

MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE DEFESA

MARCUS VINICIUS BATELLA MEDEIROS

EMPREGO DE REDES TOLERANTES A ATRASOS E DESCONEXÕES EM
SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES MILITARES

Rio de Janeiro
2010

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

MARCUS VINICIUS BATELLA MEDEIROS

EMPREGO DE REDES TOLERANTES A ATRASOS E DESCONEXÕES EM
SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES MILITARES

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Defesa do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Defesa.

Orientador: Ronaldo Moreira Salles

Rio de Janeiro
2010

©2010

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
Praça General Tibúrcio, 80-Praia Vermelha.
Rio de Janeiro-RJ CEP 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmear ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do autor e do orientador.

Medeiros, M. V. B.

Emprego de Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões em Sistemas de Comunicações Militares, Marcus Vinicius Batella Medeiros. – Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2010. 120 p.: il, graf., tab.

Dissertação: (mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2010.

1. Redes de Computadores. 2. Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões. 3. Sistemas de Comunicações Militares.
I. Título. II. Instituto Militar de Engenharia.

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

MARCUS VINICIUS BATELLA MEDEIROS

EMPREGO DE REDES TOLERANTES A ATRASOS E DESCONEXÕES EM
SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES MILITARES

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Defesa do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Defesa.

Orientador: Ronaldo Moreira Salles - Aprovada em 10 de janeiro de 2010 pela seguinte Banca Examinadora:

Ronaldo Moreira Salles - Ph.D. do IME - Presidente

Jose Ferreira de Rezende - Dr. da UFRJ

Carlos Alberto Vieira Campos - D.Sc. da UNIRIO

Sergio Kostin- D. Sc. do IME

Rio de Janeiro
2010

Dedico este trabalho a minha esposa e filhos
que me apoiaram neste árduo caminho.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Gláucia, agradeço a compreensão, apoio e constante incentivo ao meu trabalho, por suportar minha ausência em diversos momentos de convívio familiar.

Agradeço a meus filhos Daniel e Vivian, que souberam compreender minha ausência e dar apoio ao pai neste período de estudos.

Aos meus pais pelo apoio em tudo que faço e pelo conhecimento transmitido ao longo de sua vida.

Ao meu orientador, Ronaldo Moreira Salles, por acreditar em meu potencial e na experiência de mais de 20 anos como Oficial de Comunicações do Exército.

Aos colegas TC Paulo César Pellanda, TC Jorge Silva Garcia e Cap David Fernandez Cruz Moura, pelo incentivo e apoio para realização do curso.

Por fim, agradeço a todos os professores e funcionários do IME – Instituto Militar de Engenharia.

Marcus Vinicius Batella Medeiros

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVO	14
1.1 TRABALHOS PUBLICADOS.....	15
1.3 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES	16
1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	16
1.5 MOTIVAÇÃO	18
1.6 CONTEXTO DA PESQUISA	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E TRABALHOS RELACIONADOS	23
2.1 REDES TOLERANTES A ATRASOS E DESCONEXÕES	23
2.2 UTILIZAÇÃO DE DTNs NO SISTEMA DE COMUNICAÇÕES TÁTICO DE BRIGADA	35
2.3 TRABALHOS RELACIONADOS	37
3. SISTEMAS BASEADOS EM JORNADAS	40
3.1 SISTEMA RÁDIO COM CARACTERÍSTICAS DTN	40
3.2 SISTEMA DE MENSAGEIROS COM CARACTERÍSTICAS DTN	52
4. SISTEMA DE CONTATOS OPORTUNISTAS	57
4.1 CONCEITOS	57
4.2 TECNOLOGIAS UTILIZADAS NAS MANETS – DTN	58
4.3 CENÁRIO E PARÂMETROS DAS SIMULAÇÕES	61
4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	64
4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
5. SISTEMAS DE TOMADA DE DECISÃO.....	75
5.1 ESCALONADOR DE MENSAGENS	75
5.2 DECISOR DO MEIO DE TRANSMISSÃO	89
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
6.1 CONCLUSÕES	94
6.2 TRABALHOS FUTUROS	95
7 REFERÊNCIAS BILIOGRÁFICAS	97
8. APÊNDICES	101
8.1 GLOSSÁRIO DE TERMOS MILITARES	101
8.2 OPERAÇÃO SANTA CRUZ	107

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1: Interoperabilidade dos meios de transmissão.	14
Figura 1.2: Fluxo de transmissão de mensagens - interligação entre os capítulos.	17
Figura 1.3: Funcionamento da arquitetura TCP/IP.	18
Figura 1.4: Meios de comunicações do Módulo Telemática de Brigada.	24
Figura 2.1: As configurações salto a salto de um sistema “store-and-forward”	25
Figura 2.2: Topologia DTN	25
Figura 2.3: Sistema de transferência de Custódia	26
Figura 2.4: Sistema de transferência de custódia – Aviso de recebimento	26
Figura 2.5: Bundle Protocol	28
Figura 2.6: Complexidade X Desempenho de algoritmos de roteamento	29
Figura 2.7: Grafo Evolutivo	33
Figura 2.8: Grafo Temporal	34
Figura 2.9: Distribuição dos meios de transmissão em um Posto de Comando	36
Figura 3.1: Redes Rádio típicas de uma Bda subordinada a uma DE	40
Figura 3.2.a: Diagrama de Rede Rádio padrão utilizado pelo EB.	41
Figura 3.2.b: Modo como as ligações rádio acontecem na prática.	41
Figura 3.3.a: Grafo de transmissão de mensagens rádio tradicional	43
Figura 3.3.b: Grafo com múltiplos caminhos	43
Figura 3.4.a: Sistema Simplex	44
Figura 3.4.b: Sistema Semiduplex	44
Figura 3.4.c: Sistema Duplex	44
Figura 3.5: Proposta de representação gráfica dos enlaces	45
Figura 3.6: Filas de mensagens no CTR	47
Figura 3.7: Modelo de grafo evolutivo	49
Figura 3.8: Enlaces rádio da operação Santa Cruz	51
Figura 3.9: Capacidade de tráfego do Sistema de Mensageiros	54
Figura 3.10: Sistema de Mensageiros com características DTN de uma Brigada	55
Figura 4.1: Cenário da Brigada em operações utilizado no estudo de caso	62
Figura 4.2.a: 1ª Simulação - Percentual de entregas	65
Figura 4.2.b: 1ª Simulação - Percentual de entregas (detalhe)	65
Figura 4.3.a: 1ª Simulação – Retardo	66

Figura 4.3.b: 1ª Simulação – Retardo (detalhe)	66
Figura 4.4: 2ª Simulação - Percentual de entregas	67
Figura 4.5: 2ª Simulação – Retardo	68
Figura 4.6: Comparação do Percentual de entregas - First Contact e Direct Delivery	69
Figura 4.7: Comparação do Percentual de entregas - Epidêmico e PROPHET	69
Figura 4.8: Comparação do Percentual de entregas - Spray and Wait e Maxprop	69
Figura 4.9: Comparação do Retardo – FC e DD	70
Figura 4.10: Comparação do Retardo - Epidêmico e PROPHET	70
Figura 4.11: Comparação do Retardo - Spray and Wait e Maxprop	70
Figura 4.12: 3ª Simulação - Percentual de entregas – FC e DD	71
Figura 4.13: 3ª Simulação - Percentual de entregas - Epidemic e PROPHET	72
Figura 4.14: 3ª Simulação - Percentual de entregas - Spray and Wait e Maxprop	72
Figura 4.15: 3ª Simulação - Retardo – FC e DD	73
Figura 4.16: 3ª Simulação - Retardo - Epidemic e PROPHET	73
Figura 4.17: 3ª Simulação - Retardo - Spray and Wait e Maxprop	73
Figura 5.1: Escalonador Priority Queuing	76
Figura 5.2: Arquitetura de uma Máquina de Inferência Fuzzy	78
Figura 5.3: Escalonador - Arquitetura do Sistema	80
Figura 5.4: Escalonador - Base de Regras implementada	82
Figura 5.5: Escalonador - Superfície de Saída do Sistema	83
Figura 5.6: Escalonador - Implementação do Sistema no Toolbox do Matlab	84
Figura 5.7: Resultado para 24 Mensagens	87
Figura 5.8: Resultado para 48 Mensagens	87
Figura 5.9: Resultado para 72 Mensagens	88
Figura 5.9: Arquitetura do Sistema	90
Figura 5.10: Decisor de Meio de Tx- Base de Regras implementada	91
Figura 5.11: Decisor de Meio de TX - Superfície de Saída do Sistema.	92
Figura 5.12: Decisor de Meio de TX	92
Figura 8.1: Modelo de mensagem operacional	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Horários do grafo temporal	49
Tabela 3.2: Horários do grafo temporal	50
Tabela 3.3: Quantidade de enlaces por escalão – Proposta	50
Tabela 3.4: Quantidade de enlaces por escalão – Op Santa Cruz	51
Tabela 4.1: Parâmetros das Simulações	63
Tabela 4.2: 1ª Simulação – Média do percentual de entregas	64
Tabela 4.3: 1ª Simulação – Média do Retardo	64
Tabela 4.4: 2ª Simulação - Percentual de entregas	67
Tabela 4.5: 2ª Simulação - Média do Retardo	67
Tabela 5.1: Graus de Inferência de Entrada – Postos e Graduações	81
Tabela 5.2: Graus de Inferência de Entrada – Prazos	81
Tabela 5.3: Função Barreira – Precedência	85
Tabela 5.4: Função Barreira – Expedidor	85
Tabela 5.5: Percentual de comprometimento	86
Tabela 5.6: Graus de Inferência de Classificação Sigilosa	90
Tabela 5.7: Tabela de Roteamento do Sistema DTN	93
Tabela 8.1: Postos e Graduações	103

LISTA DE ABREVIATURAS

ADUs - Application Data Units
Bda – Brigada (s)
Btl - Batalhão
C2 - Comando e Controle
C Msgr - Centro de Mensageiros
Cia - Companhia
CHANTS - CHALLENGED NeTworkS
CTR - Centro de Transmissão e Recepção
DSL - Digital Subscriber Line
DTN - Delay and Disruption Tolerant Networks
EG - Evolving Graphs
EM - Estado Maior
FDT - Fio Duplo Telefônico
FIFO - *Firt In First Out*
MANET - Mobile Ad Hoc Network
OM - Organizações Militares
ONE - Opportunistic Network Environment Simulator
PDR - Posto Rádio Diretor da Rede
PDUs - Protocol Data Units
PC - Posto de Comando
PCR - Posto de Comando Recuado
QoS - Quality of Service
SC2FTer - Sistema de Comando e Controle da Força Terrestre
SDNVs - Self-Delimiting Numeric Values
SISCOMIS - Sistema Brasileiro de Comunicação Militar por Satélite
SISTAC/Bda - Sistema Tático de Comunicações de Brigada
TKK - Teknillinen korkeakoulu

RESUMO

No cenário Militar, as redes convencionais estão sujeitas a constantes mudanças em sua topologia, resultando em instabilidades, atrasos e freqüentes desconexões. Surgem então as Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões (DTN) como solução dos problemas de conectividade. Várias propostas de protocolos de roteamento têm sido apresentadas, baseadas em diferentes dados experimentais ou de simulações. O nível de conhecimento da topologia da rede para utilização desses protocolos vem de abstrações denominadas Oráculos. De maneira geral, os protocolos de roteamento não levam em consideração a viabilidade da obtenção da informação pelo oráculo. O objetivo deste trabalho é apresentar as redes tolerantes a atrasos e desconexões como opção para transmissão de mensagens em sistemas de comunicações utilizados em operações militares, em particular o sistema de Comando e Controle em Combate em desenvolvimento pelo Exército Brasileiro. Apresentamos dois métodos de transmissão DTN totalizando três meios de transmissão distintos. É apresentado, ainda, um sistema de tomada de decisão para organização da fila e seleção do meio de transmissão, de acordo com as características de cada operação militar a ser utilizado. Os resultados das simulações mostram não só a compatibilidade dos meios de transmissão com o sistema em desenvolvimento, mas também com os hoje em uso pelo Exército.

ABSTRACT

In the military scenario, conventional networks are subjected to constant topology changes, instability, frequent delays and interruptions. In such scenario Delay and Disruption Tolerant Networks - DTN arise as a solution to problems of connectivity. Several routing protocols have been proposed for DTN, based on different experimental data or simulation. The level of network topology knowledge needed to use these protocols comes from abstractions called oracles. In general, routing protocols do not take into account the feasibility of obtaining information from the oracle. This paper aims to present the Delay and Disruption Tolerant Networks as an option for transmission of messages in communications systems used in military operations, in particular with the Combat Command and Control system developing by the Brazilian Army. We present two methods of DTN transmission totalizing three distinct ways of transmission. It is proposed, still, a decision-making support system for queue organization and selection of transmission media way, in accordance with the characteristics of each military operation to be used. The simulation results show not only the compatibility of the means of transmission with the system under development, but also with the means now in use by the Army.

1. INTRODUÇÃO

1.1. OBJETIVO

Este trabalho tem por finalidade apresentar um sistema de transmissão de mensagens eletrônicas com a utilização de Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões (*Delay and Disruption Tolerant Networks - DTN*) em complemento aos atuais Sistemas de Comunicações* de Brigada* e os sistemas previstos para integrarem o projeto Comando e Controle (C2)* em Combate do Exército Brasileiro.

O Sistema de Comunicações* das Brigadas* do Exército Brasileiro foi tomado como referencia por sua versatilidade e flexibilidade, podendo os resultados dele obtidos serem aplicados a qualquer outro escalão.

Com este fim, são abordados dois tipos de meios de transmissão: um baseado em jornadas, onde são utilizados como meios de transmissão o rádio, através de contatos programados, e os mensageiros, através de contatos previsíveis. Um terceiro meio é o de contatos oportunisticos, com a utilização de Redes Ad Hoc Móveis (*Mobile Ad Hoc Network –MANET*) como meio de transmissão.

Desta forma, é possível trabalhar com os 3 meios integrados, como mostra a Figura 1.1, formando um sistema de transmissão tolerante a atrasos e desconexões passível de ser integrado ao módulo de telemática de brigada* do projeto C2* em combate.

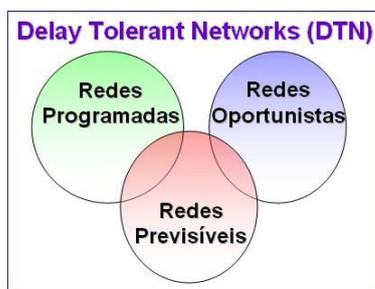


Figura 1.1: Interoperabilidade dos meios de transmissão.

O trabalho apresenta ainda um sistema de tomadas de decisão baseado em conceitos Fuzzy. Este sistema tem duas finalidades: reorganizar a fila de transmissão de mensagens de forma a

melhor adequá-la aos preceitos DTN e realizar a decisão de meio de transmissão para cada uma das mensagens.

As simulações das máquinas de inferência fuzzy foram realizadas utilizando o toolbox de lógica Fuzzy do Software Matlab 7.4.0.

A fim de orientar os usuários desta pesquisa sobre a terminologia militar aqui empregada, foi montado o Apêndice 8.1, que faz uma breve explanação sobre os principais termos e conceitos militares utilizados. Os termos marcados com um * estão presentes no referido apêndice.

De forma a trazer as simulações e estudos de caso a termos mais práticos, utilizamos como cenário dos sistemas de comunicações* de uma Brigada*, a operação didática da Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais do Exército Brasileiro denominada OPERAÇÃO SANTA CRUZ, em sua versão 2008, que tem os principais documentos de comunicações constantes do Apêndice 8.2.

A Operação Santa Cruz aborda a manobra ofensiva do V Exército de Campanha*, que tem em sua cadeia de comando a 13ª Divisão de Exército* e a 41ª Brigada Blindada*.

Para estudo deste trabalho, foram focadas as operações da 41ª Brigada Blindada*, que tem como área de manobra aproximadamente 70 km² com mais 30 km² do território inimigo para consecução de seus objetivos.

O tema é desenvolvido na Carta Topográfica “Santa Cruz”, escala 1:50.000, versão de 1993, que foi fornecida em formato digital pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército através da 5ª Divisão de Levantamento.

O software utilizado para visualização e edição da carta topográfica foi o ArcGIS em sua versão 9.

1.2. TRABALHOS PUBLICADOS

1) Título: **Métricas e Grafos para Redes Rádio Militares com Características de Tolerância a Atrasos e Desconexões;**

Evento: XII Encontro de Modelagem Computacional, 2009, Rio de Janeiro, RJ.

2) Título: **Sistema Fuzzy para Escalonamento de Mensagens Hierárquicas Militares;**

Evento: XII Encontro de Modelagem Computacional, 2009, Rio de Janeiro, RJ.

3) Utilização de MANETs - DTN em Sistemas de Comunicações Militares;

Evento: 8th International Information and Telecommunication Technologies Symposium (I2TS), 2009, Florianópolis, SC.

1.3. PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

Este trabalho apresenta como principais contribuições, dentre outras:

- ⇒ A proposta de um conjunto de métricas e grafos com múltiplas rotas com a finalidade de implementar qualidade de serviço nas redes rádio militares com características de tolerância a atrasos e desconexões (publicação Nr 1);
- ⇒ Uma metodologia de utilização do sistema de mensageiros de forma a aumentar a probabilidade de entrega das mensagens;
- ⇒ Um estudo comparativo dos protocolos de roteamento de MANETs-DTN em cenários militares (publicação Nr 3);
- ⇒ Um estudo comparativo do impacto da falta de mobilidade de nós em cenários de utilização de MANETs-DTN (publicação Nr 3);
- ⇒ Apresentação de um sistema Fuzzy de escalonamento de mensagens hierárquicas (publicação Nr 2);
- ⇒ Desenvolvimento de uma metodologia de avaliação de escalonadores para mensagens hierárquicas militares (publicação Nr 2);
- ⇒ Apresentação de um sistema Fuzzy de roteamento para escolha de meios de transmissão de mensagens militares.

1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está dividida em 6 capítulos. O capítulo 2 apresenta os conceitos básicos, tecnologias e sistemas de comunicações empregados.

No capítulo 3 são apresentados os conceitos DTN aplicáveis nos sistemas baseado em jornadas (Sistemas Rádio e de Mensageiros).

No Capítulo 4 é apresentado o Sistema de Contatos Oportunistas.

O capítulo 5 apresenta os sistemas de tomada de decisão, composto pelo sistema para escalonamento e organização das filas de transmissão e o sistema e roteamento para escolha de meios de transmissão, ambos utilizando lógica fuzzy.

Por fim, o capítulo 6 apresenta as conclusões da dissertação e algumas propostas para trabalhos futuros.

As referências bibliográficas são apresentadas no capítulo 7.

O capítulo 8 apresenta o apêndice 8.1, que trata dos principais conceitos e terminologias militares utilizados neste trabalho, e o apêndice 8.2, que apresenta os principais documentos da Operação Santa Cruz.

A interligação entre os capítulos pode ser vista na Figura 1.2.

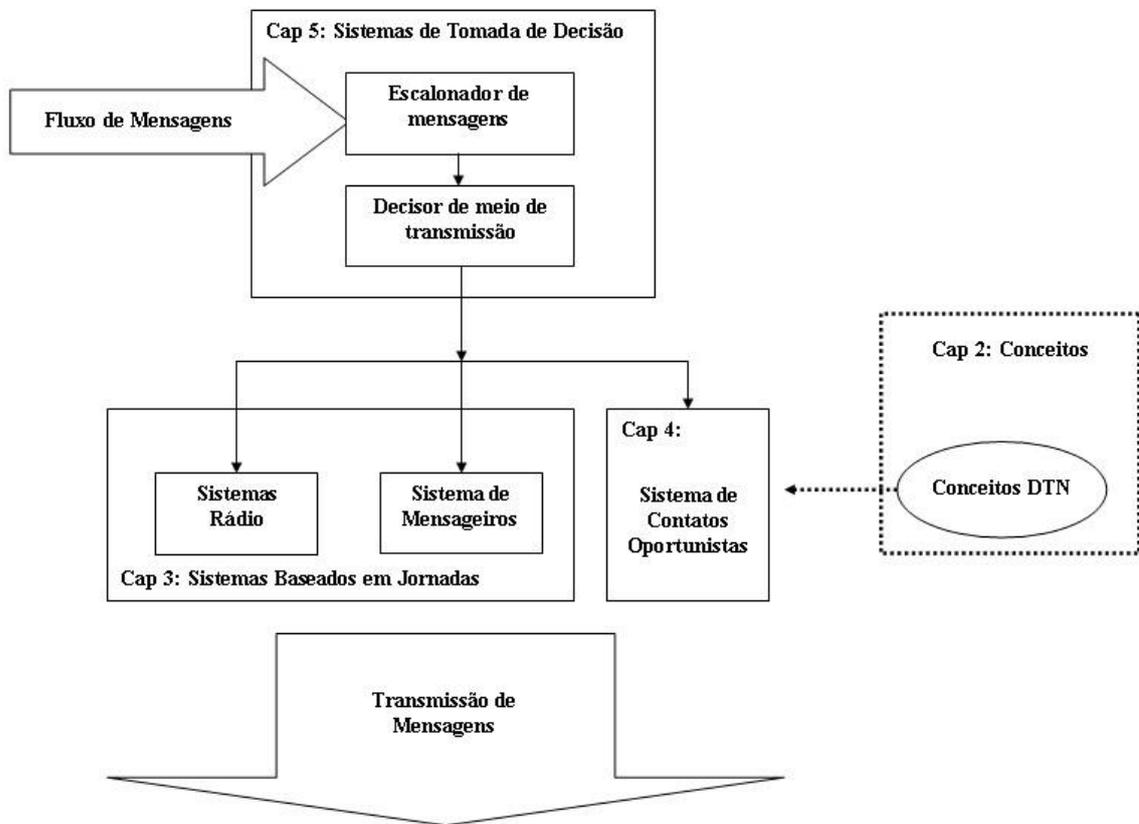


Figura 1.2: Fluxo de transmissão de mensagens - interligação entre os capítulos.

1.5 MOTIVAÇÃO - A INOPERÂNCIA DAS LIGAÇÕES FIM A FIM

A utilização de meios de comunicações tradicionais nos sistemas de Comando e Controle* tem como fundamento intrínseco à existência de uma conexão fim-a-fim entre os pontos de origem e destino de uma mensagem.

Este fundamento se propaga para os protocolos de comunicações existentes nos diversos meios a serem adotados. Transmissões de dados utilizando protocolos baseados em TCP/IP, por exemplo, necessitam do estabelecimento de no mínimo um caminho entre origem e destino. A inexistência deste caminho ou a interrupção da conexão inviabiliza a transmissão, como pode ser visto na Figura 1.3.

Podemos notar na Figura 1.3 que a finalização da conexão em qualquer um dos pontos do percurso do enlace estabelecido pela pilha TCP/IP interrompe a conexão e, conseqüentemente, inviabiliza a transmissão. Para nova transmissão, há necessidade de estabelecimento de um novo circuito entre origem e destino.

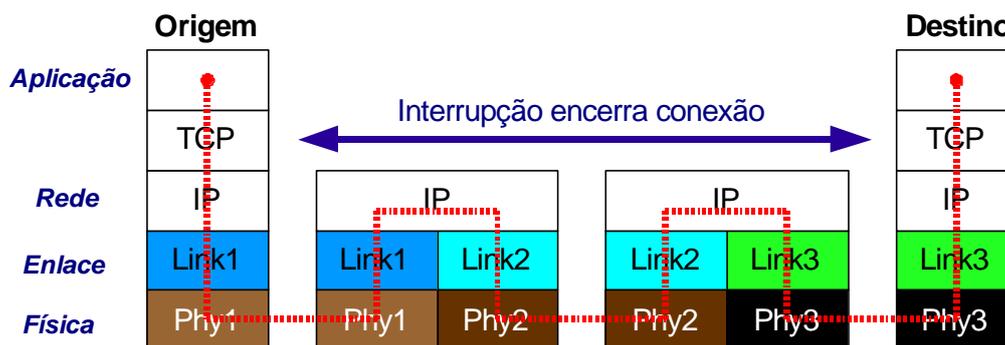


Figura 1.3: Funcionamento da arquitetura TCP/IP.

No cenário Militar, as redes convencionais estão sujeitas a constantes mudanças de topologia por causa da mobilidade das tropas, terreno, condições climáticas, guerra eletrônica inimiga, interferências e limitação do tempo de acesso, resultando em instabilidades, atrasos e freqüentes interrupções.

São redes nas quais a comunicação é difícil devido aos diferentes parâmetros (Mobihoc, 2006).

Neste cenário, a necessidade de manutenção de uma conexão com caminho fim a fim se torna difícil ou, em casos extremos, impossível. Desta forma, os Sistemas de Comando e Controle* devem estabelecer políticas de tratamento de mensagens que não podem ser transmitidas em um determinado momento pela inexistência de conexão.

1.6 CONTEXTO DA PESQUISA

1.3.1. SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES DE BRIGADA DO EXÉRCITO BRASILEIRO

O Exército Brasileiro adota em sua organização diversos tipos de Brigadas (Bda)* variando, por conseguinte, suas características e formas de emprego. As operações contemporâneas envolvem ações de grande mobilidade e exigem dispersão adequada dos sistemas de armas.

O elemento de apoio de comunicações de uma Brigada* deve ser dotado de meios que permitam o seu rápido desdobramento na zona de ação, proporcionando ligações confiáveis e flexíveis para que possa adequar-se às mudanças de situação. Nesta ótica, o sistema de comunicações* de uma Brigada* pode possuir sistemas e meios de comunicações únicos e próprios.

O Sistema Tático de Comunicações de Brigada (SISTAC/Bda) é composto, atualmente, pelos sistemas multicanal (Microondas), rádio, físico e por mensageiro, podendo ser complementado por outros meios de comunicações. Tais sistemas devem ser utilizados de forma a atender, simultaneamente, ao maior número possível de princípios de emprego das comunicações.

Desde os anos 70, o SISTAC/Bda do Exército Brasileiro não sofreu modificações significativas. Nos últimos anos, com a adoção dos planos de modernização FT 90 e FT 00, os equipamentos rádio foram modernizados, os teleimpressores substituídos por computadores com periféricos para transmissão de dados, novas centrais telefônicas, manuais e automáticas, foram adquiridas, o Fio Duplo Telefônico (FDT) foi alterado para melhor se adequar à transmissão de dados. Mesmo com essa renovação tecnológica, as características essenciais do Sistema de Comunicações* de Brigada* e, conseqüentemente, suas vulnerabilidades, permaneceram imutáveis.

Os manuais de comunicações em vigor no Exército Brasileiro (C24-17) e (C11-30), dentre outros, adotam para a Brigada* apenas três sistemas de comunicações* para transmissão de mensagens entre o Comando da Brigada* e seus elementos subordinados: o Rádio, o Telefônico e o de Mensageiros. O Sistema Multicanal, por doutrina, é utilizado apenas no

estabelecimento de um enlace entre o Posto de Comando (PC)* e o Posto de Comando Recuado (PCR)* da Brigada* e para sua comunicação com seus escalões superiores.

Apesar de aparentemente complementares, esses três sistemas não são suficientes para os tipos de manobras táticas atuais.

O sistema telefônico necessita do lançamento de linhas de campanha nos principais eixos de comunicações da Bda. A alta mobilidade das atuais brigadas* em operações impede a instalação, em tempo útil, de um circuito telefônico adequado e compatível com as necessidades desse grande escalão.

O sistema rádio utiliza frequências nas faixas de HF e VHF, em ligações semiduplex, com as transmissões coordenadas por um Posto Rádio Diretor da Rede (PDR). Em operações onde existe a necessidade de sigilo, a prescrição de “rádio silêncio” restringe significativamente a quantidade de mensagens a serem transmitidas por este meio, a ponto de que ele não pode ser considerado como principal sistema de comunicações* deste escalão.

Mesmo após a quebra do sigilo das operações e a conseqüente passagem para a utilização livre do rádio, a utilização do sistema rádio como principal meio para transmissão de mensagens pode levá-lo a uma sobrecarga, fazendo com que o tempo médio de espera das mensagens de baixa prioridade na fila de transmissão seja muito superior ao seu prazo de validade.

Neste cenário, o principal sistema de comunicações* da Brigada* passa a ser o velho sistema de mensageiros. Imutável desde a 1ª guerra mundial, o sistema de mensageiros reúne condições limitadas de segurança e previsibilidade de prazo de entrega.

Com a entrada do Exército Brasileiro no século XXI, a desejada adoção de um Sistema de Processamento de Mensagens Operacionais*, inserido no contexto do projeto C2* em Combate, poderá proporcionar, dentre outros fatores, a completa digitalização das mensagens utilizadas nos sistemas de comunicações de campanha. Este passo é o primeiro para uma modernização não apenas de equipamentos, mas da sistemática adotada para transmissão de mensagens.

1.6.1 PROJETO C2 EM COMBATE

O projeto Comando e Controle* em combate (C2 em Combate) tem como finalidade a modernização e integração do Sistema de Comando e Controle* da Força Terrestre

(SC2FTer) em especial quanto à interoperabilidade dos vários meios de telemática, assim como dos programas existentes, buscando a inserção do Exército Brasileiro na era do campo de batalha digital.

Foi criado, através da portaria Nr 102 - Comando da Força, de 18 de março de 2003, sendo composto por dois grandes vetores: O Programa C2 em Combate e o Módulo de Telemática.

O Sistema de Comando e Controle* do Exército é um conjunto de recursos humanos, instalações, normas e processos que possibilita ao Comandante planejar, dirigir e controlar, por intermédio de uma estrutura de telemática e de um fluxo de informações, forças e operações, na paz ou na guerra, no preparo ou no emprego da Força Terrestre.

Neste contexto, A Companhia de Comunicações de Bda desdobra os meios do Módulo de Telemática, quando em campanha, nos Posto de Comando (PC)* e Posto de Comando Recuado (PCR)* da Bda. Apóia, ainda, os PC das Organizações Militares (OM) Subordinadas e liga-se ao escalão superior.

Para manutenção da conectividade da Brigada*, o Módulo de Telemática tem a previsão de funcionamento com os meios rádio (HF, VHF), satélite (SISCOMIS), Ethernet e DSL, dentre outros, como pode ser visto na Figura 1.4:

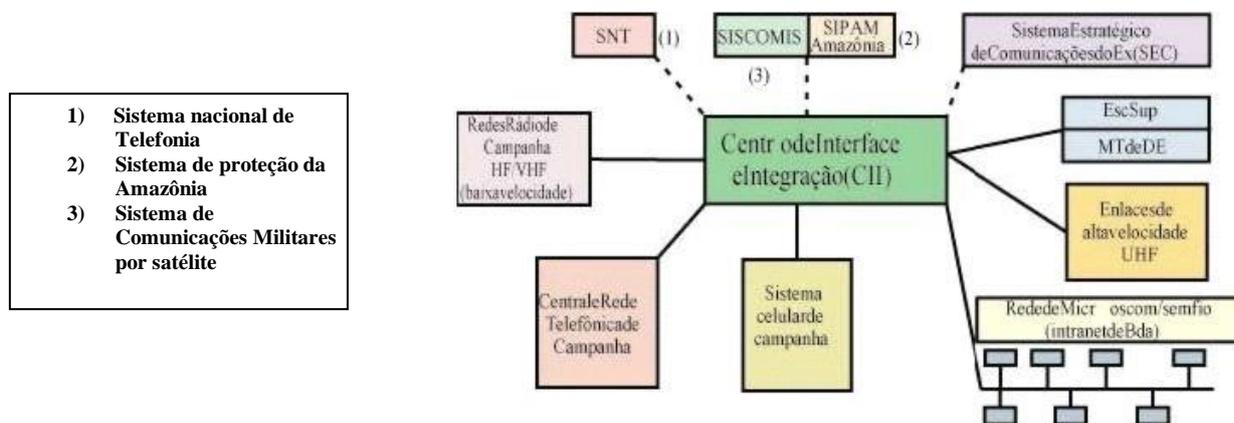


Figura 1.4: Meios de comunicações do Módulo Telemática de Brigada.

O software do programa de C2FTer tem como previsão inicial de desenvolvimento a base dos sistemas operacionais de manobra, inteligência e logística, e possibilitará a interoperabilidade com os programas dos demais sistemas de combate existentes ou em desenvolvimento.

O programa de C2FTer deverá possibilitar ao Comandante, com seu Estado Maior, planejar, comandar e controlar as operações, por intermédio dos seguintes recursos:

- ⇒ apresentação de uma Carta de Visualização Gráfica da Manobra;
- ⇒ gerenciamento eletrônico de documentos (protocolo e correio eletrônicos);
- ⇒ redação de Ordens de Operações, relatórios, planos, mensagens, etc;
- ⇒ segurança da informação;
- ⇒ monitoramento dos sistemas de Apoio de Fogo, Mobilidade e Proteção e Defesa Antiaérea, dentre outros;
- ⇒ recurso de apoio à decisão e à simulação.

Este programa deverá operar em computadores portáteis e com transmissão de dados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E TRABALHOS RELACIONADOS

2.1 REDES TOLERANTES A ATRASOS E DESCONEXÕES

2.1.1 CONCEITOS

Nos últimos anos, as redes de computadores têm utilizado como padrão mundial a pilha de protocolos TCP/IP. A possibilidade de interconexão das redes locais com a Internet é hoje uma realidade não apenas nas empresas, mas também nos lares ao redor do mundo.

Entretanto, quando saímos de suas condições ideais de uso, como, por exemplo, comunicações sem fio entre dispositivos móveis, comunicações entre dispositivos com restrição de energia, redes sem fio em operações militares, comunicações submarinas, redes em áreas rurais esparsas e até mesmo redes interplanetárias, a arquitetura tradicional não satisfaz os requisitos para um funcionamento dentro de padrões adequados.

Essas redes são caracterizadas pela dificuldade ou inexistência de conectividade fim a fim. Em outras palavras, a origem e o destino não conseguem estabelecer um circuito para o tráfego de dados sobre os protocolos TCP/IP. Na realidade, origem e destino podem até mesmo não possuir a capacidade de estarem conectados simultaneamente.

Por este motivo, surgiu uma nova arquitetura de redes de computadores denominada Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões, do inglês, *Delay and Disruption Tolerant Networks* - DTN.

Esta nova arquitetura, recentemente incluída na RFC 4838, permite comunicação mesmo com longos atrasos e períodos sem conectividade entre seus integrantes com flexibilidade, eficiência e robustez, suportando diversas aplicações em diferentes cenários.

2.1.2 NOMENCLATURA

Diversos autores pelo mundo têm dado diferentes denominações a esta nova tecnologia de redes, como redes com conectividade eventual, redes móveis parcialmente conectadas, redes desconectadas, redes com conectividade transiente, redes incomuns, redes extremas e mais recentemente redes com desafios (*CHALLENGED NeTworkS* - CHANTS) (CHEN et al., 2006).

2.1.3 ARQUITETURA DTN

A arquitetura DTN prevê a utilização da técnica de comutação de mensagens e o armazenamento persistente dos dados, definindo uma sobre camada (*overlay*) abaixo da camada de aplicação. Esta nova camada é denominada camada de agregação (*Bundle Layer*) (OLIVEIRA et al., 2008).

Os pontos que armazenam as mensagens são denominados “nós DTN”, sejam eles origem, destino ou pontos intermediários. O protocolo de agregação é executado em todos os nós DTN pertencentes à rede.

As DTNs possuem as seguintes características básicas:

- Atrasos longos: uma DTN não possui tempo estimado para que a mensagem chegue ao seu destino. O *delay* entre transmissão e recepção pode chegar até a ordem de dias.

- Freqüentes desconexões: As desconexões podem ocorrer pela mobilidade, que provoca constantes mudanças na topologia da rede, por economia de recursos, por negação de serviço ou fatores particulares da rede em questão, como por exemplo, a Guerra Eletrônica em operações militares.

- Capacidade de Armazenamento: Provavelmente a principal característica das DTNs é a propriedade de “*store-and-forward*”. Essas redes do tipo armazena-e-encaminha possuem dispositivos onde a informação fica armazenada até o surgimento de um enlace com outro dispositivo cuja transmissão possibilite alcançar seu destinatário. Cada transmissão intermediária neste percurso é denominada *Hop*. Este processo de transmissão é exemplificado na Figura 2.1.

As aplicações das DTNs enviam mensagens de tamanhos variáveis chamadas de unidades de dados da aplicação (*Application Data Units - ADUs*). As mensagens são transformadas pela camada de agregação em uma ou mais unidades de dados de protocolo (*Protocol Data Units - PDUs*) denominadas agregados (*bundles*), que são armazenados e encaminhados pelos nós DTN. (OLIVEIRA et al., 2008).

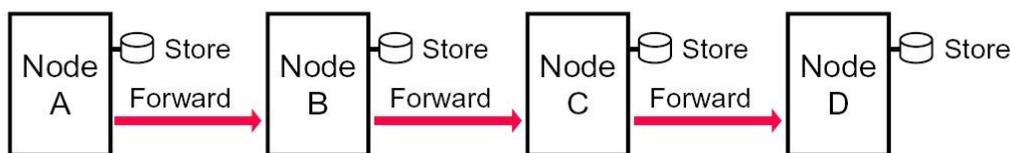


Figura 2.1: As configurações salto a salto de um sistema “store-and-forward” (WARTHMAN et al., 2003).

Na prática, a camada de agregação isola, através de um dispositivo de armazenamento, as camadas inferiores da camada de aplicação, como pode ser visto na Figura 2.2. Isso permite a interoperabilidade de dispositivos e redes, que só passarão as informações para a camada de aplicação do destino. Os nós intermediários passam as informações de uma camada de agregação para outra.

Todas as informações são agregadas e enviadas de uma única vez. Dependendo da política de roteamento DTN adotada, múltiplas cópias do mesmo agregado podem existir ao mesmo tempo em diferentes nós DTN.

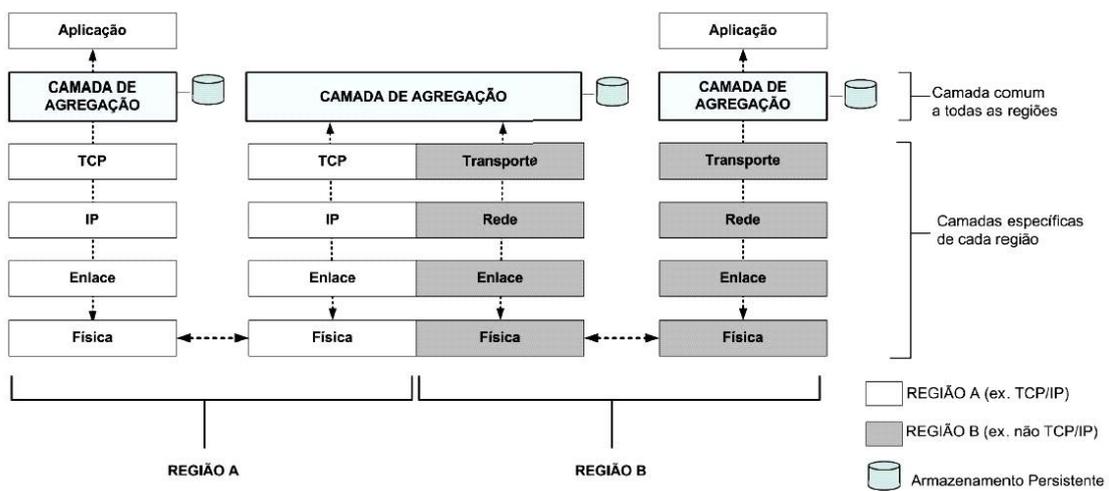


Figura 2.2: Topologia DTN (OLIVEIRA et al., 2008).

2.1.4 TRANSFERÊNCIA DE CUSTÓDIA

A camada de agregação suporta a retransmissão nó a nó, através do mecanismo denominado Transferência de Custódia, que tem como objetivo passar a responsabilidade da entrega de uma mensagem de um nó para outro nó, iniciando na origem e sendo completada no destino (FALL et al., 2003). O sistema de transferência de custódia é exemplificado na Figura 2.3.

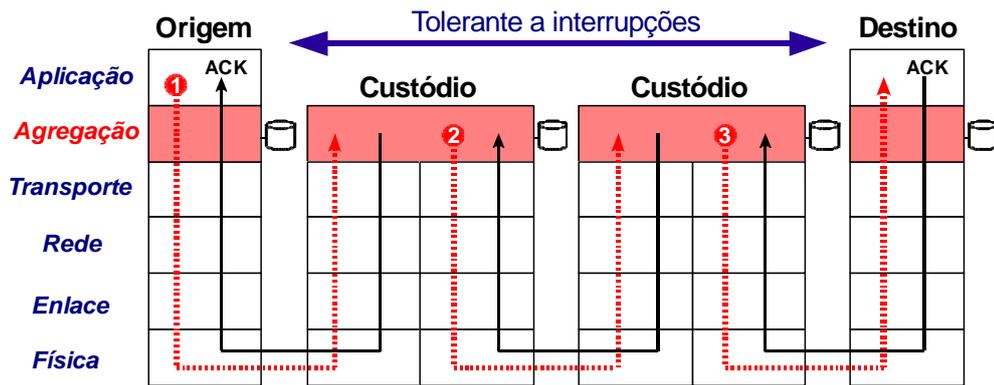


Figura 2.3: Sistema de transferência de Custódia.

Quando um nó DTN emissor envia um agregado para o próximo nó, ele solicita a transferência de custódia e inicia o temporizador de retransmissão. Se a camada de agregação do próximo salto aceitar a custódia, é retornado um reconhecimento (ACK) para o nó emissor, como mostra a Figura 2.4. Porém, se nenhum reconhecimento for retornado antes do temporizador expirar, o nó emissor reenvia o agregado. Os nós que aceitam a transferência de custódia são denominados custódios (OLIVEIRA et al., 2008).

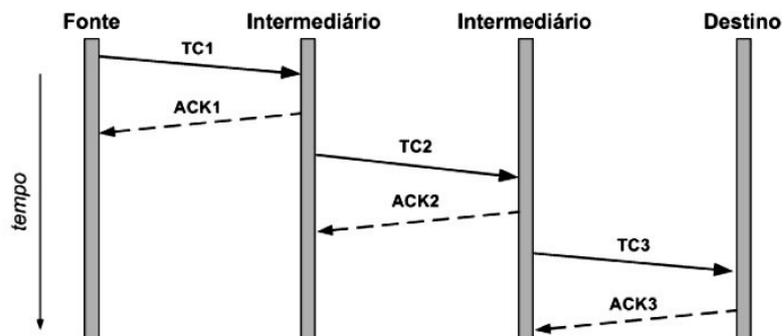


Figura 2.4: Sistema de transferência de custódia – Aviso de recebimento (OLIVEIRA et al., 2008).

Os dispositivos de armazenamento móveis que servem como nós intermediários são chamados de Mulas de dados (*Data MULES*). O termo MULE vem do acrônimo *Mobile Ubiquitous LAN Extensions* usado por (SHAH ET AL., 2003). O termo *Data Mule* tem sido bastante usado em DTNs e os autores assumiram a tradução “mula de dados” para indicar a transferência de informações por veículos motorizados, pessoas ou animais (OLIVEIRA, 2008).

2.1.5 O PROTOCOLO DE AGREGAÇÃO

O protocolo de agregação (*Bundle Protocol*) é especificado na RFC 5050.

Cada agregado consiste de dois ou mais “blocos”. O termo bloco é utilizado em substituição do termo “cabeçalho”, tendo em vista que um bloco pode estar no início ou no fim da unidade de dados de protocolo.

O primeiro bloco, denominado de primário, é obrigatório. Ele contém as informações básicas necessárias para encaminhar um agregado até o destino, existindo apenas um bloco primário por agregado. Somente um dos blocos seguintes pode conter a carga útil (*payload*) dos dados.

Além desses dois blocos, cada agregado pode possuir outros blocos com campos adicionais, denominados blocos de extensão, ainda não definidos na especificação do protocolo.

Diversos campos do protocolo não possuem tamanho fixo e utilizam a codificação denominada valores numéricos auto-delimitantes (*Self-Delimiting Numeric Values - SDNVs*). O SDNV codifica um número binário sem sinal em octetos, com sete bits de valores e com o bit mais significativo de cada octeto igual a 1, exceto para o último octeto cujo bit mais significativo é igual a 0 de modo a indicar o fim do SDNV. Assim, a delimitação do tamanho de um campo é dada pela própria codificação que indica continuação no octeto até que o bit mais significativo de um octeto seja igual a 1.

O formato do bloco primário é apresentado na Figura 2.5. Os campos com codificação SDNV são apresentados por um número arbitrário de bytes, marcado na Figura por um asterisco (*). O bloco primário é formado por diversos campos.

Versão	Bits de sinalização de controle de processamento *
Comprimento do bloco *	
Desloc. do esquema do destino *	Desloc. da SSP do destino *
Desloc. do esquema da fonte *	Desloc. da SSP da fonte *
Desloc. do esquema do reportar-para *	Desloc. da SSP do reportar-para *
Desloc. do esquema do custódio *	Desloc. da SSP do custódio *
Tempo da estampa de tempo de criação *	
Número de seqüência da estampa de tempo de criação *	
Tempo de vida *	
Comprimento do dicionário *	
Matriz de octetos do dicionário (variável)	
Deslocamento do fragmento *	
Comprimento total da unidade de dados da aplicação *	

Figura 2.5: Bundle Protocol (OLIVEIRA et al., 2008).

2.1.6 O MODELO DE ORÁCULOS DE INFORMAÇÃO

Diferentes tipos e quantidades de informação sobre DTNs são classificados e modelados por oráculos (JAIN et al., 2004). Um oráculo é uma abstração que corresponde a dizer “determinada informação sobre a rede está disponível”.

Cada oráculo é capaz de responder a quaisquer perguntas sobre um assunto, dentro do seu nível predeterminado de conhecimento. Obviamente, dependendo da informação, um determinado oráculo pode ser ou não realizável na prática.

As informações das DTNs foram divididas em quatro oráculos distintos:

- Oráculo de Resumo de Contatos: é capaz de dizer o tempo médio necessário até que um novo contato seja realizado entre dois nós, mas não o instante e a duração exata dos contatos.

- Oráculo de Contatos: Possui a capacidade de responder o instante de início e a duração de todos os contatos entre dois nós quaisquer da rede. Ou seja, o Oráculo de Contatos é o equivalente do grafo temporal completo da DTN.

- Oráculo de Ocupação: É capaz de informar, em qualquer instante de tempo, a ocupação dos *buffers* de transmissão em qualquer nó da rede. A informação provida por este oráculo é dependente do algoritmo de roteamento utilizado. Este é o oráculo de mais difícil realização prática.

- Oráculo de Demanda de Tráfego: Informa a demanda de tráfego de todos os nós em qualquer instante de tempo. Precisa conhecer todas as mensagens que todos os nós da rede desejam enviar a qualquer tempo.

É importante ressaltar que, quanto maior o conhecimento do Oráculo, mais fácil será o estabelecimento de algoritmos de roteamento com desempenho satisfatório. Entretanto, a complexidade computacional para implementação de um *software* que desempenhe o papel de um oráculo cresce à medida que ele gerencia uma maior quantidade de informações.

As informações necessárias para o cálculo de estabelecimento de qualidade de serviço (*Quality of Service – QoS*) nas redes rádio estão armazenadas nos oráculos de informação, implementados como um banco de dados de informações do sistema.

A relação entre conhecimento dos oráculos e desempenho computacional necessário para sua implementação é mostrada na Figura 2.6.

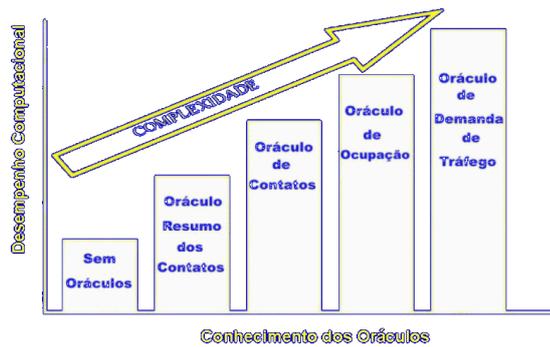


Figura 2.6: Complexidade X Desempenho de algoritmos de roteamento baseados no conhecimento dos oráculos.

2.1.7 TIPOS DE CONTATOS

Nas DTNs não é possível presumir que todos os nós podem ser contatados a qualquer instante ou, se contatados, aceitarão a custódia dos dados a serem transmitidos. Por isso, um conceito que deve ser considerado na arquitetura DTN é o de contato. Um contato corresponde a uma ocasião favorável para os nós trocarem dados (OLIVEIRA et al., 2008).

Podemos classificar, dentre outras formas, os contatos em:

- Contatos Persistentes: Os contatos persistentes são aqueles que estão sempre disponíveis. Uma conexão de Internet por cabo ou ADSL é um exemplo de contato permanente.
- Contatos sob Demanda: Os contatos sob demanda são aqueles que requerem alguma ação para que sejam instanciados, mas que, uma vez acionados, funcionam como contatos persistentes até serem encerrados. Uma conexão discada pode ser vista como um exemplo de contato sob demanda.
- Contatos Programados: Uma agenda de contato pode ser preestabelecida entre dois ou mais nós antes que ocorra a troca de informações. O horário e a duração de cada contato são estabelecidos previamente entre os nós comunicantes. Uma característica das redes com contatos programados é a exigência de uma sincronização do tempo na rede para que a troca de informações seja realizada com sucesso.

- Contatos Previsíveis: Os contatos previsíveis são aqueles nos quais os nós podem fazer previsões sobre o horário e a duração dos contatos com base em históricos de contatos previamente realizados.

- Contatos Oportunistas: Os contatos oportunistas ocorrem diante de encontros não previamente programados entre os nós. Esse tipo de contato tem como objetivo obter vantagens de contatos realizados totalmente ao acaso para realizar a comunicação com qualquer nó que esteja fora do alcance de um nó fonte.

De acordo com o cenário de utilização das DTNs e o tipo de roteamento selecionado, cada tipo de contato assume diferente importância para que a mensagem chegue a seu destino.

2.1.8 AS POLÍTICAS DE ROTEAMENTO

O roteamento DTN determina os critérios a serem utilizados para transmissão das mensagens entre os custódios, até que cada uma alcance o seu destino.

Neste trabalho, estabelecemos uma diferença entre uma política de roteamento e um protocolo de roteamento:

- Política de roteamento: conjunto de regras de roteamento que podem ser aplicadas de forma genérica a qualquer tipo de rede com características de tolerância a falhas e desconexões.

- Protocolo de roteamento: algoritmo baseado nas regras de uma política, escrito especificamente para uma rede ou aplicação DTN.

Embora as políticas de roteamento possuam uma série de características, uma das formas mais imediatas de classificá-los baseia-se na capacidade ou não do protocolo de criar réplicas de mensagens. Políticas de roteamento que não replicam mensagens são consideradas de encaminhamento, enquanto as políticas que replicam mensagens são consideradas replicadoras. Podemos ainda considerar que existem políticas mistas, ou seja, em um determinado período agem como replicadoras e, em seguida, se comportam como encaminhadoras. Esta abordagem está sendo cada vez mais comum nos novos protocolos de roteamento de forma a controlar o fluxo de mensagens na rede e descartar mensagens por falta de *buffer* nos nós. Esta simples, porém popular taxonomia foi recentemente utilizada por (BALASUBRAMANIAN et al., 2007) para classificar um grande número de protocolos de roteamento DTN.

Há vantagens e desvantagens de cada uma das abordagens, bem como a abordagem adequada para utilização é provavelmente dependente do cenário de utilização.

Protocolos com políticas de encaminhamento geralmente utilizam menos recursos de rede, com apenas uma única mensagem armazenada na rede a qualquer momento (JAIN et al., 2004). Além disso, quando o destino recebe a mensagem, nenhum outro nó pode ter uma cópia. Infelizmente, os protocolos com políticas de encaminhamento não permitem taxas de entrega de mensagens satisfatórias em muitos tipos de DTNs (SPYROPOULOS, 2005).

Protocolos com políticas baseadas em replicação, por outro lado, permitem maiores taxas de entrega de mensagens (BURGESS, 2006), uma vez que existem várias cópias na rede, e apenas uma deve chegar ao destino. Em contrapartida, estes protocolos podem desperdiçar valiosos recursos de rede (SPYROPOULOS, 2007).

Uma tentativa de atingir um meio termo, onde se consigam boas taxas de entrega de mensagens com utilização racional dos recursos de rede, os novos protocolos possuem ora características de replicação, ora de encaminhamento.

Existe na literatura uma diversidade de políticas de roteamento DTN. Dentre elas destacamos:

⇒ Políticas baseadas em encaminhamento mensagens:

- Contato Direto: O nó de origem só transmite uma mensagem para uma mula se o próximo contato da mula for diretamente com o destino (WANG et al., 2005).

- Primeiro Contato: O nó de origem envia a mensagem para a primeira mula com a qual vier a estabelecer contato. A mula, por sua vez, envia a mensagem para a primeira região que estabelecer contato e assim conseqüentemente (JAIN et al., 2004).

⇒ Políticas baseadas em replicação de mensagens:

- Epidêmica: Quando um nó entra no alcance de transmissão de outro, eles trocam cópias das mensagens armazenadas em seus *buffers*, de modo que cada um dos nós passe a possuir todas as mensagens do outro, ou seja, o conteúdo dos dois *buffers* passa a ser idêntico. Assim, quanto mais cópias de uma mesma mensagem forem encaminhadas na rede, maior será a probabilidade desta mensagem ser entregue e menor será o atraso. É a principal proposta para cenário estocástico, pois suporta a entrega eventual de mensagens a destinos

arbitrários com suposições mínimas relativas ao conhecimento da topologia de rede [VAHDAT E BECKER, 2000].

- Probabilística: Nos contatos previsíveis, apesar do momento exato do estabelecimento de cada contato entre dois nós da rede ser desconhecido, existe uma previsão do intervalo dentro do qual cada contato irá acontecer. É estabelecida uma probabilidade de ocorrência de cada contato.

⇒ Políticas mistas:

Políticas mistas, como o próprio nome indica, utilizam uma ou mais partes de cada uma das políticas anteriores, obtendo assim uma política com regras únicas e características próprias.

Como pode ser observado, cada uma das políticas de roteamento pode ser analisada de acordo com o grau da informação disponível sobre a topologia da rede. Diferentes políticas e, conseqüentemente, diferentes protocolos de roteamento DTN podem ser utilizados em diferentes cenários.

2.1.9 O MODELO DE GRAFOS EVOLUTIVOS

O estudo sobre roteamento de dados relacionados a redes estáticas tem sido modificado para utilização em redes dinâmicas e um dos resultados é o modelo teórico de grafos evolutivos (*Evolving Graphs* - EG).

A noção de grafos evolutivos consiste basicamente em formalizar um domínio no tempo em grafos.

Um grafo evolutivo é uma sequência indexada de τ sub-grafos de um dado grafo, onde um sub-grafo de um certo índice corresponde à rede de conectividade no intervalo de tempo indicado pelo número do índice (FERREIRA et al.,2004).

O domínio no tempo é posteriormente incorporado ao modelo com a introdução do conceito de jornadas, equivalente a caminhos no tempo. As jornadas permitem a comunicação entre dois nós mesmo que estes não estejam ativos no mesmo instante no tempo, ou seja, no mesmo sub-grafo. Com isso, uma jornada em um grafo evolutivo é um caminho nos grafos subjacentes nos quais o horário de existência das arestas estão em ordem não-decrescente.

Em (FERREIRA, 2004) existe a proposta de um modelo de grafos evolutivos para redes ad hoc móveis que pode ser aplicado a redes DTN. Neste modelo, pode-se representar

um grafo evolutivo por um conjunto de vértices e enlaces, onde são adicionados aos enlaces etiquetas com os índices correspondentes aos intervalos de tempo em que o enlace é válido, ou seja, o período em que o enlace rádio existe entre dois postos. O modelo de grafo evolutivo de (FERREIRA, 2004) é visto na Figura 2.7.

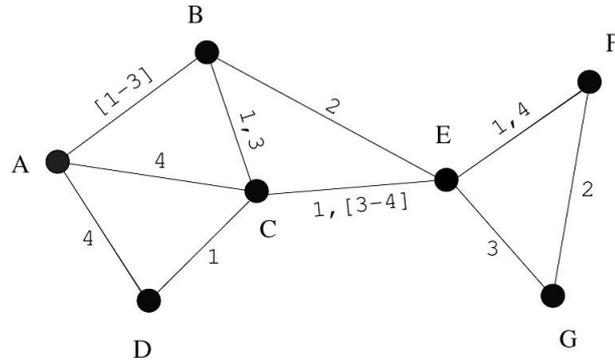


Figura 2.7: Grafo Evolutivo (FERREIRA, 2004).

A abordagem de (OLIVEIRA, 2007) introduz o conceito de jornadas ou rotas DTN, que são construídas levando-se em consideração as restrições de tempo de existência dos enlaces, como pode ser visto na Figura 2.8.

Desta forma, (OLIVEIRA, 2007) passou a construir os grafos temporais não apenas com o número do intervalo, como em (FERREIRA, 2004), mas com o intervalo de tempo que ele estará disponível (cenário determinístico) ou existe alta probabilidade de ocorrência (cenário estocástico).

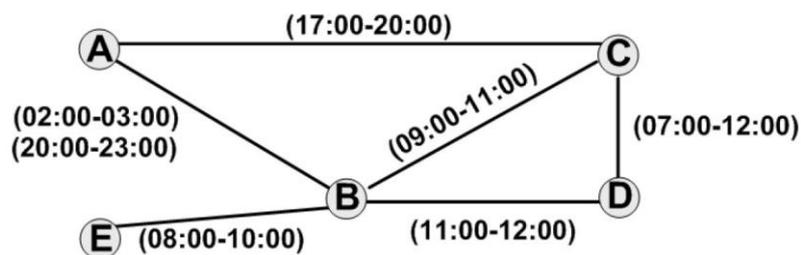


Figura 2.8: Grafo Temporal (OLIVEIRA, 2007).

A partir dos conceitos de grafos evolutivos e jornadas, podem ser construídos algoritmos com diferentes métricas como objetivo. A literatura existente propõe três algoritmos baseados em modificações do algoritmo de *Dijkstra*.

- *Foremost journey*: encontra a jornada que transmitirá a mensagem mais cedo, ou seja, a jornada que faz com que a mensagem chegue o mais cedo possível ao nó de destino, sem considerar o número de saltos realizado (MONTEIRO, 2007).

- *Min-hop count*: este algoritmo tenta encontrar a jornada com o menor número de saltos.

- *Fastest journey*: o objetivo deste algoritmo é encontrar a jornada que gasta o menor tempo para entregar a mensagem.

Estes algoritmos não levam em consideração o *delay* DTN para início das transmissões nem o tempo de espera na fila, sendo computado apenas os tempos entre o início da transmissão na origem e o término da recepção no destino.

2.1.10 OS CENÁRIOS DTN

Podemos dividir os cenários de utilização de redes DTN em dois grandes grupos: Determinístico e Estocástico.

Um cenário onde a grande maioria dos contatos são persistentes, sob demanda ou programados, ou seja, tem-se conhecimento de quando e onde podem ocorrer os contatos da rede, diz-se que o cenário é determinístico. Na maioria das vezes, a topologia da rede é conhecida. O grau de conhecimento tem uma dependência direta do tipo de oráculo que está sendo utilizado. Outra característica é a possibilidade do cálculo das jornadas entre origem e destino no local de origem, antes do envio das mensagens.

No cenário estocástico o comportamento e a topologia da rede é, em sua maioria, desconhecido.

Calcular rotas em cenários estocásticos exige significativo esforço matemático. Em algumas topologias, a inexistência de informação sobre o estado da rede impossibilita o cálculo das melhores rotas, ficando a modelagem matemática concentrada na probabilidade de entrega e atraso médio, dentre outros parâmetros.

A escolha das jornadas entre origem e destino deve ser feita ponto a ponto, ou seja, em cada um dos nós DTN é necessário recalculá-la qual a melhor jornada a ser empregada para cada mensagem.

A utilização de políticas de roteamento de replicação de mensagens costuma ser usual neste cenário. Entretanto, a capacidade computacional e o tamanho dos *buffers* dos nós DTN devem ser significativamente superiores em relação aos utilizados em outros cenários.

2.2 UTILIZAÇÃO DE DTNs NO SISTEMA DE COMUNICAÇÕES TÁTICO DE BRIGADA

Operações Militares se caracterizam por apresentarem, em um momento inicial, um cenário determinístico, em especial antes do contato com o inimigo. Entretanto, após a quebra do sigilo das operações e o início do combate, existe grande probabilidade de torna-se um cenário predominante estocástico, onde nem sempre as informações necessárias para configuração dos sistemas de comunicações estão disponíveis.

Com a falta de informações, os *softwares* que fazem o papel de Oráculo do sistema são de fundamental importância para o levantamento de um mínimo de informações que permita ao sistema reduzir o número de incertezas.

Mensagens destinadas a Postos de Comando* que não possuam conexão convencional em um determinado momento podem ser redirecionadas para o sistema DTN, que decidirá baseado em suas características, como precedência*, expedidor*, destinatário e outras, a critério do administrador do sistema, qual o meio de transmissão mais adequado para o encaminhamento da mensagem.

A distribuição dos meios de transmissão em um Posto de Comando* Típico pode ser visto na Figura 2.9.

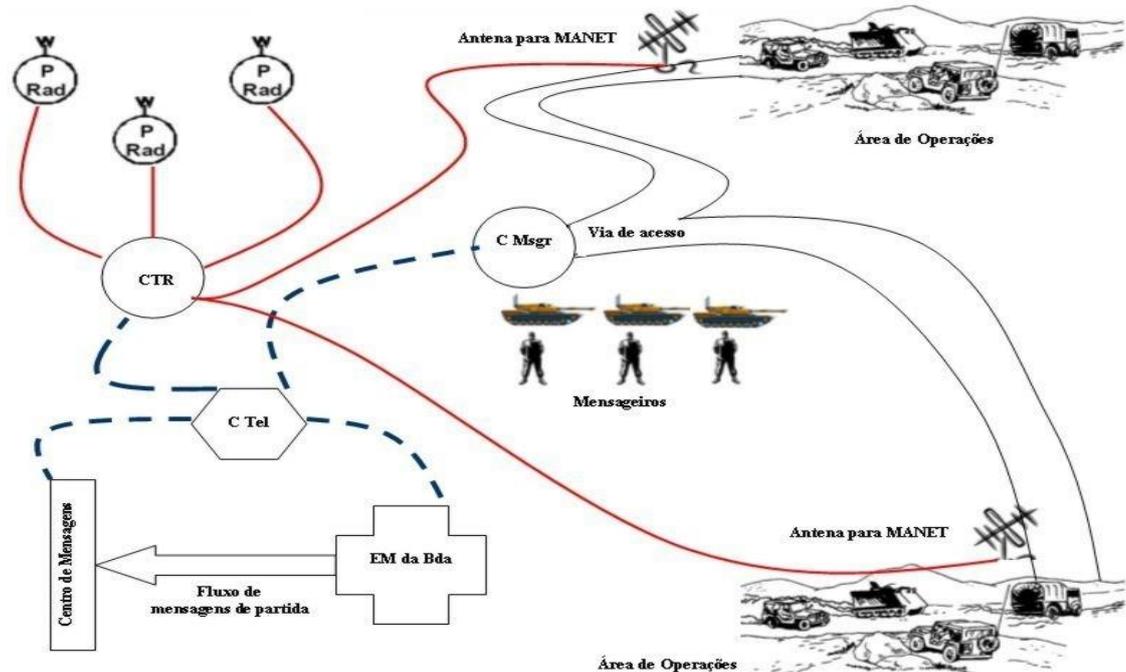


Figura 2.9: Distribuição dos meios de transmissão em um Posto de Comando.

Podemos notar no cenário a presença dos três meios de comunicações sugeridos neste trabalho. As mensagens de partida são originadas pelo Estado Maior (EM) da Brigada* e entregues no centro de Mensagens*, parte integrante de um Centro de Comunicações* padrão.

No Centro de Mensagens, após processamento e avaliação das características da mensagem pelo *software* “Oráculo”, a mensagem pode ser encaminhada para o Centro de Transmissão e Recepção* (CTR) ou ao Centro de Mensageiros* (C Msgr).

O Centro de Transmissão e Recepção* coordena as transmissões pelo meio rádio e pelo sistema de contatos oportunistas. O Centro de Mensageiros* coordena as transmissões realizadas através de mensageiros.

2.3 TRABALHOS RELACIONADOS

2.3.1 REDES TOLERANTES A ATRASOS E DESCONEXÕES

Apesar do desenvolvimento de sistemas de comunicações cada vez mais eficientes, que propiciam maior largura de banda e menor taxa de erros, existem cenários nos quais tais

sistemas eventualmente não podem ser empregados. Isso pode ocorrer em regiões como a Amazônia, devido as suas características geográficas, situações de desastres ou calamidades, quando a infra-estrutura de telecomunicações pode ter sido parcialmente ou totalmente destruída (MOTA *et al.*, 2009) ou em operações militares, quando as transmissões podem ser interferidas pela guerra eletrônica inimiga (CARDOSO, 2007).

Para esses cenários, as opções de meios de comunicação são restritas e estão baseadas principalmente no uso de redes de baixo desempenho. Redes HF de Transmissão de Dados, Redes de Comunicações Óticas em Espaço Livre (*Free-space Optical Communications*) e Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões (*Delay and Disruption Tolerant Networks - DTN*) são exemplos de tecnologias que se enquadram neste perfil.

O estudo das Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões podemos destacar o tutorial de (WARTHMAN, 2003) e trabalhos de (FALL, 2002) e (FALL, 2005). Destaca-se ainda o trabalho de (OLIVEIRA, 2007), pioneiro no Brasil no estudo das DTNs.

2.3.2 SISTEMAS RÁDIO COM CARACTERÍSTICAS DTN

Em (REIS, 2009) foi realizado um estudo de desempenho do conjunto de protocolos TCP/IP para transmissão rádio, com a finalidade da adequação dos protocolos a cada tipo e tamanho de mensagem.

Nesta ótica, surge a possibilidade de implementação de tolerância a atrasos e desconexões ao sistema de comunicações* rádio das Brigadas* do Exército Brasileiro nos moldes descritos por (FERREIRA, 2004) e a adoção de grafos evolutivos conforme modelo proposto por (OLIVEIRA, 2007), possibilitando roteamento em múltiplos caminhos nos grafos das Redes Rádio e adoção de uma métrica que permita a implementação de QoS para os enlaces.

2.3.3 SISTEMAS DE MENSAGEIROS

Os sistemas de mensageiros com características de tolerância a atrasos e desconexões foram abordados por (OLIVEIRA, 2007) através de um estudo de caso, na tentativa de obtenção de uma proposta de roteamento probabilístico para o sistema.

2.3.4 MOBILE AD HOC NETWORKS COM CARACTERÍSTICAS DTN

Para cenários onde as opções de meios de comunicação são restritas, uma solução de sistema auto-suficiente é a utilização de Redes Ad Hoc com características de tolerância a atrasos e conexões (MANETs-DTN).

Diversos protocolos têm sido propostos para aplicação nas MANETs-DTN, sempre na tentativa de se conseguir o melhor desempenho com a menor alocação de recursos possível (BALASUBRAMANIAN et al., 2007). O estudo dos protocolos Primeiro Contato (OLIVEIRA et al., 2007), Entrega Direta (OLIVEIRA et al., 2007), Epidêmico (VAHDAT, 2000) e PROPHET (LINDGREN, 2004) se faz necessários não apenas para a compreensão do funcionamento básico dos protocolos de roteamento, mas também para a obtenção de referenciais de desempenho para novos modelos de protocolo.

O Simulador ONE (*Opportunistic Network Environment Simulator*) (KERANEN, 2007), desenvolvido pela Helsinki University of Technology (*Teknillinen korkeakoulu - TKK*), tem sido uma referência nos trabalhos sobre MANETS-DTN, sendo amplamente utilizado pela comunidade acadêmica para análise de desempenho de protocolos de roteamento, como por exemplo, em (MOTA, 2009), (CAMPOS, 2009) e (NUNES, 2009).

2.3.5 ESCALONADORES E FILAS

Com a finalidade de implementação de Qualidade de Serviço nos sistemas de comunicações, em particular os militares, mecanismos de gerenciamento de redes e implementação de escalonamento de mensagens podem proporcionar melhorias significativas nos serviços (KWIATKOWSKI, 2003).

No intuito de melhorar e modernizar o Sistema Rádio hoje em uso nas Brigadas* do Exército Brasileiro, (CARDOSO, 2007), baseado no modelo de (KINGSTON, 2000), propôs alterações nos escalonadores e, conseqüentemente, no modo de organizar as filas dos enlaces rádio de baixo desempenho.

As soluções tradicionais para a implementação de escalonadores abrangem os algoritmos de *Priority Queuing* (KLEINROCK, 1975) (KITANI, 2003), Ordenação Lexicográfica (ZYKINA, 2003) e métodos de barreira (WRIGHT, 1999) (POWELL, 1986). Esses algoritmos, além da complexidade matemática, são de difícil implementação através de valores verbais, por sua imprecisão.

Neste contexto, surge a utilização da lógica Fuzzy em sistemas de gerenciamento de filas (TSUJIMURA, 1994). A teoria de conjuntos Fuzzy tem sido empregada com sucesso para

expressar conhecimento impreciso e resolver problemas em muitas áreas onde a modelagem convencional é difícil, ineficiente ou muito onerosa.

2.3.6 ROTEAMENTO FUZZY PARA SISTEMAS DTN

A lógica Fuzzy tem sido utilizada em tomadas de decisão de replicação de dados (BERTINI, 2005), em QoS de redes de alta velocidade e em roteamento de redes Ad hoc (ALANDJANI, 2003). Nesta ótica, ela pode ser aplicada nos problemas de decisão de roteamento DTN em cenários militares, onde o grau de incerteza gerado pela imprecisão ou escassez de informações da topologia da rede é relativo. Tais decisões teriam como base as informações adquiridas e calculadas pelo software oráculo.

3. SISTEMAS BASEADOS EM JORNADAS

Sistemas baseados em jornadas são sistemas de comunicações que tem seu desempenho relacionado às características do tipo de jornada DTN que utiliza.

No cenário militar, em especial em uma Brigada*, os sistemas rádio e de mensageiros têm forte vínculo com o tipo de jornada a que está associado.

3.1. SISTEMA RÁDIO COM CARACTERÍSTICAS DTN

3.1.1. O SISTEMA RÁDIO TRADICIONAL

O sistema rádio em vigor no EB utiliza frequências nas faixas de HF e VHF, com as transmissões coordenadas por um Posto Rádio Diretor da Rede (PDR).

Uma Brigada* típica, subordinada a uma DE*, possui redes externas e três redes internas, que podem ser vistas na Figura 3.1. Nosso foco serão as redes internas.

REDES	EXTERNAS						INTERNAS		
	Cmt	Op	Intig	Ped	Alm	Log	Cmt	Op	Log
	DE	DE	DE	Ae DE	DE	Ex Cmp	Bda	Bda	Bda
ELEMENTOS									
PCP/Bda	X	X	X	X	X		X	X	X
PCR/Bda					X	X		X	X
Btl, Rgt, FT				X	X		X	X	X
Esqd C Mec				X	X		X	X	X
SU AC				X	X		X	X	X
GAC					X		X	X	X
Bia AAAe					X		X	X	X
OM Eng Cmb					X		X	X	X
Cia Com					(1)		X	(1)	(1)
B Log					(2)		X	(2)	(2)
SU Cmdo					(1)		X	(1)	(1)
Pel PE					(1)		X	(1)	(1)

(1) Normalmente justaposto ao PCP/Bda
(2) Normalmente adjacente ao PCR/Bda

Figura 3.1: Redes Rádio típicas de uma Bda subordinada a uma DE.

Participam da rede do Comandante da Bda todos os Comandantes das unidades subordinadas. Essa rede permite o contato direto do Comandante da Bda com seus Comandantes subordinados, e a integração destes com a rede telefônica. Transmite em fonia, com equipamento de VHF/FM.

A Rede de Operações da Bda se destina ao comando e controle* operacional dos elementos subordinados, bem como à troca de mensagens de inteligência. Participam dessa rede todos os elementos subordinados da Bda. Entretanto, aqueles que estiverem justapostos ou adjacentes a outros, serão apoiados pelo posto de rádio do maior escalão presente no local. Normalmente opera com equipamento de HF/SSB.

A Rede Logística da Bda é destinada a atender o tráfego de mensagens logísticas. Da mesma forma que a Rede de Operações, quando os PCs estiverem justapostos ou adjacentes a outros, serão apoiados pelo posto do maior escalão desdobrado no local. Normalmente opera com equipamento de HF/SSB.

Os indicativos e frequências utilizados nas redes rádio são representados nos Diagramas de Rede Rádio, como mostra a Figura 3.2.a. Apesar da possibilidade de transmissão de mensagens entre os diversos postos, na prática as redes rádio necessitam da autorização ou roteamento através o PDR da rede para transmissão de mensagens entre os postos, funcionando como se estivessem ligados por uma topologia em estrela, como mostra a Figura 3.2.b.

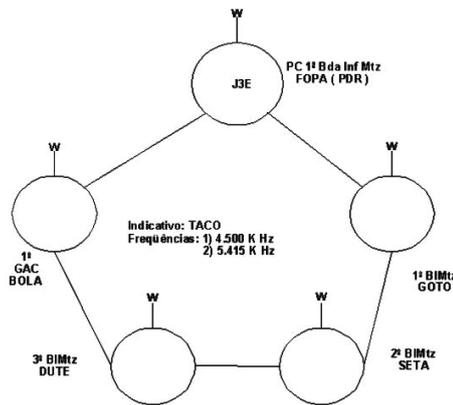


Figura 3.2.a: Diagrama de Rede Rádio padrão utilizado pelo EB.

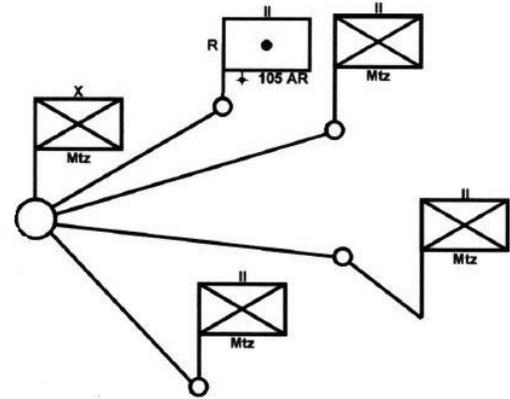


Figura 3.2.b: Modo como as ligações rádio acontecem na prática.

O rádio por ser um meio de comunicações altamente indiscreto exige uma série de medidas de segurança para seu emprego, entre estas medidas, destacam-se as prescrições rádio. Os manuais em vigor no EB adotam as seguintes prescrições para operações

- Rádio livre: Nenhuma restrição ao tráfego de mensagens.
- Rádio restrito: Somente podem ser transmitidas as mensagens para estabelecimento das redes, as urgentes ou urgentíssimas.
- Rádio em silêncio: Somente permitida a escuta.
- Rádio em silêncio absoluto: Equipamento desligado. Nenhuma transmissão ou escuta permitida.

Nas redes rádio tradicionais, os postos rádio assumem as posturas de contatos persistentes ou sob demanda, dependendo da situação tática e da prescrição rádio adotada.

As prescrições rádio são estabelecidas em função dos fatores táticos ou ordens do escalão superior. Assim, para os elementos em contato com o inimigo, é admissível a prescrição de rádio livre; para as reservas em zona de reunião, é normal a prescrição de rádio em silêncio.

Em operações onde existe a necessidade de sigilo, as prescrições restritivas restringem significativamente a quantidade de mensagens a serem transmitidas por este meio, a ponto de que, em algumas situações, ele não pode ser considerado como principal sistema de comunicações* do escalão considerado.

3.1.2. SISTEMA RÁDIO COM CARACTERÍSTICAS DTN

Para implementação de um sistema rádio com características de tolerância à falhas e desconexões abandonamos o conceito da Rede Rádio tradicional, onde os postos rádio disputam a vez para transmitir mensagens em uma única frequência, partindo para um conceito de formação de enlaces rádio individuais. A soma de diversos enlaces, onde as mensagens são transmitidas através grafos com múltiplos saltos segue o conceito DTN de Jornada.

Nessa nova abordagem, os enlaces rádio são feitos através de contatos programados, para um cenário determinístico, ou previsíveis, para um cenário estocástico.

É interessante ressaltar que desta forma, abandonamos também a divisão das mensagens em grupos (Operações/Inteligência e Logística), transmitidas em distintas redes rádio, fazendo assim que todas as mensagens disputem uma única fila de transmissão. Este conceito por si só consiste em um fator que irá dificultar a guerra eletrônica inimiga.

A adoção do conceito de enlaces e jornadas acrescenta as seguintes vantagens ao sistema:

- Melhor gerenciamento do espectro de frequências: A distribuição de frequências deixa de ser por rede rádio e passa a ser feita por enlace. Este conceito permite a um menor período de reutilização das frequências. Corretamente coordenado entre múltiplos enlaces, é um fator restritivo das operações de interferência da guerra eletrônica inimiga, pela incapacidade de atuar em um largo espectro de frequências.

- Maior flexibilidade no roteamento das mensagens: O atual padrão de roteamento das redes rádio obriga a todas as mensagens passarem pelo PDR, como por exemplo, a Brigada* mostrada na Figura 3.3.a. O roteamento uma rede rádio DTN permite que os postos rádio possuam enlaces montados de forma a compor um grafo passível de roteamento através de múltiplos caminhos, conforme mostra a Figura 3.3.b.

- Menor susceptibilidade das transmissões pela guerra eletrônica inimiga: Levando-se em consideração o limitado espaço de tempo de transmissão de cada enlace, podemos presumir a descoberta de transmissões na frequência de um determinado enlace seja de maior dificuldade que a de uma rede com 5 a 10 postos operando por 24 horas. Mesmo que a frequência de um determinado enlace seja descoberta e, conseqüentemente, interferida, é possível a escolha de rotas alternativas para transmissão de qualquer mensagem.

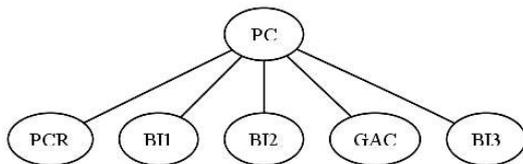


Figura 3.3.a: Grafo de transmissão de mensagens rádio tradicional.

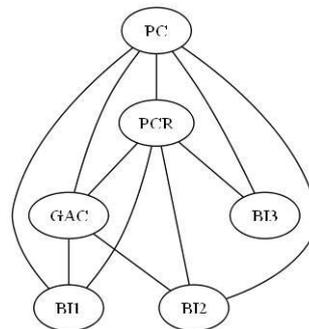


Figura 3.3.b: Grafo com múltiplos caminhos.

Nossa proposta é a etiquetagem do grafo temporal com tabelas anexadas, retiradas do conhecimento do oráculo, de forma a mostrar todas as informações relevantes para cálculo do *delay* de uma mensagem entre sua entrada no sistema e sua chegada ao destinatário.

3.1.3. MÉTRICAS E PARÂMETROS

Para uma correta configuração dos grafos com múltiplos caminhos é necessário o conhecimento do conceito de grafos evolutivos e o estabelecimento de métricas e parâmetros para configuração e padronização do sistema, não apenas para compreensão dos enlaces, mas também para a escolha da melhor jornada para uma determinada mensagem.

É importante também a compreensão que o conceito DTN de “Oráculo”, implementado como um *software* que, dentre outras funções, reúne informações estatísticas de enlaces, filas e mensagens, podendo inclusive estimar a situação futura da rede, baseado em extrapolações e cálculos das médias históricas de cada um dos parâmetros por ele monitorado.

3.1.3.1 CONEXÃO

Para que possamos calcular o tempo disponível para transmissão de mensagens em um enlace, é fundamental conhecermos sua capacidade de operação da conexão. Podemos descrevê-las em 3 tipos:

- **Simplex**: só permite a transmissão por um dos lados do enlace. Neste caso, todo tempo disponível do enlace estará empregando no sentido do fluxo do enlace. A proposta de sua representação gráfica nos grafos evolutivos é feita na Figura 3.4.a.

- **Semiduplex**: a transmissão é feita em ambos os sentidos, porém em uma direção por vez. Neste caso, o tempo da transmissão é dividido entre os dois lados do enlace. A proposta de sua representação gráfica nos grafos evolutivos é feita na Figura 3.4.b.

- Duplex: permite transmissão simultânea pelas duas extremidades. Neste caso, o tempo do enlace é destinado de maneira igual aos dois transmissores, simultaneamente. A proposta de sua representação gráfica nos grafos evolutivos é feita na Figura 3.4.c.

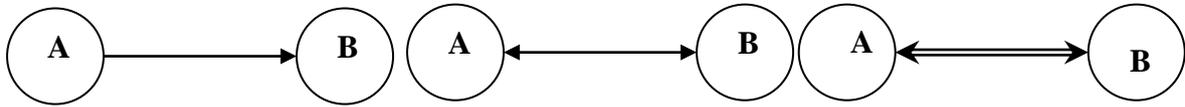


Figura 3.4.a: Sistema Simplex.

Figura 3.4.b: Sistema Semiduplex.

Figura 3.4.c: Sistema Duplex.

3.1.3.2 ENLACE

Enlace é a denominação da conexão rádio estabelecida entre dois postos rádio. Para cada enlace existe um tipo de conexão.

O *delay* para estabelecimento de um enlace, também chamado de *Delay DTN*, é obtido pela Hora local subtraída da hora prevista para início do enlace. Conseqüentemente, a duração do enlace é obtida pela subtração da hora de seu término e a hora de início do enlace.

Podemos chamar de grau de confiabilidade do enlace a divisão do tempo efetivamente utilizado para transmissão de mensagens em um enlace pelo tempo duração previsto para o enlace. Se o resultado for superior a 0.9, podemos dizer que o sistema trabalha em um cenário determinístico, ou seja, menos de 10% do tempo de transmissão foi gasto em inicialização (*hand-shake*), *overread* e/ou retransmissões.

Como exemplo de enlaces de uma mensagem, vamos usar o grafo do modelo proposto da Figura 3.5:

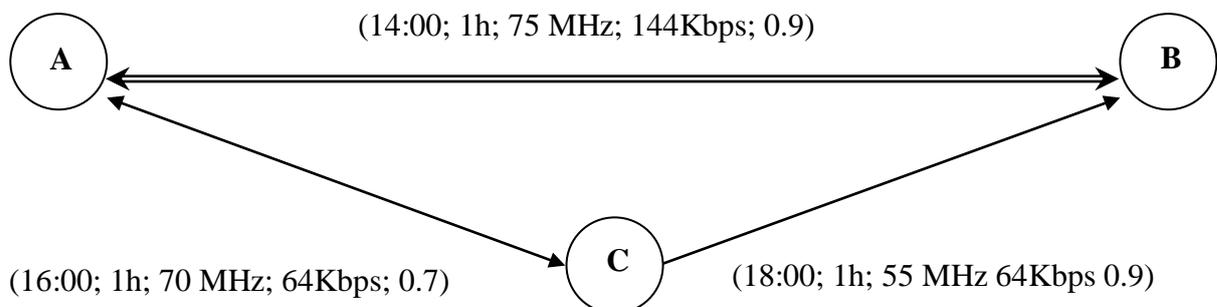


Figura 3.5: Proposta de representação gráfica dos enlaces.

- A-B: enlace duplex, com tempo de transmissão de 1 hora, frequência de transmissão e recepção de 75 MHz, taxa de transmissão de 144 Kbps, confiabilidade do enlace de 0,9, a ser iniciado às 14:00 Hs.

- C-B: enlace simplex de C para B (não existe transmissão de B para C), com tempo de transmissão de 1 hora, frequência de transmissão e recepção de 55 MHz, taxa de transmissão de 64Kbps, confiabilidade do enlace de 0.9, a ser iniciado às 18:00 Hs.

- A-C: enlace semiduplex, com tempo de transmissão de A para C de 30 minutos e de C para A de 30 minutos, frequência de transmissão e recepção de 70 MHz, taxa de transmissão de 64Kbps, confiabilidade do enlace de 0.7 a ser iniciado às 16:00 Hs.

Podemos notar que na representação gráfica dos enlaces da Figura 3.5, foi determinado um tempo de duração para cada enlace. Em enlaces bidirecionais, há necessidade de que durante a negociação do fechamento do enlace, que o sistema (oráculo) de cada um dos postos rádio informe as quantidades de mensagens a serem transmitidas e divida o tempo de transmissão para cada um dos postos, por exemplo, de maneira proporcional à quantidade de mensagens. Outra abordagem seria o sistema priorizar os PCs com maior valor tático para a transmissão de mensagens. A política de divisão de tempo seria estipulada pelo gerente do sistema no PDR da rede, configurada no Oráculo principal e passada aos Oráculos dos postos Rádio (secundários) no momento do estabelecimento das conexões.

3.1.4 O CONHECIMENTO DO ORÁCULO

Um oráculo deve possuir uma série de informações para que possamos calcular as premissas de QoS do sistema. Dentre elas, destacamos o tamanho das mensagens, posição das mensagens nas filas de transmissão e a taxa nominal de transmissão de cada transmissor. Com o monitoramento do sistema, podemos obter a taxa de chegada de mensagens ao sistema, o tamanho médio das mensagens (partida e chegada) e a taxa real de transmissão de cada estação rádio.

Desta forma, é possível calcular o modelo matemático do sistema de filas, ou aproximar para um modelo conhecido, para melhor compreensão do sistema e predição de eventos futuros.

A Figura 3.6 mostra a representação gráfica do CTR* e suas filas de transmissão.

Podemos notar que o Centro de Mensagens, que consolida todas as mensagens de partida, seleciona as mensagens a serem transmitidas pelo meio rádio, colocando-as em fila de prioridade, de acordo com os critérios estabelecidos pelo sistema, e enviando-as ao Centro de Transmissão de Recepção (CTR)*.

No CTR* as mensagens são analisadas pelo *software* local que decide, levando em consideração seu tamanho e sua posição na fila, qual jornada a mensagem deve seguir, encaminhando a mensagem para um enlace de um específico posto rádio.

Raciocínio similar pode ser aplicado às mensagens de chegada.

Definida a fila de transmissão do posto rádio, podemos definir o *delay* para início da transmissão da mensagem (*delay* DTN).

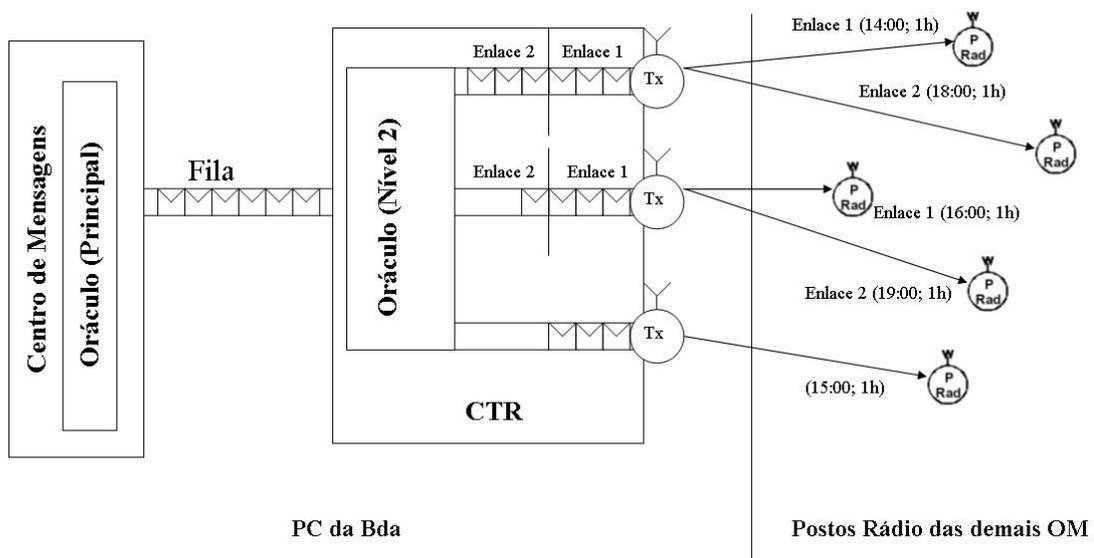


Figura 3.6: Filas de mensagens no CTR

3.1.5 GRAFOS TEMPORAIS

Nossa proposta para transmissão em enlaces e jornadas se baseia na adoção do conceito de grafos evolutivos proposto por (FERREIRA, 2004), e de grafos temporais proposto por (OLIVEIRA, 2007).

Aplicando modificações nos conceitos dos modelos apresentados, alteramos a forma do grafo e das etiquetas, de maneira que passem a conter não apenas o tempo de duração de cada enlace, mas também parâmetros que possibilitem implementação de padrões de qualidade de

serviço (QoS), de forma a selecionar a melhor jornada disponível para cada uma das mensagens, de acordo com a situação tática da Brigada*.

3.1.6 JORNADA

Jornada é a rota que faz a mensagem ou a seqüência de nós entre origem e destino (OLIVEIRA, 2007).

No sistema rádio DTN, a jornada que transmitirá a mensagem mais cedo (foremost journey) deve ser o objetivo. Entretanto, para cálculo dos tempos totais gastos em uma jornada, devemos levar em consideração não apenas o tempo decorrido entre o início da transmissão na origem e seu término no destino, mas todos os *delays* envolvidos em cada um dos enlaces.

Desta forma, devemos sempre raciocinar em termos do tempo de processamento da mensagem (QSL*-GDH*), que pode ser calculado pela seguinte soma: *Delay* DTN + *delay* das filas + *delay* da jornada escolhida para transmissão.

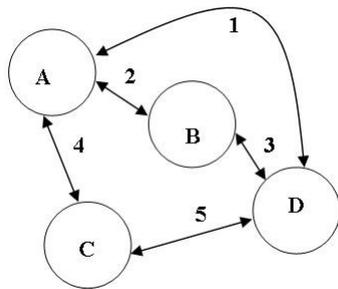
No caso de uma jornada com múltiplos saltos, os *delays* das filas e *delays* DTN devem ser a soma dos *delays* de cada um dos saltos realizado pela mensagem.

3.1.7 ESTUDO DE CASO

Com a finalidade de avaliar a eficiência dos dados armazenados pelos oráculos e o novo modelo de etiquetagem dos enlaces, vamos realizar uma análise do grafo evolutivo da Figura 3.7, comparando a tomada de decisão da escolha da jornada mais cedo (*Foremost journey*) e do menor tempo de processamento da mensagem, através dos dois modelos.

Para enviarmos uma mensagem de “A” para “D”, temos as seguintes jornadas: A-D, A-B-D, A-C-D.

Para a jornada A-D, inicialmente podemos concluir que a mensagem expedida às 13:00 Hs chegará em seu destino entre 15:15 e 16:15; Pela jornada A-B-D a mensagem chegará entre 14:45 e 15:45 e para a jornada A-C-D a mensagem chegará entre 15:30 e 16:00 Hs.



Enlace	Início	Término
1	15:15	16:15
2	13:00	14:00
3	14:45	15:45
4	14:00	15:00
5	15:30	16:00

Figura 3.7: Modelo de grafo evolutivo.

Podemos notar que este modelo de etiquetagem por si só não estima uma hora de chegada de uma mensagem, mas o intervalo disponível para tráfego de mensagens. O sistema nos leva a acreditar que, em princípio, a jornada A-B-D é a que entregará a mensagem mais cedo.

Completando as informações das jornadas com o modelo proposto, obtemos a Tabela 3.1:

Tabela 3.1: Horários do grafo temporal.

Jornada	Tipo de Enlace	Tempo de duração	Frequência (MHz)	Taxa de Tx (Kbps)	Eficiência de TX
A-B	Duplex	1h	75	28	0.3
A-C	Duplex	1h	75	28	0.9
A-D	Duplex	1h	75	28	0.6
B-D	Duplex	1h	75	28	0.3
C-D	Duplex	1h	75	28	0.9

Vamos considerar o tamanho da mensagem de 2MB e supor que, pelo banco de dados do Oráculo, os transmissores que tem horário de abertura de enlace mais cedo tendem a acumular maior número de mensagens em sua fila. Com base dos dados dos Oráculos e cálculos dos enlaces através das informações das etiquetas obtemos a Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Horários do grafo temporal.

Jornada	Janela de Tx	Tempo de Espera nas Filas	Tempo de Tx da mensagem	Tempo total de retardo	Hora de Chegada em D
A-D	15:15 e 16:15	18 min	2,38 min	21,38 min	15:36
A-B-D	13:00 e 15:45	55 min	3,57 min	59,57 min	15:44
A-C-D	14:00 e 16:00	7 min	1,19 min	8,19 min	15:38

Através das informações das etiquetas propostas e das informações dos Oráculos, o sistema pode prever o horário exato de chegada da mensagem por cada uma das rotas, possibilitando assim a escolha da rota de menor atraso ou jornada que transmitirá a mensagem mais cedo (*foremost journey*).

Utilizando todos os parâmetros envolvidos no sistema, concluímos que a jornada A-D transmitirá a mensagem mais cedo (*foremost journey*).

3.1.8 NÚMERO DE ENLACES DAS REDES RÁDIO

A quantidade de ligações de cada posto rádio, e, conseqüentemente, do grafo do sistema, será dado pela situação tática da Brigada* e da capacidade técnica de cada Organização Militar possuidora de postos rádio.

Utilizando o cenário da Operação Santa Cruz – 2008, podemos sugerir a quantidade de enlaces baseado no valor da OM, Batalhão (Btl) ou Companhia (Cia) e em sua situação tática, de acordo com as Tabelas 3.3 e 3.4.

Tabela 3.3: Quantidade de enlaces por escalão - Proposta

Escalão/Local	Situação Tática	Quantidade de enlaces
PC e PCR	--	Ilimitados
Btl	em 1º escalão	8 enlaces
Btl	Resrva	4 enlaces
Cia	em 1º escalão	4enlaces
Cia	Reserva	2 enlaces
Cia	Em apoio a um Btl	2
OM justaposta	--	0

Tabela 3.4: Quantidade de enlaces por escalão – Op Santa Cruz

Posto de Comando	Valor da OM	Situação Tática
PC da Bda	-	-

PCR da Bda	-	-
411° BIB	Btl	OM em 1° Escalão
412° BIB	Btl	Reserva
413° RCC	Btl	OM em 1° Escalão
41ª Bia AAAe AP	Cia	Apoio ao 41° GAC 155 AP
41° GAC 155 AP	Btl	OM em 1° Escalão
41° BEC Bld	Btl	OM em 1° Escalão
41° Esqd C Mec	Cia	Reserva
41ª Cia Com Bld	Cia	Justaposto ao PC da Bda
41° B Log	Btl	Justaposto ao PCR da Bda

Podemos visualizar a situação dos enlaces da Op Santa Cruz na Figura 3.8.

É importante ressaltar a possibilidade de utilização das diversas políticas de roteamento DTN no sistema rádio. A utilização da jornada mais cedo é uma aplicação direta da política de roteamento probabilística, onde uma extrapolação dos dados armazenados no oráculo faz a previsão da jornada a ser utilizada.

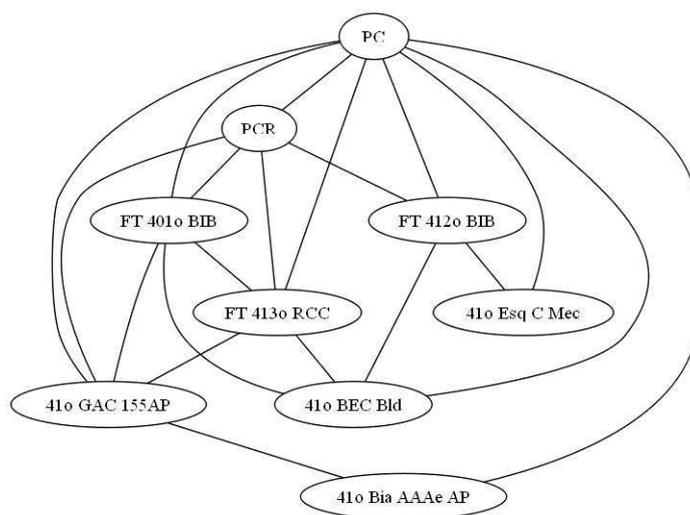


Figura 3.8: Enlaces rádio da operação Santa Cruz

A adoção das políticas de Contato Direto, Primeiro Contato e Epidêmica são viáveis em situações específicas, como por exemplo:

- Epidêmica: Operações em que não existam informações suficientes no oráculo (cenário estocástico). Todas as mensagens seriam transmitidas por todos os enlaces;
- Contato Direto: A política de segurança para transmissão de mensagens impede jornadas com múltiplos saltos. Podemos notar que, neste caso, a política de roteamento de Contato Direto se confunde com a jornada com menor número de saltos (*Min-hop count*);

- Primeiro Contato: Utilizada em situações onde existe a necessidade de transmissão da maior quantidade de mensagens no menor período. Todas as mensagens seriam transmitidas, dentro das limitações do tempo de transmissão, ao primeiro enlace disponível.

3.1.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do sistema de comunicações* rádio hoje funcionar com contatos sob demanda em um grafo padrão estrela, na prática o sistema não é utilizado em tempo integral e freqüentemente necessita de roteamento.

A utilização de contatos programados, a adoção de grafos com múltiplos caminhos e o gerenciamento de informações da rede por um software que simula um “Oráculo”, somada as características de tolerância a atrasos e desconexões torna o sistema muito mais flexível tecnicamente e apto para atender aos mais diversos tipos de operações táticas.

A adoção de métricas de enlaces e jornadas possibilita o estabelecimento de QoS para o sistema, facilitando as necessárias decisões de roteamento.

A jornada que transmitirá a mensagem mais cedo (*foremost journey*) passa a ser um objetivo a ser buscado pelo oráculo na decisão de roteamento do sistema rádio.

3.2. SISTEMA DE MENSAGEIROS COM CARACTERÍSTICAS DTN

3.2.1. O SISTEMA DE MENSAGEIROS TRADICIONAL

O mensageiro é o agente de comunicações encarregado da entrega das mensagens de um Centro de Comunicações* a outro.

É o mais antigo e o mais seguro meio de comunicações. O mensageiro, a pé ou transportado, constitui-se na maneira mais prática e quase que exclusiva de remessa de documentos volumosos, cartas topográficas, materiais e mensagens longas. O desenvolvimento dos recursos de guerra eletrônica faz crescer de muito a importância do uso de mensageiros, mesmo em situações de movimento, em substituição ao rádio.

O Sistema de mensageiros pode funcionar em dois tipos:

- Escala: Seguem itinerários e horários predeterminados e fazem escalas em locais já fixados.

- Especiais: Partem em horários e por itinerários não padronizados.

Destacam-se ainda as seguintes características:

- Permite o envio de grande número de mensagens, simultaneamente, a diversos destinatários.

- Permite o descongestionamento do tráfego dos outros meios de comunicações, por sua grande capacidade de tráfego.

- Permite a condução de mensagens em texto claro com alguma segurança.

- São vulneráveis à ação inimiga e as dificuldades impostas pelo terreno e condições meteorológicas.

3.2.2. SISTEMA DE MENSAGEIROS COM CARACTERÍSTICAS DTN

O sistema de mensageiros convencional é conceitualmente um sistema DTN. Mensagens destinadas a este meio são armazenadas, transportadas e, após o mensageiro alcançar seu destino, entregues ao seu destinatário. Podemos notar um atraso equivalente ao *Delay DTN* na utilização deste meio.

Como forma de modernização do sistema de mensageiros, devemos levar em conta a necessidade de utilização de um dispositivo de armazenamento de alta capacidade que permita ao mensageiro carregar grandes volumes de informação. Este dispositivo seria o diferencial em volume de tráfego em relação aos demais sistemas, como mostra a Figura 3.9.

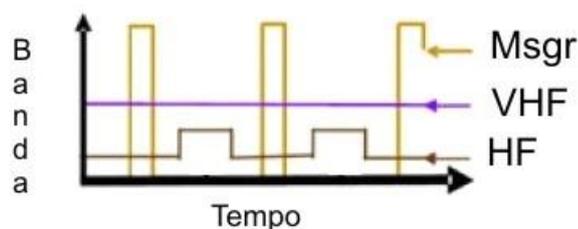


Figura 3.9: Capacidade de tráfego do Sistema de Mensageiros com características DTN.

É necessária ainda a utilização de mecanismos que permitam o *upload* dessas mensagens nos sistemas de destino. A utilização de meios de transmissão sem fio, por

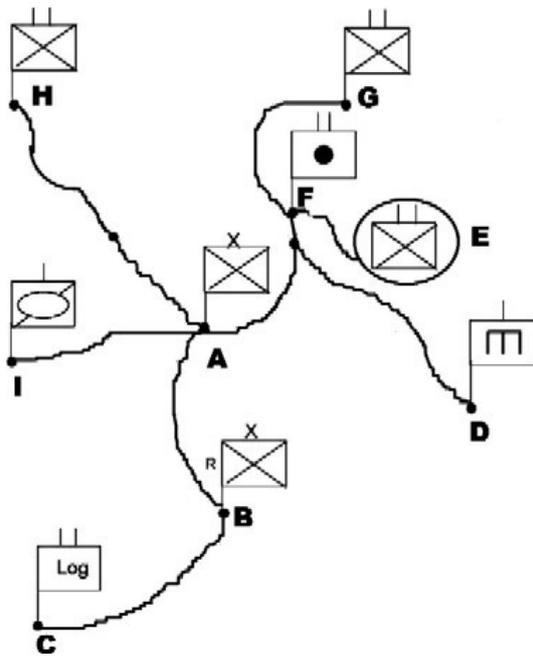
exemplo, permitiria ao sistema descarregar as mensagens à distância, sem a necessidade de entrada no PC de destino, economizando tempo e proporcionando maior segurança ao PC.

Faz-se necessário, ainda, a padronização da representação das jornadas utilizadas pelos mensageiros. Os mensageiros de escala necessitam da montagem de uma tabela de jornadas atribuindo responsabilidades do serviço, percurso e intervalo de tempo definiriam o sistema, como mostra a Figura 3.10.

Com essas informações a modelagem de um grafo temporal poderia estabelecer os períodos e locais de troca de dados e responsabilidades de entrega, possibilitando assim o cálculo do tempo médio de transmissão das mensagens na rede.

A principal diferença entre mensageiros de escala e mensageiros especiais em um sistema DTN é o cenário onde eles trabalham. Em um cenário determinístico, o sistema de mensageiros poderia prever com antecedência rotas para entrega de mensagens, estipulando para cada rota um período previsto para deslocamento e a hora prevista da entrega das mensagens no destino. Já em um cenário estocástico, as rotas seriam traçadas às vésperas da partida da viatura com o mensageiro. Devido às incertezas do campo de batalha, os tempos de deslocamento necessitariam de uma margem maior de segurança, fazendo com que a hora da entrega da mensagem em seu destino seja apenas estimada. Desta forma, sempre que possível deve ser dada à preferência aos mensageiros de escala. Ambos os casos são considerados contatos previsíveis.

Ainda no cenário estocástico, caso não pudessem ser determinadas rotas completas para a Bda*, pode-se utilizar um sistema de cálculo de rotas por nó, ou seja, a cada nó de destino em que chegasse uma viatura do sistema, haveria uma troca de custódio e o sistema responsável pelo custódio receptor da mensagem calcularia a rota restante a fim de completar a jornada das mensagens para entrega aos seus destinatários.



Origem: PC da Bda – (A)

TABELA DE JORNADAS DO NÓ A				
Destino	Jornada	Número de Saltos	Intervalos de Tempo	Prob. de Sucesso
B	A - B	1	(02:00 - 03:00)	1
B	A - B	1	(20:00 - 23:00)	1
C	A - C	1	(17:00 - 20:00)	1
E	A - B - E	2	(02:00 - 03:00), (08:00 - 10:00)	1
C	A - B - C	2	(02:00 - 03:00), (09:00 - 11:00)	1
D	A - B - D	2	(02:00 - 03:00), (11:00 - 12:00)	1
C	A - B - D - C	3	(02:00 - 03:00), (11:00 - 12:00), (07:00 - 12:00)	0.1
D	A - B - C - D	3	(02:00 - 03:00), (09:00 - 11:00), (07:00 - 12:00)	0.4

Figura 3.10: Sistema de Mensageiros com características DTN de uma Brigada.

3.2.3. JORNADAS DO SISTEMA DE MENSAGEIROS DTN

Em (OLIVEIRA, 2007) foi realizado um estudo de roteamento probabilístico para sistemas de mensageiros DTN baseado no conceito de grafos evolutivos e jornadas. A forma como as jornadas foram construídas consideram a incerteza em relação ao horário de estabelecimento dos contatos entre mensageiro e destino, e, conseqüentemente, a possibilidade de falhas ocasionadas pelas interseções dos intervalos de tempo.

Neste estudo, quando uma mensagem troca de custódio, existe uma probabilidade de que o custódio que entrega as mensagens não chegue antes da partida do custódio que recebe a mensagem. Em jornadas com apenas 1 salto, considera-se igual a 1 probabilidade de entrega de mensagens. Mensagens que necessitem de mais de um salto, tem como probabilidade de entrega o produto da probabilidade de cada trecho.

Desta forma, utilizando-se a Figura 3.10 como exemplo, mensagens de “A” destinadas a “F” teriam probabilidade de entrega 1. Uma viatura partiria de “A” e entregaria as mensagens em “F”.

Mensagens de “A” destinadas a “G” teriam suas probabilidades calculadas pela equação $P(G) = P(A-F) * P(F-G)$. Nesta situação, uma viatura sob responsabilidade de “A”, partindo do ponto “A”, entregaria as mensagens a uma viatura sob a responsabilidade de “F”. Esta nova viatura partindo de “F” entregaria as mensagens em “G”.

Desta forma, o número de multiplicandos da equação seria igual ao número de saltos do mensageiro para alcançar seu destino.

Podemos então concluir que o desempenho de um sistema de mensageiros é maior em jornadas com menor número de saltos, ou seja, devemos dar prioridade às jornadas com menor número de saltos ou *Min-hop count*.

Outra solução seria a entrega de mensagens em múltiplos PCs sem a passagem da custódia das mensagens. Esta solução, apesar de aparentemente mais simples, é mais sujeita aos imponderáveis da guerra, por seu percurso longo e sua exposição prolongada ao inimigo.

3.2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de mensageiros é conceitualmente um sistema DTN. Sua utilização, além de descongestionar os demais sistemas, deve ser priorizada para mensagens de elevada classificação sigilosa*.

No tráfego de mensagens do sistema deve-se priorizar a jornada com menor número de saltos e, quando isso não for possível, a utilização de mensageiros com múltiplas escalas sem a transferência de custódia das mensagens é primordial para manutenção de uma probabilidade de entrega aceitável para os padrões militares.

Devem ser priorizados os mensageiros de escala em detrimento dos mensageiros especiais.

4. SISTEMA DE CONTATOS OPORTUNISTAS

O sistema de contatos oportunistas apesar de utilizar jornadas para transmissão de mensagens, por utilizar em sua maioria nós móveis, tem seu desempenho associado ao tipo de protocolo de roteamento utilizado.

Esta característica o torna singular dentre os possíveis meios de transmissão a serem utilizados em uma Brigada*.

4.1. CONCEITOS

Mensagens podem ser transmitidas em uma rede DTN através de contatos oportunistas. Uma das maneiras de se transmitir através de contatos oportunistas é utilizando Redes Ad Hoc móveis.

Uma Rede Ad Hoc Móvel (*Mobile Ad Hoc Network* –MANET) é um sistema autônomo de nós móveis conectados por ligações sem fios. Não há infra-estrutura estática como os roteadores das redes sem fio estruturadas ou a Estação Rádio Base da telefonia móvel celular. Nas MANETs todos os nós são livres para se deslocarem aleatoriamente, mudando assim a topologia da rede de forma dinâmica.

A união desta tecnologia com a de redes DTN em uma MANET-DTN cria um sistema de comunicações* versátil, passível de transmitir mensagens em cenários de movimento sem a necessidade de um caminho fim a fim estabelecido.

No cenário militar, as desconexões são comuns nos sistemas tradicionais. Podem acontecer devido ao terreno, à interferência no sinal (ZHANG, 2006) ou a mobilidade dos transmissores e receptores. A pequena quantidade de vias trafegáveis nas áreas de operações e constante possibilidade de incapacitação dos nós de comunicações pelo inimigo fazem com que as MANETs-DTN sejam uma solução que, conceitualmente, reúne condições para integrar sistemas de comunicações militares.

O objetivo deste capítulo é apresentar um estudo para determinar o percentual de mensagens entregues e o retardo médio das mensagens utilizando os protocolos básicos de roteamento das MANETs-DTN em um cenário típico de um sistema de comunicações* de uma Brigada*.

4.2. TECNOLOGIAS UTILIZADAS NAS MANETS – DTN

4.2.1. PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

Nas MANETs tradicionais, os protocolos de roteamento visam estabelecer caminhos fim a fim para comunicação, através de contatos oportunistas. Quando adicionamos as MANETs as características das Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões, a camada de agregação (Bundle Layer) e a propriedade de receber-armazenar-encaminhar mensagens (store-carry-forward), transformamos o sistema em assíncrono e, conseqüentemente, com uma melhor acessibilidade, em particular para ambientes com poucos nós (NUNES, 2009).

Na propriedade receber-armazenar-encaminhar, um nó pode armazenar uma mensagem até encontrar outro nó propício para o roteamento em direção ao destinatário. A decisão de para qual nó repassar uma mensagem é a principal característica de um protocolo de roteamento para DTNs (NUNES, 2009).

Quando a tecnologia DTN é utilizada em redes onde há movimentação dos nós, como nas MANETs, a comunicação entre um par de nós em um determinado instante somente é possível quando a distância entre eles é menor do que o alcance da transmissão. O tempo de duração da transmissão é determinado pelo período em que a mobilidade permite que os nós permaneçam no alcance recíproco de transmissão.

4.2.2. PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO DE MANETs DTN

O roteamento de uma MANET é realizado pela própria mobilidade dos nós na rede, através de contatos oportunistas (NUNES, 2009).

Os protocolos de roteamento de uma MANET-DTN podem utilizar dois princípios básicos de funcionamento: o repasse e a cópia de mensagens. Existem ainda protocolos que misturam os dois princípios, agindo de forma mista.

O repasse é a transmissão da mensagem recebida para um único nó. Essa abordagem tenta reduzir o uso de buffer e o número de mensagens transferidas, mas sofre de grandes atrasos e baixa taxa de entrega.

Quando o nó faz múltiplas cópias das mensagens recebidas e, conseqüentemente, múltiplos repasses, o sistema alcança atrasos mais baixos e maior taxa de entrega. Neste sistema, a utilização do buffer é intensa e, normalmente, várias mensagens são descartadas pelos diversos nós por falta de espaço de armazenamento.

O mais simples dos algoritmos de roteamento, para o qual quase nenhuma informação sobre a topologia da rede é necessária é o algoritmo de Primeiro Contato (*First Contact - FC*). Nele, o nó simplesmente encaminha a mensagem a um de seus vizinhos, aleatoriamente. Se o nó não possui contato com nenhum vizinho, ele armazena a mensagem e a envia ao primeiro nó com o qual vier a estabelecer contato. Desta forma, a única informação da rede que o algoritmo FC utiliza é a conectividade local (OLIVEIRA, 2007).

No protocolo de Entrega Direta (*Direct Delivery – DD*) a fonte mantém os dados até ao momento em que entrar em contato com o destino. O DD utiliza recursos mínimos, dado que cada mensagem é transmitida no máximo uma vez. No entanto, pode incorrer em atrasos longos (OLIVEIRA, 2007), e frequentemente mostra baixo desempenho.

No protocolo Epidêmico, quando um nó entra no alcance de transmissão de outro nó, uma conexão é estabelecida. Em seguida, os nós trocam suas listas de mensagens armazenadas. Deste modo, as mensagens da lista recebida são comparadas com as mensagens presentes no nó, para determinar quais mensagens o nó não possui. Feito isso, o nó solicita o envio de cópias destas mensagens. O processo de troca de mensagens se repete toda vez que um nó estabelece contato com um novo nó, o que permite que as mensagens sejam rapidamente distribuídas pela rede. Assim, quanto mais cópias de uma mesma mensagem forem encaminhadas na rede, maior será a probabilidade desta mensagem ser entregue e menor será o atraso. Este foi o primeiro protocolo de roteamento proposto para as redes DTN (VAHDAT, 2000). Este protocolo tem como característica o intenso uso dos *buffers* e a demanda de elevado tempo de transmissão.

O protocolo Probabilístico (*Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity - PRoPHET*) (LINDGREN, 2004) usa uma métrica que indica a probabilidade de um nó entregar uma mensagem a um destinatário, denominada previsibilidade de entrega. De acordo com (LINDGREN, 2004), quando dois nós se encontram, uma mensagem é enviada para o outro nó se a previsibilidade de entrega ao destino for mais alta no outro nó. Contudo, como o nó que repassou a mensagem pode encontrar um nó melhor ou o próprio destino final no futuro, a mensagem repassada não é removida do nó, mas fica armazenada em buffer, desde que haja espaço disponível. Além disso, uma função de transitividade também é usada (NUNES, 2009).

O protocolo Spray and Wait (SW) (SPYROPOULOS, 2005), combina a velocidade do protocolo Epidêmico, com a simplicidade do protocolo de Entrega Direta para o nó destino. Este protocolo possui duas fases, na primeira, chamada de *Spray*, para cada mensagem gerada no nó origem, L cópias desta mensagem são repassadas para outros $L - 1$ nós. Se o nó destino

não foi alcançado nesta fase, o protocolo entra na fase de espera, chamada *Wait*, onde os L nós que contém cópias da mensagem irão repassá-las somente para o nó destino.

O protocolo Maxprop (BURGESS, 2006) tenta encaminhar a mensagem para qualquer nó que tenha uma maior probabilidade para entregar a mensagem ao destino. Sua estratégia consiste no cálculo do caminho de cada mensagem em cada oportunidade de transferência usando um algoritmo de Dijkstra modificado com o histórico como critério fundamental. Ele ainda define a sua própria maneira de análise do histórico de mensagens para ditar a computação do caminho, mas parte do pressuposto que as informações de topologia não consomem largura de banda. Incorpora ainda um peculiar mecanismo de enfileiramento de mensagens à nível de pares que prefere as mensagens recentemente carregadas e degrada a prioridade das mensagens com base no número de saltos e a probabilidade de entrega. O protocolo Maxprop consome grande quantidade de recursos computacionais, sendo de alto custo para dispositivos móveis com alta contagem de mensagem (ISLAM, 2008).

4.2.3. PADRÃO DE MOVIMENTO

O modelo Movimento de Caminho Mais Curto Baseado em Mapa (*Shortest Path Map Based Movement- SPMBM*) faz uso de dados cartográficos como base. Os nós escolhem um destino no mapa selecionando aleatoriamente um ponto dentre pontos previamente designados. O nó calcula o caminho mais curto para o destino utilizando o algoritmo de Dijkstra (FALL, 2004). O número de pontos do mapa depende da construção do mapa e da seleção prévia de pontos de interesse ou relevância para o cenário. Uma área onde as estradas foram construídas com muitos pontos no mapa será mais fácil de atrair os nós. Portanto, é possível que dois mapas idênticos, mas com pontos distribuídos de diferentes formas, produzam diferentes movimentos (EKMAN, 2008).

O padrão de movimento SPMBM foi selecionado por ser o que mais se aproxima do utilizado pelas viaturas de comunicações e logísticas de uma Brigada* do Exército em situação de combate. As semelhanças são devido às necessidades de objetividade na utilização da malha viária, com a escolha da rota viável mais curta entre dois pontos da região de operações.

4.3. CENÁRIO E PARÂMETROS DAS SIMULAÇÕES

Para adequação e edição da carta SANTA CRUZ* e a transformação das coordenadas geográficas em parâmetros aceitos pelo simulador, utilizamos o Software “OpenJump”, em sua versão 1.3. A área utilizada na simulação possui um tamanho de 11.500 x 6.000 metros (69 Km²), como pode ser observado na Figura 4.1.

Inicialmente, utilizamos seis nós fixos simulando os dois Postos de Comando* da Brigada* (PC: P0 e PCR:P1) e quatro Batalhões (B2, B3, B4, B5), sendo B1 o 411° BIB, B2 o 412° BIB, B3 o 413° RCC e B4 o 41° GAC 155 AP. Os nós móveis (L6 a L20) representam as viaturas da base logística e do sistema de comunicações* da Brigada*. Todas os nós móveis utilizam o padrão de mobilidade Shortest Path Map Based Movement e sua velocidade foi ajustada para tráfego “em qualquer terreno”, ou seja, compatível com o tipo de pavimentação da região (estradas de terra ou pavimentadas em mau estado de conservação) e a quantidade de carga padrão para este tipo de viatura.

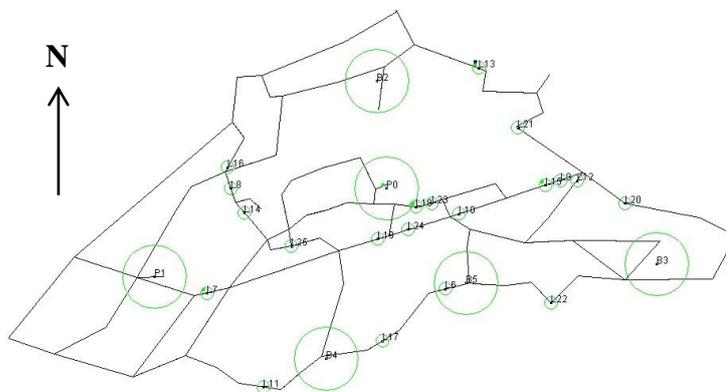


Figura 4.1: Cenário da Brigada em operações utilizado no estudo de caso.

Foram realizados três tipos de simulações, onde os principais parâmetros de configuração de cada sistema podem ser vistos na Tabela 4.1.

Na primeira simulação, o tamanho das mensagens e o tamanho do buffer dos nós torna possível que todos os nós sejam capazes de suportar cópias de todas as mensagens geradas, impedindo assim o descarte de mensagens. O número de nós móveis, iniciado em 15, vai

sendo acrescido de 5 em 5, até 100, com a finalidade de se determinar as alterações de desempenho do sistema com a alteração da quantidade de nós.

Na segunda simulação os tamanhos das mensagens e dos *buffers* dos nós móveis foram ajustados de maneira a criar situações onde o descarte de mensagens por falta de espaço em buffer seja inevitável. Esta simulação tem por finalidade avaliar o impacto do tamanho do buffer no desempenho de cada protocolo.

Na terceira simulação, foram assumidos os tamanhos de mensagens e *buffers* da segunda simulação, utilizando 55 nós móveis enquanto no número de nós fixos varia de 2 a 8, de forma a avaliar o impacto da presença de nós fixos no desempenho do sistema. Para o cenário com 7 e 8 nós móveis, foram adicionados os Centros Nodais* (CN) da 13° DE localizados na área de atuação da Brigada* (CN 2 e CN 4). Os resultados apresentados são uma média das possíveis combinações dos postos de comando existentes.

Tabela 4.1: Parâmetros das Simulações

Parâmetros	1ª Simulação	2ª Simulação	3ª Simulação
Taxa de transmissão:	Padrão 802.11g		
Nr de nós Fixos	6	6	Variado (2 a 8)
Nr de Nós Móveis	Variado (15 a 100)	Variado (15 a 100)	55
Tamanho do Buffer do nó móvel	2.100 MB	210 MB	210 MB
Tamanho da Mensagem	100 a 200 kB	1 a 2 MB	1 a 2 MB
Nós Fixos – Postos de Comando e Batalhões			
Alcance de transmissão	200 m em cada uma das vias de acesso ao nó		
Buffer	2.100 MB		
Nós Móveis – Viaturas de Comunicações			

Alcance de transmissão	100 m
Velocidade dos nós móveis	10 a 50 km/h

Todas as simulações foram realizadas em um período equivalente a 12 horas, com a criação de 478 mensagens (aproximadamente 40 mensagens por hora), com origem e destino selecionados aleatoriamente.

Cada simulação foi repetida por cinco rodadas, de modo que a adição de novas rodadas apenas alteraria a terceira casa decimal da média dos resultados. Os resultados apresentados na seção seguinte são os valores médios das cinco rodadas.

4.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.4.1. 1ª SIMULAÇÃO: Determinação da quantidade de Nós Móveis

As médias dos resultados da primeira simulação podem ser vistos nas tabelas 4.2 e 4.3. As Figuras 4.4 e 4.5 mostram os gráficos de desempenho dos protocolos utilizados.

Tabela 4.2: 1ª Simulação – Média do percentual de entregas

Protocolo	Percentual Médio
First Contact	67,69%
Direct Delivery	64,47%
Epidemic	88,94%
PROPHET	88,39%
Spray and Wait	86,18 %
Maxprop	88,94%

Tabela 4.3: 1ª Simulação – Média do Retardo

Protocolo	Retardo Médio
First Contact	1,7347 h
Direct Delivery	1,5069 h
Epidemic	0,3359 h
PROPHET	0,4151 h
Spray and Wait	0,6357 h
Maxprop	0,3361 h

No tocante à percentual de mensagens entregues (Figura 4.2), pode-se observar que, para este cenário, a variação do número de nós móveis não altera de maneira significativa o desempenho dos protocolos de Contato Direto e Primeiro Contato. Já os protocolos Epidêmico e PROPHET apresentam desempenho similares, com um pequeno acréscimo de percentual de entregas à medida que o número de nós aumenta.

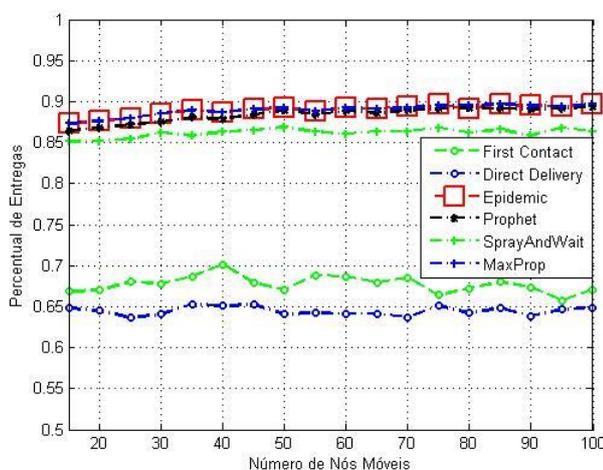


Figura 4.2.a: 1ª Simulação - Percentual de entregas

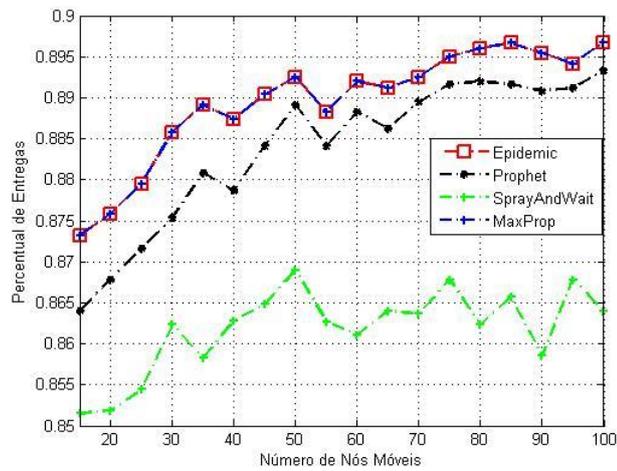


Figura 4.2.b: 1ª Simulação - Percentual de entregas (detalhe)

Quanto ao retardo de entrega das mensagens (Figura 4.3), o protocolo de Contato Direto se mantém praticamente constante, enquanto o de Primeiro Contato aumenta o retardo de entrega com o aumento do número de nós móveis. Os protocolos Epidêmico e PROPHET reduzem o retardo de entrega à medida que a quantidade de nós aumenta.

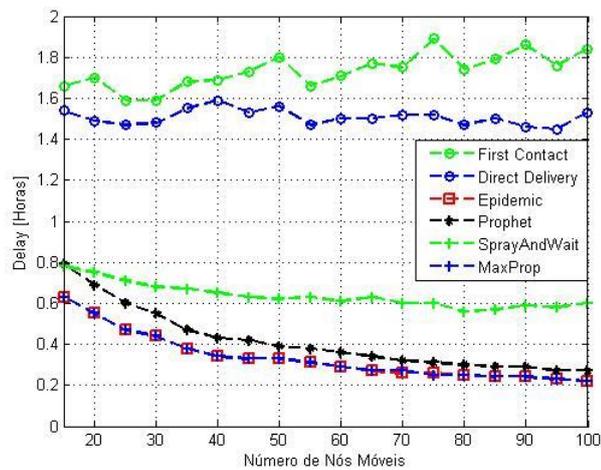


Figura 4.3.a: 1ª Simulação - Retardo

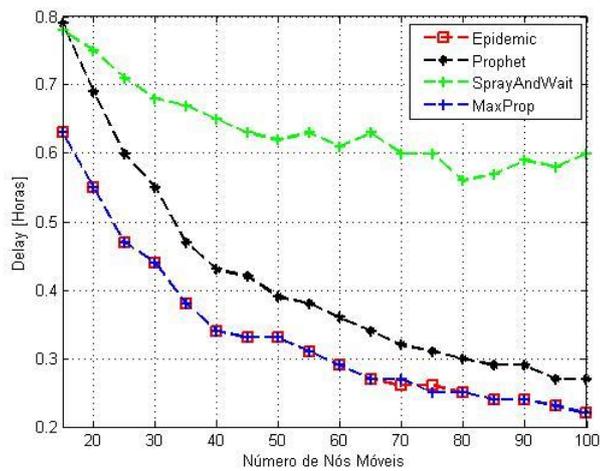


Figura 4.3.b: 1ª Simulação – Retardo (detalhe)

4.4.2. 2ª SIMULAÇÃO: Gerência de Buffer

As médias dos resultados da segunda simulação podem ser vistos nas Tabelas 4.4 e 4.5.

Tabela 4.4: 2ª Simulação - Percentual de entregas

Protocolo	Percentual Médio
First Contact	67,61%
Direct Delivery	64,69%
Epidemic	70,82%
PROPHET	68,23%
Spray and Wait	86,20 %
Maxprop	88,91 %

Tabela 4.5: 2ª Simulação - Média do Retardo

Protocolo	Retardo Médio
First Contact	1,7340 h

Direct Delivery	1,5052 h
Epidemic	0,5307 h
PROPHET	0,5427 h
Spray and Wait	0,6422 h
Maxprop	0,3366

As Figuras 4.4 e 4.5 mostram os gráficos de desempenho dos protocolos utilizados.

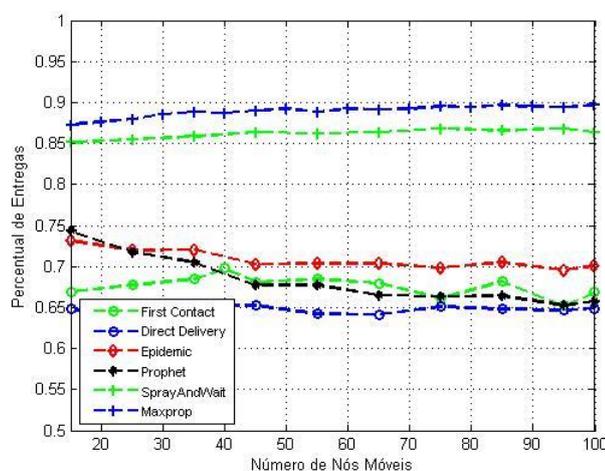


Figura 4.4: 2ª Simulação - Percentual de entregas

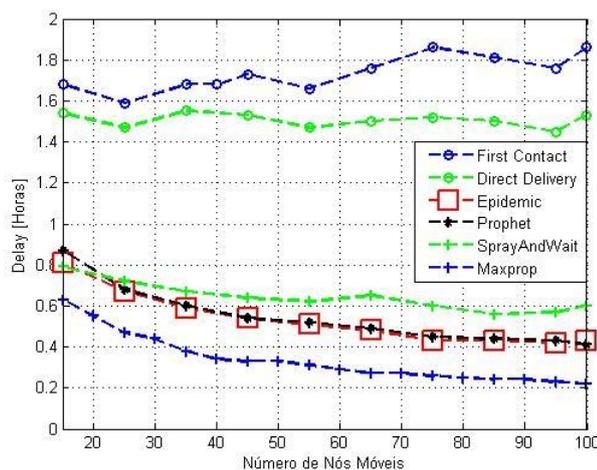


Figura 4.5: 2ª Simulação – Retardo

É esperado que protocolos de repasse tenham desempenho similar em qualquer relação de tamanhos entre mensagens e *buffer*, enquanto protocolos que copiam as mensagens tenham sua performance reduzida de formas diferenciadas, pelo descarte de mensagens.

É o que pode ser constatado na segunda simulação. Os protocolos de Contato Direto e Primeiro Contato mantiveram desempenhos similares aos da primeira simulação, como pode ser visto nas Figuras 4.6 e 4.9.

Os protocolos Epidêmico e PROPHET tiveram quedas sensíveis nos percentuais de entrega de mensagens, conforme demonstra a Figura 4.7. O retardo permaneceu constante em relação à primeira simulação para os dois protocolos.

É importante observar, ainda, que no gráfico de percentual de entrega, quando verificamos a variação do desempenho em relação à quantidade de nós móveis, a curva relativa aos protocolos Epidêmico e PROPHET se inverteu em relação à primeira simulação. Na Figura 4.7 podemos observar que as curvas relativas à primeira simulação são ascendentes, enquanto as da segunda simulação são descendentes. Neste novo contexto, à medida que acrescentamos nós móveis, o percentual de mensagens entregues sofre um ligeiro declínio.

Nos protocolos Spray and Wait e Maxprop, podemos observar nas Figuras 4.8 e 4.11 que tanto o percentual de entrega quanto o retardo permaneceram constantes em relação à primeira simulação. Isto mostra que, apesar de serem protocolos mistos, na prática os resultados seguem o modelo dos protocolos de encaminhamento.

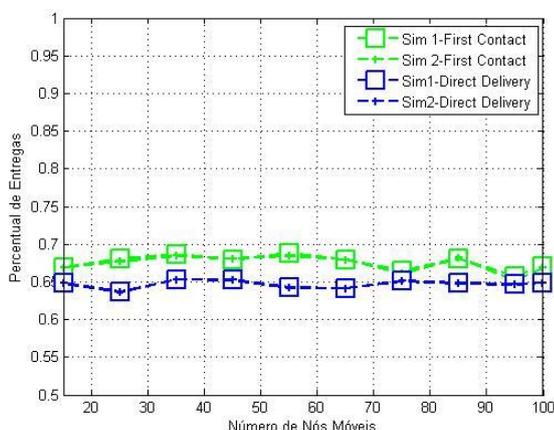


Figura 4.6: Comparação do Percentual de entregas entre 1ª Sim e 2ª Sim First Contact e Direct Delivery

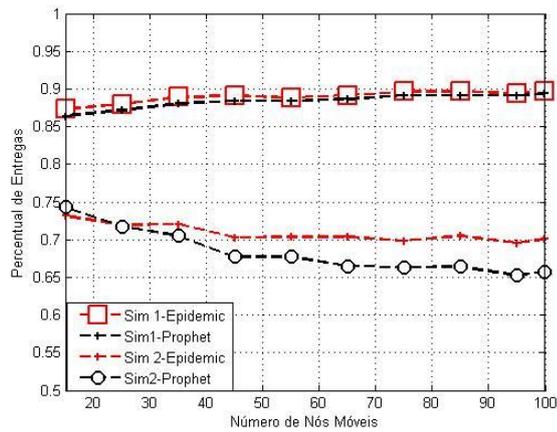


Figura 4.7: Comparação do Percentual de entregas entre 1ª Sim e 2ª Sim Epidêmico e PROPHET

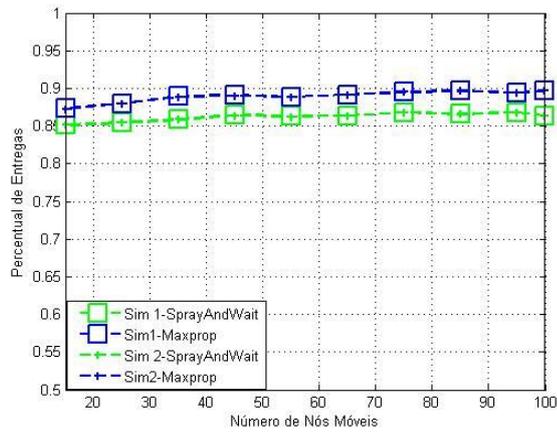


Figura 4.8: Comparação do Percentual de entregas entre 1ª Sim e 2ª Sim Spray and Wait e Maxprop

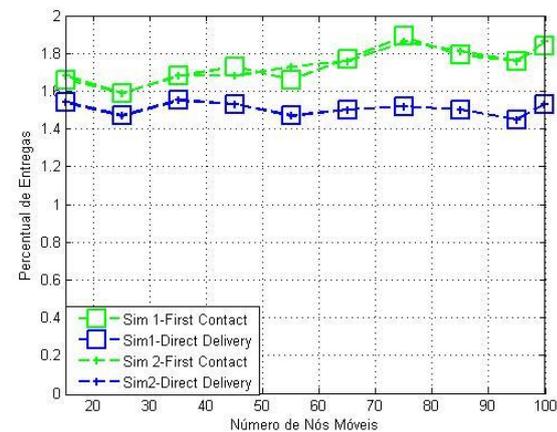


Figura 4.9: Comparação do Retardo entre 1ª Sim e 2ª Sim FC e DD

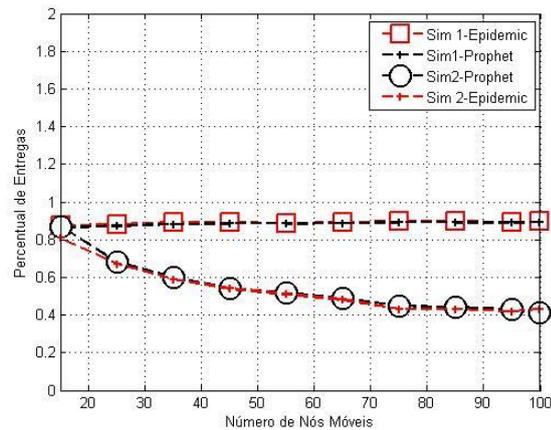


Figura 4.10: Comparação do Retardo entre 1ª Sim e 2ª Sim Epidêmico e PROPHET

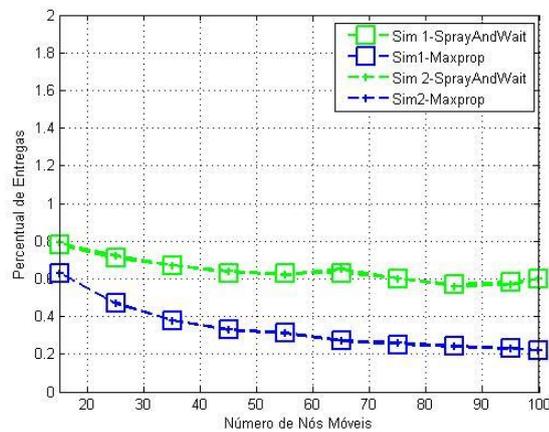


Figura 4.11: Comparação do Retardo entre 1ª Sim e 2ª Sim Spray and Wait e Maxprop

4.4.3. 3ª SIMULAÇÃO: O impacto dos Nós Estáticos

As MANETs utilizam a mobilidade dos nós para fazer o roteamento das mensagens (NUNES, 2009). Nesta perspectiva, é de se esperar que a presença de nós fixos altere o desempenho do roteamento, seja no percentual de mensagens entregues, seja no tempo de entrega de cada mensagem. O objetivo desta 3ª simulação é a verificação do impacto da presença de nós fixos no sistema.

Foram realizadas simulações com 55 nós móveis com os mesmos parâmetros da 2ª simulação, alterando apenas o número de nós fixos, que variaram de 2 a 8.

Como resultado, pode ser visto na Figura 4.12 uma redução significativa no percentual de entrega dos protocolos de Contato Direto e Primeiro Contato quando são acrescentados nós

fixos. Os protocolos Epidêmico e PROPHET apresentaram uma certa estabilidade, mantendo o percentual de entregas independente do número de nós fixos, como mostra a Figura 4.13.

Os protocolos Spray and Wait e Maxprop mais uma vez seguem a tendência dos protocolos encaminhadores, reduzindo a taxa de entrega à medida que são acrescentados nós fixos, como pode ser visto na Figura 4.14.

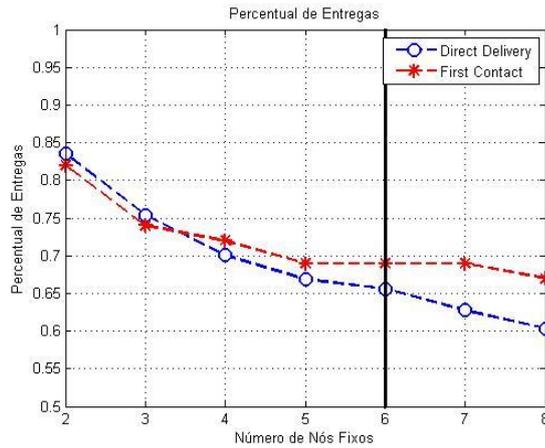


Figura 4.12 : 3ª Simulação - Percentual de entregas – FC e DD

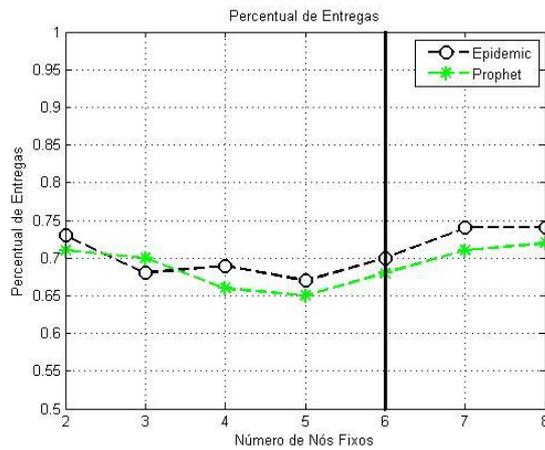


Figura 4.13: 3ª Simulação - Percentual de entregas - Epidemic e PROPHET

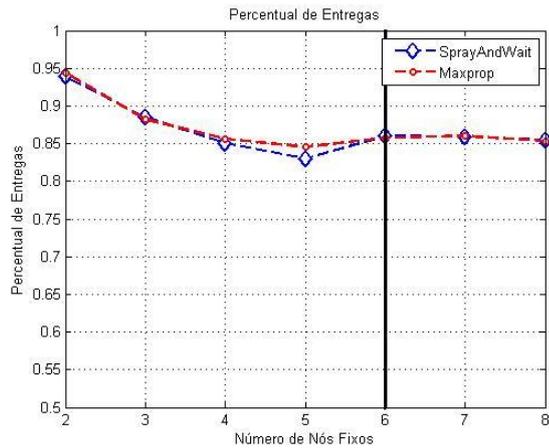


Figura 4.14: 3ª Simulação - Percentual de entregas - Spray and Wait e Maxprop

Quanto ao retardo das mensagens, todos os protocolos sofreram alterações, como mostram as Figuras 4.15, 4.16 e 4.17. Quanto maior o número de nós fixos, maior será o retardo da mensagem, independente do protocolo utilizado, mesmo que o número de nós móveis seja significativamente superior.

O traço vertical das Figuras 4.15, 4.16 e 4.17 mostra o ponto onde as segunda e terceira simulações têm seu ponto em comum, ou seja, seis nós fixos.

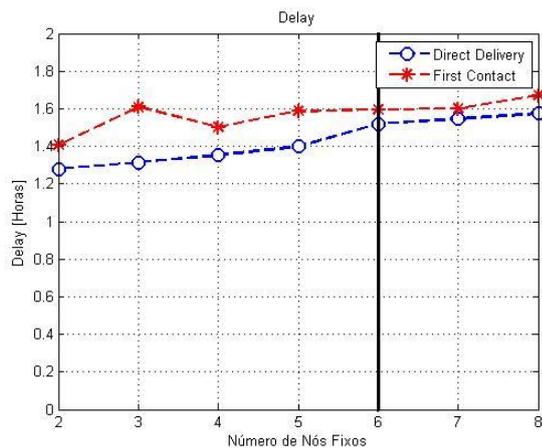


Figura 4.15: 3ª Simulação - Retardo – FC e DD

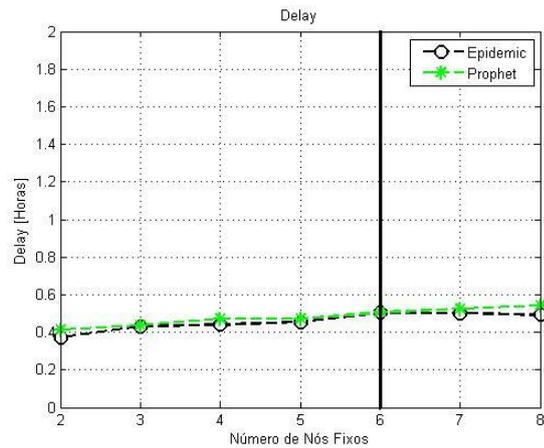


Figura 4.16: 3ª Simulação - Retardo - Epidemic e PROPHET

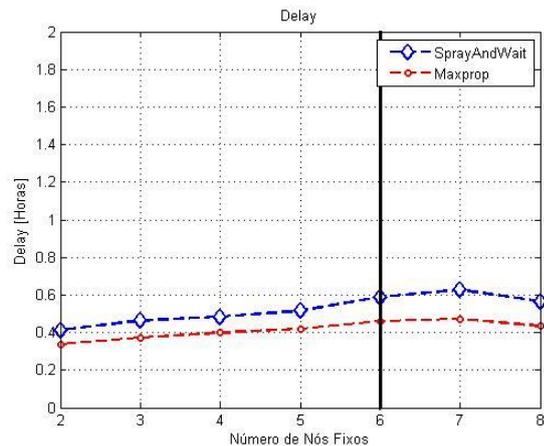


Figura 4.17: 3ª Simulação - Retardo - Spray and Wait e Maxprop

4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Da análise dos resultados das simulações, podemos concluir que os protocolos mistos como o Spray and Wait e Maxprop possuem desempenho adequado para uso em aplicações militares. Em especial, o protocolo Maxprop atingiu índices de alto percentual de transmissão de mensagens e baixo retardo, que o destaca dos demais. Apesar da necessidade de maior capacidade de processamento, sua utilização em uma MANET-DTN de uma Brigada* traria resultados positivos no desempenho do sistema como um todo.

Os protocolos que replicam mensagens, como o Epidêmico e o PROPHET possuem desempenho compatível para uso em aplicações militares, desde que o sistema esteja ajustado para que haja um número relativamente pequeno de descarte de mensagens. A proximidade

dos resultados dos protocolos Epidêmico e PROPHET induzem a utilização do PROPHET, por ser um protocolo com menor número de replicação de mensagens e, conseqüentemente, menor uso dos recursos do sistema.

De modo geral, o controle da quantidade de nós móveis deve ser balanceado de forma a permitir um bom percentual de mensagens entregues com um retardo compatível com o tipo de mensagem e o prazo de entrega esperado pelo administrador do sistema. Neste cenário, a utilização de nós fixos deve ser a menor possível de forma a atenuar seu impacto sobre o retardo das mensagens.

5. SISTEMAS DE TOMADA DE DECISÃO

Decisão é o processo de análise e escolha da melhor entre “várias” opções existentes, em relação aos caminhos a serem seguidos.

São elementos comuns à decisão (CHIAVENATO, 1983):

- Tomador de decisão: é quem faz uma escolha ou opção entre várias alternativas de ação;
- Objetivos: são as pretensões que o tomador de decisão pretende alcançar com suas ações;
- Preferências: são os critérios que o tomador de decisão usa para fazer a escolha;
- Estratégia: é o caminho que o decisor escolhe para melhor atingir o objetivo;
- Situação: são os aspectos ambientais que envolvem o decisor;

- Resultado: é a consequência de uma dada estratégia.

Quando aplicamos a lógica fuzzy a modelos de tomada de decisão, o sistema permite o processamento de dados aparentemente não-tratáveis por sua subjetividade podendo resultar em informações capazes de gerar, aumentar e refinar políticas de roteamento de forma expressiva. Em uma operação militar, poderá se constituir num trunfo adicional para o domínio da informação e da inteligência em diversos níveis, propiciando desde pequenas vantagens operacionais até um total domínio da topologia do sistema de comunicações.

5.1. ESCALONADOR DE MENSAGENS

5.1.1. CONCEITOS

Os Sistemas de Comunicações Militares tradicionalmente utilizam mensagens organizadas hierarquicamente em meios de comunicações que possuem a característica de estarem sempre conectados.

Neste cenário em que a conexão fim-a-fim está sempre presente, a ordenação das mensagens nas filas de transmissão é estabelecida por um escalonador baseado no algoritmo *Priority Queuing*.

O algoritmo de precedência* funciona mantendo-se quatro filas de prioridades. Quando uma nova mensagem *i* chega ao sistema e existe alguma mensagem *j* ocupando o canal de transmissão, ela é armazenada na fila correspondente à sua precedência*.

Para cada fila é utilizada uma política *Firt In First Out* (FIFO), ou seja, a primeira mensagem armazenada naquela fila será a primeira a ser atendida.

Quando ocorre o término do envio da mensagem *j*, será escalonada para envio a mensagem mais antiga armazenada na fila de maior precedência*.

Este modelo apresenta bons resultados quando a taxa de chegada de mensagens é significativamente inferior à taxa de transmissão das mensagens. (CARDOSO, 2007).

A Figura 5.1 apresenta um diagrama conceitual dessa abordagem.

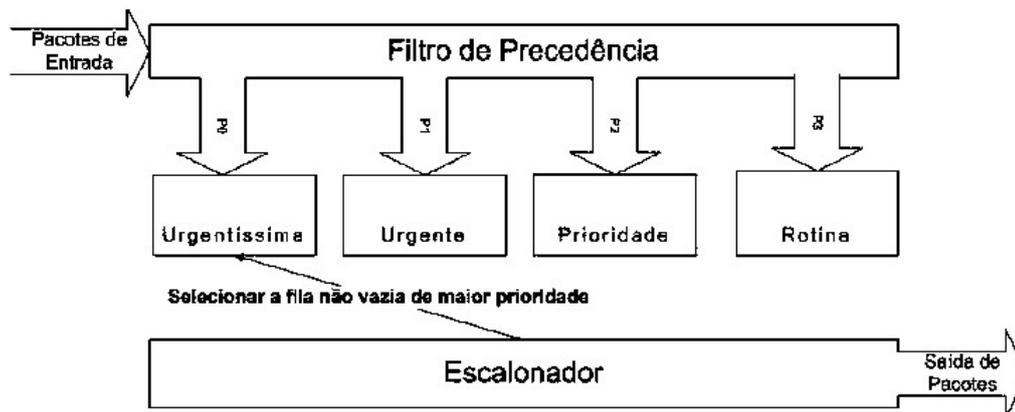


Figura 5.1: Escalonador *Priority Queuing* (CARDOSO, 2007).

Quando se faz necessária a utilização em Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões, que tem por característica períodos onde a taxa de chegada de mensagens é muito superior à taxa de transmissão e elevado tempo de espera entre transmissões, o tempo de espera da mensagem na fila cresce de maneira significativa, elevando o grau de importância do escalonamento das mensagens.

De uma forma geral, o modelo de escalonamento tradicional não é aplicável a este tipo de rede.

Uma fila com elevado tempo de espera para transmissão, onde as mensagens não são ordenadas dentro de seu real grau de importância para uma operação poderá fazer com que mensagens menos significativas sejam priorizadas, comprometendo a transmissão de mensagens de maior valor tático.

Para solução deste problema, propomos um Sistema Fuzzy para escalonamento de mensagens hierárquicas* militares, para utilização em Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões.

5.1.2. LÓGICA FUZZY

Na lógica booleana, são permitidas apenas duas possíveis respostas: sim ou não. Em muitos casos este tipo de resposta é o suficiente. Mas há casos em que se necessita de valores intermediários.

A lógica fuzzy é uma abordagem que transcende as restrições impostas pela lógica binária tradicional. Consegue incorporar em seus modelos matemáticos a forma humana de

raciocínio. Basicamente, a teoria fuzzy provê um método de traduzir para valores numéricos expressões verbais, comuns na comunicação do homem e de difícil parametrização.

Se um operador humano for capaz de articular seu modelo de pensamento em um conjunto de regras na forma “se - então”, um algoritmo Fuzzy pode ser construído. O resultado é um sistema de inferência baseado em regras, no qual a Teoria de Conjuntos Fuzzy e Lógica Fuzzy fornecem o ferramental matemático para se lidar com as tais regras linguísticas.

Quando aplicada a modelos de tomada de decisão, a lógica fuzzy é uma técnica que incorpora a forma humana de pensar em um sistema de controle. Um controlador fuzzy típico pode ser projetado para comportar-se conforme o raciocínio dedutivo, isto é, o processo que as pessoas utilizam para inferir conclusões baseadas em informações que elas já conhecem [SHAW, 1999].

Em um sistema Fuzzy, uma série de variáveis de entrada são submetidas a um conjunto de regras em uma máquina de inferência Fuzzy. Como resultado, obtém-se um conjunto de variáveis de saída. É necessária ainda uma função que "defuzzifique" a saída, ou seja, que a partir dos graus de participação de cada variável de uma regra, retorne o grau de participação da saída e, conseqüentemente, o valor real da saída.

Podemos visualizar a arquitetura da máquina de inferência Fuzzy na Figura 5.2.

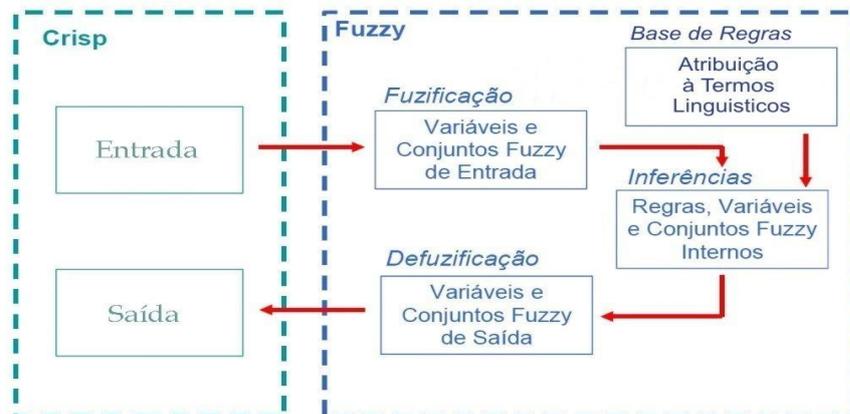


Figura 5.2: Arquitetura de uma Máquina de Inferência Fuzzy.

Os seguintes módulos indicam a metodologia para a construção desta máquina de inferência:

- Módulo de fuzificação: é o que modela matematicamente a informação das variáveis de entrada por meio de conjuntos Fuzzy.
- Módulo da base de regras: é o que constitui o núcleo do sistema. É neste módulo que cada variável de entrada é atribuída a termos linguísticos, que representam os estados desta

variável e, a cada termo linguístico, deve ser associado um conjunto Fuzzy por uma função de pertinência;

- Módulo de inferência: é onde se definem quais são os conectivos lógicos usados para estabelecer a relação Fuzzy que modela a base de regras;
- Módulo de defuzificação: traduz o estado da variável de saída Fuzzy para um valor numérico (crisp). O método de defuzificação utilizado no Matlab 7.4.0 e, conseqüentemente, neste artigo é o método do centróide (centro de massa). No método centróide, procura-se encontrar o ponto de domínio associado ao centro de massa da região de saída. (PEDRYCZ *et al.*, 1998).

A estrutura de universo de discurso, variáveis linguísticas, fuzificação, banco de regras, máquina de inferência e sistema de defuzificação proposta por Mamdani é uma arma poderosa de simplificação e aumento da velocidade de processamento e robustez do controlador, possibilitando decisões rápidas e coerentes num ambiente de incertezas (FIGUEIREDO *et al.*, 1998).

Podem ser considerados como aspectos relevantes a serem mensurados:

- Equipamento: capacidade de armazenamento do buffer DTN, energia disponível e tempo necessário para troca de mensagens;
- Mensagem: segurança, urgência, expedidor*, destinatário, assunto, prazo de validade; número de saltos desejável (ou admitido).
- Cenário: determinístico, estocástico e de risco à segurança física das instalações, dentre outros.

Desta forma, o processamento de dados aparentemente não-tratáveis por sua subjetividade poderá resultar em informações capazes de gerar, aumentar e refinar políticas de roteamento de forma expressiva. Em uma operação militar, poderá se constituir num trunfo adicional para o domínio da informação e da inteligência em diversos níveis, propiciando desde pequenas vantagens operacionais até um total domínio da topologia do sistema de comunicações.

A lógica Fuzzy tem sido utilizada em tomadas de decisão de replicação de dados (BERTINI, 2005) e em roteamento de redes Ad hoc (ALANDJANI, 2003). Nesta ótica, ela pode ser aplicada em escalonadores e em problemas de decisão de roteamento, onde o grau de incerteza gerado pela imprecisão ou escassez de informações da topologia da rede é relativo. Tais decisões teriam como base as informações adquiridas e calculadas pelo software oráculo.

5.1.3. ARQUITETURA

O Sistema Fuzzy para Escalonamento de Mensagens Militares é formado por três componentes básicos: uma máquina de inferência Fuzzy, um escalonador e uma fila de transmissão.

A máquina de inferência seleciona a base de regras e a tabela de prazos de validade com que irá trabalhar e carrega os dados em seu sistema. Após a apresentação da mensagem para transmissão, o sistema verifica seu expedidor* e sua precedência*, calculando o grau de inferência de saída da mensagem, atribuindo esse valor como seu grau de prioridade e passando essa informação ao escalonador.

O escalonador recebe o grau de prioridade da mensagem e a coloca na fila para transmissão de maneira ordenada, respeitando o grau de prioridade das mensagens já existentes. Desta forma, por ocasião do início da transmissão, todas as mensagens estarão ordenadas de acordo com o grau de prioridade determinado pelo sistema Fuzzy.

A arquitetura do sistema pode ser vista na Figura 5.3.

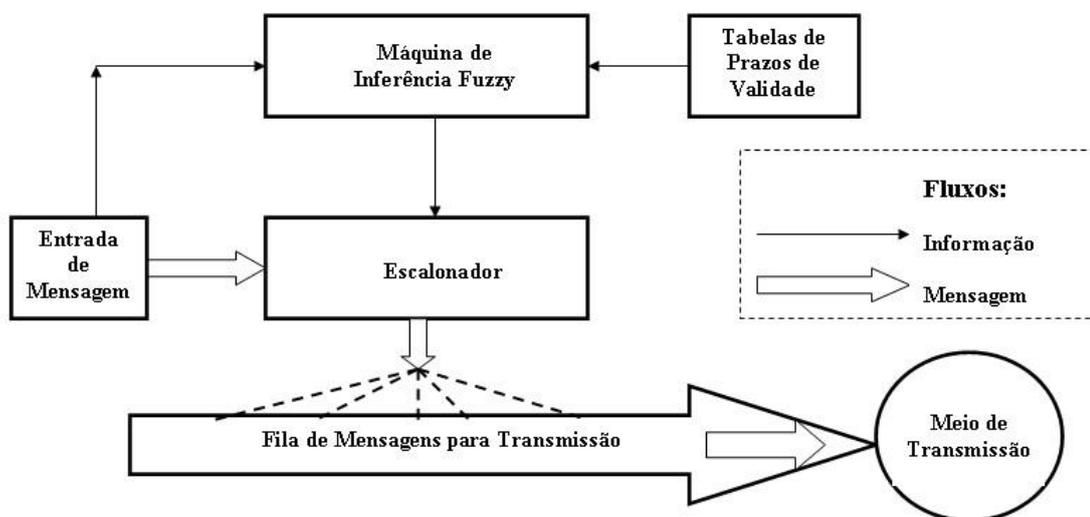


Figura 5.3: Escalonador - Arquitetura do Sistema.

Para implementação da máquina de Inferência Fuzzy, utilizamos o toolbox de lógica Fuzzy do Software Matlab 7.4.0. O toolbox de lógica Fuzzy do Matlab utiliza o Sistema de Mamdani, onde as proposições do antecedente e do conseqüente (“se - então”) são proposições Fuzzy (FIGUEIREDO et al., 1998).

5.1.4. DADOS DE ENTRADA

5.1.4.1. POSTOS & GRADUAÇÕES

No sistema proposto, os diversos postos e graduações do Exército Brasileiro foram organizados em grupos, de acordo com a função desempenhada no sistema hierárquico e, conseqüentemente, no sistema de comunicações, sendo batizados com letras de “A” a “F”.

Na divisão dos grupos, foi levando em consideração o nível de responsabilidade hierárquica, refletida na quantidade de homens que cada posto ou graduação tem sob seu comando. Apesar de cada posto ou graduação possuir um grau específico de inferência, o grupo como um todo possui um grau médio de inferência, que foi utilizado nas simulações.

São apresentados na Tabela 5.1 os valores médios de inferência propostos para o sistema apresentado neste trabalho. O número de homens associados a cada posto e graduação são valores aproximados dos efetivos das frações de combate das Organizações Militares do Exército Brasileiro.

Tabela 5.1: Graus de Inferência de Entrada – Postos e Graduações.

Grupo	Valores Médios de Inferência	Posto & Graduação	Nº de Homens
A	2,00	Gen Bda, Div e Ex	10.000 a 1.000
B	2,25	Cel / TC / Maj	1.000 a 250
C	2,50	Cap	250 a 100
D	2,75	1º, 2º Ten e Asp Of	90 a 30
E	3,00	ST, 1º e 2º Sgt	30 a 10
F	3,25	3º Sgt, Cb, Sd	10 a 1

5.1.4.2. PRAZO DE VALIDADE

Tendo em vista a descrição verbal e de difícil definição numérica do conceito de precedência* dos manuais de comunicações do Exército Brasileiro, vinculamos a cada uma das quatro precedências* um prazo de validade, que é utilizado como critério para definição do ciclo de vida da informação contida na mensagem, designando seu valor militar.

No Sistema Fuzzy de Escalonamento de Mensagens, as tabelas que contém os prazos de validade das mensagens são selecionadas no banco de dados de tabelas de prazos de validade, sendo cada uma delas compatível com os atrasos previstos para os sistemas de transmissão a serem utilizados em cada uma das operações táticas.

Nas simulações, os prazos de validade foram considerados como fixos na transmissão partindo da origem. Conforme o cenário em que o sistema for utilizado, o prazo pode ser

variável, utilizando-se a equação (Hora Local – GDH*) para determinar um prazo específico e personalizado para cada mensagem.

Em sistemas que utilizam múltiplos saltos para transmissão, a cada retransmissão os prazos devem ser alterados, de forma obrigatoriamente decrescente, de acordo com as regras estabelecidas pelo operador do sistema. Caso o valor do cálculo do novo prazo de validade seja zero ou negativo, a mensagem expirou e deve seguir uma política a ser designada pelo sistema para esta situação.

Tabela 5.2: Grau de Inferência de Entrada – Prazos.

Precedência	Validade (Horas)	Limites de Inferência
UU	1	0 a 1
U	3	0 a 3
P	6	0 a 6
R	12	0 a 12

Os prazos de validade utilizados nas simulações são os da Tabela 5.2 e seguem o modelo adotado em (KINGSTON, 2000), com modificações.

Como o sistema, por definição, possui um retardo de transmissão elevado, o prazo de validade das mensagens “UU” foi definido como 1 hora.

O prazo das mensagens de precedência* “R” foi definido como 12 horas a fim de melhor se enquadrar no ciclo de informações e logística adotado pelas Forças Armadas brasileiras.

Valores intermediários foram escalonados para as mensagens “U” e “P”, de maneira a balancear a tabela e criar coerência aos prazos adotados.

5.1.5. BASE DE REGRAS

Foram montadas vinte e quatro regras, compostas por uma série de proposições Fuzzy, no sistema “se-então”, tendo como entrada um relacionamento dos prazos com os grupos de postos e graduações. Todas as regras possuem o mesmo peso e são mostradas na Figura 5.4.

Para cada combinação “Posto/Graduação & Precedência*” foi vinculada uma prioridade de saída “P”, que pode variar de 1 a 4. Foram mantidas quatro prioridades de saída a fim de compatibilizar o sistema Fuzzy com os demais sistemas de comunicações do Exército Brasileiro, que tradicionalmente utilizam quatro prioridades de mensagens.

Para cada prioridade “P”, o sistema vincula um valor Crisp dentro de um limite de 1 unidade. Assim, o valor de saída “P1” pode variar de 1 a 2, o valor de saída “P2” pode variar

de 2 a 3, o valor de saída “P3” pode variar de 3 a 4 e o valor de saída “P4” pode variar de 4 a 5.

“Se” Posto & Graduação é	“E” Precedência é	“Então” a saída é	“Se” Posto & Graduação é	“E” Precedência é	“Então” a saída é
A	UU	P1	D	UU	P2
	U	P1		U	P2
	P	P1		P	P3
	R	P2		R	P3
B	UU	P1	E	UU	P2
	U	P2		U	P2
	P	P2		P	P3
	R	P3		R	P4
C	UU	P2	F	UU	P3
	U	P2		U	P3
	P	P2		P	P3
	R	P3		R	P4

Figura 5.4: Escalonador - Base de Regras implementada.

O sistema pode realizar alterações na base de regras de acordo com o tipo de operação, selecionando a melhor base do conteúdo do banco de dados de bases de regras existente na máquina de inferência Fuzzy. Caso necessário, uma nova base de regras pode ser criada e adicionada ao sistema.

A criação de novas bases de regras pode ser feita durante a manutenção ou preparação do sistema por pessoal especializado ou mesmo durante a operação, pelo administrador do sistema, caso seja necessário.

5.1.6. DADOS DE SAÍDA

A saída do sistema gera pelo método do centróide uma superfície em 3D como resultado, conforme pode ser observado na Figura 5.5.

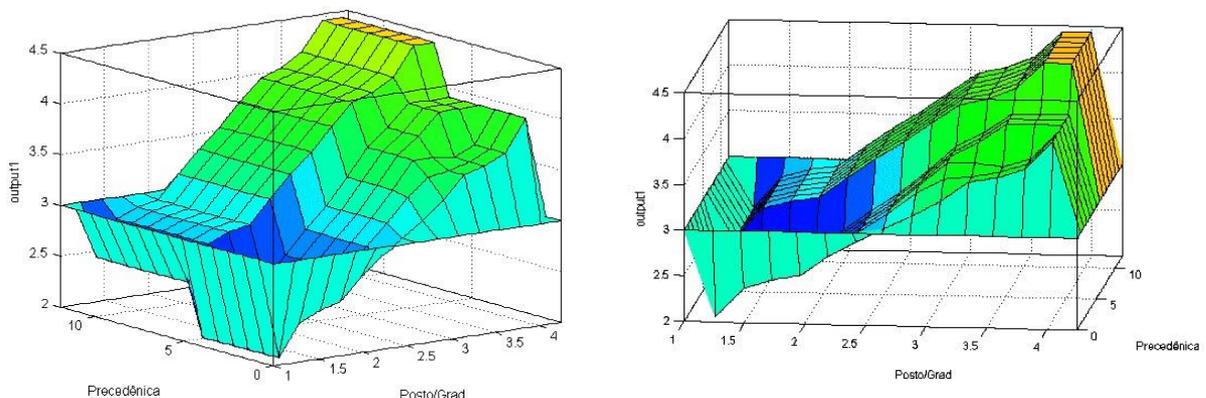


Figura 5.5: Escalonador - Superfície de Saída do Sistema.

A Figura 5.6 mostra a implementação dos valores Crisp das variáveis de entrada e a consequente variável de saída implementados no toolbox Fuzzy do Matlab 7.4.0.

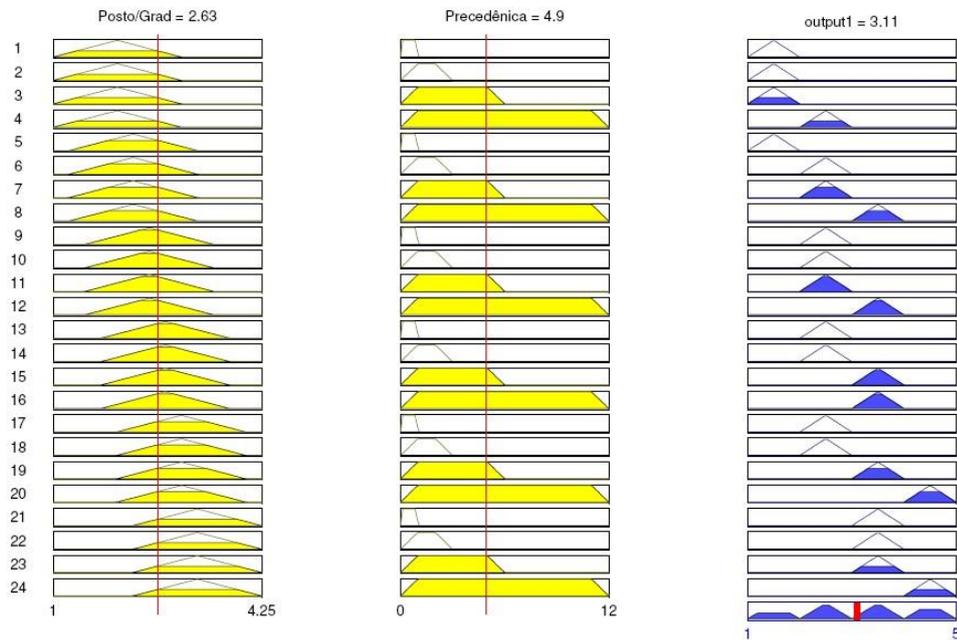


Figura 5.6: Escalonador - Implementação do Sistema no Toolbox do Matlab.

5.1.7. ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1.7.1. SISTEMAS TRADICIONAIS DE FILAS

Uma maneira direta de implementar os níveis de precedência* de mensagens hierárquicas* seria utilizar um escalonador baseado no algoritmo *Priority Queuing*.

Nesta abordagem, o sistema atende um conjunto de filas FIFO (organizadas pelo GDH*) em termos de precedência*. Mensagens nas filas de baixa precedência* somente serão transmitidas quando não houver mensagens em espera nas filas de alta prioridade (KLEINROCK, 1975) (KITANI, 2003).

O escalonador que utiliza a *Strict Priority Queue* é o atualmente adotado nos sistemas de comunicações tradicionais das Forças Armadas Brasileiras (CARDOSO, 2007).

Outra abordagem poderia ser a utilização do algoritmo de Ordenação Lexicográfica para calcular a prioridade de cada mensagem. Um exemplo natural deste tipo de ordenação é a forma como as palavras são ordenadas em um dicionário (ZYKINA, 2003). Ordem dos critérios: o primeiro critério a adotado para ordenar as mensagens é o da precedência*. As mensagens de maior precedência* devem ser atendidas prioritariamente. O próximo critério a ser utilizado é o do nível hierárquico do emissor. As sequências de mensagens de mesmo

nível de precedência* que estiverem agrupadas serão reordenadas movendo as mensagens que possuírem maior nível hierárquico para o início da sequência (CARDOSO, 2007).

Uma terceira abordagem seria a utilização de métodos de barreira, ou seja, métodos de penalidade, em geral, empregados para resolver problemas com restrições de desigualdade. Dois tipos de função são bastante conhecidas na literatura: a função barreira logarítmica (WRIGHT, 1999) e a função barreira inversa (POWELL, 1986). Esta última foi adotada neste trabalho.

A função barreira é responsável por mensurar o valor da prioridade final de cada mensagem. Para cada mensagem será aplicada a função e, aquela que resultar maior valor, será a selecionada para envio (CARDOSO, 2007). Os critérios aplicados à função barreira foram definidos de acordo com os valores das Tabelas 5.3 e 5.4, sendo o grau de prioridade de saída da mensagem definido pelo produto do grau da precedência* pelo grau designado ao expedidor*.

Tabela 5.3: Função Barreira – Precedência.

UU	U	P	R
4	3	2	1

Tabela 5.4: Função Barreira – Expedidor.

A	B	C	D	E	F
6	5	4	3	2	1

Por fim, para a obtenção de uma função que pudesse ser utilizada como referência para as demais, foi criada “a solução ótima” para a fila. Ela foi obtida testando-se todas as combinações possíveis de ordenação das mensagens através da análise combinatória (arranjo) das mensagens na fila, sendo a melhor resposta selecionada. É importante o conhecimento de que este método não é passível de ser implementado na prática, pela necessidade do conhecimento prévio de toda a fila, de maneira estática, para o cálculo dos resultados. Possui, ainda, elevado tempo de processamento e grande esforço computacional.

5.1.7.2. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Para validação dos sistemas apresentados, foram montadas simulações com filas de 24, 48 e 72 mensagens, todas com carga balanceada, ou seja, com o mesmo número de mensagens de cada precedência*, e sem descarte de mensagens. As precedências* das mensagens nas filas foram associadas aos prazos de validade da 5.2.

Para os grupos A, B e C foram atribuídos os efetivos dos limites inferiores do nível de responsabilidade da Tabela 5.1, enquanto para os grupos D, E e F, foram atribuídos os valores superiores, na tentativa de reduzir as desproporções de efetivos sob comando de cada um dos postos e graduações.

Foram ainda associados graus de comprometimentos para mensagens não transmitidas, de acordo com a Tabela 6. A idéia desta associação é mostrar que cada uma das mensagens está, na prática, associada às necessidades de um efetivo bem definido, representado pelo grupo do expedidor*.

O grau de comprometimento à que se refere à Tabela 5.5 significa o percentual de homens que estarão fora de combate caso uma mensagem do grupo não seja transmitida. Entende-se por “fora de combate” não apenas a captura ou morte dos homens, mas também o não recebimento do material para a tender as necessidades do combate, como suprimentos, munição ou mesmo instruções de combate, informando o grupo sobre o que fazer ou como proceder em relação às tropas amigas, terreno e inimigo.

Tabela 5.5: Percentual de comprometimento.

Precedência	Grau de Comprometimento
UU	80 %
U	60%
P	40 %
R	20%

Podemos observar os gráficos de função cumulativa das baixas, relacionadas ao não envio das mensagens na fila, nas Figuras 5.7, 5.8, e 5.9. Nesses exemplos, retirados das simulações realizadas, o eixo “y” mostra o grau de comprometimento das frações (em homens) caso as 'n' ultimas mensagens da fila não consigam ser transmitidas, para filas de 24, 48 e 72 mensagens, respectivamente.

Em todas as simulações foram obtidos resultados semelhantes. Em todos os casos, a fila obtida pelo Sistema Fuzzy apresentou o melhor resultado, ou seja, o menor número de homens comprometidos pelo não envio de mensagens e maior aproximação com a solução ótima para a fila. Com o segundo melhor desempenho aparece a da função Barreira e, sempre

como piores desempenhos aparecem as funções Lexicográfica e Prioridade Estrita (*Strict Priority*), respectivamente. Em alguns casos, a função Lexicográfica tende a se aproximar da fila de Prioridade Estrita. Esta aproximação pode ser vista na Figura 5.9.

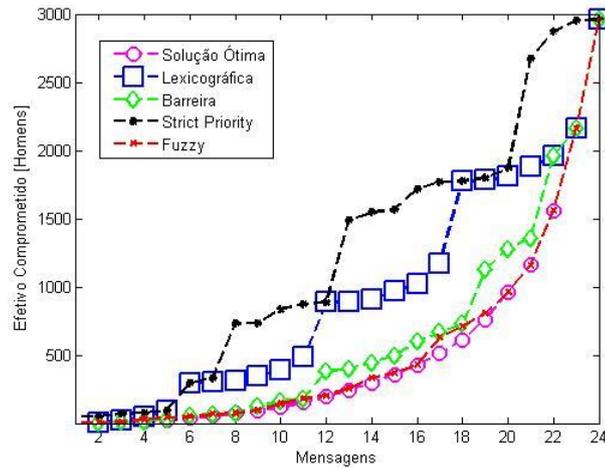


Figura 5.7: Resultado para 24 Mensagens.

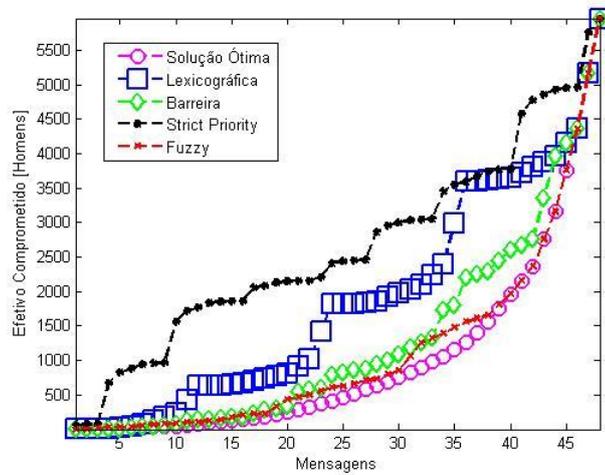


Figura 5.8: Resultado para 48 Mensagens.

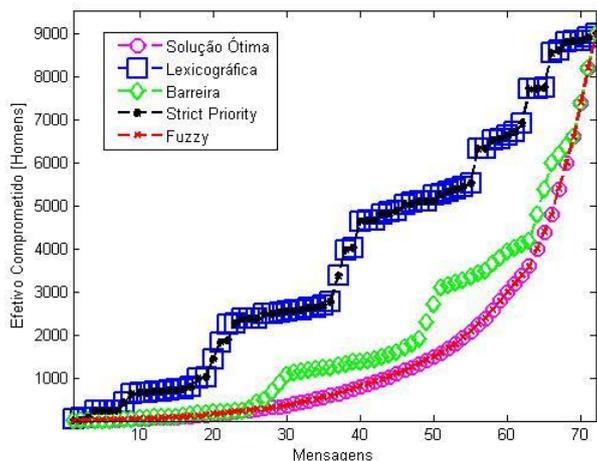


Figura 5.9: Resultado para 72 Mensagens.

5.1.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Podemos observar que o sistema Fuzzy para Escalonamento de Mensagens Hierárquicas* Militares tem melhor desempenho e maior flexibilidade em relação aos sistemas de escalonamento de filas tradicionais, com menor esforço computacional.

Como característica exclusiva, o sistema poderá possuir um banco de dados de bases de regras que poderá fornecer diferentes regras para diferentes cenários ou operações. A formação verbal das bases de regras permite ainda a rápida formulação de novas regras sem a necessidade de participação de um especialista em lógica Fuzzy, podendo ficar esta tarefa para o próprio administrador do sistema.

Desta forma o sistema é configurável para cenários diversos, podendo ser aplicado em ambientes civis e militares, desde que haja uma distribuição hierárquica bem definida para os usuários.

5.2 DECISOR DO MEIO DE TRANSMISSÃO

5.2.1 CONCEITOS

O Problema de Roteamento de mensagens consiste em definir rotas entre expedidor* e destinatário, segundo parâmetros a serem definidos pelo administrador do sistema.

Os roteadores, de maneira geral, estabelecem tabelas de rotas nos nós, de forma que seja possível o encaminhamento das mensagens e sua entrega para o destinatário final.

A teoria de conjuntos fuzzy provê um ferramental para desenvolver processos aproximados de raciocínio quando a informação disponível é incerta, incompleta, imprecisa ou vaga. A estratégia consiste em um algoritmo fuzzy que resolve o problema de roteamento baseado nas características das mensagens. Neste caso em particular, foram levadas em consideração a Classificação sigilosa* e a Prioridade de cada mensagem.

5.2.2 ARQUITETURA

O Sistema Fuzzy Decisor do Meio de Transmissão é formado por dois componentes básicos: uma máquina de inferência Fuzzy, um roteador.

A máquina de inferência, após a apresentação da mensagem para transmissão, verifica sua precedência* e sua classificação sigilosa*, calculando o grau de inferência de saída da mensagem e comparando-o com o grau de pertinência a cada um dos quatro meios de transmissão.

A arquitetura do sistema pode ser vista na Figura 5.10.

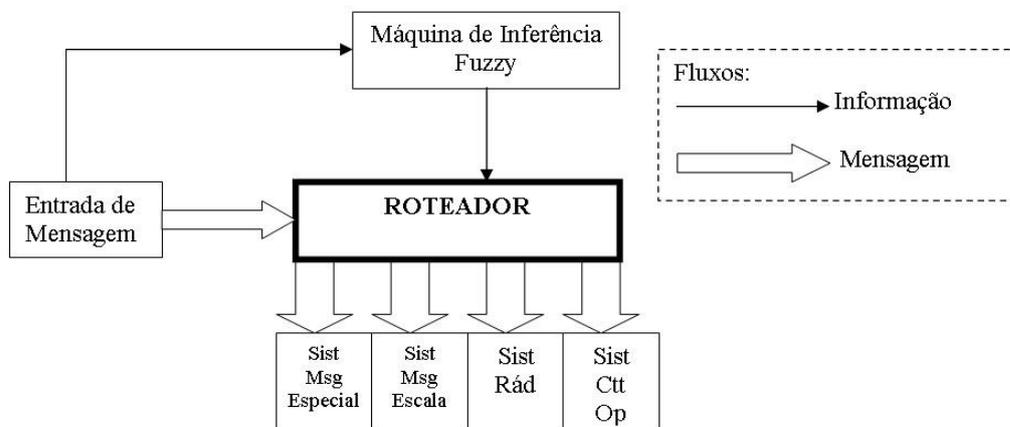


Figura 5.10: Arquitetura do Sistema.

5.2.3 DADOS DE ENTRADA

5.1.7.3. PRIORIDADE

O sistema tem como primeiro parâmetro de entrada as quatro prioridades “P” da saída do escalonador.

5.1.7.4. CLASSIFICAÇÃO SIGILOSA

Tendo em vista a descrição verbal e subjetiva do conceito de Classificação Sigilosa* nos manuais de comunicações do Exército Brasileiro, em particular o (C24-17), vinculamos a cada classificação um valor numérico relativo ao grau de segurança a ser utilizado. O sistema apresenta ainda um grau de sobreposição de forma que, se necessário, um grau de segurança superior à sua prescrição pode ser aplicado a uma mensagem, mas nunca um grau de segurança inferior.

Os limites de inferência do sistema podem ser vistos na Tabela 5.6.

Tabela 5.6: Graus de Inferência de Classificação Sigilosa.

Classificação Sigilosa	Limites de Inferência
Ultra Secreto	0 a 2
Secreto	0 a 3
Reservado	0 a 4
Ostensivo	0 a 5

5.2.4 BASE DE REGRAS

Foram montadas dezesseis regras, compostas por uma série de proposições Fuzzy, no sistema “se-então”, tendo como entrada um relacionamento das classificações sigilosas* com as prioridades. Todas as regras possuem o mesmo peso e são mostradas na Figura 5.11.

Para cada combinação “Classificação Sigilosa* & Prioridade” foi vinculada uma saída por um dos possíveis meios de transmissão de uma Brigada*, ordenados pelo grau de segurança por ele oferecido.

Para cada meio de transmissão, o sistema vincula um valor Crisp dentro de um limite de 2 unidades, com sobreposição de resultados. Assim, o valor de saída para Mensageiros Especiais pode variar de 0 a 2, o valor de saída para Mensageiros de Escala pode variar de 1 a

3, o valor de saída para o Sistema Rádio pode variar de 2 a 4 e o valor de saída para o sistema de Contatos Oportunistas pode variar de 3 a 5.

“Se” Classificação Sigilosa é	“E” Prioridade é	“ENTÃO” a saída é	“Se” Classificação Sigilosa é	“E” Prioridade é	“ENTÃO” a saída é
Ultra Secreto	P1	Msgr Especial	Reservado	P1	Msgr Especial
Ultra Secreto	P2	Msgr Especial	Reservado	P2	Msgr Escala
Ultra Secreto	P3	Msgr Escala	Reservado	P3	Rádio
Ultra Secreto	P4	Msgr Escala	Reservado	P4	Rádio
Secreto	P1	Msgr Especial	Ostensiva	P1	Rádio
Secreto	P2	Msgr Escala	Ostensiva	P2	Rádio
Secreto	P3	Msgr Escala	Ostensiva	P3	Ctt Oportunista
Secreto	P4	Rádio	Ostensiva	P4	Ctt Oportunista

Figura 5.11: Decisor de Meio de Tx- Base de Regras implementada.

O sistema pode realizar alterações na base de regras de acordo com o tipo de operação, selecionando a melhor base do conteúdo do banco de dados de bases de regras existente na máquina de inferência Fuzzy. Caso necessário, uma nova base de regras pode ser criada e adicionada ao sistema.

A criação de novas bases de regras pode ser feita durante a manutenção ou preparação do sistema por pessoal especializado ou mesmo durante a operação, pelo administrador do sistema, caso seja necessário.

5.2.5 DADOS DE SAÍDA

A saída do sistema gera pelo método do centróide uma superfície em 3D como resultado, conforme pode ser observado na Figura 5.12.

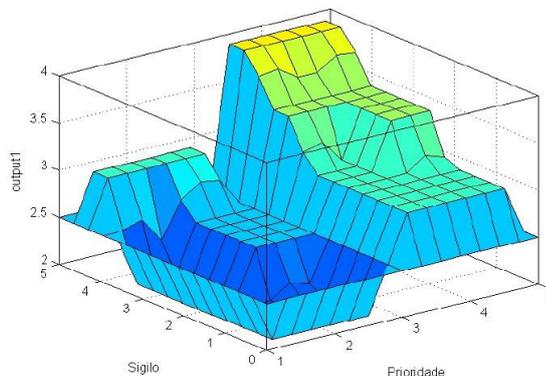


Figura 5.12 Decisor de Meio de TX - Superfície de Saída do Sistema.

A Figura 5.13 mostra a implementação dos valores Crisp das variáveis de entrada e a consequente variável de saída implementados no toolbox do Matlab.

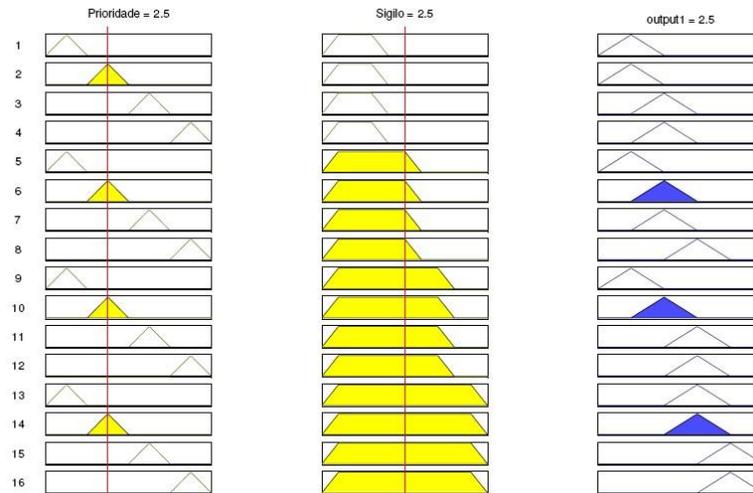


Figura 5.13: Decisor de Meio de TX - Implementação do Sistema no Toolbox do Matlab.

5.2.6 TABELA DE ROTEAMENTO

Com o resultado é possível a criação de uma tabela de roteamento para o sistema DTN baseado nos dados de entrada retirados das mensagens.

A tabela foi montada de acordo com uma combinação de entrada relacionada a um meio de transmissão, de modo que cada combinação tenha três opções de transmissão, ordenadas de acordo com o grau de pertinência.

A Tabela de roteamento do Sistema DTN pode ser vista na Tabela 5.7.

Tabela 5.7: Tabela de Roteamento do Sistema DTN

Classificação Sigilosa	Prioridade	Saída (Crisp)	Meios autorizados de Transmissão		
			Meio Prioritário	Meio Secundário	Meio Reserva
Ultra Secreto	P1	2	Mensageiro de Escala	Mensageiro Especial	Rádio
Ultra Secreto	P2	2	Mensageiro de Escala	Mensageiro Especial	Rádio
Ultra Secreto	P3	3	Rádio	Mensageiro de Escala	Ctt Oportunistas
Ultra Secreto	P4	3	Rádio	Mensageiro de Escala	Ctt Oportunistas
Secreto	P1	2	Mensageiro de Escala	Mensageiro Especial	Rádio

Secreto	P2	2,5		Rádio	Mensageiro de Escala	Mensageiro Especial
Secreto	P3	3		Rádio	Mensageiro de Escala	Ctt Oportunistas
Secreto	P4	3,5		Rádio	Ctt Oportunistas	Mensageiro de Escala
Reservado	P1	2		Mensageiro de Escala	Mensageiro Especial	Rádio
Reservado	P2	2,5		Rádio	Mensageiro de Escala	Mensageiro de Escala
Reservado	P3	3,5		Rádio	Ctt Oportunistas	Mensageiro de Escala
Reservado	P4	3,5		Rádio	Ctt Oportunistas	Mensageiro de Escala
Ostensivo	P1	3		Rádio	Mensageiro de Escala	Ctt Oportunistas
Ostensivo	P2	3		Rádio	Mensageiro de Escala	Ctt Oportunistas
Ostensivo	P3	4		Ctt Oportunistas	Rádio	Mensageiro de Escala
Ostensivo	P4	4		Ctt Oportunistas	Rádio	Mensageiro de Escala

5.2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A criação de uma tabela de roteamento baseada em um sistema fuzzy permitiu a eliminação da subjetividade das classificações sigilosas* dos manuais do Exército.

A referida tabela permite ao administrador do sistema transmitir as mensagens em meios compatíveis com a prioridade e necessidade de sigilo da cada mensagem.

O sistema poderá possuir um banco de dados de bases de regras que poderá fornecer diferentes regras para diferentes cenários ou operações. A formação verbal das bases de regras permite ainda a rápida formulação de novas regras.

Como a saída do sistema possui diferentes graus de pertinência para cada um dos meios de transmissão disponíveis, é possível a escolha de meios alternativos de transmissão, de acordo com o grau recebido por cada mensagem para cada meio.

Desta forma o sistema é configurável para cenários diversos, podendo ser aplicado em ambientes civis e militares.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. CONCLUSÕES

Do estudo das aplicações das redes tolerantes a atrasos e desconexões nos sistemas de comunicações de uma Brigada* do Exército Brasileiro podemos verificar a perfeita compatibilidade do sistema para receber tais características, bem como a possibilidade de sua integração no sistema C2 em Combate como um módulo de transmissão.

A utilização de tolerância a atrasos e desconexões em sistemas rádio não apenas permite melhor adequação do sistema à transmissão de dados, mas também o flexibiliza quanto à utilização do espectro de frequências, construindo um grafo temporal que permite roteamento das mensagens. A adoção das tabelas demonstrando os dados conhecidos pelo *software* Oráculo permite uma completa avaliação da situação do sistema, bem como a situação de cada mensagem na fila, possibilitando a escolha do posto transmissor da mensagem e da melhor jornada a ser seguida.

O sistema de mensageiros, que por conceito já possui tolerância a falhas e desconexões, passa a trabalhar de forma digital e, caso necessário, com a adoção de sistemas de *upload/download* rádio, passa a preservar a segurança da localização dos postos de comando. As métricas propostas permitem uma seleção de jornadas com uma maior probabilidade de entrega e ajudam a confecção de novos mapas de jornadas.

A adoção de um sistema de contatos oportunistas passa a dar ao Centro de Comunicações* mais uma opção para tráfego de mensagens de baixa classificação sigilosa*. Além disso, o sistema passa a integrar um meio de transmissão auto-suficiente quando visto sob o ponto de vista de sua arquitetura. O estudo do desempenho dos protocolos de roteamento em um cenário típico de Brigada* permite a escolha dos protocolos com taxas de entrega e retardos compatíveis como os tempos de entrega previstos para cada uma das precedências* utilizadas nas mensagens da operação.

Para finalizar, a utilização de sistemas de tomada de decisões baseados em lógica Fuzzy permitem maior sintonia com os conceitos verbais de precedência* e classificação sigilosa* dos manuais de comunicações do Exército.

A adoção de um sistema escalonador de mensagens permite a associação das precedências* das mensagens com prazos compatíveis com cada tipo de manobra, levando

ainda em consideração os postos e graduações dos expedidores*, compatibilizando a fila de transmissão com os conceitos DTN.

A adoção de um sistema decisor de meio de transmissão traz ao CCom* uma padronização do meio a ser utilizado por cada tipo de mensagem, levando-se em consideração as prioridades de transmissão geradas pelo escalonador e a classificação sigilosa* de cada mensagem.

6.2. TRABALHOS FUTUROS

6.2.1 SISTEMA RÁDIO COM CARACTERÍSTICAS DTN

Do estudo das redes rádio com características a atrasos e desconexões, podemos notar uma relação entre os intervalos de chegada das mensagens CCom*, as filas de distribuição de mensagens do CCom* aos postos rádio, a quantidade de postos rádio, a quantidade de enlaces rádio por posto e a duração de cada enlace.

Caso esta relação possa ser estabelecida matematicamente, poderemos otimizar o sistema para trabalhar próximo ao ótimo para cada fluxo de chegada de mensagens, respeitando as características de cada uma das operações militares.

Desta forma, inicia-se a construção de uma das principais ferramentas do *software* Oráculo que irá gerenciar as informações do sistema em cada um dos Centros de Comunicações*.

6.2.2 SISTEMA DE MENSAGEIROS COM CARACTERÍSTICAS DTN

Do estudo do sistema de mensageiros com características DTN, conhecidos os itinerários e as tabelas de horários de entrega, poderemos calcular a probabilidade de sucesso da entrega de mensagens em cada uma das possíveis rotas de cada cenário, permitindo assim a construção de uma tabela de rotas confiável e eficiente.

6.2.3 ROTOCOS DOS SISTEMAS DE CONTATOS OPORTUNISTAS

Dá análise das publicações sobre MANETS-DTN, podemos notar que é freqüente a criação de novos protocolos, cada vez com maior percentual de entrega e menor retardo.

O estudo destes protocolos e sua adequação aos diversos cenários das operações militares deve ser constantes. A variação dos parâmetros de simulação, tais como padrão de movimento, taxa e alcance de transmissão e velocidade dos nós móveis permitirá uma melhor compreensão do comportamento do sistema em situações reais de emprego.

6.2.4 SISTEMAS DE TOMADA DE DECISÃO

Com o emprego da lógica Fuzzy é possível a construção de máquinas de inferência que tenham como entrada maior número de elementos de relevância para cada tipo de operação, tornando assim o sistema de tomada de decisão multicritério, podendo se tornar mais um dos módulos do *software* Oráculo.

7. REFERÊNCIAS BILIOGRÁFICAS

ESTADO-MAIOR DO EXÉRCITO, “Manual de Campanha C24-17”: Centro de Comunicações. Brasília, DF: Exército Brasileiro, 2001.

ESTADO-MAIOR DO EXÉRCITO, “Manual de Campanha C11-30”: As Comunicações na Brigada. Brasília, DF: Exército Brasileiro, 1998.

ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking And Computing, 7, 2006. In: Florence, Italy.

L. J. CHEN, C. H. YU, T. SUN, Y.C. CHEN e H. H. CHU. “A hybrid routing approach for opportunistic network”. In: Special Interest Group On Data Communication (SIGCOMM), 14, 2006, Pisa, Italy.

C. T. OLIVEIRA. “Uma Proposta de Roteamento Probabilístico para Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões”. Em: Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 26, 2008, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

F. WARTHMAN. “Delay-tolerant networks (DTNs): A tutorial v1.1.” In: Palo Alto, CA, USA: Warthman Associates, 2003. 36 p.

K. FALL, W. HONG e S. MADDEN. "Custody transfer for reliable delivery in delay tolerant networks". Berkeley, CA: Intel Research, 2003. 6p.

R. SHAH, S. ROY, S. JAIN e W. BRUNETTE. "Data MULEs: Modeling a three-tier architecture for sparse sensor networks". IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications (SNPA), 1, 2003, Anchorage, Alaska, USA.

S. JAIN, K. FALL e R. PATRA. "Routing in a delay-tolerant network. In: ACM SIGCOMM, 2004.

BALASUBRAMANIAN, B. N. LEVINE e A. VENKATARAMANI. "DTN routing as a resource allocation problem". In: ACM SIGCOMM, August 2007.

T. SPYROPOULOS, K. PSOUNIS e G.S. RAGHAVENDRA. "Spray and wait: An efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks". In: ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking, 2005.

J. BURGESS, B. GALLAGHER, D. JENSEN, e B. LEVINE. "Maxprop: Routing for vehicle-based disruptiontolerantnetworking". In: IEEE Infocom, Barcelona, Spain, 2006.

T. SPYROPOULOS, K. PSOUNIS e C. RAGHAVENDRA. "Efficient routing in in termittently connected mobile networks: The single-copy case". ACM/IEEE Transactions on Networking, 2007.

Y. WANG, S. JAIN, M. MARTONOSI e K. FALL. "Erasure-coding Based Routing for Opportunistic Networks". Em: ACM SIGCOMM Workshop on Delay-tolerant Networking (WDTN) (agosto de 2005), ACM Press, pág. 229–236.

FERREIRA. "Building a Reference Combinatorial Model for MANETs", em: IEEE Network, 18, 2004.

T. OLIVEIRA, "Redes Tolerantes a Atrasos e Desconexões", Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 25, 2007, Belém, PA, Brasil.

J. MONTEIRO, A. GOLDMAN e A. FERREIRA. "Using Evolving Graphs Foremost Journeys to Evaluate Ad-Hoc Routing Protocols". Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 25, 2007, Fortaleza, CE, Brasil.

V. F. S. MOTA, T. H. SILVA e J. M. S. NOGUEIRA. "Introduzindo Tolerância a Interrupção em Redes Ad Hoc Móveis para Cenários de Emergência", "Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 27", 2009, Recife, PE, Brasil.

S. S. CARDOSO, R.M. SALLES, P.C.S. VIDAL e R. D. RIBEIRO, "Escalonamento em Redes de Missão Crítica", Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 25, 2007, Fortaleza, CE, Brasil.

K. FALL. “A Message-Switched Architecture for Challenged Internets”. Relatório técnico, Intel Research Berkeley, julho de 2002.

K. FALL. “Disruption Tolerant Networking for Heterogeneous Ad-hoc Networks”. Em: IEEE Military Communications Conference (MILCOM), 2005.

M. S. REIS. “Adaptação da Camada de Transporte Através da Correta Seleção de Algoritmo de Controle de Congestionamento”, Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, 2009.

VAHDAT e D. BECKER. “Epidemic routing for partially connected ad hoc networks”, CS-200006. Duke University, 2000, Tech. Rep.

LINDGREN, A. DORIA e O. SCHELÉN. “Probabilistic routing in intermittently connected networks”, In: First International Workshop 2004 on Service Assurance with Partial and Intermittent Resources (SAPIR 2004).

A.KERANEN, J.OTT. “Increasing reality for DTN protocol simulations”, Networking Laboratory, Helsinki University of Technology, 2007, Tech. Rep

A. V. CAMPOS, R. M. S. FERNANDES e L. F. M. MORAES, “Uma avaliação das redes tolerantes a atrasos e desconexões através de traces reais de mobilidade humana”, Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 27, 2009, Recife, PE, Brasil.

C. M. NUNES, F. L. DOTTI. “Uma Nova Estratégia de Roteamento para Redes Tolerantes a Atrasos”, Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 27, 2009, Recife, PE, Brasil.

M. KWIATKOWSKI e M. ELLIOT. “Using Router Diffserv Mechanisms to Implement Military Qos, Military”, Military Communications Conference(MILCOM), 2003.

J. KINGSTON. “Dinamic precedence for military IP networks”. Military Communications Conference, 2000.

L. KLEINROCK. “Queueing Systems: Computer Applications”. Wiley Interscience, volume II, 1975.

T. KITANI, Y. TAKAMOTO, I. NAKA, K. YASUMOTO, A. NAKATA e T. HIGASHINO. “Design and Implementation of Priority Queueing Mechanism on FPGA Using Concurrent Periodic EFSMs and Parametric Model Checking”, Springer Berlin / Heidelberg. 2003.

V. ZYKINA. “A Lexicographic Optimization Algorithm”. Omsk State Technical University, 2003.

J. N. WRIGHT e S. J. WRIGHT. “Numerical Optimization”. Springer Verlag, 1999.

R. F. POWELL e M. J. D. POWELL. “A Method for Nonlinear Constraints in Minimizations Problems in Optimization”, 1986.

Y. TSUJIMURA, J. B. JO, M. GEN e G. YAMAZAKI. “A Network Model Based on Fuzzy Queueing System, Fuzzy Systems”. Third IEEE World Congress on Computational Intelligence, 1994.

L. BERTINI, O. LOQUES e J.C.B. LEITE. “Replicação de Dados em Redes Ad Hoc para Sistemas de Apoio em Situações de Desastres. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 25, 2007, Fortaleza, CE, Brasil”.

G. ALANDJANI e E. E. JOHNSON. “Fuzzy routing in QoS networks”. In: Iperformance, Computing, and Communications Conference, 22, 2003, Phoenix, Arizona.

Z. ZHANG. “Routing in intermittently connected mobile ad hoc networks and delay tolerant networks: overview and challenges”. Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2006.

ISLAM e M. WALDVOGEL. “Reality-Check for DTN Routing Algorithms”. International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 8, 2008, Beijing, China.

K. FALL, S. JAIN e R. PATRA, “Routing in a Delay Tolerant Network”. Proc. ACM SIGCOMM, 2004.

F. EKMAN. “Mobility models for mobile ad hoc network simulations”, Master's thesis, Helsinki University of Technology, 2008.

CHIAVENATO. “Introdução à Teoria Geral da Administração”. 3ª Edição, 1983, McGraw-Hill do Brasil.

W. PEDRYCZ e F. GOMIDE, “An Introduction to Fuzzy Sets”, The MIT Press, 1998.

L. C. FIGUEIREDO e R. A. TEIXEIRA. “Implementação de um Controlador Fuzzy em CLP”, II Congresso Mineiro de Automação, Belo Horizonte – MG, 1998.

8. APÊNDICES

8.1. GLOSSÁRIO DE TERMOS MILITARES

Este apêndice aborda as principais nomenclaturas, definições e características dos termos militares utilizado pelo Exército Brasileiro necessários à compreensão da dissertação. Estão organizados de forma alfabética.

⇒ Brigada (Bda)

A Bda é uma Grande Unidade básica de combinação de armas, constituída por unidades de combate, apoio ao combate e de apoio logístico, com capacidade de atuação operacional independente e de durar na ação.

A Bda é uma organização, ao mesmo tempo, tática e logística. Dependendo da missão, organizações adicionais de combate, apoio ao combate e o apoio logístico, podem ser dados em reforço a Bda.

⇒ Centros de Comunicações de Comando (CCom)

É o conjunto de diferentes órgãos, postos e outros meios de comunicações, incumbidos da recepção, transmissão, criptografia, decriptografia e controle das mensagens. Serve a um comando, escalão de comando, autoridade, grupo de instalações ou unidades situadas em uma área geográfica específica.

O centro de comunicações de comando (CCOM) é estabelecido para atender às necessidades de um posto de comando ou escalão de posto de comando em meios de comunicações. Todos os escalões, da subunidade ao teatro de operações terrestres, estabelecem centros de comunicações de comando em seus respectivos postos de comando.

Quando necessário, os centros de comunicações de comando podem se desdobrar em dois, sendo um para atender às necessidades táticas de operação (Posto de comando – PC) e outro para atender suas necessidades logísticas (Posto de comando Recuado - PCR).

O Centro de Comunicações de Comando pode, eventualmente, apoiar tropas ou instalações localizadas nas suas proximidades.

O C Com de Comando é composto pelos seguintes órgãos:

- Centro de mensagens (CM): é responsável pelo recebimento, processamento, criptografia, decriptografia e entrega de mensagens na área do C Com;
- Centro de mensageiros (C Msgr): tem a seu cargo o controle e o emprego dos mensageiros;
- Centro de transmissão e recepção (CTR): é responsável pelo controle dos terminais de comunicações destinados ao teleprocessamento de dados e transmissão por controle remoto. É responsável pela operação dos controles remotos dos diferentes meios de comunicações do C Com.

⇒ Centros Nodais (CN)

Os Centros Nodais são os nós troncais do sistema, com a função central de trânsito, para onde convergem todas as ligações e, através de enlaces de grande capacidade de tráfego, ligam-se uns aos outros, proporcionando uma cobertura, em comunicações, em toda a zona de ação dos escalões DE e superiores.

O centro nodal é estabelecido para propiciar apoio a todos os comandos localizados em uma determinada área.

⇒ Comando e Controle (C2)

Conjunto de recursos humanos e materiais que, juntamente com determinados procedimentos, permite comandar, controlar, estabelecer comunicações com as forças amigas e obter informações.

⇒ Divisão de Exército (DE)

Grande comando operacional da força terrestre, constituído de um número variável de brigadas, não necessariamente idênticas, e por tropas divisionárias que compreendem unidades de combate e de apoio logístico.

⇒ Exército de Campanha (Ex Cmp)

Grande comando operacional terrestre que executa operações estratégicas planeja e conduz operações táticas dos seus elementos subordinados e prevê o apoio logístico das unidades que são orgânicas ou que o integram, sendo constituído de um comando, tropas de exército e enquadrando um número variável de divisões de exército, brigadas e unidades de combate, de apoio ao combate e de apoio logístico.

⇒ Expedidor

Expedidores são as pessoas autorizadas a utilizar o sistema de comunicações. Os graus hierárquicos dos expedidores de mensagens militares são os postos e graduações dos usuários do sistema de comunicações. Esse dado não é levado em consideração na ordenação das filas no sistema de transmissão de mensagens hoje em uso nas Forças Armadas.

De forma linear, o sistema possui 16 graus hierárquicos. Seguiremos como modelo os postos e graduações do Exército Brasileiro, conforme a Tabela 8.1.

Tabela 8.1- Postos e Graduações.

16 - Gen Ex	15 - Gen Div	14 - Gen Bda	13 - Coronel
12 - Ten Cel	11 - Maj	10 - Cap	09 - 1º Ten
08- 2º Ten	07 - Asp Of	06 - ST	05 - 1º Sgt
04 - 2º Sgt	03 - 3º Sgt	02 - Cb	01 - Sd

⇒ GDH e QSL

O GDH de uma mensagem representa o grupo data-hora que a mensagem entrou no sistema, ou seja, foi enviada por seu expedidor. O GDH é atribuído pelo sistema com um número que a identifica e a diferencia das demais mensagens.

O campo QSL registra a data-hora que o destinatário recebeu a mensagem, sendo atribuído pelo sistema.

A diferença entre QSL e GDH é o tempo de processamento da mensagem, ou seja, o tempo que a mensagem levou para trafegar entre expedidor e destinatário.

⇒ Graus de Precedência

A precedência indica a ordem de prioridade com que uma mensagem deva ser veiculada em relação às demais mensagens dentro do sistema de comunicações.

A classificação da precedência é dada pelo expedidor da mensagem e pode assumir quatro graus distintos:

- Urgentíssima (UU): Tem precedência sobre todas as demais mensagens. É usada em casos muito especiais.
- Urgente (U): Tem precedência sobre as de menor prioridade. É utilizada para assuntos que tratem da ampliação do contato com o inimigo, de riscos à vida humana ou da perda de material importante.
- Preferencial (P): É a precedência mais alta que se pode dar às mensagens administrativas.
- Rotina (R): Reservada a todos os tipos de mensagens cuja importância não justifique precedência mais elevada.

⇒ Graus de Sigilo

A atribuição do grau de sigilo de uma mensagem é de responsabilidade da autoridade expedidora e o tratamento que esta mensagem deve ter, em consequência desta classificação, é da responsabilidade de todos que a manusearem.

O chefe do centro de comunicações pode sugerir a alteração da classificação sigilosa se ela for diferente da usada em mensagens que tratam do mesmo assunto ou assunto correlato.

O grau de sigilo dos documentos, em geral, e o tratamento diferenciado que cada classificação impõe são regulados por legislação específica de âmbito federal.

Os graus de sigilo são os seguintes:

- Ultra-Secreto (USEC): Atribuído aos documentos que requeiram excepcionais medidas de segurança, cujo teor só deva ser do conhecimento de pessoas intimamente ligadas ao seu estudo ou manuseio. Esta classificação é atribuída aos documentos referentes

à soberania e integridade territoriais, planos de guerra e relações internacionais do País, cuja divulgação ponha em risco a segurança da sociedade e do Estado.

- Secreto (SEC): Atribuído aos documentos que requeiram rigorosas medidas de segurança e cujo teor ou característica possam ser do conhecimento de pessoas que, sem estarem intimamente ligadas ao seu estudo ou manuseio, sejam autorizadas a deles tomarem conhecimento em razão de sua responsabilidade funcional. Esta classificação é atribuída aos documentos referentes a planos e detalhes de operações militares, a informações que indiquem instalações estratégicas e aos assuntos diplomáticos, que requeiram rigorosas medidas de segurança, cuja divulgação ponha em risco a segurança da sociedade e do Estado.

- Confidencial (CONF): Atribuído aos documentos cuja divulgação e conhecimento do seu teor possa ser prejudicial aos interesses nacionais. Esta classificação é atribuída aos documentos onde o sigilo deve ser mantido por interesse do governo e das partes e cuja divulgação possa vir a frustrar seus objetivos ou ponha em risco a segurança da sociedade e do Estado.

- Reservado (RES): Atribuído aos documentos que não devam, imediatamente, ser do conhecimento do público em geral. Esta classificação é atribuída aos documentos cuja divulgação, quando ainda em trâmite, compromete as operações ou os objetivos neles previstos.

- Ostensivo: O documento que não tiver classificação sigilosa.

=> Mensagens Hierárquicas

A abordagem tradicional para classificação das mensagens nas Forças Armadas se baseia em níveis de precedência que identificam a ordem pelas quais as mensagens ou fluxos de informações devem ser atendidos.

Nas mensagens hierárquicas, em especial as militares, podemos destacar diversos campos informativos que podem ser considerados como características particulares ou identificadores de cada uma das mensagens. Veremos a seguir detalhes das principais características relevantes para o escalonador Fuzzy e a metodologia de avaliação das filas.

Tipos:

- Mensagem simples: é aquela enviada a um só destinatário.
- Mensagem circular: é aquele enviado a dois ou mais destinatários.

• Mensagem de partida: é aquela que é enviada, pelos meios de comunicações, a outro C Com ou comando, localizado fora do alcance do serviço de mensageiros locais.

Partes Componentes:

A mensagem apresenta três partes distintas: cabeçalho, texto e fecho.

• Cabeçalho: é a parte da mensagem que precede o texto. Contém informações relativas à precedência, classificação sigilosa, número de referência, real destinatário e real expedidor.

• Texto: é a parte principal da mensagem. Contém a idéia que se deseja transmitir, a autenticação da mensagem e o número de grupos, caso seja criptografada.

• Fecho: é a parte final da mensagem. Contém informações complementares como a determinação para enviar em claro ou criptografada, assinatura, nome e função do expedidor.

Um modelo de mensagem utilizada pelo Exército Brasileiro pode ser vista na Figura 8.1.

R E D A X T O R	2	C	114
	PRECEDÊNCIA	CLAS SIGILOSA	REFERENCIA
	PARA :		
	DE :		
		GR 03	
		ORGTY SFDE INDOV	
	T		
	E		
	X		
	T		
	O	ZNB TT	
		ENVIAR: () CLARO (X) CRPT	
		ASSINATURA	NOME
	GDH : 152036P		QSL :

Figura 8.1: Modelo de mensagem operacional

⇒ Posto de Comando Principal (PC)

É o órgão de comando e controle voltado, particularmente, para o planejamento e coordenação das operações táticas correntes ou futuras. Recebe todas as informações relativas ao combate.

⇒ Posto de Comando Recuado (PCR)

Local de onde se estabelece a supervisão e a coordenação do apoio logístico e das atividades de segurança da área de retaguarda.

⇒ Processamento Automático de Mensagens Operacionais

O sistema de processamento automático de mensagens operacionais em desenvolvimento pelo EB consiste na instalação de um sistema de correio eletrônico que

possa gerenciar a transmissão de mensagens de expedidor para um destinatário que pode estar em outra unidade, fora do alcance da Rede de Computadores do Centro de Comunicações da Brigada, com a mínima intervenção dos operadores do sistema.

A possibilidade de criptografia e a integração com o sistema de transmissão de dados não é apenas desejada, mas se faz necessária para a obtenção de segurança e de e de uma resposta adequada no tempo de processamento das mensagens.

⇒ Sistema de Comunicações (Sis Com)

Termo geral utilizado para designar, sob o aspecto técnico, uma associação de instalações e equipamentos de comunicações. Especificamente, os diferentes meios de comunicações grupam-se de modo a constituírem conjuntos homogêneos, com características comuns, denominados sistemas. O conjunto dos diferentes sistemas de comunicações empregados num escalão constitui o sistema de comunicações deste escalão.

8.2. OPERAÇÃO SANTA CRUZ – VERSÃO 2008

Por vários anos o Exe T SANTA CRUZ foi, por si só, o Trabalho de Comando do Curso de Comunicações da EsAO. O Exe T era realizado pelos Capitães Alunos em sala e no terreno, nas regiões de SANTA CRUZ, PACIÊNCIA e JESUÍTAS, Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro.

O Tema SANTA CRUZ tem por objetivo apresentar um trabalho de planejamento de Comunicações o mais abrangente possível, apresentando um tema tático completo e um exemplo de todas as fases do trabalho de comando.

O Tema SANTA CRUZ está dividido em 03 (três) partes:

- 1ª PARTE: Ambientação e Concepção da Manobra no escalão do V Ex Cmp;
- 2ª PARTE: Manobra e Planejamento no escalão da 13ª DE;
- 3ª PARTE: Manobra e Planejamento no escalão da 41ª Bda Bld.

Tendo em vista este trabalho se basear em sistemas de comunicações de brigadas, apresentaremos apenas os documentos da 3ª partes relevantes à dissertação.

6ª SITUAÇÃO PARTICULAR

Ref: Crt R SE BRASIL - Esc 1:50.000 - FI SANTA CRUZ .

Após a decisão do Cmt da 13ª DE, o Cmt da 41ª Bda Bld recebeu os relatórios dos reconhecimentos de seus Elm Subd e concluiu o Estudo de Situação do Comandante Tático, o Cmt da 41ª Bda Bld reuniu seu estado-maior e seus Elm Subd e decidiu o seguinte:

A fim de criar condições para isolar a cidade do Rio de Janeiro, a 41ª Bda Bld atacará em 180600 Abr A, com:

1. A FT 411º BIB ao N, realizando o Atq Pcp para conquistar as R Altu Morro do MARAPICÚ (44-73) e P Cot 503 (45-74) (O1). Em O1, ficar em condições de prosseguir o Atq para Conq R Altu Morro do GUANDÚ (51-75), P Cot 790(51-74) e P Cot 738(5175)(O3) ou apoiar uma ultrapassagem;

2. O FT 413º RCC ao S, para Conq a R Altu Morro do LAURINDO (47-69) (O2). Em O2, ficar em condições de prosseguir o Atq para Conq R Altu da SERRA DO QUITUNGO (52-72) (O4) ou apoiar uma ultrapassagem;

3. Manterá em Ctt com o Ini o 41º Esqd C Mec até o desembocar do ataque realizando a manutenção da fisionomia de frente.

4. Em O3 e O4 ficará ECD apoiar uma Ultr ou prosseguir para N;

5. Manterá em reserva, inicialmente, o FT 412º BIB e o 41º Esqd C Mec, após o Atq.

A 13ª Cia GE, para executar sua missão tática padrão de apoio ao conjunto de GE à 13ª DE, desdobrará o 1º Pel Op GE Avçd na Z Aç da 41ª Bda Bld. A 41ª Bda Bld proverá a segurança e o apoio administrativo deste pelotão, podendo também, Mdt Coor com a 13ª DE, utilizá-los para o apoio à Man da 41ª Bda Bld.

Face às características acidentadas da Z Aç da FT 411° BIB, ficou estabelecido que a 41ª Cia Com Bld fornecerá, desde já, 01 (uma) Tu Retrains Rad para as Nec do Btl.

ORDEM DE OPERAÇÕES QUITUNGO (extrato)

Ref: Crt R SE do BRASIL - Esc 1:50.000 - FI SANTA CRUZ

Composição dos meios

<u>FT 411° BIB</u> - 411° BIB - 1° e 2°/414° RCC <u>41° BEC Bld</u>	<u>FT 413° RCC</u> - 413° RCC - 1ª/412° BIB <u>41ª Cia Com Bld</u>	<u>41° GAC 155 AP</u> <u>41° B Log</u>	<u>41ª Bia AAAe AP</u>
<u>Tr Bda</u> -Cia C/41ª Bda Bld -41° Pel PE	<u>Reserva</u> - FT 412° BIB - 412° BIB (-1ª Cia Fuz) - 414° RCC (- 1° e 2°) - 41° Esqd C Mec, após Dbc Atq		

1. SITUAÇÃO

a. **Forças inimigas**

- An A – Inteligência (omitido).

b. **Forças amigas**

1) A V FAT tem condições de obter SpAe local por prazo limitado e apóia nossas ações, sendo as missões atendidas até 45 min após o recebimento do pedido no CAAD.

2)A 12ª DE cobrirá nosso flanco N e a 51ª Bda Inf Mtz cobrirá o flanco S.

3)O 1º/13ª Cia GE desdobrará seus Elm na Z Aç da 41ª Bda Bld.

...

2. MISSÃO

a. A fim de criar condições para o isolamento da cidade do RIO DE JANEIRO atacar em 180600 Abr A na Dire SANTA CRUZ (34 64) – Serra do QUITUNGO (52 71) para Conq as R Altu Morro do MARAPICÚ (44-73) e P Cot 503 (45-74) (O1), R Altu Morro do LAURINDO (47-69) (O2), R Altu Morro do GUANDÚ (51-75), P Cot 790(51-74) e P Cot 738(5175)(O3) e R de Alt de SERRA DO QUITUNGO (52-72)(O4). Ficar ECD de Mnt os Obj conquistados ou Pross para N.

b. A intenção é Conq a R Altu de MORRO DO MARAPICU (44 72) - P Cot 503 (44 74) e MORRO DO GUANDU – P Cot 790 (50 74) para permitir o lançamento de uma FT RCC em

1º escalão para destruir a maioria de meios inimigos que incidirem sobre o eixo balizado pela Av BRASIL até a R de Altu de SERRA DO QUITUNGO (52-72), utilizando ao máximo o poder de choque.

3. EXECUÇÃO

a. **Conceito da operação**

1) Manobra

a) a 41ª Bda Bld atacará em 180600 Abr A empregando:

(1) a FT 411º BIB ao N, realizando o Atq Pcp na Dire SANTA CRUZ (34 64) – Serra do QUITUNGO (52 71) para conquistar as R Altu Morro do MARAPICÚ (44-73) e P Cot 503 (45-74) (O1). Em O1, ficar em condições de prosseguir o Atq para Conq R Altu Morro do GUANDÚ (51-75), P Cot 790(51-74) e P Cot 738(5175)(O3) ou apoiar uma ultrapassagem;

(2) a FT 413º RCC ao S, para Conq a R Altu Morro do LAURINDO (47-69) (O2). Em O2, ficar em condições de prosseguir o Atq para Conq R Altu da SERRA DO QUITUNGO (52-72)(O4) ou apoiar uma ultrapassagem;

b) Em O3 e O4 ficará ECD apoiar uma Ultr ou prosseguir para N;

c) Manterá em reserva, inicialmente, a FT 412º BIB e o 41º Esqd C Mec.

d) An B – Esquema de manobra.

2) Fogos

a) Prioridade de fogos para a FT 411º BIB .

b) Haverá uma preparação de fogos com a duração de 20 min e desencadeamento em 180540 Abr A.

c) An C - PAF (omitido)

b. **FT 411º BIB**

1) Coor suas ações com a FT 413º RCC;

2) Receber o 1º Pel E Cmb em Ap Dto;

3) Receber 01(uma) Tu Retrans da 41ª Cia Com Bld;

c. **FT 413º RCC**

...

d. **41º Esqd C Mec**

1) Manter fisionomia da frente até 180600 Abr A;

2) Passa a reserva após Dbc Atq.

e. **Apoio de fogo**

- Conforme PAF da 41ª Bda Bld.

f. **41ª BEC Bld**

1) Apoio Direto

a) 1º Pel E Cmb, Ap à FT 411º BIB;

...

g. **41ª Cia Com Bld**

- Fornecer, desde já, 01 (um) Tu de Repetidor para a FT 411º BIB.

h. **41º B Log**

...

j. **Reserva**

- 1) FT 412° BIB
- 2) 41° Esqd C Mec

l. **Prescrições diversas**

- 1) An D – Matriz de sincronização.
- 2) Estudo do terreno: Apd 1 ao An A – Inteligência (omitido).
- 3) Dispositivo pronto: 172330 Abr A.

4. LOGÍSTICA

a. **Generalidades**

- An E – Logística (omitido).

b. **Suprimento**

- 1) EPS: Conforme Calco Ap Log (Apd 1 ao An E) (omitido)
- 2) CI I
 - a) Localização do P Distr, conforme Calco Ap Log(omitido);
 - b) Mudança de Intv: de 4 para 5 na noite de 17 Abr;
 - c) Autz o consumo de Rç R2 a partir de 17 Abr;
 - d) Entrada do pedido de recompletamento no 41° B Log até 19:00 Hs, diariamente.

3) CI III

- a) P Distr CI III, conforme Calco Ap Log (omitido);
- b) Créditos para a operação:

Combustível	...	41ª Cia Com Bld	...
OD	...	2.000L	...

4) CI V

- a) Será desdobrado justaposto a A Ap Log/41ª Bda Bld, um P Sup CI V (Mun);
- b) Dspn no P Sup por dia para operação:

Tipo de Mun	...	41ª Cia Com Bld	...
...	...	-	...
Car 7,62mm	...	1.800	...
...	...	-	...

5) CI X

1) Água

- a) P Sup aberto na A Ap Log/41ª Bda Bld;
- b) Atendimento Mdt horário:

Água	...	41ª Cia Com Bld	...
Horário	...	19:00 às 20:00h	...

c. **Transporte**

1) Circulação e controle de trânsito

...

b) Restrições

- (1) LEP: Balizada pelo P Cot 14 (33-70) e localidade de SANTA CRUZ (35-64);
- (2) LEP: Balizada pelo P Cot 38 (37-71) e P Cot 65 (37-65);

2) EPS

- 1) Av Brasil (36-68) para a 41ª Bda Bld;

...

d. Saúde

- 1) Evacuação
 - a) P Trig aberto na A Ap Log/ 41ª Bda Bld;
 - b) Prio EVAM, quando solicitada, para a FT 411º BIB.
- 2) Hospitalização
 - a) 5011º Pel Cir Mv aberto na A Ap Log/ 41ª Bda Bld;
 - b) 543º H Cmp aberto em ANGRA DOS REIS;

e. Manutenção

- 1) Prioridade de manutenção
 - a) Armt L, Armt Pesd, instrumentos ópticos, Mat Com Elt e Vtr;
 - b) Prio para a FT 411º BIB;

f. Engenharia

...

g. Recursos Humanos

- 1) Controle de efetivos
 - a) Registros e relatórios
 - (1) Sumário Diário de Pessoal: até as 1300 h, com término de período às 1200 h.
 - (2) Relatório Periódico de Pessoal: até as 1500 h das segundas feiras, com término do período às 1700 h do dia anterior.
 - b) Perdas
 - (1) Até 180600 Abr A serão consideradas desprezíveis;
 - (2) Informar de imediato a ocorrência de perdas superiores a 10% do efetivo existente, nos escalões SU ou Frç através do Relatório de Perdas.
 - 2) Reacompletamento
 - a) Pedidos:
 - (1) De emergência: quando ocorrerem perdas iguais ou superiores a 10% do Ef.
 - (2) Os pedidos de reacompletamento devem ser confeccionados por arma, dentro de cada fração a ser reacompletada e encaminhada à 41ª Bda Bld, com o término do período até às 18:00h.
 - 3) Mão de obra
 - Não está autorizada a utilização de mão de obra civil na Z Aç.
 - 4) Repouso, recreação e recuperação
 - a) Área de repouso e Centro de Recreação: a ser Info.
 - b) Área de recuperação no H Cnv do CLEx/V.
 - c) Distr vagas: solicitação ao E1/41ª Bda Bld, com prioridades para a FT 411º BIB, FT 413º RCC, FT 412º BIB e 41º Esqd C Mec (quando empregados), 41º GAC 155 AP, 41º BEC, e demais OM, nessa ordem.
 - 5) Suprimento reembolsável
 - Cantina móvel na A Ap Log/41ª Bda Bld, aberta .
 - 6) Serviço Postal
 - Coleta nos PC Elm diretamente Subd 41ª Bda Bld.
 - 7) Banho e Lavanderia
 - a) P Ban e P Lav: Loc a ser Info e abertura Mdt O.
 - Horários: de 1600 às 1900 h.
 - b) Prio Lav de fardamento
 - (1) Elm Sau, demais U e Mat Slv, nesta ordem.

- (2) Somente será feita após Conq Obj finais.
- c) Lav de roupas por trouxas individuais.
- 8) Sepultamento
- a) O 41° B Log instalará um cemitério provisório na Loc de SANTA CRUZ (34-64).
- b) P Col Mor: aberto na A Ap Log/41ª Bda Bld;
- c) Cem do V Ex Cmp: R de Capela (2570)
- 9) Administração interna do PC
- a) Deslocamento: NGA/Bda.
- b) Disposição interna: a cargo do E1 / 41ª Bda Bld, assessorado pelo Cmt 41ª Cia Com Bld e Cmt Cia C/41ª Bda Bld.
- 10) SEGAR
- a) Ct SEGAR: Cmt 41° B Log
- b) Apd 3 – Pl de SEGAR (omitido).

h. Salvamento

...

5. COMANDO E COMUNICAÇÕES

a. Comunicações

- 1) Índice das IE Com Elt : 1- 4 (omitido)
- 2) Centros de Comunicações
- a) Centros Nodais:
- (1) CN 1/13ª DE: R de P Cot 44 (3885-7120);
- (2) CN 4/13ª DE: R de pomar (3560-6860);
- (3) Os CN da 13ª DE abrirão em 180000 Abr A e fecharão Mdt O.
- (4)Quadro de enlaces

CN	REDE	JUNÇÃO	APOIO
1	-	PCR 41ª Bda Bld	-
4	-	PCP 41ª Bda Bld	-

3) Rádio

- a) An F – QRR
- b) A Rede Cmt Nr 2 / 13ª DE empregará o repetidor rádio embarcado em VANT, sendo ativada a partir do horário da preparação de fogos.
- c) As U Subd estarão autorizadas a empregar os Cj Rad Gp 1 para Com na A Ap Log/41ª Bda Bld e Ct Dslc a distâncias maiores que 4 Km da LP / LC.
- d) Prescrições-Rádio:
- (1) Silêncio
- (2) Restrito
- para a FT 411° BIB, FT 413° RCC, 41° GAC 155 AP, 41ª BEC a partir de 180540 Abr A;
- (3) Livre
- para a FT 411° BIB, FT 413° RCC, 41° GAC 155 AP, 41ª BEC a partir de 180600 Abr A;
- para 41° Esqd C Mec nas ações de Mnt fisionomia da frente até 180600 Abr A.
- para a 41ª Bia AAAe AP nas Aç defesa AAe;

- para as redes-rádio que Emp Cj Rad Gp 1 para Com no âmbito da A Ap Log/41ª Bda Bld e Ct Dsloc a distâncias maiores que 4 Km da LP/LC, até 180000 Abr A;

- demais Elm e /ou redes, Mdt O.

4) Multicanal

a) Apd 2 (QSMC) ao An I (Com) à O Op JESUÍTAS;

b) Apd 3 (QEL) ao An I (Com) à O Op JESUÍTAS;

c) An G – QSMC(omitido);

d) O alcance dos TAR é de 3 Km em propagação sem obstáculos.

5) Circuitos físicos

a) Apd 4 (Pl Comutação) ao An I (Com) à O Op JESUÍTAS;

b) An H – Crt Itn L (omitido);

c) As Tu Cnst devem ser Rfr, principalmente próximo a localidades e à noite;

d) A 41ª Cia Com Bld deve construir os circuitos destinados às ligações de apoio para as OM Subd da 41ª Bda Bld.

6) Mensageiros

a) An I – Crt Itn Msg Esc (omitido);

b) Os Msg deverão ser duplos, percorrer Itn diferentes e escoltados próximo a localidades e à noite.

c) As Msg ultra-secretas, secretas ou volumosas, que tenham precedência UU ou U poderão ser conduzidas por Msg Aetrrp, Mdt solicitação ao V Ex Cmp.

7) Outros meios

a) Proibido o uso de artifícios pirotécnicos até 180600 Abr A.

b) Permitida a sinalização Vis apenas da Fr para a Rtgd, a W das Serras de PACIÊNCIA.

c) Liberado o uso de painéis para ligação solo-ar, antes de 180600 Abr A, somente a uma distância maior do que 4 Km da LP / LC.

d) Autorizada a utilização de meios acústicos somente para alarme nas áreas de PC e nos Esc SU e inferiores a partir de 180600 Abr A.

e) O emprego de meios diversos está liberado, antes de 180600 Abr A, somente a mais de 4 Km da LP/LC. O uso de apanha Msg e Msg lastradas será realizado Mdt Coor com o 1º/5º GLO.

8) Recursos locais

a) C Tel Au em SANTA CRUZ (digital);

b) Cirt fibra ótica ao longo da Av BRASIL; cabos múltiplos em toda a região;

c) Radioamadores em toda a área: 3.500 a 3.750, 14.100 a 14.200 e 26.000 a 26.500 KHz e 121 a 125 e 144 a 148 MHz, com estação repetidora na SERRA DO MENDANHA (5130-7530);

d) Telefonia Celular em toda a área: ERB das operadoras da Banda A,B e D em SANTA CRUZ (3500-6270);

e) Sist PAGER e TRUNKING cobrindo toda a área;

f) Cobertura WLL em SANTA CRUZ e VILA COSMOS.

g) Linhas Privativas de Comunicação de Dados (LPCD) e links de microondas a 2 Mbps servindo a bancos, supermercados e empresas na região.

h) Utilização dos Rcs Loc Mdt O ou autorização Esc Sup.

9) Prescrições Diversas

- Dispositivo Com pronto: 172300 Abr A.

b. Postos de Comando

1)PCP 13ª DE: R de P Cot 28 (3690-6870);

2)PCR 13ª DE: R de SITIO NAMETALIA (3290-6850);

3)PCP 41ª Bda Bld: R Granja SAGRADO CORAÇÃO (3885-6950);

4)PCR 41ª Bda Bld: R Canal D. PEDRO II (3415-6870);

5)Demais Elm escolher e informar até 170000Abr

6) Abrirão em 180000 Abr A e fecharão Mdt O;

c. Eixos de Comunicações

1) 13ª DE , 41ª Bda Bld e FT 413º RCC - Av BRASIL(3668).

2) FT 411º BIB - eixo balizado pelas bifurcações nas Qd (43-72) e (46-71) e cruzamento (47-73).

d. Outras prescrições

1) MPE/Com: NGA Com Elt.

2) Proibida a escuta de estações de radiodifusão Ini.

6. PESSOAL E ASSUNTOS CIVIS

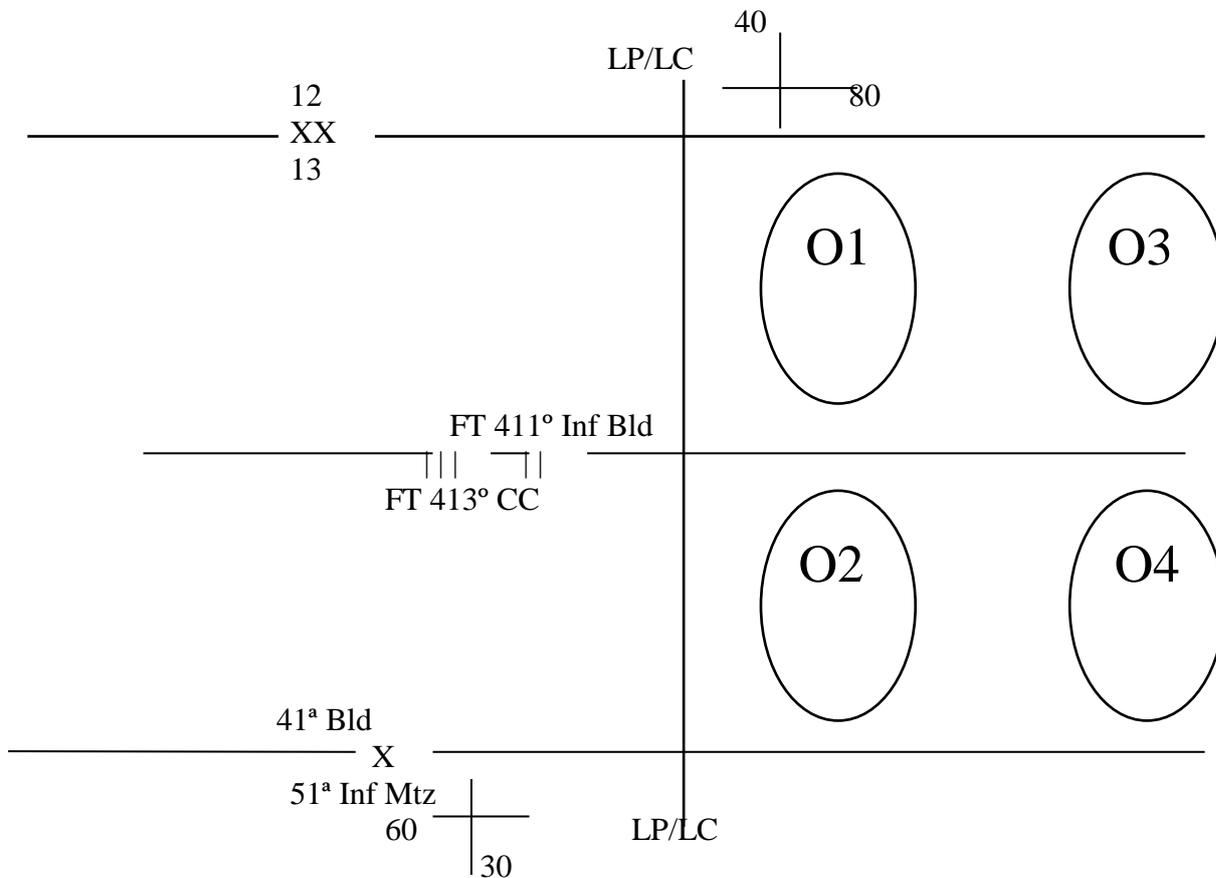
a. Pessoal

...

b. Assuntos Cíveis

...

Ref: Crt R SE BRASIL - Esc 1:50.000 - Fl , SANTA CRUZ. Esboço fora de escala



ORDEM DE OPERAÇÕES Nr 06 (extrato)

Ref: - Crt R SE do BRASIL - Esc 1:50.000 - FI SANTA CRUZ
- An I (Com) a O Op JESUÍTAS

Composição dos meios

Pel Com PC

Pel Com PCR

Pel C Ap

1. SITUAÇÃO

a. Forças inimigas

- 1) An A – Inteligência (omitido).
- 2) O Ini tem:
 - a) procurado interferir nas nossas comunicações rádio não apresentando, no entanto, muita eficiência;
 - b) realizado transmissões falsas, desmascaradas pelos sistemas de autenticação;
 - c) utilizado as estações de radiodifusão para desencadear programas com o objetivo de abater o moral das tropas azuis;
 - d) atuado com Elm civis em emboscadas contra Msg e Tr isoladas, principalmente à noite e próximo a localidades;
 - e) transmitido Msg em claro;
 - f) realizado fogos a até 3 km da LP/LC.
- 3) O inimigo pode:
 - a) realizar a aquisição, localização eletrônica e análise sobre nossos emissores de Com e N Com;
 - b) interferir e dissimular em nossas transmissões de Com;
 - c) empreender ações de sabotagem contra nossas instalações de Com;
 - d) emboscar nossos Msg e Tu Cnst e realizar derivações em nossos circuitos físicos;
 - e) realizar derivações em nossos circuitos físicos;
 - f) desencadear ações de G Psico contra nossas forças através de suas estações de radiodifusão; e
 - g) realizar fogos sobre intalações a até 4 Km da LP/LC.

b. Forças amigas

- 1) An B – Calco Op (omitido)
 - i. A 41ª Cia Com Bld, orgânica da 41ª Bda Bld, ligar-se-á ao SISTAC/13ª DE, Esc Sp, através do Sistema Multicanal. Ao norte está situado o 12º B Com, orgânico da 12ª DE e a sul está a 51ª Cia Com, orgânica da 51ª Bda Inf Mtz;
 - ii. O 1º/13ª Cia GE desdobrará seus Elm na Z Aç da 41ª Bda Bld.

c. Meios recebidos e retirados

- Fornecerá 01 (uma) Tu Retrans Rad à FT 411º BIB, desde já.

2. MISSÃO

a. A fim de apoiar a 41ª Bda Bld na Conq das R Altu Morro do MARAPICÚ (44-73) e P Cot 503 (45-74) (O1), R Altu Morro do LAURINDO (47-69) (O2), R Altu Morro do GUANDÚ (51-75), P Cot 790(51-74) e P Cot 738(5175)(O3) e R de Alt de SERRA DO QUITUNGO (52-72)(O4), instalar, explorar e manter o sistema de comunicações da Bda. Ficar ECD de apoiar em Com uma Ultr ou Pross para N.

b. A intenção do Cmt da 41ª Cia Com Bld é realizar a Mnt da fisionomia Fr utilizando os operadores da Sec Com do 41º Esqd C Mec, Pel Com PC, Pel Com PCR até o desembocar do Atq, mantendo um fluxo de Msg falsas de 04/h. Paralelamente, usar intensamente o sistema

de mensageiros e não realizar nenhuma emissão eletromagnética a distâncias inferiores à 4 Km da LP/LC, exceto as previstas na Mnt Fisionomia Fr.

3. EXECUÇÃO

a. Conceito da operação

1. Centro de Comunicações

a) De Cmdo

- (1) PCP 13ª DE – R de P Cot 28 Q(3690-6870)
- (2) PCR 13ª DE – R de SÍTIO NAMETÁLIA Q(3290-6850)
- (3) PCP 41ª Bda BldR d GRANJA SAGRADO CORAÇÃO (3885-6950)
- (4) PCR 41ª Bda Bld.....R de CANAL D PEDRO II (3415 – 6870)
- (5) Demais elementos orgânicos, escolher e informar até 172300 Abr A

b) Centros Nodais:

- (1) CN 1/13ª DE: R de P Cot 44 (3885-7120);
- (2) CN 4/13ª DE: R de pomar (3560-6860);
- (3) Os CN da 13ª DE abrirão em 180000 Abr A e fecharão Mdt O.

1. Quadro de enlaces

CN	REDE	JUNÇÃO	APOIO
1	-	PCR 41ª Bda Bld	-
4	-	PCP 41ª Bda Bld	-

2) Rádio

Anexo “F” – QRR à O Op QUITUNGO / 41ªBda Bld (omitido)

2.Multicanal

- a) Apd 3 (QSMC) ao An I à O Op JESUÍTAS (omitido);
- b) Anexo “C” – QSMC(omitido)
- c) O alcance dos TAR é de 3 Km em propagação sem obstáculos.

4) Circuitos físicos

- a) Apd 5 (Pl de Comutação) ao An I (Com) à O Op JESUÍTAS (omitido);
- b) An “D”- Crt Itn L(omitido);
- c) As Tu Cnst devem ser Rfr, principalmente próximo a localidades e à noite;
- d) A 41ª Cia Com Bld deve construir os circuitos destinados às ligações de apoio para as OM Subd da 41ª Bda Bld.

2) Mensageiros

- a) An “E” – Crt Itn Msg Esc (omitido);
- b) Os Msg deverão ser duplos, percorrer Itn diferentes e escoltados próximo a localidades e à noite.
- c) As Msg ultra-secretas, secretas ou volumosas, que tenham precedência UU ou U poderão ser conduzidas por Msg Aetrnp, Mdt solicitação ao V Ex Cmp.

6) Outros meios

- a) Proibido o uso de artifícios pirotécnicos até 180600 Abr A.
- b) Permitida a sinalização Vis apenas da Fr para a Rtgd, a W da Serra de PACIÊNCIA

c) Liberado o uso de painéis para ligação solo-ar, antes de 180600 Abr A, somente a uma distância maior do que 4 Km da LP / LC.

d) Autorizada a utilização de meios acústicos somente para alarme nas áreas de PC e nos Esc SU e inferiores a partir de 180600 Abr A.

e) O Emp de meios diversos está liberado, antes de 180600 Abr A, somente a mais de 4 Km da LP/LC. O uso de apanha Msg e Msg lastradas será realizado Mdt Coor com o 1º/5º GLO.

- 7) Recursos locais de comunicações
- a) C Tel Au em SANTA CRUZ (digital);
 - b) Cirt fibra ótica ao longo da Av BRASIL; cabos múltiplos em toda a região;
 - c) Radioamadores em toda a área: 3.500 a 3.750, 14.100 a 14.200 e 26.000 a 26.500 KHz e 121 a 125 e 144 a 148 MHz, com estação repetidora na SERRA DO MENDANHA (5130-7530);
 - d) Telefonia Celular em toda a área: ERB das operadoras da Banda A, B e D em SANTA CRUZ (3500-6270);
 - e) Sist PAGER e TRUNKING cobrindo toda a área;
 - f) Cobertura WLL em SANTA CRUZ e VILA COSMOS.
 - g) Linhas Privativas de Comunicação de Dados (LPCD) e links de microondas a 2 Mbps servindo a bancos, supermercados e empresas na região.
 - h) Utilização dos Rcs Loc Mdt O ou autorização do Esc Sup.

b. **Pel Com PC**

- Fornecer, desde já, 01 (uma) Tu Retrans Rad para a FT 411° BIB.
- Manter um fluxo de Msg falsas entre os operadores do 41° Esqd C Mec e Pel Com PCR, transmitindo 04/h. Mensagens de conteúdo verdadeiro devem ser corretamente autenticadas.

c. **Pel Com PCR**

- Manter um fluxo de Msg falsas entre os operadores do 41° Esqd C Mec e Pel Com PC, transmitindo 04/h. Mensagens de conteúdo verdadeiro devem ser corretamente autenticadas.

d. **Pel C Ap**

...

e. **Prescrições diversas**

- a) Dispositivo de Com pronto: 172230 Abr A.
- b) An "F" - Matriz de sincronização de comunicações e eletrônica

4. LOGÍSTICA

...

b. **Suprimento**

...

2) CI III

- a) P Distr CI III, conforme Calco Ap Log (omitido);
- b) Créditos para a operação atende as Nec Lev. Nec de Sup CI III deverão dar entrada até às 15:00h.

6) CI V

- a) Será desdobrado sustaposto a A Ap Log/41ª Bda Bld, um P Sup CI V (Mun);
- b) P Remn 41ª Cia Com Bld:

Tipo de Mun	...	41ª Cia Com Bld	...
...	...	-	...
Car 7,62mm	...	1.800	...
...	...	-	...

7) CI X

- a) Água
- (1) P Sup aberto na A ApLog/41ª Bda Bld;

(2) Atendimento Mdt horário:

Água	...	41ª Cia Com Bld	...
Horário	...	19:00 às 20:00h	...

c. Transporte

2) Circulação e controle de trânsito

...

b) Restrições

(1) LEP: Balizada pelo P Cot 14 (33-70) e localidade de SANTA CRUZ (35-64);

(2) LEP: Balizada pelo P Cot 38 (37-71) e P Cot 65 (37-65);

...

d. Saúde

...

2) Hospitalização

a) 5011º Pel Cir Mv aberto na A Ap Log/ 41ª Bda Bld;

b) 542º H Cmp aberto em ANGRA DOS REIS;

e. Manutenção

4) Prioridade de manutenção

a) Armt L, Armt Pesd, instrumentos ópticos, Mat Com Elt e Vtr;

b) Prio para o Pel Com PC, seguido do Pel Com PCR;

f. Engenharia

...

g. Recursos humanos

1) Controle de efetivos

a) Registros e relatórios

(1) Sumário Diário de Pessoal: até as 1300 h, com término de período às 1200 h.

(2) Relatório Periódico de Pessoal: até as 1500 h das segundas feiras, com término do período às 1700 h do dia anterior.

b) Perdas

(1) Até 180600 Abr A serão consideradas desprezíveis;

(2) Informar de imediato a ocorrência de perdas do efetivo existente;

...

4) Serviço Postal

- Coleta nos PC e PCR da 41ª Bda Bld, Coor pelo Pel C Ap e Pel Com PCR no PCR da 41ª Bda Bld.

5) Banho e Lavanderia

a) P Ban e P Lav: Loc a ser Info e abertura Mdt .

- Horários: das 1600 às 1900 h.

...

6) Sepultamento

a) O 41º B Log instalará um cemitério provisório na localidade de SANTA CRUZ (34-64).

b) P Col Mor: aberto na A Ap Log/41ª Bda Bld;

c) Cem do V Ex Cmp: R de Capela (2570)

7) Administração interna do PC

a) Deslocamento: NGA.

b) Disposição interna: a cargo do E1 / 41ª Bda Bld, assessorado pelo Cmt 41ª Cia Com Bld e Cmt Cia C/41ª Bda Bld.

5. COMANDO E COMUNICAÇÕES

a. Comunicações

3) Índice das IECOMELT : 1- 4 (omitido)

4) Rádio

a) Anexo “G” – QRR ;

b) As Tu Com estarão autorizadas a empregar os Cj Rad Gp 1 para Com na A Ap Log/41ª Bda Bld e Ct Dslc a distâncias maiores que 4 Km da LP / LC.

c) Prescrições-Rádio:

(1) Silêncio

(2) Livre

- Mdt O.

3) Mensageiros

- Haverá Msg Esp para atender as Lig eventuais entre os Pel e frações Subd.

4) Recursos Locais

- Utilização dos Rcs Loc Mdt O.

5) Prescrições Diversas

- Dispositivo de Com pronto: 172230 Abr A

b. Postos de Comando

2. PCP/41ª Bda Bld e PC /41ª Cia Com Bld: R granja SAGRADO CORAÇÃO (3885-6950);

3. PCR/41ª Bda Bld: R canal D. PEDRO II (3415-6870);

c. Eixos de Comunicações

- 41ª Bda Bld: Av BRASIL (36-68).

d. Outras prescrições

1) MPE/Com: NGA Com Elt.

2) Proibida a escuta de estações de radiodifusão Ini.