

SISTEMAS DE RADIOENLACES DIGITAIS

Geraldo Gil Ramundo Gomes



SRD-0V2011PG

APRESENTAÇÃO

A principal motivação para a preparação deste material origina-se na necessidade de atender às ementas de alguns cursos cujos principais objetivos são a análise de desempenho e o dimensionamento de sistemas de radiocomunicação. Geralmente, o perfil deste tipo curso envolve o conhecimento de uma boa quantidade e variedade de fundamentos e de normas específicas. Isso torna um tanto quanto árdua a tarefa de buscar, nas mais diversas publicações, os fundamentos necessários para que os objetivos do curso sejam atingidos. Isso não significa que não existam boas publicações sobre o assunto, no entanto, publicações específicas com a abordagem e abrangências adequadas para um curso introdutório são raras. Desta forma, os conteúdos apresentados nos capítulos que compõem esse material este material constituem uma base conceitual diversificada para o entendimento dos sistemas de radioenlaces digitais em termos de seu desempenho e do seu dimensionamento. Com este propósito, os mais diversos temas abordados ao longo do texto não procuram esgotá-los, mas apenas apresentá-los de forma objetiva para dar suporte à análise de desempenho e ao dimensionamento de sistemas de radioenlaces digitais. Para um melhor detalhamento destes temas é apresentada, ao final de cada capítulo, uma lista de publicações capazes de complementar os conceitos apresentados em cada capítulo.

Um sistema de radioenlaces digitais pode apresentar diversas topologias bem como uma ampla gama de aplicações para curtas, médias e longas distâncias. A Figura 1 apresenta um sistema de radienlace digital terrestre integrando outros sistemas de comunicações digitais.

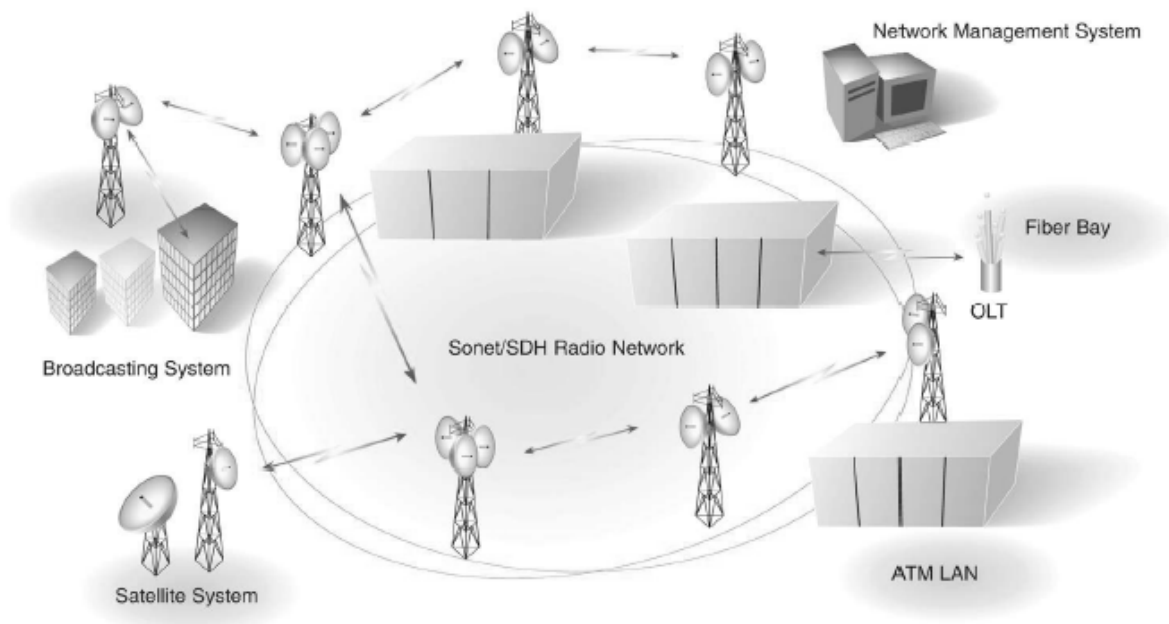


Figura 1 - Sistemas de radioenlaces digitais (figura obtida de brochura da NEC).

Tendo em vista o objetivo de facilitar o entendimento dos sistemas de comunicação por radiofrequência e, em particular, os sistemas de radioenlaces digitais ponto-a-ponto, este texto está organizado de acordo com o modelo apresentado a seguir.

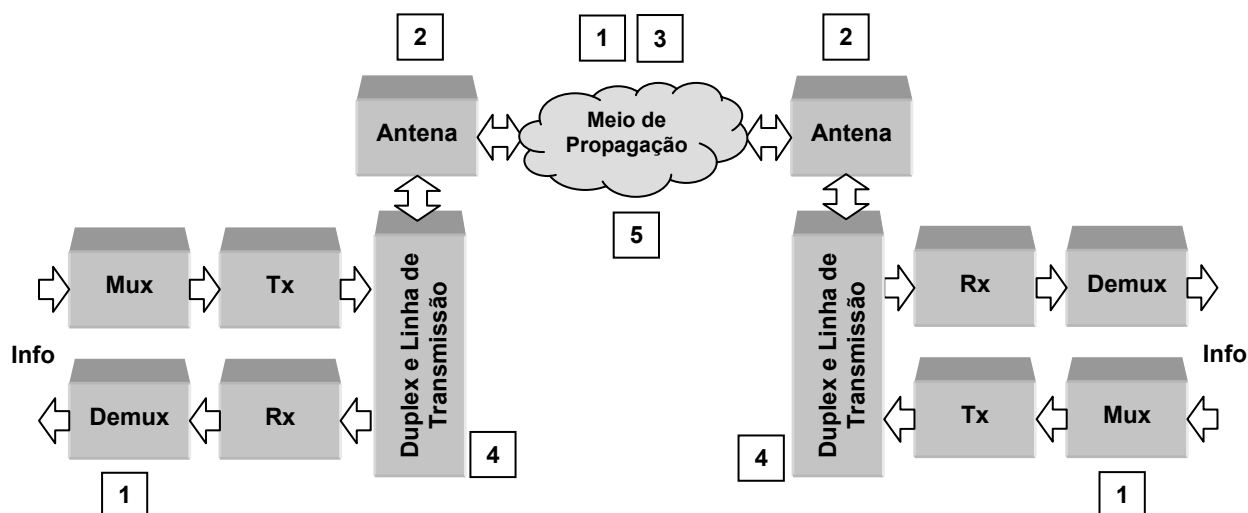


Figura 1. Modelo de referência para sistemas ponto-a-ponto.

O sistema apresentado na Figura 1 está dividido em cinco partes, correspondentes aos capítulos que compõem este texto. A seguir são apresentados os resumos dos conteúdos de cada um dos oito capítulos.

1. ORGANIZAÇÃO DO ESPECTRO PARA RADIOENLACES PONTO-A-PONTO

Princípios de multiplexação, taxas de transmissão, planejamento de frequências e aspectos regulatórios.

2. ANTENAS PARA RADIOENLACES PONTO-A-PONTO

Conceitos básicos sobre antenas: campo próximo e campo distante, circuito equivalente da antena. Características básicas das antenas: impedância, eficiência, largura de faixa, diagrama de irradiação, largura de feixe, diretividade, ganho, relação frente costa, polarização. Principais antenas para radioenlaces ponto-a-ponto: antena Yagi-Uda, antena com refletor de canto, antena helicoidal, antena corneta e antena com refletor parabólico. Considerações sobre o decibel: dB, dBm, dBW, dBi.

3. TÓPICOS SOBRE PROPAGAÇÃO PARA RADIOENLACE PONTO-A-PONTO

Propagação no espaço livre, difração e zonas de Fresnell. Propagação na atmosfera a partir de UHF: características da troposfera, o papel para o traçado de perfis, condições anômalas de propagação, faixa de variação do gradiente de refratividade, desvanecimentos. Atenuação devido a chuva.

4. CABOS COAXIAIS, GUIAS DE ONDAS, CIRCULADORES E DERIVADORES

Cabos coaxiais: geometria, propagação no cabo coaxial, impedância (relação de onda estacionária e perda de retorno), perdas, frequências de utilização. Guias de ondas: geometria, propagação em guias de ondas, frequências de utilização. Dispositivos de acoplamento: isoladores, circuladores, duplexadores. Configurações dos sistemas de transmissão: duplex (1+0), *hot standby e twin path* (1+1), sistema $n+1$, sistema $n+1$ com polarização cruzada. Estimativa de perdas em derivadores.

5. ANÁLISE DE DESEMPENHO E DIMENSIONAMENTO DE RADIOENLACES TERRESTRES

Análise e dimensionamento de sistemas de Radioenlaces Digitais em Microondas segundo a Rec. ITU-R P.530-13.

Sta. Rita do Sapucaí, 05 de agosto de 2011.

G.G.R.G.

SUMÁRIO

1 - ORGANIZAÇÃO DO ESPECTRO PARA RADIOENLACES PONTO-A-PONTO	
1.1. Introdução	1.1
1.2. Hierarquia PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)	1.1
1.3. Hierarquia SDH (Synchronous Digital Hierarchy)	1.2
1.4. Organização do Espectro Raiolétrico	1.3
Anexo 1.1 - Canalização para Enlaces terrestres Ponto-a-Ponto	1.8
Referências Bibliográficas	1.22
2 - ANTENAS PARA RADIOENLACES PONTO-A-PONTO	
2.1. Introdução	2.1
2.2 Características Básicas das Antenas	2.1
2.2.1. Impedância	2.3
2.2.2. Eficiência	2.5
2.2.3. Largura de Faixa	2.5
2.2.4. Diagrama de Irradiação	2.6
2.2.5. Largura de Feixe	2.8
2.2.6. Diretividade	2.8
2.2.7. Ganho	2.9
2.2.8. Relação Frente/Costa	2.9
2.2.9. Polarização	2.10
2.3 Principais Antenas para Radioenlace Ponto-a-Ponto	2.10
2.3.1. Yagi-Uda	2.10
2.3.2. Dipolo com Refletor de Canto	2.12
2.3.3. Antena Helicoidal	2.13
2.3.4. Antenas Cornetas	2.16
2.3.5. Antenas Parabólicas	2.16
2.3.6. Resumo das Principais Características de Algumas Antenas	2.22
Anexo 2.1 - O Decibel como Unidade de Medida	2.23
Anexo 2.2 - Ganhos de Antenas Parabólicas Comerciais	2.27
Exercícios	2.30
Referências Bibliográficas	2.31
3 - TÓPICOS SOBRE PROPAGAÇÃO PARA RADIOENLACES PONTO-A-PONTO	
3.1. Introdução	3.1
3.2. Propagação no Espaço Livre	3.1
3.3. Difração e Zonas de Fresnel	3.3
3.4. Propagação na Atmosfera a partir de UHF	3.7
3.4.1. Características da Troposfera	3.7
3.4.2. O Papel para o Traçado de Perfis	3.10
3.4.3. Critério para Radiovisibilidade	3.11
3.4.4. Condições Anômalas de Propagação	3.11

3.4.4. Faixa de Variação do Gradiente de Refratividade	3.12
3.4.5. Desvanecimentos	3.13
3.5. Modelo de Referência para Análise de Desempenho	3.16
3.6. Atenuação Devido à Chuva (Rec. ITU-R P.838-3)	3.20
Anexo 3.1 - Programa para o traçado do perfil topográfico, linha de visada e primeira zona de Fresnel	3.24
Exercícios	3.26
Referências Bibliográficas	3.27
4 - CABOS COAXIAIS, GUIAS DE ONDAS, CIRCULADORES E DERIVADORES	
4.1. Introdução	4.1
4.2. Cabos Coaxiais	4.2
4.3. Guias de Onda	4.6
4.4. Isoladores e Circuladores	4.10
4.5. Duplexadores, Derivadores e Suas Configurações	4.11
4.4.1. Sistema Duplex (1+0)	4.11
4.4.2. Sistema (1+1) <i>Hot Standby</i> e (1+1) <i>Twin Path</i>	4.12
4.4.3. Sistema ($N+1$)	4.14
4.4.4. Sistema ($N+1$) com Polarização Cruzada	4.15
4.5. Perdas em Derivadores	4.16
Anexo 4.1 - Características de Alguns Cabos Coaxiais CF, LCF e HF	4.17
Anexo 4.2 - Cabos Coaxiais para Microondas até 2,7 GHz	4.17
Anexo 4.3 - Atenuação em Guias de Ondas Elípticos Flexwell 2,7 - 10 GHz	4.18
Anexo 4.4 - Características de Filtros para a Faixa de 1,4 - 6 GHz	4.18
Anexo 4.5 - Características de Circuladores para a Faixa de 1,4 - 6 GHz	4.19
Exercícios	4.20
Referências Bibliográficas	4.21
5 - ANÁLISE DE DESEMPENHO E DIMENSIONAMENTO DE RADIOENLACES TERRESTRES	
5.1. Introdução	5.1
5.2. Balanço de Potência em Radioenlaces	5.2
5.3. Margem de Desvanecimento	5.3
5.4. Área de Assinatura	5.4
5.5. Inoperância pelo Método da Rec. ITU-R P.530-11	5.12
5.5.1. Determinação do Fator de Ocorrência de Propagação por Múltiplos percursos	5.14
5.5.2. Determinação da Probabilidade de Inoperância devido aos Desvanecimentos Não-seletivos	5.16
5.5.3. Determinação da Probabilidade de Inoperância devido aos Desvanecimentos Seletivos	5.17
5.5.4. Determinação da Probabilidade de Inoperância devido aos Desvanecimentos Seletivos e Não-seletivos	5.19
5.5.5. Probabilidade de Inoperância para Múltiplos Enlaces	5.19
5.5.6. Confiabilidade	5.20

5.6. Inoperância por outros métodos conhecidos	5.24
5.6.1. Probabilidade de Inoperância devido ao Desvanecimento Não-seletivo de Barnett-Vigants	5.24
5.6.2. Probabilidade de Inoperância devido ao Desvanecimento Seletivo por meio da Margem de Desvanecimento Dispersivo	5.24
5.6.3. Probabilidade de Inoperância devido ao Desvanecimento Seletivo e não Seletivo	5.25
5.7. Técnicas de Diversidade	5.25
5.7.1. Melhorias Obtidas com o Uso da Diversidade em Espaço	5.26
5.8. Probabilidade de Inoperância Devido à Chuva (Rec. ITU-R P.838)	5.33
Anexo 5.1 - Valores de dN_1 em Função das Coordenadas Geográficas	5.35
Anexo 5.2 - Fluxograma para Análise e Dimensionamento de um Radioenlace Digital	5.37
Anexo 5.3 - Expressões utilizadas no Fluxograma do Anexo 5.2	5.39
Anexo 5.4 - Taxa de Chuva que excede em 0,01% a Média do Ano	5.41
Exercícios	5.42
Referências Bibliográficas	5.44