



CARACTERIZAÇÃO DE REDES TOLERANTES A ATRASOS E DESCONEXÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA AMAZÔNICA

Alyson de Jesus dos Santos

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

Orientadores: Luís Henrique Maciel Kosmalski
Costa
Pedro Braconnot Velloso

Rio de Janeiro
Janeiro de 2016

CARACTERIZAÇÃO DE REDES TOLERANTES A ATRASOS E
DESCONEXÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA AMAZÔNICA

Alyson de Jesus dos Santos

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

Examinada por:

Prof. Luís Henrique Maciel Kosmalski Costa, Dr.

Prof. Pedro Braconnot Velloso, Dr.

Prof. Miguel Elias Mitre Campista, D.Sc.

Prof. Artur Ziviani, Dr.

Prof. Igor Monteiro Moraes, Dr.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
JANEIRO DE 2016

Santos, Alyson de Jesus dos

Caracterização de Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões na Bacia Hidrográfica Amazônica/Alyson de Jesus dos Santos. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2016.

XV, 89 p.: il.; 29,7cm.

Orientadores: Luís Henrique Maciel Kosmalski Costa

Pedro Braconnot Velloso

Tese (doutorado) – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Elétrica, 2016.

Referências Bibliográficas: p. 80 – 89.

1. Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões. 2. Fluviais. 3. Embarcações. I. Costa, Luís Henrique Maciel Kosmalski *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Elétrica. III. Título.

Ao meu pai, celestial que com grande misericórdia me alcançou com mão poderosa, e me redimiu com eterna redenção, tornando me aceito diante Daquele que é tremendo e reina para sempre, amém. Dedico esta conquista aos meus pais José Rumão e Marizete, aos meus irmãos Lissandro, Lisângelo e Adison, a minha esposa Lucélia e ao meu filho Josué. Minha família o meu maior patrimônio celestial, dado por este Deus a quem tenho aprendido amar e servir.

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero externar o meu sincero e profundo reconhecimento ao Senhor que me deu vida por meio de seu filho amado, Jesus.

A minha esposa Lucélia sempre presente.

Ao meu filho Josué.

Aos meus pais: José Rumão e Marizete por tudo que fizeram por mim, principalmente pelo amor, amizade e carinho recebido, e ainda, pela dedicação investida na minha formação como indivíduo.

Aos meus sogros: Jenez e Luciene pelo apoio e incentivo.

Aos meus irmãos Lissandro, Lisângelo, Adison, ao meu sobrinho Lissandro Júnior e as minhas cunhadas Liene e Luciana que me apoiaram em todos os momentos dessa caminhada.

Aos meus orientadores Prof. Luís Henrique Maciel Kosmalski Costa e Prof. Pedro Braconnot Velloso, que estiveram sempre presente na busca por soluções aos tantos desafios apresentados.

Aos professores Artur Ziviani, Igor Monteiro Moraes e Miguel Elias Mitre Campista pela presença na banca examinadora e pelas contribuições para a melhoria deste trabalho.

Aos professores Aloysio Pedroza e Otto Duarte do GTA/UFRJ.

Ao amigo Marcus de Lima Braga, que sempre compartilhou entusiasticamente de várias idéias e esteve presente diariamente na construção desse trabalho, tornando essa caminhada bem mais suave com sua amizade e companheirismo.

Agradeço aos amigos, em especial, José Júnior, Vitor Borges, Rodrigo Couto, Lino Ferraz, Martin Andreoni, Diogo Menezes, Margarida Bastos, Dianne Medeiros, Fábio Vieira, Igor Quintanilha, Leopoldo Maurício, Igor Alvarenga, Eduardo Oliveira, Victor Neto, Tatiana Sciammarella, Lucas Gomes e Dayro Hernandez pela amizade e companheirismo e por tornarem o doutorado uma experiência repleta de aprendizagem e boas lembranças. Agradeço, também, a todos os amigos que fiz no Grupo de Teleinformática e Automação, pois sempre contribuíram positivamente para a conclusão desse trabalho.

Agradeço ao Prof. Ralph dos Santos Silva do departamento de Métodos Estatísticos/UFRJ e aos amigos Evandro Macedo e Renato Silva do Laboratório Ra-

vel/UFRJ pelas intensas discussões sobre a parte de caracterização estatística da mobilidade dos barcos.

Gostaria de agradecer aos membros do L3I - Université de La Rochelle (ULR), que me receberam muito bem durante o período que estive na França, em especial ao professor Yacine Ghamri-Doudane, cuja contribuição para este trabalho foi de elevada importância.

Gostaria de agradecer ao pesquisador Marcelo Dias Amorim, da Université de Pierre et Marie Curie (UPMC) e ao Professor Jean-Loup Guillaume, da Université de La Rochelle pelas sugestões de melhoria deste trabalho.

Aos amigos Leo Ruiz e Ashley Pitcher pelo apoio e suporte no período que estive em Ottawa, Canadá.

A Fundação de Apoio Institucional Muraki, na pessoa do Dr. Paulo Alcântara e da Dr^a Marylane Gurgel pelo apoio financeiro, incentivo e compromisso.

A Secretaria Municipal de Educação do Estado do Amazonas (SEMED-AM) que cedeu os barcos para a realização dos experimentos práticos.

Ao Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Amazonas (CBMAM), Pelotão Fluvial, que cedeu os barcos e deu todo o suporte na realização dos experimentos práticos. O meu muito obrigado aos Senhores Carlos Bacelar Martins Costa, Joselio da Silva Monteiro, João Vieira da Silva, Raimundo de Andrade Galvão, Raimundo Julio Santana da Silva e Ledimar Guimarães da Costa.

À Administração de Hidrovias da Amazônia Ocidental (AHIMOC) que forneceu os dados reais de navegação dos barcos em toda a Amazônia.

A Adison, Flávio de Oliveira Matos, Lissandro Júnior e Reginaldo Bulcão que coletaram os *traces* dos barcos junto comigo.

A Eliézer Passos de Moura, Lisângelo e Lissandro que me auxiliaram na parte operacional e na logística dos experimentos práticos.

Agradeço aos funcionários do Programa de Engenharia Elétrica da COPPE/UFRJ, Maurício, Daniele, Rosa e Solange pela presteza no atendimento na secretaria do Programa.

Por fim, agradeço ao CNPq, a FAPEAM e ao Centro Brasileiro de Pesquisas da General Electric - RJ pelo financiamento deste trabalho.

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

CARACTERIZAÇÃO DE REDES TOLERANTES A ATRASOS E DESCONEXÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA AMAZÔNICA

Alyson de Jesus dos Santos

Janeiro/2016

Orientadores: Luís Henrique Maciel Kosmowski Costa
Pedro Braconnot Velloso

Programa: Engenharia Elétrica

A Amazônia Brasileira é formada por uma vasta área geográfica com recursos econômicos que constituem objetos de interesse do Brasil e do mundo. Esses recursos são diversos, sejam eles a flora, a fauna, o solo e subsolo, os minerais, vegetais e os recursos hídricos, ou seja, um manancial de riquezas de difícil mensuração, encontrados na floresta Amazônica. Desta forma, prover uma infraestrutura de telecomunicação que faça a disseminação, monitoração e controle de informações dos recursos naturais e a integração das comunidades remotas aos grandes centros urbanos por meio da malha fluvial, utilizando-se dos contatos oportunistas dos barcos da região é o objeto de estudo deste trabalho. Assim, foram realizados experimentos de natureza prática que mostram a viabilidade da capacidade de transmissão de dados entre os barcos no rio Negro. Esse estudo é expandido para os barcos intermunicipais e interestaduais que trafegam nos rios da Amazônia, de forma que resulta numa estimativa de capacidade de transmissão de dados na bacia hidrográfica Amazônica. Além disso, é avaliada a capacidade das redes DTN formada pelos barcos que navegam nos rios Negro e Amazonas, sob a influência dos *traces* de mobilidade, via simulação computacional. Por fim, foi realizada uma análise estatística e um estudo comparativo das distribuições de probabilidade com os dados capturados nos *traces* de mobilidade dos barcos.

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

CHARACTERIZATION OF A DELAY AND DISRUPTION TOLERANT
NETWORK IN THE AMAZON BASIN

Alyson de Jesus dos Santos

January/2016

Advisors: Luís Henrique Maciel Kosmowski Costa

Pedro Braconnot Velloso

Department: Electrical Engineering

The Brazilian Amazon has a large geographical area with economic resources that are objects of interest to Brazil and the world. There are a lot of resources, like the flora, fauna, soil and subsoil, minerals, vegetables and water resources, i.e, a wealth of riches difficult to measure, found in the Amazon rainforest. Thus, to provide a telecommunication infrastructure that makes dissemination, monitoring and control of natural resources information and the integration of communities remote to urban centers through the river network, using opportunistic contacts of the boats in the region is the subject of this work. Initially, we conducted practical experiments that show the feasibility of the data transmission capacity of the boats in the Rio Negro, resulting in estimated capacity data transmission in the Amazon basin. Moreover, we evaluate the capacity of a DTN formed by boats which navigate the Negro and Amazon rivers, from mobility traces, through computer simulation. Finally, we performed an statistical analysis and a comparative study of probability distributions with the data captured from the boat mobility traces.

SIGLAS

AHIMOC - Administração de Hidrovias da Amazônia Ocidental;

ATTO - *Amazon Tall Tower Observatory* - Observatório Amazônico de Torres Altas;

CDF - *Cumulative Distribution Function* - Função de Distribuição Acumulada;

Codpon - *Continuous Displacement Plan Oriented Network* - Redes Orientadas a Plano de Deslocamento Contínuo;

CFAOC - Capitania Fluvial da Amazônia Ocidental;

DTN - *Delay and disruption Tolerant Network* - Rede Tolerante a Atrasos e Desconexões;

IMI - Infraestrutura Móvel Inteligente baseada em Redes Celulares e Veiculares;

ITS - *Intelligent Transportation Systems* - Sistemas de Transportes Inteligentes;

KED - Kit Embarcado de Deslocamento;

MAP - *Mobile Access Point* - Ponto de Acesso Móvel;

PDF - *Probability Distribution Function* - Função de Distribuição de Probabilidade;

Rebus - Redes de Acesso em Ônibus Universitários;

RNP - Rede Nacional de Ensino e Pesquisa;

RSSI - *Received Signal Strength Indication*;

V2I - *Vehicle-to-Infrastructure*;

V2V - *Vehicle-to-Vehicle*;

VANET - *Vehicular Ad Hoc Network*;

Sumário

Lista de Figuras	xii
Lista de Tabelas	xiv
1 Introdução	1
1.1 Motivação	2
1.2 Objetivos	4
1.3 Organização do Texto	5
2 Conceitos Básicos de Redes Veiculares e DTN	7
2.1 Redes Veiculares	7
2.1.1 Padrões de Redes Veiculares	8
2.1.2 Roteamento em Redes Veiculares	9
2.2 Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões	10
2.2.1 Roteamento nas Redes DTN	11
2.3 Modelos de Mobilidade	12
3 Projetos Relacionados	14
3.1 Daknet	14
3.2 Codpon	15
3.3 Rebus	17
3.4 IMI	18
3.5 Tabela comparativa dos recursos oferecidos pelos projetos	19
4 Cenário de Aplicação	21
4.1 Visão Geral	21
4.2 Aplicações	24
5 Avaliação Experimental da Capacidade da Rede DTN	26
5.1 Capacidade de Transferência de Dados em Redes Veiculares	26
5.2 Análise de Capacidade de Transmissão de Dados dos Barcos no Rio Negro	28

5.2.1	O cruzamento entre dois Barcos	28
5.2.2	Um Barco e um Ponto de Acesso Fixo na Floresta	35
5.2.3	Um Barco e um Ponto de Acesso Fixo no Rio	37
5.3	Estudo de Capacidade das Redes DTN na Bacia Hidrográfica Ama- zonense	39
5.3.1	Relação entre Tempo de Contato e Quantidade de Dados Transferidos	42
5.3.2	Modelo de Tempos de Contato	43
5.3.3	Estudo de Capacidade das Redes DTN em Relação às Calhas	44
6	Simulação Computacional	47
6.1	Investigação dos Traces Reais de Mobilidade	47
6.2	Metodologia	48
6.2.1	Cruzamento entre Barcos	49
6.2.2	Traces	50
6.2.3	Simulação	53
6.2.4	Resultados da Simulação	55
7	Caracterização da Mobilidade na Bacia Amazônica	62
7.1	Investigação da Mobilidade	62
7.1.1	Análise Estatística dos Dados	64
7.2	Ajustes das Funções de Distribuição de Probabilidade em Relação as Componentes do Movimento	69
7.2.1	Velocidade	72
7.2.2	Aceleração	72
7.2.3	Ângulo de Mudança de Direção	72
8	Conclusões e Trabalhos Futuros	76
A	Distâncias	78
B	Lista dos Barcos	79
	Referências Bibliográficas	80

Lista de Figuras

1.1	Amazônia Legal.	3
2.1	Arquitetura de redes veiculares (Reproduzida de [1]).	8
2.2	Alocação do espectro para aplicações DSRC (Reproduzida de [1]).	8
2.3	A pilha de protocolos WAVE (Reproduzida de [1]).	9
2.4	Pilha de protocolos da Internet e de uma rede DTN.	11
3.1	Projeto Daknet (Reproduzida de [2]).	15
3.2	Projeto Codpon (Reproduzida de [3]).	16
3.3	Projeto Rebus (Reproduzida de [4]).	18
4.1	Cenários de transmissão de dados dos barcos no rio Negro.	23
4.2	Estimativa de capacidade de transmissão de dados.	24
5.1	Equipamentos utilizados nos experimentos.	29
5.2	Distância entre os barcos.	30
5.3	Ambiente do experimento de cruzamento entre barcos.	31
5.4	Transferência de dados sobre o UDP entre duas embarcações se cruzando a diferentes velocidades.	33
5.5	Ambiente do experimento de um barco cruzando um ponto de acesso fixo na floresta.	35
5.6	Transferência de dados sobre o UDP entre um barco e um ponto de acesso fixo na floresta a diferentes velocidades.	37
5.7	Ambiente do experimento de um barco cruzando um ponto de acesso fixo no rio.	39
5.8	Transferência de dados sobre o UDP entre um barco e um ponto de acesso fixo no rio a diferentes velocidades.	40
5.9	Capacidade das redes DTN.	41
5.10	Calhas fluviais da Amazônia Ocidental.	42
5.11	Avaliação do modelo.	46
6.1	Metodologia.	49

6.2	Cenário de mobilidade.	51
6.3	Típicos barcos da Amazônia que foram coletados os <i>traces</i> de mobilidade.	51
6.4	Equipamentos usados para coletar a posição geográfica dos barcos. . .	52
6.5	Função de distribuição cumulativa das métricas de contato dos barcos na simulação da calha do Baixo Amazonas.	57
6.6	Máxima e mínima quantidade de dados transferida.	58
6.7	Regiões que os contatos dos barcos são mais frequentes.	59
7.1	Função densidade probabilidade da velocidade dos barcos.	66
7.2	Função densidade probabilidade da aceleração dos barcos.	67
7.3	Função densidade probabilidade do ângulo dos barcos nos rios.	69
7.4	Cartas náuticas fluviais e lacustres de Manaus a Parintins (Reproduzida de [5]).	70
7.5	Trajetória dos barcos regionais nos rios Negro e Amazonas.	71
7.6	CDF da velocidade dos barcos.	73
7.7	CDF da aceleração dos barcos.	74
7.8	CDF do ângulo dos barcos.	75

Lista de Tabelas

1.1	Distâncias fluviais em dias.	3
3.1	Projetos relacionados.	19
5.1	Trabalhos relacionados a capacidade de transferência de dados em redes veiculares.	28
5.2	Parâmetros de medição configurados.	29
5.3	Média: tempo de contato, dados transferidos e vazão útil entre duas embarcações com UDP e padrão IEEE 802.11 b/g.	32
5.4	Média: tempo de contato, dados transferidos e vazão útil entre um barco e um ponto de acesso fixo na floresta com UDP e padrão IEEE 802.11 b/g.	37
5.5	Média: tempo de contato, dados transferidos e vazão útil entre um barco e um ponto de acesso fixo no rio com UDP e padrão IEEE 802.11 b/g.	40
5.6	Principais calhas fluviais da Amazônia Ocidental.	42
5.7	Coefficientes da equação e as métricas quantificadas.	43
5.8	Estudo de capacidade de redes DTN na bacia hidrográfica amazonense.	45
6.1	Comparativo dos trabalhos relacionados à <i>traces</i> reais de mobilidade com o presente trabalho.	48
6.2	Parâmetros da simulação.	54
6.3	Tempo de Contato X Dados Transferidos.	56
7.1	Trabalhos relacionados a investigação da mobilidade.	63
7.2	Componentes do movimento dos barcos de linha.	65
7.3	Componentes do movimento dos barcos expressos.	65
7.4	Cartas náuticas.	69
7.5	K-S das componentes de movimento dos barcos de linha e algumas funções de distribuição de probabilidade.	73
7.6	K-S das componentes de movimento dos barcos expressos e algumas funções de distribuição de probabilidade.	74

A.1	Distância em linha reta x distância fluvial.	78
B.1	Listagem dos barcos que viajam entre as cidades de Manaus e Parintins, onde os <i>traces</i> reais foram capturados nos rios Negro e Amazonas, junto com o agendamento dos barcos.	79

Capítulo 1

Introdução

O crescimento acelerado do uso de redes sem-fio está cada vez mais presente no cotidiano das pessoas, seja em ambientes acadêmicos, residenciais, públicos, entre outros. Essa tecnologia tem como principal característica a possibilidade de comunicação dos dispositivos móveis portáteis (notebooks, tablets, smartphones) sem a necessidade do uso de cabos, sejam eles telefônicos, coaxiais ou ópticos. Em muitas regiões do país o serviço de infraestrutura de cabeamento de rede é inexistente, em especial na região Amazônica. Nessa região existem graves problemas de disponibilidade de energia elétrica, infraestrutura física e de telecomunicações nos municípios. Na maioria dos municípios do interior a conexão com a capital ocorre via satélite, o que não atende a demanda da região, devido à limitação de capacidade do sistema, à demanda de tráfego e ao alto custo. Uma das alternativas de comunicação de dados nessa região é o uso das redes veiculares combinadas com as redes tolerantes a atrasos e desconexões, apresentadas nas Seções 2.1 e 2.2, respectivamente.

As VANETs são formadas por veículos automotores, por equipamentos fixos localizados no entorno das vias e por um sistema de comunicação sem-fio [1]. Os principais desafios técnicos que essas redes enfrentam são a alta mobilidade dos nós, o dinamismo dos cenários e a escalabilidade em termos do número de nós. Tais redes possuem um baixo tempo de contato entre os nós, que estão sujeitos a perda de conectividade durante a transmissão dos dados devido à interferência de outras fontes, redução da força do sinal e da propagação multicaminhos. São exemplos de veículos automotores: os automóveis, os caminhões, os ônibus, as motocicletas, os barcos, entre outros. Essas redes possuem diferentes aplicações, que podem ser classificadas em dois grupos: aplicações de usuário e aplicações de segurança. Exemplos de aplicações de usuário são o envio de *e-mails*, aplicações par-a-par, distribuição de conteúdo, entre outras. Exemplos de aplicações de segurança são avisos sobre más condições da pista, alertas sobre acidentes ou avisos de congestionamento. Entretanto, o conhecimento da trajetória do veículo ou dos hábitos dos usuários podem ser usados para aumentar a eficiência da rede.

As redes DTN [2, 3] foram desenvolvidas para cenários que têm conectividade intermitente, ocasionada pela inexistência ou perda do contato entre os nós devido a fatores como mobilidade e baixa potência do sinal. Essa intermitência pode causar longos atrasos e baixas taxas de entrega de mensagens [4, 6] na rede. Para contornar esse problema, as redes DTN fazem uso de comutação de mensagens combinada ao armazenamento persistente. Os nós encapsulam as mensagens em agregados. Assim, um agregado ao ser enviado da origem ao destino é armazenado em cada nó intermediário. Os nós mantêm esses agregados em seu *buffer* durante períodos sem conectividade e tentam encaminhá-los quando um contato é estabelecido. Dessa forma, o nó de destino não precisa estar disponível continuamente, pois os nós intermediários armazenam o agregado e o entregam oportunamente. No entanto, as redes DTN possuem vários desafios atribuídos às frequentes mudanças de sua topologia física e às dificuldades relacionadas a conectividade entre os dispositivos da rede nos ambientes fluviais. Diante disso, esta tese se dedica ao estudo da capacidade de transferência de dados das redes DTN nos cenários hidroviários.

1.1 Motivação

A Amazônia Brasileira ou Amazônia Legal [7–9] (Figura 1.1) é formada pelos seguintes estados brasileiros: Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins. A Amazônia possui a maior bacia hidrográfica do mundo [10–13], com 20% da água doce do planeta, composta por mais de 20.000 km de hidrovias navegáveis e com 1/3 das florestas tropicais úmidas do mundo. A Amazônia representa quase 65% do território brasileiro e corresponde a mais de oito vezes o tamanho da França. Entretanto, a Amazônia sofre com graves problemas de infraestrutura de comunicação de dados [14], o que prejudica o nível de desenvolvimento sócio-econômico da região. As características geográficas [7, 9, 15] da Amazônia favorecem o meio de transporte fluvial, que é praticamente o único meio de transporte que atende aos deslocamentos de carga e da população na região. O transporte aéreo entre pequenas localidades requer várias escalas entre as cidades, aumentando os custos operacionais da viagem. Desta forma, as hidrovias fazem o papel das ruas ou estradas e os barcos o dos veículos. Um dos grandes incômodos das viagens de barco é o tempo de viagem [16–18], mesmo para distâncias consideradas pequenas, como mostra a Tabela 1.1.¹ As distâncias em linha reta e as distâncias fluviais da capital Manaus em relação aos municípios do estado do Amazonas são detalhadas no Apêndice A.

¹A diferença, por exemplo, no tempo de viagem de Manaus a Belém e de Belém a Manaus se deve ao fato de que o primeiro trecho é realizado descendo o rio, ou seja, a favor da correnteza, enquanto o segundo trecho é realizado subindo o rio, contra a correnteza.



Figura 1.1: Amazônia Legal.

Tabela 1.1: Distâncias fluviais em dias.

Percurso	Tempo de Viagem (Dias)
Manaus - Belém	3,5 a 4
Belém - Manaus	5 a 6
Manaus - Porto Velho	6 a 7
Porto Velho - Manaus	4 a 5 e 7 a 8
Manaus - São Gabriel da Cachoeira	2,5 a 3
São Gabriel da Cachoeira - Manaus	2
Manaus - Tabatinga	5 a 6
Tabatinga - Manaus	3
Manaus - Tefé	2
Tefé - Manaus	1,5

Uma das alternativas para minimizar a falta de infraestrutura de telecomunicações nas cidades da Amazônia é o uso dos barcos nos sistemas comunicação, de forma análoga como as VANETs [19–23] são utilizadas nos carros [24, 25], nos ônibus [2, 26] e nos drones [27] para compor o sistema de comunicação de dados. Entretanto, as VANETs possuem vários desafios técnicos [1], como o alto grau de mobilidade dos nós, que causa variação da qualidade dos enlaces e conectividade intermitente. Assim, a ideia básica deste trabalho é proporcionar uma rede de comunicação de dados entre as diversas cidades desprovidas de um sistema de comunicação de dados ou com um sistema de comunicação de dados precário. Dessa forma, um maior número de cidades, comunidades, vilarejos e povoados são beneficiados com redes veiculares formadas pelos barcos que trafegam nos diversos rios e afluentes da bacia Amazônica. Considerando que existem mais de 45.000 barcos [28] fazendo rotas entre as cidades, com uma infraestrutura previamente existente nos portos e nos terminais de embarque/desembarque de cargas e de passageiros, os barcos podem fazer contatos oportunistas, de forma a levar mensagens de uma cidade para outra e trocar mensagens entre si ao longo do leito do rio, aumentando a capilaridade desta rede. No

entanto, existem alguns desafios que se somam aos tempos de viagem, medidos em dias, que precisam ser abordados, tais como: as características de comunicação dos dados nos rios que são diferentes dos ambientes indoor e urbanos e as características dos contatos dos barcos ao longo do leito dos rios, bem como suas trajetórias nos leitos dos rios. Assim, é importante analisar a implementação das VANETs num cenário real de movimentação dos barcos nos rios da Amazônia, com o intuito de responder às seguintes perguntas: Como seria o funcionamento de uma rede veicular num ambiente fluvial? Quais são os problemas que podem ser encontrados nessa rede? Como caracterizar os contatos entre os barcos e como ele funciona? Qual é a capacidade dessa rede? Esses questionamentos estão em aberto e são respondidos nesta tese.

1.2 Objetivos

O objetivo geral é caracterizar os contatos, a transmissão de dados e estimar a capacidade de transferência de dados dos barcos na Amazônia. Com base nos experimentos práticos, surge uma proposta alternativa para interconectar as cidades, as comunidades e os vilarejos mais afastados do estado do Amazonas, com a utilização das redes DTN em regiões de difícil acesso.

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar a transmissão e os contatos dos barcos, em termos da vazão útil da rede e do tempo de contato, respectivamente;
- Estimar a capacidade de contato e de transferência de dados na bacia hidrográfica amazonense;
- Caracterizar estatisticamente o comportamento de movimentação dos barcos nos rios da Amazônia.

Para alcançar os objetivos estabelecidos foram definidas quatro etapas para caracterização das Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões na Bacia Amazônica. Na primeira etapa são realizados experimentos práticos a fim de medir a capacidade de transmissão de dados. No cenário de cruzamento entre embarcações é utilizada a técnica estatística de regressão para estimar a quantidade de dados transmitida em função do tempo de contato. Na segunda etapa, foram coletadas informações reais junto ao órgão governamental responsável pelas hidrovias da Amazônia Ocidental, obtendo-se a quantidade de barcos, os itinerários, tempo de viagem dos barcos que trafegam pelas calhas² fluviais da bacia hidrográfica amazonense. Essas informações

²As calhas são importantes vias de transporte social e econômico para o estado do Amazonas, pois são por meio delas que são feitas as ligações entre os municípios e por onde são escoados os produtos produzidos no Pólo Industrial de Manaus (PIM).

servem de base para construir o modelo de tempo de contato, na qual são calculados os tempos de contatos dos barcos intermunicipais e interestaduais, conforme a Seção 5.3. Esses tempos de contato foram substituídos no modelo de regressão, descrito na Seção 5.3.1, de forma que foi extrapolado o resultado do experimento prático do cruzamento entre dois barcos para toda a bacia hidrográfica amazonense, ou seja, como se cada cruzamento entre outros barcos quaisquer resultassem em valores análogos ao realizado no experimento prático. Na terceira etapa, são realizadas as simulações computacionais. Nas simulações são combinadas as informações dos experimentos práticos com os *traces* reais de mobilidade dos barcos coletados na bacia Amazônica. Por fim, é realizado um estudo estatístico dos *traces*, com o intuito de caracterizar a mobilidade dos barcos e avaliar a distribuição de probabilidade presente na literatura que mais se aproxima do comportamento das componentes de movimento velocidade, aceleração e ângulo de mudança de direção dos barcos nesses rios.

As contribuições deste trabalho são resumidas a seguir:

- Medição da capacidade de transferência de dados dos barcos no rio Negro;
- Estimativa da capacidade das redes DTN [6, 29, 30] nos rios do estado do Amazonas;
- Obtenção dos *traces* de mobilidade dos barcos capturados nos rios Negro e Amazonas, no trecho de rio delimitado pelas cidades de Manaus e de Parintins;
- Análise estatística dos dados de mobilidade dos barcos nos rios Negro e Amazonas.

1.3 Organização do Texto

O restante desta tese está organizado da seguinte forma. No Capítulo 2, é feita uma revisão bibliográfica das redes veiculares, das redes DTN e dos modelos de mobilidade. No Capítulo 3 são apresentados os projetos relacionados utilizados como referência para o desenvolvimento dos cenários de aplicação propostos. No Capítulo 4 é mostrada uma descrição completa dos cenários de aplicação vislumbradas neste trabalho. No Capítulo 5 são mostrados os detalhes do ambiente, a descrição dos equipamentos e os resultados da capacidade de transmissão de dados dos cenários propostos nos experimentos práticos, bem como a estimativa matemática da capacidade da rede DTN dos rios da Amazônia Ocidental. No Capítulo 6 é apresentado em maior nível de detalhes o ambiente que foram coletados os *traces*, a simulação com os seus parâmetros de configuração, as métricas avaliadas e os resultados. No Capítulo 7 é apresentada uma análise estatística dos dados. Além disso,

é realizado um estudo comparativo dos dados reais capturados nos *traces* com as funções de distribuição de probabilidade da literatura. O Capítulo 8 apresenta a conclusão e as direções futuras para a tese.

Capítulo 2

Conceitos Básicos de Redes Veiculares e DTN

Este capítulo apresenta os principais conceitos, arquitetura e os desafios que envolvem as redes veiculares e as redes DTN. Por fim, são tratados os modelos de mobilidade analíticos e os modelos baseados em *traces*.

2.1 Redes Veiculares

As redes ad hoc veiculares (*Vehicular Ad Hoc Network* - VANET) são um tipo de rede móvel formada por veículos ou entre passageiros com dispositivos de comunicação sem-fio nos veículos. Nessas redes às aplicações [1, 19] são voltadas para segurança no trânsito, entretenimento e assistência ao motorista. Com relação às aplicações de segurança, elas são importantes para prevenir acidentes ou resgatar em tempo hábil vítimas de acidentes. Já as aplicações de entretenimento estão relacionadas às aplicações da Internet, como mensagens instantâneas, músicas e filmes. As aplicações de assistência ao motorista auxiliam na condução do veículo a partir do fornecimento de informações úteis, como localização de postos de abastecimento e cobrança automatizada de pedágio.

A arquitetura das redes veiculares define a forma como os nós se organizam e se comunicam, que pode ser: ad hoc puro, infraestruturada ou híbrida [1, 31], conforme a Figura 2.1. Nas redes ad hoc, os veículos se comunicam sem a presença de um elemento centralizador. Nessa arquitetura, a influência na conectividade da rede depende da densidade e do padrão de mobilidade dos veículos. Nas redes infraestruturadas, as unidades de acostamento estão dispostas ao longo das vias, centralizando tráfego e possibilitando a comunicação com outras redes. Nas redes híbridas, os veículos comunicam entre si e/ou com a infraestrutura fixa, aumentando a conectividade dessas redes. As comunicações entre nós móveis são

denominadas V2V (*Vehicle-to-Vehicle*) e entre nós móveis e a infraestrutura V2I (*Vehicle-to-Infrastructure*).

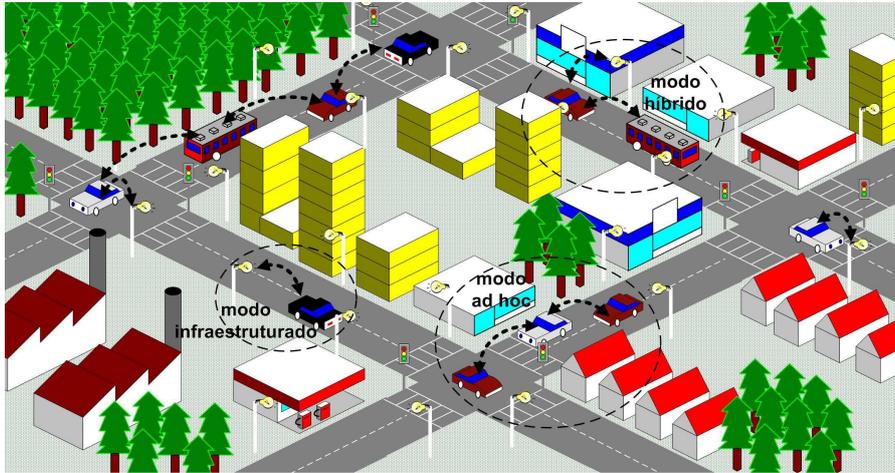


Figura 2.1: Arquitetura de redes veiculares (Reproduzida de [1]).

2.1.1 Padrões de Redes Veiculares

A reserva de uma faixa de comunicação de curto alcance dedicada (*Dedicated Short Range Communications - DSRC*) pode ser considerada uma das primeiras iniciativas de padronização das tecnologias de comunicações veiculares, realizada pelos Estados Unidos. Em 1999, a FCC (*Federal Communications Commission*), alocou 75 MHz do espectro de frequências, na banda de 5,9 GHz (5,850 - 5,925 GHz), ilustrada na Figura 2.2. A faixa DSRC é livre, porém é necessário obter licença de uso. Desde 2004, o IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) iniciou o processo de padronização de comunicação das redes veiculares, conhecido como IEEE 802.11p WAVE (*Wireless Access in the Vehicular Environment*).

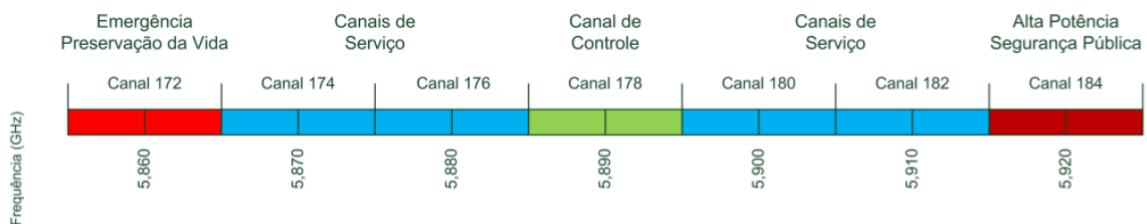


Figura 2.2: Alocação do espectro para aplicações DSRC (Reproduzida de [1]).

A Figura 2.3 mostra a arquitetura do protocolo WAVE. Essa arquitetura está organizada nos seguintes documentos: IEEE P1609.1, IEEE P1609.2, IEEE P1609.3, IEEE P1609.4, IEEE 802.11 e IEEE 802.11p. O padrão IEEE P1609.1 tem o foco voltado para o gerenciamento de recursos, detalhando o formato das mensagens,

serviços e interfaces suportados pelo padrão. O padrão IEEE P1609.2 tem o foco voltado para prover os serviços de segurança das aplicações e gerenciamento de mensagens. Autenticidade e confidencialidade são exemplos dos serviços suportados por esse padrão. O padrão IEEE P1609.3 tem o foco voltado para os serviços das camadas de rede e de transporte. Esse padrão também descreve o funcionamento da transmissão e recepção de mensagens curtas. O padrão IEEE P1609.4 tem o foco voltado para o modo de operação e o gerenciamento dos múltiplos canais. Esse padrão é uma modificação do padrão de redes locais IEEE 802.11a.

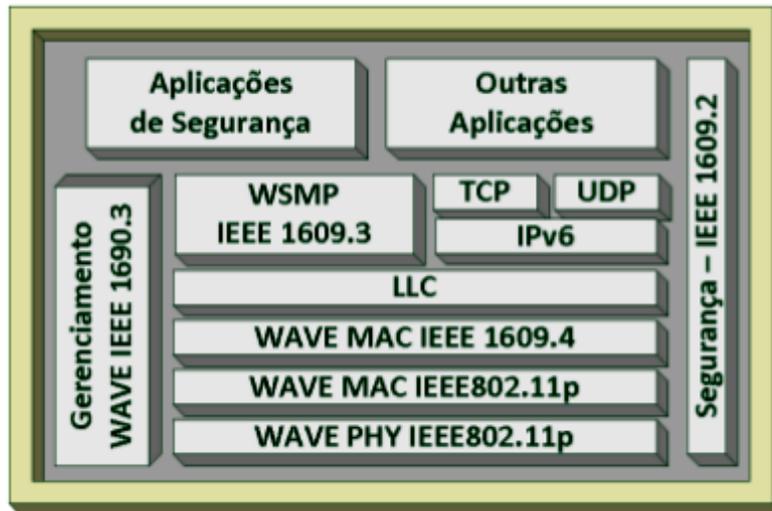


Figura 2.3: A pilha de protocolos WAVE (Reproduzida de [1]).

2.1.2 Roteamento em Redes Veiculares

Um outro aspecto bastante estudado nessas redes é o protocolo de roteamento [32–35]. Na literatura, os protocolos podem ser classificados em: topológicos, oportunistas, de disseminação de informações e geográficos. Os protocolos topológicos [36, 37] encontram o melhor caminho entre qualquer par origem-destino da rede. O melhor caminho representa o menor custo da rede de acordo com as métricas empregadas na análise. Os protocolos oportunistas [38, 39] não possuem garantias de estabelecimento de caminhos fim-a-fim entre pares origem-destino, devido à escassez de nós na rede. Esse tipo de protocolo é voltado para o universo das redes DTN. Os protocolos de disseminação [40, 41] utilizam a topologia da rede para criar caminhos de disseminação das mensagens entre os veículos. A topologia dessa rede muda com bastante frequência, ocasionado pelo comportamento dinâmico das redes veiculares. Os protocolos geográficos [42, 43] proveem escalabilidade em ambientes de alta mobilidade, pois não é necessário manter informações sobre as rotas para todos os nós da rede, uma vez que a posição geográfica dos nós é utilizada para esco-

lher o caminho até o nó de destino. Esse tipo de protocolo também é empregado no cenário típico de redes veiculares, pois assume-se que todos os nós da rede possuem algum sistema de localização.

2.2 Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões

As redes DTN [6] possuem conectividade intermitente, e são caracterizadas por longos atrasos, frequentes desconexões e capacidade de armazenamento de dados dos nós. Os longos atrasos podem ser da ordem de horas ou dias, ocorrendo na troca de mensagens entre os nós. As frequentes desconexões são ocasionadas pela mobilidade dos nós, devido às constantes mudanças na topologia da rede e às péssimas condições de comunicação. Por último, a capacidade de armazenamento é necessária, pois cada nó armazena e encaminha as mensagens desde a origem até o destino [29].

A arquitetura das redes DTN [44] está alicerçada em dois princípios fundamentais, que são a camada de agregação e o paradigma armazena-carrega-e-encaminha. Essa camada é implementada sobre a pilha Internet tradicional (ilustrada na Figura 2.4 [44]), e é chamada de *Bundle Layer*. Ela consiste na utilização da técnica de comutação de mensagens e na agregação ou empacotamento dos fragmentos das mensagens entre a camada de aplicação e de transporte, permitindo o desenvolvimento de aplicações sem se preocupar com as características da rede e garantindo a interoperabilidade entre diversos tipos de redes. Nas redes DTN, o protocolo de agregação é executado em todos os nós pertencentes à rede desde o nó origem até o nó destino ao estabelecer um contato. A transferência de custódia, fragmentação e reagrupamento de agregados, políticas de encaminhamento e descarte de agregados, bem como confirmação de recebimento dos agregados são funções dessa camada. Já o paradigma armazena-carrega-e-encaminha (*store-carry-and-forward*) trata do problema de conectividade intermitente, fazendo o uso de comutação de mensagens e provendo o armazenamento persistente das mensagens. Os nós encapsulam as mensagens em agregados. Desta forma, um agregado ao ser enviado da origem ao destino é armazenado em cada nó intermediário. Os nós mantêm esses agregados em seu *buffer* durante períodos sem conectividade e tentam encaminhá-los quando um contato é estabelecido. Assim, o nó de destino não precisa estar disponível continuamente, pois os nós intermediários armazenam o agregado e o entregam oportunamente [45].

Um contato corresponde a uma ocasião favorável para os nós trocarem mensagens [46]. Os contatos são classificados em:

- Persistente: o contato que está sempre disponível;
- Sob demanda: necessitam de uma ação para serem estabelecidos;

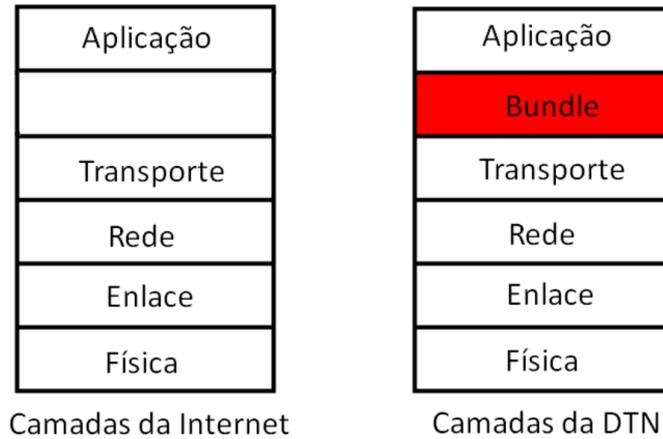


Figura 2.4: Pilha de protocolos da Internet e de uma rede DTN.

- Programado: a troca de informações entre os nós comunicantes pode ser programada previamente com o horário e duração do contato;
- Previsível: os nós fazem previsões sobre o horário e a duração dos contatos com base em dados históricos de contatos que já foram realizados;
- Oportunista: contato que ocorre quando não há encontros programados entre os nós, inesperadamente, de forma aleatória.

2.2.1 Roteamento nas Redes DTN

De acordo com [47], os algoritmos de roteamento [48] podem ser classificados em estocásticos e determinísticos. Os algoritmos estocásticos não possuem conhecimento prévio sobre a topologia da rede e os nós se movimentam de forma aleatória. Uma estratégia empregada para aumentar a probabilidade de entrega da mensagem é a utilização do histórico de comportamento da rede [49–51]. Por outro lado, os algoritmos determinísticos possuem um conhecimento prévio das mudanças na topologia da rede no tempo, sendo possível o cálculo das jornadas das mensagens. Assim, o caminho entre os nós de origem e destino é conhecido e determinado antes do envio da mensagem [50, 52].

Nos trabalhos de Balasubramanian et al. [53] e Spyropoulos et al. [51] os protocolos para redes DTN são classificados em protocolos baseados em encaminhamento e protocolos baseados em replicação [54]. Os protocolos baseados em encaminhamento escolhem quais pacotes serão transmitidos. Geralmente, os protocolos de roteamento baseados em encaminhamento fazem uso de informações ou estimativas que os nós obtêm sobre a rede, por exemplo, tempo médio de contato ou frequência dos contatos. Dessa forma, o nó é capaz de decidir para qual nó encaminhar um pacote e o melhor instante de fazê-lo. Exemplos de protocolos baseados em enca-

minhamento são o Prophet [45, 55, 56], o Meed [52] e o Maxprop [26, 29]. Já os protocolos baseados em replicação de pacotes tentam aproveitar as oportunidades de contato para transmitir o máximo de pacotes possíveis entre os nós. O objetivo deste tipo de roteamento é aumentar a probabilidade de uma cópia do pacote alcançar o nó destino, tentando assim reduzir o atraso na entrega. Entretanto, o aumento do número de réplicas dos pacotes na rede pode resultar em um rápido preenchimento do *buffer*, fazendo com que alguns pacotes sejam descartados, podendo ter uma queda no desempenho da rede. Exemplos de protocolos baseados em replicação são o Epidêmico [57, 58], Rapid [59] e o Spray and Wait [60, 61].

2.3 Modelos de Mobilidade

Devido à mobilidade dos nós, a conectividade da rede se modifica com o passar do tempo, influenciando na troca de mensagens realizada pelos nós. Dessa forma, a mudança na topologia ocasiona alguns problemas como, por exemplo, desconexões frequentes, grandes atrasos e altas taxas de erro [62]. Portanto, é de extrema importância a forma como os nós se movimentam na rede. Os trabalhos de Camp et al. [63] e de Jardosh et al. [64] mostraram que os padrões de mobilidade podem influenciar no desempenho dos protocolos usados, alterando a taxa de entrega dos pacotes. Assim, é fundamental estudar os modelos de mobilidade.

Os modelos de mobilidade buscam representar o comportamento da movimentação dos nós móveis em cenários reais. Segundo Musolesi e Mascolo [45], os modelos de mobilidade são baseados em *traces* e em modelos sintéticos. Os modelos baseados em *traces* realizam a captura de informações do comportamento real da movimentação do dispositivo móvel, enquanto os modelos de mobilidade sintéticos representam a movimentação do nó por uma equação matemática ou por um processo estocástico. Os modelos baseados em *traces* reais de barcos são utilizados nesse trabalho [45].

Segundo Bai e et al. [65], os modelos de mobilidade podem ser classificados de acordo com a aleatoriedade, dependência temporal, dependência espacial e com as restrições geográficas. Nos modelos aleatórios os nós móveis se movem aleatoriamente e livremente sem restrições de velocidade e direção. Nos modelos com dependência temporal os nós se movem com restrições de velocidade e direção. Nos modelos com dependência espacial a relação espacial da movimentação do grupo de nós contribuem significativamente para a compreensão do fenômeno estudado. Por fim, o modelo com restrições geográficas está sujeito às restrições geográficas da área de simulação.

Segundo Camp et al. [63], os modelos de mobilidade podem ser classificados em individual e em grupo. Os modelos individuais [63, 66–69] representam o comportamento de movimentação de um nó móvel de forma independente dos demais nós da

rede. *Random Waypoint*, *Random Walk*, *Smooth Random* e *Markov* são exemplos de modelos individuais. Os modelos em grupo [63, 70–73] representam o comportamento de movimentação que os nós possuem dependência em relação aos demais nós da rede. *Reference Point*, *Column*, *Pursue* e *Nomadic Community* são exemplos de modelos em grupo.

A mobilidade exerce grande impacto numa variedade de sistemas e aplicações, assim como nas redes infraestruturadas, nas redes ad hoc, nas redes DTN, nas redes veiculares entre outros. O estudo e a pesquisa dos protocolos e algoritmos para redes de computadores dependem de simulações, o que possibilita a análise de desempenho dessas redes nos mais diversos cenários. Tratando-se especificamente das redes móveis no ambiente de simulação, faz-se necessário o uso de modelos de mobilidade para representar a posição cartesiana dos nós móveis no decurso do tempo. Essa posição, ou a mobilidade em si é determinante no desempenho das redes estudadas.

Muitos pesquisadores têm concentrado esforços na análise de cenários de mobilidade mais realistas. Em vários cenários foram registrados o movimento capturado dos dispositivos móveis e disponibilizados na base de dados do projeto CRAWDAD [74] (*Community Resource for Archiving Wireless Data At Dartmouth*)¹ para a comunidade científica. Esses *traces* de mobilidade podem ser utilizados para alimentar simulações e produzir resultados simulados mais próximos a um ambiente real.

¹CRAWDAD é um projeto da Universidade de Dartmouth que armazena dados de experimentos diversos da comunidade de redes sem-fio.

Capítulo 3

Projetos Relacionados

Este capítulo apresenta os principais projetos relacionados ao problema tratado nesta tese. Desta forma, são analisadas as características, a relevância do trabalho e a contribuição para o desenvolvimento do trabalho proposto. A análise é fundamentada em identificar e comparar o foco dos trabalhos, a tecnologia, a rede, a arquitetura, o veículo empregado e a abordagem de desenvolvimento dos projetos. Assim, Daknet, Codpon, Rebus e IMI são os projetos analisados nas próximas seções.

3.1 Daknet

O projeto DakNet [2] foi desenvolvido por pesquisadores do *MIT Media Lab*, tendo como objetivo fornecer comunicação digital entre aldeias remotas na Índia e Camboja a um baixo custo. Nessas regiões não é viável transmitir dados via satélite ou por infraestrutura cabeada, em função das características geográficas, como distância e regiões acidentadas, além de questões econômicas. Desta forma, empregam-se as redes DTN para fazer a comunicação assíncrona dos quiosques e das vilas. Os quiosques e as vilas são estações fixas de acesso e gerenciam as requisições dos usuários. As estações móveis que transportam os dados entre os quiosques e as vilas são os ônibus, as motocicletas e as bicicletas, utilizados como mulas de dados e equipados com os Pontos de Acesso Móveis (*Mobile Access Points* - MAPs).

As comunicações são armazenadas no servidor local dos quiosques. Quando um veículo equipado com um MAP entra no raio de cobertura de um quiosque da aldeia, é detectado automaticamente a conexão sem-fio e, em seguida, realizado os *uploads* e *downloads* de dezenas de megabytes de dados. Posteriormente, em locais com acesso à Internet, o veículo equipado com MAP envia as requisições, sincroniza os dados e entrega os resultados para as vilas, conforme ilustra a Figura 3.1.

Foram realizados vários testes experimentais relacionados à conectividade dos MAPs as vilas numa área de 100 m², utilizando o padrão de comunicação sem-

o padrão IEEE 802.11b, a fim de medir a vazão da rede, tempo de contato e o alcance. A vazão útil alcançada na rede é de aproximadamente 2,47 Mbps, com um tempo de contato de 2 minutos e 39 segundos e a quantidade de dados transferida de 20,9 Mbytes unidirecional (Quiosque para MAP/MAP para Quiosque). As antenas usadas nos experimentos foram omnidirecional e direcional com diferentes ganhos de acordo com a orientação de cada quiosque e da posição de parada dos veículos ao longo da estrada. Esses resultados representam a média de um grupo de testes com diferentes modelos de equipamentos e configurações. As aplicações mais comuns nesse cenário são a entrega de *e-mails*, requisição de páginas *web*, mensagens e arquivos compartilhados.

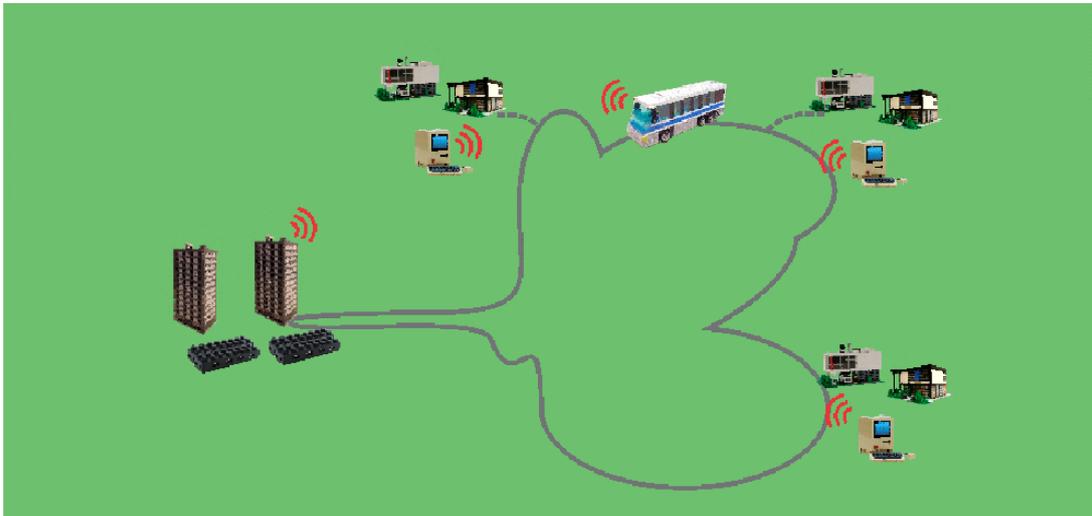


Figura 3.1: Projeto Daknet (Reproduzida de [2]).

3.2 Codpon

O projeto de Redes Orientadas a Plano de Deslocamento Contínuo (*Continuous Displacement Plan Oriented Network - Codpon*) [3] foi desenvolvido por pesquisadores da Universidade da Amazônia (UNAMA), visando prover uma infraestrutura de inclusão digital aos vilarejos isolados geograficamente no arquipélago de Marajó, localizado no estado do Pará. Nessas regiões, o barco é o único meio de transporte para a comunicação dos vilarejos entre si e destes com as grandes cidades. As cidades envolvidas no projeto são Cachoeira do Arari, Portel, Melgaço, Bagre, Breves, São Sebastião da Boa Vista e a metrópole Belém.

Por se tratar de uma rede DTN, conforme a Figura 3.2, os barcos são utilizados como mula de dados, ou seja, veículos móveis que possuem uma identificação única e se deslocam periodicamente entre os portos com rotas, dias e horários

pré-estabelecidos. Os barcos possuem um módulo básico de transmissão de dados chamado Kit Embarcado de Deslocamento (KED). Um KED contém um microcomputador com disco de armazenamento persistente, rodando sobre uma plataforma de sistema operacional Linux e uma rede sem-fio ajustada para comunicação em modo *ad hoc*, composta por rádio transmissor e antena omnidirecional.

As estações fixas são os portos, local por onde os barcos passam e fazem paradas programadas. Quando um barco está ancorado num porto é estabelecida uma conexão com a base desse porto para transmissão e recebimento das mensagens. Os barcos dentro da mesma área de cobertura interagem com o propósito de entregar a mensagem no porto de destino de cada aplicação. Isto é realizado por meio de um sistema cliente-servidor operando no KED acoplado no interior dos barcos. O plano de deslocamento dos barcos é uma tabela dos portos que são realizadas as escalas. Nessa tabela consta a origem e o destino dos barcos para os portos, as escalas e a estimativa de tempo em cada trecho do percurso.

Com o objetivo de analisar o desempenho das redes DTN formadas entre os barcos e os portos das cidades é utilizada a técnica de simulação computacional. Na simulação foram definidas as posições geográficas dos portos, as distâncias entre cada uma das cidades, o número de pontos a serem percorridos em 1 hora, a topologia *flatgrid* da rede e o espaço entre os pontos do *flatgrid* (0,5 quilômetros). Os barcos realizavam deslocamentos entre as cidades, numa área de 500 x 100 quilômetros, a uma velocidade constante de 30 km/h, com uma área de cobertura do rádio de comunicação de 1 quilômetro. As métricas avaliadas nesse cenário são a vazão da rede, o atraso na entrega de pacotes e o *jitter*.

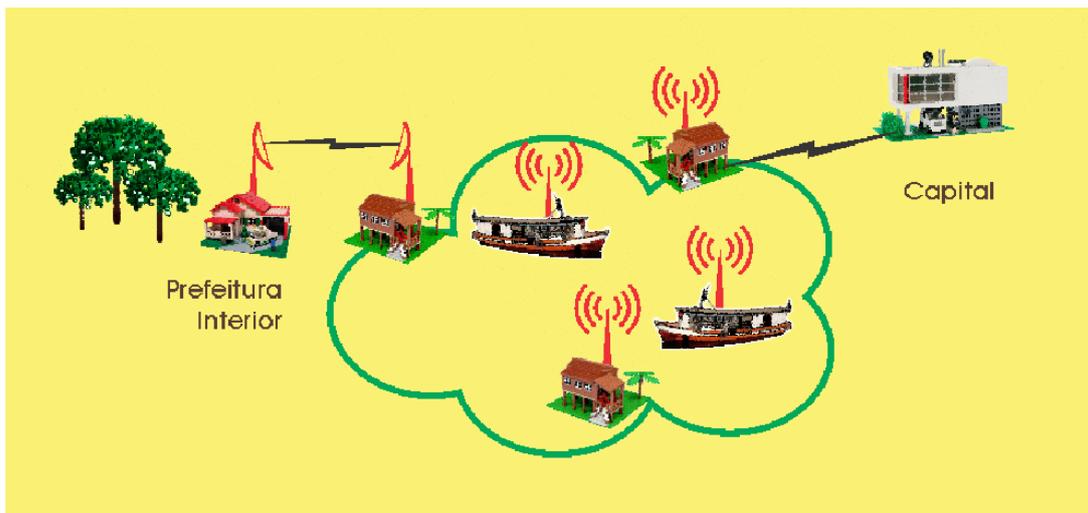


Figura 3.2: Projeto Codpon (Reproduzida de [3]).

3.3 Rebus

O projeto Rebus [4] (Redes de Acesso em Ônibus Universitários) foi desenvolvido por pesquisadores da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Grupo de Teleinformática e Automação (GTA), em parceria com as Universidades Federal Fluminense (UFF) e a de Pierre e Marie Curie (UPMC - França), visando implementação de um novo serviço de acesso à Internet nas instituições servidas pela RNP (Rede Nacional de Ensino e Pesquisa), em especial as universidades. Nessas redes, os usuários tem acesso à Internet dentro dos ônibus de circulação interna que fazem o transporte de alunos e professores no campus universitário da UFRJ (ilha do Fundão) com o uso das redes veiculares interconectadas a uma rede em malha sem-fio. A rede proporciona aos usuários serviços, mesmo nas situações que existem períodos de desconexão parcial. Desta forma, são mesclados os conceitos das redes DTN e das redes veiculares.

Os ônibus são utilizados como mula de dados (mostrado na Figura 3.3), e realizam o transporte de dados quando não existe conexão com os nós fixos da rede em malha, situados nos pontos de ônibus, prédios ou postes. As aplicações desenvolvidas para esse cenário são envio de mensagens e distribuição de conteúdo. A seguir será descrito os passos para envio da mensagem.

- Um usuário equipado com um *smartphone* utiliza a aplicação de envio de mensagens, estando conectado ou não a uma rede de acesso. Esse dispositivo executa a pilha de protocolos DTN, e caso não exista conexão com o ônibus, as mensagens ficarão armazenadas no *smartphone*. No momento que o *smartphone* estabelece uma conexão com o ônibus, os dados são transmitidos do *smartphone* do usuário para o roteador do ônibus.
- Quando o ônibus entra na área de cobertura do nó fixo é estabelecido uma conexão e transferidos os dados armazenados do roteador sem-fio do ônibus para o roteador sem-fio do acostamento. O roteador sem-fio do acostamento encaminha os dados por meio de uma rede em malha, chegando ao *gateway*.
- Por fim, o *gateway* encaminha os agregados (*bundles*) para o *proxy*, que desfaz os agregados gerando datagramas IP e se conecta a um servidor de *e-mail* padrão para enviar as mensagens com base nas informações extraídas dos agregados.

Experimentos práticos foram realizados no ônibus para avaliar a capacidade de transmissão de dados nessa rede sem-fio, padrão IEEE 802.11 b/g. As métricas avaliadas foram a quantidade de dados transferida, o tempo de contato, a vazão útil, o alcance e a relação da velocidade do ônibus com os tempos que ele fica parado e em

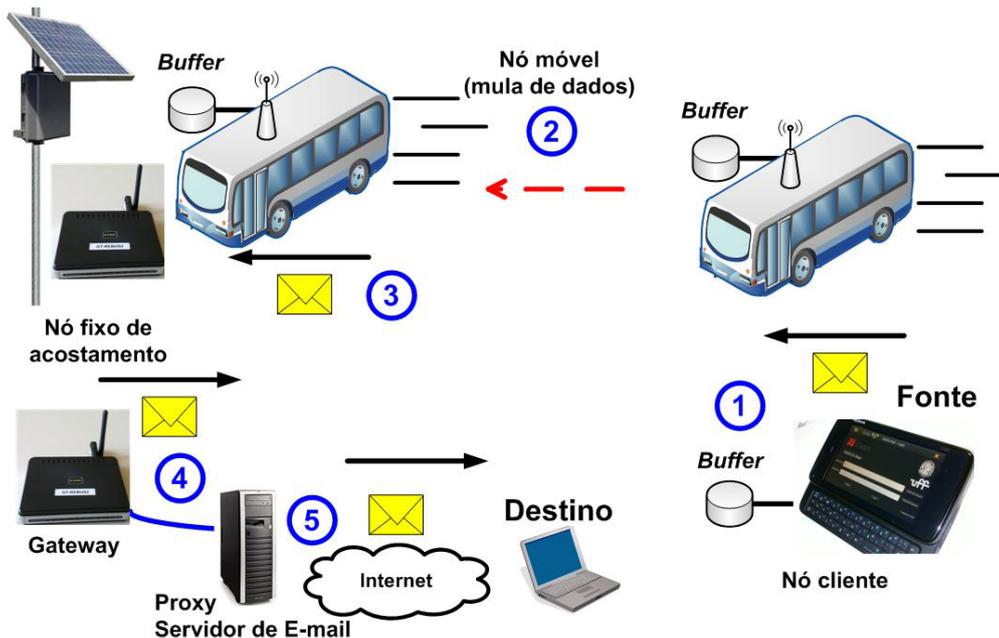


Figura 3.3: Projeto Rebus (Reproduzida de [4]).

movimento. Os resultados mostraram que é realizado o envio eficiente de mensagens via *e-mail* dos usuários portando celulares (nesse protótipo, os celulares Nokia N900) para qualquer destinatário que possuía um endereço de correio eletrônico válido, mesmo em períodos de desconexão. A mensagem é automaticamente enviada ao se estabelecer uma conexão com a rede. A aplicação é baseada no paradigma cliente-servidor.

3.4 IMI

O projeto IMI (Infraestrutura Móvel Inteligente baseada em Redes Celulares e Veiculares) [75] foi proposto por pesquisadores da UFRJ, GTA, e visa a construção de uma infraestrutura de pesquisa em redes veiculares na ilha do Fundão, com o intuito de avaliar a capacidade de transmissão do protocolo IEEE 802.11p por meio de experimentos práticos, analisar os protocolos de roteamento com múltiplos saltos em redes no ambiente de simulação e projetar, simular e avaliar os mecanismos de encaminhamento de requisições e conteúdos em redes orientadas a conteúdo. Desta forma, as redes veiculares são combinadas com as redes celulares e com as redes DTN. Além disso, o projeto trata do desenvolvimento de aplicações voltadas aos grandes eventos concentrados no estado do Rio de Janeiro, como um serviço de previsão de chegada dos ônibus pela Internet e o acesso à Internet a bordo do trem MagLev-Cobra [76].

Os carros, os ônibus e o trem MagLev-Cobra são utilizados como veículos, e realizam o transporte de dados quando não existe conexão com os nós fixos, situados nos postes das vias de trânsito. As comunicações são realizadas entre os próprios veículos e destes com os nós fixos.

3.5 Tabela comparativa dos recursos oferecidos pelos projetos

A Tabela 3.1 apresenta o comparativo dos trabalhos de acordo com os seguintes aspectos: foco, tecnologia, rede, arquitetura, veículo e a abordagem.

Tabela 3.1: Projetos relacionados.

Parâmetros	Daknet [2]	Codpon [3]	Rebus [4]	IMI [75]	Trabalho Proposto
Foco	Comunidades remotas	Comunidades remotas	Universidades	Universidades	Comunidades remotas
Tecnologia	IEEE 802.11 b	IEEE 802.11 b	IEEE 802.11 a/g	IEEE 802.11p	IEEE 802.11 b/g
Rede	DTN	DTN	DTN, VANETs, Redes em Malha	DTN e VANETs	DTN
Arquitetura	V2I	V2I/V2V	V2I	V2I/V2V	V2I/V2V
Veículo	Ônibus, motocicletas e bicicletas	Barcos	Ônibus	Carro, trem e ônibus	Barcos
Abordagem	Experimental e simulação	Simulação	Experimental e simulação	Experimental e simulação	Experimental e simulação

Os projetos Daknet, Codpon e o trabalho proposto tratam de cenários que envolvem a comunicação de dados dos vilarejos e comunidades afastadas dos grandes centros, enquanto os projetos Rebus e IMI têm um foco voltado para ambientes urbanos. Os projetos relacionados desta pesquisa compartilham um ponto comum que é a utilização da tecnologia de comunicação sem-fio IEEE 802.11 para prover uma infraestrutura de telecomunicação. O padrão IEEE 802.11p empregado no projeto IMI é um padrão de mercado específico para cenários veiculares, que aumenta a quantidade de dados transferidos a cada contato, se comparado com os padrões convencionais IEEE 802.11 a/b/g. Entretanto, esse padrão encontra-se em fase experimental. Com relação ao aspecto rede, o projeto Rebus se utiliza da combinação das redes veiculares, das redes DTN e das redes em malha sem-fio para a comunicação de dados, enquanto o projeto IMI se utiliza da combinação das redes veiculares e das redes DTN. As arquiteturas de comunicação V2I e V2V são tratadas nos projetos Codpon, IMI e no trabalho proposto. Assim, uma maior quantidade de cenários de comunicação de dados e aplicações no âmbito das redes veiculares podem ser explorados. Diversos veículos são utilizados como mula de dados. Esses

veículos são reflexos da predominância dos meios de transporte nas regiões que as redes são empregadas, com exceção do trem MagLev-Cobra¹. O projeto Codpon é voltado para o ambiente de simulação e os demais trabalhos mesclam as abordagens experimental e simulação computacional.

O trabalho proposto partiu de uma situação típica que acontece na Amazônia, que é o problema do isolamento geográfico. Por apresentar características semelhantes ao do projeto Codpon, utilizou-se da mesma base conceitual e dos parâmetros especificados na Tabela 3.1 para prover conectividade a ambientes de difícil acesso ou de baixo poder econômico. Entretanto, a rede de comunicação de dados do projeto Codpon é formada por sete cidades e duas comunidades ribeirinhas na ilha de Marajó - Pará, diferente do trabalho proposto, na qual a rede de comunicação de dados atinge aos 62 municípios e as comunidades ribeirinhas do estado do Amazonas. Além disso, o enfoque desse trabalho é voltada para análise da capacidade de transmissão de dados dos barcos na bacia Amazônica por meio de experimentos práticos, estimativas matemáticas e simulação computacional dos diversos cenários que as embarcações estabelecem comunicação de dados entre si e destes com os portos localizados no entorno dos rios da Amazônia. Além disso, é feita uma caracterização estatística da movimentação dos barcos na Calha do Baixo Amazonas, a partir da captura no receptor de *traces* reais de mobilidade dos barcos, com o objetivo de representar com maior detalhes a dinamicidade dessas redes nos ambientes fluviais.

¹Projeto de pesquisa do Laboratório de Aplicações de Supercondutores (LASUP) - UFRJ.

Capítulo 4

Cenário de Aplicação

Nos capítulos anteriores foram apresentados os principais conceitos envolvidos nesta pesquisa, os trabalhos relacionados que fornecem o embasamento teórico para a caracterização das redes DTN fluviais e da mobilidade dos dispositivos sem-fio na bacia hidrográfica Amazônica. Neste capítulo é apresentada a visão geral da proposta de tese, bem como a caracterização dos cenários propostos em termos de experimento prático, a capacidade das redes DTN e a caracterização da mobilidade das embarcações nos rios Negro e Amazonas.

4.1 Visão Geral

A investigação desta tese partiu da observação socioeconômica da população Amazônica. Dadas as características naturais da região, o transporte fluvial predomina. Esta modalidade de transporte utiliza os rios como vias de ligação entre localidades, estados e países. Assim, para nortear a pesquisa os quesitos analisados são:

- A infraestrutura de telecomunicação na capital, nas cidades do interior e ao longo do leito do rio;
- A malha hidrográfica, o itinerário dos barcos ao longo das calhas dos rios. Com relação aos estados possíveis das embarcações num dado instante, elas podem estar em movimento ou parada (atracado¹ no porto ou fundeado² no rio);
- As regras de navegação e manobras (ultrapassagem ou cruzamento), além dos fatores (clima e relevo) que influenciam.

¹Amarrar um barco à terra.

²Largar para o fundo uma âncora de modo que a embarcação fique segura.

Em face aos quesitos analisados anteriormente, o sistema de comunicação de dados é formado por nós fixos e por nós móveis. Os nós fixos podem ser representados por uma comunidade remota e por um barco fundeado no leito do rio. Os nós móveis são os barcos que fazem a ligação entre Manaus e as cidades do interior do estado, bem como com outras localidades de outros estados amazônicos.

A comunidade remota não possui infraestrutura de telecomunicação e tem como atribuições: enviar as mensagens para a capital ou outro município através dos nós móveis e armazenar as mensagens até que haja conexão com os nós móveis para que possam ser encaminhadas. Assim, nas comunidades o ponto de acesso pode estar fixado na sede da comunidade/prefeitura e sofre a influência da copa das árvores, enquanto que nos barcos fundeados, o ponto de acesso está fixado na plataforma do rio e sofre a influência da reflexão do sinal no rio. A função dos nós móveis é o transporte dos dados das comunidades remotas e dos barcos fundeados para os locais que possuem infraestrutura de Internet. Quando esses nós estão ancorados nos portos, eles passam a ter como função o envio e o recebimento das mensagens provenientes da Internet.

As mensagens são geradas nas comunidades remotas e nas cidades que não possuem infraestrutura de rede, não apresentando restrição quanto à capacidade de armazenamento de dados. Essas mensagens são transmitidas entre os barcos quando realizam cruzamento/ultrapassagem entre si, e quando interagem com os pontos de acesso no rio e com os pontos de acesso das comunidades afastadas, até alcançar as cidades e os portos da região. Nesse contexto, a transferência de dados depende da velocidade da embarcação, da área de cobertura, do padrão sem-fio utilizado e do protocolo da camada de transporte. Essa transferência é realizada durante um eventual contato.

A viabilidade da implantação das redes DTN na bacia Amazônica é avaliada a partir de experimentos práticos na região. Deste modo, foram definidas três etapas a serem desenvolvidas nesta tese, que são: análise de capacidade de transmissão de dados dos barcos no rio Negro, estudo de capacidade das redes DTN na bacia hidrográfica amazonense a partir de métodos matemáticos e simulações computacionais, e caracterização da mobilidade dos dispositivos sem-fio na bacia Amazônica.

Na primeira etapa são analisados os aspectos relacionados à conectividade das VANETs no rio Negro e a infraestrutura de apoio necessária para aproveitar o contato entre as embarcações, a fim de obter uma maior capilaridade da rede e maior eficiência. Esse estudo é baseado numa análise do desempenho experimental da comunicação de dados sem-fio, padrão IEEE 802.11 b/g, caracterizando a transmissão e os contatos das embarcações, em termos da vazão útil da rede. A metodologia empregada consiste na descrição do ambiente em que foram realizadas as medições e na infraestrutura utilizada, caracterização do ambiente fluvial e análise estatística

dos dados e dos resultados. Para isso foram definidos três cenários de comunicação de dados (ilustrados na Figura 4.1) muito comuns na Amazônia que são:

- Cruzamento entre barcos;
- Um barco e um ponto de acesso fixo na floresta. A comunicação de um barco com uma comunidade remota, com uma torre ou com qualquer infraestrutura de comunicação fixada em terra são exemplos desse cenário;
- Um barco e um ponto de acesso fixo na plataforma do rio. Exemplos desse cenário são a comunicação de um barco com um outro fundeado, com uma plataforma de petróleo, com um posto de abastecimento de combustível ou qualquer infraestrutura de comunicação fixada no leito do rio.



Figura 4.1: Cenários de transmissão de dados dos barcos no rio Negro.

A segunda etapa consiste na estimativa global da capacidade de transmissão de dados das redes DTN fluviais proveniente dos contatos das embarcações nas calhas dos rios no período de uma semana. Esse estudo está dividido em duas etapas. A primeira parte consiste na utilização de métodos matemáticos para estimar a capacidade. A segunda se utiliza de simulação computacional, combinando os *traces* reais com os experimentos práticos. Todas as informações das etapas foram baseadas em dados reais da movimentação dos barcos na região, fornecidos pelo órgão governamental de Administração de Hidrovias da Amazônia Ocidental (AHIMOC)³.

A terceira etapa consiste na caracterização espaço-temporal da mobilidade dos barcos nos rios Negro e Amazonas, num trecho de rio delimitado pelas cidades

³A AHIMOC é um órgão vinculado ao Ministério dos Transportes, responsável pelo desenvolvimento das atividades de execução, acompanhamento e fiscalização de estudos, obras, serviços, gerenciamento de portos e exploração das vias navegáveis interiores e lacustres nos rios da Amazônia Ocidental.



Figura 4.2: Estimativa de capacidade de transmissão de dados.

de Manaus e de Parintins, chamado de calha do Baixo Amazonas. Assim, foram capturados *traces* reais dos barcos nesses rios e extraídas informações estatísticas das componentes de movimento: velocidade, aceleração e ângulo de mudança de direção, bem como uma análise das funções de distribuição de probabilidade que melhor se ajustam a essas componentes do movimento.

4.2 Aplicações

As redes DTN podem ser utilizadas em diversos cenários de aplicação na Amazônia, das quais podemos citar: saúde (E-health), educação e monitoramento da fauna, flora e do clima na região. No âmbito da saúde, essa rede será utilizada pelos moradores das comunidades remotas, dos povoados, dos vilarejos e das pequenas cidades que necessitam marcar uma consulta médica de caráter preventivo para a avaliação das doenças cardiovasculares que podem ser desenvolvidas pelos moradores da região. Assim, anualmente é realizada a marcação de um exame para análise da Hipertensão Arterial Sistêmica e da Diabete Mellitus na população. As informações referentes a marcação do exame são enviadas do ponto de acesso fixado na prefeitura para um barco que navega próximo dessa comunidade, e consequentemente, essas informações são enviadas de um barco para outro, até que elas cheguem à capital Manaus. Desse modo, quando o paciente chegar à capital, os médicos têm a informação sobre os exames que precisam ser realizados, o histórico dos pacientes e os cuidados que eles precisam receber. No âmbito da educação, essa rede será utilizada pelas comunidades e municípios do interior do Amazonas que encontram-se isoladas geograficamente e desprovidas de infraestrutura de telecomunicação, devido à distribuição geográfica dos municípios e aos altos custos dos serviços de comuni-

cação de dados. O objetivo é dar suporte às metodologias de ensino-aprendizagem, reduzindo o número de localidades que não foram inseridas no mundo digital, e consequentemente a redução das desigualdades sociais e regionais. Essa rede DTN formada pelos barcos estabelecem uma comunicação assíncrona entre professores e alunos, fornecendo material didático, atividades de fixação, repositório de arquivos, questionamentos e esclarecimentos aos alunos das disciplinas ofertadas nas escolas. Assim, o conteúdo das aulas é enviado da capital para as escolas mais afastadas, através dos barcos que estabelecem comunicação com outros barcos até as mensagens chegarem nas comunidades remotas, vilarejos e povoados. O material didático, as atividades de fixação e os repositório de arquivos das disciplinas são disponibilizados 3 meses antes de iniciarem as disciplinas dos cursos. Assim, várias pessoas tanto da capital quanto do interior do estado serão beneficiadas com essa rede formada pelos barcos, abrindo um leque de possibilidades para a troca de experiências, difusão de ideias e acesso democrático ao conhecimento. No âmbito do clima, essa rede será utilizada para enviar informações provenientes de estações meteorológicas localizadas na Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) - São Sebastião do Uatumã, a 247 quilômetros de Manaus em linha reta, no interior do Amazonas, à capital Manaus. Essas estações meteorológicas medem as interações químicas entre a floresta e a atmosfera, essenciais do ponto de vista científico para a constatação da importância da floresta Amazônica em nível mundial. As estações meteorológicas fazem parte do projeto Observatório Amazônico de Torres Altas (*Amazon Tall Tower Observatory* - ATTO), que consiste numa torre central, com 320 metros de altura, e mais um complexo com mais quatro torres menores de até 80 metros, com distância de aproximadamente 100 metros da torre maior na floresta Amazônica. A torre maior mede velocidade e direção do vento, temperatura, chuvas e umidade, radiação solar, concentração de gases de efeito-estufa (metano, gás carbônico e ozônio), concentração de aerossóis e fluxo de vapor d'água. As quatro torres menores registram o fluxo horizontal de energia e massa.

Capítulo 5

Avaliação Experimental da Capacidade da Rede DTN

O presente capítulo tem o foco na análise da capacidade de transmissão de dados de uma rede DTN formada pelos barcos na bacia hidrográfica amazense. Na primeira parte do capítulo são abordados os trabalhos relacionados (Seção 5.1) à capacidade de transmissão de dados em redes veiculares. Na segunda parte é apresentada a capacidade de transmissão de dados para os cenários especificados na Seção 5.2. Por fim, é realizado o estudo de capacidade das redes DTN na bacia hidrográfica amazense, tratado na Seção 5.3.

5.1 Capacidade de Transferência de Dados em Redes Veiculares

Diversos trabalhos analisam empiricamente a capacidade de transferência de dados nas redes veiculares, em diferentes cenários. Em [77] é estudado o acesso à Internet em vias expressas com o padrão IEEE 802.11b, avaliando a capacidade de transferência de dados. Os veículos movimentam-se em sentidos opostos, com velocidades que variam de 80 a 180 km/h, cruzando dois pontos de acesso que foram fixados ao longo de uma estrada. Os protocolos da camada de transporte UDP e TCP são usados, com tamanho do pacote de 1250 bytes. Os resultados experimentais mostram que a quantidade média de dados transferidos varia de 8,8 a 3,7 Mbytes, para as velocidades no intervalo de 80 a 180 km/h, utilizando o protocolo UDP. Enquanto para o TCP a quantidade média de dados transferidos varia de 6 a 1,5 Mbytes.

Em [24] são realizados experimentos práticos numa rua reta, de 400 metros de extensão, no campus da UFRJ. Neste cenário, os dois carros moviam-se em sentidos opostos, com velocidades que variavam de 20 a 60 km/h. A plataforma de teste

era composta por computadores portáteis, de forma que um carro executava como servidor e o outro executava como cliente. Os padrões empregados para a comunicação de dados foram o IEEE 802.11a e o IEEE 802.11g, em modo ad hoc. Nos experimentos, analisou-se o desempenho dos protocolos UDP e TCP e a viabilidade dos dados transferidos para executar aplicações V2V. O tamanho dos pacotes UDP e TCP usados são: 150, 500 e 1460 bytes. Os resultados experimentais mostram que para as velocidades variando de 20 a 60 km/h, utilizando protocolo UDP e o IEEE 802.11g, o tempo médio de contato entre os veículos variou de 45,17 a 10,83 segundos e a quantidade média de dados transferidos de 13 a 1,6 Mbytes.

Em [78] é apresentado um modelo matemático baseado em resultados empíricos. Esse modelo é utilizado para prever a quantidade de dados que pode ser transferida durante um encontro numa rede DTN formada por um barco e uma infraestrutura fixada em terra. As embarcações são utilizadas como mula de dados, transferindo dados entre as comunidades ribeirinhas e os municípios com infraestrutura de comunicação. Neste cenário, uma embarcação de médio porte cruza um ponto de acesso fixo numa torre de 40 metros de altura, localizada na Reserva Sustentável do Tupé - Colônia do Julião, às margens do rio Negro. O autor analisa a vazão útil de agregados e a potência recebida (*Received Signal Strength Indication* - RSSI) para as aplicações DTN, usando o protocolo de transporte TCP para transferir dados durante um contato. A embarcação navegava a uma velocidade que variou de 10 a 30 km/h, utilizando o padrão IEEE 802.11n. A distância entre a embarcação e a torre era de aproximadamente 196 metros. Os resultados experimentais mostram que para as velocidades no intervalo de 10 a 30 km/h o volume médio de contato entre o barco e a infraestrutura fixa em terra variou de 184 a 55 Mbytes, respectivamente.

A Tabela 7.1 apresenta uma comparação dos trabalhos de acordo com os seguintes aspectos: veículo, tipo de via, velocidade¹, tipo de rede, tecnologia, tamanho do pacote, protocolo de transporte e a distância. Os campos preenchidos com “-” indicam que o critério não foi identificado na abordagem.

Os trabalhos [77] e [24] tratam do mesmo componente veículo/via para transferência de dados nas redes sem-fio e foram submetidos à ocorrência dos mesmos fenômenos naturais. As diferenças estão limitadas às velocidades, às redes e ao tamanho dos pacotes praticados. No trabalho [78], o componente veículo/via é diferente dos trabalhos de [77] e [24], estando sujeito a fenômenos físicos diferentes, como ondas, umidade e reflexão do sinal no rio, além da absorção do sinal causada pelas árvores na floresta.

Neste trabalho, é utilizado o mesmo componente veículo/via usado por [78], mas usando velocidades, tecnologia, protocolos de transporte, tamanhos de pacote, distâncias e altura do ponto de acesso diferentes, a fim de viabilizar a transferência

¹1 mph = 1,6 km/h.

Tabela 5.1: Trabalhos relacionados a capacidade de transferência de dados em redes veiculares.

Parâmetros	Ott et al. [77]	Rubinstein et al. [24]	Neto et al. [78]	Trabalho Proposto
Veículo	Carro	Carro	Barco	Barco
Tipo de Via	Estrada	Estrada	Rio	Rio
Velocidade	80 a 180 km/h	20, 40, 60 km/h	10, 20, 30 km/h	20, 30, 40, 50, 58 mph
Tipo de Rede	V2I	V2V	V2I	V2V e V2I
Tecnologia	IEEE 802.11b	IEEE 802.11b/a	IEEE 802.11n	IEEE 802.11b/g
Tamanho do Pacote (Bytes)	1250	150, 500, 1460	-	150, 500, 1460, 2340
Protocolo	TCP, UDP	TCP, UDP	TCP	UDP
Distância (m)	-	Menor que 5	196	100

de dados entre as embarcações utilizando redes sem-fio padrão IEEE 802.11 b/g. O objetivo é avaliar a capacidade de contato e de transferência de dados entre embarcações na bacia Amazônica para os cenários de comunicação V2I [78] e V2V. Além disso, é apresentado um modelo de regressão linear, obtido dos resultados experimentais de cruzamento entre os barcos, que estima a quantidade de dados transferidos a partir do tempo de contato entre as embarcações, compondo desta forma o estudo de capacidade de transferência de redes DTN na bacia hidrográfica amazense.

5.2 Análise de Capacidade de Transmissão de Dados dos Barcos no Rio Negro

Os três cenários propostos para a análise da capacidade de transmissão de dados dos barcos no rio Negro são: o cruzamento entre dois barcos, um barco e um ponto de acesso fixo na floresta e um barco e um ponto de acesso fixo na plataforma do rio.

5.2.1 O cruzamento entre dois Barcos

Os experimentos foram realizados às margens do rio Negro, na região entre as comunidades de Nossa Senhora do Livramento e de Nossa Senhora de Fátima, denominada Tarumãzinho, cidade de Manaus - AM. O período corresponde ao fim da cheia dos rios na região. A extensão total do rio é de 1700 km, com largura que varia de 2 a 24 km. Os barcos utilizados² nos experimentos são de pequeno porte (lanchas).

Ao iniciar os experimentos, as embarcações localizavam-se fora da área de co-

²Barcos gentilmente cedidos pela Secretaria Municipal de Educação do Amazonas (SEMED-AM) e pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Amazonas (CBMAM).

bertura uma da outra e ambas partiam no mesmo instante ($t = 0$) de tempo, após um contato via rádio. Os barcos deslocavam-se em sentidos opostos, paralelamente à margem do rio, cruzando-se, com velocidades contantes de 20, 30, 40, 50 e 58 mph. Desta forma, um barco movimentava-se a favor e o outro contra a correnteza do rio. Os equipamentos (ilustrados na Figura 5.1) utilizados no experimento são: (a) *Smartphones* Nokia modelo N900, que executa a distribuição Linux - Maemo 5; (b) Roteadores D-Link modelo DIR-320; (c) Antenas externas omnidirecionais (2.4 GHz e 12 dBi); (d) Pendrives USB 2.0 de 32 GB acoplados ao roteador; (e) Circuitos reguladores de tensão (12 Volts para 5 Volts); e (f) Baterias (12 Volts). Para medir a qualidade do enlace e enviar dados aos roteadores, utilizou-se a ferramenta de geração de tráfego *Iperf*, na versão 2.0.4. A Tabela 5.2 resume os principais parâmetros utilizados no experimento.



Figura 5.1: Equipamentos utilizados nos experimentos.

Tabela 5.2: Parâmetros de medição configurados.

Parâmetro	Valor
Endereço IP	Estático
ARP	Manual
ESSID	Fixo
Canal	Fixo (1 e 6)
Padrão sem-fio	IEEE 802.11 b/g
Protocolo de Transporte	UDP
Velocidade	20, 30, 40, 50, 58
Tamanho do Pacote (bytes)	150, 500, 1460, 2340

Características do Experimento

Os testes foram realizados no rio Negro, em uma extensão de 2,5 km, local onde havia pouco tráfego de embarcações, conforme ilustrado na Figura 5.3. Nenhuma outra rede do padrão IEEE 802.11 foi identificada ao longo do trecho. Os fatores que podem influenciar os resultados dos experimentos são descritos a seguir.

As condições climáticas: neste dia, a temperatura ambiente era de 26 °C, umidade relativa do ar de 78%, velocidade do vento variando de 6 a 8 km/h e a velocidade da correnteza do rio de 2 km/h.

A altura do ponto de acesso em cada uma das embarcações: os pontos de acesso foram colocados no ponto mais alto do barco, conhecido como *tolder*, a uma altura de 2,67 metros e na parte frontal do barco. O nó móvel (*smartphone*) estava com o usuário localizado dentro da embarcação. Vale lembrar que as embarcações utilizadas são de pequeno porte. Assim, em embarcações maiores, o ponto de acesso pode ser instalado em locais mais altos, melhorando o alcance da rede.

A distância que as embarcações realizam o cruzamento: a distância influencia na quantidade de dados que podem ser transferidos nas redes sem-fio, mas também na própria questão de segurança do cruzamento de embarcações. Quanto maior a distância, menor é o tempo de contato e maior é a atenuação do sinal. Com relação à segurança, estabeleceu-se que as embarcações estariam se movendo em sentidos opostos, em trajetórias paralelas separadas por uma distância de 100 metros (ilustrado na Figura 5.2). Caso as embarcações se movessem com alta velocidade e a distância fosse inferior a 100 metros, as embarcações poderiam tombar, devido à oscilação causada pelas ondas na superfície da água. Esse fenômeno³ acontece quando um barco se movimenta dentro de certa frequência e a chegada de uma onda com a frequência diferente tira a estabilidade da embarcação, fazendo com que a embarcação tombe. Portanto, esta é a distância mínima de segurança para duas embarcações se cruzarem.

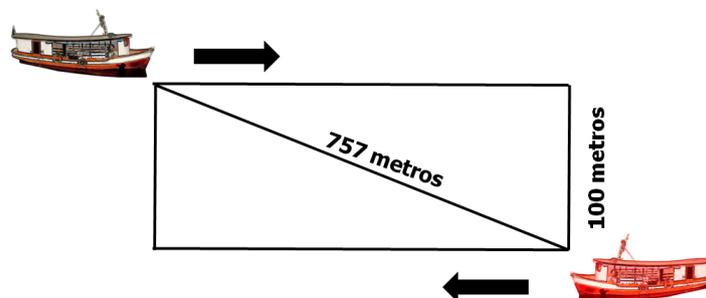


Figura 5.2: Distância entre os barcos.

³Chamado de banzeiro na região Amazônica.

Cada embarcação tinha um ponto de acesso como servidor e um *smartphone* N900 como cliente. A comunicação era realizada entre o cliente e o servidor de barcos distintos. Os clientes não se comunicavam entre si e nem mudavam de ponto de acesso. Para não causar interferência entre os canais, o que reduz a vazão da rede, utilizou-se os canais 1 e 6. A cada 1 segundo era realizada a gravação em arquivo texto da quantidade de dados transferidos e da largura de banda entre o cliente e o servidor. O tempo de duração das transmissões do cliente é de 180 segundos. A velocidade das embarcações varia de 20 a 58 mph. O protocolo da camada de transporte UDP foi escolhido, em função de ser o mais apropriado para enlaces sem-fio, pois o controle de congestionamento do TCP prejudica os enlaces com altas taxas de erro, por não diferenciar erros de transmissão de perdas por congestionamento. Três repetições foram realizadas para cada uma das velocidades das embarcações, com os respectivos tamanhos de pacote.



Figura 5.3: Ambiente do experimento de cruzamento entre barcos.

Resultados Experimentais

Nesta análise, define-se o tempo de contato como o tempo entre o primeiro e o último pacote de dados recebidos de modo correto entre as embarcações; a vazão útil, como a vazão efetiva dos dados, sem retransmissões, no nível de aplicação; a taxa de pico como a taxa máxima de dados transferidos entre as embarcações.

A Tabela 5.3 resume os principais resultados do experimento. Assim, com base nesta tabela é possível calcular o tempo médio de contato de cada um dos cenários.

Para a velocidade de 20 mph, o tempo médio de contato é de aproximadamente 92 segundos. Para os demais cenários, verificou-se que o tempo de contato permaneceu inversamente proporcional à velocidade relativa das embarcações, como era esperado. Por exemplo, ao dobrar o valor da velocidade de 20 mph para 40 mph, de acordo com a Tabela 5.3, o tempo médio de contato é de 43 segundos. Ao triplicar o valor dessa velocidade (58 mph) obteve-se um valor de quase um terço do tempo de contato, com 29 segundos. Vale ressaltar que o trecho do percurso no qual as embarcações estão dentro do alcance de rádio é aproximadamente o mesmo independente da velocidade, aproximadamente 757 metros.

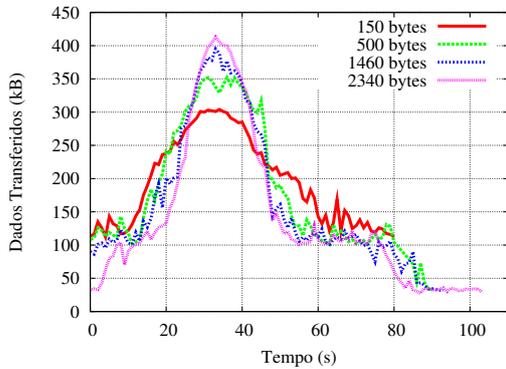
Tabela 5.3: Média: tempo de contato, dados transferidos e vazão útil entre duas embarcações com UDP e padrão IEEE 802.11 b/g.

Velocidades	Tamanho do Pacote (Bytes)	Tempo de Contato (Segundos)	Dados Transferidos (Mbytes)	Vazão Útil (Mbps)
20 mph	150	80 ($\sigma = 4,58$)	10,15 ($\sigma = 0,82$)	0,93 ($\sigma = 0,07$)
	500	90 ($\sigma = 3,46$)	11,55 ($\sigma = 1,32$)	1,10 ($\sigma = 0,04$)
	1460	93 ($\sigma = 7,81$)	13,77 ($\sigma = 1,72$)	1,16 ($\sigma = 0,04$)
	2340	103 ($\sigma = 8,54$)	15,49 ($\sigma = 0,82$)	1,36 ($\sigma = 0,03$)
30 mph	150	55 ($\sigma = 3,61$)	6,69 ($\sigma = 0,21$)	1,05 ($\sigma = 0,03$)
	500	61 ($\sigma = 2,65$)	7,34 ($\sigma = 0,12$)	1,16 ($\sigma = 0,03$)
	1460	56 ($\sigma = 5,29$)	7,44 ($\sigma = 0,04$)	1,16 ($\sigma = 0,02$)
	2340	55 ($\sigma = 7,81$)	7,52 ($\sigma = 0,25$)	1,34 ($\sigma = 0,07$)
40 mph	150	43 ($\sigma = 2,65$)	5,80 ($\sigma = 0,14$)	1,27 ($\sigma = 0,08$)
	500	40 ($\sigma = 3,61$)	6,12 ($\sigma = 0,21$)	1,47 ($\sigma = 0,12$)
	1460	39 ($\sigma = 5,29$)	6,36 ($\sigma = 0,14$)	1,39 ($\sigma = 0,04$)
	2340	50 ($\sigma = 3,46$)	7,81 ($\sigma = 0,14$)	1,53 ($\sigma = 0,05$)
50 mph	150	33 ($\sigma = 1,73$)	3,78 ($\sigma = 0,15$)	1,05 ($\sigma = 0,06$)
	500	28 ($\sigma = 3,61$)	4,20 ($\sigma = 0,05$)	1,50 ($\sigma = 0,10$)
	1460	30 ($\sigma = 4,36$)	4,22 ($\sigma = 0,12$)	1,26 ($\sigma = 0,08$)
	2340	39 ($\sigma = 7,55$)	4,37 ($\sigma = 0,17$)	1,68 ($\sigma = 0,08$)
58 mph	150	29 ($\sigma = 8,00$)	3,13 ($\sigma = 0,05$)	1,35 ($\sigma = 0,04$)
	500	22 ($\sigma = 4,36$)	3,23 ($\sigma = 0,08$)	1,32 ($\sigma = 0,04$)
	1460	30 ($\sigma = 8,54$)	3,47 ($\sigma = 0,06$)	1,28 ($\sigma = 0,05$)
	2340	32 ($\sigma = 11,14$)	3,73 ($\sigma = 0,06$)	1,51 ($\sigma = 0,06$)

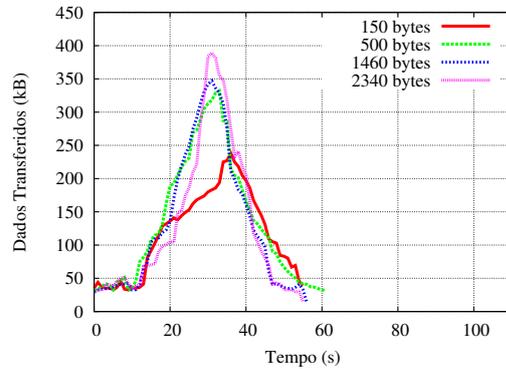
As medições mostram a relação entre a velocidade da embarcação, o tamanho do pacote enviado e a massa de dados transferida. Na análise estatística, usamos o desvio padrão (denotado por σ) e observamos que as variações de dados transferidos e de vazões úteis são representativas nas amostras. A causa da variabilidade dos dados é decorrente da redução do tempo de contato, ocasionado pelo aumento de velocidade da embarcação. Tratando-se especificamente das altas velocidades (50 e 58 mph), o desvio padrão do tempo de contato entre as embarcações é um pouco mais acentuado, devido ao balanço de proa a popa produzido pela agitação do rio, o balanço da embarcação, a marola (pequenas ondas) e os ventos fortes que as embarcações e os equipamentos utilizados no experimento estão sujeitos quando sobem e descem o leito do rio Negro.

A Figura 5.4 revela a quantidade média dos dados transferidos entre as embarcações em função do tempo, movimentando-se com velocidades constantes. A partir

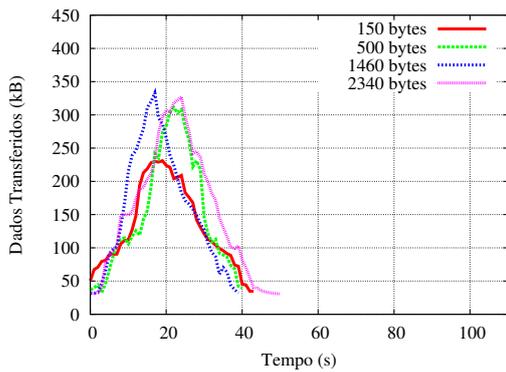
dos resultados, percebe-se que a velocidade, além de reduzir o tempo de contato, tem influência na taxa de pico, visto que ao dobrar a velocidade (Figuras 5.4(a) e 5.4(c)), houve uma queda de aproximadamente 20% na taxa de pico. Esta característica contribui ainda mais para a redução na capacidade de transferência de dados entre duas embarcações em velocidades mais altas.



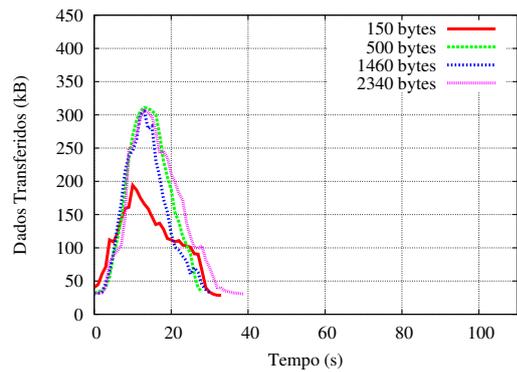
(a) Média de dados transferidos a 20 mph.



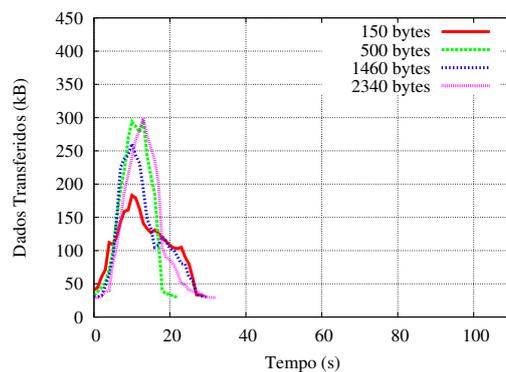
(b) Média de dados transferidos a 30 mph.



(c) Média de dados transferidos a 40 mph.



(d) Média de dados transferidos a 50 mph.



(e) Média de dados transferidos a 58 mph.

Figura 5.4: Transferência de dados sobre o UDP entre duas embarcações se cruzando a diferentes velocidades.

É interessante observar que a maior parte dos dados são transferidos antes da metade do tempo de contato, isto é, o pico está levemente deslocado para a es-

querda. Por exemplo, para velocidades de 50 mph e 58 mph, Figuras 5.4(d) e 5.4(e) respectivamente, 64% dos dados são transferidos até a metade do tempo de contato. Tal fato pode ser explicado pelo modo de operação com múltiplas taxas do 802.11. A taxa de transmissão, que começa no máximo no início do contato, é rapidamente reduzida à taxa mínima e aumentada progressivamente conforme as duas embarcações se aproximam. Neste trecho, enquanto a taxa está aumentando, significa que todos os quadros enviados estão chegando corretamente. Após o cruzamento, as embarcações começam a se afastar e a taxa do 802.11 começa a ser reduzida de acordo com as perdas dos quadros transmitidos. Neste trecho, uma parte dos quadros é perdida na tentativa de adaptar para taxa de transmissão mais adequada. Este comportamento já foi verificado em experimentos com carros [24].

Outro resultado interessante pode ser observado a partir da Figura 5.4. Claramente, existe uma região de maior capacidade de transferência de dados entre as duas embarcações que se cruzam, independente da velocidade. Esta região é definida basicamente pela distância entre as embarcações e ela é localizada em torno da região de pico. Pelos gráficos é possível identificar tal região para cada uma das velocidades. Na velocidade de 20 mph, a região de maior capacidade que representa aproximadamente 76% do tempo de contato é responsável por 90% da transferência de dados. Para as velocidades de 30 mph, 40 mph, 50 mph e 58 mph, a região responsável por 90% da capacidade de transmissão representa aproximadamente 70%, 70%, 76% e 75% do tempo de contato, respectivamente. Este resultado é importante, pois permite uma margem maior de erro nos tempos de contato. No caso das redes hidroviárias, existem muitos parâmetros que podem influenciar a capacidade de transmissão, como descrito na Seção 5.2.1, nas características do experimento. Portanto, esta margem maior de erro propicia contemplar pequenas variações nestes parâmetros sem perder muita precisão no cálculo da capacidade. Em consequência, este resultado permite também generalizar os resultados obtidos para obter uma estimativa da capacidade da rede como um todo, como será apresentado na Seção 5.3.

Vale a pena mencionar que o tempo de contato e a quantidade de dados transferidos medidos neste trabalho são maiores do que no trabalho [24]. A relação entre tempo médio de contato medido neste trabalho ($v = 64$ km/h) com o medido em [24] ($v = 60$ km/h) é de 3.4. Da mesma forma, a relação entre a quantidade média de dados transferidos é de 3.8. Entretanto, os experimentos de [24] estão sujeitos à interferência de outras redes constatadas no local e não foram utilizadas antenas externas nos veículos, enquanto que nas embarcações do presente trabalho foram utilizadas antenas externas e não existia nenhuma outra rede na região. Estes fatores pesaram mais que o balanço das embarcações e a transmissão sobre o espelho d'água, fatores que prejudicam a comunicação no ambiente hidroviário.

5.2.2 Um Barco e um Ponto de Acesso Fixo na Floresta

Os experimentos foram realizados nas proximidades da comunidade Nossa Senhora do Livramento, às margens do rio Negro, conforme Figura 5.5. O barco cruzava um ponto de acesso fixo no interior da floresta a uma distância de 140 metros. A distância da margem do rio para o local que foi colocado o ponto de acesso no interior da floresta é de aproximadamente 30 metros.

Os mesmos equipamentos (Seção 5.2.1), parâmetros de configuração (sumarizado na Tabela 5.2) e ferramenta de geração de tráfego (*Iperf*) do ambiente do cenário de Cruzamento entre Barcos foram utilizados nesse cenário. A única ressalva é que o canal de comunicação de rádio frequência usado foi o canal 1, por se tratar de um único ponto de acesso utilizado nesse cenário. Os fatores que podem influenciar nos resultados dos experimentos são descritos a seguir.

As condições climáticas: neste dia, a temperatura ambiente era de 32 °C, umidade relativa do ar de 70%, velocidade do vento variando de 5 a 8 km/h e a velocidade da correnteza do rio entre 2 a 4 km/h.

A altura do ponto de acesso: o ponto de acesso foi colocado no telhado de uma casa situada na floresta, a uma altura de 4,15 metros em relação ao nível do rio. A região possui uma densa vegetação, o que causa uma variação significativa do sinal de comunicação. Quanto mais se desloca para o interior da floresta com o ponto de acesso, o sinal sofre a degradação devido a densidade da mata e a distância entre o barco e o ponto de acesso.

Antes de começar o experimento, o barco estava fora da área de cobertura do ponto de acesso. A comunicação acontecia entre o ponto de acesso na floresta com o *smartphone* N900 no interior do barco com o usuário. O ponto de acesso funciona como servidor e o *smartphone* como cliente, estabelecendo-se uma comunicação cliente e servidor. Os experimentos foram realizados para cada uma das velocidades das embarcações especificadas na Tabela 5.2, com os respectivos tamanhos de pacote, totalizando cinco repetições.



(a) Ambiente do experimento. (b) Barco e ponto fixo na floresta. (c) Visão panorâmica do ambiente.

Figura 5.5: Ambiente do experimento de um barco cruzando um ponto de acesso fixo na floresta.

Resultados Experimentais

Os resultados obtidos nos experimentos mostram que é factível a transmissão de dados nesse cenário para as velocidades de 20 mph, 30 mph e 40 mph. Nessas velocidades o tempo médio de contato é de aproximadamente 38 segundos, 34 segundos e 21 segundos, respectivamente. Especificamente, ao dobrar a velocidade de 20 mph para 40 mph, houve uma redução de quase metade do tempo de contato, conforme a Tabela 5.4. A embarcação e o ponto de acesso estão dentro do alcance de rádio a uma distância de aproximadamente 294 metros.

A quantidade média de dados transferidos da embarcação, que se desloca com velocidades constantes, para o ponto de acesso fixo na floresta no decurso do tempo é mostrado na Figura 5.6. Quando a embarcação se aproxima do ponto de acesso a massa de dados transferida aumenta, atingindo a um ponto de pico. Após a embarcação realizar o cruzamento, a massa de dados transferida sofre um decréscimo, mantendo um padrão de variabilidade uniforme no decurso do tempo, atingindo de certa forma a estabilidade da comunicação até a perda total da transferência de dados. Esse fato não acontece nos cenários de cruzamento entre embarcações (Figura 5.4) e um barco cruzando um ponto de acesso fixo no rio (Figura 5.8).

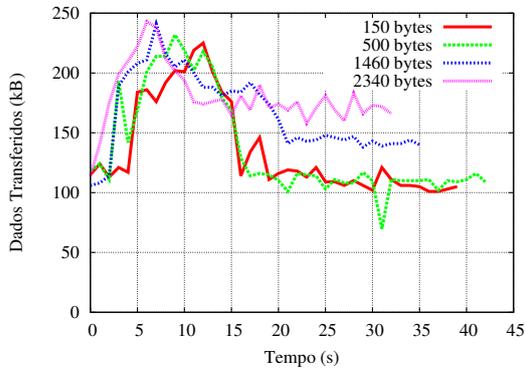
Quando há um aumento da velocidade de 20 mph para 30 mph (Figuras 5.6(a) e 5.6(b)), há uma redução da taxa de pico de 16% dos dados transferidos. Da mesma forma, o aumento da velocidade de 20 mph para 40 mph (Figuras 5.6(a) e 5.6(c)) implica uma redução da taxa de pico de 37%. De modo análogo ao cenário de cruzamento entre os barcos, a maior parte dos dados são transferidos antes da metade do tempo de contato, que corresponde aproximadamente a 60% dos pacotes de dados transferidos. Consequentemente, o pico está levemente deslocado para a esquerda. Para as velocidades de 20 mph, 30 mph e 40 mph, a região responsável por 90% da capacidade de transmissão representa aproximadamente 89%, 85% e 84% do tempo de contato, respectivamente.

A relação entre a velocidade da embarcação, a massa de dados transferida e as vazões úteis sofre variações expressivas para a velocidade de 40 mph. Isso se deve ao aumento da velocidade, da alta densidade da floresta e da reflexão do sinal de comunicação nos rios da Amazônia.

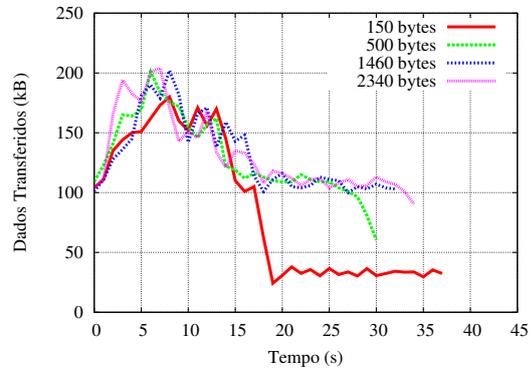
Foram realizados vários experimentos de transmissão de pacotes de dados com as velocidades de 50 mph e 58 mph. Entretanto, nesses cenários, com a configuração dos equipamentos especificados na Seção 5.2.1 não foi possível realizar a transmissão de dados entre o *smartphone* N900 no barco e ponto de acesso fixado na floresta, devido à limitação de capacidade de transmissão dos equipamentos utilizados nessa rede veicular.

Tabela 5.4: Média: tempo de contato, dados transferidos e vazão útil entre um barco e um ponto de acesso fixo na floresta com UDP e padrão IEEE 802.11 b/g.

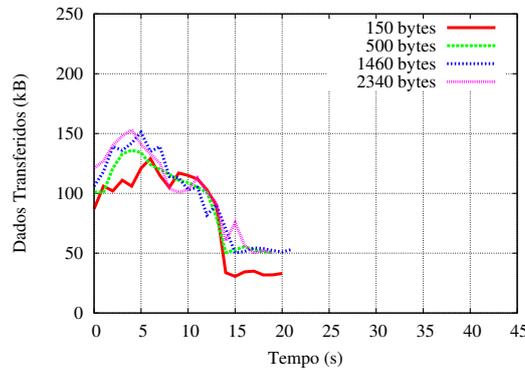
Velocidades	Tamanho do Pacote (Bytes)	Tempo de Contato (Segundos)	Dados Transferidos (Mbytes)	Vazão Útil (Mbps)
20 mph	150	40 ($\sigma = 1,58$)	5,42 ($\sigma = 0,10$)	1,08 ($\sigma = 0,04$)
	500	43 ($\sigma = 2,55$)	5,87 ($\sigma = 0,11$)	1,09 ($\sigma = 0,07$)
	1460	36 ($\sigma = 2,92$)	5,99 ($\sigma = 0,09$)	1,33 ($\sigma = 0,10$)
	2340	33 ($\sigma = 2,92$)	5,94 ($\sigma = 0,15$)	1,44 ($\sigma = 0,07$)
30 mph	150	38 ($\sigma = 2,55$)	3,26 ($\sigma = 0,06$)	0,68 ($\sigma = 0,06$)
	500	31 ($\sigma = 2,00$)	4,02 ($\sigma = 0,12$)	1,03 ($\sigma = 0,13$)
	1460	33 ($\sigma = 3,54$)	4,33 ($\sigma = 0,08$)	1,05 ($\sigma = 0,06$)
	2340	35 ($\sigma = 3,16$)	4,60 ($\sigma = 0,15$)	1,05 ($\sigma = 0,10$)
40 mph	150	21 ($\sigma = 5,15$)	1,74 ($\sigma = 0,08$)	0,66 ($\sigma = 0,05$)
	500	20 ($\sigma = 5,79$)	1,90 ($\sigma = 0,08$)	0,76 ($\sigma = 0,11$)
	1460	22 ($\sigma = 5,57$)	2,11 ($\sigma = 0,04$)	0,76 ($\sigma = 0,09$)
	2340	20 ($\sigma = 5,24$)	2,04 ($\sigma = 0,13$)	0,81 ($\sigma = 0,08$)



(a) Média de dados transferidos a 20 mph.



(b) Média de dados transferidos a 30 mph.



(c) Média de dados transferidos a 40 mph.

Figura 5.6: Transferência de dados sobre o UDP entre um barco e um ponto de acesso fixo na floresta a diferentes velocidades.

5.2.3 Um Barco e um Ponto de Acesso Fixo no Rio

Realizou-se os experimentos nas proximidades da ponte estaiada sobre o rio Negro, localizada entre as cidades de Manaus e Iranduba (área com intensa movimentação de barcos), num trecho que corresponde a 4 km de largura. O barco cruzava um

ponto de acesso fixo na plataforma do rio (chamado de flutuante na região Amazônica) a uma distância de 120 metros. Essa plataforma no rio pode ser representada por um posto de abastecimento de gasolina, um navio fundeado, uma infraestrutura fixa de sinalização náutica, uma balsa, entre outros.

Os equipamentos especificados na Seção 5.2.1, os parâmetros de configuração da Tabela 5.2 e ferramenta de geração de tráfego (*Iperf*) do ambiente do cenário de Cruzamento entre Barcos também foi utilizada neste cenário. Os fatores que podem influenciar nos resultados dos experimentos são descritos a seguir.

As condições climáticas: neste dia, a temperatura ambiente era de 34 °C, umidade relativa do ar de 82%, velocidade do vento variando de 5 a 8 km/h e a velocidade da correnteza do rio entre 2 a 5 km/h.

A altura do ponto de acesso: situado a uma altura de 3 metros acima do nível do rio, numa plataforma fixa que sofre pequenas variações na altura (sobe e desce) devido os banzeiros provenientes do constante tráfego de embarcações de pequeno, médio e grande porte, e ventos fortes.

Ao começar o experimento, o ponto de acesso (servidor) estava numa plataforma fixa no rio e o usuário estava com um *smartphone* N900 (cliente) no interior de um barco em movimento, mas longe do raio de cobertura do ponto de acesso. Nesse momento não havia nenhuma comunicação entre o ponto de acesso e o usuário. Quando o barco entra na área de cobertura do ponto de acesso inicia-se a comunicação entre o ponto de acesso na plataforma do rio com o usuário que estava com *smartphone* no interior do barco. Realizou-se cinco repetições do experimento.

Resultados Experimentais

Os resultados mostram que é possível a transmissão de dados nesse cenário para as velocidades de 20 mph, 30 mph, 40 mph e 50 mph, com os tempos médio de contato de 73 segundos, 48 segundos, 32 segundos e 21 segundos, respectivamente, de acordo com o especificado na Tabela 5.5. Aumentando as velocidades de 20 mph para 30 mph, de 20 mph para 40 mph e de 20 mph para 50 mph as relações entre os tempos médio de contato representam um percentual de 65%, 48% e 28%, respectivamente. Da mesma forma, aumentando as velocidades, há uma redução das taxas de pico, que corresponde a 8%, a 12% e a 32%, respectivamente. A embarcação e o ponto de acesso fixado no rio estão dentro do alcance de rádio a uma distância em torno de 473 metros.

A quantidade média dos dados transferidos da embarcação para o ponto de acesso fixo no rio é mostrado na Figura 5.8. Observa-se que a relação entre a velocidade da embarcação, a massa de dados transferida e as vazões úteis sofrem variações significativas nas amostras. A causa da oscilação dos dados acontece em virtude da redução do tempo de contato, determinado pelo aumento de velocidade



(a) Usuário com *smartphone* no barco.



(b) Ponto de acesso na plataforma do rio.



(c) Exemplo de ponto fixo no rio.



(d) Visão panorâmica do ambiente.

Figura 5.7: Ambiente do experimento de um barco cruzando um ponto de acesso fixo no rio.

da embarcação. Para a velocidade de 50 mph, o desvio padrão do tempo de contato entre as embarcações é alto, motivado pelo balanço da embarcação, a marola e os ventos fortes que as embarcações estão sujeitas no rio.

Para as velocidades de 20 mph, 30 mph, 40 mph e 50 mph, a região responsável por 90% da capacidade de transmissão representa aproximadamente 61%, 70%, 67% e 70% do tempo de contato, respectivamente. Assim, a região de maior capacidade de transferência de dados está concentrada em torno da região de pico. Além disso, a maior parte dos dados são transferidos antes da metade do tempo de contato, também constatado nos dois cenários anteriores.

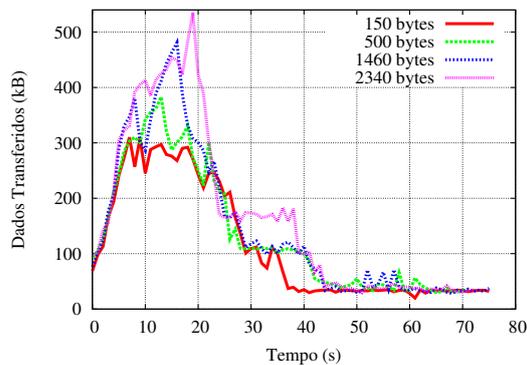
Um outro ponto importante é que não foi possível transmitir dados para a velocidade de 58 mph, com a configuração dos equipamentos especificados na Seção 5.2.1.

5.3 Estudo de Capacidade das Redes DTN na Bacia Hidrográfica Amazonense

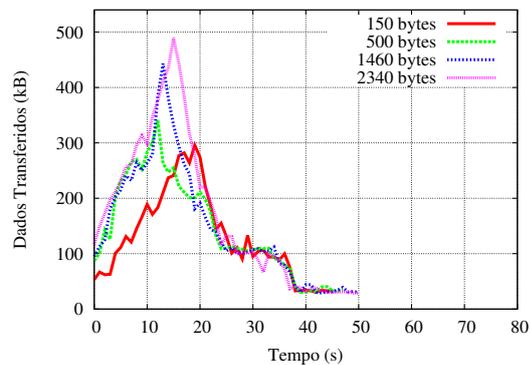
A Figura 5.9 mostra as etapas do estudo da capacidade das redes DTN na bacia hidrográfica da Amazônia Ocidental. Inicialmente são realizados experimentos prá-

Tabela 5.5: Média: tempo de contato, dados transferidos e vazão útil entre um barco e um ponto de acesso fixo no rio com UDP e padrão IEEE 802.11 b/g.

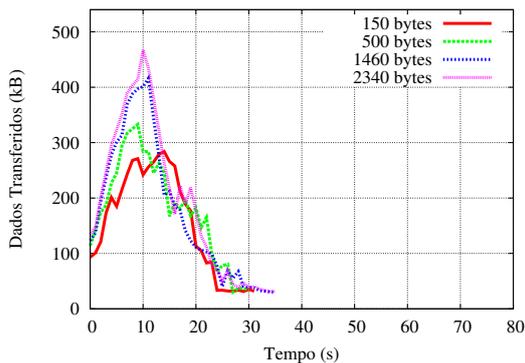
Velocidades	Tamanho do Pacote (Bytes)	Tempo de Contato (Segundos)	Dados Transferidos (Mbytes)	Vazão Útil (Mbps)
20 mph	150	75 ($\sigma = 3,16$)	8,77 ($\sigma = 0,63$)	0,93 ($\sigma = 0,07$)
	500	71 ($\sigma = 3,32$)	9,82 ($\sigma = 1,36$)	1,10 ($\sigma = 0,04$)
	1460	75 ($\sigma = 2,12$)	10,91 ($\sigma = 0,71$)	1,16 ($\sigma = 0,04$)
	2340	72 ($\sigma = 2,00$)	12,31 ($\sigma = 0,93$)	1,36 ($\sigma = 0,03$)
30 mph	150	45 ($\sigma = 1,58$)	5,93 ($\sigma = 0,09$)	1,05 ($\sigma = 0,03$)
	500	47 ($\sigma = 2,12$)	6,87 ($\sigma = 0,93$)	1,16 ($\sigma = 0,03$)
	1460	50 ($\sigma = 2,74$)	7,30 ($\sigma = 0,30$)	1,16 ($\sigma = 0,02$)
	2340	50 ($\sigma = 2,45$)	8,30 ($\sigma = 0,18$)	1,34 ($\sigma = 0,07$)
40 mph	150	31 ($\sigma = 4,18$)	4,94 ($\sigma = 0,09$)	1,27 ($\sigma = 0,08$)
	500	30 ($\sigma = 3,81$)	5,54 ($\sigma = 0,11$)	1,47 ($\sigma = 0,12$)
	1460	35 ($\sigma = 3,54$)	6,09 ($\sigma = 0,13$)	1,39 ($\sigma = 0,04$)
	2340	35 ($\sigma = 4,12$)	6,72 ($\sigma = 0,25$)	1,53 ($\sigma = 0,05$)
50 mph	150	18 ($\sigma = 5,61$)	3,05 ($\sigma = 0,18$)	1,35 ($\sigma = 0,04$)
	500	21 ($\sigma = 7,18$)	3,48 ($\sigma = 0,17$)	1,32 ($\sigma = 0,04$)
	1460	24 ($\sigma = 6,60$)	3,85 ($\sigma = 0,29$)	1,28 ($\sigma = 0,05$)
	2340	22 ($\sigma = 7,11$)	4,17 ($\sigma = 0,14$)	1,51 ($\sigma = 0,06$)



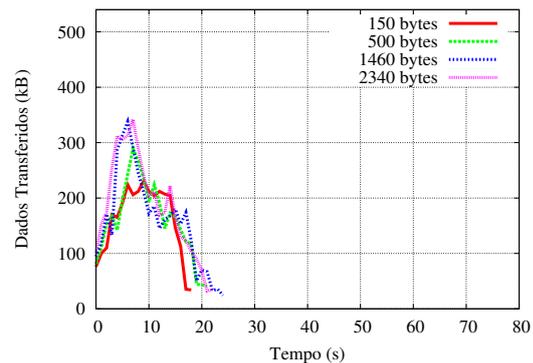
(a) Média de dados transferidos a 20 mph.



(b) Média de dados transferidos a 30 mph.



(c) Média de dados transferidos a 40 mph.



(d) Média de dados transferidos a 50 mph.

Figura 5.8: Transferência de dados sobre o UDP entre um barco e um ponto de acesso fixo no rio a diferentes velocidades.

ticos do cruzamentos entre dois barcos no rio Negro (Subseção 5.2.1), a fim de obter o tempo de contato, a quantidade de dados transmitidos e a vazão útil. Posteriormente, foi verificado a existência de uma relação entre a quantidade de dados trans-

mitida e o tempo de contato, utilizando-se a técnica estatística de regressão linear (Subseção 5.3.1). Essa técnica consiste na obtenção de uma equação que representa a variabilidade das grandezas envolvidas no fenômeno, considerando a acurácia e a capacidade preditiva do modelo. Após obter uma equação que represente o fenômeno estudado, foram coletadas informações reais dos barcos intermunicipais e interestaduais junto ao órgão governamental responsável pelas hidrovias da Amazônia Ocidental (AHIMOC), obtendo-se o nome e o tipo de embarcação, a origem e o destino, a data e o horário de ida e retorno da embarcação, o tempo estimado de viagem, as distâncias percorridas, a frequência de viagem e o sentido que as embarcações trafegam ao longo das calhas (ilustrada na Figura 5.10) da bacia hidrográfica amazense. As calhas analisadas no estudo de capacidade estão descritas na Tabela 5.6. As embarcações consideradas nesse estudo realizam o transporte de carga, transporte misto (carga e passageiros) e transporte de passageiros⁴. De posse dessas informações, é proposto um modelo de tempo de contato (Subseção 5.3.2), na qual os barcos deslocam-se em Movimento Retilíneo Uniforme (MRU), com a posição S dos barcos variando em função do tempo t . Nesse modelo são montadas as equações da posição dos barcos e determinado os tempos de contato entre todos os pares possíveis de barcos que trafegam nas calhas dos rios. Desta maneira, esses tempos foram substituídos no modelo de regressão, resultando na estimativa de capacidade de dados transferidos das redes DTN na Bacia Amazônica (Subseção 5.3.3). Nesse estudo, a cidade de Manaus (metrópole regional) foi escolhida como marco zero.

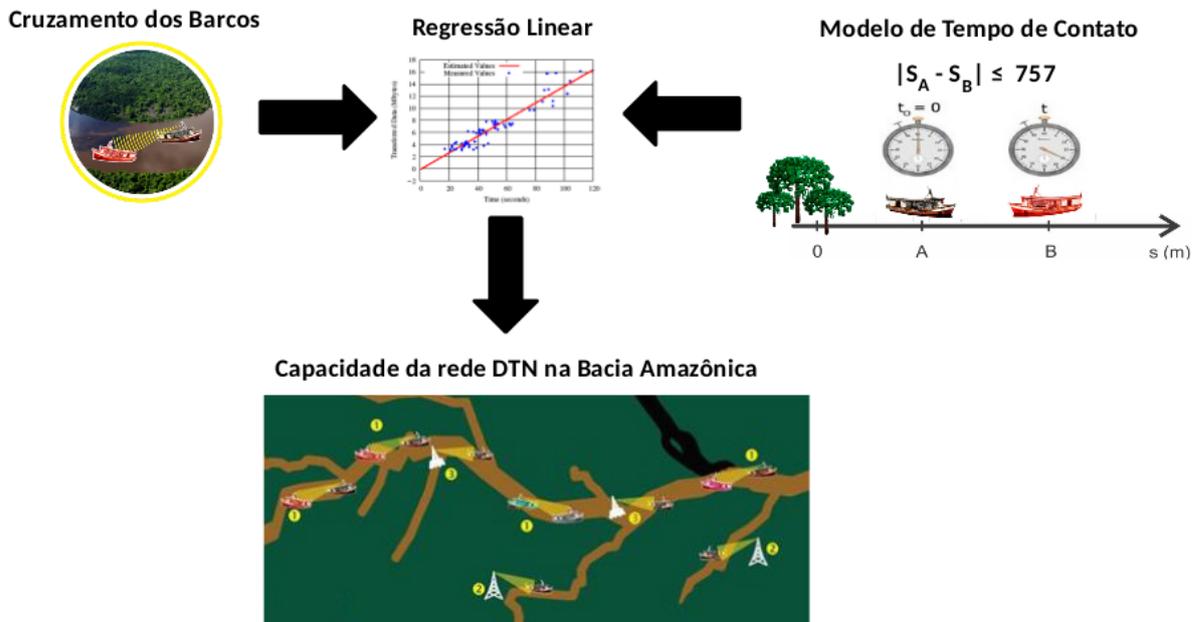


Figura 5.9: Capacidade das redes DTN.

⁴Conhecido como barcos expressos, lanchas ou ajato.



Figura 5.10: Calhas fluviais da Amazônia Ocidental.

Tabela 5.6: Principais calhas fluviais da Amazônia Ocidental.

Calhas	Rotas
Alto Rio Negro	Manaus - São Gabriel da Cachoeira
Alto Solimões	Manaus - Tabatinga
Baixo Amazonas	Manaus - Santarém - Belém
Juruá	Manaus - Eirunepé
Madeira	Manaus - Porto Velho
Médio Solimões	Manaus - Coari - Tefé
Purus	Manaus - Boca do Acre

5.3.1 Relação entre Tempo de Contato e Quantidade de Dados Transferidos

A partir dos tempos de contato e dos dados transferidos nas três medições realizadas nos experimentos de cruzamento entre as embarcações no rio Negro, utilizou-se a técnica estatística de regressão linear [79] para analisar as amostras, e foi construída a reta de ajuste $f(t) = a * t + b$, onde t é o tempo de contato em segundos e $f(t)$ a quantidade de dados transferida entre as embarcações em Mbytes. Assim, os valores obtidos para a e b , de acordo com o tamanho do pacote de dados é mostrado na Tabela 5.7. A relação dos valores estimados pela reta de regressão com os valores medidos nos experimentos práticos é visualizada nas Figuras 5.11(a), 5.11(c), 5.11(e) e 5.11(g).

Para medir a acurácia do modelo foram utilizadas as métricas: *Root Mean Square Error* - (RMSE), *R-Squared* - (R^2) e o Gráfico de Resíduos [80]. A métrica RMSE

Tabela 5.7: Coeficientes da equação e as métricas quantificadas.

Pacote (Bytes)	a	b	RMSE	R^2
150	0,1304	-0,3498	0,5393	0,9535
500	0,1137	1,0035	0,8039	0,9258
1460	0,1429	-0,0376	1,3028	0,8763
2340	0,1552	-0,8798	1,2418	0,9123

relaciona as diferenças individuais entre o vetor de valores estimados $y(k + 1)$ e os valores reais $\hat{y}(k + 1)$ de dados transferidos entre embarcações. Os valores de RMSE são mostrados na Tabela 5.7, e eles possuem baixa magnitude de erro. A métrica R^2 quantifica a variação da saída capturada pelo modelo, no intervalo de 0 (pior) a 1 (melhor). Um $R^2 \geq 0,8$ [79] é considerado um bom valor para o estimador. Os valores encontrados para o modelo foram $R^2 \geq 0,8$, conforme mostrado na Tabela 5.7. Logo, o modelo consegue explicar os valores observados nas amostras.

As Figuras 5.11(b), 5.11(d), 5.11(f) e 5.11(h) mostram os gráficos de resíduos que representam a saída prevista pelos respectivos modelos com as suas respectivas retas e os valores reais obtidos nos experimentos como pontos. Num modelo perfeito, os pontos experimentais sempre estarão sobre a curva no Gráfico de Resíduos. Analisando as figuras citadas anteriormente, observa-se que os pontos experimentais estão próximos da curva.

5.3.2 Modelo de Tempos de Contato

Foi criado um modelo para o cálculo dos tempos de contatos entre as embarcações da rede analisada. Os parâmetros do modelo são descritos a seguir:

a) Quantidade de embarcações (Q): refere-se ao somatório de embarcações que trafegam nas calhas dos rios.

b) Velocidade escalar média das embarcações (Vm): relação entre a distância percorrida pela embarcação e o tempo. Portanto, $Vm = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, onde Δs é a distância em linha reta da cidade de Manaus ao município e Δt o tempo estimado de viagem entre as cidades.

c) Tempo de Contato (Tc) entre duas embarcações: definido na Seção 4.3, pode ser calculado a partir da equação do MRU [81], desde que as embarcações desloquem-se com velocidade constante. Portanto, $S = So + Vt$, ($V \neq 0$), onde So é a posição da embarcação no instante $t = 0$ e V é a velocidade escalar do movimento. A Inequação 5.1 fornece a condição que os barcos estão dentro da área de alcance. Dadas as equações S_a , S_b (S_a e S_b são as equações da posição das embarcações A e B , respectivamente.) e o alcance, obtêm-se os tempos t_1 e t_2 nos quais as

embarcações entram e saem do alcance, e então, $T_c = t_2 - t_1$.

$$|S_a - S_b| \leq 0,757 \quad (5.1)$$

Baseando-se na média aritmética dos alcances calculados nos experimentos, será considerado que as embarcações podem se comunicar enquanto a distância entre elas for menor que 0,757 quilômetros (757 metros), conforme é ilustrado na Figura 5.2.

d) Distância total percorrida pelas embarcações (*Dist*): refere-se ao somatório das distâncias percorridas pelas embarcações nas calhas dos rios. Portanto, $Dist = \sum_{i=1}^N Dist_i$, onde $Dist_i$ é a distância percorrida pela embarcação em cada calha e N o número de calhas.

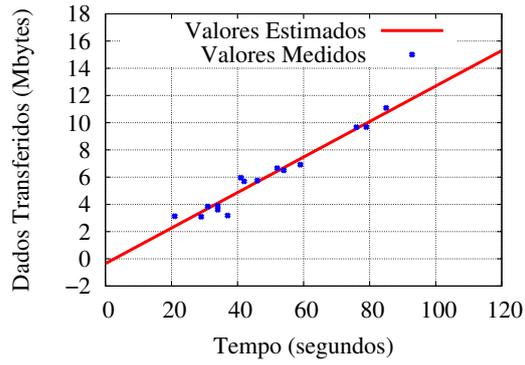
5.3.3 Estudo de Capacidade das Redes DTN em Relação às Calhas

As calhas mais importantes economicamente para o estado são a do Baixo Amazonas, Madeira, Alto e Médio Solimões, pois são as responsáveis pelo transporte das mercadorias do PIM. Nas calhas do Baixo Amazonas e do Madeira são escoados os produtos para abastecimento do país e as calhas do Alto e Médio Solimões são responsáveis pela exportação para outros países. Já a calha do Médio Solimões é caracterizada pela grande quantidade de embarcações, isto se deve à predominância de petróleo encontrado na região. As demais calhas são menos povoadas por embarcações, em função de serem menos representativas economicamente.

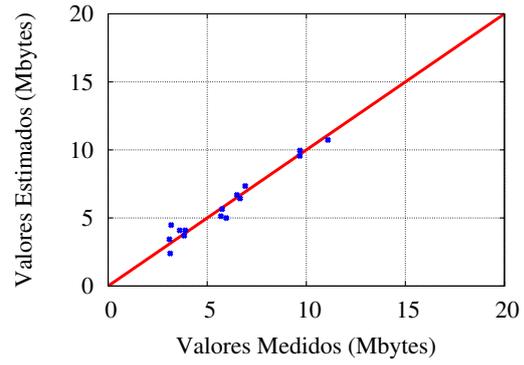
Na Tabela 5.8, a quantidade de contatos e os tempos de contatos foram contabilizados a partir da combinação de todos os pares possíveis de embarcações que trafegam nas calhas, de acordo com a Inequação 5.1. De posse dos tempos de contato, substitui-se esse tempo na equação $f(t) = a * t + b$, obtendo-se os dados transferidos $f(t)$. Os valores de a e b empregados no cálculo da capacidade são do tamanho de pacote 2340 Bytes, pelo fato de transferir maior quantidade de dados. Conforme a Tabela 5.7, o coeficiente de $a = 0,1552$ e de $b = -0,8798$, e a fórmula matemática é representada pela equação $f(t) = 0,1552 * t - 0,8798$. O procedimento do cálculo foi realizado para cada calha, resultando numa capacidade de 221,63 GB de transferência de dados que essa rede DTN pode alcançar, numa janela de tempo semanal. Ou seja, dadas as 357 embarcações foram obtidos 5.444 contatos entre elas, com um tempo de contato total de 406,20 horas, quantidade de dados transferidos de aproximadamente 221,63 GB/semana e distância percorrida entre as cidades de 204.332 km.

Tabela 5.8: Estudo de capacidade de redes DTN na bacia hidrográfica amazense.

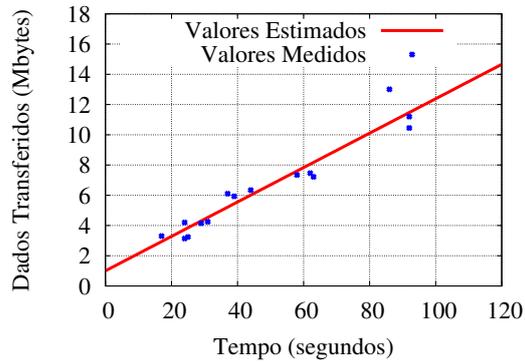
Calhas	Quantidade de barcos	Quantidade de contatos	Tempo total dos contatos (Horas)	Total de dados transferidos (GB)	Distância total (km)
Alto Rio Negro	17	78	6,41	3,49	47.470
Baixo Amazonas	109	1.498	98,51	53,75	10.906
Madeira	23	178	29,96	16,34	16.948
Purus	22	98	6,76	3,68	17.199
Médio Solimões	59	888	61,09	33,33	23.970
Alto e Médio Solimões	77	1.585	126,67	69,11	50.004
Juruá e Médio Solimões	69	1.119	76,80	41,90	37.835
Total	357	5.444	406,20	221,63	204.332



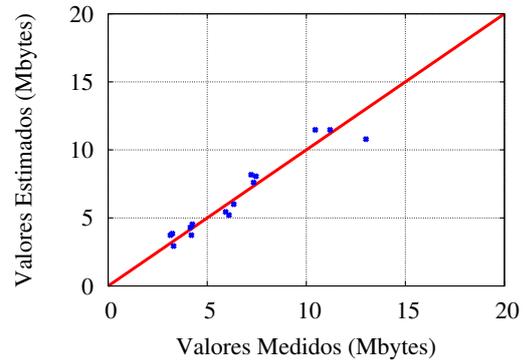
(a) Pacote de 150 Bytes.



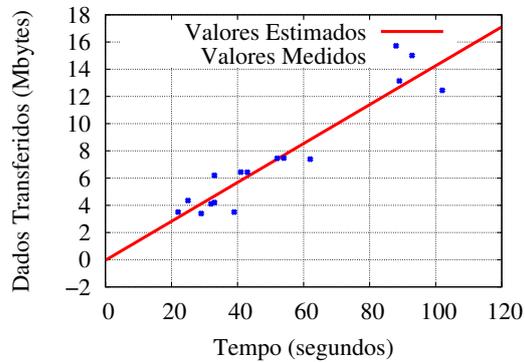
(b) Gráfico de Resíduos - Pacote de 150 Bytes.



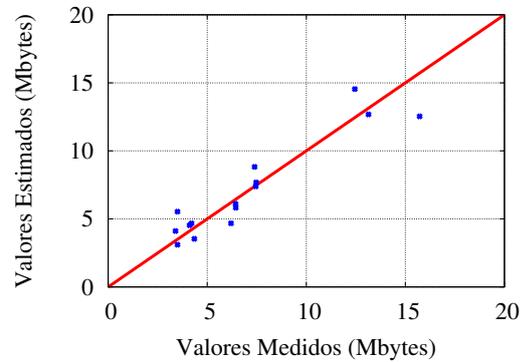
(c) Pacote de 500 Bytes.



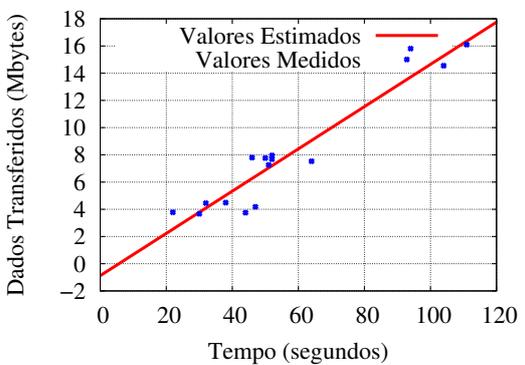
(d) Gráfico de Resíduos - Pacote de 500 Bytes.



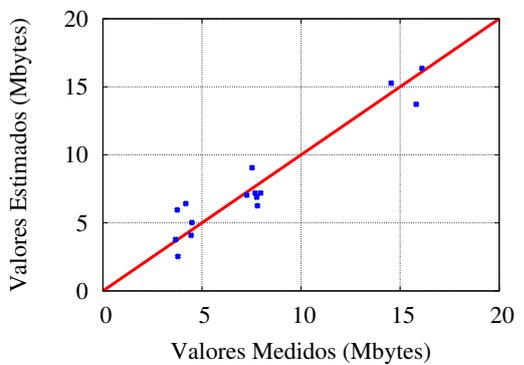
(e) Pacote de 1460 Bytes



(f) Gráfico de Resíduos - Pacote de 1460 Bytes.



(g) Pacote de 2340 Bytes.



(h) Gráfico de Resíduos - Pacote de 2340 Bytes.

Figura 5.11: Avaliação do modelo.

Capítulo 6

Simulação Computacional

Neste capítulo é apresentada uma avaliação da capacidade de uma rede DTN formada por barcos, via simulação, sob a influência dos *traces* reais de mobilidade capturados nos diversos barcos que trafegam na calha do Baixo Amazonas.

6.1 Investigação dos Traces Reais de Mobilidade

Diversos trabalhos avaliam a capacidade [24, 82–85], tempos de contatos [86], tempo de intercontato [87, 88] e a mobilidade [89, 90] de VANETs e de redes DTN. No entanto, poucos trabalhos analisam a capacidade de transferência de dados de dispositivos móveis em cenários fluviais.

Zhang *et al.* [91] investigam o tempo de contato e avaliam o impacto de redes DTN formadas por ônibus na cidade de Massachusetts, Estados Unidos. Os ônibus seguem rotas bem definidas e encontram outros ônibus, estabelecendo pares de conexão, realizando a transferência de dados entre eles. Os autores calculam a função de distribuição cumulativa do tempo intercontato e propõem um modelo probabilístico. Esse modelo é usado nas simulações para avaliar o desempenho do protocolo de roteamento das redes DTN com relação às métricas atraso na entrega, número de cópias e número de saltos, usadas frequentemente na literatura [92, 93].

Tournoux *et al.* [94] analisam os tempos de contato entre os milhares de participantes de um passeio de patins em Paris. Em [95], os *traces* reais de mobilidade dos patinadores são usados para construir um modelo analítico e para avaliar o impacto sobre o roteamento dessa rede DTN. Os autores analisam a conectividade da rede utilizando grafos dinâmicos, empregando as métricas grau médio do nó, o número de componentes conectado na rede e o atraso médio. As métricas de desempenho de roteamento utilizadas foram o atraso na entrega das mensagens e a sobrecarga de tráfego de dados. No presente trabalho, é analisada a capacidade de transferência de dados, o roteamento da rede DTN não está no escopo deste trabalho.

Mitton e Rivano [96] propõem um modelo matemático para uma rede formada

por bicicletas e estações base em Lyon, França. Nesse modelo são avaliados a quantidade de dados enviada e recebida pelas bicicletas, o alcance de transmissão e a relação entre o número de bicicletas e estações base ao longo das ruas da cidade. Além disso, o tempo de espera necessário para uma bicicleta fazer *upload* dos seus dados para uma estação base é modelado como um processo de *Poisson*. Caso esse tempo de espera seja muito longo ou a capacidade de armazenamento dos sensores incorporados na bicicleta seja insuficiente, os dados podem ser enviados para outras bicicletas utilizando o protocolo de roteamento oportunista e multi-saltos, a fim de evitar a perda de dados.

A Tabela 7.1 resume as principais características dos trabalhos investigados e do presente trabalho, de acordo com os seguintes aspectos: cenários, mobilidade, metodologia e métricas.

Tabela 6.1: Comparativo dos trabalhos relacionados à *traces* reais de mobilidade com o presente trabalho.

Parâmetros	Zhang <i>et al.</i> [91]	Tournoux <i>et al.</i> [94]	Mitton <i>et al.</i> [96]	Presente Trabalho
Cenários	Ônibus	Rollerbladers	Bicicletas	Barcos
Mobilidade	<i>Traces</i>	<i>Traces</i>	Não analisado	<i>Traces</i>
Metodologia	Simulação	Simulação e analítica	Analítica	Simulação e medição
Métricas	Atraso na entrega, número de cópias enúmero de saltos	Grau médio do nó, componentes conectado, atraso médio, overhead e atraso de pacotes	Quantidade de dados enviada e recebida	Tempo de contato e quantidade de dados transferida

O cenário deste trabalho difere significativamente dos cenários abordados em trabalhos anteriores. Esse cenário é pouco abordado nas pesquisas e ainda existem poucas informações do comportamento dessas redes nos cenários fluviais, dado os outros fatores que afetam nos experimentos, como o clima (temperatura e umidade relativa do ar) e as restrições de navegação dos barcos que influenciam diretamente na conectividade dessas redes. Como consequência, o trabalho proposto combina os experimentos práticos com a técnica de simulação, a fim de obter resultados mais próximos da realidade. Por fim, é possível estimar a quantidade de dados transferidos nessa rede DTN sem riscos físicos e grandes custos envolvidos.

6.2 Metodologia

A Figura 6.1 ilustra a metodologia utilizada na simulação dos contatos dos barcos. Inicialmente, é realizada a medição do tempo de contato e da massa de dados transferida do cenário de cruzamento entre barcos no rio Negro. Esses valores medidos nos experimentos práticos são utilizados como prerrogativas para o

ambiente simulado, de forma que os parâmetros de simulação são configurados e ajustados para que as métricas definidas nos experimentos práticos aproximem-se dos valores medidos no ambiente simulado. Em seguida são capturados os registros reais de movimentação dos mais variados barcos da região, a fim de representar a mobilidade dos barcos nessas redes, similar a [86] ou [97]. Com relação a coleta dos *traces* nos barcos, destacamos as dificuldades de logística, o tempo gasto nas viagens intermunicipais e interestaduais e o alto custo dos deslocamentos, dentre outros. Assim, tendo em vista as limitações de tempo, de recursos financeiros e a importância de interconectar o estado do Amazonas aos demais estados do Brasil escolheu-se a calha do Baixo Amazonas, uma das calhas mais importantes da região, trecho de rio delimitado pelas cidades de Manaus e Parintins, ilustrado na Figura 5.10. Depois dessas etapas é realizada a simulação dessas redes. O simulador de eventos discretos NS-3 (*Network Simulator 3*), versão 3.21 [98], foi utilizado, de modo a avaliar os contatos dos barcos, considerando o tempo de contato e a quantidade de dados transferida. As etapas deste trabalho serão descritas em detalhes nas seções a seguir.

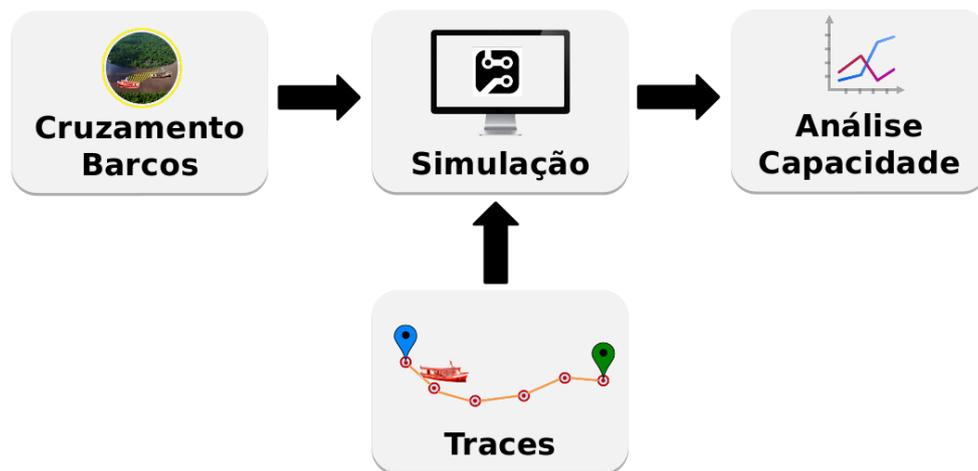


Figura 6.1: Metodologia.

6.2.1 Cruzamento entre Barcos

Em [82, 83] foram realizados experimentos práticos do cruzamento entre barcos às margens do rio Negro. Nesses experimentos, cada barco estava equipado com um ponto de acesso IEEE 802.11 b/g como servidor (*D-Link DIR-320*) e um *smartphone* (Nokia N900) como cliente, de forma que a comunicação era realizada entre cliente e servidor de barcos distintos. Vale a pena ressaltar que os clientes não se comunicavam entre si e nem mudavam de ponto de acesso. Com relação aos barcos, eles movimentavam-se em sentidos opostos, trajetórias paralelas separadas por uma

distância de 100 metros, com velocidades contantes de 20, 30, 40, 50 e 58 mph, enviando pacotes com tamanho de 150, 500, 1460 e 2340 bytes e protocolo da camada de transporte UDP.

6.2.2 Traces

Para representar a mobilidade dos barcos nos rios Negro¹ e Amazonas² no universo das simulações computacionais foram realizados os registros de movimentações a bordo dos barcos com GPS nesses rios, trecho delimitado pela capital Manaus e pela a cidade de Parintins (Figura 6.2). As características do ambiente que foram capturados os *traces* e os equipamentos utilizados na coleta de dados são descritos a seguir.

Cenário de Observação

Os registros de movimentação de embarcações (*traces*) nos rios Negro e Amazonas foram realizados no período de Março de 2012 a Março de 2015, nas mais diversas embarcações da região e em todos os períodos dos ciclos das águas dos rios da Amazônia, seja a cheia e a seca dos rios. O percurso de ida iniciava na cidade de Manaus e finalizava na cidade de Parintins. Já o percurso de volta começava na cidade de Parintins e finalizava na cidade de Manaus. As embarcações passavam por cidades intermediárias, tais como Itacoatiara, Urucurituba, Itapiranga, São Sebastião do Uatumã e Urucará. A cidade de Manaus foi escolhida por ser o maior centro econômico e financeiro da região norte do Brasil, enquanto a cidade de Parintins (localizada próximo da divisa do estado do Pará) é a segunda cidade mais populosa do estado do Amazonas e está situada numa das calhas dos rios mais movimentadas da região, chamada de calha do Baixo Amazonas, que liga Manaus as demais regiões do Brasil.

A cidade de Parintins localiza-se à margem direita do rio Amazonas, e está situada a 369 km de Manaus, em linha reta, e a 475 km por via fluvial. O tempo gasto de travessia de Manaus a Parintins nos barcos de linha (descendo o rio) é de 18 horas e de Parintins a Manaus (subindo o rio) é de 24 horas. Nos barcos expressos esse tempo de travessia é reduzido para 9 horas descendo o rio, ao passo que subindo o rio esse tempo é reduzido para 10 horas. Os barcos de linha tem por finalidade o transporte de carga (médio e grande porte) e de pessoas ao longo de toda malha hidrográfica da região Amazônica, enquanto os barcos expresso são voltados para o transporte de passageiros (pequeno porte) aos principais municípios. Além dessa diferença, os barcos expressos são mais velozes e leves do que os barcos de linha.

¹Segundo maior rio em volume de água do mundo.

²Maior rio em extensão e volume de água do mundo.



Figura 6.2: Cenário de mobilidade.

As Figuras 6.3(a) e 6.3(b) ilustram os tipos de embarcações que foram realizados os registros dos *traces*.



(a) Barco de linha no rio Negro.



(b) Barco expresso no rio Amazonas.

Figura 6.3: Típicos barcos da Amazônia que foram coletados os *traces* de mobilidade.

A navegabilidade em toda a Amazônia Brasileira segue a lei do rio [5, 99–103], que define o enunciado: “Quem navega a favor da correnteza do rio segue a meio caudal (centro), enquanto quem navega contra a correnteza do rio segue próximo à margem; quem desce o rio tem a preferência”. Isso se deve ao fato de que a embarcação que desce o rio tem maiores dificuldades na navegação do que a embarcação que sobe. Seguindo a favor da correnteza, a embarcação tem maior velocidade absoluta, maior energia cinética e piores qualidades de manobra de leme³. Por exemplo, quando o barco desce o rio, num eventual encalhe, a correnteza do rio empurra a embarcação sobre o banco de areia ou contra a margem do rio. Diferente da embarcação que

³Governo ou comando da embarcação.

sobe o rio, pois ela tem menor velocidade absoluta, menor energia cinética e melhores qualidades de governo, tornando menos grave as consequências de um encalhe, que podem ser contornados com a ajuda da própria correnteza do rio.

Coleta de Dados

Na coleta de dados foi utilizado um receptor de GPS de alta precisão, modelo *u-blox* 5 (ilustrado na Figura 6.4(a)), que é capaz de registrar a posição da embarcação quatro vezes por segundo. Esse receptor de GPS foi ligado via porta USB a um *laptop* Intel Sony Vaio, com 4 GB de RAM e 500 GB de disco rígido na cabine do comandante do barco, como mostra a Figura 6.4(b). No *laptop* foi executado um *script* na linguagem de programação *Python*, que realizava a gravação das informações provenientes do GPS no disco rígido. Além do receptor de alta precisão, foram utilizados *smartphones* dos mais diversos modelos, que registravam a movimentação das embarcações uma vez a cada segundo. Nos *smartphones* foi utilizado o aplicativo da *Google* para *Android* “*My tracks*” [104], que mostrava e registrava o caminho (latitude e longitude), a velocidade, o ângulo, a distância e a altitude, enquanto o barco navegava ao longo dos rios Negro e Amazonas. O uso desses *smartphones* foram fundamentais, pois em algumas viagens as embarcações passaram por problemas de pane elétrica, o que causou falta de energia elétrica nas tomadas do barco, impossibilitando o uso do GPS *u-blox* e do *laptop*. Dessa forma, a única alternativa viável para contornar esse problema foi o uso dos *smartphones* na coleta dos *traces*.



(a) GPS *u-blox* 5 [105].



(b) GPS *u-blox* ligado ao *laptop* na cabine do comandante do barco.

Figura 6.4: Equipamentos usados para coletar a posição geográfica dos barcos.

O total de viagens realizadas com sucesso nos barcos de linha corresponde a 36, ao passo que com os barcos expressos foram 8 viagens, nos diferentes meses do ano. Todos os barcos possuem características diferentes entre si, tais como potência do motor, tipo de casco, capacidade de pessoas, dentre outros. Dessa forma, das 44

viagens realizadas, 22 viagens são descendo o rio (Manaus a Parintins) e as outras 22 viagens são subindo o rio (Parintins a Manaus). Os barcos que foram realizadas as viagens estão listados no Apêndice B. O intervalo de tempo de coleta do movimento dos barcos de linha varia de 16 horas a 22 horas descendo o rio, enquanto subindo o rio esse número varia de 23 horas a 32 horas. Já nos barcos expressos esse intervalo de tempo é bem menor e varia de 7 horas a 9 horas descendo o rio, e de 8 horas a 10 horas subindo o rio. Dos 80 *traces* capturados, apenas 44 *traces* foram bem sucedidos. Os demais *traces* apresentaram valores que superavam os limites máximos dos intervalos de tempo definidos pela Capitania Fluvial da Amazônia Ocidental (CFAOC), logo foram descartados. Segundo a CFAOC está caracterizado que essas embarcações sofreram algum acidente⁴ ou fato de navegação⁵. As informações capturadas nos *traces* de mobilidade são: o tempo, a identificação do barco, a latitude, a longitude, o ângulo e a velocidade. O tempo é expresso em segundos e a velocidade em metros/segundo. Os *traces* serão disponibilizados no repositório CRAWDAD [74] para a comunidade científica.

6.2.3 Simulação

Dado um cenário real de navegação dos barcos na calha do Baixo Amazonas, o objetivo deste trabalho é avaliar a capacidade de transferência de dados e caracterizar os contatos dos barcos por meio da simulação computacional. A rede simulada tem um conjunto B formado por n barcos, isto é $B = \{b_1, b_2, b_3, \dots, b_n\}$. A calha do Baixo Amazonas tem $n = 109$ barcos diferentes entre si. Os contatos são caracterizados por pares de barcos, isto é (b_i, b_j) , onde $i \neq j$, tal que $b_i, b_j \in B$. Os pares de barcos $(b_i, b_j) = (b_j, b_i)$ são computados uma única vez no cálculo de capacidade.

O simulador NS-3 [98] foi utilizado na avaliação da capacidade das redes DTN, pois ele permite a escolha de parâmetros de modelagem do meio sem-fio, tais como atraso de propagação do canal, potência de transmissão, limiar de recepção e a frequência de operação dos dispositivos móveis. Para tornar o ambiente de simulação mais realístico, os parâmetros de simulação foram configurados de acordo com os experimentos práticos descritos em [82, 83]. A Tabela 6.2 mostra os parâmetros configurados no ambiente do NS-3 para representar o cenário fluvial. Os parâmetros mais importantes são:

- Área de simulação de $475 \times 50 \text{ km}^2$: corresponde ao comprimento dos rios Amazonas e Negro juntos e a largura do rio Amazonas no período da cheia

⁴ naufrágio, encalhe, colisão, abalroamento, água aberta, explosão, incêndio, defeito no barco, etc.

⁵ deficiência dos equipamentos do barco, alteração da rota, má estivação da carga, prestação de socorro à embarcação em perigo, prática de atos ilícitos com as embarcações, etc.

do trecho navegado. Na seca, a largura do rio Amazonas é reduzida a 25 *km*. Com relação ao rio Negro a sua largura é inferior a 25 *km*;

- Número de nós: 109 representa o número de barcos que trafegam na calha do Baixo Amazonas. Existem 5.886 possibilidades de contatos entre os barcos;
- Protocolo MAC: padrão IEEE 802.11g, mesmo padrão usado nos experimentos práticos [82, 83], a fim de comparar a capacidade de transferência de dados proposta em [82, 83] com os resultados simulados.
- Tráfego de dados: todos os nós geram um fluxo de pacotes constante (*Constant Bit Rate* - CBR) sobre o protocolo UDP, com taxa de transmissão de 54 Mbps;
- Tamanho do pacote: definido como 2340 bytes, pois é o tamanho máximo do pacote utilizado nos experimentos práticos [82, 83] que produzia uma maior quantidade de dados transferida para as velocidades que os barcos navegavam [24, 25]
- Tempo de simulação: corresponde ao tempo limite de travessia dos barcos da cidade de Parintins a Manaus é de aproximadamente 33 horas;
- Número de execuções: 30 rodadas de simulação. A média dos resultados são calculados com intervalo de confiança de 95%.

Tabela 6.2: Parâmetros da simulação.

Descrição	Valor
Área	475 x 50 <i>km</i> ²
Número de nós	109
Protocolo MAC	IEEE 802.11 g
Tráfego	Constant Bit Rate (CBR) com 54 Mbps
Tamanho do pacote	2340 Bytes
Algoritmo de adaptação de taxa	Adaptive Auto Rate Fallback (AARF)
Banda de transmissão	40 MHz
Potência de transmissão	10 dbm
Sensibilidade na recepção	-95 dbm
Modelo de propagação	Friis
Tempo de simulação	33 horas
Número de execuções	30

Os barcos de linha e os barcos expressos seguem rotas pré-estabelecidas com dias da semana e horários programados em cada uma das cidades entre Manaus e Parintins, segundo a AHIMOC. Os tempos de viagem dos barcos pode ser superior a 24 horas, conforme mostra o Apêndice B. Consequentemente, a simulação da capacidade das redes DTN utiliza a janela de tempo de uma semana. Todos os barcos que navegam no trecho de rio delimitado pelas cidades de Manaus e Parintins são considerados na avaliação da capacidade. Em outras palavras, são incluídos os

barcos que viajam de Manaus a Parintins e vice-versa, bem como barcos que partem de alguma cidade depois de Parintins e navegam na direção de Manaus, por exemplo, de Juruti para Itacoatiara, ou que partem antes de Manaus em direção a Parintins, por exemplo, de Tefé ou Coari para Itacoatiara. Consideramos esses barcos no cálculo, representando apenas a parte da viagem dentro do trecho Manaus-Parintins. As informações referentes ao agendamento (identificação do barco, horário de saída e horário de chegada) e os *traces* reais (identificação do barco, tempo, latitude, longitude e velocidade) são usados como entrada de dados no simulador de eventos discretos, que verifica a lista de eventos agendados e os executa no momento apropriado. Vale a pena ressaltar que não são considerados os contatos dos barcos na simulação quando eles estão ancorados nos portos, porque o objetivo deste estudo é caracterizar contatos e a massa de dados transferida entre os barcos ao longo da malha hidrográfica da região.

Métricas

A avaliação dos contatos dos barcos que formam as redes DTN na calha do Baixo Amazonas são de fundamental importância, pois permite determinar as características de conectividade dessas redes nesse cenário, bem como os períodos que os dados podem ser enviados/recebidos sem interrupção e os possíveis momentos de instabilidade na transmissão de dados. Assim, para caracterizar esses encontros oportunistas entre os barcos pela extensão dos rios Negro e Amazonas foram utilizadas as métricas Tempo de Contato (T_c) [24, 87] e Vazão útil da rede [24, 25, 106], descrito na Seção 5.2.1.

6.2.4 Resultados da Simulação

A Tabela 6.3 mostra o total do tempo de contato e da massa de dados transferida dos barcos na calha do Baixo Amazonas. Com o tempo de simulação de uma semana, o tempo de contato totaliza 44,90 horas, com uma quantidade de dados transferida de 1,38 TB. Assim, as Figuras 6.5(a) e 6.5(b) mostram a função de distribuição cumulativa (*Cumulative Distribution Function* - CDF) do tempo de contato e da quantidade de dados transferidos. Observamos na Figura 6.5(a) que 70% dos contatos são inferiores a 4 minutos. Na Figura 6.5(b), por outro lado, para 70% dos contatos a quantidade de dados transferida é no máximo 0,8 Mbytes. Os tempos máximo e mínimo de contato dos barcos são de 4 horas e de 3 segundos, respectivamente. Os contatos com maior duração ocorrem devido vários barcos de carga deslocarem-se com velocidades baixas e muito próximas, seguindo trajetórias próximas e mesmo sentido de movimento (subindo/descendo o rio). Por outro lado, os contatos de menor duração ocorrem entre os barcos que se cruzam e deslocam-se

a altas velocidades, separados por longas distâncias, lembrando-se que a largura do rio pode chegar a dezenas de quilômetros, enquanto que o alcance do rádio é inferior a 1 km. Apesar disso, existem alguns locais que a comunicação de dados na manobra de cruzamento entre barcos é facilitada, como em regiões que há um estreitamento do rio ou quando é necessário o barco fazer uma mudança da margem do rio. Com relação a manobra de ultrapassagem ela pode ser realizada ao longo do leito do rio, desde que não comprometa a segurança da navegação. Descendo o rio, essa manobra é executada nas proximidades do centro do rio, ao passo que subindo o rio essa manobra é realizada nas proximidades das margens do rio.

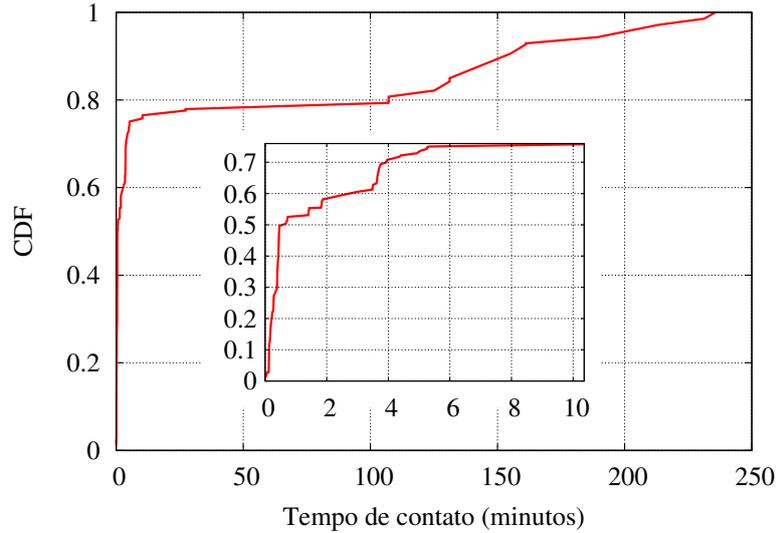
As Figuras 6.6(a) e 6.6(b) mostram as vazões máxima e mínima alcançadas pela rede, que correspondem a 154 GB e a 111 KBytes, respectivamente. Nesses gráficos são representadas a média dos resultados e a barra de erro, considerando um intervalo de confiança de 95% das 30 rodadas de simulação. A vazão máxima representa 11% da vazão total observada na simulação. Além disso, observa-se em ambos os casos que 79% dos tempos de contato e das vazões têm valores inferiores a média dos tempos e a média das vazões que representam 2.127 segundos e 19 GB, respectivamente. Essas constatações permitem concluir que o aproveitamento dos contatos de forma oportunística devem ser exploradas ao máximo nos cenários móveis altamente dinâmicos.

Tabela 6.3: Tempo de Contato X Dados Transferidos.

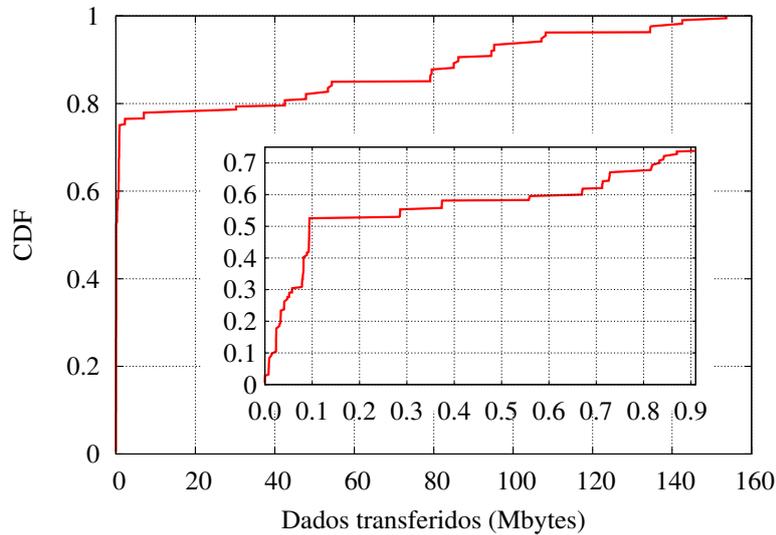
Percurso	Tempo de contato (Horas)	Dados Transferidos (GB)
Descendo o rio	18,54	392
Subindo o rio	26,36	1.021,12
Total	44,90	1.413,12

Vale a pena ressaltar que descendo o rio o tempo de contato e a vazão correspondem a 41% e a 27% dos valores totais observados na simulação, respectivamente. Esse fato pode ser explicado porque quando os barcos descem o rio eles desenvolvem velocidades mais altas do que barcos subindo o rio. Assim, velocidades mais altas implicam tempos de contato mais curtos durante os cruzamentos e ultrapassagens. Além disso, as distâncias de cruzamento e ultrapassagem precisam ser maiores para evitar que barcos navegando em alta velocidade tombem. Portanto, barcos subindo o rio possuem um tempo de contato mais longo, com uma distância menor do outro barco, o que reflete numa maior quantidade de dados transferidos.

A Figura 6.7 ilustra as regiões onde os contatos estão concentrados. Essas regiões estão situadas nas proximidades das cidades de Itacoatiara, Urucurituba e Itapiranga, regiões conhecidas como Paraná da Trindade e Paraná do Serpa. Nota-se que a quantidade de dados transferida depende da manobra que está sendo realizada



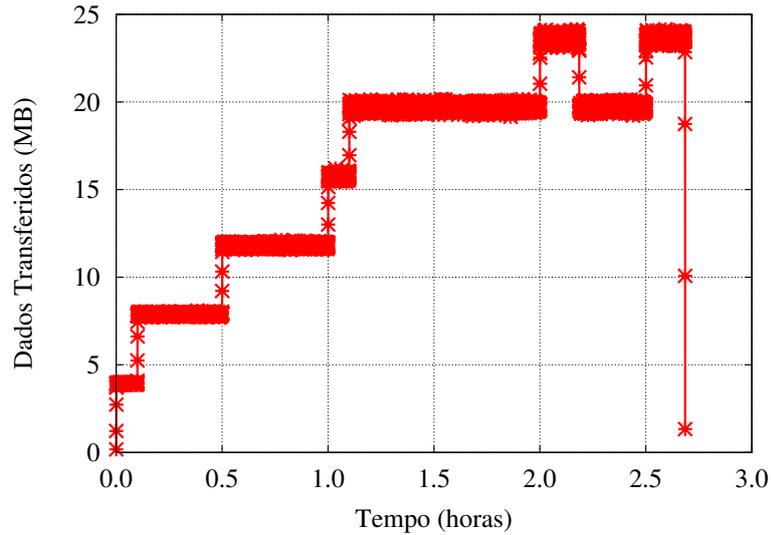
(a) CDF do tempo de contato dos barcos.



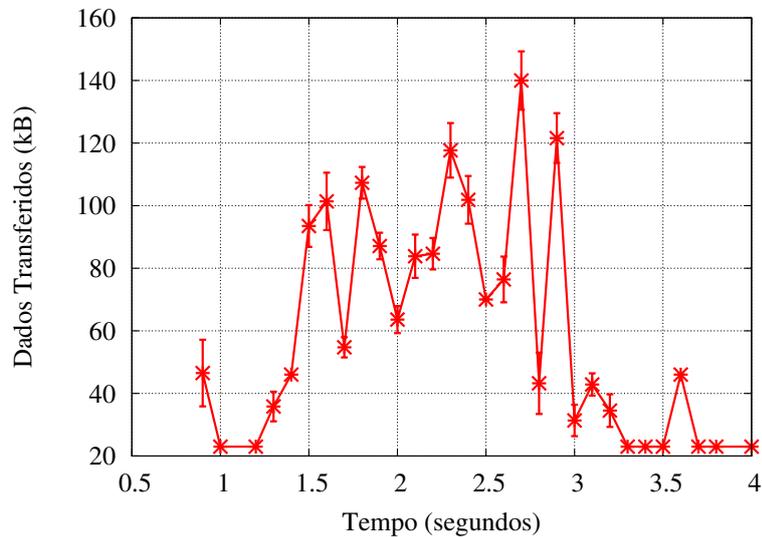
(b) CDF da quantidade de dados transferida.

Figura 6.5: Função de distribuição cumulativa das métricas de contato dos barcos na simulação da calha do Baixo Amazonas.

na navegação, seja o cruzamento ou a ultrapassagem, e se o barco está subindo ou descendo o rio. Além disso, constatou-se que um maior número de contatos representa uma maior quantidade de dados transferidos. Desta forma, quando os barcos sobem o rio (ilustrado na Tabela 6.3), os contatos de longa duração são evidenciados nas regiões que compreendem o Paraná das Onças e o Paraná do Jacaré. Esses contatos representam 78% da quantidade de dados transferida nessa direção. A razão para isto é devido ao fluxo intenso de barcos perto da cidade de Manaus. Manaus é o ponto de chegada e de saída de todos os barcos da Amazônia Ocidental. Por outro lado, quando os barcos descem o rio, os contatos de longa duração estão concentrados nas regiões do Paraná da Trindade e do Paraná do Serpa, e eles representam



(a) Contato com máxima quantidade de dados transferida.



(b) Contato com a mínima quantidade de dados transferida.

Figura 6.6: Máxima e mínima quantidade de dados transferida.

90% da quantidade de dados transferida nessa direção. Isso ocorre porque existem vários barcos que fazem viagens de outras calhas fluviais que se encontram nessas regiões.

Na Seção 5.3.3 foi realizada uma estimativa preliminar da capacidade de transferência de dados dos barcos na calha do Baixo Amazonas [82, 83]. A estimativa era simples, baseada na previsibilidade dos contatos dos barcos, dado a sua a tabela de agendamento e assumindo que os barcos percorriam distâncias em linha reta. Os números obtidos foram 45,02 GB para o total da capacidade de contato e 98,51 horas de tempo de contato numa janela de tempo semanal. Os números diferem significativamente dos obtidos na simulação, curiosamente, em diferentes direções. O tempo de contato estimado é 45% menor, enquanto a quantidade de dados trans-



Figura 6.7: Regiões que os contatos dos barcos são mais frequentes.

ferida, aumentou cerca de 97%. Além de comparar a estimativa matemática da capacidade com os resultados da simulação, as diferenças são decorrentes dos *traces* reais de mobilidade dos barcos utilizados na simulação. Somados a esses fatores, na simulação utiliza-se uma escala de agendamento dos barcos, que define quando os barcos começam a se mover durante a simulação, conforme é apresentada no Apêndice B, enquanto na estimativa matemática (Seção 5.3.3) [82, 83] assumiu-se que os barcos começavam a se mover no mesmo tempo t_0 . Mais precisamente, as abordagens diferem-se nos seguintes aspectos:

- Na simulação são utilizadas as distâncias fluviais, ao passo que na estimativa matemática [82, 83] são assumidas as distâncias em linha reta. As distâncias fluviais superam em 106 quilômetros as distâncias em linha reta na calha do Baixo Amazonas (de Manaus a Parintins), o que pode favorecer a existência de mais contatos entre os barcos, dada uma maior área a ser navegada pelos barcos.
- 46% dos tempos de contato na estimativa matemática [82, 83] são referentes a manobra de cruzamento entre barcos, ao passo que na simulação esse número representa aproximadamente 4%. Esse número foi alterado por causa dos *traces* reais de mobilidade dos barcos usado na simulação. Quando os barcos fazem a manobra de cruzamento ou de ultrapassagem, eles precisam manter uma distância mínima de segurança de 100 metros. Essa distância de segurança foi usada em [82, 83]. Na prática, a distância entre os dois barcos pode ser muito maior, lembrando-se que a largura do leito do rio largura é da ordem de dezenas de quilômetros. Na vida real, observamos que os barcos tendem a manter distâncias maiores, especialmente quando eles cruzam. Nos *traces* coletados, as distâncias de cruzamento podem chegar até 25 quilômetros,

enquanto as distâncias de ultrapassagem podem ser inferiores a 100 metros. Como consequência, na maioria das vezes os barcos cruzam-se fora do alcance do rádio, produzindo nenhum contato. A maior parte dos dados é transferida nos contatos de ultrapassagem nas simulações.

- *Traces* reais de mobilidade utilizados na simulação produzem um outro efeito. Na estimativa matemática [82, 83] foi utilizado a velocidade do barco constante para modelar o contato (a velocidade média entre origem e destino). Na simulação, em vez disso, utilizou-se a velocidade instantânea do barco, obtida no *trace* real de mobilidade. Isso significa que diferentemente do movimento retilíneo uniforme anteriormente assumido, na simulação durante uma viagem a velocidade do barco pode aumentar, diminuir e o barco pode eventualmente parar.
- Por fim, na estimativa matemática [82, 83], assume-se que a quantidade de dados transferida é diretamente proporcional ao tempo de contato. Nos resultados das simulações, observa-se que em alguns casos, um maior tempo de contato não implica uma maior quantidade de dados transferida. Isso depende das distâncias de cruzamento ou de ultrapassagem dos barcos, que influencia diretamente na relação sinal-ruído e como consequência na modulação do sinal utilizada na camada física IEEE 802.11.

Observa-se que 96% dos contatos acontecem de Segunda a Sábado, pois aos Domingos, não existem barcos no sentido Manaus-Parintins-Manaus. Entretanto, os 4% de contatos são provenientes dos barcos que estão indo ou voltando dos municípios do estado do Pará (Alenquer, Belém, Juruti, Monte Alegre, Óbidos, Oriximiná, Santarém) ou de outros municípios do estado do Amazonas (Barreirinha e Boa Vista dos Ramos) que passam pela calha dos Baixo Amazonas.

Conforme já era esperado, as melhores oportunidades para aproveitamento dos contatos entre os barcos concentram-se a baixas velocidades, pois os contatos são mais longos. A movimentação em velocidades baixas caracteriza tipicamente situações que os barcos podem estar numa área de tráfego intenso, correnteza forte do rio, balanço da embarcação e falta de estabilidade, ultrapassagem, banco de areia, pedras nas proximidades dos canais, canal estreito e sinuoso, redemoinhos, entre outros. Barcos que se movimentam a altas velocidades tendem a apresentar contatos com duração curta, contribuindo pouco para o aproveitamento dos contatos em comunicações nas redes DTN. Assim, as oportunidades de contato a velocidades mais altas devem ser rapidamente aproveitadas, ou o tempo de conexão e as informações de roteamento serão desperdiçados. De outro ponto de vista, isso significa que o protocolo de roteamento ciente das velocidades dos barcos podem se beneficiar com

esta informação para escolher as melhores oportunidades de contato para transmitir dados.

Capítulo 7

Caracterização da Mobilidade na Bacia Amazônica

O presente capítulo apresenta a caracterização da mobilidade das embarcações nos rios Negro e Amazonas a partir de *traces* reais de movimentação dos barcos. Inicialmente é feita uma análise estatística dos dados das componentes de movimento. Por fim, é realizado um estudo comparativo entre essas componentes do movimento obtido dos *traces* reais com as funções de distribuição de probabilidade conhecida na literatura.

7.1 Investigação da Mobilidade

Diversos trabalhos estudam a caracterização da mobilidade dos dispositivos em vários cenários. Em [107] é capturado a mobilidade humana numa área de lazer na cidade do Rio de Janeiro, chamada de Quinta da Boa Vista. Nesse cenário, o registro da movimentação dos pedestres foi realizado a cada segundo, com o objetivo de extrair informações detalhadas das componentes do movimento velocidade, aceleração, ângulo de mudança de direção e tempo de pausa. Após essa caracterização, verificou-se a proximidade ou adequação dos modelos de mobilidade utilizados na literatura, comparando com a mobilidade dos dispositivos em cenários reais. Uma avaliação do desempenho das redes DTN é realizada, a fim de verificar o impacto da mobilidade sobre o contato dos nós e sobre alguns protocolos de roteamento.

No projeto *TAPASCologne* [108] é estudada a mobilidade veicular numa área urbana da cidade de *Cologne*, Alemanha. O objetivo deste trabalho é analisar as características topológicas das redes veiculares, de acordo com as métricas: conectividade, disponibilidade, confiabilidade e navegabilidade da rede. Inicialmente, os mapas realistas da topologia das ruas são obtidos da base de dados do software *OpenStreetMap* (OSM) [109]. O OSM fornece ao gerador de mobilidade (*Simulation*

of *Urban Mobility* - SUMO) [110, 111] a especificação da malha viária e os fluxos dos veículos. No SUMO é criado um arquivo de simulação, na qual são definidas as posições, as velocidades e mobilidade dos veículos numa escala microscópica, gerando *traces* sintéticos de mobilidade [112, 113]. Os fluxos de tráfego dos veículos são representados por uma matriz com uma lista dos horários de partida e de chegada de viagem de cada um dos veículos na área metropolitana analisada.

Kim *et al.* [114] propõem um modelo de mobilidade humana a partir de *traces* reais dos usuários no campus de *Dartmouth college*, Estados Unidos. Esses *traces* são registros de acesso dos usuários a uma rede Wifi, capturados quando os usuários iniciam ou finalizam uma autenticação e uma associação/desassociação dos pontos de acesso (APs) da rede, por meio de mensagens de *syslog* enviadas pelos APs a um servidor central. A posição dos usuários é estimada usando filtros centróides (*Triangle centroid*, *Time-based centroid*) e filtros de Kalman. Uma análise estatística das características dos usuários da rede infraestruturada foi realizada, de forma que as métricas tempo de pausa, velocidade e ângulo de direção da movimentação dos usuários são estudadas e verificadas as distribuições de probabilidade que mais se ajustam a essas métricas.

A Tabela 7.1 apresenta um comparativo dos trabalhos de acordo com os seguintes aspectos: cenários, *traces* e métricas.

Tabela 7.1: Trabalhos relacionados a investigação da mobilidade.

Parâmetros	Campos [107]	TAPASCologne [108]	Kim <i>et al.</i> [114]	Trabalho Proposto
Cenários	Pedestres	Carros	Pedestres	Barcos
Traces	Real	Sintético	Real	Real
Métricas	Velocidade, aceleração, ângulo e tempo de pausa	Componente conexa, giant componente, grau e centralidade de intermediação	Velocidade, tempo de pausa e ângulo	Velocidade, aceleração e ângulo

Nos trabalhos de [107] e [114] são abordadas a mobilidade humana num parque e numa universidade, respectivamente. Em Campos *et al.* [107] os *traces* de mobilidade são capturados com o GPS, enquanto que em [114] os *traces* são obtidos a partir das associações dos usuários a uma rede Wifi. Já no trabalho de Naboulsi *et al.* [108] e no trabalho proposto a abordagem é voltada para as cidades inteligentes. Em [108] é analisado o tráfego de veículos na região metropolitana, ao passo que neste trabalho são analisados a mobilidade dos barcos que fazem viagens para as comunidades remotas, os povoados, os vilarejos e as pequenas cidades desprovidos de infraestrutura de comunicação de dados na região Amazônica. Em [107], [114] e no trabalho proposto são utilizados *traces* reais e as métricas de mobilidade (velocidade, aceleração, ângulo de mudança de direção e tempo de pausa) são avaliadas, exceto em [108]. Em [108] são utilizados *traces* sintéticos e introduzidas as métricas de redes

complexas, que permite uma análise de conectividade das redes veiculares empregando um outro tipo de abordagem. De acordo com a caracterização estatística dos dados ou a análise topológica dessas redes é possível inferir os modelos de distribuição de probabilidade que mais se adequam ao cenário proposto ou compreender os eventos que ocorrem a partir de uma análise da estrutura da rede. Além disso, este trabalho utiliza a metodologia de caracterização da mobilidade proposta por Campos *et al.* [107]. O tempo de pausa [107, 114] não foi considerado nos experimentos, pois esse tempo depende da quantidade de carga que será carregada/descarregada no barco, da quantidade de passageiros que realiza o embarque/desembarque e de fatores externos que influenciam diretamente na duração de cada parada nos portos e nos rios da Amazônia.

7.1.1 Análise Estatística dos Dados

Nesta seção apresentamos uma análise estatística dos dados capturados nos *traces* de mobilidade e descrevemos as componentes do movimento através da média, da variância, do desvio padrão, do coeficiente de variação, do valor mínimo e do valor máximo, especificando o total de amostras do experimento, conforme exposto nas Tabelas 7.5 e 7.6. O valor médio da velocidade, da aceleração e do ângulo de mudança de direção são 7,00 m/s; 0,2108 m/s^2 e 0,45°, respectivamente, para os barcos de linha descendo o rio. Já para os barcos de linha subindo o rio esses valores correspondem a 5,06 m/s; 0,1323 m/s^2 e 0,52°. Para os barcos expressos o valor médio da velocidade, da aceleração e do ângulo de mudança de direção são 13,39 m/s; 0,1049 m/s^2 e 0,62°, respectivamente, descendo o rio. Subindo o rio esses valores correspondem a 11,90 m/s; 0,1533 m/s^2 e 0,82°. Esses valores serão importantes no contexto do ajuste das funções de distribuição de probabilidade das componentes do movimento dos barcos, descrito na Seção 7.2.

Para uma caracterização mais completa das componentes velocidade, aceleração e variação do ângulo de mudança de direção dos barcos na bacia Amazônica é construída a função de distribuição de probabilidade empírica (*Probability Distribution Function* - PDF), a fim de representar os dados capturados no experimento. A seguir são descritos os resultados para cada uma das componentes.

Velocidade

Nas Figuras 7.1(a) e 7.1(b) são apresentadas as PDFs das velocidades dos barcos de linha subindo e descendo o rio. Observa-se que na Figura 7.1(b) a sua região de pico está próxima de uma região central, enquanto que na Figura 7.1(a) essa região está deslocada para a esquerda. Esse comportamento é decorrente do tipo de embarcação, da motorização e das condições de navegabilidade. Inicialmente, a

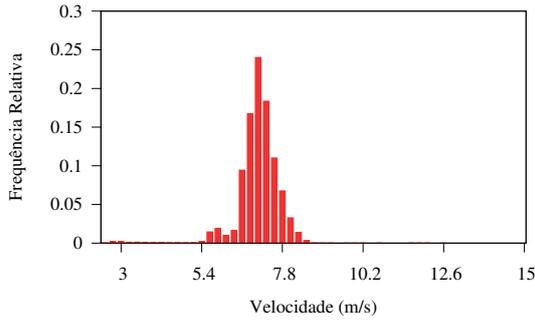
Tabela 7.2: Componentes do movimento dos barcos de linha.

Descendo o rio			
Medidas	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s^2)	Ângulo de Direção ($^\circ$)
Média	7,00	0,2108	0,45
Variância	0,9485	0,0632	0,30
Desvio padrão	0,9739	0,2515	0,55
Coefficiente de variação	0,1391	1,9323	1,22
Valor mínimo	0,00	0,00	0,00
Valor máximo	12,60	3,3250	40,64
Número de amostras	2.930.208	2.930.208	2.930.208
Subindo o rio			
Medidas	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s^2)	Ângulo de Direção ($^\circ$)
Média	5,06	0,1323	0,52
Variância	0,71	0,0311	0,54
Desvio Padrão	0,8427	0,1765	0,74
Coefficiente de variação	0,1665	1,3333	1,41
Valor mínimo	0,00	0,00	0,00
Valor máximo	10,23	2,4178	84,46
Número de amostras	3.764.484	3.764.484	3.764.484

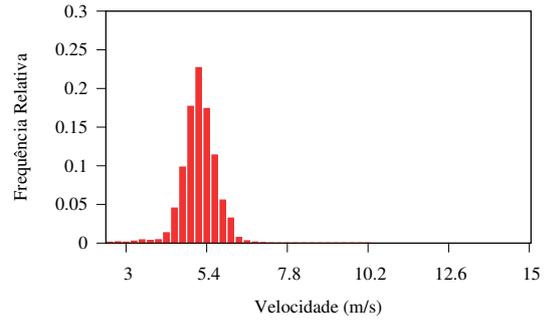
Tabela 7.3: Componentes do movimento dos barcos expressos.

Descendo o rio			
Medidas	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s^2)	Ângulo de Direção ($^\circ$)
Média	13,39	0,1049	0,62
Variância	0,8711	0,0140	0,89
Desvio padrão	0,9333	0,1185	0,94
Coefficiente de variação	0,0697	1,1303	1,51
Valor mínimo	0,31	0,00	0,00
Valor máximo	15,48	1,9339	51,00
Número de amostras	99.048	99.048	99.048
Subindo o rio			
Medidas	Velocidade (m/s)	Aceleração (m/s^2)	Ângulo de Direção ($^\circ$)
Média	11,90	0,1533	0,82
Variância	0,5456	0,0343	1,88
Desvio padrão	0,7386	0,1853	1,37
Coefficiente de variação	0,0620	1,2081	1,67
Valor mínimo	0,85	0,00	0,00
Valor máximo	14,94	1,9019	77,00
Número de amostras	108.327	108.327	108.327

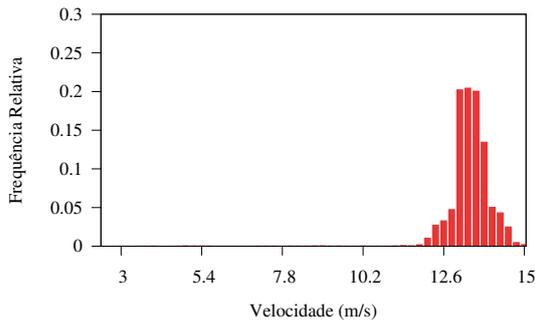
Figura 7.1(a) tem uma pequena oscilação da velocidade, que varia de $5,38 m/s$ a $5,57 m/s$. Esse comportamento se deve ao fato do barco está navegando próximo de uma área que não é permitido o deslocamento do barco com velocidade um pouco mais elevada, o que poderia oferecer risco à navegação. Quando o barco está descendo o rio, ele atinge a velocidade máxima de $12 m/s$ nas proximidades do Paraná do Serpa, região que as correntezas do rio Amazonas são extremamente intensas e favoráveis para a navegabilidade com velocidades elevadas. Da mesma forma, o barco subindo o rio atinge a velocidade máxima de $10,2 m/s$ nas proximidades da cidade de Urucurituba, local que a intensidade das correntezas do rio Amazonas são fracas e favorável a navegação com tal velocidade. Ao analisar os dados desta distribuição, observa-se que 90% do tempo os barcos permanecem com velocidades que variam de $4 m/s$ a $6 m/s$ subindo o rio e de $6 m/s$ a $8 m/s$ descendo o rio.



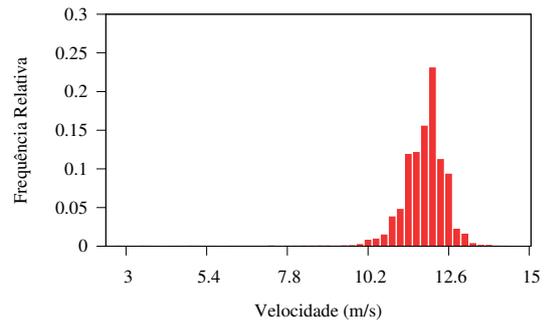
(a) Barcos de linha - descendo o rio.



(b) Barcos de linha - subindo o rio.



(c) Barcos expressos - descendo o rio.



(d) Barcos expressos - subindo o rio.

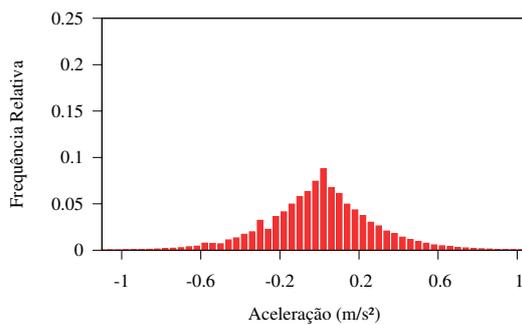
Figura 7.1: Função densidade probabilidade da velocidade dos barcos.

Nas Figuras 7.1(c) e 7.1(d) são mostrados o comportamento das funções de probabilidade das velocidades dos barcos expressos subindo e descendo o rio. Na Figura 7.1(c) nota-se que as frequências das velocidades possuem assimetria discreta, de maneira que as frequências das velocidades estão mais concentradas no lado direito da curva. Isso ocorre porque quando os barcos descem o rio, eles navegam a favor da correnteza com velocidades acima da média das velocidades capturadas nos *traces*. Já na Figura 7.1(d), observa-se que a velocidade possui uma distribuição assimétrica um pouco mais acentuada e as frequências das velocidades mais concentradas no lado esquerdo da curva. Dessa forma, a maior parte do tempo os barcos navegam com velocidades abaixo da média das velocidades capturadas nos *traces* devido à turbulência do rio e à falta de estabilidade da embarcação. As maiores velocidades atingidas pelos barcos expressos ocorreram nas regiões do Paraná da Trindade e após a cidade de Urucurituba, respectivamente, descendo e subindo o rio, local onde a intensidade da correnteza não é tão intensa e a embarcação não sofre com a falta de estabilidade. Nos experimentos observa-se que 92% do tempo os barcos expressos possuem velocidades que variam de 12,3 m/s a 14,3 m/s descendo o rio e de 10,9 m/s a 12,9 m/s subindo o rio. Tanto os barcos de linha quanto os barcos expressos atingem a velocidade mínima quando se depara com redemoinhos, pedras nas proximidades dos canais de navegação, ultrapassagem de embarcações,

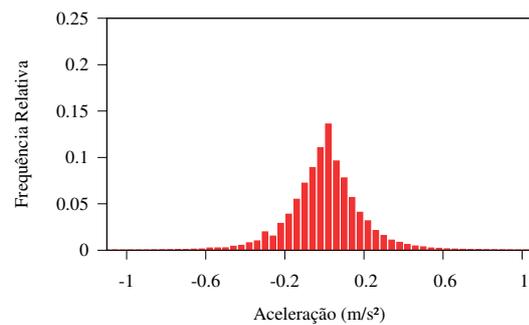
bancos de areia, embarque/desembarque de passageiros/carga ou qualquer variável que comprometa a navegação segura.

Aceleração

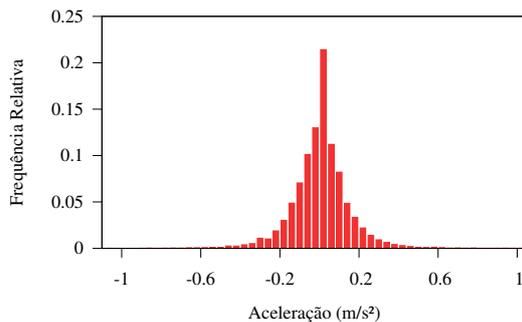
As funções de probabilidade da aceleração dos barcos de linha subindo e descendo o rio são mostradas nas Figuras 7.2(a) e 7.2(b), respectivamente. Observa-se que as PDFs possuem um comportamento parecido. Nota-se que 93% e 97% do tempo desses barcos subindo e descendo o rio, respectivamente, possuem acelerações suaves que variam de $-0,5 \text{ m/s}^2$ a $0,5 \text{ m/s}^2$. Vale a pena ressaltar que as desacelerações foram consideradas como acelerações negativas. Das 2.930.208 amostras de acelerações/desacelerações analisadas dos barcos descendo o rio, 67% do tempo os barcos estão acelerando e 33% desacelerando. Da mesma forma, das 3.764.484 amostras de acelerações/desacelerações subindo o rio, 74% do tempo os barcos estão acelerando e 26% desacelerando.



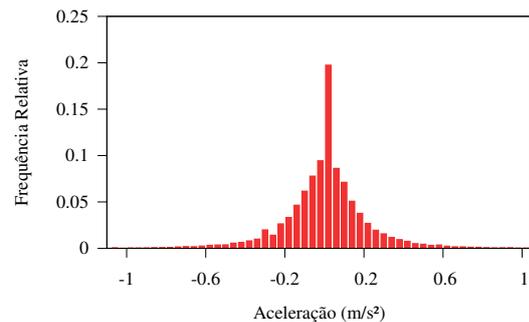
(a) Barcos de linha - descendo o rio.



(b) Barcos de linha - subindo o rio.



(c) Barcos expressos - descendo o rio.



(d) Barcos expressos - subindo o rio.

Figura 7.2: Função densidade probabilidade da aceleração dos barcos.

Nas Figuras 7.2(c) e 7.2(d) as funções de probabilidade da aceleração dos barcos expressos subindo e descendo o rio tem um comportamento muito semelhante. Descendo e subindo o rio, respectivamente, 98% e 99% do tempo os barcos expressos possuem acelerações que variam de $-0,5 \text{ m/s}^2$ a $0,5 \text{ m/s}^2$. Das 99.048 amostras de acelerações/desacelerações analisadas desses barcos descendo o rio, 56% do tempo

os barcos expressos estão acelerando e 44% desacelerando. Da mesma forma, das 108.327 amostras de acelerações/desacelerações subindo o rio, 57% do tempo os barcos expressos estão acelerando e 43% desacelerando. Tanto os barcos de linhas quanto os barcos expressos atingiram acelerações altas na arrancada, oscilando até atingir a velocidade de navegação naquele trecho do rio. As altas desacelerações dos barcos de linha foram evidenciadas na saída do Paraná do Serpa (descendo o rio) e na entrada do Paraná da Trindade (subindo o rio). Já nos barcos expressos isso foi evidenciado nas proximidades da cidade de Itacoatiara (descendo o rio) e nas proximidades do rio Uatumã, afluente do rio Amazonas (subindo o rio). Nesses locais a correnteza do rio é forte, com predominância de redemoinhos que afetam o governo das embarcações, ocasionando falta de estabilidade da embarcação.

Ângulo

Os ângulos de mudança de direção dos barcos de linha são expostos nas Figuras 7.3(a) e 7.3(b). Essas mudanças de direção ocorrem de forma suave na maior parte do tempo, pois esses barcos possuem calado mais profundo, e conseqüentemente, é necessário deslocar uma massa líquida maior do que nos barcos expressos. Já os barcos expressos (Figuras 7.3(c) e 7.3(d)) possuem um calado mais raso, assim o volume de líquido deslocado é menor e o controle do leme é maior, o que facilita a navegação em linha reta, existindo poucas variações no ângulo de direção.

Descendo e subindo o rio, os barcos de linha e os barcos expressos atingiram variações de ângulo acentuada nas imediações das cidades de Manaus e de Parintins, locais que as embarcações realizavam manobras de atracação/desatracação dos barcos nos portos. Além disso, a variação acentuada do ângulo foi observada nos locais que haviam troncos de árvores, bancos de areia, pedras nas proximidades dos canais, locais que era necessário a mudança da margem do rio, entre outros, conforme especificado na CFAOC. Assim, num intervalo de 0° a 2°, descendo e subindo o rio, respectivamente, 99% e 97% das mudanças do ângulo de direção são observadas tanto nos barcos de linha como nos barcos expressos.

Trajetória dos Barcos

A mobilidade dos barcos está restrita aos caminhos dos rios, definido nas cartas náuticas¹. Essas cartas são utilizadas pelos comandantes das embarcações para orientação na navegação de um determinado trecho de rio com segurança. Assim, as cartas náuticas [5, 99–103] utilizadas nos rios Negro e Amazonas são: 4105A, 4105B,

¹Fornecer informações sobre profundidades, perigos à navegação, natureza do fundo, fundeadouros e áreas de fundeio, auxílios à navegação (faróis, faroletes, bóias, balizas, luzes de alinhamento, radiofaróis), altitudes e pontos notáveis aos navegantes, elementos de marés, correntes e outras indicações necessárias à segurança da navegação.

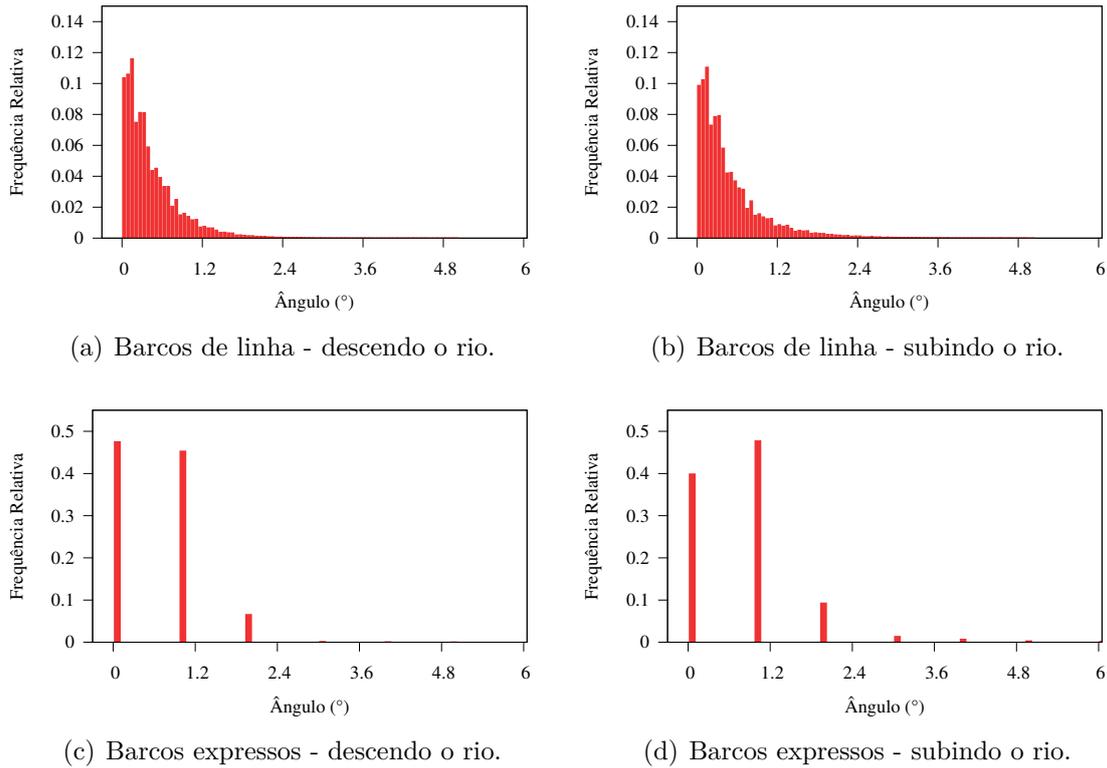


Figura 7.3: Função densidade probabilidade do ângulo dos barcos nos rios.

4106A e 4106B, conforme a Tabela 7.4 e ilustrado na Figura 7.4. Tanto os barcos de linha como os barcos expressos possuem trajetórias próximas, seja descendo ou subindo o rio, conforme é ilustrado nas Figuras 7.5(a) e 7.5(b), respectivamente.

Tabela 7.4: Cartas náuticas.

Carta	Navegação
4105 A	de Parintins à Costa do Giba
4105 B	da Costa do Giba à Itacoatiara
4106 A	de Itacoatiara à Ilha da Grande Eva
4106 B	da Ilha da Grande Eva à Manaus

7.2 Ajustes das Funções de Distribuição de Probabilidade em Relação as Componentes do Movimento

Nesta seção é realizado um estudo comparativo das componentes de movimento (velocidade, aceleração e ângulo de mudança de direção) capturada nos barcos com

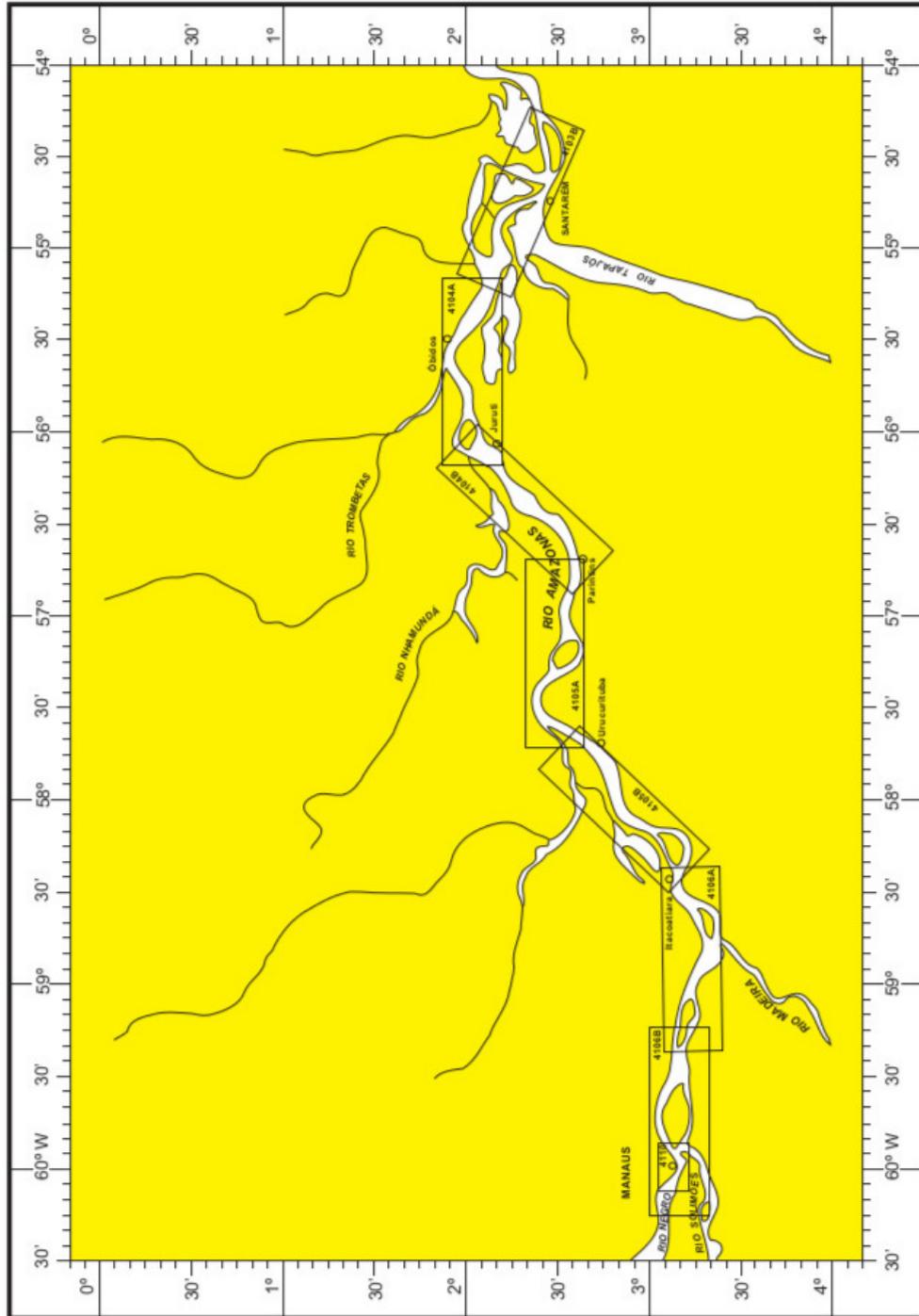
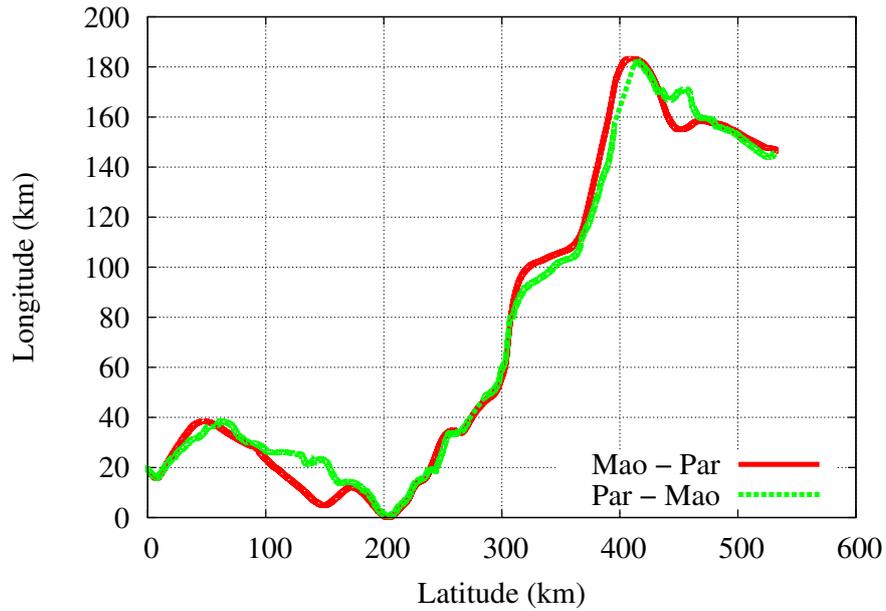
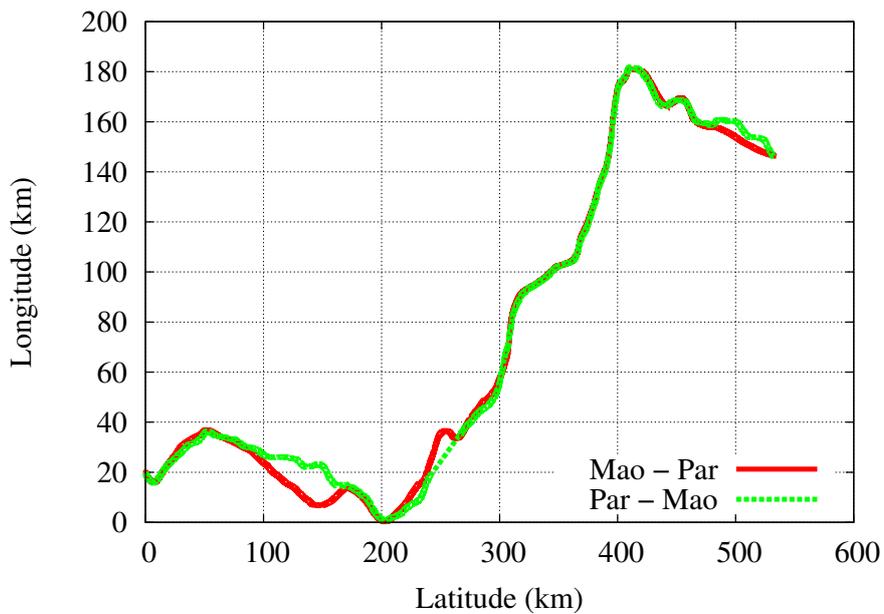


Figura 7.4: Cartas náuticas fluviais e lacustres de Manaus a Parintins (Reproduzida de [5]).

os modelos de distribuição de probabilidade encontrados na literatura. O objetivo é conhecer as funções de distribuição que representam a tendência de comportamento das componentes de mobilidade dos dispositivos sem-fio nesses rios. Assim, as distribuições estudadas são: Normal, Laplace, Gamma, Exponencial, T-Student



(a) Mobilidade dos barcos de linha.



(b) Mobilidade dos barcos expressos.

Figura 7.5: Trajetória dos barcos regionais nos rios Negro e Amazonas.

e Lognormal. Entretanto, foram representadas as três distribuições que mais se ajustam aos dados reais da velocidade, aceleração e ângulo de mudança de direção. Após a escolha das distribuições a serem ajustadas aos dados amostrais, os parâmetros foram estimados, utilizando o método da máxima verossimilhança, considerado o método de estimação mais eficiente porque produz os estimadores de menor variância. Os parâmetros foram estimados na ferramenta *CurveExpert* e os dados representados na ferramenta *Gnuplot*. Para verificar a qualidade do ajuste das

distribuições de probabilidade em relação as componentes dos dados reais foi utilizado o teste de *Kolmogorov-Smirnov* (K-S). Nas próximas seções são apresentados os resultados dos ajustes para cada componente do movimento estudado.

7.2.1 Velocidade

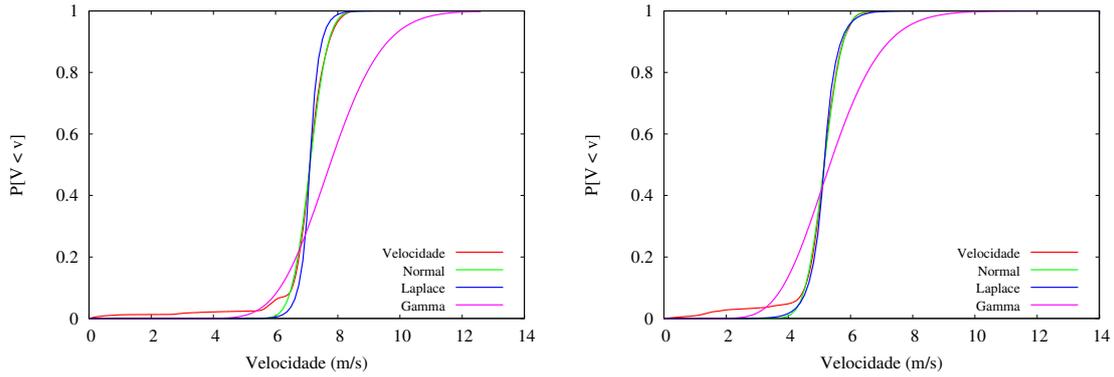
Na Figura 7.6 apresentamos as CDFs da componente velocidade capturada nos barcos de linha e nos barcos expressos descendo e subindo o rio. As Figuras 7.6(a) e 7.6(b) representam as CDFs dos barcos de linha descendo e subindo o rio, respectivamente, em relação as distribuições de probabilidade Normal, Laplace e Gamma. Já as Figuras 7.6(c) e 7.6(d) representam as CDFs dos barcos expressos descendo e subindo o rio, respectivamente, das mesmas distribuições de probabilidade. Dessa forma, observa-se que as distribuições Normal e Laplace se aproximaram bastante da curva dessa componente. Verificando as Tabelas 7.5 e 7.6 é possível afirmar que a distribuição Normal foi a que mais se aproximou da componente velocidade, tanto para os barcos de linha como para os barcos expressos, seja descendo ou subindo o rio, pois ela apresentou o menor valor para K-S. Portanto, a partir dos resultados obtidos, conclui-se que a velocidade dos barcos nos rios Negro e Amazonas segue uma função de distribuição Normal.

7.2.2 Aceleração

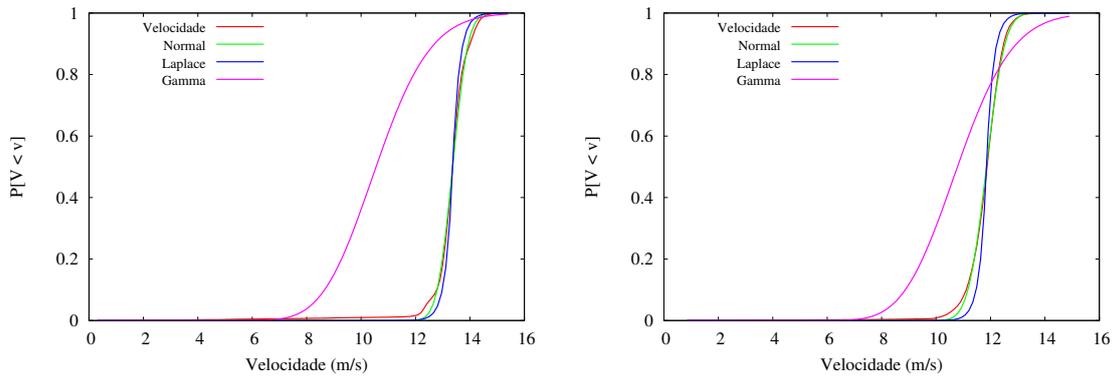
Na Figura 7.7 ilustramos as CDFs da componente aceleração, em relação as distribuições Normal, Laplace e Gamma. Observa-se que as distribuições Normal e Laplace assumem valores negativos semelhante aos dados reais, bem diferente do comportamento da distribuição Gamma, conforme é mostrado nas Figuras 7.7(a), 7.7(b), 7.7(c) e 7.7(d). Assim, a função densidade de probabilidade que melhor se ajustou aos valores da componente aceleração dos barcos de linha e dos barcos expressos, descendo ou subindo o leito do rio é a distribuição Normal, pois ela apresenta o menor valor para K-S, de acordo com as Tabelas 7.5 e 7.6.

7.2.3 Ângulo de Mudança de Direção

A CDF da componente ângulo de mudança de direção também foi comparada às funções de distribuição de probabilidade utilizadas e ajustadas aos dados reais. A distribuição de Laplace não se ajustou a componente ângulo de mudança de direção e foi substituída por uma distribuição que representa o comportamento da variação do ângulo, de forma mais aproximada ao fenômeno. Observa-se que as CDFs dos barcos de linha e dos barcos expressos tem um comportamento bem diferenciado no que se refere a esta componente. Analisando as Tabelas 7.5 e 7.6 é possível afirmar que os



(a) CDF dos barcos de linha - descendo o rio. (b) CDF dos barcos de linha - subindo o rio.



(c) CDF dos barcos expressos - descendo o rio. (d) CDF dos barcos expressos - subindo o rio.

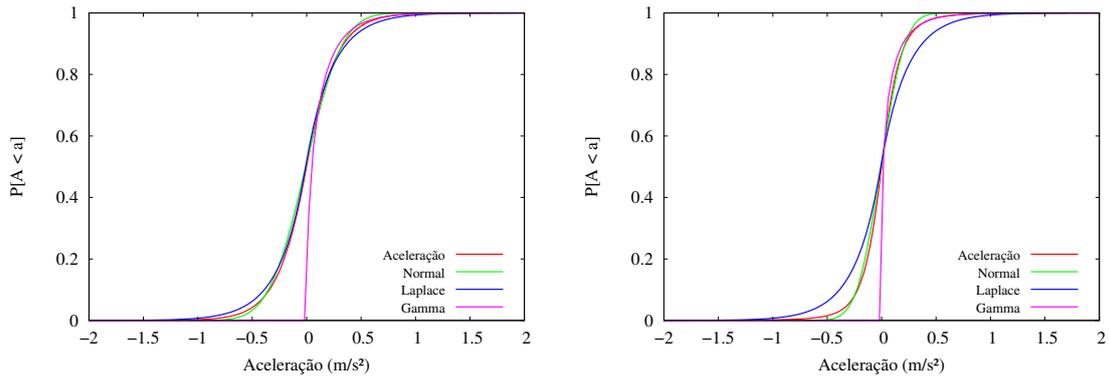
Figura 7.6: CDF da velocidade dos barcos.

barcos de linha descendo ou subindo o rio se ajustam a uma distribuição Exponencial para essa componente, enquanto os barcos expressos descendo ou subindo o rio se ajustam a uma distribuição Normal. Essas distribuições apresentaram menor valor para K-S.

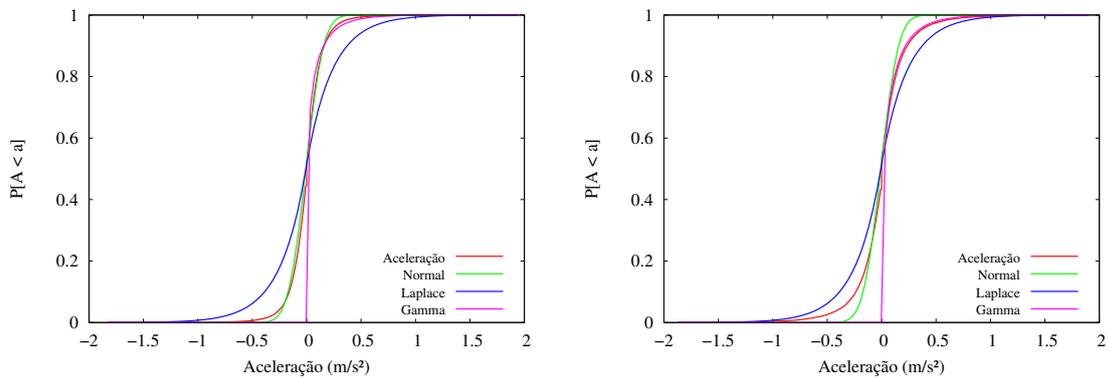
Tabela 7.5: K-S das componentes de movimento dos barcos de linha e algumas funções de distribuição de probabilidade.

K-S dos barcos de linha descendo o rio				
Componente	Normal	Laplace	Gamma	Exponencial
Velocidade	0,2235	0,2238	0,3577	1,0000
Aceleração	0,0492	0,0493	0,5028	1,0000
Ângulo	0,1628	0,7319	0,2080	0,0431
K-S dos barcos de linha subindo o rio				
Componente	Normal	Laplace	Gamma	Exponencial
Velocidade	0,1816	0,1817	0,4010	1,0000
Aceleração	0,0821	0,0984	0,5029	1,0000
Ângulo	0,1846	0,8112	0,1642	0,0845

Após uma verificação numérica da aproximação das distribuições Normal, Laplace, Gamma e Exponencial com as componentes de mobilidade avaliadas, podemos afirmar que as componentes velocidade, aceleração e ângulo de mudança de direção



(a) CDF dos barcos de linha - descendo o rio. (b) CDF dos barcos de linha - subindo o rio.



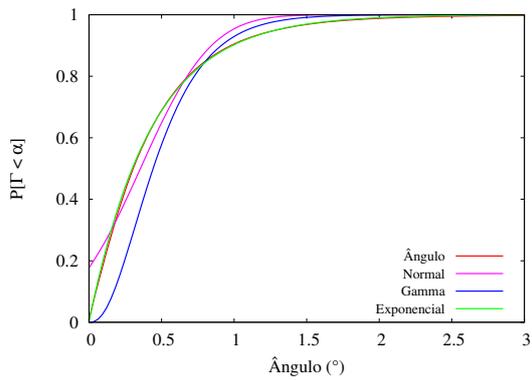
(c) CDF dos barcos expressos - descendo o rio. (d) CDF dos barcos expressos - subindo o rio.

Figura 7.7: CDF da aceleração dos barcos.

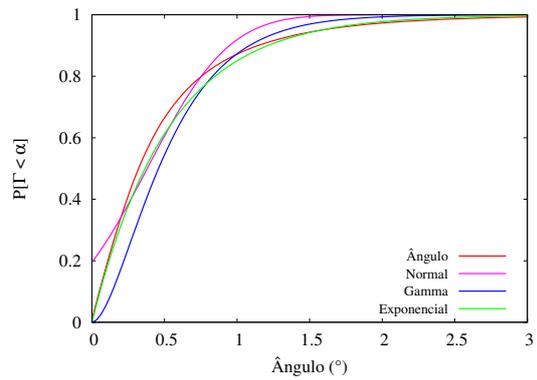
Tabela 7.6: K-S das componentes de movimento dos barcos expressos e algumas funções de distribuição de probabilidade.

K-S dos barcos expressos descendo o rio				
Componente	Normal	Laplace	Gamma	Exponencial
Velocidade	0,2236	0,2238	0,4434	1,0000
Aceleração	0,0884	0,1923	0,5204	1,0000
Ângulo	0,2744	0,7816	0,4753	0,4021
K-S dos barcos expressos subindo o rio				
Componente	Normal	Laplace	Gamma	Exponencial
Velocidade	0,1196	0,1234	0,7190	1,0000
Aceleração	0,1064	0,1375	0,5343	1,0000
Ângulo	0,3248	0,6928	0,4081	0,3927

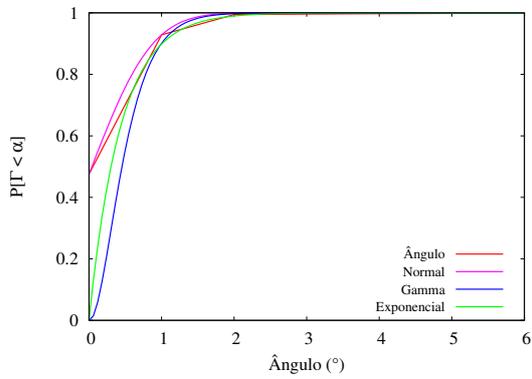
dos barcos de linha e dos barcos expressos, descendo ou subindo o rio se ajustam melhor a distribuição Normal, exceto para a componente ângulo de mudança de direção dos barcos de linha, descendo ou subindo o rio. Para essa componente a distribuição Exponencial se ajusta melhor.



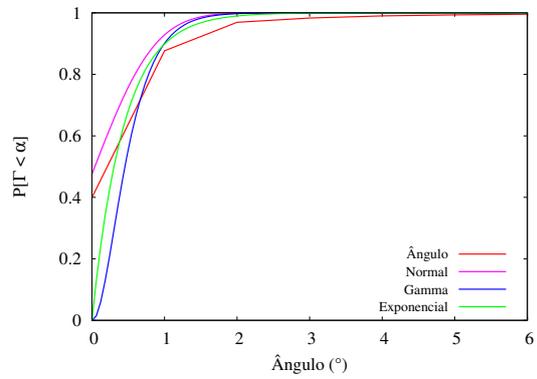
(a) CDF dos barcos de linha - descendo o rio.



(b) CDF dos barcos de linha - subindo o rio.



(c) CDF dos barcos expressos - descendo o rio.



(d) CDF dos barcos expressos - subindo o rio.

Figura 7.8: CDF do ângulo dos barcos.

Capítulo 8

Conclusões e Trabalhos Futuros

A Amazônia corresponde a quase 65% do território brasileiro. Nesta região, o transporte hidroviário é predominante na maioria das cidades e as vilas são acessíveis somente por barco. Por causa da dificuldade de acesso, a infraestrutura de comunicação é escassa na maior parte da região. Em face desse panorama, as VANETs utilizando os barcos aparecem como uma alternativa interessante para fornecer recursos de comunicação para a região amazônica. Portanto, esta tese investiga o potencial desta solução em termos de capacidade de transmissão de dados da rede e conectividade dos cenários de comunicação dos barcos. A fim de cumprir o nosso objetivo, neste trabalho, avaliou-se a capacidade de transferência de dados dos barcos por meio de medições experimentais, e posteriormente, estimou-se matematicamente a capacidade da rede DTN formada pelos barcos que navegam nos rios da Amazônia Ocidental, com base no pressuposto do movimento retilíneo uniforme dos barcos. Com o objetivo de avaliar em maior nível de detalhes a capacidade dessa rede DTN, foram realizadas simulações computacionais da movimentação de mais de uma centena de barcos especificamente na calha do Baixo Amazonas. Assim *traces* reais de mobilidade dos barcos foram capturados nessa calha, mais especificamente na região entre Manaus e Parintins. Considerando que os barcos navegam segundo a escala de agendamentos fornecida pela AHIMOC e que os parâmetros de simulação são ajustados de acordo com os valores medidos nos experimentos práticos, analisou-se o tempo de contato e a quantidade de dados transferida nas manobras de cruzamento e ultrapassagem dos barcos. Os resultados mostram que os contatos de maior duração ocorrem nas ultrapassagens, subindo o rio. Constatamos também que devido à grande largura do rio, a manobra de cruzamento entre barcos raramente produz contatos. Desta forma, estima-se que a capacidade de transferência de dados total dos barcos nessa calha pode alcançar 1,38 TB/semana, resultado diferente dos valores obtidos na estimativa matemática. Essa diferença é atribuída influência dos padrões de mobilidade dos barcos nesses rios, somados a sua escala de agendamento e o ajuste dos parâmetros de simulação de acordo com os valores

medidos nos experimentos práticos do cruzamento entre os barcos. Além disso, foi realizada uma análise descritiva das componentes de movimento dos barcos, permitindo caracterizar essas redes espaço-temporais nos ambientes fluviais. Por fim, com base nos *traces* reais de mobilidade, pode-se afirmar que as componentes velocidade, aceleração e ângulo de mudança de direção dos barcos de linha e dos barcos expressos, descendo ou subindo o rio, se ajustam melhor a distribuição Normal, exceto para a componente ângulo de mudança de direção dos barcos de linha, descendo ou subindo o rio, na qual a distribuição Exponencial se ajusta melhor.

Como direções futuras para a tese apresentamos a seguir alguns desdobramentos.

- avaliar a conectividade e a topologia para determinar o quão longe essa rede composta por barcos pode chegar em termos de extensão da infraestrutura de comunicações para mais locais na Amazônia. Esta análise nos permitirá investigar novas políticas de encaminhamento para aumentar a eficiência da rede, aproveitando os contatos dos barcos;
- propor um modelo sintético de mobilidade para os barcos na bacia Amazônica. Esse modelo representará a movimentação dos barcos seja nos períodos da cheia e da seca dos rios, dada a variabilidade das condições climáticas que mudam conforme as estações do ano;
- investigar mecanismos, algoritmos e protocolos de comunicação para maximizar a transferência de dados nas DTN formadas por barcos, utilizando-se dos recursos de infraestrutura disponíveis nas cidades, nos portos e ao longo do leito dos rios da Amazônia.

Apêndice A

Distâncias

Neste apêndice são apresentadas as distâncias em linha reta e as distâncias fluviais da capital Manaus em relação aos Municípios do estado do Amazonas.

Tabela A.1: Distância em linha reta x distância fluvial.

Cidades	Distância linha reta (km)	Distância fluvial (km)	Cidades	Distância linha reta (km)	Distância fluvial (km)
Alvarães	531	644	Japurá	744	919
Amaturá	909	1.251	Juruá	674	994
Anamá	165	190	Jutaí	751	1.001
Anori	195	234	Lábrea	702	1.672
Apuí	453	772	Manacapuru	68	86
Atalaia do Norte	1.138	1.623	Manaquiri	60	79
Autazes	113	324	Manaus	0	0
Barcelos	399	454	Manicoré	332	616
Barreirinha	331	552	Maraã	634	796
Benjamin Constant	1.121	1.575	Maués	276	698
Beruri	173	231	Nhamundá	383	660
Boa Vista dos Ramos	271	623	Nova Olinda do Norte	135	236
Boca do Acre	1.028	2.322	Novo Airão	115	125
Borba	151	322	Novo Aripuanã	227	469
Caapiranga	134	170	Parintins	369	475
Canutama	619	1.274	Pauni	923	2.068
Carauari	788	1.411	Presidente Figueiredo	117	0
Careiro	88	168	Rio Preto da Eva	57	0
Careiro da Várzea	25	32	Santa Izabel do Rio Negro	630	737
Coari	363	421	Santo Antônio do Içá	880	1.195
Codajás	240	285	São Gabriel da Cachoeira	852	1.001
Eirunepé	1.160	2.417	São Paulo de Olivença	985	1.345
Envira	1.208	2.621	São Sebastião do Uatumã	247	329
Fonte Boa	678	880	Silves	204	381
Guajará	1.476	1.800	Tabatinga	1.108	1.573
Humaitá	590	965	Tapauá	449	769
Ipixuna	1.367	2.936	Tefé	523	631
Iranduba	27	39	Tonantins	865	1.164
Itacoatiara	176	211	Uarini	565	687
Itamarati	985	1.930	Urucará	261	344
Itapiranga	227	284	Urucurituba	208	248

Apêndice B

Lista dos Barcos

Os *Traces* foram capturados nos barcos regionais conforme a lista abaixo. Os campos preenchidos com “BE” e “BL” indicam que são Barcos Expressos e Barcos de Linha, respectivamente. Os campo preenchido com “*” indicam que é um barco de carga com programação não definida.

Tabela B.1: Listagem dos barcos que viajam entre as cidades de Manaus e Parintins, onde os *traces* reais foram capturados nos rios Negro e Amazonas, junto com o agendamento dos barcos.

Nome do Barco	Origem	Destino	Saída	Retorno	Descendo o rio	Subindo o rio
A Noiva (BE)	Manaus	Parintins	3 ^a	6 ^a	7 h	8 h
Moreira da Silva (BE)	Manaus	Juruti	3 ^a	5 ^a	8 h	9,5 h
Oriximiná (BE)	Manaus	Oriximiná	2 ^a	5 ^a	8 h	10 h
Pérola (BE)	Manaus	Parintins	3 ^a	Sab	9 h	10 h
Aliança III (BL)	Manaus	Parintins	Sab	Sab	18,1 h	24 h
Almte. Moreira VII (BL)	Rondônia	Parintins	6 ^a	6 ^a	18 h	23,3 h
Antônio Alecrim (BL)	Manaus	Santarém	*	*	17 h	23 h
Cid. de Juruti (BL)	Manaus	Juruti	*	*	17 h	23 h
Coronel Tavares 12 (BL)	Manaus	Parintins	3 ^a	Sab	18,3 h	25 h
14 de Outubro VI (BL)	Manaus	Parintins	*	*	16 h	24,5 h
Pai João (BL)	Manaus	Parintins	*	*	18,2 h	24,6 h
Pai da Fé (BL)	Tefé	Parintins	*	*	18,2 h	24,8 h
P.R. do Amazonas (BL)	Manaus	Parintins	6 ^a	4 ^a	18 h	24 h
Margleisson V (BL)	Rondônia	Parintins	6 ^a	4 ^a	18 h	24 h
Cid. de Barreirinha (BL)	Manaus	Juruti	6 ^a	2 ^a	18 h	24,5 h
Cid. de Oriximiná II (BL)	Manaus	Oriximiná	5 ^a	2 ^a	19 h	25 h
Cid. de Santarém II (BL)	Manaus	Santarém	*	*	22 h	26 h
Expresso Rossy (BL)	Coari	Parintins	2 ^a	6 ^a	17,5 h	23,3 h
Globo do Mar (BL)	Manaus	Juruti	5 ^a	2 ^a	17 h	23,2 h
Golfinho do Mar (BL)	Manaus	Belém	2 ^a	6 ^a	16 h	23 h
Luiz Afonso (BL)	Manaus	Mte. Alegre	3 ^a	6 ^a	19 h	24,5 h
Amazon Star (BL)	Manaus	Belém	*	*	17 h	24 h
Anna Karoline I (BL)	Itacoatiara	Santarém	2 ^a	2 ^a	19 h	25 h
Anna Karoline II (BL)	Itacoatiara	Santarém	*	*	19 h	25 h
Ana Vitória (BL)	Parintins	Santarém	*	*	18,5 h	24,5 h
Ana Beatriz I (BL)	Manaus	Santarém	*	*	18 h	24,1 h
Ana Beatriz II (BL)	Manaus	Santarém	*	*	18 h	24,4 h
Comte. Paiva IV (BL)	Manaus	Alenquer	2 ^a	Sab	22 h	32 h
Novo Aliança (BL)	Manaus	Parintins	4 ^a	2 ^a	17,6 h	23,4 h
Nélio Correa (BL)	Tefé	Belém	*	*	18,6 h	24,1 h
Onze de Maio (BL)	Coari	Parintins	5 ^a	3 ^a	16,4 h	23,9 h
NM Parintins (BL)	Manaus	Parintins	5 ^a	3 ^a	16,4 h	23,6 h

Referências Bibliográficas

- [1] ALVES, R., CAMPBELL, I., COUTO, R., et al. “Redes Veiculares: Princípios, Aplicações e Desafios”. In: *Minicursos do XXVII SBRC*, pp. 199–254, maio 2009.
- [2] PENTLAND, A., FLETCHER, R., HASSON, A. “DakNet: rethinking connectivity in developing nations”, *IEEE Computer*, pp. 78–83, jan. 2004.
- [3] COUTINHO, M. M., SANTOS, I. M., MATOS, M. “Desenvolvimento de um Simulador para Redes Orientadas a Plano de Deslocamento Contínuo (CODPON-SIM)”, *Traços (UNAMA)*, pp. 83–92, jul. 2009.
- [4] COSTA, L. H. M. K. *GT-ReBUS: Redes de Acesso em Ônibus Universitários*. Grupo de Teleinformática e Automação - GTA, jan. 2010. <http://www.gta.ufrj.br/gt-rebus>.
- [5] DO BRASIL, M. *Convenção sobre o Regulamento Internacional para Evitar Abalroamentos no Mar*. Diretoria de Portos e Costas, jan. 2007. <https://www.mar.mil.br/dhn/bhmn/download/cap-40.pdf>.
- [6] FALL, K. “A Delay-tolerant Network Architecture for Challenged Internets”. In: *ACM SIGCOMM*, pp. 27–34, ago. 2003.
- [7] GOULDING, M. *Smithsonian Atlas Amazon*. 1ª ed. , Smithsonian, 2003.
- [8] FILHO, J. M. *O livro de ouro da Amazônia. Mitos e verdades sobre a região mais cobiçada do planeta*. 1ª ed. , Ediouro, 2004.
- [9] LEONARDI, V. *Os historiadores e os rios. Natureza e ruína na Amazônia brasileira*. 1ª ed. , EdUnB, 1999.
- [10] DOMINGUES, C. *The importance of rivers for the transportation system of the Amazon*. 1ª ed. , L. Aragon and M. Clusener-Godt, 2004.
- [11] SIOLI, H. *The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. 1ª ed. , Springer, 2013.

- [12] ROLLA, A., RICARDO, F. *Amazônia Brasileira 2009*. 1ª ed. Manaus, AM, Instituto Socioambiental, 2009.
- [13] PINTO, L. F. *Amazônia*. 1ª ed. Manaus, AM, Instituto Socioambiental, 2007.
- [14] ARAGON, L., CLUSENER-GODT, M. *Problemática do uso local e global da água da Amazônica*. 1ª ed. , Naea, 2003.
- [15] MORAES, R. *Na Planície Amazônica*. 1ª ed. Manaus, AM, Itatiaia, 2013.
- [16] MAGUIRE, T. C. *The Amazon Handbook - Incorporating Visit Manaus*. 1ª ed. , Amazon Handbook, 2000.
- [17] CARVALHO, T. C. S., DUMMOND, J. B. C. *Perspectivas do meio ambiente no Brasil*. 1ª ed. , Ibama, 2002.
- [18] FILHO, A. C., TOMASELLA, J., TRANCOSO, R. *Amazônia, desflorestamento e água*. 1ª ed. Manaus, AM, Ciência Hoje, 2007.
- [19] GERLA, M., KLEINROCK, L. “Vehicular networks and the future of the mobile internet”, *ACM Computer Networks*, pp. 457–469, 2011.
- [20] FARAHMAND, F., PATEL, A., JUE, J., et al. “Vehicular Wireless Burst Switching Network: Enhancing Rural Connectivity”. In: *IEEE GLOBECOM*, pp. 1–7, nov. 2008.
- [21] HARTENSTEIN, H., LABERTEAUX, K. “A tutorial survey on vehicular ad hoc networks”, *IEEE Communications Magazine*, v. 46, n. 6, pp. 164–171, jun. 2008.
- [22] DIAS, J. A., RODRIGUES, J. J., ZHOU, L. “Cooperation advances on vehicular communications: A survey”, *Elsevier Vehicular Communications*, v. 1, n. 1, pp. 22–32, jan. 2014.
- [23] CHENG, N., LU, N., ZHANG, N., et al. “Vehicular WiFi offloading: Challenges and solutions”, *Elsevier Vehicular Communications*, v. 1, n. 1, pp. 13–21, jan. 2014.
- [24] RUBINSTEIN, M., ABDESSLEM, F. B., AMORIM, M. D., et al. “Measuring the Capacity of In-Car to In-Car Vehicular Networks”, *IEEE Communications Magazine*, pp. 128–136, nov. 2009.
- [25] TEIXEIRA, F. A., SILVA, V. F., LEONI, J. L., et al. “Vehicular networks using the IEEE 802.11p standard: An experimental analysis”, *Elsevier Vehicular Communications*, v. 1, n. 2, pp. 91–96, abr. 2014.

- [26] BURGESS, J., GALLAGHER, B., JENSEN, D., et al. “MaxProp: Routing for Vehicle-Based Disruption-Tolerant Networks”. In: *IEEE INFOCOM*, pp. 1–11, apr 2006.
- [27] BEKMEZCI, I., SAHINGOZ, O. K., TEMEL, S. “Flying Ad Hoc Networks - FANETs”, *Elsevier Ad Hoc Networks*, v. 11, n. 3, pp. 1254–1270, maio 2013.
- [28] “Porto de Manaus - Accessed in January/2016”. <http://www.portodemanaus.com.br/>, 2016.
- [29] DEMMER, M., FALL, K. “DTLSR: Delay Tolerant Routing for Developing Regions”. In: *ACM Workshop on Networked Systems for Developing Regions*, pp. 1–5, ago. 2007.
- [30] VASILAKOS, A. V., ZHANG, Y., SPYROPOULOS, T. *Delay Tolerant Networks: Protocols and Applications*. 1^a ed. , CRC Press, Inc., 2011.
- [31] DAHER, R., VINET, A. *Roadside Networks for Vehicular Communications: Architectures, Applications, and Test Fields 1st*. IGI Global, 2012.
- [32] YANAMANDRAM, S., SHAHNASSER, H. “Analysis of DSRC based MAC protocols for VANETs”. In: *IEEE Ultra Modern Telecommunications*, pp. 1–6, out. 2009.
- [33] ANGGORO, R., NAKAMURA, R., KITASUKA, T., et al. “An evaluation of routing protocols with probabilistic relay in VANETs”. In: *IEEE TENCON*, pp. 187–191, nov. 2011.
- [34] YANG, S., HE, R., WANG, Y., et al. “OPNET-based modeling and simulations on routing protocols in VANETs with IEEE 802.11p”. In: *IEEE Systems and Informatics*, pp. 536–541, nov. 2014.
- [35] DAS, D., MISRA, R. “Efficient vehicle to vehicle communication protocol for VANETs”. In: *IEEE Engineering and Computational Sciences*, pp. 1–6, mar. 2014.
- [36] NAMBOODIRI, V., GAO, L. “Prediction-Based Routing for Vehicular Ad Hoc Networks.” *IEEE Vehicular Technology*, pp. 2332–2345, jul. 2007.
- [37] NAUMOV, V., BAUMANN, R., GROSS, T. “An evaluation of inter-vehicle ad hoc networks based on realistic vehicular traces”. In: *ACM MobiHoc*, pp. 108–119, 2006.

- [38] ZHAO, J. Z., CAO, G. C. “VADD: Vehicle-Assisted Data Delivery in Vehicular Ad Hoc Networks”. maio 2008.
- [39] BURGESS, J., GALLAGHER, B., JENSEN, D., et al. “MaxProp: Routing for Vehicle-Based Disruption-Tolerant Networks”. In: *INFOCOM 2006*, pp. 1–11, abr. 2006.
- [40] CHEN, Y.-S., LIN, Y.-W., LEE, S.-L. “A Mobicast Routing Protocol in Vehicular Ad-hoc Networks”. In: *IEEE GLOBECOM*, pp. 2296–2301, nov. 2009.
- [41] BAKHOUYA, M., GABER, J., LORENZ, P. “An adaptive approach for information dissemination in Vehicular Ad hoc Networks”, *Elsevier Network and Computer Applications*, pp. 1971–1978, nov. 2011.
- [42] LIU, L., WANG, Z., JEHNG, W.-K. “A geographic source routing protocol for traffic sensing in urban environment”. In: *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, pp. 347–352, ago. 2008.
- [43] KARP, B., KUNG, H. T. “GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks”. In: *ACM MobiCom*, pp. 243–254, ago. 2000.
- [44] CERF, V., BURLEIGH, S., HOOKE, A., et al., abr. 2007.
- [45] “Mobility Models for Systems Evaluation. A Survey - Accessed in January/2016”. <https://www.cl.cam.ac.uk/cm542/papers/minema08.pdf>, 2016.
- [46] OLIVEIRA, C., MOREIRA, M., RUBINSTEIN, M., et al. “Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões”. In: *Minicursos do XXV SBRC*, pp. 203–256, abr. 2007.
- [47] ZHANG, Z. “Routing In Intermittently Connected Mobile Ad Hoc Networks And Delay Tolerant Networks: Overview and Challenges”, *IEEE Communications Surveys Tutorials*, pp. 24–37, mar. 2006.
- [48] CAO, Y., SUN, Z. “Routing in Delay/Disruption Tolerant Networks: A Taxonomy, Survey and Challenges”, *IEEE Communications Surveys Tutorials*, pp. 654–677, fev. 2013.
- [49] “Epidemic Routing for Partially-Connected Ad Hoc Networks - Accessed in January/2016”. <http://issg.cs.duke.edu/epidemic/epidemic.pdf>, 2016.

- [50] LINDGREN, A., DORIA, A., SCHELÉN, O. “Probabilistic Routing in Intermittently Connected Networks”, *SIGMOBILE Mobile Computing and Communications*, pp. 19–20, jul. 2003.
- [51] SPYROPOULOS, T., PSOUNIS, K., RAGHAVENDRA, C. S. “Spray and Wait: An Efficient Routing Scheme for Intermittently Connected Mobile Networks”. In: *ACM SIGCOMM*, pp. 252–259, ago. 2005.
- [52] JONES, E., LI, L., SCHMIDTKE, J., et al. “Practical Routing in Delay-Tolerant Networks”, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, pp. 943–959, ago. 2007.
- [53] BALASUBRAMANIAN, A., LEVINE, B., VENKATARAMANI, A. “DTN Routing As a Resource Allocation Problem”, *ACM SIGCOMM Computer Communication*, pp. 373–384, ago. 2007.
- [54] GUEDES, R. M., SILVA, M. W. R., REZENDE, J. F. “Escassez de Recursos em Redes Tolerantes a Atrasos e Interrupções”. In: *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos - SBRC 2008*, pp. 749–622, maio 2008.
- [55] GRASIC, S., DAVIES, E., LINDGREN, A., et al. “The Evolution of a DTN Routing Protocol - PRoPHETv2”. In: *ACM Workshop on Challenged Networks*, pp. 27–30, set. 2011.
- [56] BOLDRINI, C., CONTI, M., PASSARELLA, A. “Impact of Social Mobility on Routing Protocols for Opportunistic Networks”. In: *IEEE Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*, pp. 1–6, jun. 2007.
- [57] LU, X., HUI, P. “An Energy-Efficient n-Epidemic Routing Protocol for Delay Tolerant Networks”. In: *IEEE Conference on Networking, Architecture and Storage*, pp. 341–347, jul. 2010.
- [58] TAN, S. K., MUNRO, A. “Adaptive Probabilistic Epidemic Protocol for Wireless Sensor Networks in an Urban Environment”. In: *IEEE Computer Communications and Networks*, pp. 1105–1110, ago. 2007.
- [59] BASAGNI, S., CHLAMTAC, I., SYROTIUK, V. R., et al. “A Distance Routing Effect Algorithm for Mobility (DREAM)”. In: *ACM Mobile Computing and Networking*, pp. 76–84, 1998.

- [60] KIM, E.-H., NAM, J.-C., CHOI, J.-I., et al. “Probability-based spray and wait protocol in Delay Tolerant Networks”. In: *IEEE Information Networking*, pp. 412–416, fev. 2014.
- [61] DIANA, R., LOCHIN, E. “Modelling the delay distribution of Binary Spray and Wait routing protocol”. In: *IEEE World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*, pp. 1–6, jun. 2012.
- [62] LIN, X., LU, R., ZHANG, C., et al. “Security in vehicular ad hoc networks”, *IEEE Communications Magazine*, pp. 88–95, abr. 2008.
- [63] CAMP, T., BOLENG, J., DAVIES, V. “A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research”, *IEEE Wireless Communications and Mobile Computing*, pp. 483–502, 2002.
- [64] JARDOSH, A., BELDING-ROYER, E., ALMEROOTH, K., et al. “Real-world environment models for mobile network evaluation”, *IEEE Selected Areas in Communications*, pp. 622–632, mar. 2005.
- [65] BAI, F., SADAGOPAN, N., HELMY, A. “The IMPORTANT framework for analyzing the Impact of Mobility on Performance of Routing protocols for Adhoc Networks”, *Elsevier AdHoc Networks*, pp. 383–403, ago. 2003.
- [66] BATABYAL, S., BHAUMIK, P. “Mobility Models, Traces and Impact of Mobility on Opportunistic Routing Algorithms: A Survey”, *IEEE Communications Surveys Tutorials*, v. 17, n. 3, pp. 1679–1707, ago. 2015.
- [67] PRABHAKARAN, P., SANKAR, R. “Impact of Realistic Mobility Models on Wireless Networks Performance”. In: *IEEE Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications*, pp. 329–334, jun. 2006.
- [68] XIE, J., WAN, Y., KIM, J., et al. “Analysis of Mobility Models for Airborne Networks”. In: *IEEE Military Communications*, pp. 858–863, nov. 2013.
- [69] CHON, Y., SHIN, H., TALIPOV, E., et al. “Evaluating mobility models for temporal prediction with high-granularity mobility data”. In: *IEEE Pervasive Computing and Communications*, pp. 206–212, mar. 2012.
- [70] RAHMAN, M., ARAVIND, A. “Connectivity Analysis of Mobile Ad Hoc Networks Using Destination Guided Mobility Models”. In: *IEEE Mobile, Ubiquitous, and Intelligent Computing*, pp. 5–12, jun. 2012.
- [71] ZHOU, B., XU, K., GERLA, M. “Group and swarm mobility models for ad hoc network scenarios using virtual tracks”. In: *IEEE Military Communications*, pp. 289–294, out. 2004.

- [72] HARRI, J., FILALI, F., BONNET, C. “Mobility models for vehicular ad hoc networks: a survey and taxonomy”, *IEEE Communications Surveys Tutorials*, v. 11, n. 4, pp. 19–41, abr. 2009.
- [73] ALAM, M., SHER, M., HUSAIN, S. “Integrated Mobility Model IMM for VANETs simulation and its impact”. In: *IEEE Emerging Technologies*, pp. 452–456, out. 2009.
- [74] “Crawdad - Accessed in January/2016”. <http://www.crawdad.org/>, 2016.
- [75] COSTA, L. H. M. K. *IMI: Infra-estrutura Móvel Inteligente baseada em Redes Celulares e Veiculares*. Grupo de Teleinformática e Automação - GTA, jan. 2014. <http://www.gta.ufrj.br/imi/>.
- [76] STEPHAN, R. M. *MagLev-COBRA*. Laboratório de Aplicações de Supercondutores (LASUP) - UFRJ, mar. 2001. <http://www.maglevcobra.coppe.ufrj.br/veiculo.html>.
- [77] OTT, J., KUTSCHER, D. “Drive-thru Internet: IEEE 802.11b for automobile users”. In: *IEEE INFOCOM*, pp. 362–373, mar. 2004.
- [78] NETO, J. B. P. *Um Modelo para Previsão do Volume de Contato em Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões: Uma Abordagem Quantitativa*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, jun. 2011. Departamento de Ciência da Computação.
- [79] YAN, X., SU, X. G. *Linear Regression Analysis: Theory and Computing*. 1^a ed. New York, USA, World Scientific, 2009.
- [80] HELLERSTEIN, J. L., DIAO, Y., PAREKH, S., et al. *Feedback Control of Computing Systems*. 1^a ed. , John Wiley & Sons, 2004.
- [81] HALLIDAY, R., RESNICK, R., WALKER, J. *Fundamentos de Física 1*. 8^a ed. Rio de Janeiro, Brasil, LTC, 2015.
- [82] SANTOS, A. J., BRAGA, M. L., VELLOSO, P. B., et al. “Capacity Analysis of a Delay and Disruption Tolerant Network in the Amazon Basin”. In: *IEEE Global Information Infrastructure and Networking Symposium*, pp. 1–6, set. 2014.
- [83] SANTOS, A. J., BRAGA, M. L., RIBEIRO JUNIOR, J. G., et al. “Análise de Capacidade de uma Rede Tolerante a Atrasos e Desconexões na Bacia Hidrográfica Amazonense”. In: *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos - SBRC 2014*, pp. 179–192, maio 2014.

- [84] SOARES, V., FARAHMAND, F., RODRIGUES, J. “Evaluating the Impact of Storage Capacity Constraints on Vehicular Delay Tolerant Networks”. In: *IEEE Communication Theory, Reliability, and Quality of Service*, pp. 75–80, jul. 2009.
- [85] HUANG, Y., GUAN, X., CAI, Z., et al. “Multicast capacity analysis for social-proximity urban bus-assisted VANETs”. In: *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pp. 6138–6142, jun. 2013.
- [86] MARFIA, G., PAU, G., GIORDANO, E., et al. “VANET: On Mobility Scenarios and Urban Infrastructure. A Case Study”. In: *IEEE Mobile Networking for Vehicular Environments*, pp. 31–36, maio 2007.
- [87] CAI, H., EUN, D. Y. “Toward Stochastic Anatomy of Inter-meeting Time Distribution Under General Mobility Models”. In: *ACM MobiHoc*, pp. 273–282, maio 2008.
- [88] PASSARELLA, A., CONTI, M. “Analysis of Individual Pair and Aggregate Inter-contact Times in Heterogeneous Opportunistic Networks”, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, v. 99, pp. 1536–1233, dez. 2012.
- [89] CHAINTREAU, A., HUI, P., CROWCROFT, J., et al. “Impact of Human Mobility on Opportunistic Forwarding Algorithms”, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, v. 6, n. 6, pp. 606–620, jun. 2007.
- [90] TUDUCE, C., GROSS, T. “A mobility model based on WLAN traces and its validation”. In: *IEEE INFOCOM*, v. 1, pp. 664–674, mar. 2005.
- [91] ZHANG, X., KUROSE, J., LEVINE, B. N., et al. “Study of a Bus-based Disruption-tolerant Network: Mobility Modeling and Impact on Routing”. In: *ACM MobiCom*, pp. 195–206, abr. 2007.
- [92] LIU, Y., NIU, J., QU, G., et al. “Message delivery delay analysis in VANETs with a bidirectional traffic model”. In: *IEEE Wireless Communications and Mobile Computing Conference*, pp. 1754–1759, jul. 2011.
- [93] HASHIM, W., SHARIFF, A., FADILAH, S. “A new hop-count and node-degree based routing protocol for Vehicular Ad-hoc Networks (VANETs)”. In: *IEEE Malaysia International Conference on Communications (MICC)*, pp. 310–315, nov. 2013.
- [94] TOURNOUX, P., LEGUAY, J., BENBADIS, F., et al. “The Accordion Phenomenon: Analysis, Characterization, and Impact on DTN Routing”. In: *IEEE INFOCOM*, pp. 1116–1124, abr. 2009.

- [95] TOURNOUX, P., LEGUAY, J., BENBADIS, F., et al. “Density-Aware Routing in Highly Dynamic DTNs: The RollerNet Case”, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, v. 10, n. 12, pp. 1755–1768, dez. 2011.
- [96] MITTON, N., RIVANO, H. “On the Use of City Bikes to Make the City Even Smarter”. In: *IEEE Smart Computing*, pp. 3–8, nov. 2014.
- [97] AZEVEDO, T. S., BEZERRA, R. L., CAMPOS, C. A. V., et al. “An Analysis of Human Mobility Using Real Traces”. In: *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pp. 1–6, abr. 2009.
- [98] “NS-3 - Accessed in January/2016”. <https://www.nsnam.org/>, 2016.
- [99] FONSECA, M. M. *Arte Naval 1 - Capitão-de-Mar-e-Guerra*. 7ª ed. Rio de Janeiro, RJ, Serviço de Documentação da Marinha, 2005.
- [100] FONSECA, M. M. *Arte Naval 2 - Capitão-de-Mar-e-Guerra*. 7ª ed. Rio de Janeiro, RJ, Serviço de Documentação da Marinha, 2005.
- [101] MIGUENS, A. P. *Navegação - A Ciência e a Arte 1*. 3ª ed. Rio de Janeiro, RJ, Marinha do Brasil, 2002.
- [102] MIGUENS, A. P. *Navegação - A Ciência e a Arte 2*. 3ª ed. Rio de Janeiro, RJ, Marinha do Brasil, 2002.
- [103] MIGUENS, A. P. *Navegação - A Ciência e a Arte 3*. 3ª ed. Rio de Janeiro, RJ, Marinha do Brasil, 2002.
- [104] “My tracks - Accessed in January/2016”. <https://www.apptweak.com/my-tracks/google-playstore/us/en/app-marketing-app-store-optimization-aso/report/com-google-android-maps-mytracks>, 2016.
- [105] “Ublox - Accessed in January/2016”. <https://www.u-blox.com/en>, 2016.
- [106] BYCHKOVSKY, V., HULL, B., MIU, A., et al. “A Measurement Study of Vehicular Internet Access Using in Situ Wi-Fi Networks”. In: *ACM MobiCom*, pp. 50–61, set. 2006.
- [107] CAMPOS, C. A. V. *Caracterização da Mobilidade e de Modelos de Mobilidade e suas Influências nas Redes Móveis*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2009. Departamento de Engenharia de Sistemas e Computação.
- [108] NABOULSI, D., FIORE, M. “On the Instantaneous Topology of a Large-scale Urban Vehicular Network: The Cologne Case”. In: *ACM Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, pp. 167–176, ago. 2013.

- [109] “OpenStreetMap - Accessed in January/2016”.
<https://www.openstreetmap.org/user/new>, 2016.
- [110] “Simulation of Urban MObility - Accessed in January/2016”.
<http://sourceforge.net/projects/sumo/>, 2016.
- [111] BEHRISCH, M., BIEKER, L., ERDMANN, J., et al. *Simulation of Urban MObility*. 1^a ed. Berlin, Germany, Springer, 2013.
- [112] GYARMATI, M., SCHILCHER, U., BRANDNER, G., et al. “Impact of Random Mobility on the Inhomogeneity of Spatial Distributions”. In: *IEEE GLOBECOM*, pp. 1–5, nov. 2008.
- [113] GARETTO, M., LEONARDI, E. “Analysis of Random Mobility Models with Partial Differential Equations”, *IEEE Mobile Computing*, pp. 1204–1217, nov. 2007.
- [114] KIM, M., KOTZ, D., KIM, S. “Extracting a Mobility Model from Real User Traces”. In: *IEEE INFOCOM*, v. 1, pp. 1–13, abr. 2006.