



Universidade Federal do ABC

INF-110

# Redes Sem Fio

Aula 02

Modelagem de Canais de Rádio

Prof. João Henrique Kleinschmidt

Santo André, fevereiro de 2016

# Roteiro

- Introdução
- Fundamentos de Transmissão Digital
- Unidades de Medida em Telecomunicações
- Aspectos Regulatórios de Uso do Espectro
- Modelos de Propagação de Sinais

HISTORY'S FIRST  
WIRELESS SIGNAL  
INTERFERENCE

10-7



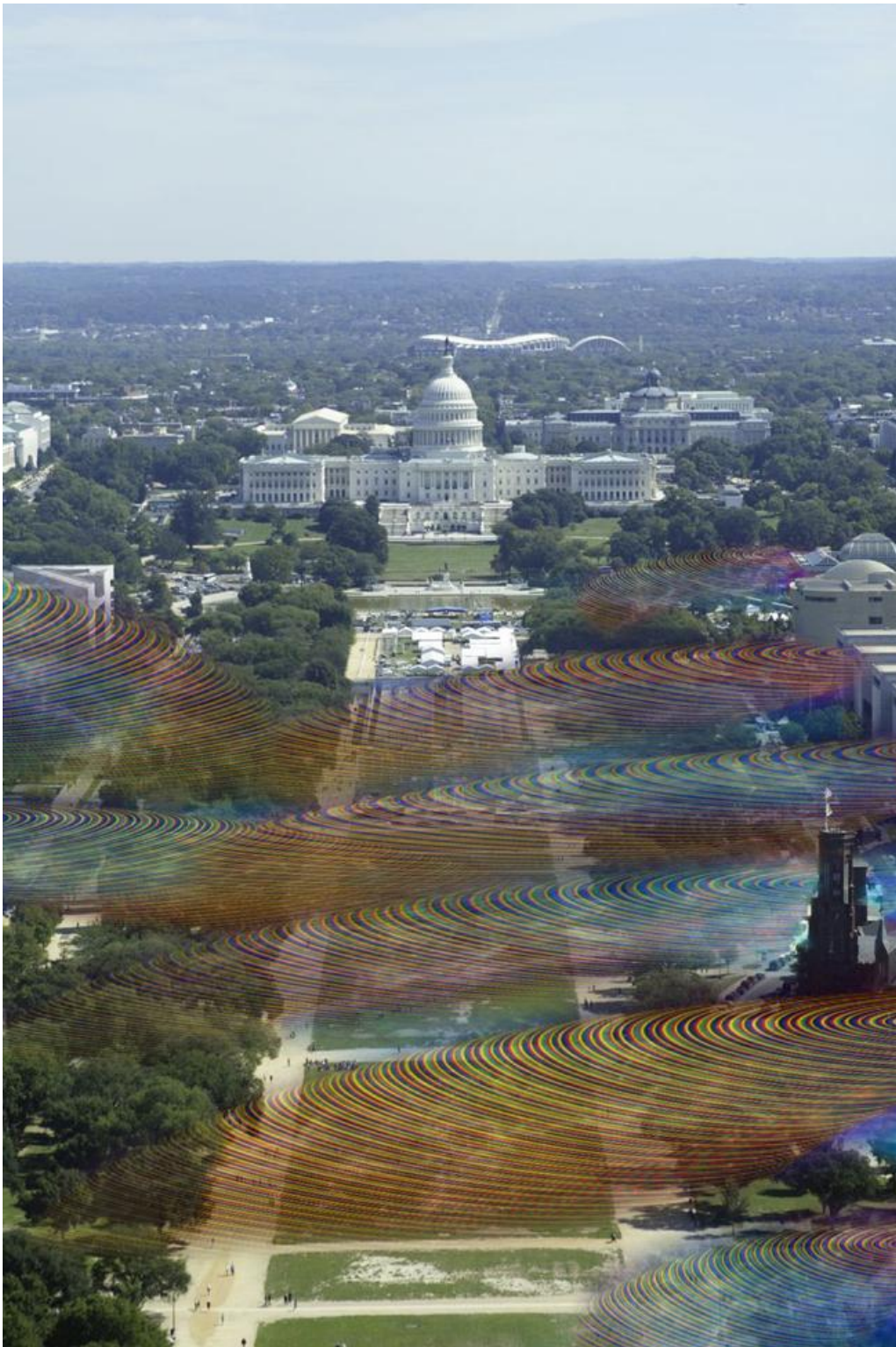
© 2000 Clement... + Spang...  
www.clement.com

# Ondas de rádio: e se fossem visíveis?



Fonte: Luis Hernand, Newcastle University





Fonte: Nickolay Lamm

# Introdução



# Introdução

- **Arquitetura das Redes Sem Fio**
- **Modo Infraestrutura**
  - Os computadores se conectam a um elemento de rede central denominado ponto de acesso (*Access Point*).
- Funciona de maneira similar as redes celulares.
- Uma WLAN pode ter vários *access points* conectados entre si através de uma rede física.
- **Ponto-Multiponto**
  - WLL, 802.11, Telefones Celulares, Satélites
- **Ponto-a-Ponto**
  - Enlaces (links) de comunicação dedicados entre dois pontos.

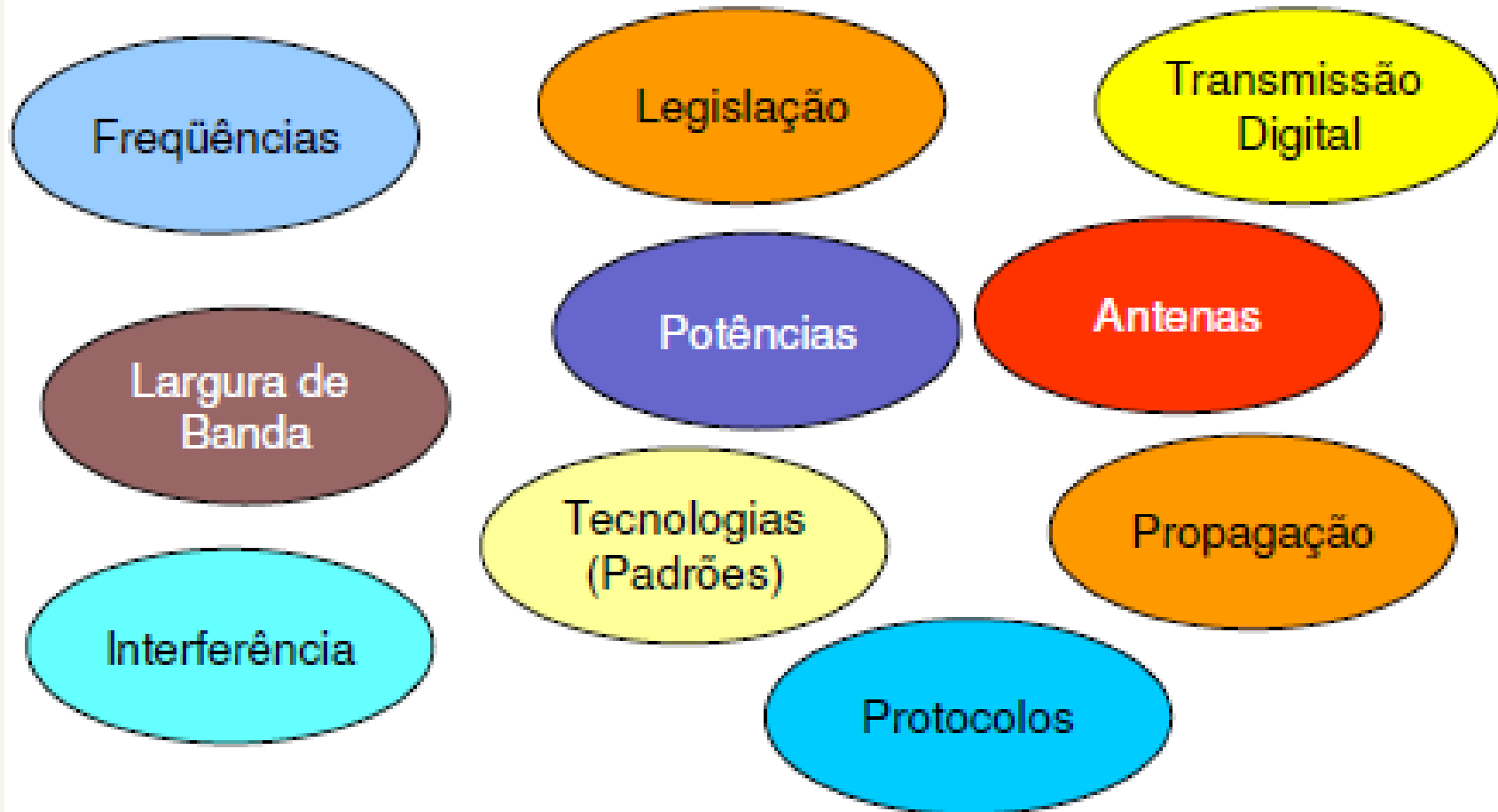
# Introdução

- **Arquitetura das Redes Sem Fio**
- **Modo Ad-Hoc**
  - Sem estrutura pré-definida.
  - Cada computador é capaz de se comunicar com qualquer outro sem a necessidade de pontos de acesso.
  - Pode ser implementado através de técnicas de broadcasting ou mestre escravo.
- *WLAN Ad-Hoc: Independent Basic Service Set (IBSS)*
- Multiponto-Multiponto
  - Redes Mesh (malha)
  - Redes de comunicação pessoal (PAN)
  - Redes de Sensores (Automação / Telemetria)



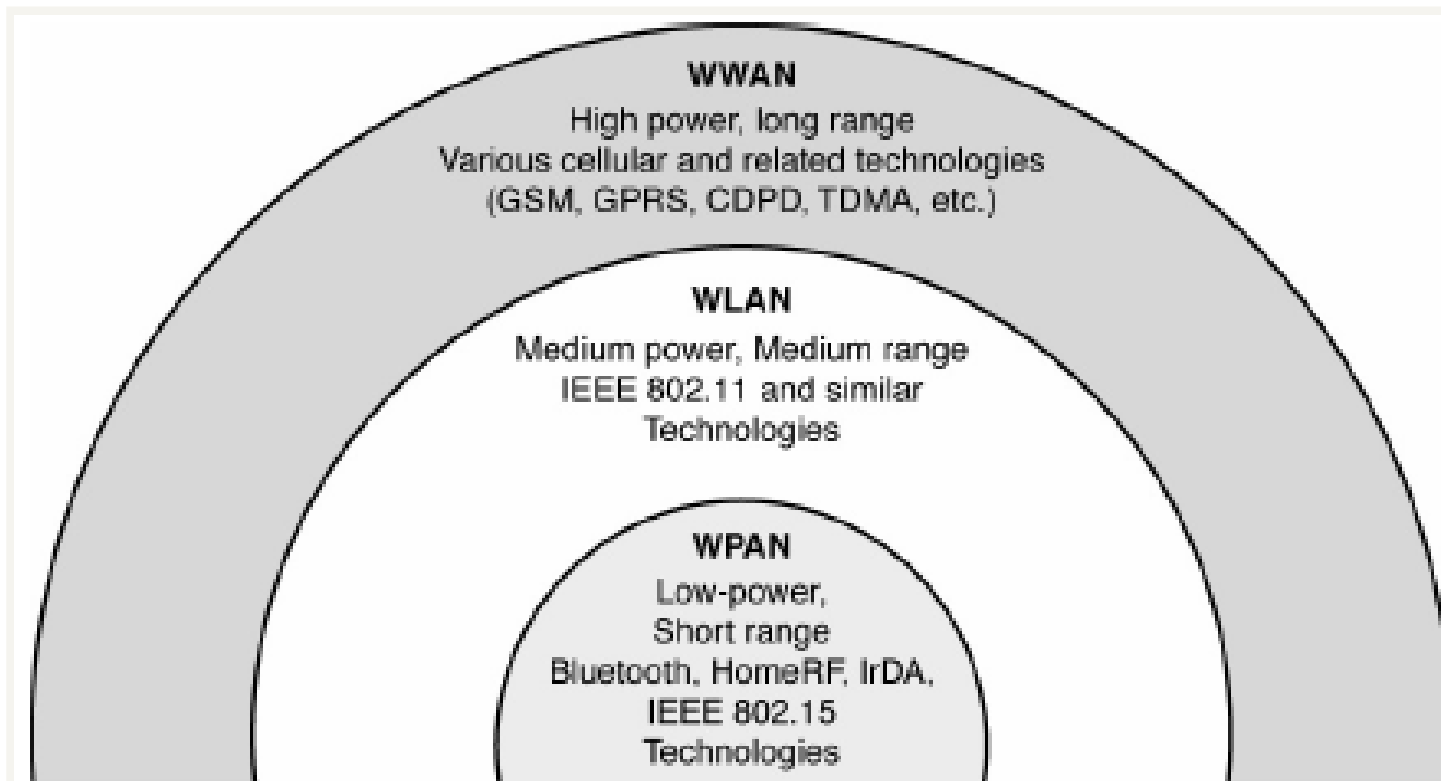
# Introdução

- Projeto e Desempenho de Redes Wireless



# Tipos de redes sem fio

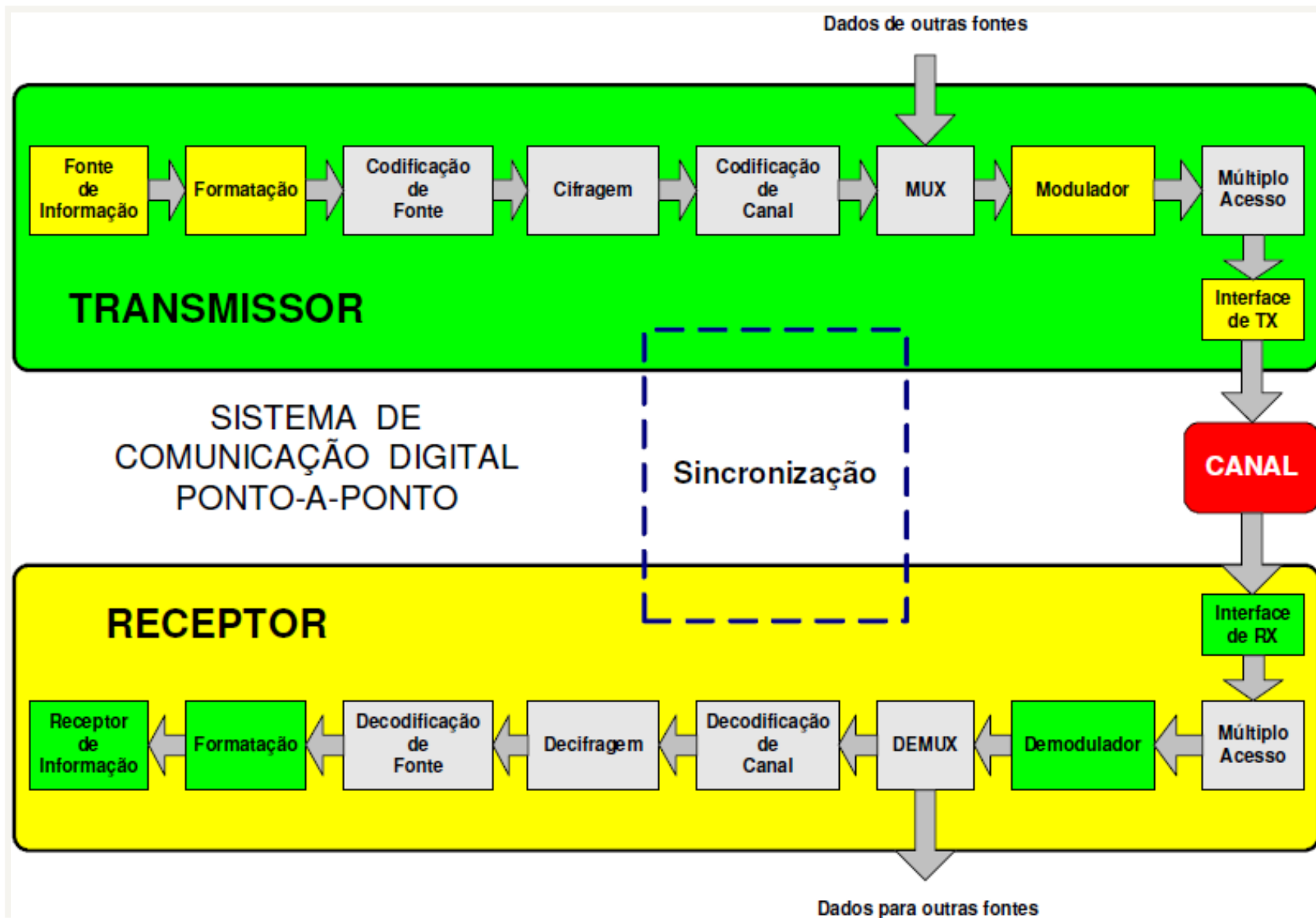
- **WWAN:** *Wireless Wide Area Networks* (Redes de Longa Distância Sem Fio)
- **WLAN:** *Wireless Local Area Networks* (Redes Locais Sem Fio)
- **WPAN:** *Wireless Personal Area Networks* (Redes Pessoais Sem Fio)



# Transmissão digital

- Sistemas de Comunicação Digital
- O que caracteriza um sistema digital ?
- Quais as vantagens em relação a sistemas analógicos ?
- Existem desvantagens ?

# Transmissão Digital



# Transmissão digital - Vantagens

- Detecção e Correção de Erros (Codificação de Canal)
- Compressão da Informação (Codificação Fonte)
- Facilidade de Multiplexação dos Dados
- Equalização de Canal
- Criptografia (Privacidade)
- Facilidade de Regeneração do Sinal
- Processamento Digital de Sinais (DSPs)
- Baixo Custo dos Circuitos Digitais
- Flexibilidade no Ajuste de Parâmetros (Configurações via Software)
- Diversidade de Serviços (Aplicações Multimídia)



# Transmissão digital - Desvantagens

- Grande Expansão de Faixa (Processo de Digitalização)
- Erro de Quantização (Processo de Digitalização)
- Necessidade de Sincronização

# Transmissão digital

- Modelos Básicos de Comunicação:
- Comunicação Ponto-a-Ponto (Enlaces)
- Comunicação Multiusuário (Broadcasting)
  - Ponto-Multiponto
  - Multiponto-Ponto
  - Multiponto-Multiponto
- Comunicação Simplex / Half Duplex / Full Duplex

# Transmissão Digital

- Imperfeições do Canal:
- Atenuação
- Ruído
- Multipercurso/Desvanecimento
- Distorção
- Interferência

# Unidades de Medidas

Unidades de Medidas Comumente utilizadas na especificação de equipamentos e no projeto de **Sistemas Sem Fio**

# Unidades de Medidas

Nível de Potência Relativo a 1mW (0 dBm)	Nível (dBm)	Potência em Watts (W)	Abreviação de Potência
4000 vezes mais que 0 dBm	+36 dBm	4 Watts	4W (4000 mW)
1000 vezes mais que 0 dBm	+30 dBm	1 Watts	1W (1000 mW)
Duas vezes mais que 0 dBm	+3 dBm	2 miliwatts	2 mW
<b>0 dBm Nível de Referência</b>	<b>0 dBm</b>	<b>1 miliwatts</b>	<b>1 mW</b>
1/2 de 0 dBm	-3 dBm	1/2 miliwatt	0,5 mW
1/1000 de 0 dBm	-30 dBm	1/1000 miliwatt	0,001 mW
1/4000 de 0 dBm	-36 dBm	1/4000 miliwatt	0,00025 mW



# Espectro de rádiosfreqüências

Regulamentação de Uso  
(Aspectos Legais)



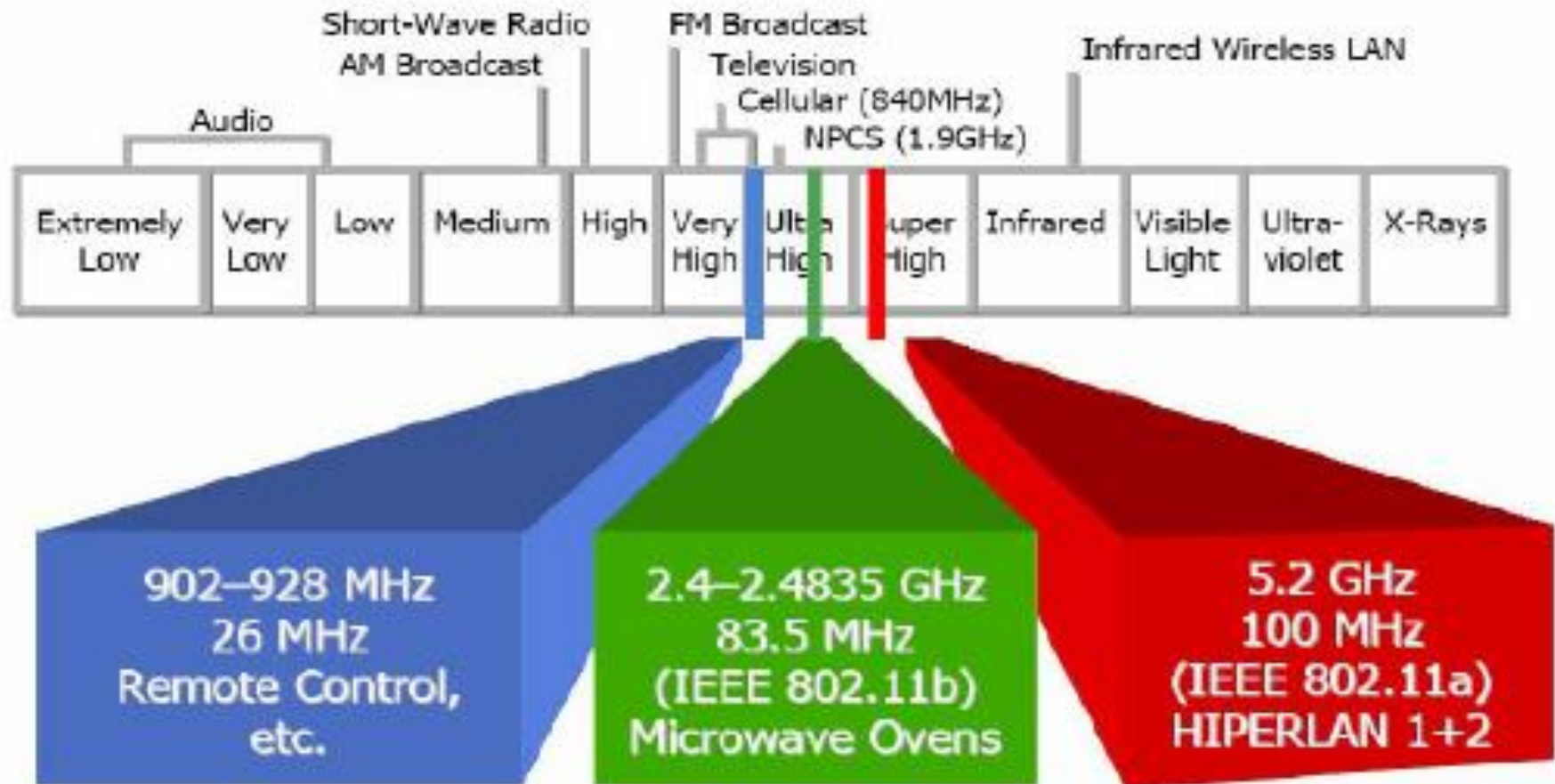
# Espectro de rádiosfreqüências

- Conceitos
- Recurso
  - Limitado
  - Único
  - Bem Público
- Deve ser bem administrado
  - Alto Custo
- Uso deve ser otimizado e universalizado

# Espectro de rádiofrequências

## ISM Unlicensed Frequency Bands

Industrial, Scientific and Medical Band



# Planejamento e Engenharia de Espectro

- Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL)

Ações	Radiofrequências
Atribuição	Serviços de Radiocomunicações (ITU)
Destinação	Aplicações Específicas (ANATEL)
Distribuição	Região e Localidade
Regulamentação	Condições de Uso

# Administração e Gerenciamento

- Estações transmissoras estão sujeitas:
  - Licença de Operação
  - Fiscalização Permanente
- Equipamentos emissores de radiofrequência estão sujeitos:
  - Certificação Emitida ou Aceita pela ANATEL  
(Equipamentos de Redes Wireless)

Para operar em banda não licenciada os equipamentos wireless devem:

- Operar com baixos níveis de potência
- Utilizar técnicas de modulação robustas contra interferência
- Transmitir em faixas de frequência específicas



# Ferramentas para Gerenciamento

- **Regulamentação**
  - Plano de Atribuição de Frequências
  - Condições de Uso do Espectro
  - Custo do Espectro
  - Fórum (Nacional & Internacional)
- **Certificação**
  - Regulamentação se aplica a todos os sistemas
  - (Inclui Equipamentos de Radiação Restrita)
- **Licenciamento**
  - Autorização de Uso de Radiofrequência
  - Licenciamento de Estação
- **Controle do Espectro/Fiscalização**
  - Monitoramento e Banco de Dados

# Gerenciamento do Espectro

- Novas tecnologias representam desafio constante para o Órgão Regulador:
  - Demanda por novas faixas (Exemplo: WiMAX)
  - Compartilhamento acentuado com diversos serviços. (Exemplo: 802.11b/g + Bluetooth+ZigBee)
  - Busca constante de uso otimizado do espectro.
  - Licitações cada vez mais concorridas.
  - Destinação de faixas potencialmente viáveis para diversas aplicações concomitantes.

# Faixas de frequência

- Faixa de 900 MHz
  - Abriga diversos serviços (envolve vários Regulamentos):
    - Serviço Móvel Celular/Pessoal
  - Abriga ainda o uso por equipamentos de radiação restrita.

# Faixas de frequência

- Faixa de 2,4 GHz e 5,7 GHz
  - Cenário para uso do espectro por equipamentos de radiação restrita.
    - Resolução 365 (10/05/2004).
  - Estações isentas de licença para instalação/funcionamento.
  - Não necessitam autorização de uso de radiofrequências.
  - Devem ter certificado homologado pela Anatel.

# Modelos de Canal

- Canal de Rádio Móvel
  - Impõe limitações no desempenho dos sistemas de comunicação sem fio.
- Caminhos de Transmissão
  - Linha de Visão (Visada) – Line-of-Sight (LOS)
  - Obstáculos - Non Line-of-Sight (NLOS)
    - Prédios / Montanhas

# Modelos de Canal

- Canais com Fio (Rede Cabeada)
  - Estacionários
  - Previsíveis
- Canais de Rádio (Rede Wireless)
  - Extremamente aleatórios
  - Difícil análise (modelagem probabilística)

# Propagação do Sinal de Rádio

Modelos de Propagação

O que são estes modelos ?

Qual a aplicação ?

Quais os tipos de modelos ?

Qual a importância no projeto de Sistemas Sem Fio?

# Fenômenos de Propagação

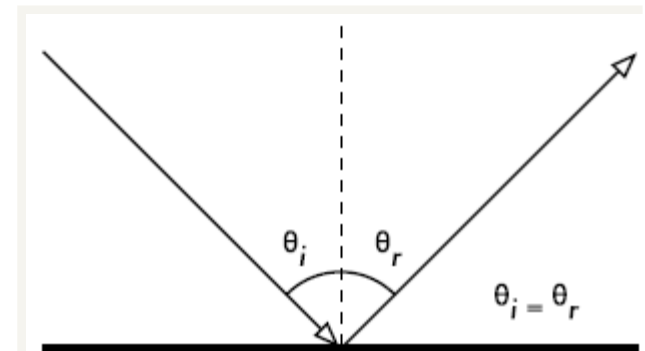
- Propagação de Ondas Eletromagnéticas

- Reflexão

- Ocorre quando a onda propagada se encontra com **objetos muito grandes**, quando comparados com o comprimento de onda.

- Múltiplas Reflexões

- Na prática a onda se propaga por diversos **caminhos** de distâncias **diferentes**, ou seja, **sofre múltiplas reflexões**.
- A interação destas ondas causa um fenômeno chamado desvanecimento do sinal (**fading**).

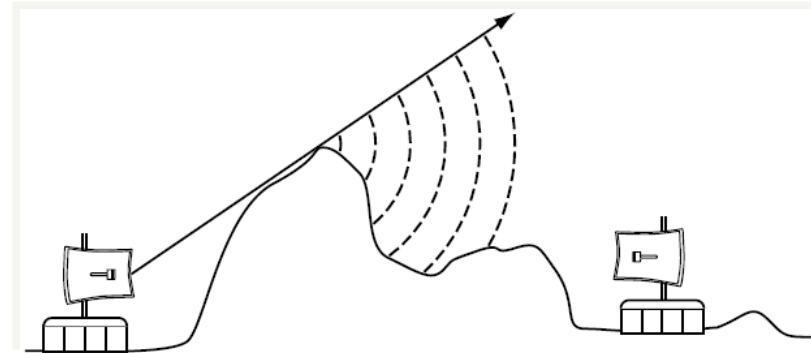




# Fenômenos de Propagação

- Difração

- Ocorre quando o caminho entre o transmissor e o receptor é obstruído por uma superfície que tem **irregularidades pontiagudas**.



- Espalhamento

- Ocorre quando o meio através do qual a onda se propaga consiste de objetos com **dimensões** que são **muito pequenas** quando comparadas com o comprimento de onda.

# Modelos de Larga Escala

- Modelos de Propagação
  - Modelos de **Larga Escala**
    - Modelos para a **predição da potência média** do sinal numa distância de separação arbitrária entre transmissor e receptor.
    - A distância entre transmissor e receptor pode ser da ordem de centenas ou milhares de metros.
    - **Atenuação/Perda de Percurso (Path Loss)**
    - **Sombreamento: sinal bloqueado por obstrução de estruturas**

# Modelos de Pequena Escala

- Modelos de Propagação

- Modelos de Pequena Escala

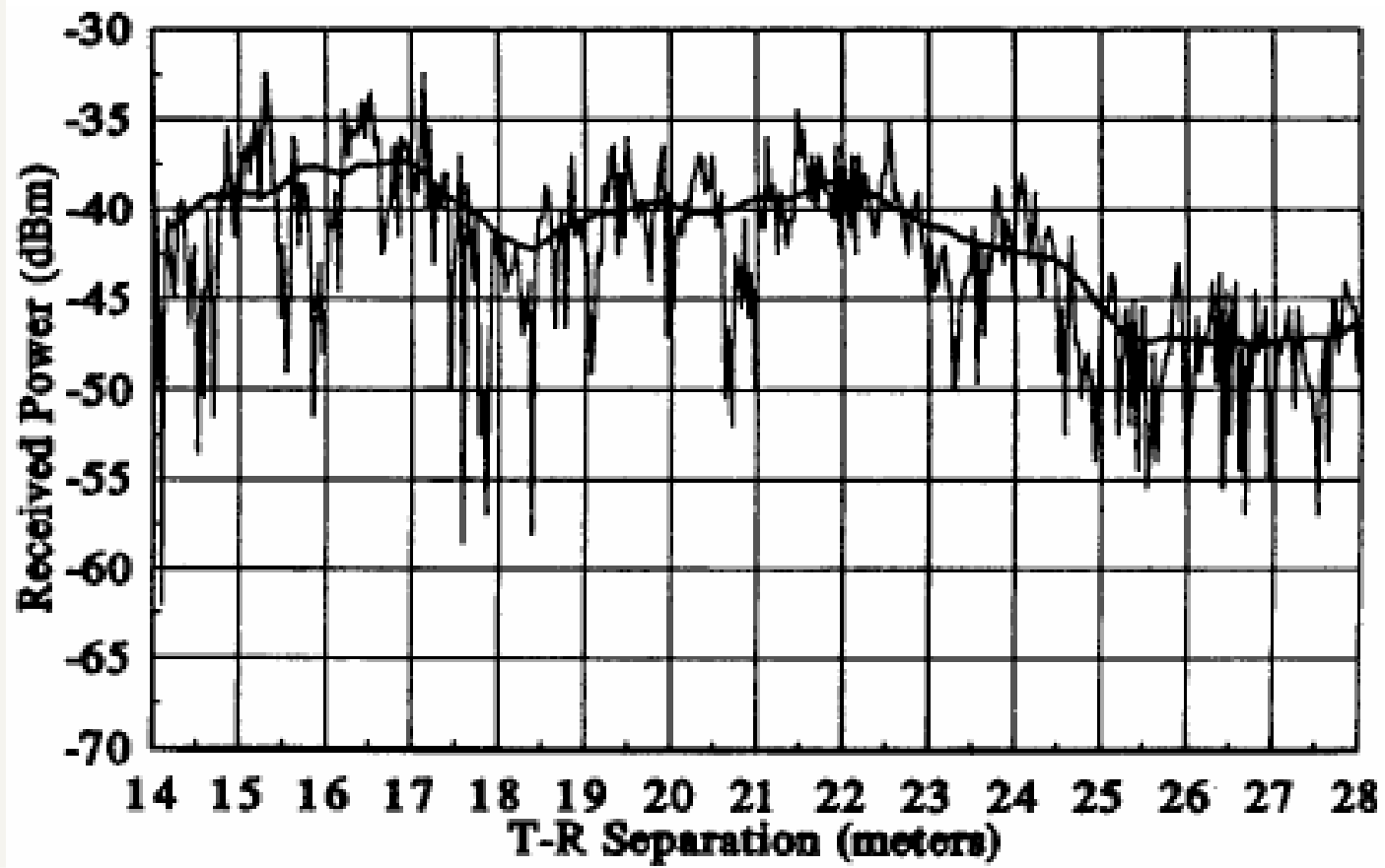
- Modelos que caracterizam as variações rápidas da potência do sinal em deslocamentos de distância muito curtos ou durações de tempo muito curtas.
- As variações de distância são da ordem de pequenos comprimentos de onda.
- As durações de tempo são da ordem de segundos.

# Fenômeno de desvanecimento

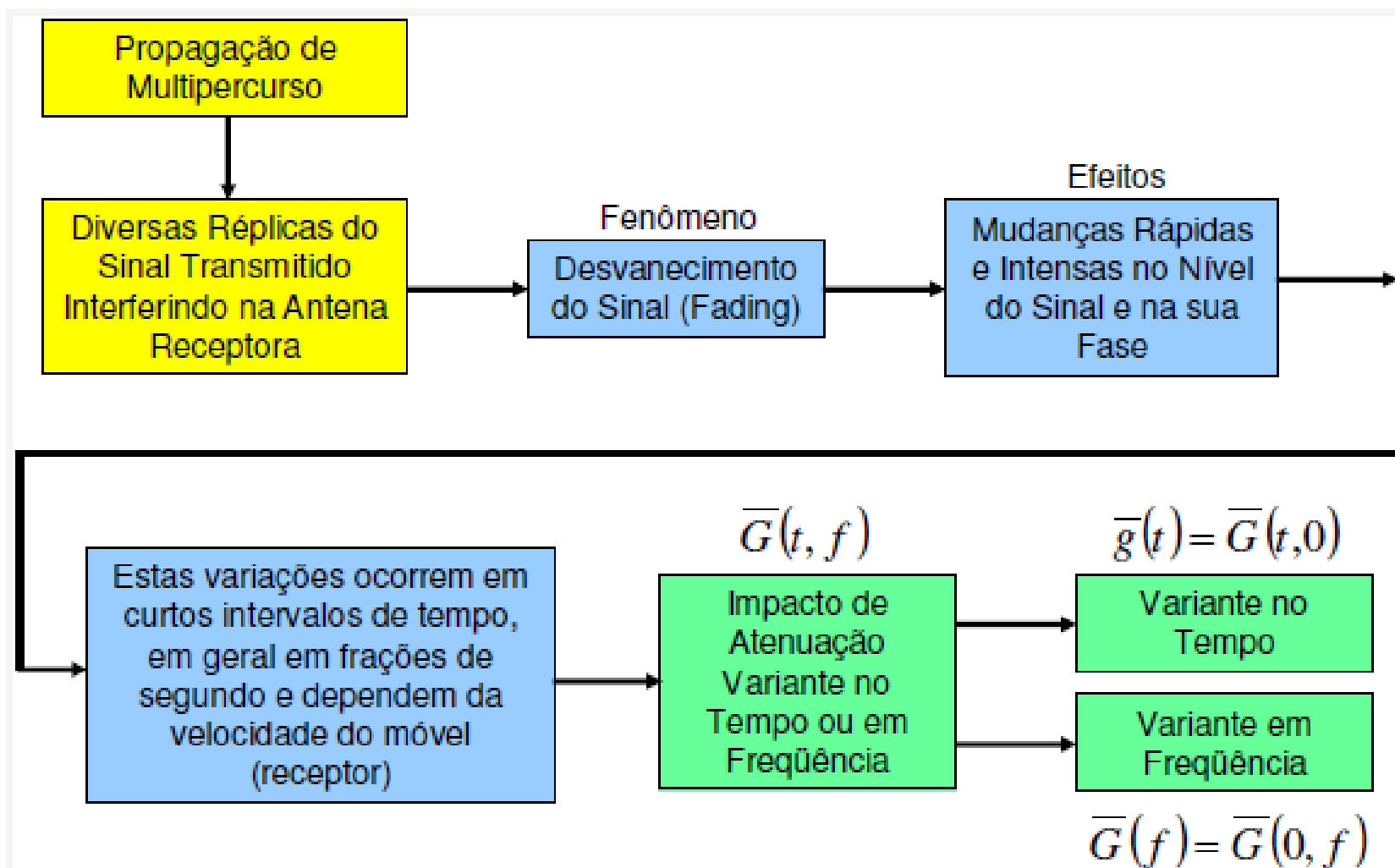
## ● Desvanecimento do Sinal (Fading)

- Quando um móvel se desloca distâncias muito pequenas, a potência instantânea do sinal pode sofrer flutuações rápidas.
- A razão disso é que o sinal recebido é a soma de muitas contribuições vindas de diferentes direções.
- A potência do sinal recebido pode variar da ordem de 30dB ou 40dB.
- O quanto isso significa na prática ?

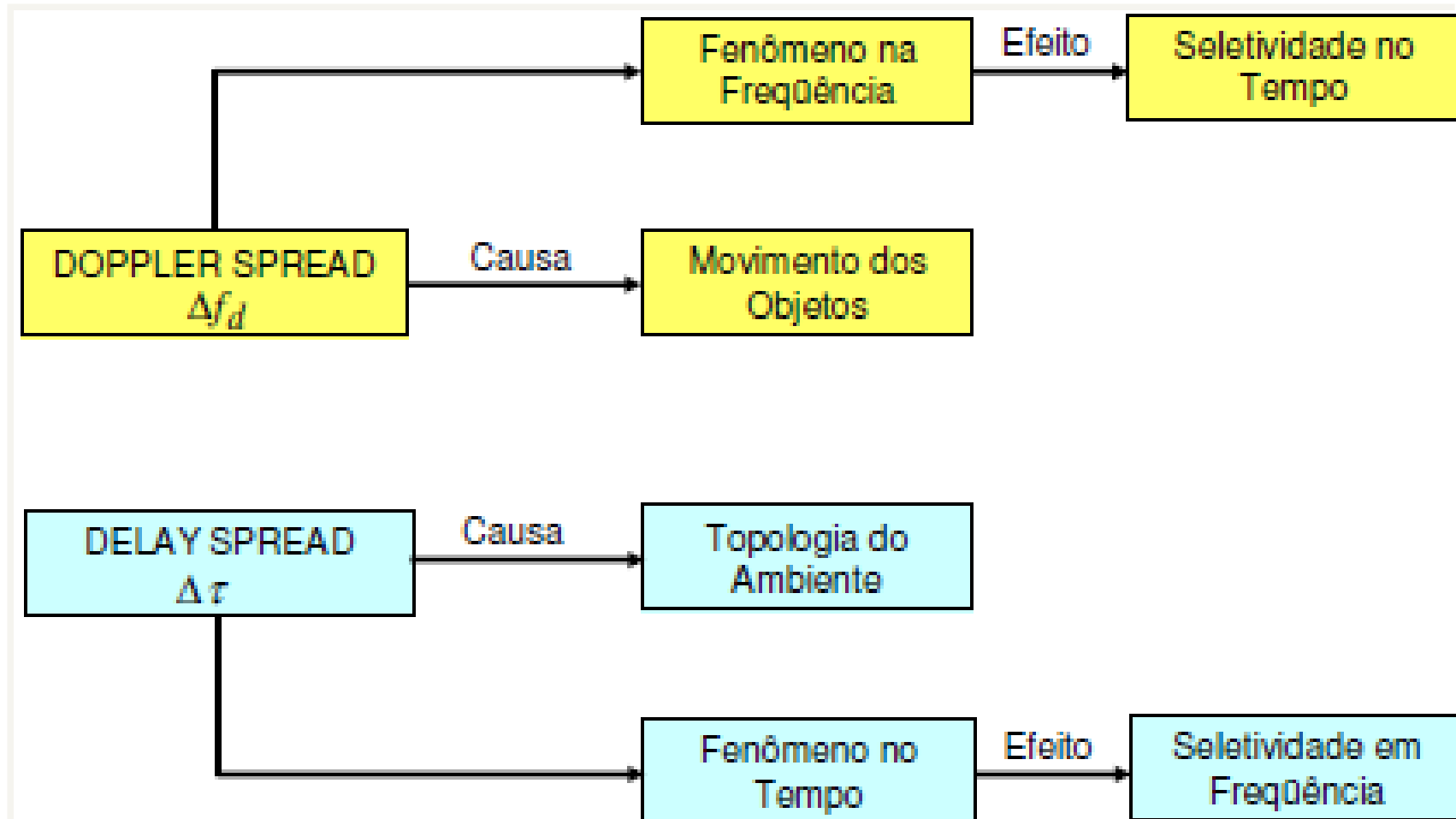
# Exemplo



# Modelos de Canais de Rádio



# Modelos de Canais de Rádio



# Modelos de Canais de Rádio

- Análise do Doppler Spread

$$f_d = \frac{f_c \cdot v}{c} = \frac{v}{\lambda}$$

Freqüência Doppler

- Considerando a transmissão de apenas um tom de freqüência, o sinal recebido será composto de vários tons  $[-f_d, f_d]$ .

Freqüência da Portadora	Pessoa 1 m/s	Carro Lento 10 m/s	Carro Rápido 20 m/s	Trem 100 m/s
1 MHz	0,003 Hz	0,03 Hz	0,066 Hz	0,33 Hz
100 MHz	0,33 Hz	3,33 Hz	6,6 Hz	33 Hz
1 GHz	3,33 Hz	33,33 Hz	66 Hz	333 Hz
2,4 GHz	8 Hz	80 Hz	160 Hz	800 Hz
5,4 GHz	18 Hz	180 Hz	360 Hz	1,8 kHz
10 GHz	33 Hz	333 Hz	666 Hz	3,33 kHz
60 GHz	200 Hz	2 kHz	4 kHz	20 kHz



# Propagação no Espaço Livre

- Propagação de Espaço Livre
  - É o modelo utilizado para predição da potência do sinal recebido quando não existe obstáculo (Line-of-Sight LOS) entre a antena transmissora e receptora.
- Aplicação (Enlaces de Comunicação Ponto-a-Ponto)
  - Projeto de sistemas de comunicação via satélite.
  - Projeto de enlaces de microondas.
  - Projeto de enlaces usando tecnologia 802.11 a/b/g

# Propagação no Espaço Livre

- Propagação de Espaço Livre
  - Modelo de Friis

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{f}$$

Unidades ??

$d$  = distância Tx - Rx

$G$  = ganho da antena

$\lambda$  = comprimento de onda

$P_t$  = potência de transmissão

$L$  = fator de perda do sistema

$P_r(d)$  = potência recebida

# Propagação no Espaço Livre

- Propagação de Espaço Livre

- O modelo de Friis só é válido para valores de distância que são bem maiores que o comprimento de onda ou a dimensão física da antena.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad d \gg \lambda$$

$$EIRP = P_t \cdot G_t$$

# Propagação no Espaço Livre

- Propagação de Espaço Livre
  - Perda de Percurso (Path Loss)

$$PL \text{ (dB)} = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_t}{P_r} = -10 \cdot \log_{10} \left[ \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right] \quad L = 1$$

$$PL \text{ (dB)} = 10 \cdot \log_{10} \left[ \left( \frac{4 \pi d}{\lambda} \right)^2 \right] \quad G_t = G_r = 1$$

# Propagação no Espaço Livre

## ● Exercício

- Potência do transmissor  $P_t = 50 \text{ W}$
- Ganho das antenas  $G_t = G_r = 1$
- Freqüência da portadora  $f_c = 900 \text{ MHz}$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{900 \cdot 10^6} = \frac{1}{3} \text{ m}$$

## ● Determinar

- Potência do transmissor em dBm e dBW
- Potência recebida (dBm) para um distância entre transmissor e receptor de

$$d = 100 \text{ m}$$

# Propagação no Espaço Livre

- Solução

- Potência do transmissor (dBm)

$$P_t \text{ (dBm)} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_t \text{ (W)}}{1 \text{ mW}} \right)$$

$$P_t \text{ (dBm)} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{50}{10^{-3}} \right) \approx 47 \text{ dBm}$$

- Solução

- Potência do transmissor (dBW)

$$P_t \text{ (dBW)} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_t \text{ (W)}}{1 \text{ W}} \right)$$

$$P_t \text{ (dBW)} = 10 \cdot \log_{10} (50) \approx 17 \text{ dBW}$$

# Propagação no Espaço Livre

- Solução

- Potência recebida (dBm) para  $d = 100 \text{ m}$

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

$$P_r = \frac{50 (1) (1) (1/3)^2}{(4\pi)^2 (100)^2 (1)} = 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ W} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ mW}$$

- Solução

- Potência recebida (dBm) para  $d = 100 \text{ m}$

$$P_r \text{ (dBm)} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_r \text{ (W)}}{1 \text{ mW}} \right)$$

$$P_r \text{ (dBm)} = 10 \cdot \log_{10} (3,5 \cdot 10^{-3}) \approx -24,5 \text{ dBm}$$

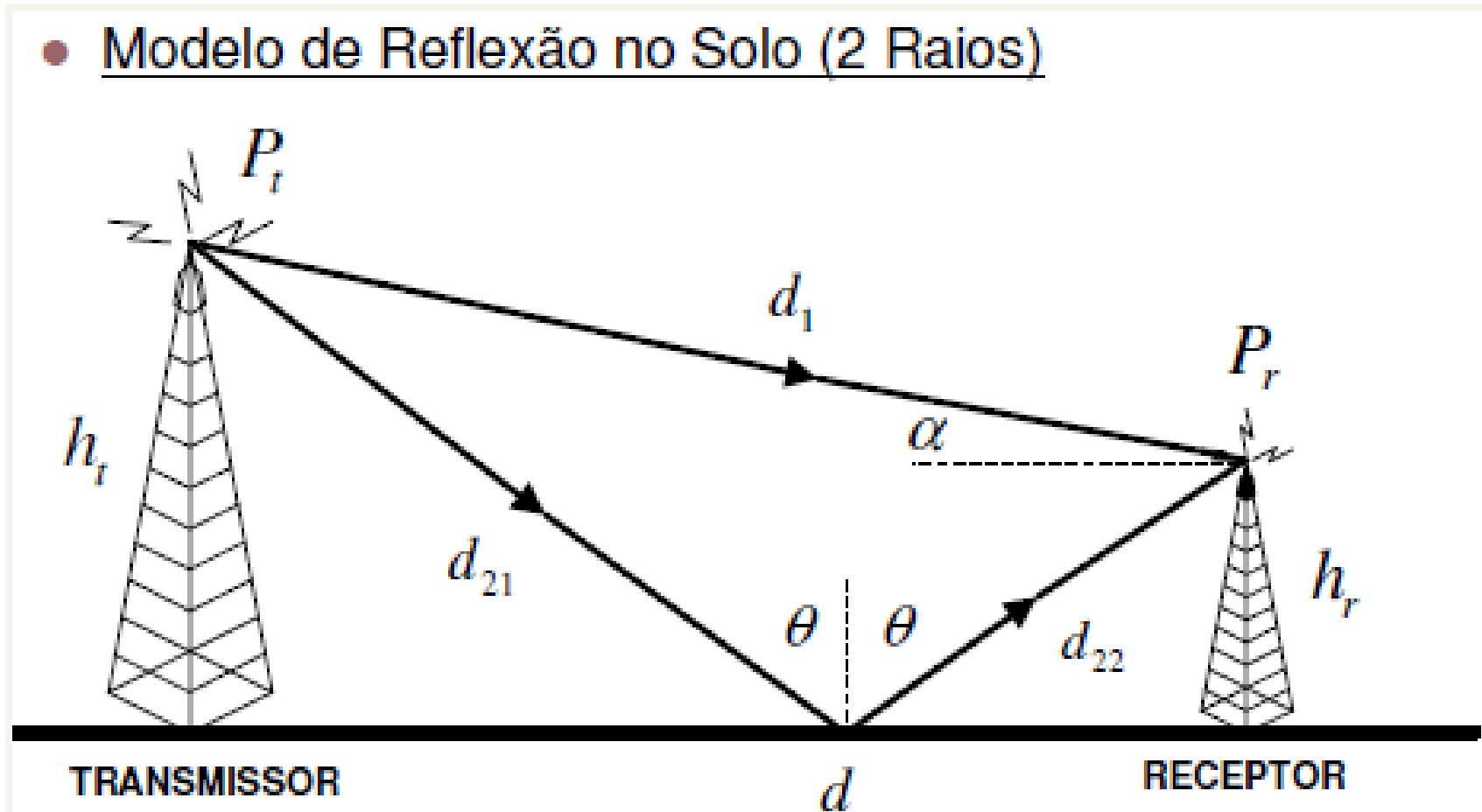
# Propagação de Sinais

- Atenuação de Sinais na Faixa de 2,4GHz
  - Chuva Torrencial – 0,05 dB/km
  - Neblina – 0,02 dB/km
- Atenuação de Sinais na Faixa de 5,8GHz
  - Chuva Torrencial – 0,5 dB/km
  - Neblina – 0,07 dB/km



# Modelo de 2 Raios

- Modelo de Reflexão no Solo (2 Raios)



# Modelo de 2 Raios

- Modelo de Reflexão no Solo (2 Raios)

- Usando o modelo de espaço livre a potência recebida devido a componente direta é dada por:

$$P_{R1} = P_t \cdot \left( \frac{\lambda}{4 \pi d_1} \right)^2 \cdot G_t \cdot G_r$$

- Potência recebida pela componente refletida:

$$P_{R2} = P_t \cdot R(\theta, \epsilon_{eff}) \cdot \left( \frac{\lambda}{4 \pi d_2} \right)^2 \cdot G_t \cdot G_r$$

$$P_r = P_t \cdot \left( \frac{\lambda}{4 \pi d} \right)^2 \cdot G_t \cdot G_r \cdot 4 \cdot \text{sen}^2 \left( \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d} \right)$$

Modelo Aproximado (Lei da Quarta Potência)

$$P_r = P_t G_t G_r \frac{h_t^2 h_r^2}{d^4}$$

# Modelos Empíricos e Semi-empíricos

- Modelos Empíricos

- São baseados em medidas extensivas em diferentes ambientes

- Log-Distance Model

$$\bar{P}_L(d) = \bar{P}_L(d_0) + 10 \cdot n \cdot \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

Expoentes de Path Loss para Diferentes Ambientes	
Ambiente	Expoente de Path Loss (n)
Espaço Livre	2
Celular em Área Urbana	2,7 a 3,5
Celular em Área Urbana Sombreada	3 a 5
Ambiente Indoor com Visada	1,6 a 1,8
Ambiente Indoor sem Visada	4 a 6
Ambiente Industrial Indoor sem Visada	2 a 3