode ser enviado contendo os dados necessários para a autenticação do usuário (ex. login/senha), o nome do arquivo desejado e o diretório local onde o arquivo deve ser entregue. Todas essas informações são “agregadas” e enviadas de uma única vez, evitando diversas trocas de mensagens que são realizadas numa transferência de arquivos realizada em uma rede TCP/IP convencional. Como será visto múltiplas cópias do mesmo agregado, podem existir simultaneamente em diferentes partes da rede, tanto na memória local de um ou em mais nós DTN quanto em trânsito entre os nós.

Dependendo das características da rede regional atravessada, pode ser necessário reduzir o tamanho do agregado para que ele possa ser encaminhado. As funções de fragmentação e reagrupamento do agregado são executadas pelo protocolo de agregação. Após a fragmentação, cada fragmento continua sendo visto como um agregado que pode ser

fragmentado outras vezes. Dois ou mais fragmentos podem ser reagrupados em qualquer lugar da rede, formando um novo agregado.

Um desafio comum a todas as categorias de DTN é o roteamento, pois é preciso projetar protocolos capazes de superar os problemas dos atrasos extremamente longos e das frequentes desconexões, já que os protocolos convencionais não estão aptos a manipular eficientemente a transmissão de dados em DTNs. É importante observar que em algumas DTNs é necessário determinar rotas na rede, sem que exista um caminho fim-afim entre a fonte e o destino no momento do cálculo da rota.

2.3.2 - ROTEAMENTO EPIDÊMICO

Dentre os protocolos em que os cenários são estocásticos, o roteamento epidêmico é considerado a primeira proposta para redes caracterizadas por frequentes desconexões e conectividade intermitente (Vahdat e Becker, 2000). É um protocolo de roteamento estocástico, porque suporta a entrega eventual de mensagens a destinos arbitrários com suposições mínimas relativas ao conhecimento da topologia de rede. As técnicas eficientes garantem a entrega de mensagens, até mesmo quando não existe um caminho totalmente conectado entre a fonte e o destino. Assim, esse protocolo pressupõe que um nó fonte não conhece onde o nó de destino está localizado, nem mesmo sabe qual a melhor rota para alcançá-lo.

A ideia é que a mobilidade dos nós na rede possibilite que eles entrem no alcance de transmissão uns dos outros periodicamente e, o mais importante, de maneira aleatória. Logo, a mobilidade dos nós é utilizada como solução para a entrega de mensagens, ao invés de ser tratada como um problema que precisa ser superado na rede. Somente a conectividade periódica nó-a-nó é necessária para assegurar a entrega de mensagens eventuais. Quando dois nós iniciam um contato, são trocadas listas com informações que identificam as mensagens armazenadas em cada nó. Essa troca é realizada para que o nó determine quais as mensagens existentes no buffer do nó vizinho que ele ainda não possui. Depois que as mensagens são identificadas, cada nó solicita o envio das cópias das mensagens que ainda não possui. O processo de troca de mensagens se repete toda vez que um nó entra em contato com um novo vizinho, o que permite que as mensagens sejam rapidamente distribuídas pelas partes conectadas da rede. Assim, quanto mais cópias de uma mesma mensagem forem

encaminhadas na rede, maior será a probabilidade da mensagem ser entregue e menor será o atraso.

2.3.3 - ROTEAMENTO BASEADO EM ESTIMATIVA

Enquanto os nós no roteamento epidêmico e suas variantes encaminham mensagens para todos ou para alguns nós vizinhos, os nós no roteamento baseado em estimativa calculam a chance (probabilidade) de eventualmente alcançarem um destino. Baseado nessa estimativa, um nó é capaz de decidir para qual ou quais nó(s) encaminhar uma mensagem e o melhor momento para fazê-lo. Alguns protocolos baseados em estimativa utilizam somente a informação do próximo salto para tomar as decisões de roteamento, enquanto outros protocolos se baseiam em métricas fim-a-fim para tomar essas decisões.

2.3.4 - ROTEAMENTO BASEADO EM MODELO

A movimentação dos nós, nos cenários estocásticos apresentados até agora, não segue nenhum padrão determinado. Ou seja, nos protocolos apresentados anteriormente, nenhum nó possui qualquer conhecimento específico sobre as trajetórias dos outros nós. Ao contrário desses protocolos, no roteamento baseado em modelo tenta-se modelar a movimentação dos nós na DTN. Por exemplo, cada nó pode descrever seu padrão de mobilidade e, dessa forma, o encaminhamento pode basear-se nessas informações e enviar a mensagem para os nós que possuem uma maior probabilidade de se mover em direção ao destino.

2.3.5 TIPOS DE CONTATOS

Em DTNs não é assumido que todos os nós são alcançáveis e podem ser contatados a qualquer instante. Essa característica das DTNs contrasta fortemente com o que é assumido para a Internet convencional, a qual considera que as entidades comunicantes estão sempre alcançáveis. Por isso, um conceito importante que deve ser considerado na arquitetura DTN é o de contato. Um contato corresponde a uma ocasião para os nós trocarem dados. A arquitetura DTN classifica os contatos em: persistente, sob demanda, programado, oportunista e previsível. Possibilidades de falhas sempre existem para qualquer tipo de contato. Porém, dependendo do tipo de contato, as falhas podem ser mais frequentes, como é o caso dos

contatos previsíveis. Os cinco tipos de contatos são persistentes, sob demanda, programados, previsíveis e oportunistas.

- **CONTATOS PERSISTENTES**

Os contatos persistentes são aqueles que estão sempre disponíveis. Uma conexão internet sempre disponível como a *Digital Subscriber Line* (DSL) é um exemplo de contato persistente.

- **CONTATOS SOB DEMANDA**

Os contatos sob demanda são aqueles que requerem alguma ação para que sejam instanciados, mas que, uma vez acionados, funcionam como contatos persistentes até serem encerrados. Do ponto de vista do usuário, uma conexão discada pode ser vista como um exemplo de contato sob demanda. Outro exemplo de contato sob demanda é em redes de sensores que requerem o envio de uma mensagem específica para “acordar” os sensores que estão dormindo.

- **CONTATOS PROGRAMADOS**

Em algumas *DTNs*, uma agenda de contato pode ser preestabelecida entre dois ou mais nós antes que ocorra a troca de informações. O horário e a duração de cada contato são estabelecidos previamente entre os nós comunicantes. Por isso, esse tipo de contato estabelecido é denominado contato programado. Uma característica das redes com contatos programados é a exigência de uma sincronização do tempo na rede para que a troca de informações seja realizada com sucesso.

- **CONTATOS PREVISÍVEIS**

Os contatos previsíveis são aqueles nos quais os nós podem fazer previsões sobre o horário e a duração dos contatos com base em históricos de contatos previamente realizados. Ao contrário dos contatos programados, os contatos previsíveis possuem certo grau de incerteza do contato. Assim, algumas rotas da origem ao destino podem ser previstas, mas possuem alguma incerteza em relação à sua ocorrência, horário ou duração. Dado um nível de segurança suficiente, as rotas podem ser escolhidas baseadas nas informações de experiências passadas.

Esse tipo de rede vem sendo utilizado para oferecer acesso à Internet com baixo custo para habitantes de áreas remotas que não são atendidas a contento pelas atuais tecnologias de rede (KioskNet, 2007).

- **CONTATOS OPORTUNISTAS**

Os contatos oportunistas ocorrem diante de encontros não previamente programados entre os nós. Esse tipo de contato tem como objetivo obter vantagens de contatos realizados totalmente ao acaso para realizar a comunicação com qualquer nó que esteja fora do alcance de um nó fonte. Assim, utiliza-se a capacidade dos nós se comunicarmos localmente com os seus vizinhos para criar possibilidades de comunicação com outros nós que estão fora do alcance. Essa é uma característica inédita que não existe similar na Internet convencional. O conceito de contato oportunista permite comunicação entre nós na qual em nenhum momento existe um caminho inteiramente conectado entre eles, o que inviabiliza a comunicação na Internet convencional. Geralmente, os nós que estabelecem contatos oportunistas desconhecem qualquer informação acerca do estado, da localização ou dos padrões de mobilidade dos outros nós. Além disso, os nós são autônomos, o que significa que cada nó possui um controle independente de si mesmo e de seus movimentos.

2.4 – BLUETOOTH EM REDES DTN

O *Bluetooth* é uma tecnologia de comunicação sem fio que permite que computadores, *smartphones*, *tablets* e afins troquem dados entre si e se conectem a mouses, teclados, fones de ouvido, impressoras e outros acessórios a partir de ondas de rádio. A ideia consiste em possibilitar que dispositivos se interliguem de maneira rápida, descomplicada e sem uso de cabos, bastando que um esteja próximo do outro.

Bluetooth é um padrão global de comunicação sem fio e de baixo consumo de energia que permite a transmissão de dados entre dispositivos, desde que um esteja próximo do outro. Uma combinação de hardware e software é utilizada para permitir que este procedimento ocorra entre os mais variados tipos de aparelhos. A transmissão de dados é feita por meio de radiofrequência, permitindo que um dispositivo detecte o outro, independente de suas posições, sendo necessário apenas que ambos estejam dentro do limite de proximidade (a princípio, quanto mais perto um do outro, melhor). A Figura 3 mostra a pilha de protocolos utilizados para tecnologia Bluetooth.

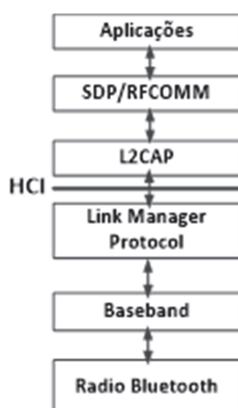


Figura 3: Pilha de Protocolos Bluetooth

Radio frequency communications (RFCOMM) é o protocolo de substituição de cabo usado para criar uma porta serial virtual para fazer com que a substituição de tecnologias de cabo seja transparente através de mínimas modificações a dispositivos existentes. RFCOMM provê transmissão de dados binários e emula os sinais de controle do EIA-232 (também conhecido como RS-232) sobre a camada *Baseband Bluetooth*.

Diante disso, este trabalho tem como ciência de contexto a possibilidade de realizar transmissões de dados associadas a serviços para dispositivos móveis, através da tecnologia de comunicação sem fio em especial a Bluetooth com a camada de convergência

O Bluetooth não é dependente do IP; isso permite que as implementações de dispositivos para DTN não se preocupem com problemas de camadas superiores, tais como máscara de rede, configuração automática, alocação de endereços.

A baixa potência limita o alcance de um dispositivo Bluetooth a aproximadamente 10 metros, reduzindo a possibilidade de interferência entre seu sistema de computador e seu telefone portátil ou televisão. Mesmo com essa baixa potência, o Bluetooth não precisa ser apontado diretamente entre os dispositivos que se comunicam, assim possibilitando uma alta taxa de contatos oportunistas, aumentando a descoberta de contatos DTN (17, LAYTON, 2009).

2.5 - ESTADO DA ARTE DAS ARQUITETURAS DTN

Existem diferentes implementações da arquitetura DTN, cada uma com suas particularidades e cenários de aplicação. Esta seção descreve as três principais arquiteturas DTN e suas implementações disponíveis, ou seja, DTN2 (DTNRG, 2007), Bytewalla (B.

project, 2014) , e IBR - DTN (D. Michael, L. Sven, M. Johannes, & W. Lars, September, 2008)

- **DTN2**

A implementação DTN2 tem um abrangente conjunto de funcionalidades, entre elas a API do aplicativo, suporte para custódia, apoio inicial para alguns do protocolo DTN; uma série de camadas de convergência, incluindo TCP e LTP (*Licklider Transport Protocol*) e uma extensa coleção de protocolos de roteamento, incluindo o roteamento estático, Flood ou roteamento epidêmico, Prophet, DTLSR, e TCS (*Tetherless Computing Architecture*).

O DTN2 usa armazenamento persistente para manter o estado em que do daemon é interrompido para que pacotes e outras informações sejam recarregados na reinicialização. Vários mecanismos de armazenamento podem ser configurados, incluindo único sistema de arquivos Berkeley DB - básico (*key, value*) mecanismo de memória, interface ODBC para bancos de dados SQL apoio SQLite versão 3 e MySQL versão 5.x, inclui alguns exemplos de aplicações como: ping, dtncp, dtncpd, um cliente DTN, transferência de arquivos e servidor. Também há uma interface para o loop, principal evento em DTN2 que permite vários componentes externos a serem executados em processos de comunicação, utilizando um protocolo baseado em XML.

No DTN2 foi implementado uma plataforma com as funcionalidades básicas DTN, seguindo o padrão da RFC 5050 e incorporando os componentes de conexão da arquitetura. Ainda assim, não fornece uma versão para smartphone Android com suporte para comunicação nó-a-nó usando Bluetooth e não possui um mecanismo para compressão de pacotes DTN para que transmissões oportunistas aconteçam com maior eficiência. Essas características, conseqüentemente, não estendem às capacidades dessa aplicação da arquitetura DTN, a ser empregada em áreas rurais isoladas.

- **BYTEWALLA**

Bytewalla é uma solução DTN para conectar áreas rurais e remotas para a World Wide Web. Com a evolução da Internet, tornou-se o um importante ferramenta para conectá-los ao mundo. Cidades densas e cidades pouco povoadas não tem nenhum problema para serem conectadas à internet, onde a infraestrutura necessária para a conectividade pode ser facilmente implementada, apesar de fornecer infraestrutura de internet para áreas rurais,

combinados com uma série de complicações, como alto risco de implantação, custo e restrições ambientais.

O projeto Bytewalla foi desenvolvido para fornecer conectividade para comunidades rurais por meio de telefones Android que transportam uma implementação do protocolo DTN Bundle. Em termos gerais, a falta de uma ligação entre uma zona rural sem acesso à Internet e uma cidade com conectividade com a Internet é substituída por uma mula de DTN de dados, ou seja, uma pessoa que carrega o celular com Android entre duas extremidades. Quando a mula está na zona rural recebe um conjunto de pacotes a partir do servidor de conteúdos através de uma 802.11 AP, e quando chega à cidade, irá se conectar com os gateways APs para fazer o upload dos dados recebidos. No entanto, Bytewalla não suporta comunicação nó-a-nó e não usa o Bluetooth como uma forma de permitir que o conteúdo a ser divulgado em comunidades ribeirinhas isoladas. Além disso, não implementa uma API ou uma estrutura que permite trabalhar com Bluetooth (no contexto de Bytewalla, esta tecnologia apenas é utilizada para a descoberta vizinho). Finalmente, essa arquitetura de implementação DTN requer o módulo de compressão Bundle para tirar o máximo proveito dos contatos que acontecem entre os dispositivos, o qual será utilizado pelas pessoas que atuam ou residem nessas comunidades.

- **IBR-DTN**

IBR - DTN foi inicialmente projetado para dispositivos embarcados, como roteadores e, mais tarde, foi estendido para a plataforma móvel Android. Tal como acontece nas implementações das arquiteturas DTN mencionadas acima, IBR - DTN só permite a troca de informações através de pontos de acesso, utilizando o seu módulo Wi-Fi, mesmo que tenha uma arquitetura modular com recursos, não tira proveito da comunicação nó-a-nó usando Bluetooth. O IBR - DTN deve ser estendido para permitir a comunicação Bluetooth e fornecer um mecanismo para comprimir os dados durante a troca de informações.

As implementações acima das arquiteturas DTN têm limitações no cenário, tendo como alvo comunidades ribeirinhas isoladas. As arquiteturas acima necessitam de algum nível de infra-estrutura de rede para permitir a troca de dados entre os nós, pois essa não é a realidade em tais locais. Além disso, não consideram o uso da tecnologia Bluetooth ou não oferecem suporte a essa tecnologia para a plataforma Android, o que também dificulta a implantação dessas implementações de arquitetura DTN nas comunidades alvo.

Entre essas implementações, IBR - DTN se destaca, uma vez que foi desenvolvido em módulos. Isso permite a implementação de ser facilmente estendido para os nossos propósitos:

- i) a definição de um módulo de BCL para fornecer comunicação nó-a-nó usando Bluetooth;
- ii) a implementação de um esquema de compressão do Bundle DTN para fazer o melhor uso de contatos oportunistas, proporcionando um menor tempo de transferência de Bundles .

CAPÍTULO 3

AMAZONSOCIALDTN

3.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo descrevemos a nossa proposta AmazonSocialDTN, os módulos da arquitetura IBR-DTN e como estes interagem entre si. A solução proposta visa estender essa arquitetura para dar suporte à tecnologia IEEE 802.15 com o intuito de promover a inclusão digital em áreas desprovidas de infraestrutura sem fio. Este capítulo também apresenta a descrição dos componentes da BCL e o módulo de compressão da Bundle.

3.2- AMAZONSOCIALDTN

A necessidade de promover mecanismos que forneçam serviços de comunicação em redes tolerantes a atrasos e desconexões, a fim de prover disponibilidade de acesso a conteúdos, que possam possibilitar o acesso ao conhecimento, motivou a elaboração deste trabalho. Aplicações na área de educação, o acesso a conteúdos relacionados a um tema de aprendizado pode ser facilitado por esta plataforma, provendo aos usuários vídeos, áudio e textos que enriqueçam o aprendizado. Usuários de dispositivos móveis podem utilizar a plataforma desenvolvida para compartilhar informações diretamente entre si, valendo-se de mecanismos de entrega eficientes para facilitar o compartilhamento dos dados.

A fim de atingir os objetivos citados, este trabalho propõe uma plataforma de comunicação de redes tolerantes a atrasos e desconexões, a qual contempla uma camada de convergência que possa a ser utilizada em dispositivos móveis através de tecnologias de transmissão sem fio, em especial as tecnologias Bluetooth. Essa plataforma deve ser capaz de:

- Gerenciar informações sobre os endereços de destino, seus tipos de roteamento;
- Tomar decisões de entrega de conteúdo a um usuário em um dado momento e lugar;
- Trocar informações com maior número de dispositivos móveis possível, fornecendo conteúdo aos usuários;

- Descentralizar o fornecimento dos conteúdos de um usuário;
- Realizar a compressão dos dados para transmitir mais em menos tempo;
- Utilizar comunicação oportunista para fornecer conteúdos.

Em suma, propõe-se uma arquitetura que seja compatível com dispositivos móveis Android, forneça serviços segundo as características dos usuários das regiões amazônica dos dispositivos comumente utilizados e cenários em que ocorre a interação entre os usuários. A fim de atender aos requisitos mencionados anteriormente, é necessário que a proposta apresente uma arquitetura capaz de adequar-se à escalabilidade dos serviços oferecidos e à possibilidade de transmissão utilizando diversas tecnologias de comunicação sem fio.

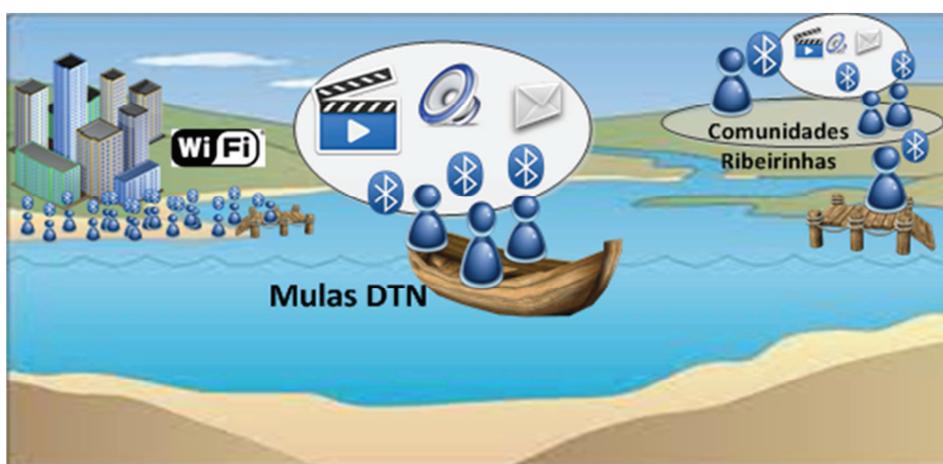


Figura 4: Cenário da comunidade ribeirinha na Amazônia

Uma solução para redes tolerantes a atraso e desconexões pode servir como alternativa para o auxílio à inclusão digital de pessoas que ainda estão às margens da sociedade, sem informações e muitas vezes sem possuir certo nível de conhecimento, embora possuindo algum tipo de dispositivo móvel como um celular/smartphone. A AmazonSocialDTN é uma solução que aproveita o contato oportunista entre pessoas, levando informações para áreas onde não há nenhuma infraestrutura de rede sem fio. Alguns exemplos podem ser encontrados nas comunidades ribeirinhas da Amazônia, onde é possível observar diversas pessoas possuindo dispositivos móveis, embora sem nenhuma conexão de rede, muitas vezes por trabalharem em uma área urbana e precisam retornar para suas comunidades pode ser uma maneira de levar algum tipo de informação para sua vizinhança, que não tem o contato com as áreas urbanas. Contudo, o AmazonSocialDTN possibilita o provisionamento de serviços de conteúdos informativos, levando em consideração o fato de que as pessoas podem permanecer

em um mesmo local durante um tempo. Isso pode acontecer em transportes públicos como barcos, pequenos ônibus, onde várias pessoas viajam próximas às outras e com um tempo de permanência acima de 30 minutos. Com o AmazonSocialDTN pode-se aproveitar tecnologias de curto alcance como o Bluetooth para a troca de informações. Além disso, há também a possibilidade dessas interações ocorrerem em outros ambientes como: trabalho, escolas, portos e entre moradores das comunidades.

A proposta do AmazonSocialDTN estende a arquitetura IBR-DTN com uma camada de convergência que usa a tecnologia sem fio Bluetooth, com a finalidade de se transmitir Bundles com vídeo aulas, livros de áudio e textos que podem trazer à população conteúdos educacionais, de saúde e de segurança.

Aplicações como vídeos e áudios podem ser transmitidas usando a AmazonSocialDTN, onde esta irá utilizar a técnica de DTN para adicionar o conteúdo em Bundles separados para poder facilitar a transferência quando ocorrer um contato oportunista. Tais conteúdos geralmente possuem grande quantidade dados e, neste caso, assumimos que foram utilizados vídeos de curta duração e no formato para celulares como o formato 3GP (*Third Generation Partnership Project*) e com resolução do vídeo de 480x800 pixels. Para vídeos educacionais curtos, como providos pela Khan Academy, de 2 a 3 minutos, Codec (Encode and Decode) MEncoder, é possível obter um tamanho final dos arquivos variando entre 5 a 10 MB de dados. Na compressão de áudio foi utilizado o formato MP3 (*MPEG-1/2 Audio Layer 3*), onde para 30 segundos as taxas de compressão alcançadas pelo MP3 chegam a até 12 vezes, dependendo da qualidade desejada assim assumimos 128 kbps teremos um arquivo de 3MB. Para mensagens de textos informativos colocamos como padrão 100KB.

Para esses tipos de aplicações que necessitam de um tempo maior para sua transmissão e armazenamento, conseqüentemente os contatos oportunistas podem não ser suficientemente demorados para se transmitir todo o conteúdo necessário. Dessa forma, um módulo de compressão de dados foi proposto, visando um melhor desempenho na entrega de mais Bundles por instante de tempo.

3.3- ARQUITETURA IBR-DTN

O AmazonSocialDTN estende a arquitetura IBR-DTN com a finalidade de possibilitar uma conexão DTN entre nós de curto alcance utilizando a tecnologia Bluetooth. Dessa forma, em nossa proposta, o módulo BCL é embutido no módulo Connection Manager. Com isso, permite-se com que os módulos externos tenham acesso aos recursos da BCL. A Figura 5

mostra os componentes IBR- DTN juntamente com a BCL, onde mais detalhes sobre os módulos dessa arquitetura, interfaces e parâmetros podem ser encontrados [3]. Para um bom entendimento do projeto, assumimos o Agente AmazonSocialDTN que controlará o módulos de provenientes da Bluetooth Convergence Layer, Gerenciador de Conexões e Gerenciador de mídia e todos os eventos provenientes da arquitetura IBR-DTN serão gerenciados por uma fila de eventos no dentro do módulo EventSwitch, incluindo os chamados provenientes do Agente AmazonSocialDTN e outros componentes.

O módulo Connection Manager é onde nossa proposta está embutida. Nesse módulo estão implementadas as camadas de convergências como: TCPCL, UDPCL e a nossa proposta BCL. Este tem como objetivo fornecer conectividade entre Daemons. Quando o Connection Manager for acionado, as camadas de convergência serão instanciadas em *back-end* para transferir pacotes para nós vizinhos. Se a transferência for bem ou mal sucedida, um evento é gerado para os módulos Base Router, Bundle Storage e Discovery Agent. A BCL será explicada em detalhes, junto com o módulo de compressão de dados na próxima subseção.

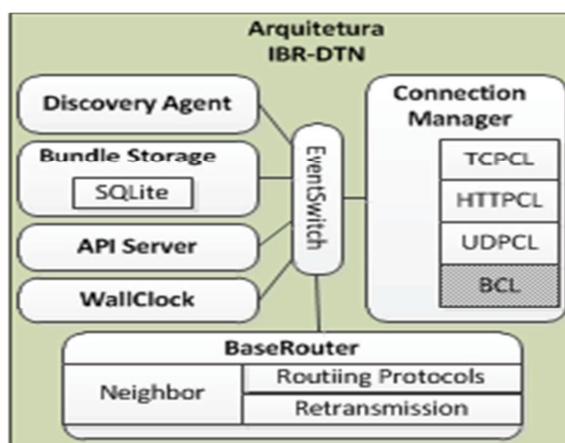


Figura 5: Componentes da Arquitetura IBR-DTN

3.4-AGENTE AMAZONSOCIALDTN

O agente AmazonSocialDTN, como mostrado na Figura 5, possui 5 módulos: Gerenciador de Conexão, Gerenciador de Mídia, módulo de Roteamento, módulo System Storage, BCL (Bluetooth Convergence Layer).

O módulo Agente AmazonSocialDTN é núcleo da proposta e é representado por um conjunto de eventos enfileirados que tem por finalidade organizar as requisições iniciadas pelos componentes internos e permitir sua comunicação com a arquitetura IBR-DTN e todos

os seus sub-módulos. Com essa técnica, de enfileirar eventos, permite-se a sincronização dos eventos do IBR-DTN e também permite que as duas aplicações possam trabalhar em paralelo assim obtendo um grau elevado de concorrência entre os módulos Daemons. Novos módulos, ou módulos já embutidos na arquitetura, podem receber e gerar eventos para se comunicar com outras partes do Daemon. Os componentes internos serão descritos e suas funções, junto à fila de eventos.

- Gerenciador de Conexão

O Gerenciador de Conexão é o componente onde o Bundle irá requisitar os parâmetros de comunicação importantes como: TTL do Bundle, número de saltos da mensagem, o EIDs (*Endpoint Identifier*), tamanho do Buffer do dispositivo, tempo de descoberta do Bluetooth, parâmetros necessários para o módulo de roteamento. Após esse processo de configuração o agente AmazonSocialDTN iniciará o *Daemon (Disk And Execution Monitor)* da BCL, assim podendo transferir Bundles e receber de seus nós vizinhos através do Bluetooth.

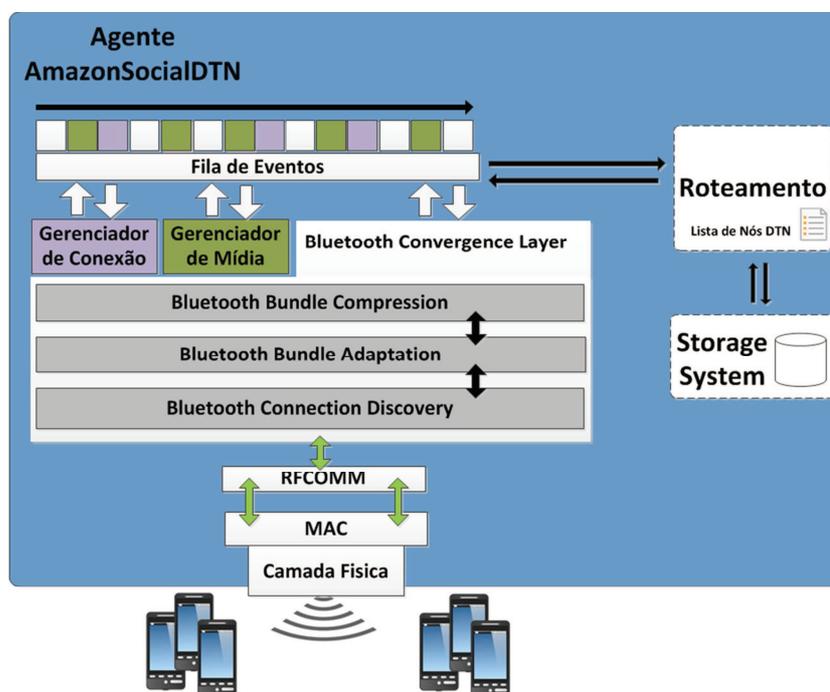


Figura 6: Componentes do agente AmazonSocialDTN

- Gerenciador de Mídia

O gerenciador de mídia responsável por adicionar arquivos em formatos de vídeos, áudio e textos ficam encapsulados nos Bundles. Também poderão ser abertos com seu formato original e não codificado ou comprimido; além disso, será onde poderemos observar se existe algum Bundle em minha custódia; a descompactação será permitida se for necessário. Informações de envio de um Bundle, como por exemplo: a mudança específica de EIDs para um Bundle e sua TTL para um determinado tempo.

- Módulo Storage System

Levando em consideração o paradigma *store-carry-and-forward* de DTN, é necessário o armazenamento dos pacotes em um Buffer por um período de tempo prolongado. Desta forma, o módulo Storage System fornece uma interface para armazenar e recuperar os pacotes, através dos identificadores únicos chamados de EIDs. Existem três tipos diferentes de armazenamento na arquitetura que são listados abaixo:

- Memória: esse armazenamento não persistente é usado por padrão quando nenhum caminho de armazenamento está pré-definido. Todos os pacotes são guardados em memória RAM. No presente caso, o módulo BCL utiliza esse recurso para aumentar o desempenho da descoberta de nós DTN, mantendo uma lista rápida de nós para aproveitar o contato oportunista;

- Armazenamento baseado em arquivo: a BCL usará o armazenamento persistente baseado em arquivo simples quando as requisições de armazenamento dos Bundles forem serializadas para o disco. A funcionalidade é equivalente ao armazenamento na memória, sendo assim, os pacotes estariam armazenados quando houvesse falhas de energia, consequentemente diminuindo a quantidade de memória usada pela *Daemon*;

- SQLite: esse banco de dados foi utilizado no módulo BCL para armazenar informações como metadados e informações obtidas com o uso das aplicação, sem modificar informações de outras partes do *Daemon*.

- Módulo de Roteamento

No AmazonSocialDTN, o módulo de roteamento foi adicionado para gerenciar protocolos de roteamento e receber ou encaminhar Bundles. Quando um Bundle é recebido sua informações serão computadas como métricas de roteamento como uma lista de EIDs e depois será encaminhado para o armazenamento persistente, nesse caso, Storage System. Uma

vez que o módulo de roteamento recebe as requisições do modulo BCL e identifica um nó para encaminhar utilizando o Bluetooth, este permite a transferência de dados para o próximo salto. Em nossa proposta foi utilizado roteamento epidêmico já implementado na arquitetura IBR_DTN, que possui a característica de transferir todos os pacotes para todos os nós, assim podendo garantir a eventual entrega de um determinado pacote. Nossa solução foi atribuída à possibilidade de limitar a quantidade de saltos para um melhor gerenciamento do espaço de armazenamento.

- Bluetooth Convergence layer

O módulo Bluetooth Convergence Layer foi estendido na arquitetura IBR-DTN para proporcionar comunicação Bluetooth e compressão dos Bundles, assim é possível proporcionar a troca de dados entre dispositivos, através das características *stored-carry-and-forward* baseada no paradigma de transmissão DTN utilizando os pacotes Bundles e a tecnologia Bluetooth. A Figura 6 mostra os três principais componentes do BCL: Bluetooth Connection Discovery, Bluetooth Connection Adaptation e Bluetooth Compression Control. Todos os componentes terão suas características para interagir entre as camadas superior e inferior que contemplam o Bluetooth.

- Bluetooth Connection Discovery

O módulo Bluetooth Connection Discovery, através do método *inquirir*, é responsável por descobrir os nós participantes DTN no alcance de transmissão Bluetooth. A arquitetura explora o modo de encaminhamento ponto-a-ponto para prover transmissões em redes DTN (*Delay Tolerant Network*). Ao prover o encaminhamento de objetos de transmissão, chamados Bundles, questões de segurança seguem às especificações da RFC 6257 de segurança para protocolo Bundle, bem como a confidencialidade e a autenticação das informações são consideradas no projeto.

Uma das características do módulo Bluetooth Connection Discovery é sua capacidade de permitir que os nós DTN se conectem de modo promiscuo possibilitando à análise dos pacotes de dados (usando um *sniffer*) de rede entre si, assim não necessitando de PIN (*Personal Identification Number*) para o pareamento Bluetooth, aumentando as chances de

contatos oportunistas. Um nó DTN embute em um Bundle e transmite um conjunto de dados de controle, informações de TTL, número de saltos, número de cópias e destino para outro nó juntamente com o conteúdo inserido no Bundle. Para identificação de seus destinatários, é utilizado seu endereço MAC Bluetooth como EIDs.

Um nó, que num dado momento detém um conteúdo pendente para transmissão, realiza *inquiries* periódicos para buscar os dispositivos próximos. Nessa busca, verifica-se se o endereço MAC Bluetooth de algum dos dispositivos encontrado é o do destino. Caso seja, transmite-se o conteúdo para o destinatário, utilizando RFCOMM.

O protocolo RFCOMM (BLUETOOTH SIG, 2003) faz a emulação de portas seriais sobre o protocolo L2CAP. De acordo com a sua especificação, é capaz de suportar até 60 conexões simultâneas entre 2 dispositivos com Bluetooth. Contudo, o número real de conexões simultâneas suportadas depende da implementação do protocolo existente em cada dispositivo. Como uma de suas características, o protocolo RFCOMM pode ser utilizado para fornecer um caminho de comunicação entre dois dispositivos. Esse caminho envolve duas aplicações executando (uma em cada dispositivo) e um segmento (*link*) de comunicação.

Analisando a finalidade do protocolo RFCOMM, é possível observar que é capaz de permitir a transmissão de fluxos sequenciais de dados entre dispositivos. Dessa forma, ele pode ser utilizado em aplicações da plataforma proposta nesta dissertação para o envio ou recebimento de dados.

A principal vantagem de se utilizar esse protocolo está no fato dele ser suportado pela maioria dos dispositivos móveis atuais, ao contrário do protocolo L2CAP, que não é acessível em nível de programação em muitas implementações da pilha de protocolos Bluetooth. Além disso, RFCOMM não apresenta um grande *overhead* se comparado com protocolos construídos sobre por exemplo, OBEX e PPP. Essas informações serão encaminhadas para o componente Bluetooth Bundle Adaptation sobre os nós descobertos. Em seguida, o componente irá receber a informação uma lista de nós DTN gerada pelo Bluetooth Connection Discovery para verificar se existe a *Flag* de controle de compressão para encaminhar ou receber os Bundles do componente Bluetooth Bundle Compression. Quando o recebimento é acionado pelo roteamento, o módulo Bluetooth Bundle Adaptation ajusta todos os pacotes a serem divulgados através de conexões Bluetooth, incluindo a gestão de endereços Bluetooth. Finalmente, o controle de compressão Bluetooth compacta todos os Bundles e envia a requisição para o armazenamento no Storage System, onde será necessário o armazenamento persistente de um novo Bundle antes de sua transmissão.

O controle de descoberta de nós ocorre a cada 10 segundos. A configuração pode ser alterada no componente gerenciador de conexão; tais informações obtidas por esse componente cria o *Handshake* entre os nós DTN para poder requisitar as informações que o módulo *Adaptation* irá utilizar em nossa proposta, o módulo responsável para obter essa informação é *Bluetooth Connection Discovery* (BCD). O componente gera eventos relacionados à descoberta ou desaparecimento de nós vizinhos. Quando um novo vizinho é detectado pelo componente BCD, os componentes de roteamento irão verificar se existem pacotes a serem transferidos para o novo nó recém-encontrado.

- Bluetooth Bundle Adaptation

O módulo *Bluetooth Bundle Adaptation* organiza os dados a serem transferidos em pacotes (incluindo a gestão de endereços). Dessa forma, interage com o protocolo de roteamento Epidêmico para entregar os pacotes usando as interfaces Bluetooth e não Wi-Fi como nas soluções atuais DTN. Este módulo poderia ser implementado juntamente com quaisquer outros protocolos, como o *dLife* (Moreira, 2013) que foi utilizado na implementação do *SocialDTN*, que é uma solução para a transmissão de dados utilizando o contexto social (Moreira, 2013). Após isso, poderia enviar os pacotes para o módulo *Bluetooth Bundle Compression* para compactá-los (incluindo *payload* e blocos principais) antes de suas transmissões.

O sistema de armazenamento é responsável pelo Buffer e gerenciamento de pacotes para um período prolongado de tempo, seguindo o paradigma *store-carry-and-forward*. Esse componente é implementado usando sistemas baseados em arquivos, que permitem o armazenamento e a substituição de pacotes no sistema de armazenamento persistente de um smartphone, como um disco rígido ou um cartão Secure Digital (SD). Conforme apresentado anteriormente, depois de receber novos pacotes no sistema de armazenamento dispara-se um evento, que é transmitida pelo módulo de roteamento para definir rotas disponíveis.

- Bluetooth Bundle Compression

O módulo *Bluetooth Bundle Compression* é responsável por comprimir todos os pacotes, a fim de permitir a comunicação nó-a-nó, com melhor transmissão de dados durante uma oportunidade de contato (ou seja, redução do número de bytes utilizados em cada bloco *Bundle*). Essa funcionalidade é muito importante em cenários com períodos curtos de contato

e com tecnologias de baixa taxa de transmissão, tais como Bluetooth. Esse componente utiliza um algoritmo para armazenamento sem perdas: o *Algoritmo Deflate* é utilizado neste estudo, em função de conseguir um bom desempenho de identificação e eliminação de redundância estatística (P. Deutsch, May, 1996).

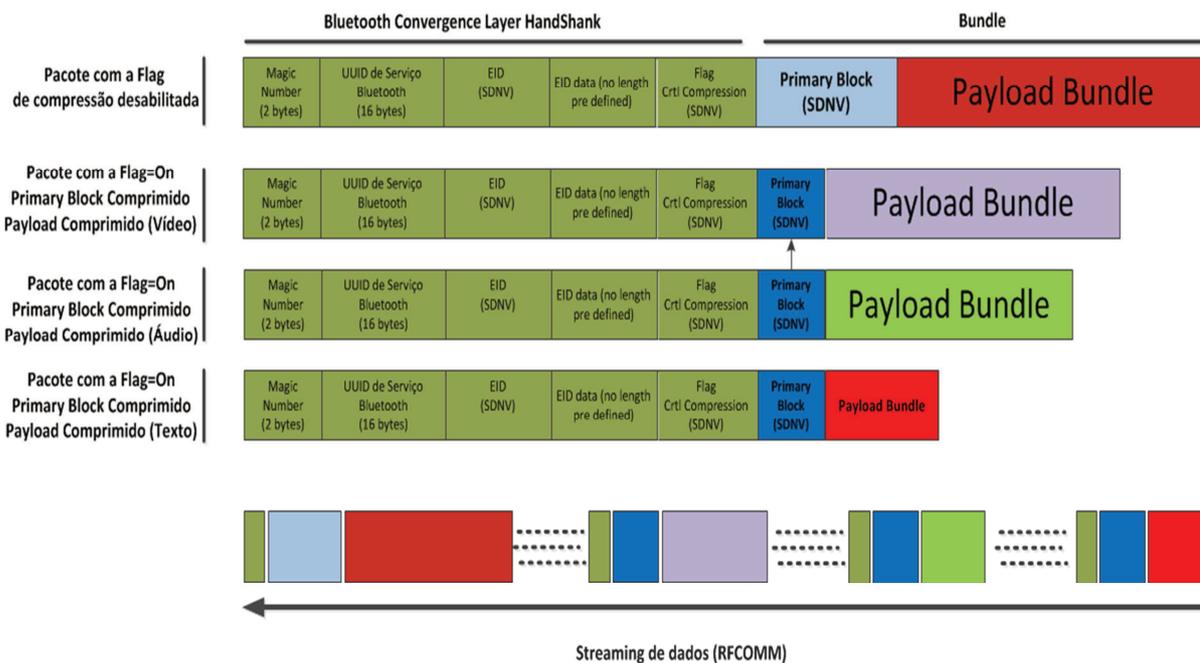


Figura 7: Streaming de dados comprimidos

Um grau de compressão do bloco é proporcionado pelo o tipo de carga e blocos primários. O primeiro contém os dados do aplicativo que é transportado pelo Bundle. Este é compactado, usando o algoritmo deflate. O bloco principal contém os nomes e as especificações dos EIDs, até oito EIDs são concatenados no final do bloco em uma matriz de caracteres de comprimento variável, chamado de dicionário. Isso permite que cada EID seja representado por um par de inteiros indicando os deslocamentos dentro do dicionário de nome dos EIDs.

A Figura 8 mostra os passos necessários para comprimir os dados. É utilizado diagrama de fluxo para mostrar os processos do módulo de compressão. Primeiro, um objeto Deflater é iniciado com nível de compressão predefinido. Um fluxo de entrada ou socket é chamado e aberto para cada arquivo. Ao mesmo tempo, um fluxo de saída de um arquivo é chamado para um arquivo de saída com o mesmo nome mais a extensão de três letras. O Deflate, em seguida, entra em um loop em que tenta ler pedaços de 1024 bytes de blocos de dados, embora se tenha o cuidado de não assumir que 1024 bytes são realmente lidos. Qualquer dado que é lido com sucesso é passado para o método que defini os dados de entrada. Os dados usam o método repetidamente e escrito para o fluxo de saída, até que o deflate indica que ele precisa de mais entrada. O processo repete-se em seguida até ao fim do

fluxo de entrada for atingido. Quando não houver mais entrada disponível, o método do deflater acaba a compressão. Em seguida, o método do Deflate é invocado repetidamente até que seu método retorna VERDADEIRO. Nesse ponto, o programa sai do loop de leitura infinito e se move para o próximo arquivo. No fluxograma é demonstrado essa sequência para um único arquivo.

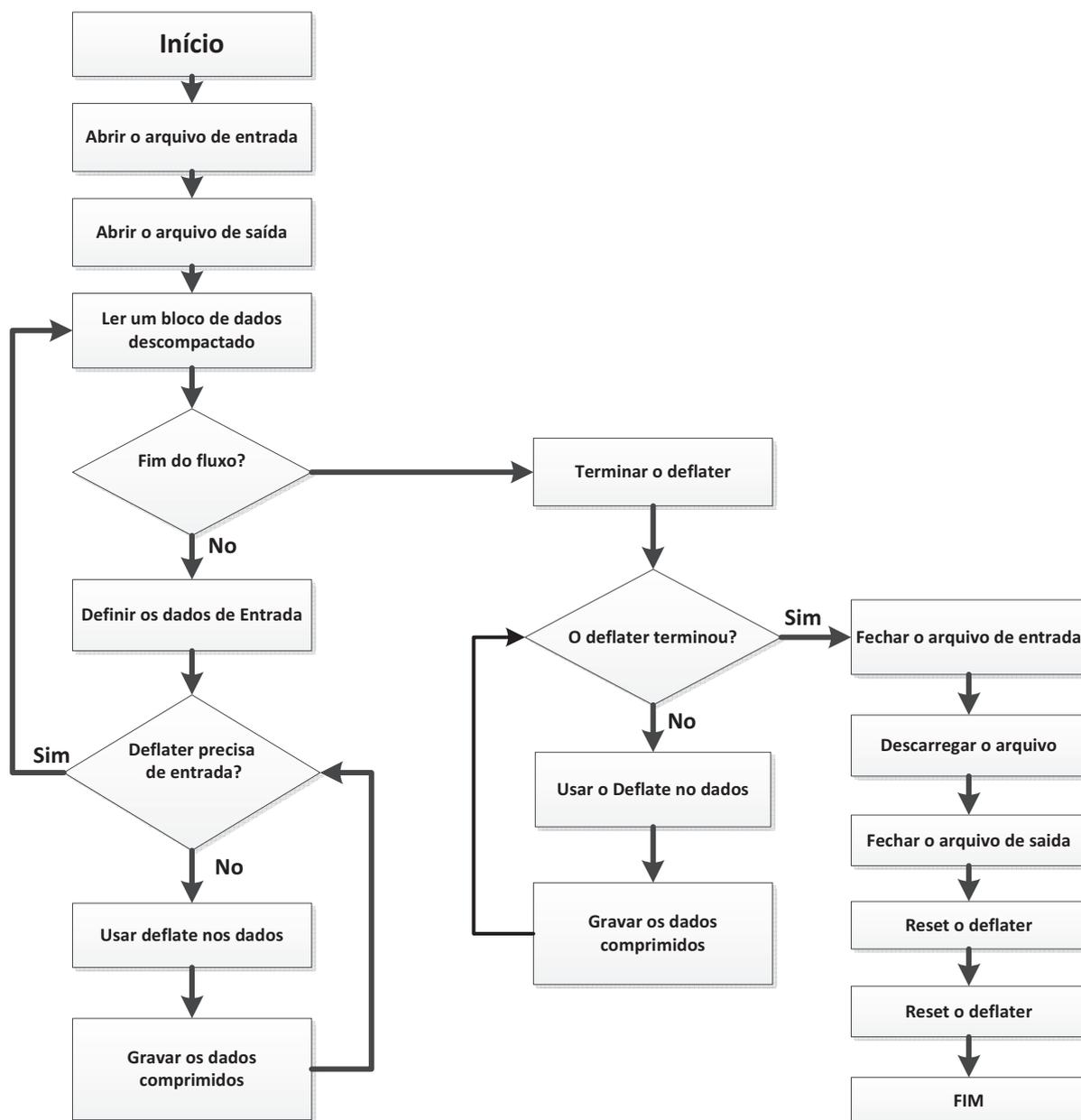


Figura 8: Compressão dos dados usando Deflate

Quando o comprimento total do dicionário é inferior a 127 bytes, todos os oito deslocamentos podem ser codificados em apenas oito bytes. No entanto, essas estratégias não

impedem os próprios componentes da especificação de serem longas sequências de texto ASCII. Portanto, ainda é possível para o comprimento do cabeçalho principal de um pacote, ser uma grande fração do comprimento total do pacote quando a carga útil do pacote é relativamente pequena.

Finalmente, após a realização dos esquemas de compressão, o controle de compressão Bluetooth BCL aciona o módulo de roteamento para iniciar o roteamento e o processo de entrega de dados aos nós DTN, usando Bluetooth.

O diagrama de atividades UML 2.0, na Figura 9, mostra como um aplicativo de inclusão digital (por exemplo, vídeos educativos ou livros de texto) pode ser entregue na AmazonSocialDTN estendida do IBR-DTN com apoio BCL. Depois de detectar todos os vizinhos DTN, o componente Bluetooth Connection Discovery cria um evento para o módulo Discovery Agent na Arquitetura do IBR-DTN e informa-o de todos os pares de Bluetooth no ambiente sem-fio de curto alcance. Esse procedimento é atualizado a cada 10 segundos a fim de manter o sistema informado sobre todos os nós DTN em uma determinada área. Esse parâmetro pode ser ajustado de acordo com os diferentes cenários ou aplicações. Se houver algum Bundle (armazenado e gerenciado pelo módulo Bundle Storage) a ser entregue a um conjunto de pares DTN (s), o protocolo de roteamento é acionado para iniciar a seleção de rota.

O componente responsável pelo roteamento pode ser configurado para controlar diferentes protocolos. Este trabalho considera apenas o roteamento epidêmico, adequado para serviços de inclusão digital em comunidades ribeirinhas onde o conteúdo deve ser entregue ao maior número de pessoas possível. Portanto, recebe-se eventos sobre chegada ou partida de nós DTN oriundos do componente Bluetooth Connection Discovery e notifica o protocolo de roteamento quando novos pacotes chegam no sistema de armazenamento. Se não houver um pacote a ser transmitido, a ligação é fechada.

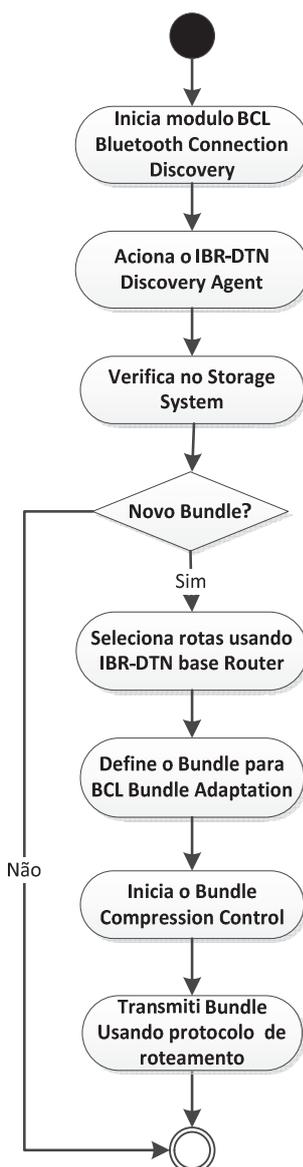


Figura 9: Transmissão da Bundle arquitetura IBR-DTN integrada AmazonSocialDTN

3.5 –CONCLUSÃO

Neste Capítulo apresentamos os requisitos e premissas para o funcionamento da nossa proposta AmazonSocialDTN e detalhamos o seu funcionamento. A AmazonSocialDTN é uma solução que visa usar uma camada de convergência da tecnologia IEEE 802.15 para transferência de Bundles entre nós DTN, com o uso de um mecanismo de compressão para aumentar a chances de transferir dados oportunista.

CAPÍTULO 4

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

4.1 - INTRODUÇÃO

Esta seção apresenta avaliação de desempenho da proposta BCL com IBR – DTN, tendo como objetivo medir o impacto e os benefícios nas comunidade ribeirinhas com o uso do Bluetooth utilizando o módulo de compressão de Bundles para entregar vídeos educacionais de curta duração, áudio livros e textos com mensagens de alertas. Um *testbed* foi executado utilizando celulares Android para recolher os resultados a partir de um ambiente real, bem como para calibrar o simulador com dados de medições reais. Além disso, foi utilizado um simulador com os parâmetros obtidos no *testbed* para cenários de grande escala. Exemplos de fluxos em vídeos educativos que podem ser utilizados para os serviços de inclusão digital estão disponíveis na Academia Khan.

4.2- REDE EXPERIMENTAL

Uma rede experimental foi instalada na Universidade Federal do Pará (UFPA) – Campus Guamá/Belém para entender o impacto da solução AmazonSocialDTN, onde em um curto espaço de tempo podemos obter resultados para garantir sua viabilidade em regiões sem infraestrutura sem fio. Geralmente em DTN, os nós que estabelecem contatos oportunistas desconhecem qualquer informação acerca do estado, da localização ou dos padrões de mobilidade dos outros nós. Além disso, os nós são autônomos, o que significa que cada nó possui um controle independente de si mesmo e de seus movimentos.

Para avaliar o funcionamento da arquitetura em um cenário real, conforme apresentado na Figura 10, os smartphones trocam mensagens entre si, algumas vezes no modo DTN Mula; as redes DTN se baseiam em transferências de Bundles nó-a-nó; o nó que não for um EIDs deverá passar a mensagem adiante. Essa obrigação se deve à transferência de custódia do nó anterior, em outras palavras, o nó anterior passa para o nó seguinte o Bundle e a obrigação da entrega até chegar no EIDs. O processo ocorre até que o EIDs receba o Bundle. Portanto, o nó destinatário terá a opção de aceitar ou não a custódia; uma vez aceita, o nó terá de manter a corrente. O pedido pelo *acknowledgment*, possui tempo de validade, se este tempo expirar, o

nó que possui o Bundle procurará outro nó para receber a custódia. Arquitetura IBR - DTN com BCL e o módulo de compressão foi implementado em seis Samsung WI8150 smartphones com Android4.0. Os seis smartphones portaram vídeos, áudio, textos e trocaram Bundles entre si. Foi adicionados 4 vídeos no formato 3gp, 3 áudios no formato mp3 e 3 textos para cada nó com intuito de trocarem *Bundles*. Assumimos que cada *smartphone* é um nó e portará *Bundles*; cada *Bundle* contém apenas um arquivo com um formato. Para avaliar a taxa de entrega do *Bundles* é necessário essa parametrização, assim podemos observar a viabilidade de cada formato recebido utilizando a solução AmazonSocialDTN. As características dos *smartphones* estão apresentados na Tabela 1.

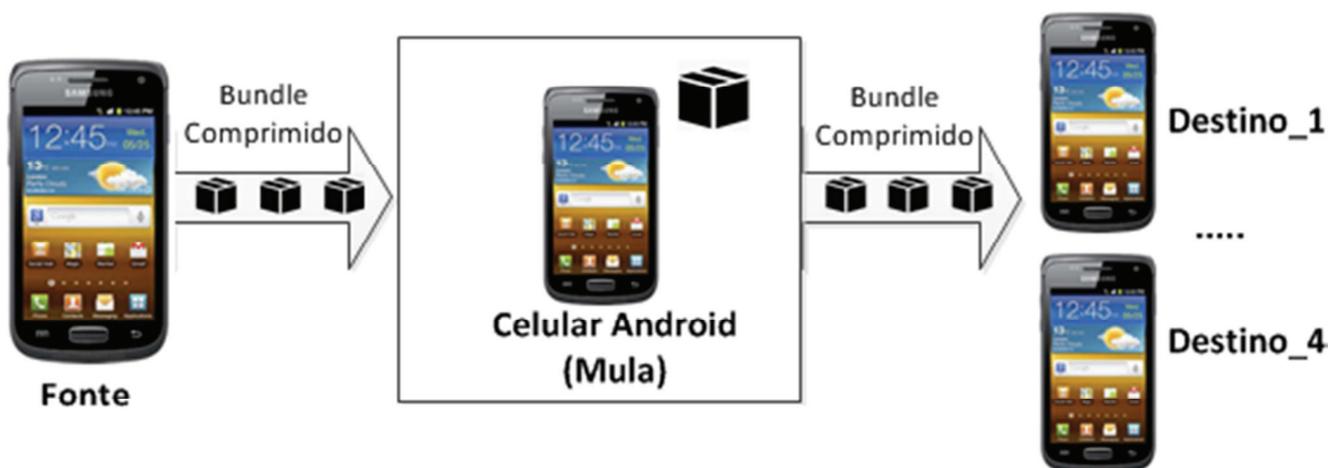


Figura 10: Cenário do Testbed

Tabela 1: Características dos Smartphones Android

Parâmetros	Valores
OS	Android OS v4.0
CPU	1.4 GHz Scorpion
Bateria	Li-Ion 1500 mAh
Memoria	1 GB, 512 MB RAM, 2 GB ROM
Bluetooth	v3.0 with A2DP

O protocolo de roteamento Epidêmico foi configurado para selecionar pares e transmitir pacotes através de uma interface Bluetooth 3.0, fazendo com que se espalhem pelos nós da rede ficando armazenados e sendo trocados quando entram em contato com outros nós aleatoriamente. Os nós requisitam cópias de Bundles que ainda não tem. Esse protocolo alastra o Bundle já que quanto mais cópias forem enviadas maior chance de entrega e menor o atraso, porém os Bundles ocupam muito espaço nos buffers, mas com o controle de geração de cópias e TTL podemos diminuir a chance de encher os buffers mantendo a taxa de entrega.

A Tabela 2 descreve os parâmetros de fase de teste utilizados durante as experiências, incluindo a informação sobre o tamanho do *buffer* (assumindo que é um tamanho do *buffer* é 1000MB o suficiente para acomodar muitos vídeos de inclusão digital com um tamanho médio de 5 MB) e níveis de compressão (de 5% a 25 %). Durante os experimentos, os usuários levaram os *smartphones* e caminharam aleatoriamente por 15 min em um escritório de 40 metros quadrados, com alguns pilares similares a escolas ou casas da Amazônia.

Tabela 2: Parâmetros do Testbed

Parâmetros	Valores
Número de Nós	6
Tamanho do Buffer	1000MB
Velocidade do Nó	0,3m/s – 1,0m/s
Tamanho do Bundle de Vídeo	5000KB
Tamanho do Bundle de Áudio	3000KB
Tamanho do Bundle de Texto	100KB
Tempo de contato	1s - 600s
TTL	3038s
Alcance da Transmissão	10 m
Taxa de Transmissão	256Kbps
Taxa de Compressão	5%-25%
Intervalo de Descoberta de nós	10s

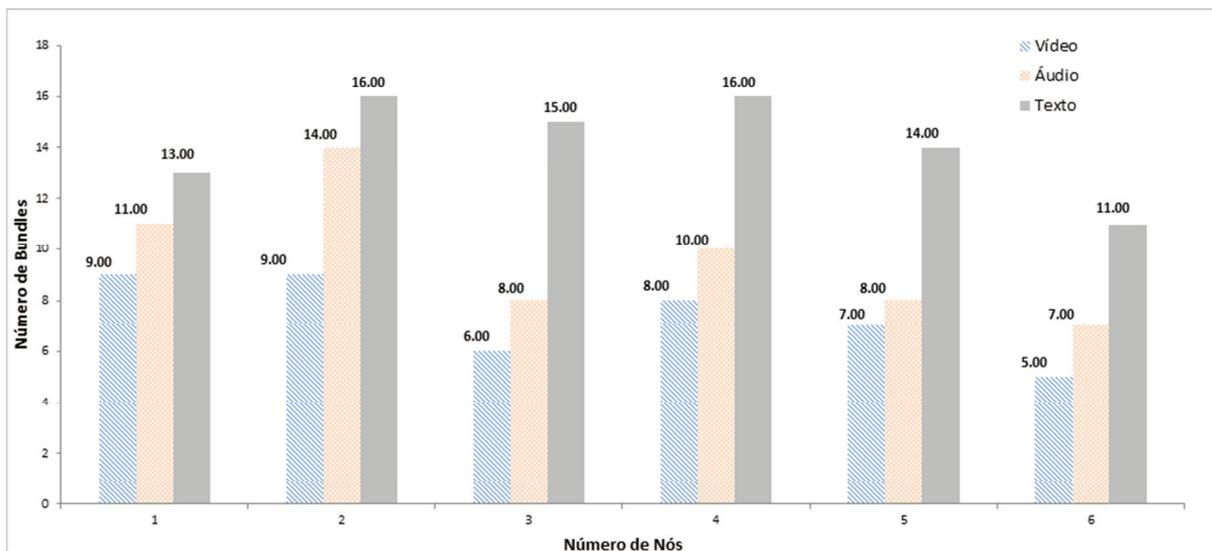


Figura 11: Número de *Bundles* Comprimidos Recebido para cada dispositivo móvel / EID

Os resultados apresentados na Figura 11 mostram que o esquema de compressão proposto é importante para a entrega de mais Bundles durante um contato Bluetooth. O tempo necessário para a transferência de um pacote de um vídeo - clipe quando o IBR - DTN BCL é configurado com um algoritmo de compressão é 7s . Outro resultado de avaliação de desempenho importante é que IBR - DTN BCL requer apenas 3s para a entrega de 10 Pacotes de textos o que facilita sua utilização em ambientes reais.

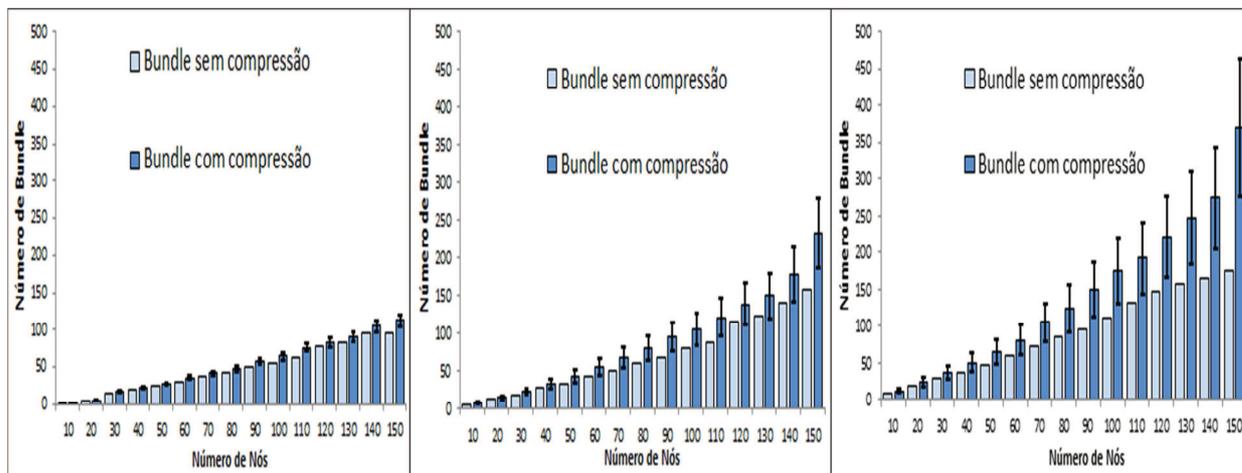
4.3 – AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

As simulações em larga escala foram efectuadas para analisar as vantagens da solução proposta usando Simulador ONE [9] .A taxa de entrega pacote e características do canal Bluetooth foram coletados na rede experimental usado para configurar o ambiente de simulação.

A Figura 13 mostra os possíveis cenários DTN que podem ocorrer em comunidades ribeirinhas da Amazônia. Esses cenários são definidos com base no comportamento, interação e contato dos nós, bem como o transporte, a mobilidade e os modelos de programação dos barcos. O cenário é composto por dois pilares principais com servidores Wi-Fi DTN que são responsáveis pela transmissão de dados (texto, áudio e vídeos) para EIDs específicos.

A comunicação em rede nós, barcos e comunidades é realizada através de Bluetooth. Três aplicações digitais diferentes são definidos para os experimentos da seguinte forma:

texto (tamanho do pacote de 100Kb - por exemplo , e-mail , HTTP), áudio (tamanho do pacote de 3000Kb - por exemplo , livros de áudio) e vídeo (tamanho Pacote de 5.000 KB – por exemplo, vídeo aulas).



a) Entrega de Bundles de texto (100KB) b) Entrega Bundles de Áudio (3000KB) c) Entrega Bundles Vídeo (5.000 KB)

Figura 12: Taxa Média de Entrega de Bundle para cada aplicação com compressão e sem compressão

Será considerado nas simulações seguintes as características geográficas como: distância, densidade demográfica e a área das comunidades. Assumimos que 20 pessoas dentro das comunidades possuem algum tipo de dispositivo móvel e 10 passam certo tempo sem ir a zona urbana, podemos considerar que possuem uma rotina interna a comunidade e 10 outras possuem uma rotina diária de trabalho ou estudo em áreas urbanas. Além disso, assumimos também que as mensagens distribuídas pelos pontos de acesso nos portos possam chegar em todas as comunidades. A análise seguinte será feita da seguinte forma: observaremos o comportamento da solução com uma quantidade de nós DTN e quanto de informação se deve distribuir para obtermos a melhor entrega em menor tempo; também será assumido que a solução de compressão estará embutida nos dispositivos e que esses dispositivos tenham recursos para a utilização da solução AmazonSocialDTN. As características da comunidade está sendo mostrado na Tabela 3 e os parâmetros da simulação está na Tabela 4.

Tabela 3: Características das Comunidades

Comunidades	Área (Km ²)	Densidade Demográfica (hab/Km ²)	Distância	
			Porto A (Km)	Porto B (Km)
Comunidade C1	2,21	4,5	2	2
Comunidade C2	2,6	3,8	3,5	2
Comunidade C3	1,4	7,14	6	5,5
Comunidade C4	1,75	5,7	3,3	2,5

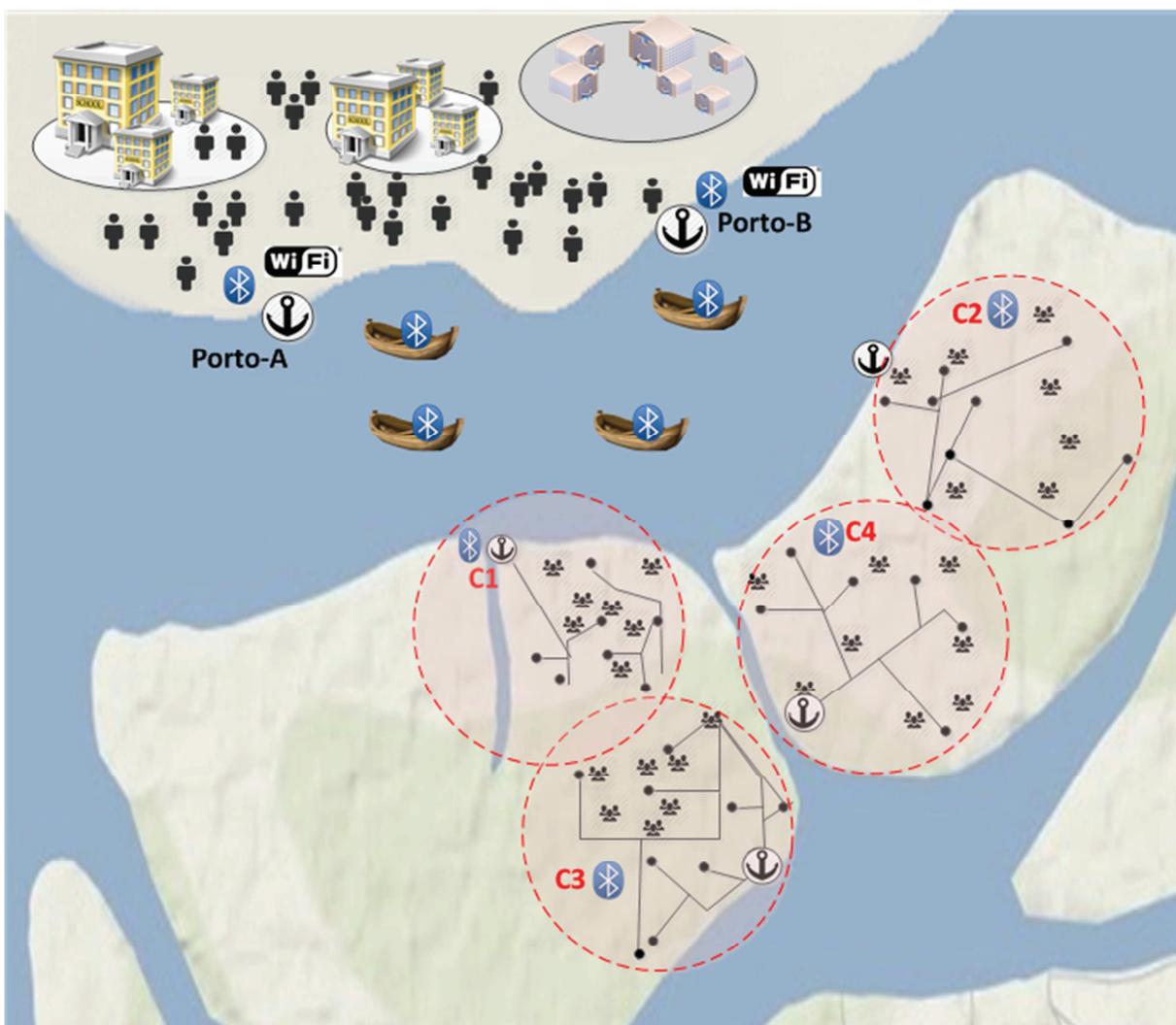


Figura 13: Cenário simulado

O simulador foi configurado para executar 100 simulações durante 1 dia e os resultados são apresentados com um intervalo de confiança de 95%. Para cada simulação, o número de nós que recebem o conteúdo do servidor Wi-Fi DTN no Porto A e Porto B, trocam informações utilizando o Bluetooth antes de entrarem nos barcos e dentro no caminho em sua viagem para as suas comunidades. A quantidade de nós DTN variam de 10 a 150. Por exemplo, em alguns experimentos no Porto A e Porto B podem até suportar 75 pessoas antes do horário de embarque (total de 150 nós). O número de sujeitos / nós para cada barco pode transportar para uma das quatro comunidades ribeirinhas em um momento específico varia de 1 a 10 passageiros.

Quatro comunidades ribeirinhas são especificados no ambiente, nomeadamente, C1 a C4, tal como apresentado na Figura 13. Cada porto DTN é configurado no simulador com o modelo WDM (*Working Day Movement model*) e sua velocidade varia entre 0,8 e 1,4 m / s.

Além disso , 10 barcos são utilizados nas experiências . Os barcos viajam seguindo o caminho mais curto numa abordagem de movimento baseado em Mapa, onde escolhem aleatoriamente um lugar e usam o caminho mais curto para chegar alcançar seu destino. Sua velocidade varia de 5 a 7m/s, podendo esperar os passageiros em cada porto por um período que varia entre 1200 e 1800s. A Tabela 3 resume os parâmetros do simulador.

Tabela 4: Parâmetros de Simulação

Parâmetros	Valores
Número de Nós	10-150
Tamanho do Buffer	1000MB
Mobilidade do nó	0.8m/s – 1.4m/s
Mobilidade do Barco	5m/s – 7m/s
Tamanho do Bundle de Texto	100Kb
Tamanho do Bundle de Áudio 128Kb/s ~ 3 min	3000Kb
Tamanho do Bundle de Vídeo - 3GP - ~ 5 min	5000Kb
Tempo de Contato	10s - 600s
TTL	24h
Alcance da Transmissão	10 m
Taxa de Transmissão	256Kbps

Como apresentado na Figura 14, os resultados mostram que, em média, quando o Módulo Bluetooth *Bundle Compression* é utilizado para a entrega do texto, áudio e vídeo, reduz o tamanho de pacote de 50%, 7%, e 5%, respectivamente. Assim, a implementação BCL proposta transmite mais dados durante um contato *Bluetooth*. Por exemplo, para arquivos de áudio, é possível entregar 10% e 21% a mais de pacotes quando o modelo de compressão está acionado com 70 e 110 nós. Os melhores

resultados são obtidos a partir da distribuição de arquivos de texto em um cenário com 150 nós, onde 50% mais pacotes são entregues. Os resultados também mostram que é possível receber 14% mais pacotes de vídeo, quando o método de compressão é usado num ambiente com 150 nós DTN. Uma vez que os arquivos de vídeo já têm um alto nível de compressão (MEncoder-3GP), o desempenho do algoritmo Deflate é reduzida, como aconteceu durante a transmissão de vídeo em um cenário com apenas 10 nós.

A utilização do modelo de compressão proposto pela solução AmazonSocialDTN é uma importante solução para transmissão de dados, utilizando a tecnologia IEEE 802.15, a qual possibilita os contactos curtos em cenários DTN (baixa taxa de transmissão). Novos algoritmos de compressão específicos para vídeos ou áudio poderiam ser acoplados à solução para reduzir o *payload* e melhorar a taxa de entrega do pacote DTN, mas não foram pois tal atividade está fora do escopo do trabalho.

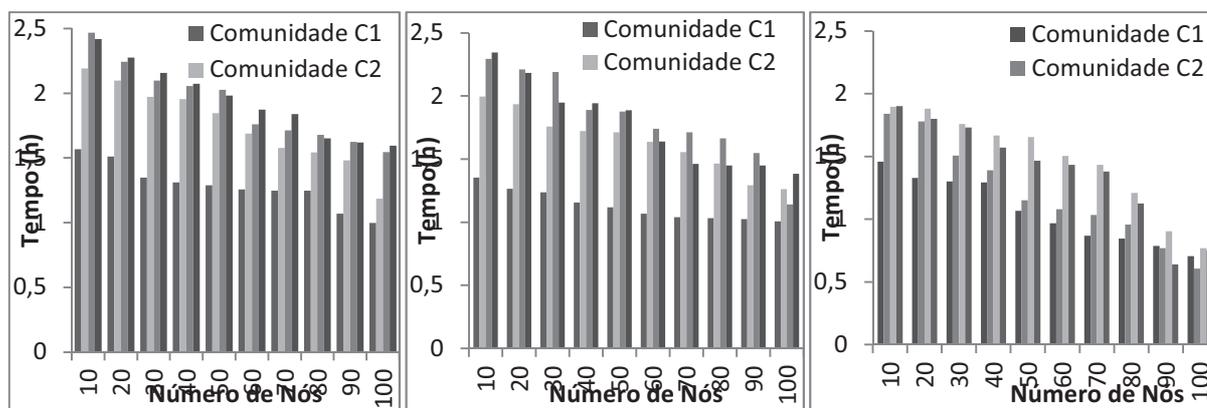


Figura 14: Entrega de Bundles para Comunidades C1, C2, C3 e C4

Como apresentado na Figura 15, os resultados mostram a entrega de 500 Bundles em comunidades ribeirinhas como mostradas no mapa da Figura 14. Utilizando o módulo de compressão de dados proposto, podemos observar que quando aumenta a quantidade de nós, o tempo de entrega diminui. Tivemos o menor tempo de entrega em 100 nós para a entrega do texto, áudio e vídeo, reduzindo o tempo de entrega em média 128%, 57% e 50%, respectivamente. Assim, com a utilização da AmazonSocialDTN podemos transmitir mais dados durante um contacto oportunista utilizando Bluetooth. Os resultados mostram um comportamento com tempo de entrega menor quando observamos na comunidade C1, onde

tivemos arquivos de vídeo, áudio e texto com um tempo de entrega menor 55%, 50 % e 130%, respectivamente. Uma das possíveis razões para esses valores, é o aproveitamento dos contactos oportunistas e a menor distância entre os portos. A distribuição de arquivos de texto em um cenário com 100 nós, onde 120% mais pacotes são entregues. Os resultados também mostram que é possível que as comunidade possam receber em menos tempo 40% mais pacotes de vídeo, quando o ambiente possui 100 nós utilizando a AmazonSocialDTN.

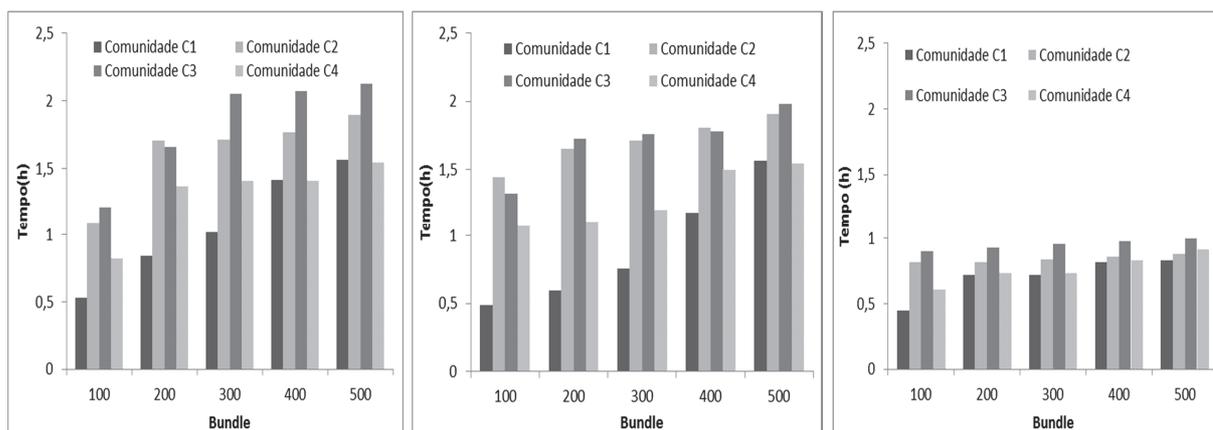


Figura 15: Entrega Vídeos, Audio e Texto nas Comunidades C1,C2,C3 e C4

Como apresentado na Figura 15, os resultados mostram a entrega de Bundles utilizando 100 nós DTN em comunidades ribeirinhas como mostradas no mapa da figura 13, assumimos que o componente de compressão esteja sendo utilizado.

Pode-se observar que, quando aumenta a quantidade de Bundle, o tempo de entrega aumenta, a partir de 300 Bundles para a entrega do vídeo, áudio e texto, o tempo de entrega em média é de 2h, 1,5 e 40min, respectivamente. Assim, com a utilização da AmazonSocialDTN podemos transmitir mais dados durante o contacto oportunista utilizando *Bluetooth*. Os resultados mostram um comportamento para o formato de texto, que o tempo de entrega varia em 5%. Foi observado para vídeo e áudio que o tempo de entrega possui uma variação de 9%, 7%, a partir de 300 Bundles

O tempo de entrega variou conforme os formatos, mas todos tiveram uma estabilidade em seu tempo de entrega com 100 Bundles e 100 nós DTN. Os menores tempos de entrega foram na comunidade C1; tivemos para arquivos de vídeo, áudio e texto um tempo de entrega menor de 31min, 29min e 25min, respectivamente. A distribuição de arquivos de texto no cenário com 100 nós, possibilitou a entrega de, em média, 90% de Bundles. Os resultados

também mostram que é possível receber 100 Bundles em menor tempo, 40 % mais pacotes de vídeo, quando o método de compressão é usado num ambiente com 100 nós DTN.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O uso de DTN é uma abordagem adequada para a prestação de serviços de inclusão digital em áreas isoladas, como o cenário utilizado nesta dissertação que inclui conexões intermitentes (ou inexistente) com a Internet. A implementação de uma solução, como AmazonSocialDTN, possibilitou a entrega de conteúdo de um modo transparente sem a interação humana, utilizando o modo promíscuo de redes para percepção dos nós DTN. Com essa técnica, foi possível que os dispositivos móveis administrassem conteúdos como vídeos, áudios e textos e transmitissem quando necessários para nós DTN em sua área de alcance de rede.

Esta dissertação apresenta uma versão estendida da arquitetura IBR-DTN com o suporte à tecnologia IEEE 802.15, foi desenvolvido um agente AmazonSocialDTN para gerenciar a Bluetooth Convergence Layer, gerência de conexões, gerência de mídias, roteamento e *Storage System*. Uma das contribuições da proposta foi a utilização de uma técnica de compressão para os pacotes Bundles, mostrou suas técnicas e algoritmos de compressão levando em consideração as RFC 5050 mantendo os padrões da estrutura do Bundle Protocol.

Resultados da avaliação mostraram que a entrega de Bundles entre os dispositivos que o usaram de um algoritmo de compressão, tal como Deflate, pode aumentar o número de pacotes entregues para aplicações de texto, de áudio, de vídeo 55%, 7%, e 5%, respectivamente, quando o cenário é composto de 100 nós. Desta forma, a AmazonSocialDTN é uma solução eficiente para disseminar conteúdos de inclusão digital para a população ribeirinha.

TRABALHO FUTUROS

Para trabalhos futuros, experiências com um *testbed* em grande escala e com diferentes aplicações serão realizadas. Diferentes algoritmos de compressão e técnicas de codificação de rede também serão avaliados. Outras soluções de roteamento serão analisados, como por exemplo:

- Roteamento Baseado em Estimativa: Protocolo de roteamento probabilístico utilizando históricos de encontros e transitividade (*Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity - PROPHET*)
- Programado: uma agenda de contatos entre dois os mais nós pode ser estabelecida. Este processo demanda sincronização de relógios entre os nós, como ocorre em uma rede espacial.
- Previsíveis: são os contatos que podem ser previstos por meio da análise de contatos anteriores, como o contato entre um avião e o aeroporto.

PUBLICAÇÃO EM PERIÓDICOS

FERREIRA, R. S. ; Moreira, W ; MENDER, P. ; GERLA, M. ; CERQUEIRA, E. .
Improving the Delivery Rate of Digital Inclusion Applications for Amazon Riverside Communities by Using an Integrated Bluetooth DTN Architecture. *International Journal of Computer Science and Network Security*, v. 14, p. 1-9, 2014.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [P. Deutsch] “**DEFLATE Compressed Data Format Specification version 1.3**”, RFC 1951 (Informational), May, 1996.
- [V. Cerf et al]. Rfc 4838, **Delay-tolerant networking architecture**. IRTF DTN Research Group, 2007.
- [Berners-Lee et al., 2005] Berners-Lee, T., Fielding, R. T. e Masinter, L. (2005). Uniform resource identifier (URI): Generic syntax. STD 66, RFC 3986, Network Working Group.
- [Burleigh et al., 2003] Burleigh, S., Hooke, A., Torgerson, L., Fall, K., Cerf, V., Durst, B., Scott, K. e Weiss, H. (2003). Delay-tolerant networking: an approach to interplanetary Internet. IEEE Communications Magazine, 41:128–136.
- [Cerf et al., 2006] Cerf, V., Burleigh, S., Hooke, A., Torgerson, L., Durst, R., Scott, K., Fall, K. e Weiss, H. (2006). Delay-tolerant networking architecture - draft-irtf-dtnrgbundle-spec-08.txt. Trabalho em andamento, DTN Research Group.
- [Cerf et al., 2001] Cerf, V., Burleigh, S., Hooke, A., Torgerson, L., Durst, R., Scott, K., Travis, E. e Weiss, H. (2001). Interplanetary Internet (IPN): Architectural definition. Relatório técnico, IPN Research Group.
- [Chen et al., 2006] Chen, L.-J., Yu, C.-H., Sun, T., Chen, Y.-C. e hua Chu, H. (2006). A hybrid routing approach for opportunistic networks. Em ACM SIGCOMM Workshop on Challenged Networks (CHANTS), p. 213–220. ACM Press.
- [Chen et al., 2001] Chen, Z. D., Kung, H. e Vlah, D. (2001). Ad hoc relay wireless networks over moving vehicles on highways. Em ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc), p. 247–250. ACM Press.
- [DARPA, 2004] DARPA (2004). Defense Advanced Research Projects Agency. <http://www.darpa.mil/sto/solicitations/DTN>.
- [Davis et al., 2001] Davis, J. A., Fagg, A. H. e Levine, B. N. (2001). Wearable computers as packet transport mechanisms in highly-partitioned ad-hoc networks. Em IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC). IEEE Computer Society.
- [Demmer et al., 2004a] Demmer, M., Brewer, E., Fall, K., Jain, S., Ho, M. e Patra, R. (2004a). Implementing delay tolerant networking. Relatório técnico, Intel Research. [Demmer et al., 2004b] Demmer, M., Du, B. e Surana, S. (2004b). Tierstore: A distributed storage system for developing regions. Relatório técnico.
- [DieselNet, 2006] DieselNet (2006). Projeto DieselNet. <http://prisms.cs.umass.edu/dome/>.

[Drive-thru Internet, 2007] Drive-thru Internet (2007). Projeto Drive-thru Internet. <http://www.drive-thru-internet.org>.

[DTNRG, 2006] DTNRG (2006). DTN Research Group. <http://www.dtnrg.org/>.

[Fall, 2003] Fall, K. (2003). A delay-tolerant network architecture for challenged internets. Em ACM SIGCOMM, p. 27–34. ACM Press.

[Fall, 2005] Fall, K. (2005). Disruption tolerant networking for heterogeneous ad-hoc networks. Em IEEE Military Communications Conference (MILCOM), volume 4, p. 2195–2201. IEEE Computer Society.

[Fall et al., 2003] Fall, K., Hong, W. e Madden, S. (2003). Custody transfer for reliable delivery in delay tolerant networks. Relatório técnico, Intel Research.

[Farrell e Cahill, 2006] Farrell, S. e Cahill, V. (2006). Delay and Disruption Tolerant Networking. Artech House, 1a edição.

[Farrell et al., 2006a] Farrell, S., Cahill, V., Geraghty, D., Humphreys, I. e McDonald, P. (2006a). When TCP breaks: Delay- and disruption- tolerant networking. IEEE Internet Computing, 10(4):72–78.

[Farrell et al., 2006b] Farrell, S., Symington, S. F. e Weiss, H. (2006b). Delay-tolerant networking security overview - draft-irtf-dtnrg-sec-overview-02.txt. Trabalho em andamento, DTN Research Group.

[Fernandes et al., 2006] Fernandes, N. C., Moreira, M. D. D., Velloso, P. B., Costa, L. H.M. K. e Duarte, O. C. M. B. (2006). Ataques e mecanismos de segurança em redes adhoc. Em Minicursos do Simpósio Brasileiro de Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais (SBSeg), p. 49–102. Sociedade Brasileira de Computação–SBC.

[Ferreira, 2004] Ferreira, A. (2004). Building a reference combinatorial model for manets. IEEE Network, 18(5):24–29.

[FMS, 2007] FMS (2007). Projeto First Mile Solutions.<http://www.firstmilesolutions.com/>.

[Grossglauser e Tse, 2002] Grossglauser, M. e Tse, D. N. C. (2002). Mobility increases the capacity of ad hoc wireless networks. Em IEEE/ACM Transactions on Networking, volume 10, p. 477–486. ACM Press New York.

[Guo et al., 2006] Guo, S., Ghaderi, M. e Keshav, S. (2006). Opportunistic scheduling in ferry based networks. Em Workshop on Networking in Public Transport (WNEPT).

[Hanbali et al., 2005] Hanbali, A. A., Altman, E. e Nain, P. (2005). A survey of TCP over ad hoc networks. Em IEEE Communications Surveys & Tutorials, volume 7, p. 22–36. IEEE Computer Society.

[Harras et al., 2005] Harras, K. A., Almeroth, K. C. e Belding-Royer, E. M. (2005). Delay tolerant mobile networks (DTMNs): Controlled flooding schemes in sparse mobile networks. International Conferences on Networking (IFIP).

[Hui et al., 2005] Hui, P., Chaintreau, A., Scott, J., Gass, R., Crowcroft, J. e Diot, C. (2005). Pocket switched networks and human mobility in conference environments. Em ACM SIGCOMM Workshop on Delay-tolerant Networking (WDTN), p. 244–251. ACM Press.

[Hull et al., 2006] Hull, B., Bychkovsky, V., Zhang, Y., Chen, K., Goraczko, M., Miu, A. K., Shih, E., Balakrishnan, H. e Madden, S. (2006). CarTel: A Distributed Mobile Sensor Computing System. Em 4th ACM SenSys, Boulder, CO.

[IANA, 2007] IANA (2007). Esquemas URI do Internet Assigned Numbers Authority. <http://www.iana.org/assignments/uri-schemes.html>.

[IPN, 2007] IPN (2007). Projeto Internet Interplanetária. <http://www.ipnsig.org/>.

[IRTF, 2007] IRTF (2007). Internet Research Task Force. <http://www.irtf.org/>.

[Jain et al., 2004] Jain, S., Fall, K. e Patra, R. (2004). Routing in a delay tolerant network. Em ACM SIGCOMM, p. 145–158. ACM Press.

[Jones et al., 2005] Jones, E. P. C., Li, L. e Ward, P. A. S. (2005). Practical routing in delay-tolerant networks. Em ACM SIGCOMM Workshop on Delay-tolerant Networking (WDTN), p. 237–243. ACM Press.

[Juang et al., 2002] Juang, P., Oki, H., Wang, Y., Martonosi, M., Peh, L. S. e Rubenstein, D. (2002). Energy-efficient computing for wildlife tracking: design tradeoffs and early experiences with ZebraNet. Em International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems (ASPLOS-X), volume 37, p. 96–107. ACM Press.

[KioskNet,2007] KioskNet(2007). Projeto KioskNet. <http://blizzard.cs.uwaterloo.ca/tetherless/index.php/KioskNet>.

[Layton,2009] Curt Layton, Julia. Franklin. Como funciona o bluetooth. URL: <http://informatica.hsw.uol.com.br/bluetooth1.htm>, 2009. Última Visita: 09/11/2011.

[Leguay et al., 2006] Leguay, J., Lindgren, A., Scott, J., Friedman, T. e Crowcroft, J. (2006). Opportunistic content distribution in an urban setting. Em ACM SIGCOMM Workshop on Challenged Networks (CHANTS), p. 205–212. ACM Press.

[Lindgren et al., 2006] Lindgren, A., Diot, C. e Scott, J. (2006). Impact of communication infrastructure on forwarding in packet switched networks. Em ACM SIGCOMM Workshop on Challenged Networks (CHANTS), p. 261–268. ACM Press.

[Lindgren et al., 2004] Lindgren, A., Doria, A. e Schelén, O. (2004). Probabilistic routing in intermittently connected networks. Em International Workshop on Service Assurance with Partial and Intermittent Resources (SAPIR), volume 7. Springer.

[Luby et al., 2001] Luby, M. G., Mitzenmacher, M., Shokrollahi, M. A. e Spielman, D. A. (2001). Efficient erasure correcting codes. IEEE Transactions on Information Theory, 47(2):569–584.

[Nain et al., 2004] Nain, D., Petigara, N. e Balakrishnan, H. (2004). Integrated routing and storage for messaging applications in mobile ad hoc networks. Mobile Networks and Applications, 9(6):595–604.

[Ott e Kutscher, 2005] Ott, J. e Kutscher, D. (2005). A disconnection-tolerant transport for drive-thru internet environments. Em IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM), p. 1849–1862. IEEE Press.

[Pentland et al., 2004] Pentland, A. S., Fletcher, R. e Hasson, A. (2004). Daknet: Rethinking connectivity in developing nations. Em Computer, volume 37, p. 78–83. IEEE Computer Society.

[Plank e Thomason, 2004] Plank, J. S. e Thomason, M. G. (2004). A practical analysis of low-density parity-check erasure codes for wide-area storage applications. Em International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN). IEEE Computer Society.

[Postel, 1981] Postel, J. (1981). Transmission control protocol. RFC 793, Information Sciences Institute.

[Rice, 2005] Rice, J. (2005). Seaweb Acoustic Communication and Navigation Networks. Em International Conference on Underwater Acoustic Measurements: Technologies & Results, Grécia.

[Scott e Burleigh, 2006] Scott, K. e Burleigh, S. (2006). Bundle protocol specification - draft-irtf-dtnrg-bundle-spec-08.txt. Trabalho em andamento, DTN Research Group.

[SeNDT, 2005] SeNDT (2005). Projeto SeNDT (Sensor Networking with Delay Tolerance). <http://down.dsg.cs.tcd.ie/sendt/>.

[Seth et al., 2006] Seth, A., Kroeker, D., Zaharia, M., Guo, S. e Keshav, S. (2006). Lowcost communication for rural internet kiosks using mechanical backhaul. Em ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom), p. 334–345. ACM Press.

[Shah et al., 2003] Shah, R., Roy, S., Jain, S. e Brunette, W. (2003). Data MULEs: Modeling a three-tier architecture for sparse sensor networks. Em IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications (SNPA), p. 30–41.

[Small e Haas, 2003] Small, T. e Haas, Z. J. (2003). The shared wireless infestation model: a new ad hoc networking paradigm (or where there is a whale, there is a way). Em ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc), p. 233–244. ACM Press.

[Sozer et al., 2000] Sozer, E., Stojanovic, M. e Proakis, J. (2000). Underwater acoustic networks. Em IEEE Journal of Oceanic Engineering, volume 25, p. 72–83.

[Spyropoulos et al., 2004] Spyropoulos, T., Psounis, K. e Raghavendra, C. S. (2004). Single-copy routing in intermittently connected mobile networks. Em Communications Society Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks (SECON), p. 235–244.

[Spyropoulos et al., 2005] Spyropoulos, T., Psounis, K. e Raghavendra, C. S. (2005). Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. Em ACM SIGCOMM Workshop on Delay-tolerant Networking (WDTN), p. 252–259. ACM Press.

[Su et al., 2004] Su, J., Chin, A., Popivanova, A., Goel, A. e de Lara, E. (2004). User mobility for opportunistic ad-hoc networking. Em IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA), p. 41–50. IEEE Computer Society.

[Symington et al., 2006] Symington, S. F., Farrell, S. e Weiss, H. (2006). Bundle security protocol specification - draft-irtf-dtnrg-bundle-security-02.txt. Trabalho em andamento, DTN Research Group.

[Sámi, 2007] Sámi (2007). Projeto Sámi Network Connectivity. <http://www.snc.sapmi.net/>.

[TIER, 2007] TIER (2007). Technology and Infrastructure for Emerging Regions. <http://tier.cs.berkeley.edu>.

[TierStore, 2007] TierStore (2007). Projeto TierStore. <http://tier.cs.berkeley.edu/wiki/TierStore>.

[Vahdat e Becker, 2000] Vahdat, A. e Becker, D. (2000). Epidemic routing for partiallyconnected ad hoc networks. Relatório técnico, Duke University.

[Wang et al., 2004] Wang, R. Y., Sobti, S., Garg, N., Ziskind, E., Lai, J. e Krishnamurthy, A. (2004). Turning the postal system into a generic digital communication mechanism. Em ACM SIGCOMM, p. 159–166. ACM Press.

[Wang et al., 2005] Wang, Y., Jain, S., Martonosi, M. e Fall, K. (2005). Erasure-coding based routing for opportunistic networks. Em ACM SIGCOMM Workshop on Delaytolerant Networking (WDTN), p. 229–236. ACM Press.

[Warthman, 2003] Warthman, F. (2003). Delay-tolerant networks (DTNs): A tutorial v1.1. Relatório técnico, Warthman Associates.

[Widmer e Boudec, 2005] Widmer, J. e Boudec, J.-Y. L. (2005). Network coding for efficient communication in extreme networks. Em ACM SIGCOMM Workshop on Delay-tolerant Networking (WDTN), p. 284–291. ACM Press.

[Wizzy Digital Courier, 2007] Wizzy Digital Courier (2007). Projeto Wizzy Digital Courier. <http://www.wizzy.org.za/>.

[Moreira, 2013] MOREIRA, WALDIR ; FERREIRA, RONEDO ; CIRQUEIRA, DOUGLAS ; MENDES, PAULO ; CERQUEIRA, EDUARDO . SocialDTN. In: the 2013 ACM MobiCom workshop, 2013, Miami. Proceedings of the 2013 ACM MobiCom workshop on Lowest cost denominator networking for universal access - LCDNet '13. New York: ACM Press. p. 25.

[Ciqueira,2013] CIRQUEIRA, DOUGLAS ; CERQUEIRA, E. ; FERREIRA, R. S. ; CHAVES, L. ; VIERA, F. . Disseminação de Informação Usando Redes DTN. In: XII Conferência da Escola Regional de Informática Norte (ERN), 2013, Belém. Disseminação de Informação Usando Redes DTN, 2013.

[Waldir, 2012] MOREIRA, WALDIR ; CERQUEIRA, E. ; ROTHENBERG, C. E. ; FERREIRA, R. S. ; JUNIOR, D. ; VIERA, F. . Encouraging Cooperation Through Community Dynamics. In: 6th API Think-Tank - Cooperative Sensing, 2012, Lisboa. Encouraging Cooperation Through Community Dynamics, 2012.

[Moreira, 2013] FERREIRA, R. S. ; Moreira, W ; CERQUEIRA, E. ; MENDER, P. . Opportunistic Routing based on Users Daily Life Routine 2013 (Internet Draft IETF).

[ZebraNet, 2002] ZebraNet (2002). Projeto ZebraNet. <http://www.princeton.edu/~mrm/zebranet.html>.

[Zhang, 2006] Zhang, Z. (2006). Routing in intermittently connected mobile ad hoc networks and delay tolerant networks: Overview and challenges. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 8(1):24–37.

[Zhao et al., 2004] Zhao, W., Ammar, M. e Zegura, E. (2004). A message ferrying approach for data delivery in sparse mobile ad hoc networks. Em ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc), p. 187–198. ACM Press.

[Zhao et al., 2005] Zhao, W., Ammar, M. e Zegura, E. (2005). Controlling the mobility of multiple data transport ferries in a delay-tolerant network. Em IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM), volume 2, p. 1407–141