



## IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM MODELO PARA TROCA DE MENSAGENS EM DTNs UTILIZANDO TRÁFEGO AÉREO

Marcelo Cirelle Lucas de Melo

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

Orientador(es): Luís Felipe Magalhães de Moraes

Rio de Janeiro  
Setembro de 2011

IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM MODELO PARA TROCA DE  
MENSAGENS EM DTNs UTILIZANDO TRÁFEGO AÉREO

Marcelo Cirelle Lucas de Melo

DISSERTAÇÃO 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 MESTRE  
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO.

Examinada por:

---

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

---

Prof. Cláudio Luis de Amorim, Ph.D.

---

Prof. Jorge Lopes de Souza Leão, Dr.Ing.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

SETEMBRO DE 2011

Melo, Marcelo Cirelle Lucas de

Implementação e Avaliação de um Modelo Para Troca de Mensagens em DTNs Utilizando Tráfego Aéreo/  
Marcelo Cirelle Lucas de Melo. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

IX, 70 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Luís Felipe Magalhães de Moraes

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, 2011.

Referências Bibliográficas: p. 39-43.

1. Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões. 2. DTNs em Transporte Aéreo. 3. Simulador de DTNs. I. Moraes, Luís Felipe Magalhães de. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Sistemas e Computação. III. Título.

# Agradecimentos

Antes de qualquer coisa, devo tudo ao responsável por todas as minhas conquistas, Deus, e à Nossa Senhora, que sempre intercedeu por mim ao longo da minha vida. Agradeço a todos que colaboraram com este trabalho:

Aos meus pais, Eni e Marcelo, pela abnegada ajuda e suporte. As minhas conquistas não são nada além do reflexo da dedicação, valores, educação e amor com que fui criado e da união familiar que nos rege. Agradeço imensamente à minha esposa Vanessa, o amor da minha vida, que já me acompanha há bastante tempo, me incentiva, compreende e dá sentido à minha vida. Agradeço também à minha irmã Mônica, meu cunhado Rogério e meu sobrinho Enzo, pelo apoio. Aos meus padrinhos, Márcia e Armínio, pelo exemplo de determinação e alegria e por serem sempre muito presentes. À minha avó Luzia, que sempre reza por toda a família.

Agradeço imensamente ao meu orientador, Prof. Luís Felipe Magalhães de Moraes, pelos conselhos, paciência, compreensão e confiança ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Aos professores Cláudio Luis de Amorim e Jorge Lopes de Souza Leão por aceitarem em participar da banca examinadora desta dissertação.

Sou muito grato ao diretor, chefes e companheiros de trabalho do Instituto de Cartografia Aeronáutica (ICA) pela compreensão e suporte nos momentos de minha ausência. Agradeço também aos alunos de graduação e de mestrado da COPPE/UFRJ, André, Felipe, Thiago, Vinícius e Fabrício, que estavam sempre dispostos a ajudar, e a todos que contribuíram para a conclusão deste trabalho.

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

## IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM MODELO PARA TROCA DE MENSAGENS EM DTNs UTILIZANDO TRÁFEGO AÉREO

Marcelo Cirelle Lucas de Melo

Setembro/2011

Orientador: Luís Felipe Magalhães de Moraes

Programa: Engenharia de Sistemas e Computação

As Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões (DTNs) estão sendo cada vez mais utilizadas em virtude da necessidade de implantação de uma rede de transmissão de dados em ambientes onde não existe uma infra-estrutura de Internet estabelecida. Neste trabalho é apresentada uma análise da possibilidade de usar o transporte aéreo brasileiro como um meio para troca de mensagens entre dispositivos móveis carregados pelos passageiros dos vôos. Desta forma, com a finalidade de que esse tipo de avaliação possa ser feita, o presente trabalho propõe e desenvolve um simulador de DTNs. Com essa abordagem, os dados sobre o tráfego aéreo nacional são processados e obtêm-se informações quanto ao tempo de atraso para entrega das mensagens, número de saltos na rede necessários para que o dado transferido alcance seu destino e viabilidade de utilização prática dessa rede, em comparação com Internet.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

IMPLEMENTATION AND EVALUATION OF A MESSAGE EXCHANGE MODEL  
IN DTNs USING AIR TRAFFIC

Marcelo Cirelle Lucas de Melo

September/2011

Advisor: Luís Felipe Magalhães de Moraes

Department: Computer and Systems Engineering

The Delay/Disruption Tolerant Networks (DTNs) are being increasingly used because of the need to implant a transmission data network in environments where there is not an Internet infrastructure established. This work presents an analysis of the possibility of using the Brazilian air transportation as a means for exchange messages between mobile devices carried by passengers in the flights. Thus, in order that this kind of evaluation can be made, the present work proposes and develops a DTN simulator. With this approach, data about the national air traffic are processed and information is obtained about the time on delivery message delay, number of hops in the network required for the transferred data reaches its destination and feasibility of practical use of this network, compared to the Internet.

# Conteúdo

<b>Resumo</b>	<b>v</b>
<b>Abstract</b>	<b>vi</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>vii</b>
<b>Capítulo 1</b> .....	<b>1</b>
1.1 Redes Móveis Sem Fio .....	2
1.1.1 As Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões .....	3
1.1.2 Uso da Infra-Estrutura do Transporte Aéreo Para DTNs .....	3
1.2 Motivação e Definição do Problema .....	4
1.3 Objetivos .....	5
1.4 Contribuições .....	6
1.5 Organização do Texto .....	6
<b>Capítulo 2</b> .....	<b>8</b>
2.1 Redes Tolerantes a Atrasos ou Desconexões .....	9
2.2 Tipos de Contatos em Arquiteturas DTN .....	10
2.2.1 Contatos Persistentes .....	10
2.2.2 Contatos sob Demanda .....	11
2.2.3 Contatos Programados .....	11
2.2.4 Contatos Previsíveis .....	12
2.2.5 Contatos Oportunistas .....	13
2.3 Protocolos de Roteamento em DTNs .....	14
2.3.1 Cenário Estocástico .....	14
2.3.2 Cenário Determinístico .....	17
2.4 DTNs no Transporte Aéreo .....	18
<b>Capítulo 3</b> .....	<b>20</b>
3.1 Modelo do Tráfego Aéreo .....	21
3.2 Cenário da Troca de Mensagens .....	22
<b>Capítulo 4</b> .....	<b>26</b>
4.1 Características do Simulador e Simplificações do Modelo .....	27
4.2 Roteamento Super Epidêmico .....	28
<b>Capítulo 5</b> .....	<b>31</b>
<b>Capítulo 6</b> .....	<b>36</b>
6.1 Considerações Finais .....	37
6.2 Trabalhos Futuros .....	38
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	<b>39</b>
<b>Apêndice</b> .....	<b>44</b>

# Lista de Figuras

FIGURA 1 – CONTATOS PERSISTENTES .....	11
FIGURA 2 – CONTATOS PROGRAMADOS.....	12
FIGURA 3 – CONTATOS PREVISÍVEIS .....	13
FIGURA 4 – TROCA DE MENSAGENS NO VÔO.....	24
FIGURA 5 – AVIÕES E AEROPORTOS DO MODELO DA SIMULAÇÃO.....	28
FIGURA 6 – PROBABILIDADE DE ENTREGA DE MENSAGENS X TEMPO (HORAS) – PRIMEIRO CENÁRIO.....	33
FIGURA 7 – PROBABILIDADE DE ENTREGA DE MENSAGENS X TEMPO (HORAS) – SEGUNDO CENÁRIO.....	33
FIGURA 8 – TRÁFEGO DE MENSAGENS X TEMPO (HORAS) – PRIMEIRO CENÁRIO .....	34
FIGURA 9 – TRÁFEGO DE MENSAGENS X TEMPO (HORAS) – SEGUNDO CENÁRIO .....	34

# Definições

<b>DTN</b>	:Delay/Disruption Tolerant Networks (Redes Tolerantes a Atrasos e/ou Desconexões);
<b>Data MULES</b>	:Dispositivos móveis que armazenam e transmitem dados entre redes sem infra-estrutura de transmissão de dados entre si;
<b>LAN</b>	:Local Area Networks (Redes Locais);
<b>D</b>	:Conjunto finito de todos os aeroportos de destino das mensagens;
<b>O</b>	:Conjunto finito de todos os aeroportos de origem das mensagens;
<b>A</b>	:Exemplo de aeroporto;
<b>B</b>	:Exemplo de aeroporto;
<b>z</b>	:Número total de aeroportos alcançáveis diretamente pelo aeroporto B;
<b>C</b>	:Conjunto finitos de aeroportos alcançáveis pelo aeroporto B;
<b>I</b>	:Conjunto finito de aeroportos alcançáveis não diretamente pelo aeroporto B;
<b>k</b>	:Número total de aeroportos alcançáveis não diretamente pelo aeroporto B;
<b>P</b>	:Conjunto finito de passageiros de um voo;
<b>n</b>	:Número de passageiros de um voo;
<b><math>T_P</math></b>	:Probabilidade de escolha do aeroporto de destino da mensagem;
<b>m</b>	:Número de mensagens em um dispositivo eletrônico;
<b>s</b>	:Tamanho médio de uma mensagem;
<b><math>T_M</math></b>	:Probabilidade de escolha do aeroporto de destino da mensagem;
<b>X</b>	:Variável aleatória;
<b>N</b>	:Número total de mensagens transferidas no sistema;
<b><math>M_{geradas}</math></b>	:Número de mensagens geradas;
<b><math>M_{entregues}</math></b>	:Número de mensagens entregues;
<b>t</b>	:Tempo;
<b><math>P_{entrega}</math></b>	:Probabilidade de entrega de mensagens $\left( P_{entrega} \triangleq \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{M_{entregues}(t)}{M_{geradas}(t)} \right)$ ;
<b>H</b>	:Média do número de saltos entre aeroportos até a entrega das mensagens;
<b>L</b>	:Atraso médio para entrega das mensagens.
<b><math>\gamma</math></b>	:Taxa média agregada de geração de mensagens medida em mensagens/segundo.
<b>S</b>	:Tamanho de uma mensagem em bits.
<b>K</b>	:Taxa de transmissão de mensagens por passageiro em bits por segundo (bps).
<b><math>T_{transf}</math></b>	:Tempo de transferência de uma mensagem em segundos.
<b>Traf</b>	:Tráfego de mensagens geradas pelos passageiros $(Traf = \gamma \cdot T_{transf})$ .

# Capítulo 1

## Introdução

O crescente desenvolvimento das tecnologias de transmissão de dados sem fio acelera a evolução do uso de redes de comunicação que independem de uma infraestrutura para a troca de informações entre seus nós. Diante deste cenário, há a possibilidade de utilização da estrutura do transporte aéreo como meio de transporte de mensagens tolerantes a desconexões ou atrasos. Além disso, a observação de que o tráfego aéreo brasileiro encontra-se em expansão, tanto em número de vôos, como em área de cobertura, desperta a necessidade de se avaliar a viabilidade de adoção da infraestrutura aeroviária nacional como base para uma rede.

## 1.1 Redes Móveis Sem Fio

A grande disponibilidade de dispositivos móveis (nós da rede) que oferecem transmissão de dados (seja através da Internet, seja diretamente com outros dispositivos, sem fio e de forma relativamente acessível como, por exemplo, os celulares ou *tablets*), permitindo a implantação das denominadas redes móveis sem fio, mesmo podendo existir, contudo, alguns nós que sejam fixos.

A facilidade de acesso à informação vem aumentando rapidamente nos últimos anos, fazendo com que essa evolução tecnológica seja cada vez mais importante na sociedade como uma forma de possibilitar uma maior integração entre usuários, empresas, comércio, serviços, governos etc. Outro aspecto interessante sobre as redes móveis sem fio é que elas não precisam de uma infra-estrutura física pré-existente entre os nós da rede, como acontece com o acesso à Internet através de redes a cabo, melhorando a qualidade de vida das pessoas devido à possibilidade de realização de trabalhos com menor esforço e em um menor espaço de tempo que seria utilizado em caso contrário.

As redes móveis sem fio são caracterizadas, dentre outras formas, entre infra-estruturadas ou ad hoc, dependendo de como seus nós se comportam em relação à mobilidade. A existência de nós estáticos servindo de intermediadores entre as transmissões de dados entre os nós móveis caracterizam as redes móveis sem fio infra-estruturadas. Esses nós estáticos, ou fixos, são responsáveis pela interoperabilidade da rede, ou seja, os nós móveis só conseguem se comunicar entre eles, transmitindo, necessariamente, os dados através dos fixos, ou seja, não há troca de mensagens ocorrendo diretamente entre cada par de nós móveis.

O outro tipo de redes móveis sem fio é conhecido como ad hoc (Mobile Ad hoc Network - MANET) [1, 2], cuja característica é a de apresentar nós móveis que podem se comunicar entre si, sem a necessidade de uma infra-estrutura de nós estáticos, ou seja, quando dois nós móveis distantes entre si querem se comunicar, eles enviam suas mensagem para os outros nós intermediários da rede que irão rotear os dados até o nó destino. Desta forma, as redes tolerantes a atrasos e desconexões (Delay/Disruption Tolerant Networks – DTNs) [3] se apresentam como uma solução para viabilizar esses

tipos de comunicações. A seguir serão apresentados alguns conceitos sobre as DTNs e, logo em seguida, uma breve introdução à idéia do uso do transporte aéreo como meio de transmissão de dados.

### 1.1.1 As Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões

As condições incapacitantes de se manter uma conexão fim-a-fim entre os nós de uma determinada rede, como, por exemplo, uma rede composta apenas de dispositivos móveis carregados por pessoas ou uma rede entre sensores que monitoram animais de uma determinada espécie em uma região inóspita específica, fizeram com que as redes tolerantes a atrasos e desconexões (Delay/Disruption Tolerant Networks - DTNs) surgissem.

As DTNs se caracterizam em possuírem nós que armazenam os pacotes a serem transferidos até terem condições de transmitir para outros nós da rede, seguindo um roteamento específico, até encontrarem o nó ou nós destino. Uma das classificações desse tipo de rede é quanto ao tipo de movimentação dos nós que a compõe, podendo ser previamente programada, conforme acontece com, por exemplo, ônibus com horários fixos de saída e chegada aos pontos de seu itinerário, ou ser oportunista, que é o caso de não existir previsão de quando os nós podem se encontrar. A movimentação de nó do tipo oportunista pode ser exemplificada por um grupo de pessoas dentro de um shopping carregando dispositivos de troca de informações sem fio.

### 1.1.2 Uso da Infra-Estrutura do Transporte Aéreo Para DTNs

As pesquisas relacionadas a DTNs, na maioria das vezes, estão voltadas ao estudo do comportamento da movimentação de pessoas, animais ou veículos, podendo ser do tipo pré-programada ou oportunista. Além disso, o escopo da área geográfica desses estudos costuma estar limitado a uma determinada região de pequena escala, podendo ser um parque, um bairro, ou uma cidade, por exemplo.

A proximidade geográfica é importante, pois permite uma elevada interação entre os nós, assim como maior poder de busca e de disseminação de conteúdo, mesmo sabendo-se que o tempo de entrega de mensagens pode ser grande em áreas relativamente pequenas. Outro motivo para os estudos serem preferencialmente restritos

a regiões de pequena escala é o fato de que, para grandes distâncias a comunicação pode ser realizada através de redes estruturadas como a Internet.

Todavia, como a Internet não está presente em toda parte (não é ubíqua) e sabendo-se que existe o transporte, com horário programado, de pessoas para grandes distâncias, seja através de ônibus, trem, avião e até barco, também é importante avaliar e estudar o comportamento de DTNs de larga escala que utilizam estes meios de transporte como infra-estrutura para transmissão de dados.

O transporte aéreo, que se encontra em constante expansão, em relação ao número de usuários, oferece um meio eficaz de transmitir as informações armazenadas nos dispositivos digitais dos passageiros em horários predeterminados e cobrindo grandes distâncias em um pequeno espaço de tempo (levando-se em consideração o tempo que os outros meios de transporte levam para percorrer a mesma distância).

## 1.2 Motivação e Definição do Problema

O cenário atual do desenvolvimento de tecnologias móveis, com o surgimento de dispositivos cada vez menores, de maior capacidade de armazenamento, mais acessíveis e com alcance de transmissão de dados mais distante, favorece o surgimento de novas aplicações práticas para os conceitos teóricos de redes, em particular as denominadas DTNs.

O conhecimento de que o transporte aeroviário constitui uma robusta infra-estrutura capaz de transportar vários passageiros a grandes distâncias em curto espaço de tempo, aliado ao fato de que é cada vez mais comum o uso de equipamentos móveis de transmissão de dados sem fio pelas pessoas, fornece condições de criação e utilização do tráfego de aviões como uma DTN de larga escala.

Esse tipo de rede já foi motivo de pesquisa na literatura, como em [32], porém a falta de um estudo voltado para análise e avaliação especificamente da rede DTN que pode ser formada utilizando a estrutura do tráfego aéreo brasileiro, com todas suas peculiaridades e abrangência, faz com que uma investigação detalhada deste cenário seja realizada, a fim de se apurar a viabilidade de seu uso na prática.

Essa dissertação de mestrado, diante desse contexto, faz uma pesquisa das peculiaridades de uma DTN que utiliza o transporte aeroviário, no âmbito do território nacional. Para tanto, foram realizadas a modelagem desta rede, na forma de um programa que pudesse simular suas características, e a coleta de vôos que decolassem e aterrissassem, necessariamente dentro do território brasileiro, em um período pré-estabelecido. Ao final, as informações retiradas foram utilizadas para comparar com os resultados obtidos de pesquisas que avaliaram esse tipo de DTN no âmbito do mundo todo e para avaliar a viabilidade de sua implantação.

### 1.3 Objetivos

Levando-se em consideração tudo que já foi exposto nas seções anteriores, a presente dissertação tem por objetivo principal avaliar, utilizando um simulador, o comportamento e viabilidade de implantação de uma rede tolerante a atrasos ou desconexões que utiliza a infra-estrutura do transporte aéreo, no âmbito do território brasileiro. Diante do exposto, este trabalho pretende:

- i. Caracterizar a DTN dentro do escopo da estrutura do tráfego aeroviário nacional, levando em consideração seus componentes, limites e mobilidade;
- ii. Apresentar as simplificações realizadas para modelar a troca de dados dentro da DTN proposta;
- iii. Implementar um simulador de troca de mensagens em DTNs usando tráfego aéreo nacional;
- iv. Avaliar o tempo de atraso para entrega de mensagens desde sua geração no nó de origem até a entrega no nó destino;
- v. Analisar o número de saltos que as mensagens precisam dar entre os nós da rede até chegarem ao seu destino;
- vi. Analisar a viabilidade de utilização desta DTN em comparação com a Internet.

## 1.4 Contribuições

- i. Caracterização da DTN dentro do escopo da estrutura do tráfego aeroviário nacional;
- ii. Análise das características do tráfego aéreo, dentro do território brasileiro, quanto à sua utilização como infra-estrutura de uma DTN;
- iii. Prova do conceito proposto em [32] de troca de mensagens em DTNs utilizando a infra-estrutura do tráfego aéreo;
- iv. Simulador de troca de mensagens em DTNs utilizando tráfego aéreo;
- v. Análise da viabilidade de utilização desta DTN em comparação com a Internet.

## 1.5 Organização do Texto

Daqui em diante, a presente dissertação está organizada conforme a descrição a seguir. No Capítulo 2, é realizada uma revisão bibliográfica dos trabalhos existentes na literatura que versam sobre DTNs, apresentando suas características, utilização, vantagens e desvantagens. Além disso, são apresentados os diversos tipos de contatos presentes na arquitetura DTN, assim como os diferentes protocolos de roteamento que são normalmente aplicados nas DTNs, tanto naquelas que os nós se movimentam de forma oportunista, quanto naquelas cuja movimentação dos nós é previamente conhecida. Ao final do capítulo, serão introduzidos os trabalhos que tratam de DTNs em aeronaves.

No Capítulo 3, é mostrada a abrangência desta rede, assim como suas limitações, capacidades e dinâmica. Em seguida, o cenário de troca de mensagens usando dispositivos móveis carregados por passageiros de transporte aéreo é explicado, assim como uma análise matemática do modelo.

Na seqüência, através do Capítulo 4, detalhes do programa desenvolvido para simular a DTN estudada nessa dissertação são explicitados, como as simplificações

feitas do modelo proposto, os limites de capacidade de transmissão de mensagens estipulado e os dados utilizados na simulação. Ainda neste capítulo, o tipo de protocolo de roteamento utilizado na simulação é devidamente explicado.

No Capítulo 5, os resultados obtidos com o simulador proposto são apresentados e analisados. Além disso, é feita uma avaliação da viabilidade de utilização de DTN sobre tráfego aéreo para troca de mensagens.

Por último, no Capítulo 6, são tecidas as considerações finais acerca do trabalho apresentado, assim como uma recapitulação dos principais resultados obtidos e contribuições alcançadas. Além disso, ao final do capítulo, as perspectivas de trabalhos futuros que poderão ser desenvolvidos, em virtude das contribuições apresentadas, são descritas.

# Capítulo 2

## Trabalhos Relacionados

Neste Capítulo é realizada uma revisão bibliográfica de alguns trabalhos da literatura que estudam as redes tolerantes a atrasos ou desconexões, apresentando suas características, limitações, vantagens e desvantagens. Além disso, este Capítulo também introduz os conceitos referentes aos tipos de contatos existentes nas arquiteturas DTN. Posteriormente, os diversos protocolos de roteamento mais comumente aplicados nas DTNs são apresentados. Finalizando, serão introduzidos os trabalhos que tratam de DTNs em aeronaves, seja tanto a transmissão de dados realizada entre os veículos, quanto a realizada entre os passageiros transportados por eles.

## 2.1 Redes Tolerantes a Atrasos ou Desconexões

O conceito de redes tolerantes a atrasos ou desconexões (Delay/Disruption Tolerant Network - DTN) se originou do estudo para elaboração de uma Internet Interplanetária apresentada em [3]. Neste estudo [3] surgiu a base do que seria o modelo de arquitetura DTN [4] que designa uma rede que pode transmitir dados em ambientes inóspitos ou sem infra-estrutura de Internet, como é o caso da comunicação interplanetária que, devido às longas distâncias e às interferências de meteoritos ou satélites, não conseguem manter uma conexão intermitente. Posteriormente, a arquitetura DTN foi definida através da RFC 4838 [5].

A arquitetura DTN prevê a utilização da técnica de comutação de mensagens e o armazenamento persistente dos dados, definindo uma sobre camada (overlay), acima da camada de transporte (ou outras camadas) e abaixo das aplicações. Esta nova camada é denominada de camada de agregação ou de empacotamento (Bundle Layer). Os pontos que armazenam as mensagens são chamados de nós DTN, sejam eles nós origem, destino ou intermediários. Todos os nós da rede executam o protocolo de agregação (bundle).

As DTNs apresentam diversas características em comum que as diferem das redes mais utilizadas, como a Internet, que têm a característica principal de manter uma conexão entre o nó de origem e o nó de destino. Entre as características dos saltos e caminhos de uma DTN podemos citar o elevado tempo de entrega das mensagens, a baixa taxa de velocidade de transmissão de dados, desconexões ao longo do caminho entre os nós origem e destino, e longo tempo de espera em filas, ou seja, com as mensagens tendo que ser armazenadas por bastante período de tempo nos nós ao longo do caminho.

As freqüentes desconexões nas DTNs podem ocorrer devido a vários fatores, dentre os quais podemos citar a mobilidade, que provoca constantes mudanças na topologia da rede, a economia de recursos, a possibilidade de negação de serviço ou alguma característica particular da rede em questão, como, por exemplo, a velocidade dos aviões durante o vôo, que impede a transmissão de mensagens entre dispositivos

digitais transportados pelas aeronaves em pleno vôo, em uma DTN que utiliza o transporte aéreo.

Uma das principais características das DTNs é a propriedade conhecida como armazena-e-encaminha (store-and-forward). Redes desse tipo possuem dispositivos cuja informação fica armazenada até o surgimento de um enlace com outro dispositivo que possibilite alcançar o nó final. Cada transmissão intermediária, entre o nó origem e o destino, é denominada salto (hop).

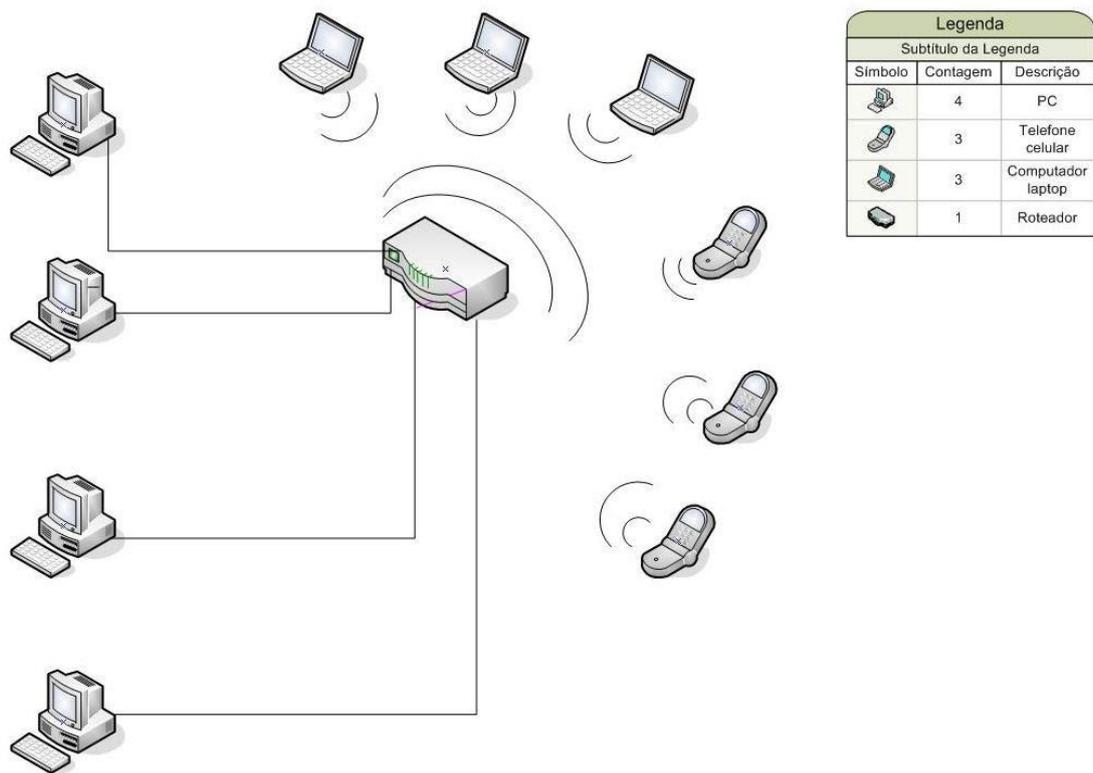
Outra característica das DTN, agora em relação aos sistemas finais, é a longevidade limitada, ou seja, não existe uma certeza de que o nó que precisa transferir a informação irá encontrar outro nó em tempo hábil, antes do tempo de vida do dado expirar ou do final de sua bateria. Além dessa característica, existe outra que merece ser destacada que é o fato das DTNs serem dotadas, usualmente, de recursos escassos, podendo ser limitações de capacidade de armazenamento de dados nos nós ou na duração das baterias dos dispositivos que os compõem, por exemplo.

## 2.2 Tipos de Contatos em Arquiteturas DTN

As DTNs são caracterizadas pelo fato dos seus nós não estarem conectados constantemente, ou seja, diferentemente da Internet, assume-se que nessas redes os nós nem sempre são alcançáveis ou podem realizar contato. Devido a isso, o tipo de contato é um item imprescindível que deve ser levado em consideração na arquitetura DTN. Um contato corresponde a uma ocasião favorável para os nós trocarem de dados [6]. Os principais tipos de contatos são definidos conforme descrição nas próximas subseções [5].

### 2.2.1 Contatos Persistentes

São denominados contatos persistentes aqueles cujos contatos estão sempre disponíveis. Uma rede local é um exemplo de uma rede com contatos do tipo persistente, conforme apresentado na Figura 1.



**Figura 1 – Contatos persistentes**

### 2.2.2 Contatos sob Demanda

Contatos sob demanda são aqueles contatos que precisam de alguma ação para que eles sejam instanciados, contudo, eles se comportam como contatos persistentes após serem acionados. Uma conexão discada pode ser considerada um exemplo de contato sob demanda, ao menos do ponto de vista do usuário.

### 2.2.3 Contatos Programados

O preestabelecimento de uma agenda de contato entre dois ou mais nós de uma rede, antes de trocarem mensagens, caracteriza os contatos programados. Tanto o instante quanto a duração do contato são previamente conhecidos entre os nós e, para isso, é necessário que seja estabelecida uma sincronização do tempo na rede para que a troca de informações possa ser realizada com sucesso.

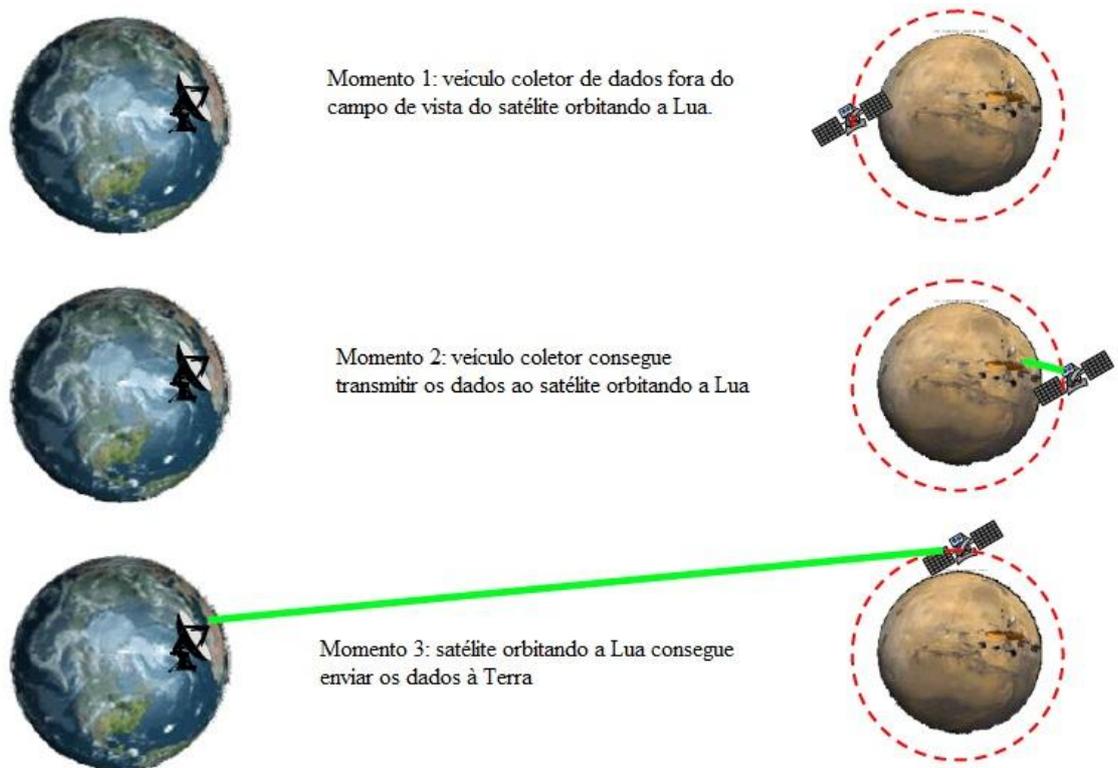
Um exemplo desse tipo de contato pode ser encontrado em aplicações espaciais [7], pois a movimentação regular dos satélites, planetas ou naves espaciais permitem um

agendamento prévio do tempo e da duração dos contatos entre os nós. Uma estação espacial fixada em um planeta saberá o instante exato de fazer a transmissão de seus dados para um satélite que esteja em órbita fixa de outro planeta, por exemplo.

Outro exemplo pode ser um veículo coletor de informações na Lua localizado no lado oposto ao da Terra transmitindo informação à Terra através de um satélite orbitando a superfície lunar, conforme a Figura 2.

#### 2.2.4 Contatos Previsíveis

São denominados contatos previsíveis aqueles que cujos nós da rede podem realizar previsões quanto ao tempo e/ou duração dos contatos. Diferentemente dos contatos programados, essas informações necessárias são obtidas através de histórico de contatos realizados anteriormente pelos nós. Vale ressaltar que essas previsões são sujeitas a erros, ou seja, elas não garantem o instante exato dos contatos.



**Figura 2 – Contatos programados**

Existem redes rurais que utilizam ônibus, motos ou caminhões como meios de transmissão de dados entre uma rede local de uma região remota e sem infra-estrutura

satisfatória e a Internet de uma região com boa conexão de Internet. Esses veículos que transportam as informações são conhecidos por “mulas de dados” (data MULES), devido ao acrônimo *Mobile Ubiquitous LAN Extensions* [8] e tem sido bastante utilizado em DTNs. Essas redes são exemplos de contatos previsíveis, pois as “mulas de dados”, apesar de apresentarem um determinado padrão de horários, estão sujeitas a engarrafamentos, enguiço e problemas ambientais ao longo do caminho, entre outros problemas que possam atrasar a sua chegada. O exemplo do tipo de contato previsível citado é apresentado na Figura 3.

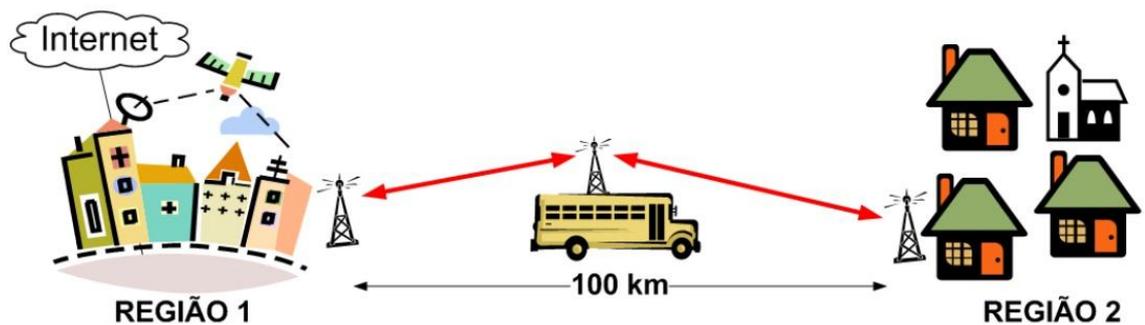


Figura 3 – Contatos previsíveis

### 2.2.5 Contatos Oportunistas

Contatos oportunistas são aqueles cujos contatos não são programados e nem existem informações para permitir a realização de previsões de quando eles irão ocorrer nem tampouco sua duração. Esse tipo de contato se utiliza do fato de contatos inteiramente aleatórios estarem ocorrendo na rede para permitir a transmissão de dados entre nós que inicialmente não apresenta conexão direta e nem possuem informações de como alcançarem um ao outro.

Como exemplo, pode-se considerar a troca de dados realizada entre os dispositivos eletrônicos sem-fio como celulares, *laptops*, *palmtops*, *paggers*, *Personal Digital Assistants* (PDAs), *tablets* etc. carregados pelas pessoas que circulam em uma determinada região, parque ou shopping. O contato oportunista e a comunicação de dispositivos portáteis constituem um novo paradigma de comunicação entre usuários denominado *Pocket Switched Networks* (PSNs) [9, 10].

## 2.3 Protocolos de Roteamento em DTNs

Os protocolos de roteamento convencionais não são capazes de lidar com problemas de transmissão de dados inerentes às DTNs, como as frequentes desconexões e o problema dos longos atrasos. O fato dessas redes apresentarem uma topologia que está em constante mudança, ou seja, os enlaces são criados ao longo do tempo, fazendo até com que alguns pares de nós nunca consigam estabelecer uma conexão direta entre eles, faz com que sejam necessários protocolos específicos para tratar dessas peculiaridades.

Segundo Zhang [11], o grau de conhecimento sobre a topologia da rede e sobre movimento de seus nós pode ser dividido em dois cenários, o cenário estocástico ou o cenário determinístico. Existem várias propostas de roteamento na literatura, as quais podem ser analisadas conforme o cenário a que sejam aplicadas. As subseções a seguir apresentarão esses dois cenários e os principais protocolos propostos para cada um.

### 2.3.1 Cenário Estocástico

O cenário estocástico, também conhecido como dinâmico, é caracterizado pelo comportamento da movimentação dos nós da rede não ser completamente conhecido. Existem DTNs cujo cálculo das rotas não pode ser realizado, pois os nós não possuem informações sobre o estado da rede. Devido a isso, os protocolos propostos para esse tipo de cenário sugerem que os dados sejam transmitidos para os outros nós, seguindo um comportamento, com o intuito de que, oportunamente, consigam alcançar os nós destinos, ou seja, os nós da rede não têm conhecimento prévio do caminho a ser percorrido para a realização da entrega da mensagem. A seguir são apresentados esses tipos de protocolos mais comumente utilizados.

#### Roteamento Epidêmico

A proposta considerada mais simples para cenários estocásticos é o roteamento epidêmico [12]. Esse protocolo pressupõe que o nó origem não tem qualquer informação quanto à localização do nó destino e quanto à melhor rota para alcançá-lo. A idéia principal é realizar a troca de mensagens como se fosse uma epidemia, ou seja, o nó origem irá transmitir o dado para todos os nós que entrarem em seu raio de alcance,

valendo-se da movimentação dos nós, e cada nó que recebeu este dado (nó infectado) irá se comportar da mesma forma, ou seja, transferindo o dado para quaisquer nós que estejam ou venham a estar dentro de seu alcance e que não o tenham recebido ainda. Ao longo do tempo, os nós continuarão transmitindo o dado para outros nós até, eventualmente, a mensagem ser entregue ao nó destino.

Quanto maior for o número de nós e quanto maior a mobilidade entre eles, maiores são as chances das informações serem entregues. Contudo, esse tipo de roteamento enfrenta grandes problemas quanto ao número de transmissões de réplicas e espaço nos *buffers*, fazendo com que o protocolo não seja escalável quando a carga de mensagens cresce. Para minimizar estes problemas, o protocolo *Spray-and-Wait* [13] foi proposto. Este protocolo é uma variação do protocolo epidêmico, pois parte do princípio que o nó origem irá transmitir a mensagem para os nós que ele entrar em contato, porém, no *Spray-and-Wait*, apenas um número limite de  $L$  nós são “infectados” e eles não retransmitem essa mensagem para outros nós, ficando aguardando o nó destino eventualmente entrar em contato para, só então, transferir a mensagem. Esse tipo de abordagem diminui o número de dados armazenados nos *buffers* dos nós da rede.

Assim como o protocolo *Spray-and-Wait*, existem muitas outras variações do protocolo de roteamento epidêmico e análises em cenários reais desse protocolo na literatura [14-20], todos tentando minimizar os problemas que o caracterizam.

### **Roteamento Baseado em Estimativa**

Diferentemente do roteamento epidêmico, cujos nós transmitem as mensagens para todos ou alguns nós vizinhos, o roteamento baseado em estimativa exige que seus nós calculem a chance ou probabilidade de eventualmente encontrarem um destino. Essa estimativa permite ao nó decidir para qual ou quais nós encaminhar as mensagens e o melhor momento para fazer isso [21, 22].

Dentre as variantes de protocolos que realizam esse tipo de roteamento, o principal deles é o denominado protocolo de roteamento probabilístico utilizando históricos de encontros e transitividade (*Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity* - PROPHET) [23].

## **Roteamento Baseado em Modelo**

Nos dois tipos de roteamentos apresentados anteriormente, considera-se que os nós se movimentam aleatoriamente, ou seja, não existe um padrão comportamental estabelecido para a mobilidade dos nós. Já o roteamento baseado em modelo se caracteriza na tentativa de modelar a movimentação dos nós na DTN. Com a informação do padrão de movimento de cada nó na rede permite aos nós escolherem para quais nós as mensagens serão encaminhadas de maneira que esses nós tenham uma maior probabilidade de se deslocarem em direção ao nó destino.

Um exemplo significativo deste tipo de roteamento são as conhecidas por redes ad hoc veiculares ( *Vehicular Ad hoc NETWORK - VANET*) [24, 25], que são um tipo de MANET [1].

## **Roteamento Baseado no Controle do Movimento do Nó**

O princípio dos protocolos de roteamento baseados no controle do movimento do nó é o de gerenciar a mobilidade de alguns nós da DTN para aumentar o desempenho da rede. A idéia principal é utilizar nós móveis especiais denominados balsas de mensagens para transportar dados entre nós regulares de redes esparsas, em um esquema conhecido como *Message Ferrying (MF)* [26, 27].

Os nós regulares se movimentam de forma aleatória, enquanto os nós que funcionam como balsas de mensagens têm sua movimentação configurada não aleatoriamente para ajudar na entrega dos dados.

## **Roteamento Baseado em Codificação**

Finalmente, outro tipo de protocolo de roteamento em cenários estocásticos são aqueles baseados em codificação. Esses protocolos usam técnicas de codificação, em contraste com a simples replicação de mensagens, para conseguir aumentar a probabilidade de entrega de um dado e tentar diminuir a sobrecarga de mensagens na rede.

Dentre as variantes desse tipo de roteamento, o que mais se destaca é o que utiliza a técnica de codificação por apagamento (erasure coding) [28, 29]. Esta técnica consiste basicamente em transformar a mensagem original em vários blocos menores,

inserindo-se informações redundantes, e transmitindo-os para os nós da rede, bastando que apenas um subconjunto desses nós chegue ao nó destino para que a mensagem seja decodificada. Detalhadamente, uma mensagem de  $N$  bytes recebe um fator de replicação  $f$ . Com isso, o algoritmo codificador produz  $N * f / s$  blocos de  $s$  bytes, de maneira que a mensagem possa ser reconstituída apenas com uma fração  $1 / f$  desses blocos.

### 2.3.2 Cenário Determinístico

O cenário determinístico é estabelecido quando todos os contatos, tempo de duração dos enlaces, da rede ou, em última instância, a topologia da rede em qualquer instante de tempo são conhecidos pelos nós da rede. Com posse dessas informações, os nós podem pré-estabelecer um acordo referente à transmissão das mensagens, estabelecendo com antecedência o caminho a ser percorrido pela mensagem a ser entregue. Abaixo serão apresentados os modelos de roteamento propostos para os cenários determinísticos.

#### Modelo de Oráculos do Conhecimento

Os *oráculos* são uma abstração do fato de que todos os nós da DTN têm informações sobre o assunto disponíveis. No trabalho desenvolvido por Jain *et al.* [30], eles classificam os *oráculos*, conforme os diferentes tipos e quantidades de informação sobre a DTN, em quatro tipos:

**Oráculo de Resumos de Contatos** – fornece informações resumidas dos contatos, podendo informar o tempo médio para ocorrer um novo contato entre dois nós, porém não diz o tempo e duração exata dos mesmos;

**Oráculo de Contatos** – informa a todos os nós da rede o instante e a duração exata dos contatos entre quaisquer pares de nós;

**Oráculo de Ocupação** – informa a ocupação dos *buffers* de transmissão dos nós da rede a qualquer momento de tempo. Essa informação pode ser utilizada para, dentre outras coisas, evitar o congestionamento da rede;

**Oráculo de Demanda de Tráfego** – informa, a qualquer instante de tempo, a demanda de tráfego de todos os nós.

Com base nesses *oráculos*, uma série de algoritmos pode ser desenvolvida e seu desempenho está diretamente ligado à quantidade de informações sobre a rede, conforme é avaliado por Jain *et al.* [30].

### **Modelo de Grafos Evolutivos**

O modelo de grafos evolutivos (evolving graphs) como proposta de roteamento de DTNs em cenários determinísticos é baseado na premissa de que, se os nós da rede souberem quando os enlaces estarão ativos ao longo do tempo, eles poderão escolher o melhor caminho para entrega das mensagens [31].

Um grafo evolutivo é composto por uma seqüência indexada de subgrafos. O índice dos subgrafos corresponde à topologia da rede durante o intervalo de tempo referente àquele índice. Com isso pode-se construir um grafo cujos vértices correspondem aos nós da rede e os enlaces irão conter os índices correspondentes aos seus períodos de ativação. A partir deste grafo, várias modificações do algoritmo de Dijkstra, levando em consideração diferentes métricas como objetivo, são propostas para que o roteamento possa ser realizado.

## **2.4 DTNs no Transporte Aéreo**

Conforme apresentado nas seções anteriores, muitos estudos são realizados para analisar a aplicação de DTNs em escalas regionais, ou seja, procurando entender a mobilidade de seres humanos (MANETs), carros ou ônibus (VANETs), e até de animais, mas geralmente se restringindo a áreas geográficas restritas. A proposta de utilização do transporte aéreo como infra-estrutura para DTNs permite, salvo a grande latência da rede, um alcance muito maior, podendo-se pensar em escala planetário, dependendo do escopo adotado.

O uso de aeronaves (ou qualquer outro meio de transporte com movimentação programada) para transportar mensagens é de um tanto similar às idéias de *data mules* e *message ferries*, com a diferença de que, ao contrário das *data mules*, os aviões seguem uma programação de horários e roteamento regulares e que, ao contrário das *message*

*ferries*, a mobilidade e roteamento das aeronaves não são controladas para entrega de mensagens [32].

Uma tentativa de estabelecer uma troca de mensagens utilizando tráfego aéreo está definida no RFC 1149 [33], que determina como transportar pacotes IP através de aves transportadoras de mensagens, como, por exemplo, pombos-correios. Esse tipo de abordagem também é aplicável às DTNs, especificamente devido às grandes latências e tempo de resposta (*round-trip-time* - RTT) das transmissões. Entretanto, os pombos-correios não seguem tabelas de horários complexos e as implantações investigadas até então são limitadas em termos de escala.

A DTN em transporte aéreo tem aplicações práticas tanto no ambiente militar [34], transportando dados importantes para bases de operações sem infra-estrutura de comunicações através de veículos aéreos não tripulados (Unmanned Aerial Vehicles - UAVs), por exemplo, quanto no civil, como a troca de mensagens entre passageiros dos vôos [32]. Esse tipo de abordagem também desperta o desenvolvimento de protocolos específicos para esse cenário [35].

## Capítulo 3

# Caracterização de uma DTN Utilizando a Estrutura do Tráfego Aeroviário Brasileiro

Dentre os muitos estudos encontrados na literatura que tratam das peculiaridades, viabilidade, características e aplicações das redes tolerantes a atrasos e desconexões em larga escala usando o transporte aéreo como meio de propagação das mensagens, não existe nenhum estudo focado em avaliar os impactos de desse tipo de rede levando-se em consideração os vôos realizados apenas em um determinado país. Neste Capítulo é definido o escopo desta rede, assim como suas limitações, capacidades e dinâmica. Em seguida, o cenário de troca de mensagens usando dispositivos móveis carregados por passageiros de transporte aéreo é explicado, assim como uma análise matemática do modelo.

### 3.1 Modelo do Tráfego Aéreo

O modelo proposto nessa dissertação é baseado no modelo apresentado por Keränen e Ott [32], no qual os autores avaliam o desempenho de uma rede DTN que usa o tráfego aéreo para transporte de mensagens, em escala global. Essa abordagem permitirá uma comparação dos resultados obtidos por esses autores com os valores encontrados nesse presente trabalho.

A idéia principal é apresentar um modelo de transmissão de mensagens, no âmbito do território brasileiro, que possa ser simulado para obter informações relevantes para a análise proposta nesse trabalho. Os detalhes de implementação do simulador são detalhados no próximo capítulo.

A escolha do espaço aéreo nacional como escopo do presente estudo se deve ao fato do Brasil ter dimensões territoriais continentais, ocupando quase a metade da área da América do Sul e sendo o quinto maior país do mundo, de ser um dos países mais populosos do mundo e do transporte aéreo nacional ser bem estruturado e estar em fase de expansão, devido ao aumento da demanda por vôos, causado pela melhoria na economia do país que permite que uma maior parcela da população possa viajar de avião.

Para poder modelar o transporte aéreo em questão, levando-se em consideração apenas os vôos domésticos, ou seja, aqueles cujos aeroportos de origem e destino do vôo, considerando apenas vôos diretos sem escala, estão localizados dentro do território brasileiro. As informações sobre os horários dos vôos foram obtidas através das planilhas conhecidas como HOTRAN, fornecidas pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) [36]. Essas planilhas fornecem os horários de transporte autorizados pela ANAC, e atualizadas diariamente, de todas as operações aéreas regulares realizadas pelas empresas aéreas, apesar das informações nelas contidas não refletirem com 100% exatidão os vôos ocorridos durante o dia, devido a cancelamentos e inclusão de vôos extras. Dessas planilhas foram extraídos os vôos domésticos.

Para a realização da simulação foram escolhidos aleatoriamente três dias consecutivos, dias 23/08/2011, 24/08/2011 e 25/08/2011. Os dias selecionados são do

meio de uma semana sem feriados para evitar diferenças significativas de um dia para o outro.

### 3.2 Cenário da Troca de Mensagens

O cenário de transmissão de dados é caracterizado pela troca de mensagens carregadas pelos passageiros em seus dispositivos digitais móveis, como, por exemplo, celulares e *tablets*, entre outros, que serão levados a bordo das aeronaves. Considera-se que cada passageiro, ao chegar ao aeroporto para embarcar, trocará mensagens com outros passageiros que também estão aguardando o embarque, mas que irão para outros destinos. Isso acontece, pois as mensagens não necessariamente têm o mesmo destino do passageiro que as originou.

Ao desembarcar no aeroporto, considerando apenas vôos diretos, as mensagens contidas no dispositivo do passageiro serão entregues no aeroporto de destino, podendo ser tratado como destino da mensagem a cidade onde o aeroporto se encontra, ou serão encaminhadas para outros passageiros que estejam para embarcar para outros aeroportos intermediários ou ao aeroporto de destino.

Quando a mensagem chega ao aeroporto de destino, considera-se que a mensagem será carregada através do passageiro para a cidade onde se encontra este aeroporto e então esta mensagem será transmitida a outras pessoas com dispositivos móveis para, assim, alcançar a pessoa ou servidor presente na cidade. O presente estudo considera apenas a saída e chegada das mensagens nos aeroportos.

Com isso, para fins de modelagem, tem-se um conjunto  $D$  de aeroportos destino que podem ser alcançados pelo aeroporto de origem  $O$ . Considerando um vôo  $V$  partindo do aeroporto  $A$  em um salto em direção ao aeroporto  $B$ . Do aeroporto  $B$  saem vários vôos diretos para outros aeroportos, que serão identificados pelo conjunto  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_z\}$ . Além disso, existe um conjunto de aeroportos  $I = \{I_1, I_2, \dots, I_k\}$  que não estão diretamente ligados ao aeroporto  $B$ , mas que são alcançáveis através de mais saltos.

O voo  $V$  carrega um conjunto  $P$  de passageiros, sendo  $n$  o número de passageiros do conjunto  $P$ . Cada passageiro  $P_i \in P$  possui um aeroporto de destino  $D_i \in D$ , escolhido do conjunto  $D$  de acordo com uma distribuição  $T_P$ , e carrega um dispositivo móvel com  $m$  mensagens de tamanho médio  $s$ . Cada mensagem possui um aeroporto de destino  $D_j \in D$ , escolhido do conjunto  $D$  de acordo com uma distribuição  $T_M$ . Com isso, assume-se que o volume de mensagens destinadas a um aeroporto ou cidade em particular é o mesmo do volume de pessoas que viajam para este aeroporto ou cidade, fazendo com que  $T_P = T_M$ . A Figura 4 ilustra o cenário de transferência de mensagens.

Quando um passageiro ao aeroporto  $A$ , seu dispositivo móvel troca mensagens com os dispositivos de outros passageiros, levando-se em consideração que os dispositivos têm informações dos destinos dos passageiros, de forma que o dispositivo passe a carregar mensagens endereçadas ao seu destino final ou para destinos alcançáveis a partir de lá. Se não existem passageiros que vão para o destino da mensagem ou se existem mais mensagens do que a capacidade total de todos os passageiros que vão para lá, é assumido que outros passageiros com vôos a partir do próximo aeroporto  $B$  possam entregar essa mensagem.

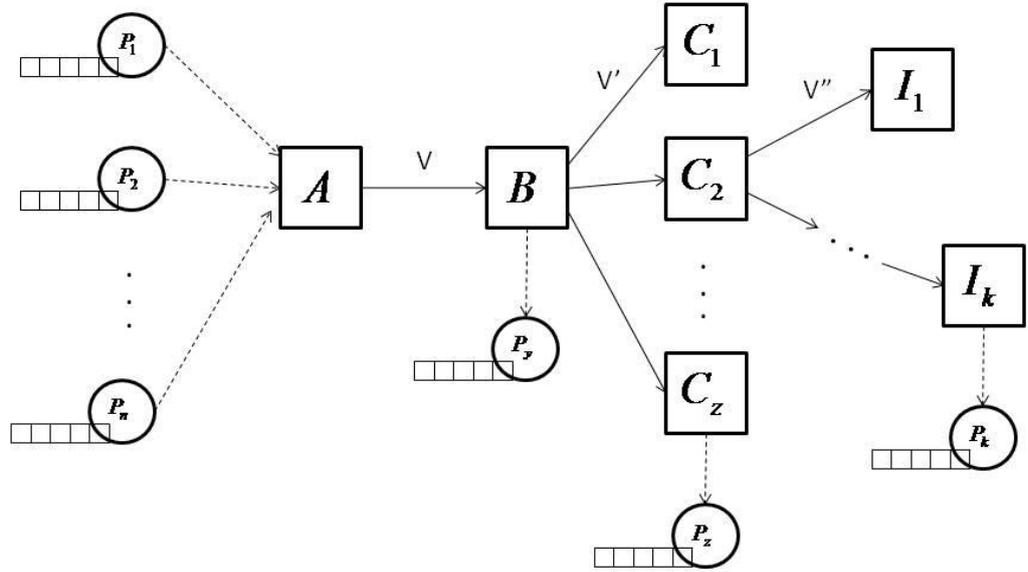


Figura 4 – Troca de mensagens no vôo

Considerando um único passageiro  $P_i$ , dentre os  $n$ , carregando  $m$  mensagens.  $P_i$  viaja para um aeroporto de destino  $D_i$  com probabilidade  $T_p[X = D_i] = t(i)$ . Cada mensagem  $M_j$  de  $P_i$  é endereçada para  $D_j$  com probabilidade  $T_M[X = D_j] = t(j)$ , lembrando que  $T_p = T_M$ . Com isso,  $m \times t(i)$  mensagens podem continuar armazenadas no dispositivo móvel, enquanto  $m \times (1 - t(i))$  mensagens precisam ser transferidas para outros dispositivos. Dos  $n$  passageiros,  $n \times t(i)$  irão para  $D_i$ , de forma que esses passageiros juntos precisam transferir  $N_i = n \times t(i) \times m \times (1 - t(i)) = n \times m \times (t(i) - t^2(i))$  mensagens para outros nós, assim como podem receber o mesmo número de mensagens. Levando em consideração todos os destinos, se tem

$$N = n \times m \times \sum_{k=1}^{|D|} (t(i) - t^2(i)).$$

Para distribuições uniformes onde  $T_P = T_M$ , o número total de mensagens transferidas no sistema é dado por  $N = n \times m \times \left(1 - \frac{1}{|D|}\right)$ , que rapidamente alcança o número total de mensagens carregadas por todos os passageiros conforme o número de aeroportos destino aumenta.

## Capítulo 4

# Implementação de um Simulador de DTNs para Cenários Determinísticos

Para que a análise da viabilidade da DTN que utiliza a estrutura do transporte aéreo nacional para transmissão de dados possa ser realizada, é necessário usar um simulador para obter informações sobre o modelo apresentado. Para isso, o presente trabalho construiu um simulador para cenários determinísticos, tendo em vista que, no presente estudo, existem informações sobre os horários de contato entre os nós da rede em questão. Detalhes do programa desenvolvido para simular a DTN estudada nessa dissertação são explicitados, como as simplificações feitas do modelo proposto, os limites de capacidade de transmissão de mensagens estipulado e os dados utilizados na simulação. Ainda neste Capítulo, o tipo de protocolo de roteamento utilizado na simulação é devidamente explicado.

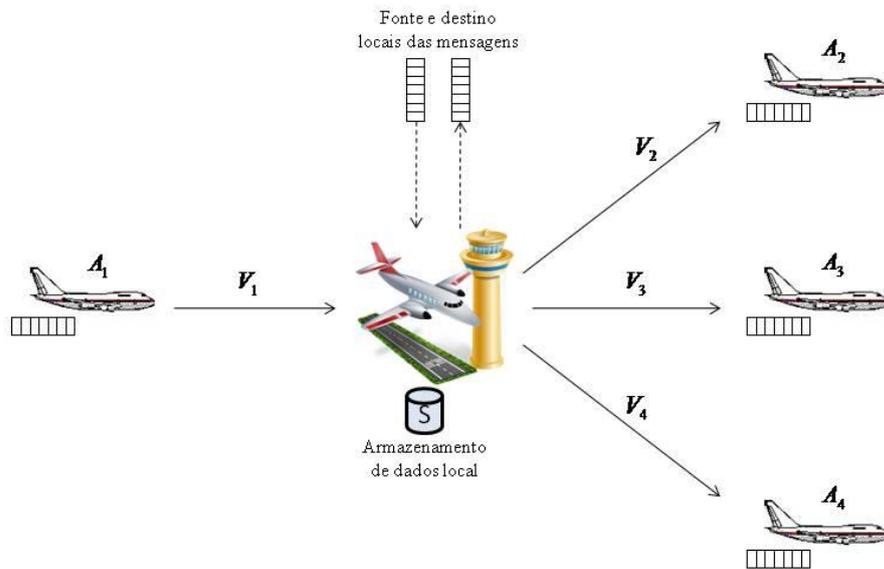
## 4.1 Características do Simulador e Simplificações do Modelo

Em virtude da complexidade do cenário a ser analisado, foram feitas diversas simplificações no modelo apresentado no Capítulo anterior. Esta Seção irá elencar essas simplificações, detalhar suas características e explicar o motivo de sua existência. Vale ressaltar que o simulador proposto neste trabalho foi desenvolvido na linguagem de programação C++.

Através das informações sobre os horários do transporte aéreo que trafegam no espaço aéreo brasileiro, obtidas das planilhas HOTRAN fornecidas pela ANAC, é possível verificar que ocorrem mais de 3000 vôos em território nacional diariamente e, considerando que cada vôo é capaz de transportar 100 passageiros, fazer a modelagem de cada pessoa seria muito custoso para o simulador. Com isso, para simplificar, assume-se que apenas os aviões são modelados conforme pode ser visto na Figura 5.

Nesse modelo, cada aeronave é representada como sendo um disco rígido de tamanho correspondente ao somatório da capacidade de armazenamento dos dispositivos móveis de todos os passageiros a bordo do avião. Já um aeroporto representa todas as pessoas que embarcam ou desembarcam de todos os vôos e, por isso, as mensagens carregadas por essas pessoas são consideradas como sendo oriundas ou destinadas à cidade em que o aeroporto se encontra.

A modelagem da troca de mensagens corresponde a um avião se conectando a um aeroporto através de uma conexão Ethernet de 1 Gbps, que corresponde à taxa de transferência agregada de todos os dispositivos presentes no avião, e que o período de conexão ativa entre os dois tem início 1 hora antes da partida e encerra com a decolagem da aeronave e, posteriormente, tem início ao aterrissar e termina após 1 hora após a chegada. Esse comportamento permite a troca de até 450 GB de dados a cada período de conexão ativa. Esse cenário atende aeronaves com capacidade de transportar até 450 passageiros, o que corresponde à grande maioria dos aviões comerciais, com cada um carregando até 1 GB de dados.



**Figura 5 – Aviões e aeroportos do modelo da simulação**

O aeroporto funciona como um equipamento de *hub*, representando os passageiros que fazem escala no aeroporto, e como um servidor de armazenamento (S), representando todos os passageiros que estão aguardando seus vôos. Para a simulação, o aspecto mais importante dos aeroportos é do de funcionar como um servidor de armazenamento de dados, cuja capacidade é considerada ilimitada. Concluindo, as mensagens são originadas e destinadas a aeroportos selecionados aleatoriamente, seguindo uma distribuição uniforme.

## 4.2 Roteamento Super Epidêmico

Para verificar quais os protocolos de roteamento que melhor se adaptam ao cenário apresentado, é preciso classificar o seu comportamento. Como os contatos da DTN que usa tráfego aéreo são programados, ou seja, os horários dos vôos são regulares e de conhecimento de todos os aeroportos, o cenário é tido como sendo determinístico,

conforme apresentado na Seção 2.3 desta dissertação, um roteamento do tipo oráculo de contatos pode ser utilizado para solucionar o encaminhamento das mensagens.

Para transferir a agenda dos horários dos vôos, é necessário informar a situação de aproximadamente 9000 conexões para os três dias que serão analisados. Os aeroportos precisam ter informações sobre a origem e destino da conexão, assim como horário de partida, horário de chegada, capacidade de transporte mensagens e período de validade da conexão, contendo horário de início e fim. Considerando-se 32 bits por informação, isso consiste em 28 bytes por conexão e, portanto, aproximadamente uns 16 MB de volume de dados a serem transmitidos para todos os aeroportos, o que é viável, pois as agendas de horários de vôos costumam permanecer bastante tempo sem sofrer alterações. Em posse dessas informações é possível executar um protocolo de roteamento baseado no algoritmo de escolha do caminho mais curto de Dijkstra.

Outra abordagem para solucionar o encaminhamento de mensagens nesse cenário é a utilização do protocolo de roteamento epidêmico. Esse tipo de roteamento, em sua forma original, não exige que os aeroportos tenham informações sobre a situação das conexões, porém, ocasiona o surgimento do problema de inundação da rede com as mensagens que são replicadas para todos os nós até encontrarem seus destinos. A grande vantagem do roteamento epidêmico é que ele encontraria o caminho mais curto e mais rápido se tivesse apenas uma mensagem na rede. Utilizando Dijkstra também é possível encontrar o caminho mais curto e mais rápido, desde que a agenda de horários de vôos não sofra alterações nem cancelamento.

Para simplificar e ainda assim obter a melhor solução, o simulador proposto utiliza a noção do roteamento super epidêmico [32], que corresponde ao epidêmico, porém com as seguintes características:

- Utiliza *buffers* ilimitados para evitar a perda de mensagens;
- Assume que as mensagens são transferidas instantaneamente para evitar atrasos na fila; e
- Assim que uma mensagem alcança seu destino, um aviso instantâneo é enviado fazendo com que todas as cópias dessa mensagem nos outros nós sejam descartadas.

Apesar do roteamento super epidêmico ter três características que o tornam inviáveis na prática, ele é uma solução simples de implementar, capaz de otimizar o encaminhamento de mensagens. A escolha da utilização deste roteamento no simulador se deve pela facilidade em alcançar resultados satisfatórios e pelo fato de ter sido constatado por Keränen e Ott [32] que, ao utilizarem a abordagem do super epidêmico e do Dijkstra, o desempenho obtido foi identicamente o mesmo.

Como o foco principal do presente trabalho é o de analisar os dados gerados na simulação referentes à performance da rede no cenário proposto e não na avaliação de diferentes protocolos de roteamento de DTNs, decidiu-se aplicar o roteamento super epidêmico no simulador desenvolvido.

## Capítulo 5

### Métricas Utilizadas e Resultados Obtidos

Para a realização da simulação foram inseridos dados de 10360 vôos ocorridos entre os dias 23/08/2011, 24/08/2011 e 25/08/2011 obtidos através das planilhas HOTRAN fornecida pela ANAC, conforme citado na Seção 3.1. Foi considerado um total de 133 aeroportos regulares dentro do território brasileiro.

A partir dessas informações, foram geradas 100 mensagens com tempo inicial igual ao início da simulação, no primeiro cenário, e um segundo cenário no qual foram geradas, com distribuição uniforme, 100 mensagens contando o período a partir das 00h00min do primeiro dia de simulação, 23/09/2011, até o horário da chegada do último vôo computado, ou seja, pouco depois das 23h59min do último dia de simulação, o dia 25/08/2011.

Para a obtenção das médias dos resultados, são realizadas 1000 rodadas para cada um dos cenários citados no parágrafo anterior. Com isso, as métricas utilizadas para avaliar o desempenho da rede foram a probabilidade de entrega das mensagens, que corresponde à média entre as simulações da porcentagem de mensagens entregues, o atraso médio de entrega das mensagens, que corresponde à média entre as simulações do tempo médio para entrega das mensagens e a média do número de saltos entre aeroportos, desde o momento de criação da mensagem até sua entrega no destino.

Na simulação foram utilizados os seguintes parâmetros:

- S: Tamanho de uma mensagem em bits;
- K: Taxa de transmissão de mensagens por passageiro em bits por segundo (bps);
- $T_{\text{transf}}$ : Tempo de transferência de uma mensagem em segundos.

Os seguintes valores foram atribuídos aos parâmetros apresentados acima:

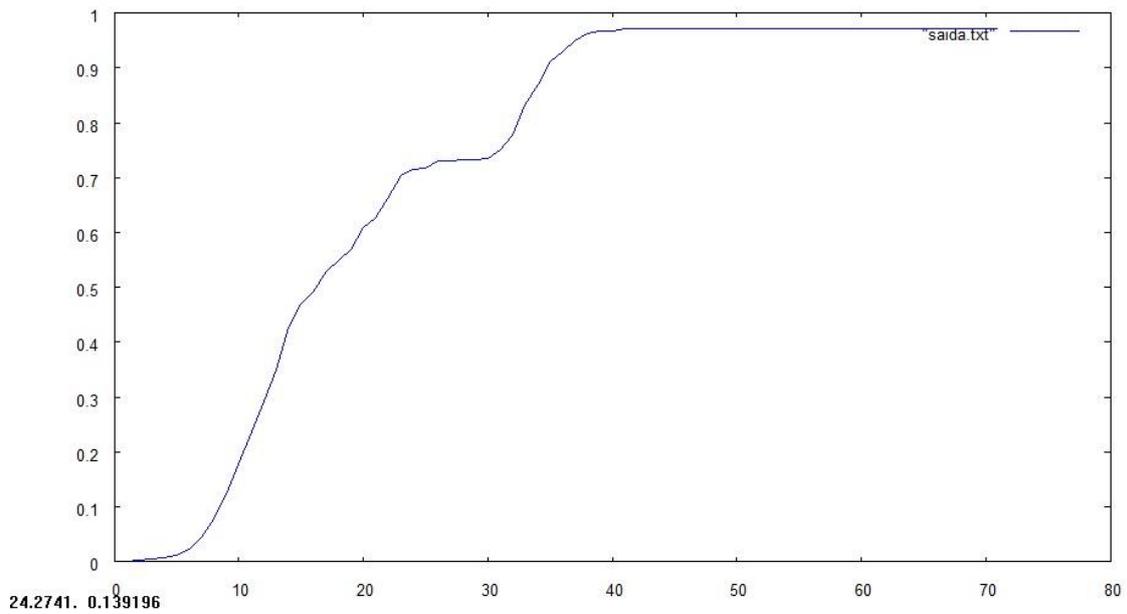
- S: 100 MB, ou seja, 800Mbits;
- K: 10Mbps;
- $T_{\text{transf}}$ : 80s.

As métricas obtidas através da simulação são apresentadas abaixo:

- $P_{\text{entrega}}$ : Probabilidade de entrega de mensagens  $\left( P_{\text{entrega}} \triangleq \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{M_{\text{entregues}}(t)}{M_{\text{geradas}}(t)} \right)$ ;
- H: Média do número de saltos entre aeroportos até a entrega das mensagens;
- L: Atraso médio para entrega das mensagens.
- Traf: Tráfego de mensagens geradas pelos passageiros (Traf = taxa média agregada de geração de mensagens x tempo de transferência de uma mensagem por um passageiro).

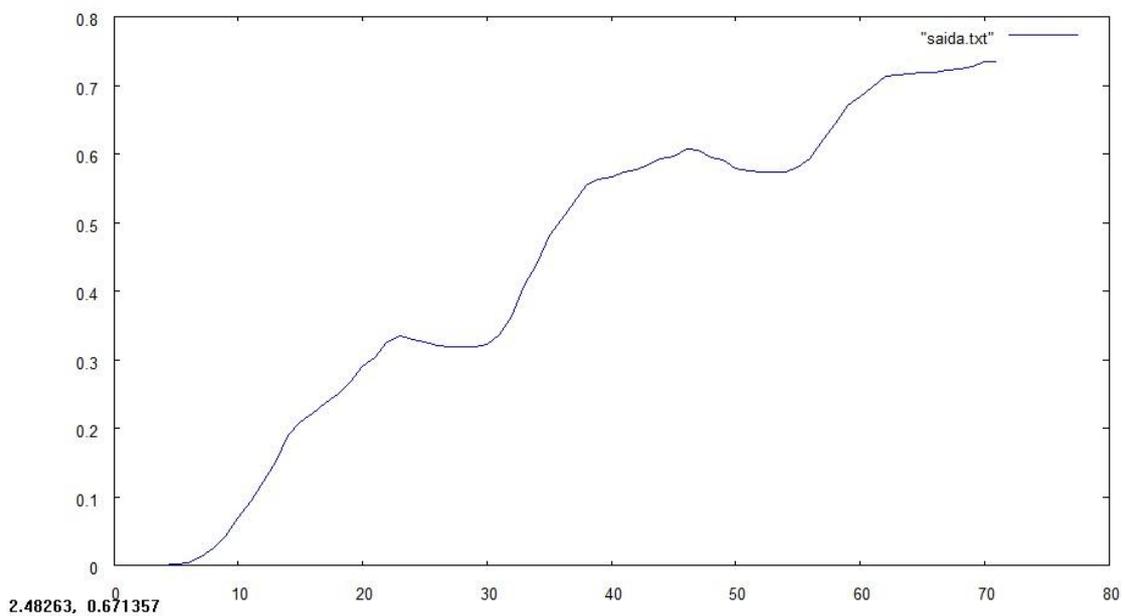
Através das 1000 rodadas do simulador em cada cenário, foi possível observar os seguintes resultados:

- Probabilidade de entrega ( $P_{\text{entrega}}$ ) das mensagens no primeiro cenário é apresentada na figura 6;



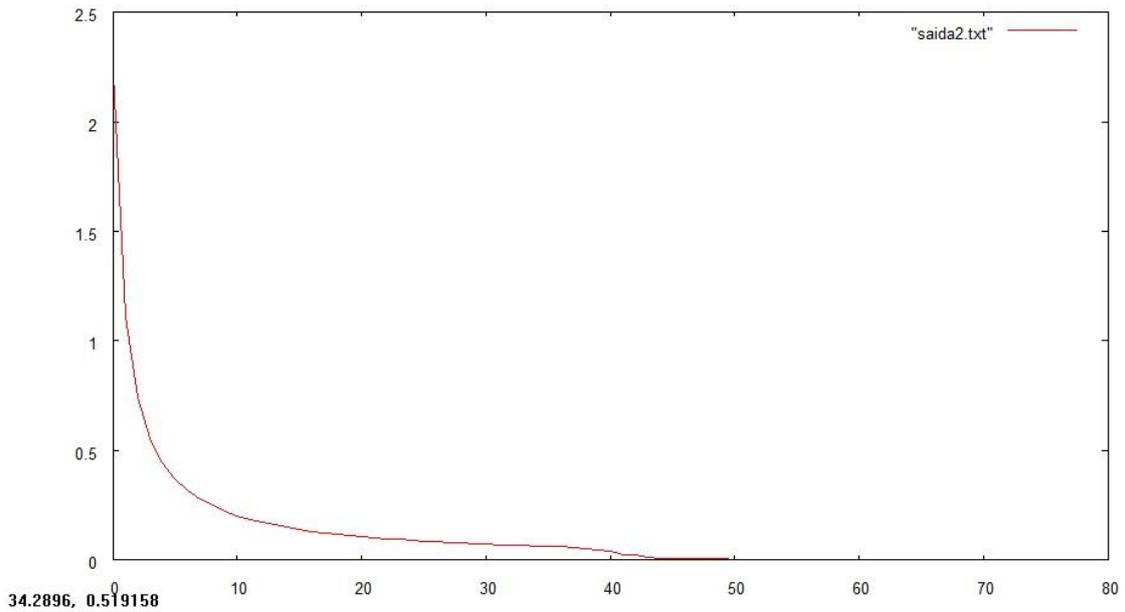
**Figura 6 – Probabilidade de entrega de mensagens X Tempo (horas) – Primeiro Cenário**

- Probabilidade de entrega ( $P_{\text{entrega}}$ ) das mensagens no segundo cenário é apresentada na figura 7;



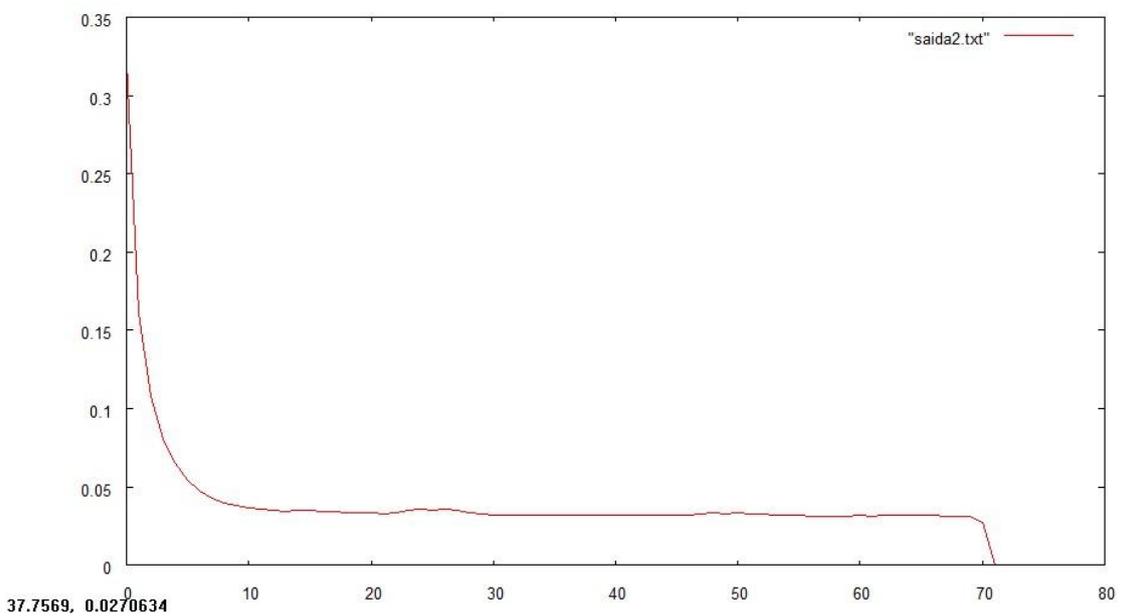
**Figura 7 – Probabilidade de entrega de mensagens X Tempo (horas) – Segundo Cenário**

- O tráfego (Traf) de mensagens no primeiro cenário é apresentado na figura 8;



**Figura 8 – Tráfego de mensagens X Tempo (horas) – Primeiro Cenário**

- O tráfego (Traf) de mensagens no segundo cenário é apresentado na figura 9;



**Figura 9 – Tráfego de mensagens X Tempo (horas) – Segundo Cenário**

- O atraso médio para entrega das mensagens (L) no primeiro cenário foi de 20 horas e 09 minutos e no segundo cenário de 16 horas e 18 minutos;

- A média do número de saltos entre aeroportos até as mensagens serem entregues (H) foi de 3,497 saltos no primeiro cenário e de 2.907 saltos no segundo cenário;
- Através do tempo médio de atraso observado em contraponto com as distâncias percorridas para entrega das mensagens é possível estabelecer um ponto de *tradeoff* entre essa DTN e a Internet comum, ou seja, dependendo da conexão de Internet que esteja sendo utilizada, do volume dos dados a serem transferidos e da distância a ser percorrida, o uso da DTN pode ser mais vantajoso e mais rápido. Por exemplo, a transmissão de 18 GB através de uma conexão com a Internet a uma taxa de transmissão de dados de 10 Mbps levaria 4 horas, em condições perfeitas, correspondendo a transmitir o mesmo volume de dados no modelo proposto em um vôo de 2 horas de duração, tendo em vista o tempo de conexão do avião com o aeroporto 1 hora antes e 1 hora depois do vôo.

## Capítulo 6

### Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste Capítulo são apresentadas as principais contribuições e conclusões alcançadas com esse trabalho. Também são apresentadas as soluções propostas e problemas encontrados ao longo do trabalho, assim como uma recapitulação dos resultados obtidos. Concluindo o presente Capítulo, são listadas algumas sugestões de trabalho futuros que poderão se beneficiar das contribuições do mesmo.

## 6.1 Considerações Finais

Com a utilização de um simulador desenvolvido para permitir uma análise mais detalhada sobre a proposta de se utilizar a infra-estrutura do tráfego aéreo no âmbito nacional para uma rede tolerante a atrasos e desconexões, foi possível adquirir uma melhor compreensão dos nuances das características do cenário atual do transporte aéreo brasileiro em virtude da utilização de sua estrutura para troca de mensagens.

As principais dificuldades encontradas ao longo do desenvolvimento do presente trabalho foram de cunho pessoal, causando a redução do tempo dedicado à sua conclusão. Além dessas dificuldades também surgiram problemas inerentes ao trabalho, como a dificuldade na definição de utilização de um simulador de DTNs mais generalista, o ONE [37], e tentar adaptá-lo ao modelo a ser analisado ou de implementação de um simulador criado exclusivamente e adaptado ao modelo. Após várias tentativas nas duas abordagens foi decidido que seria mais adequado desenvolver um simulador específico para o modelo.

Outro problema encontrado ao longo do trabalho foi que o simulador, na hora da execução, apresentava erro que se achava ser devido à sobrecarga da memória, o que acarretou um elevado consumo de tempo na tentativa de contornar essa situação. Contudo, após apuração detalhada do código, foi constatado que o erro era causado devido à falha de endereçamento de memória.

Foi verificado que o atraso para entrega das mensagens foi bastante elevado, tornando-o inviável para o uso prático de troca de dados de pequeno tamanho. Porém, existe a expectativa de que, para um grande volume de dados, essa rede pode ser uma alternativa ou até melhor do que o uso de Internet, considerando taxas de transferência baixas e médias na Internet.

Além disso, pode-se verificar que o número de saltos para as mensagens alcançarem seu destino não é tão grande quanto se esperava com valores médios entre três e quatro saltos até serem entregues. Outra observação foi o fato da probabilidade de entrega das mensagens serem de praticamente 100%, ou seja, quanto maior o tempo de vida da mensagem na rede, maior são as chances dela chegar ao seu destino.

Uma característica importante do simulador proposto nessa dissertação é a sua possibilidade de utilização como ferramenta para analisar DTNs de contatos programados e cenário de movimentação determinística, ou seja, redes tolerantes a atrasos ou desconexões com informações sobre os horários de contato entre seus nós, em qualquer ambiente ou infra-estrutura, não se limitando apenas à análise do uso de aeronaves para a troca de dados.

## 6.2 Trabalhos Futuros

Com base nas informações extraídas deste trabalho, propõem-se alguns trabalhos futuros:

- Imagina-se um maior refinamento no simulador, com a finalidade de que o mesmo possa ser generalizado para qualquer tipo de DTN e em qualquer cenário, seja ele estocástico ou determinístico;
- Outro refinamento no simulador que traria bons resultados seria realizar a integração do cenário de geração de mensagens apenas no começo da simulação, com o cenário de geração de mensagens ao longo da mesma;
- Realizar uma medição mais detalhada dos horários dos vôos, incluindo os atrasos e cancelamentos ocorridos na prática com o objetivo de se aproximar ainda mais do comportamento real da rede;
- Expandir o escopo da rede a ser analisada de forma a integrar o cenário proposto com o de uma DTN que utiliza veículos automotores, aumentando assim o alcance e as possibilidades de aplicação dela.
- Realizar medições reais do cenário analisado neste trabalho de forma a auxiliar na melhor caracterização do mesmo e no refinamento do modelo para que reflita mais fidedignamente a realidade.

# Referências Bibliográficas

- [1] CORSON, S., and MARKER, J. *Mobile Ad hoc Networking (MANET)*. IETF-RFC 2501, 1999.
- [2] ILYAS, M., and DORF, R. C. Eds. *The handbook of ad hoc wireless networks*. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, USA, 2003.
- [3] CERF, V., BURLEIGH, S., HOOKE, A., TORGERSON, L., DURST, R., SCOTT, K., TRAVIS, E., and WEISS, H. *Interplanetary Internet (IPN): Architectural Definition*. URL: <http://www.ipnsig.org/reports/memo-ipnrg-arch-00.pdf>. Último acesso em 08/09/2011.
- [4] FALL, K. *A Delay-Tolerant Network Architecture for Challenged Internets*. In ACM SIGCOMM'03 (August 2003).
- [5] CERF, V., BURLEIGH, S., HOOKE, A., TORGERSON, L., DURST, R., SCOTT, K., FALL, K., and WEISS, H. *Delay-Tolerant Networking Architecture*. IETF – RFC 4838, 2007.
- [6] WARTHMAN, F. *Delay-Tolerant Networks (DTNs): a Tutorial v1.1*. Relatório técnico, Warthman Associates, março de 2003. URL: <HTTP://www.dtnrg.org/docs/tutorials/warthman-1.1.pdf>. Último acesso em 08/09/2011.
- [7] BURLEIGH, S., HOOKE, A., TORGERSON, L., FALL, K., CERF, V., DURST, R., SCOTT, K., and WEISS, H. *Delay-Tolerant Networking: an Approach to Interplanetary Internet*. IEEE Communications Magazine 41 (June 2003), 128-136.

- [8] SHAH, R., ROY, S., JAIN, S., and BRUNETTE, W. *Data MULEs: Modeling a Three-tier Architecture for Sparse Sensor Networks*. IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications (SNPA) (May 2003), 30-41.
- [9] HUI, P., CHAINTREAU, A., SCOTT, J., GASS, R., CROWCROFT, J., and DIOT, C. *Pocket Switched Networks and Human Mobility in Conference Environments*. ACM SIGCOMM Workshop on Delay-Tolerant Networking (WDTN) (2005), ACM Press, 244-251.
- [10] LINDGREN, A., DIOT, C., and SCOTT, J. *Impact of Communication Infrastructure on Forwarding in Pocket Switched Networks*. ACM SIGCOMM Workshop on Challenged Networks (CHANTS) (September 2006), ACM Press, 261-268.
- [11] ZHANG, Z. *Routing in Intermittently Connected Mobile Ad Hoc Networks and Delay Tolerant Networks: Overview and Challenges*. IEEE Communications Surveys & Tutorials 8, 1 (October 2006), 24-37.
- [12] VAHDAT, A., and BECKER, D. *Epidemic Routing for Partially-Connected Ad Hoc Networks*. Relatório Técnico CS-200006, Duke University (April 2000).
- [13] SPYROPOULOS, T., PSOUNIS, K., and RAGHAVENDRA, C. S. *Spray and Wait: An Efficient Routing Scheme for Intermittently Connected Mobile Networks*. Em Proceedings of ACM SIGCOMM Workshop on Delay-Tolerant Networking (WDTN) (2005).
- [14] GROSSGLAUSER, M., and TSE, D. N. C. *Mobility Increases the Capacity of Ad Hoc Wireless Networks*. Em IEEE/ACM Transactions on Networking (August 2002), vol. 10, ACM Press New York, 477-486.
- [15] HARRAS, K. A., ALMEROTH, K. C., and BELDING-ROYER, E. M. *Delay Tolerant Mobile Networks (DTMNs): Controlled Flooding Schemes in Sparse Mobile Networks*. International Conferences on Networking (IFIP) (May 2005).

- [16] NAIN, D., PETIGARA, N., and BALAKRISHNAN, H. *Integrated Routing in Storage for Messaging Applications in Mobile Ad Hoc Networks*. *Mobile Networks and Applications* 9, 6 (December 2004), 595-604.
- [17] SMALL, T., and HAAS, Z. J. *The Shared Wireless Infostation Model: A New Ad Hoc Networking Paradigm*. Em ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc) (2003), ACM Press, 233-244.
- [18] SPYROPOULOS, T., PSOUNIS, K., and RAGHAVENDRA, C. S. *Single-copy Routing in Intermittently Connected Mobile Networks*. Em Communications Society Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks (SECON) (2004), 235-244.
- [19] SU, J., CHIN, A., POPIVANNOVA, A., GOEL, A., and DE LARA, E. *User Mobility for Opportunistic Ad-Hoc Networking*. Em IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA) (2004), IEEE Computer Society, 41-50.
- [20] BALASUBRAMANIAN, A., LEVINE, B. N., and VENKATARAMANI, A. *DTN Routing as a Resource Allocation Problem*. Em ACM SIGCOMM (August 2007).
- [21] JONES, E. P. C., LI, L., and WARD, P. A. S. *Practical Routing in Delay-Tolerant Networks*. Em ACM SIGCOMM Workshop on Delay-Tolerant Networking (WDTN) (2005), ACM Press, 237-243.
- [22] DAVIS, J. A., FAGG, A. H., and LEVINE, B. N. *Wearable Computers as Packet Transport Mechanisms in Highly-Partitioned Ad-Hoc Networks*. Em IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC) (October 2001), IEEE Computer Society.
- [23] LINDGREN, A., DORIA, A., and SCHELÉN, O. *Probabilistic Routing in Intermittently Connected Networks*. Em International Workshop on Service Assurance with Partial and Intermittent Resources (SAPIR) (August 2004), vol.7, Springer.

- [24] NAUMOV, V., BAUMANN, R., and GROSS, T. *An Evaluation of Inter-Vehicle Ad Hoc Networks Based on Realistic Vehicular Traces*. Em *MobiHoc '06: Proceedings of the 7<sup>th</sup> ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing* (New York, NY, USA) (2006), ACM, 108-119.
- [25] YOUSEFI, S., MOUSAVI, M. S., and FATHY, M. *Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs): Challenges and Perspectives*. Em *ITS Telecommunications Proceedings, 2006 6<sup>th</sup> International Conference on* (June 2006), 761-766.
- [26] ZHAO, W., AMMAR, M., and ZEGURA, E. *A Message Ferrying Approach for Data Delivery in Sparse Mobile Ad Hoc Networks*. Em *ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc)* (2004), ACM Press, 187-198.
- [27] ZHAO, W., AMMAR, M., and ZEGURA, E. *Controlling the Mobility of Multiple Data Transport Ferries in a Delay-Tolerant Network*. Em *IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)* (March 2005), vol. 2, 1407-1418.
- [28] LUBY, M. G., MITZENMACHER, M., SHOKROLLAHI, M. A., and SPIELMAN, D. A. *Efficient Erasure Correcting Codes*. *IEEE Transactions on Information Theory* 47, 2 (February 2001), 569-584.
- [29] PLANK, J. S., and THOMASON, M. G. *A Practical Analysis of Low-Density Parity-Check Erasure Codes for Wide-Area Storage Applications*. Em *International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN)* (June 2004), IEEE Computer Society.
- [30] JAIN, S., FALL, K., and PATRA, R. *Routing in a Delay Tolerant Network*. Em *ACM SIGCOMM* (2004), ACM Press, 145-158.
- [31] FERREIRA, A. *Building a Reference Combinatorial Model for MANETs*. *IEEE Network* 18, 5 (September 2004), 24-29.
- [32] KERÄNEN, A., and OTT, O. *DTN Over Aerial Carriers*. In *CHANTS'09* (September 2009).

- [33] WAITZMAN, D. *Standard for the Transmission of IP Datagrams on Avian Carriers*. IETF-RFC 1149 (1990).
- [34] JONSON, T., PEZESHKI, J., CHAO, V., SMITH, K., FAZIO, J., and HAMILTON, B. A. *Application of Delay Tolerant Networking (DTN) in Airborne Networks*. Em IEEE Military Communications Conference (MILCOM) (2008).
- [35] LEE, K. C., PIECHOWICZ, A., GERLA, M., TIWARI, A., GANGULI, A., and KRZYSIAK, D. *Delay Tolerant Mobility Aware Routing/Mobility Dissemination Protocol for the Airborne Network*. Em IEEE Military Communications Conference (MILCOM) (2009).
- [36] HOTRAN (ANAC). URL <http://www2.anac.gov.br/hotran/>. Último acesso em 12/09/2011.
- [37] KERÄNEN, A., OTT, O., and KÄRKKÄINEN, T. *The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation*. In SIMUTools'09: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Simulation Tools and Techniques, New York, USA (2009). ICST.

# Apêndice

## A - Simulador DTN

```
#include<stdio.h>
```

```
#include<stdlib.h>
```

```
#include<math.h>
```

```
#include<time.h>
```

```
#include<string.h>
```

```
#define MAX_VOO 10370
```

```
#define MAX_AEROPORTO 4
```

```
#define MAX_LINHA 33
```

```
#define MAX_MENSAGEM 100
```

```
#define TEMPO_MAX 4320 //4320 é o tempo máximo em minutos do período de 3  
dias
```

```
#define MAX_HORAS 72
```

```
typedef struct evento
```

```
{
```

```
    double tempo;
```

```
    int tipo, id_voo;
```

```
    struct evento *prox;
```

```
}Tevento;
```

```
typedef struct data
```

```
{
```

```
    int dia, mes, hora, minuto;
```

```
}Tdata;
```

```
typedef struct voo
```

```
{
```

```
    int    id_aer_origem,    id_aer_destino,    mensagem[MAX_MENSAGEM],  
    saltos[MAX_MENSAGEM];
```

```
    long int instante_origem, instante_destino;
```

```
}Tvoo;
```

```
typedef struct mensagem
```

```

{
    int saltos_final, destino;

    long int inst_criacao, inst_entrega;
}Tmensagem;

typedef struct aeroporto
{
    int mensagem[MAX_MENSAGEM], saltos[MAX_MENSAGEM];

    char nome[MAX_AEROPORTO];
}Taeroporto;

long int calcula_instante(Tdata);

void insere_evento(long int, int, int, int);

void processa_evento(void);

void cria_mensagens(int);

int insere_mensagem_aeroporto(int, int, int);

void insere_mensagem_voo(int, int, int);

void rodada();

long int tempo, mediaTempoEntregaRodada;

```

```

int counter=0, ultima_hora, msg_entregues, msg_geradas;

double saltosRodada, probEntrega[MAX_HORAS], trafego[MAX_HORAS];

Tevento *no_cabeca;

Taeroporto *aeroporto;

Tmensagem mensagem[MAX_MENSAGEM];

Tvoo voo[MAX_VOO];

int main(void)

{

    int i, j, rod;

        double            mediaSaltos,            mediaProbEntrega[MAX_HORAS],
mediaTrafego[MAX_HORAS], mediaTempoEntrega;

        FILE *saida, *saida2, *saida3;

        mediaSaltos = 0;

        mediaTempoEntrega = 0;

        for (j = 0; j < MAX_HORAS; j++)

        {

            mediaProbEntrega[j] = 0;

            mediaTrafego[j] = 0;

        }

```

```

printf("Forneca o numero de rodadas: ");

scanf("%d", &rod);

for (i=0;i<rod;i++)

{

    ultima_hora = 0;

    rodada();

    printf("rodada %d\n", i);

    mediaSaltos += saltosRodada;

    mediaTempoEntrega += mediaTempoEntregaRodada;

    for (j = 0; j < MAX_HORAS; j++)

    {

        mediaProbEntrega[j] += probEntrega[j];

        mediaTrafego[j] += trafego[j];

    }

}

mediaSaltos /= rod;

mediaTempoEntrega /= rod;

```

```

for (j = 0; j < MAX_HORAS; j++)

{

    mediaProbEntrega[j] /= rod;

    mediaTrafego[j] /= rod;

}

printf("Media de saltos: %f\n", mediaSaltos);

printf("Media do tempo de entrega das mensagens: %dh%dmin\n",
((int)mediaTempoEntrega)/60, ((int)mediaTempoEntrega)%60);

saida = fopen("saida.txt", "w+");

fprintf(saida, "# Probabilidade de entrega X Tempo\n");

fprintf(saida, "# Coluna 1 > Probabilidade de entrega\n");

fprintf(saida, "# Coluna 2 > tempo\n");

saida2 = fopen("saida2.txt", "w+");

fprintf(saida2, "# Trafego X Tempo\n");

fprintf(saida2, "# Coluna 1 > Trafego\n");

fprintf(saida2, "# Coluna 2 > tempo\n");

saida3 = fopen("saida3.txt", "w+");

fprintf(saida3, "# Probabilidade de entrega X Trafego\n");

fprintf(saida3, "# Coluna 1 > Probabilidade de entrega\n");

fprintf(saida3, "# Coluna 2 > Trafego\n");

for (j = 0; j < MAX_HORAS; j++)

```

```

    {

        fprintf(saida, "%d\t%f\n", j, mediaProbEntrega[j]);

        fprintf(saida2, "%d\t%f\n", j, mediaTrafego[j]);

        fprintf(saida3, "%f\t%f\n", mediaTrafego[j], mediaProbEntrega[j]);

    }

    fclose(saida);

    fclose(saida2);

    fclose(saida3);

    return 0;

}

void rodada()

{

    int i, j, k, compara, total_aeroportos, saltos[200];

    long int tempo_entrega, tempo_entrega1, tempo_entrega2, aux;

    Tdata data;

    char linha[MAX_LINHA], temp[3], temp_aer[MAX_AEROPORTO];

    Tmensagem auxiliar;

```

```

FILE *arquivo, *saida, *saida2;

no_cabeca = (Tevento *)malloc(sizeof(Tevento));

if (!no_cabeca)

    exit (1);

no_cabeca = NULL;

tempo = 60;          //inicia em 60 devido ao evento de conexão antes de
decolagem

saltosRodada = 0;

mediaTempoEntregaRodada = 0;

msg_entregues = 0;

ultima_hora = 0;

for (j = 0; j < MAX_HORAS; j++)

{

    probEntrega[j] = 0;

    trafego[j] = 0;

}

arquivo = fopen("entrada.txt", "r");

if(!arquivo)

{

```

```

        printf("Erro ao abrir o arquivo\n");

// return 0;

}

for (i = 0; i<200; i++)

{

    saltos[i] = 0;

}

temp[0] = temp[1] = '0';

temp[2] = '\0';

fgets(linha, MAX_LINHA, arquivo);

temp[1] = linha[22];

total_aeroportos = 100*atoi(temp);

temp[1] = linha[23];

total_aeroportos += 10*atoi(temp);

temp[1] = linha[24];

total_aeroportos += atoi(temp);

aeroporto = (Taeroporto *)malloc((total_aeroportos)*sizeof(Taeroporto));

```

```

if (!aeroporto)

    exit(1);

for (i = 0; i < total_aeroportos; i++)

    for (j = 0; j < MAX_MENSAGEM; j++)

        aeroporto[i].mensagem[j] = -1;

cria_mensagens(total_aeroportos);

for (i = 0; i < MAX_VOO; i++)

    for (j = 0; j < MAX_MENSAGEM; j++)

        voo[i].mensagem[j] = -1;

fgets(linha, MAX_LINHA, arquivo);

i = 0;

k = 0;

compara = 0;

while(!feof(arquivo))

{

    for (j = 0; j < 3; j++)

        temp_aer[j] = linha[j];

```

```

temp_aer[3] = '\0';

if (!i)

{

    strcpy(aeroporto[0].nome, temp_aer);

    voo[i].id_aer_origem = 0;

}

else

{

    for (j = 0; j <= k; j++)

        if (!strcmp(aeroporto[j].nome, temp_aer))

            compara = j + 1;

    if (compara)

        voo[i].id_aer_origem = compara - 1;

    else

    {

        k += 1;

        strcpy(aeroporto[k].nome, temp_aer);

        voo[i].id_aer_origem = k;

    }

}

```

```
compara = 0;

temp[0] = linha[8];

temp[1] = linha[9];

data.dia = atoi(temp);

temp[0] = linha[11];

temp[1] = linha[12];

data.mes = atoi(temp);

temp[0] = linha[14];

temp[1] = linha[15];

data.hora = atoi(temp);

temp[0] = linha[17];

temp[1] = linha[18];

data.minuto = atoi(temp);

voo[i].instante_origem = calcula_instante(data);

insere_evento(voo[i].instante_origem, 0, voo[i].id_aer_origem, i);

for (j = 4; j < 7; j++)

    temp_aer[j - 4] = linha[j];

temp_aer[3] = '\0';

for (j = 0; j <= k; j++)
```

```

        if (!strcmp(aeroporto[j].nome, temp_aer))

            compara = j + 1;

if (compara)

    voo[i].id_aer_destino = compara - 1;

else

{

    k += 1;

    strcpy(aeroporto[k].nome, temp_aer);

    voo[i].id_aer_destino = k;

}

compara = 0;

temp[0] = linha[20];

temp[1] = linha[21];

data.dia = atoi(temp);

temp[0] = linha[23];

temp[1] = linha[24];

data.mes = atoi(temp);

temp[0] = linha[26];

temp[1] = linha[27];

data.hora = atoi(temp);

```

```

temp[0] = linha[29];

temp[1] = linha[30];

data.minuto = atoi(temp);

voo[i].instante_destino = calcula_instante(data);

insere_evento(voo[i].instante_destino, 1, voo[i].id_aer_destino, i);

fgets(linha, MAX_LINHA, arquivo);

    i++;

}

while (no_cabeca != NULL)

{

    processa_evento();

}

k = 0;

for (i = 0; i < MAX_MENSAGEM; i++)

{

    if (mensagem[i].saltos_final > 0)

    {

```

```

        tempo_entrega1 = mensagem[i].inst_entrega -
mensagem[i].inst_criacao;

        for (j = i + 1; j < MAX_MENSAGEM; j++)
        {

            if (mensagem[j].saltos_final > 0)

                {

                    tempo_entrega2 = mensagem[j].inst_entrega -
mensagem[j].inst_criacao;

                    if (tempo_entrega2 < tempo_entrega1)

                        {

                            auxiliar = mensagem[j];

                            mensagem[j] = mensagem[i];

                            mensagem[i] = auxiliar;

                        }

                }

        }

        saltos[mensagem[i].saltos_final]++;

    }

}

for (i = 0; i < MAX_MENSAGEM; i++)

{

```

```

        if (mensagem[i].saltos_final > 0)
        {
            tempo_entrega = mensagem[i].inst_entrega -
mensagem[i].inst_criacao;

            mediaTempoEntregaRodada += mensagem[i].inst_entrega -
mensagem[i].inst_criacao;

            k++;
        }
    }

    mediaTempoEntregaRodada /= k;

    k=0;

    j=0;

    for (i = 0; i<200; i++)
    {

        if (saltos[i])
        {

            k += i;

            j += saltos[i];

        }
    }

```

```

}

saltosRodada = ((double)j)/k;

for (j = ultima_hora; j < MAX_HORAS; j++)

{

    probEntrega[j] = probEntrega[j-1];

    trafego[j] = (double(msg_geradas)/((j+1)*3600))*(0.8);

}

fclose(arquivo);

}

```

```

void cria_mensagens(int total_aeroportos)

{

    int i, origem;

    srand(time(NULL)); //inicializa o randomizador

    for (i = 0; i < MAX_MENSAGEM; i++)

    {

```

```

mensagem[i].saltos_final = -1;

mensagem[i].inst_entrega = 0;

mensagem[i].destino = rand()%total_aeroportos;

//mensagem[i].inst_criacao = (17*rand())%TEMPO_MAX;

mensagem[i].inst_criacao = 0;

origem = rand()%total_aeroportos;

while (origem == mensagem[i].destino)

    origem = rand()%total_aeroportos;

origem = insere_mensagem_aeroporto(i, origem, 0);

}

}

int insere_mensagem_aeroporto(int indice_mensagem, int indice_aeroporto, int saltos)

{

    int i, compara;

    i = 0;

    compara = 0;

    while (aeroporto[indice_aeroporto].mensagem[i] >= 0)

    {

```

```

        if (aeroporto[indice_aeroporto].mensagem[i] == indice_mensagem)

            compara = i + 1;

            i++;

    }

    if (!compara)

    {

        aeroporto[indice_aeroporto].mensagem[i] = indice_mensagem;

        aeroporto[indice_aeroporto].saltos[i] = saltos;

    }

    else

    {

        if (aeroporto[indice_aeroporto].saltos[compara - 1] > saltos)

            aeroporto[indice_aeroporto].saltos[compara - 1] = saltos;

        else

            saltos = aeroporto[indice_aeroporto].saltos[compara - 1];

    }

    return saltos;

}

```

```

void insere_mensagem_voo(int indice_mensagem, int indice_voo, int saltos)

```

```

{

    int i;

    i = 0;

    while (voo[indice_voo].mensagem[i] >= 0)

        i++;

    voo[indice_voo].mensagem[i] = indice_mensagem;

    voo[indice_voo].saltos[i] = saltos;

}

```

long int calcula\_instante(Tdata data) //Considera-se o instante inicial como 0 minutos, equivalente a data 23/08 as 00:00h

```

{

    long int calculo;

    int i;

    calculo = data.minuto + (60 * data.hora) + (24 * 60 * (data.dia - 23));

    return calculo;

}

```

```

void insere_evento(long int t, int tipo, int id_aer, int id_voo)
{
    Tevento *novo, *temp, *ant;

    novo = (Tevento *)malloc(sizeof(Tevento));

    if (!novo)
        exit(1);

    novo->tempo = t;

    novo->tipo = tipo;

    novo->id_voo = id_voo;

    if (no_cabeca == NULL)
    {
        novo->prox = NULL;

        no_cabeca = novo;
    }

    else
    {
        temp = no_cabeca->prox;

        ant = no_cabeca;

        while ((temp != NULL) && (temp->tempo < t))

```

```
{  
  
    ant = temp;  
  
    temp = temp->prox;  
  
}  
  
if (no_cabeca == ant)  
  
    {  
  
        if (ant->tempo < t)  
  
            {  
  
                novo->prox = temp;  
  
                ant->prox = novo;  
  
            }  
  
        else  
  
            {  
  
                novo->prox = no_cabeca;  
  
                no_cabeca = novo;  
  
            }  
  
        }  
  
    }  
  
else  
  
    {  
  
        novo->prox = temp;  
  
    }
```

```

        ant->prox = novo;

    }

}

}

void processa_evento()

{

    int i, j, indice_mensagem, saltos;

    Tevento *temp, *aux;

    temp = no_cabeca;

    i = 0;

    if (!(*temp).tipo) //evento tipo 1 (partida)

    {

        indice_mensagem =
aeroporto[voo[(*temp).id_voo].id_aer_origem].mensagem[i];

        saltos = aeroporto[voo[(*temp).id_voo].id_aer_origem].saltos[i] + 1;

        while (indice_mensagem >= 0)

        {

```

```

        if ((mensagem[indice_mensagem].inst_criacao < (*temp).tempo)
        && (mensagem[indice_mensagem].saltos_final < 0))

            insere_mensagem_voo(indice_mensagem,
            (*temp).id_voo, saltos);

            i++;

            indice_mensagem =
aeroporto[voo[(*temp).id_voo].id_aer_origem].mensagem[i];

            saltos = aeroporto[voo[(*temp).id_voo].id_aer_origem].saltos[i] +
1;

        }

    }

else //evento tipo 0 (chegada)

{

    indice_mensagem = voo[(*temp).id_voo].mensagem[i];

    saltos = voo[(*temp).id_voo].saltos[i];

    while (indice_mensagem >= 0)

    {

        if (mensagem[indice_mensagem].saltos_final < 0)

        {

            saltos = insere_mensagem_aeroporto(indice_mensagem,
voo[(*temp).id_voo].id_aer_destino, saltos);

            if (mensagem[indice_mensagem].destino ==
voo[(*temp).id_voo].id_aer_destino)

```

```

        {

            mensagem[indice_mensagem].saltos_final = saltos;

            mensagem[indice_mensagem].inst_entrega      =
(*temp).tempo;

            msg_geradas = 0;

            for (j = 0; j < MAX_MENSAGEM; j++)

                {

                    if

(int(mensagem[indice_mensagem].inst_entrega/60)          >=
int(mensagem[j].inst_criacao/60))

                        {

                            msg_geradas++;

                        }

                }

            if (msg_geradas == 0)

                msg_geradas++;

            if

(int(mensagem[indice_mensagem].inst_entrega/60) < MAX_HORAS)

                {

```

```

                for (j = ultima_hora; j <=
int(mensagem[indice_mensagem].inst_entrega/60); j++)

                {

                    probEntrega[j] =
double(msg_entregues)/msg_geradas;

                    trafego[j] =
(double(msg_geradas)/((j+1)*3600))*(80);

                }

                if (ultima_hora < 72)

                    ultima_hora =
int(mensagem[indice_mensagem].inst_entrega/60);

                }

                msg_entregues++;

            }

        }

        i++;

        indice_mensagem = voo[(*temp).id_voo].mensagem[i];

        saltos = voo[(*temp).id_voo].saltos[i];

    }

}

```

```
no_cabeca = temp->prox;
```

```
free(temp);
```

```
}
```