



Guilherme Marques Mattos

**Redes de Acesso em Banda Larga utilizando Sistemas
VSAT e WiFi**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Luiz A. R. da Silva Mello

Rio de Janeiro
Abril de 2006



Guilherme Marques Mattos

**Redes de Acesso em Banda Larga
Utilizando Sistemas VSAT e WiFi**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Luiz Alencar Reis da Silva Mello

Orientador

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. Erasmus Couto Brazil de Miranda

UCP

Profa. Marlene Sabino Pontes

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. Rodolfo Sabóia Lima de Souza

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 12 de abril de 2006

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Guilherme Marques Mattos

Engenheiro de Telecomunicações graduado pela Universidade Federal Fluminense – UFF em 2003. Kursou a Pós-Graduação em Redes de Computadores pela PUC/RJ, tendo concluído a especialização em 2004 com trabalho final voltado para o estudo de aplicações VoIP em redes via satélite. Atualmente, é Especialista Satélite pela Star One/Embratel/Telmex, onde desenvolve atividades de coordenação e gerência de projetos especiais na área de engenharia da empresa.

Ficha Catalográfica

Mattos, Guilherme Marques

Redes de acesso em banda larga utilizando sistemas VSAT e WiFi / Guilherme Marques Mattos; orientador: Luiz A. R. da Silva Mello. – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Elétrica, 2006.

172 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. VSAT. 3. WiFi. 4. Satélite. 5. 802.11. 6. Metodologia. 7. Projeto. I. Mello, Luiz A. R. da Silva II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Aos meus sempre amados pais, Raimundo José e Maria de Fátima, por toda dedicação, apoio, confiança e coragem passadas durante os momentos difíceis enfrentados na realização deste curso e trabalho.

Agradecimentos

Ao meu Orientador Professor Silva Mello, M.Sc. pelo estímulo, dedicação e parceria para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas do Curso de Mestrado em Eletromagnetismo Aplicado da PUC-RJ pelo companheirismo presente durante os estudos.

À todos aqueles com os quais convivo no ambiente da StarOne/Embratel e que muito contribuem no meu conhecimento.

Aos meus queridos pais Raimundo José e Maria de Fátima, pela educação, amor, motivação, carinho e atenção em todos os momentos.

Aos meus irmãos Patrícia e Gustavo pela paciência e auxílio na compreensão de alguns textos em línguas estrangeiras.

À minha querida namorada Ellen e sua mãe Solange pela compreensão, amor e o constante apoio prestados durante o desenvolvimento deste trabalho.

À todos os amigos que de uma forma ou de outra me estimularam ou me ajudaram.

Ao CCE, à PUC-RJ e seus professores pelo profissionalismo e conhecimento passados durante todo o curso.

Mas acima de tudo à Deus, que me deu plena força para enfrentar as dificuldades durante todo o curso e ao qual me apoiei e busquei abrigo quando me foi preciso, e nunca me faltou.

Resumo

Mattos, Guilherme Marques. **Redes de Acesso em Banda Larga utilizando Sistemas VSAT e WiFi**. Rio de Janeiro, 2006. 172p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

As Redes de Acesso em Banda Larga utilizando Sistemas VSAT e WiFi são uma forma de atender à demanda por informação a todo tempo e lugar; demanda esta que tem se tornado a grande mudança nos últimos tempos no meio das Telecomunicações. O acesso à informação passa a ser exigido nas mais longínquas localidades, onde a infra-estrutura terrestre se mostra quase que totalmente ausente. Aí se enquadram as redes VSAT (*Very Small Aperture Terminal*) que permitem este acesso através de uma rede via satélite capaz de oferecer cobertura à grandes dimensões geográficas. Da mesma forma, a informação precisa ser obtida a todo tempo, e desta maneira, as redes WiFi se apresentam como a forma com que o usuário pode ter a informação mesmo enquanto aguarda seu voo no saguão de um aeroporto, ou enquanto desfruta de um jantar em um restaurante, ou no caso de corporações que procuram agilizar a difusão dos dados entre seus profissionais através da mobilidade. Este trabalho procura portanto, estudar as características dos sistemas e da propagação das ondas rádio para as redes VSAT em banda Ku e Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) nas faixas de 2,4GHz e 5,2GHz em ambientes abertos (*outdoors*) e fechados (*indoors*); propor o desenvolvimento de uma metodologia de planejamento de projeto de redes VSAT-WiFi e sua aplicação em um caso prático, o que permite a conclusão de que um correto planejamento de projeto deve ser executado para que resultados eficientes e de qualidade possam ser alcançados.

Palavras-chave

VSAT;WiFi;satélite;802.11; metodologia;projeto

Abstract

Mattos, Guilherme Marques. **Broadband Network Access using VSAT and WiFi Systems**. Rio de Janeiro, 2006. 172p. MSc. Dissertation – Electric Engineering Department, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Broadband Network Access using VSAT and WiFi Systems are one way to attend the demand for information in every time and place; where this demand, has been turning into a big change in Telecommunications' field. The access to information starts to be required in the farthest places, where the terrestrial infra-structure shows itself almost totally missed. It's included the VSAT networks (Very Small Aperture Terminal) that offer access for information through a capable satellite network that gives coverage to huge geographic areas. By the same way, the information has got to be gathered at any time and this way, WiFi networks shows itself as the way the user can obtain information, even if while waiting his flight at the airport, or while enjoying a dinner in a restaurant, or in the case of corporations making faster the data sending among their professionals through mobility. The goals of this dissertation are the study of systems characteristics and propagation of the radio waves for the VSAT (Ku band) and Wi-Fi (Wireless Fidelity) networks (2,4GHz and 5,2GHz) in outdoors and indoors areas; the development of a methodology to planning projects for VSAT-WiFi networks and its application in a study case that permits a conclusion of a correct project planning must be done to efficient and good results can be reached.

Keywords

VSAT;WiFi;satellite;802.11; metodologia;project

Sumário

Introdução	15
2 Sistemas via Satélite	17
2.1 Lançamento de um satélite	19
2.2 Componentes de um satélite	20
2.3 Principais órbitas para operação	23
2.4 Faixas de frequências operacionais	25
2.5 Histórico das comunicações via satélite	27
2.6 Sistemas VSAT	30
2.6.1 Componentes de um sistema VSAT	32
2.6.2 Principais técnicas de acesso	33
2.6.3 Aplicações das VSATs	37
2.6.4 Vantagens e desvantagens da tecnologia VSAT	37
3 Propagação em sistemas via satélite	39
3.1 Enlace de comunicação via satélite	39
3.2 Enlace de <i>uplink</i>	41
3.3 Terra-Espaço	47
3.4 Satélite	50
3.5 Espaço-Terra	51
3.6 Estação Terrena	52
4 Redes sem fio	59
4.1 Redes Locais	59
4.1.1 O padrão IEEE 802	59
4.2 Redes locais sem fio	60
4.2.1 Tecnologias <i>wireless</i>	61
4.2.2 Histórico das redes sem fio	62
4.2.3 Redes 802.11	63
4.2.4 Vantagens e desvantagens das redes sem fio para as cabeadas	64
4.2.5 Componentes de <i>WLANS</i>	66
4.2.6 Topologias de <i>Wireless LAN</i>	69

4.2.7 Segurança em WLANs	74
4.2.8 Camada MAC	76
4.2.9 Camada Física	79
5 Propagação em redes WiFi	98
5.1 Caracterização do canal rádio	99
5.1.1 Dependência com a distância	99
5.1.2 Variabilidade de larga escala	101
5.1.3 Variabilidade de pequena escala	102
5.1.4 Espalhamento do retardo	103
5.1.5 Outros mecanismos e efeitos de propagação	105
5.2 Modelos de Propagação	108
5.2.1 Modelos Teóricos	108
5.2.2 Modelos Semi-empíricos	113
6 Metodologia de projeto e simulação de caso	118
6.1 Metodologia de projeto	118
6.1.1 Rede WiFi	119
6.1.2 Rede VSAT	120
6.2 Simulação	123
6.2.1 Estudo da Rede WiFi	125
6.2.2 Estudo da Rede VSAT	133
6.3 Premissas de tráfego da rede	134
6.4 Dimensionamento da rede	135
6.5 Dimensionamento de segmento espacial	136
6.6 Projeto de RF	154
6.7 Custos	155
6.8 Considerações	156
7 Conclusão	157
8 Referências bibliográficas	159
Glossário	163

Lista de figuras

Figura 2.1 – Exemplo de <i>footprint</i>	18
Figura 2.2 – Exemplo satélite Boeing 376	18
Figura 2.3 – (a) Exemplo Boeing 601 (b) Exemplo Boeing 702	19
Figura 2.4 – (a) Plataforma de lançamento marítima	20
Figura 2.4 – (b) Exemplos de veículos lançadores	20
Figura 2.5 – Alguns componentes dos satélites	22
Figura 2.6: Diagrama em blocos básico do satélite	22
Figura 2.7: Diagrama em blocos básico do transponder	22
Figura 2.8: Esquema da Órbita Geoestacionária	24
Figura 2.9: Distribuição dos satélites GEO ao redor da Terra	25
Figura 2.10: Componentes de um sistema via satélite	26
Figura 2.11: Arquitetura convencional para redes VSAT	31
Figura 2.12: Topologia em Estrela	31
Figura 2.13: Estação Terrena ou Teleporto onde a HUB fica localizada	31
Figura 2.14: Componentes da rede VSAT	32
Figura 2.15: Componentes de um terminal VSAT	33
Figura 2.16: Rede VSAT DAMA/SCPC típica	36
Figura 2.17: Esquema de rede VSAT TDM/TDMA típica	37
Figura 3.1: Diagrama geral de um enlace satélite	40
Figura 3.2: Elementos de subida em uma Estação Terrena	40
Figura 3.3: Elementos básicos de um satélite de comunicação	40
Figura 3.4: Elementos de descida em uma Estação Remota	40
Figura 3.5: Níveis de potência no <i>uplink</i>	41
Figura 3.6: Curva de transferência de um amplificador do tipo TWT	43
Figura 3.7 – Ganho da antena	44
Figura 3.8 – EIRP em 14,25GHz	45
Figura 3.9 – Atenuação em espaço livre para satélites geo-estacionários	48
Figura 3.10 – Posição da estação terrena em relação ao satélite	48
Figura 3.11 – Perdas atmosféricas	49
Figura 3.12 – Influências sobre T_s de um sistema de recepção	53
Figura 3.13 – Temperatura de ruído troposférico	54

Figura 3.14 – Temperatura de ruído <i>versus</i> atenuação por chuvas intensas	55
Figura 3.15 – Temperatura de ruído devido à presença do Sol	56
Figura 3.16 – G/Ts <i>versus</i> Ts para diversas antenas	57
Figura 3.17 – Figura de mérito para a faixa de 11,7GHz	58
Figura 4.1 - Relação entre os padrões IEEE 802 e OSI	60
Figura 4.2 – Access Point	66
Figura 4.3 – Antenas externas	67
Figura 4.4 – Wireless Bridge	68
Figura 4.5 – Workgoup Bridge	68
Figura 4.6 – Client Adapters	69
Figura 4.7 - Rede sem fio ponto-a-ponto	69
Figura 4.8 - Cliente e Ponto de Acesso	70
Figura 4.9 - Configuração com superposição celular	71
Figura 4.10 - Configuração Multi-Hop	71
Figura 4.11 - Utilização de Antenas Direcionais	72
Figura 4.12 – Topologia Infra-estrutura (configuração multicelular)	72
Figura 4.13 – Troca de quadros RTS/CTS	79
Figura 4.14 – Frequency Hopping Spread Spectrum	80
Figura 4.15 – Utilização do Chipping Code	81
Figura 4.16 – Influência do sinal interferente	81
Figura 4.17 – Sobreposição de canais DSSS	82
Figura 4.18 – Espectro das sub-portadoras OFDM	87
Figura 4.19 – Esquema de modulação 802.11b com CCK	90
Figura 4.20 – Canalização do padrão IEEE 802.11 no Brasil (2,4GHz)	97
Figura 5.1 - Perda mediana em relação à distância	100
Figura 5.2 - Representação do Ponto de quebra	100
Figura 5.3 - Variabilidades de pequena e larga escala	102
Figura 5.4 - Exemplo de Multipercurso em Ambiente <i>Indoor</i>	104
Figura 5.5 - Resposta para um Retardo por Espalhamento de 300 ns	104
Figura 5.6 - (a) Reflexão e Refração, (b) Difração, (c) Espalhamento	107
Figura 5.7 - Ilustração do modelo de 2 raios	110
Figura 5.8 - Reflexão em superfície rugosa (espalhamento)	111
Figura 5.9 - Ilustração do modelo de 6 raios (vista superior do ambiente)	112
Figura 6.1 – Metodologia de projeto VSAT-WiFi	123
Figura 6.2 – Distribuição das localidades	124
Figura 6.3 – Diagrama da rede VSAT-WiFi	124

Figura 6.4 – Ambiente de escritório	126
Figura 6.5 – Cobertura AP1	127
Figura 6.6 – Cobertura AP2	127
Figura 6.7 – Cobertura AP3	128
Figura 6.8 – Canalização do padrão IEEE 802.11 no Brasil (2,4GHz)	131
Figura 6.9 – Parâmetros de <i>uplink</i> da Estação <i>Master</i>	137
Figura 6.10 – Parâmetros de <i>downlink</i> da estação remota	138
Figura 6.11 – Modelo de chuvas	139
Figura 6.12 – Características do satélite	140
Figura 6.13 – Características das portadoras	141
Figura 6.14 – Resultados (a)	142
Figura 6.15 – Resultados (b)	143
Figura 6.16 – Resultados (c)	144
Figura 6.17 – Resultados (d)	145
Figura 6.18 – Resultados (e)	146
Figura 6.19 – Parâmetros de <i>uplink</i> da Estação Remota	147
Figura 6.20 – Parâmetros de <i>downlink</i> da Estação <i>Master</i>	147
Figura 6.21 – Modelo de chuvas	148
Figura 6.22 – Características do satélite	148
Figura 6.23 – Características das portadoras	149
Figura 6.24 – Resultados (a)	149
Figura 6.25 – Resultados (b)	150
Figura 6.26 – Resultados (c)	151
Figura 6.27 – Resultados (d)	152
Figura 6.28 – Resultados (e)	153
Figura 6.29 – Exemplo de cobertura e dimensionamento das remotas	154

Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Classificação orbital <i>versus</i> distância em relação à Terra	25
Tabela 2.2 - Principais faixas de frequências	26
Tabela 3.1 – Tipos de amplificadores	43
Tabela 3.2 – Temperatura efetiva de ruído da antena para chuvas intensas	55
Tabela 3.3 – Temperatura da linha <i>versus</i> atenuação da linha	57
Tabela 3.4 – Valores típicos para Ts em 11,7GHz	58
Tabela 4.1 - Padrões de camada física e MAC	60
Tabela 4.2 – (a) Padrões de redes sem fio	61
Tabela 4.2 – (b) Padrões de redes sem fio	62
Tabela 4.3 – Resumo dos padrões IEEE 802.11	64
Tabela 4.4 – (a) Canais DSSS	81
Tabela 4.4 – (b) Canais DSSS	82
Tabela 4.5 - Comparativo entre DSSS e FHSS	83
Tabela 4.6 – Mapeamento na modulação PPM	85
Tabela 4.7 – Valores do campo <i>rate</i>	86
Tabela 4.8 – Configurações para o 802.11a	87
Tabela 4.9 – Canalização do 802.11a	88
Tabela 4.10 – Níveis de potência do 802.11a	89
Tabela 4.11 – Configurações para o 802.11b	90
Tabela 4.12 – Canalização do 802.11b	91
Tabela 4.13 – (a) Níveis de potência do 802.11b	91
Tabela 4.13 – (b) Níveis de potência do 802.11b	92
Tabela 4.14 – Resumo das configurações para os padrões 802.11	93
Tabela 4.15 – Canalização do padrão IEEE 802.11 no Brasil (2,4GHz)	97
Tabela 5.1 - Retardo por Espalhamento	105
Tabela 5.2 - Perdas de penetração em obstáculos em 2,4GHz	105
Tabela 5.3 - Coeficiente de atenuação	114
Tabela 5.4 - Coeficiente de atenuação por piso atravessado	115
Tabela 5.5 - Desvio padrão da distribuição log-normal	115
Tabela 5.6 - Valores do Fator de Penetração da Parede	116
Tabela 5.7 - Perdas de penetração em obstáculos	117
Tabela 6.1 – Resumo descritivo das atividades (a)	121
Tabela 6.1 – Resumo descritivo das atividades (b)	122

Tabela 6.2 – Legenda dos ambientes	126
Tabela 6.3 – (a) Relação pontos x potência x distância ao AP1	128
Tabela 6.3 – (b) Relação pontos x potência x distância ao AP1	129
Tabela 6.3 – (c) Relação pontos x potência x distância ao AP2	129
Tabela 6.3 – (d) Relação pontos x potência x distância ao AP3	129
Tabela 6.4 – Valores usuais de tráfego médio de usuário	132
Tabela 6.5 – Premissas de tráfego	132
Tabela 6.6 – Distribuição das remotas	134
Tabela 6.7 – Dimensionamento de rede	135
Tabela 6.8 – Dados do satélite NSS7	136
Tabela 6.9 – Resultados consolidados	153
Tabela 6.10 – Custos estimados do projeto WiFi	155
Tabela 6.11 – Custos estimados do projeto VSAT	155