

# Curso: Engenharia de Computação

**Sistemas de Comunicações Móveis**

Prof. Clayton J A Silva, MSc  
clayton.silva@professores.ibmec.edu.br

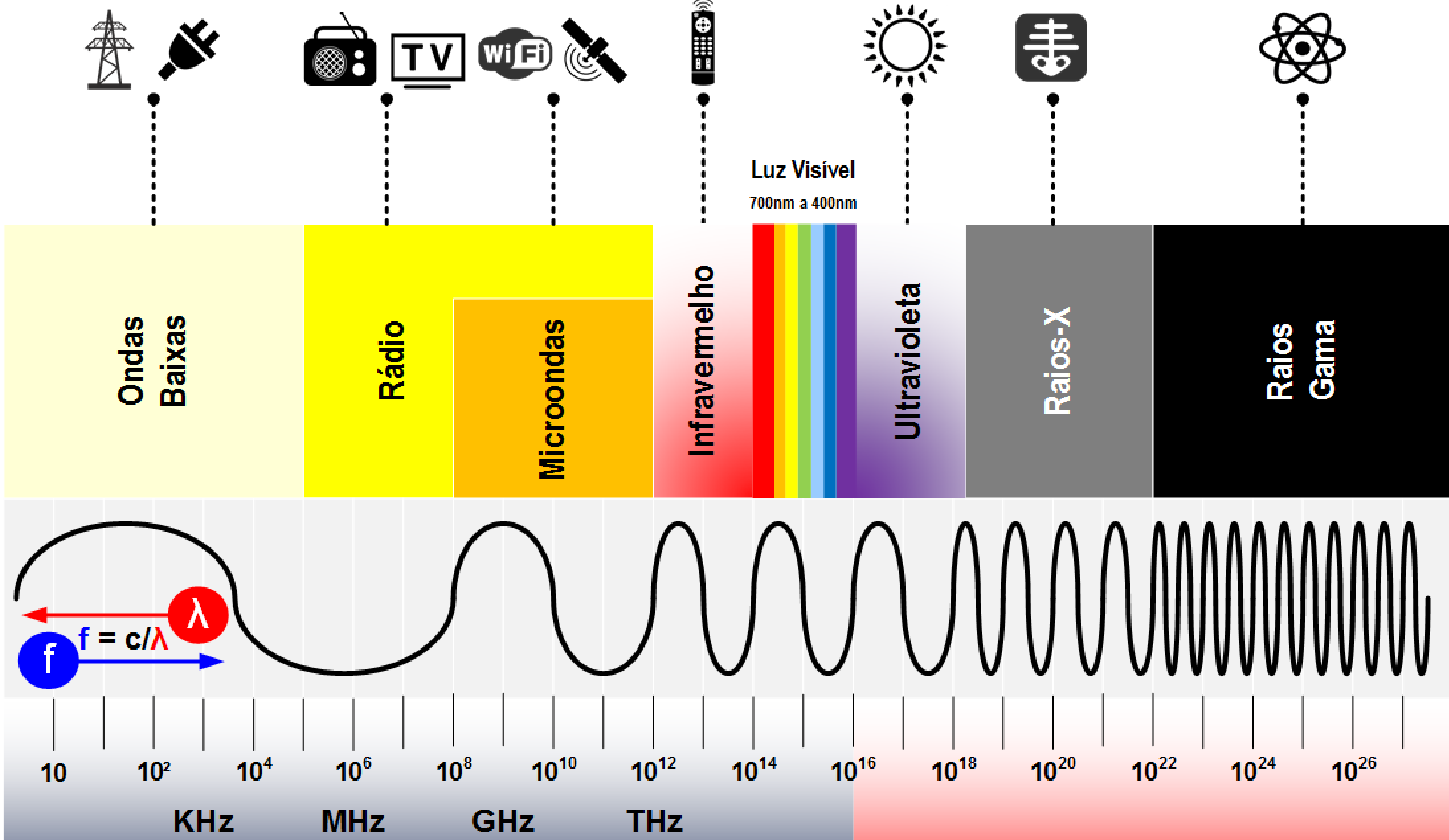


# Canal de Comunicações **Móveis**

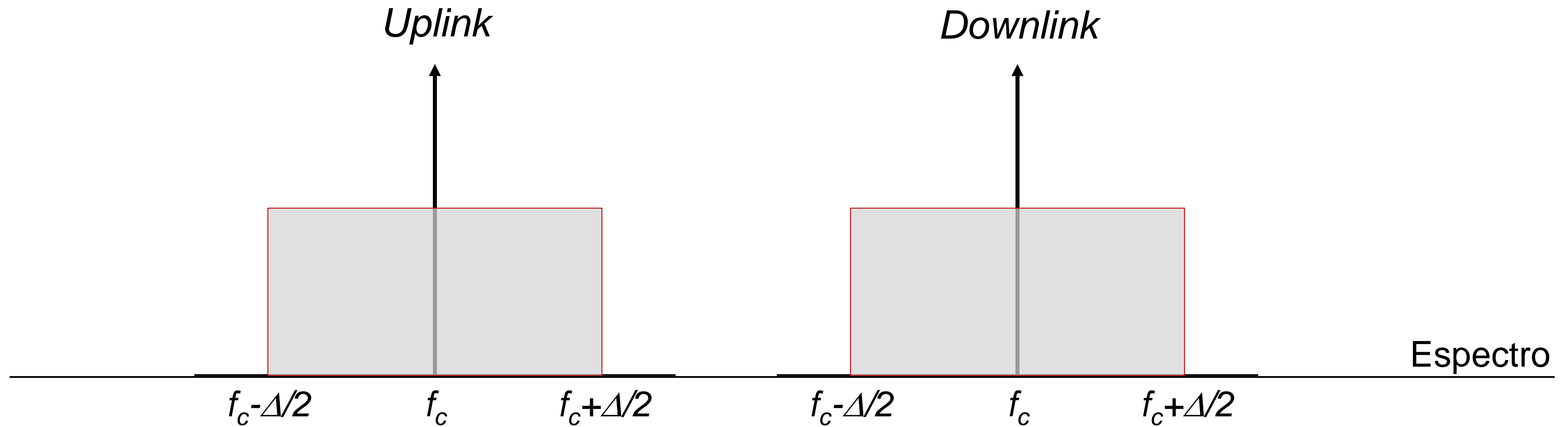
---

# Faixas de radiofrequências

---



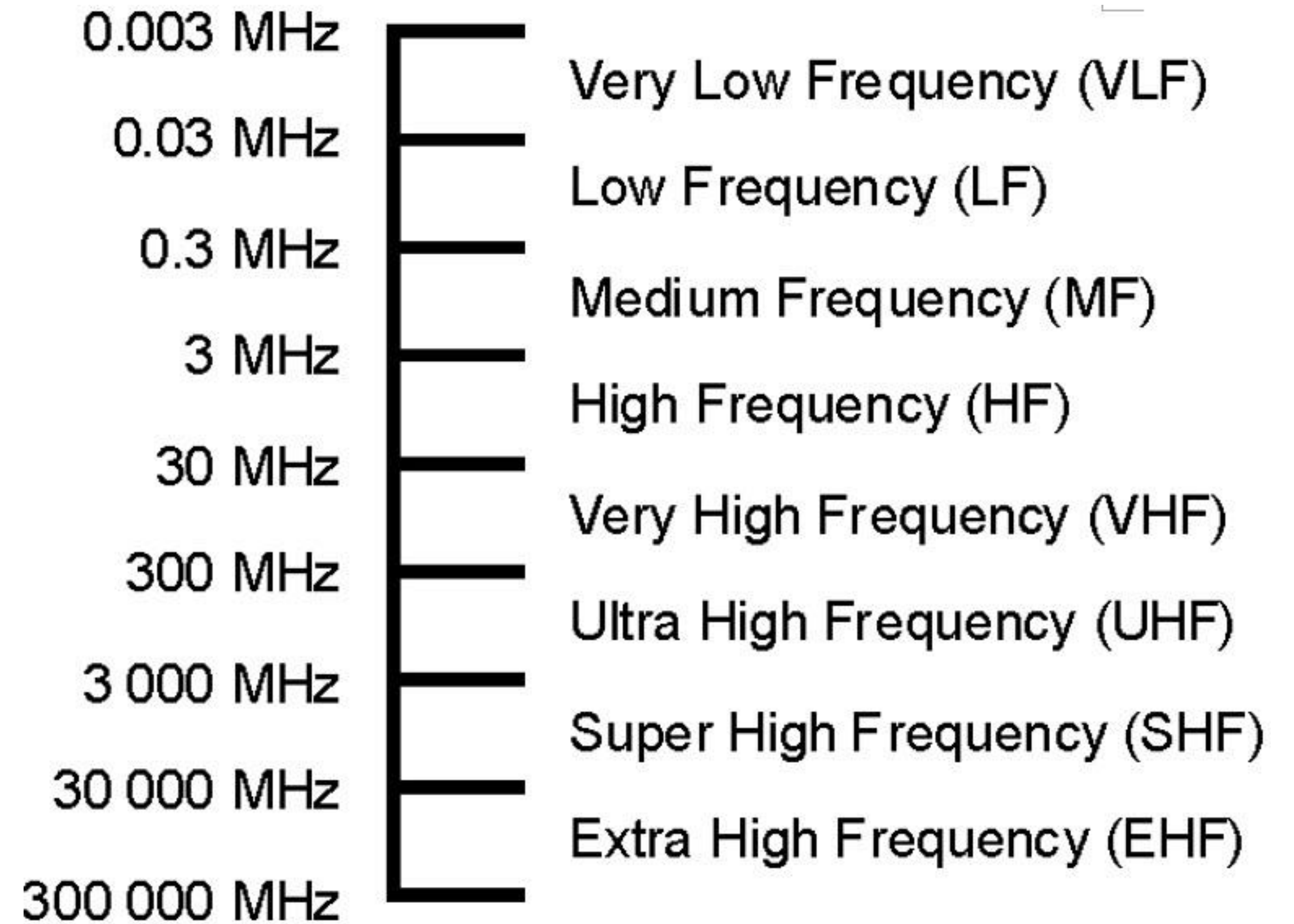
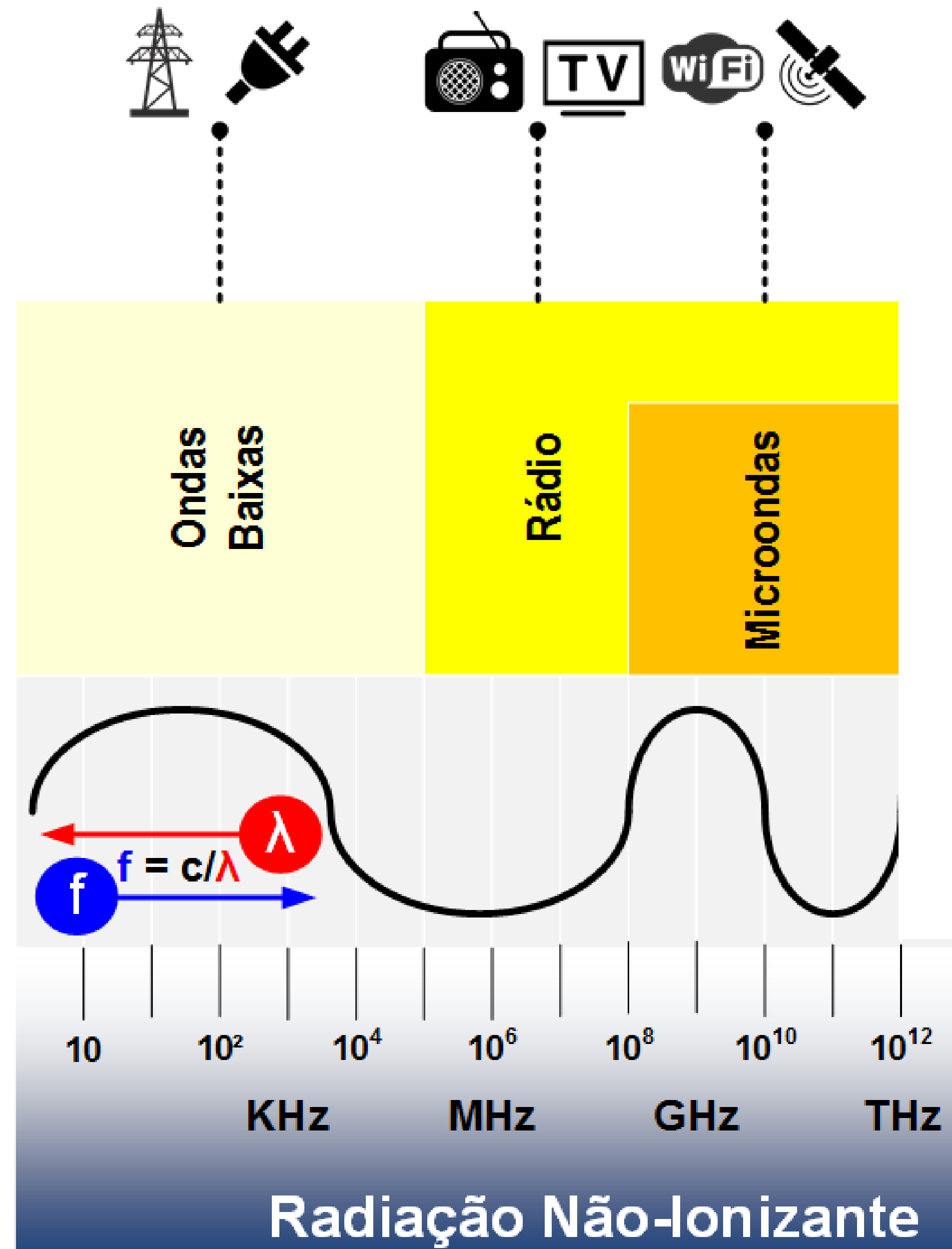
# 0 canal de RF



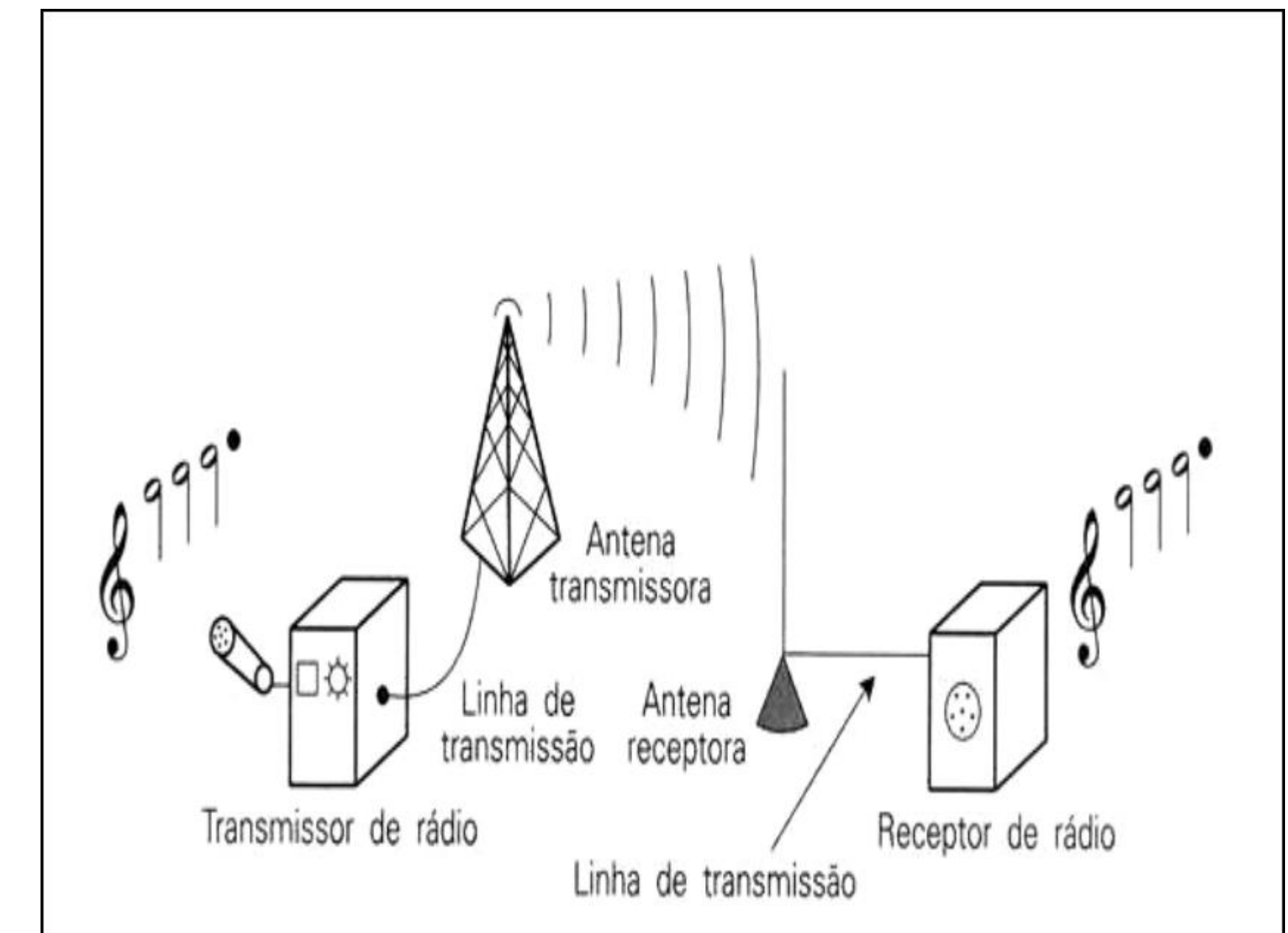
# O canal de RF

Modo	Canal de Transmissão	Canal de Recepção	Descrição
Simplex	Frequência F1	Frequência F1	Comunicação unidirecional em que a transmissão ocorre em uma única frequência para ambos os sentidos.
Semi-Duplex	Frequência F1	Frequência F2	Comunicação bidirecional, mas alternada. O dispositivo transmite em F1 e recebe em F2, e vice-versa.
Duplex	Frequência F1	Frequência F2	Comunicação simultânea em duas frequências. Transmissão ocorre em F1 e recepção em F2 ao mesmo tempo.

# Faixa de Radiofrequências



# Características de propagação

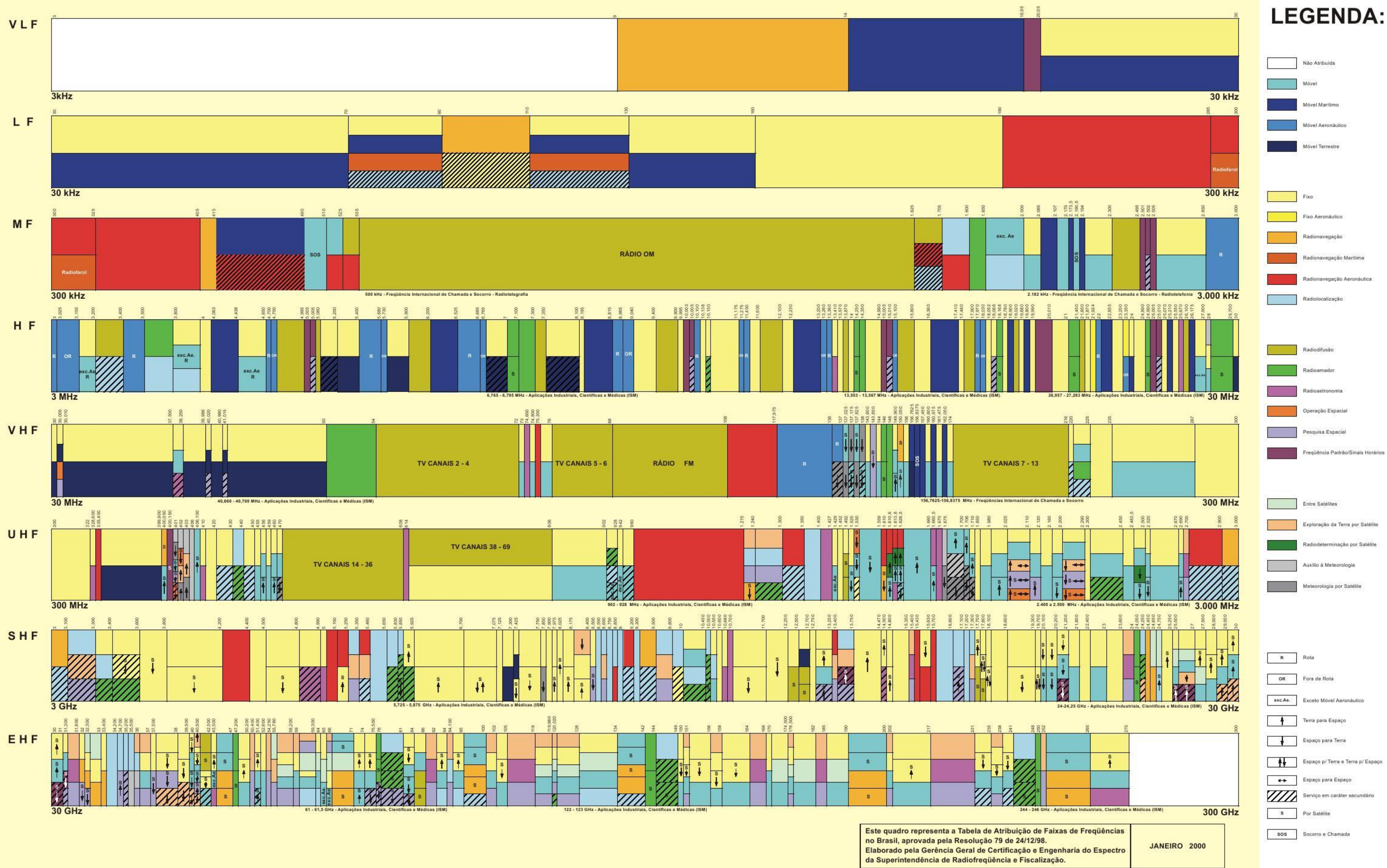


Frequências	Mecanismos de propagação	Efeitos da atmosfera e do terreno
ELF 30 - 300 Hz	Onda “guiada” entre a ionosfera e a superfície da Terra e refratada até grandes profundidades no solo e no mar	Atenuação em 100 Hz entre 0,003 e 0,03 dB/km sobre o solo e de 0,3 dB/km sobre a água do mar
VLF 3 - 30 kHz	Onda “guiada” entre a camada D da ionosfera e a superfície da Terra e refratada no solo e no mar	Baixas atenuações sobre o solo e no mar
LF 30 - 300 kHz	Onda “guiada” entre a camada D da ionosfera e a superfície da Terra até 100 kHz, onda ionosférica tornando-se distinta acima desta frequência.	Desvanecimento em distâncias curtas devido à interferência entre a onda ionosférica e a de superfície
MF 300 - 3000 kHz	Onda de superfície a curta distância e em frequências mais baixas e onda ionosférica a longa distância	Atenuação da onda de superfície reduz sua cobertura a 100 km; onda ionosférica forte à noite.
HF 3 – 30 MHz	Onda ionosférica acima da distância mínima; onda de superfície a distâncias curtas.	Comunicação muito dependente do comportamento da ionosfera; onda de superfície bastante atenuada.
VHF 30 - 300 MHz	Propagação em visibilidade; difração; tropodifusão (ondas espaciais).	Efeitos de refração; difração pelo relevo; espalhamento troposférico.
UHF 300 - 3000 MHz	Propagação em visibilidade; difração; reflexão e tropodifusão.	Efeitos de refração; multipercursos e dutos (faixa alta); difração e obstrução pelo relevo e vegetação.
SHF (3 - 30 GHz)	Propagação em visibilidade	Desvanecimento por multipercursos; atenuação por chuvas (acima de 10 GHz); obstrução pelo terreno.
EHF 30 - 300 GHz	Propagação em visibilidade	Desvanecimento por multipercursos; atenuação por chuvas; absorção por gases; obstrução por edificações.





# ATRIBUIÇÃO DE FAIXAS DE FREQUÊNCIAS NO BRASIL





# Resposta do canal móvel

---

# Efeitos indesejados sobre o sinal transmitido

- **Atenuação:** redução da potência do sinal.
- **Distorção:** perturbação causada pela **resposta imperfeita** do sistema em relação ao sinal desejado.
- **Interferência:** **contaminação** por sinais externos provocada por fontes humanas – outros transmissores, linhas de potência e maquinaria etc. Interferência quase sempre ocorre em **sistemas de radiocomunicações** – ou seja, que utilizam a transmissão pelo espaço.
- **Ruídos:** sinais elétricos **aleatórios e imprevisíveis** produzidos por processos naturais internos e externos ao sistema. O ruído constitui uma **limitação fundamental** do sistema.

# Resposta do canal

- A função de transferência ou resposta do canal,  $H(f)$ , define a relação entre o sinal recebido e o sinal transmitido, dada por

$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)}$$

, onde  $X(f)$  representa o sinal transmitido e  $Y(f)$  representa o sinal recebido, ambos no domínio da frequência.

# Resposta do canal

- No domínio do tempo, a relação se torna

$$y(t) = x(t) * h(t)$$

, onde o operador  $*$  representa a operação chamada de **convolução**,  $h(t)$ ,  $x(t)$  e  $y(t)$  representam, respectivamente a resposta do canal e os sinais transmitido e recebido, todo no domínio do tempo.

# Resposta do canal

- Se a relação entre os sinais de transmitido e recebido  $Y(f)/X(f)$  se refere somente à amplitude do sinal define-se o **ganho (G)**

$$G(f) = \frac{|Y(f)|}{|X(f)|}$$

- O ganho pode ser analisado em valores absolutos em **decibéis (dB)**, dado por

$$G_{dB} = 10 \log[H(f) \cdot H^*(f)]$$

# Limitações fundamentais

- **Largura de banda ( $B_w$ ):** limitação do canal para acomodar as variações do sinal transmitido com tempo, ou seja, acomodar o espectro do sinal. O canal de comunicações possui uma **largura de banda limitada**, que limita a variação do sinal.
- **Ruído:** O movimento aleatório das cargas elétricas gera uma corrente ou tensão aleatórias, chamadas de **ruído térmico**. A medida do ruído em relação à informação é definida pela **razão sinal ruído  $S/N$** . A  $S/N$  muitas vezes é estabelecida também em decibéis.

# Limitações fundamentais

- A taxa de transmissão da informação não pode exceder a capacidade do canal,  $C$ , dada por

$$C = B_w \cdot \log_2(1 + \text{SNR})$$

, onde a capacidade representa a taxa máxima teórica de transmissão de dados,  $\Delta$  representa a banda e SNR representa a razão sinal-ruído.



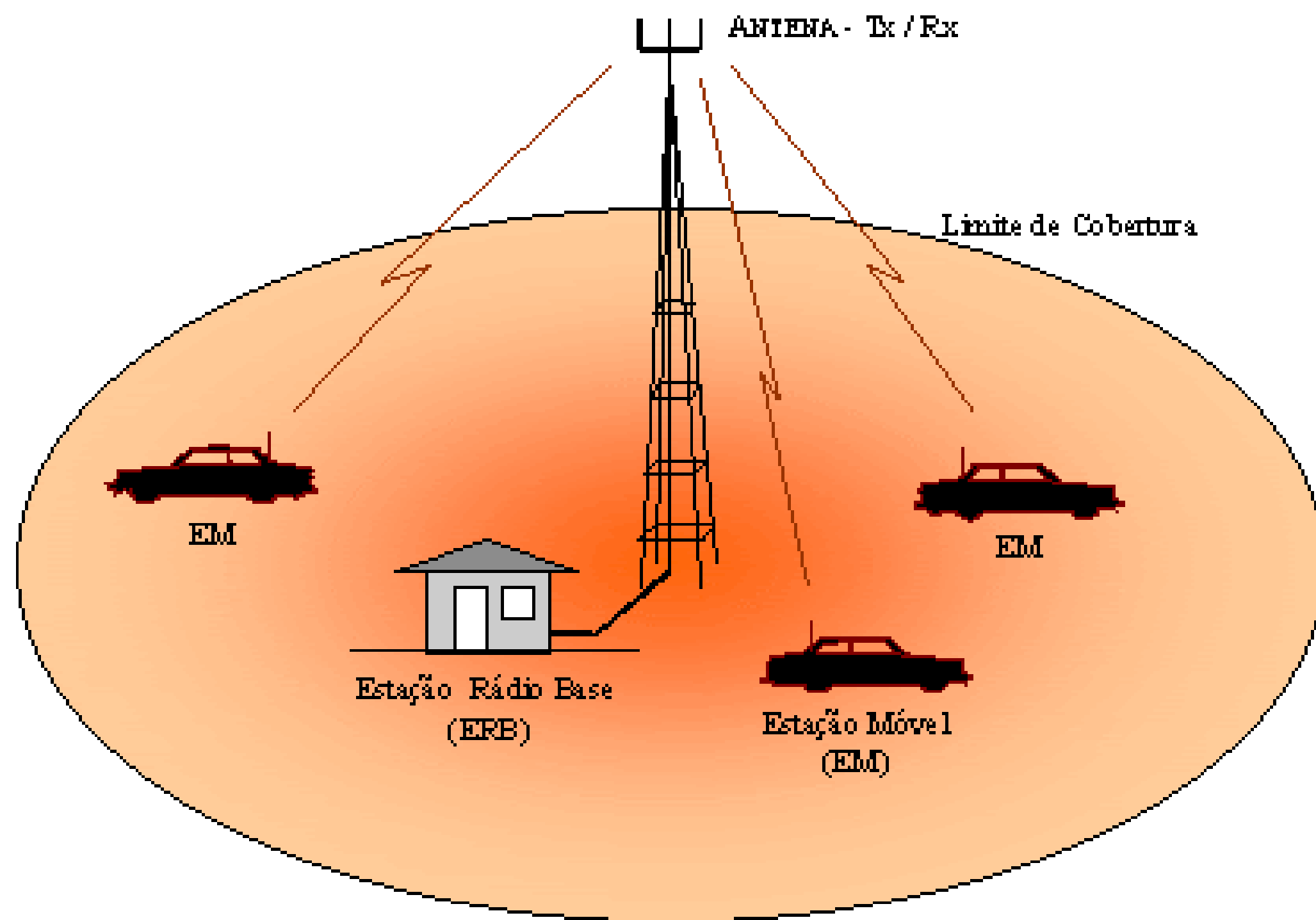
# Propagação do sinal no espaço

---

# Visão geral

## propagação do sinal de RF

*outdoor*



*indoor*



# Efeitos do canal sobre o sinal transmitido

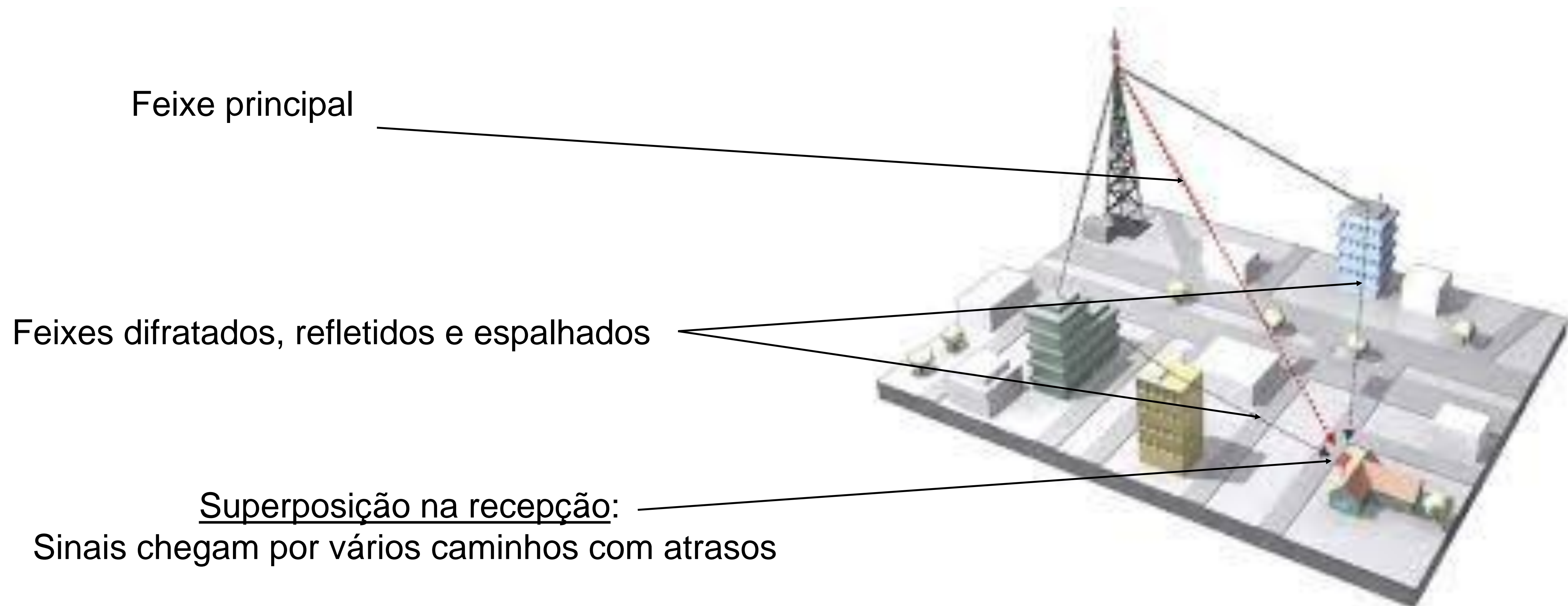
- 1. Filtragem** – tende a reduzir a banda disponível da portadora modulada, visto que surte efeito na sua forma de onda, ocasionando também uma distorção de fase.
- 2. Doppler** – faz com que a frequência da portadora não seja idêntica na recepção, em virtude do desvio provocado pelo movimento relativo entre o transmissor e o receptor. Afeta a recepção do sinal de sincronização.

# Efeitos do canal sobre o sinal transmitido

3. Desvanecimento (*fading*) – variações aleatórias ao longo do tempo da intensidade e da fase do sinal recebido causadas pelo meio de propagação.
4. Percursos múltiplos – um dos principais mecanismos do *fading*, o feixe principal do sinal resultante recebido, que é a soma de um raio direto entre as antenas e outros raios que seguem trajetos distintos do raio direto, sofre uma atenuação considerável. Os trajetos distintos, designados como percursos múltiplos, são originados das refrações e reflexões.



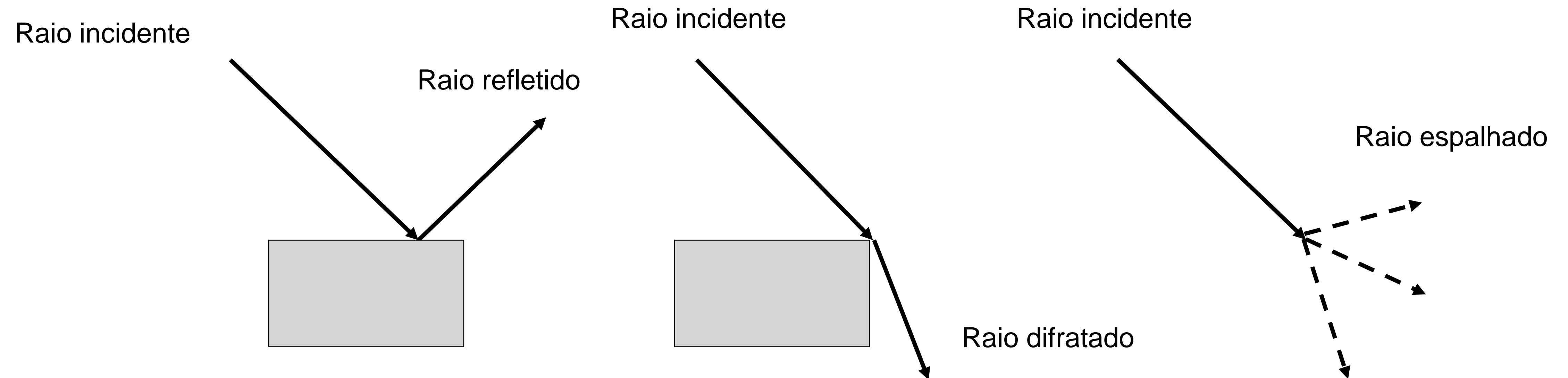
# Efeitos de percursos múltiplos



# Efeitos de percursos múltiplos

- Os sinais de multipercurso se **recombinam no receptor**, de forma que o **sinal recebido é uma versão distorcida do que foi transmitido**.
- Existem três diferentes mecanismos de propagação: **reflexão, difração e espalhamento**.
  - **Difração** ocorre quando os raios se curvam ao redor de obstáculos;
  - **Reflexão** quando os raios colidem com superfícies duras e lisas;
  - **Espalhamento** ocorre quando um raio se divide em vários, após o impacto com uma superfície dura e áspera.

# Efeitos de percursos múltiplos



# Efeitos de percursos múltiplos

- Banda de coerência ( $B_c$ ) do canal = faixa uniforme do canal de comunicações.
- Os sinais que percorrem caminhos diferentes sofrem **atrasos**
  - **atrasos idênticos**  $\Rightarrow$  sinais somados ou subtraídos
  - sinais subtraídos representam interferência destrutiva
  - sinais somados representam interferência construtiva



# Efeitos de percursos múltiplos

- Se  $\Delta < B_c$ : recombinação na recepção é também uniforme, resultando em variações rápidas de intensidade e fase chamadas de **desvanecimento de faixa estreita**.
- Se  $\Delta > B_c$ : recombinação na recepção não é uniforme, resultando em efeito chamado de **desvanecimento de faixa larga**.
- Desvanecimento de faixa estreita acarreta **erros em rajada** e de faixa larga acarreta **interferência entre os símbolos**.

# Desvanecimento

Tipos de desvanecimento (*fading*):

- desvanecimento espacial,
- desvanecimento temporal e
- desvanecimento seletivo em frequência – causado principalmente pelo efeito multipercurso.

# Desvanecimento espacial

- O desvanecimento espacial depende fortemente da topografia,
- Determinado em função da distância

$$P = A \cdot d^{-n}$$

, onde  $P$  é a potência do sinal recebido,  $A$  é uma constante,  $d$  é a distância entre o transmissor e o receptor e  $n$  é o fator de atenuação.

# Desvanecimento espacial

- Valores típicos de  $n$ 
  - Espaço livre (sem obstruções):  $n \approx 2$
  - Ambientes urbanos (com obstáculos moderados, como em áreas residenciais):  $n \approx 2,7$  a  $3,5$
  - Ambientes urbanos densos (prédios altos, áreas com muitas barreiras):  $n \approx 3,5$  a  $4,5$
  - Ambientes internos complexos (múltiplas paredes ou divisórias):  $n$  pode variar de 4 a 6

# Desvanecimento espacial

- Determinação da constante A

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

, onde

- $P_t$  é a potência transmitida (em watts),
- $G_t$  é o ganho da antena transmissora (adimensional),
- $G_r$  é o ganho da antena receptora (adimensional),
- $\lambda$  é o comprimento de onda do sinal (em metros)

# Desvanecimento temporal

- Em sinais de faixa estreita, as variações temporais do canal afetam toda a largura de faixa do sinal uniformemente, sem afetar as suas componentes de frequência.
- Causado pelo **movimento físico dentro do canal**, de forma a criar desvanecimentos momentâneos.
- A outra causa é a **natureza variante no tempo do canal**, causado por **mudanças nas características de propagação**, resultante de mudanças na temperatura ambiente, mudanças na umidade relativa, fechamento e abertura de portas

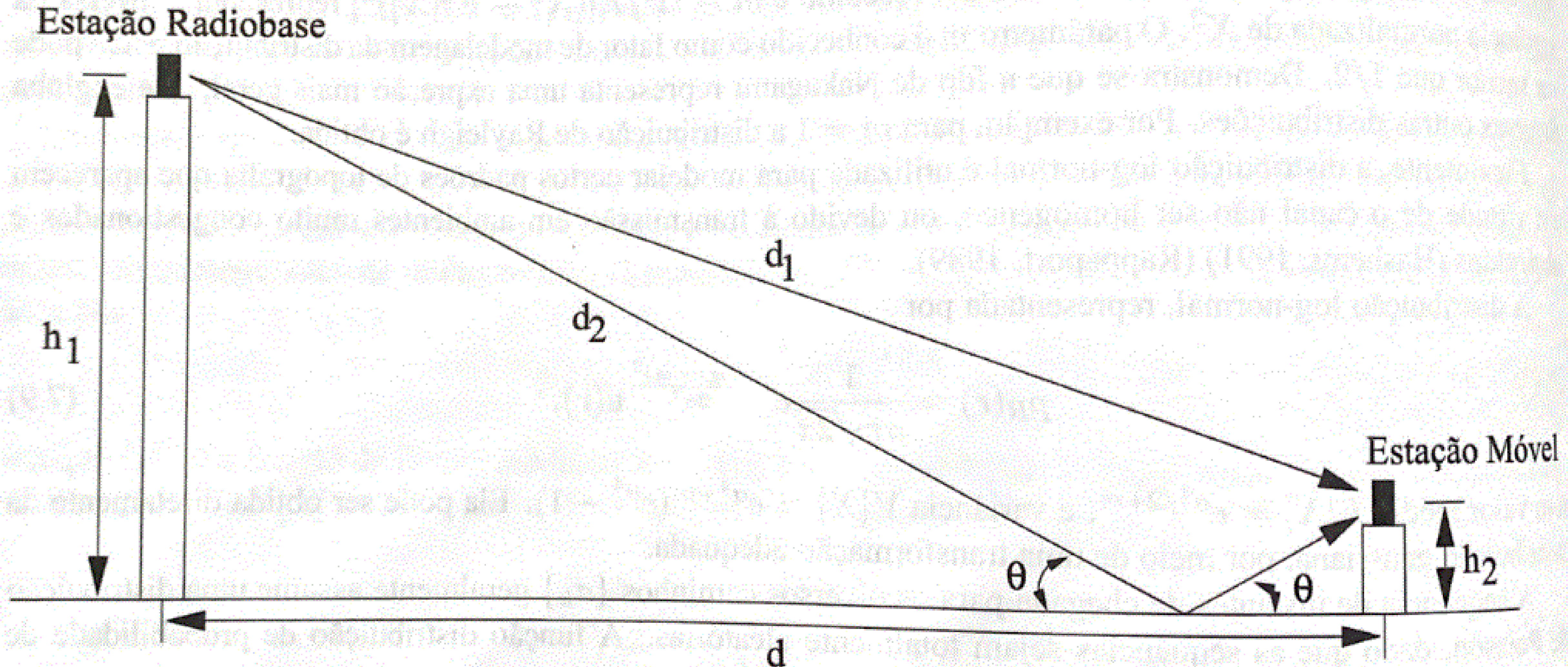
# Modelo de canais móveis

- Um modelo apropriado para o canal deve levar em conta os efeitos do canal sobre o sinal transmitido, considerando
  - a propagação multipercurso; ...
  - a velocidade (relativa) dos terminais móveis; ...
  - a velocidade de objetos do ambiente eletromagnético do canal; e ...
  - a largura de banda do sinal transmitido.



# Modelagem de multipercursos

- Modelo de dois raios:  $P_r = P_o \cdot \left( \frac{h_1 \cdot h_2}{d^2} \right)^2$





# Modelagem de multipercursos

- Modelo de múltiplos raios

- Um modelo mais acurado pode ser imaginado, considerando um grande número de raios para o sinal transmitido. A expressão geral para o sinal recebido por um dos usuários é

$$r(t) = \sum_{k=1}^n \alpha_k \cdot s(t - \sigma_k)$$

- Os parâmetros de atenuação são considerados dependentes apenas do caminho seguido pelo sinal, além do instante de tempo. Os atrasos, da mesma forma.

# Modelagem de multipercursos

- Modelo de múltiplos raios
  - A função de transferência do canal pode ser obtida e definida por

$$h(t) = \sum_{k=1}^n \alpha_k \cdot \delta(t - \sigma_k), \text{ de onde se obtém que}$$

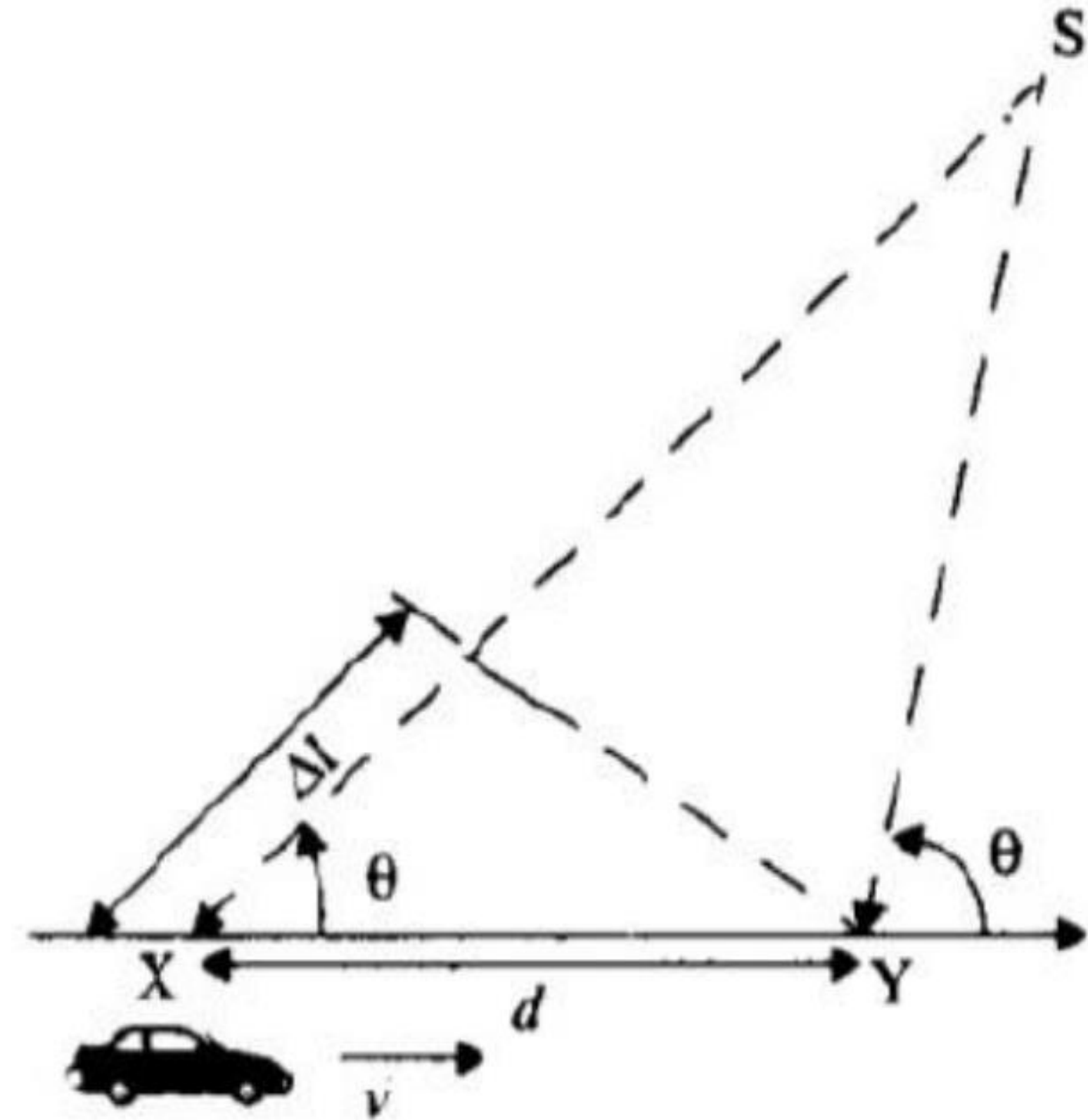
$$H(w) = \sum_{k=1}^n A_k * e^{-j\omega\sigma_k},$$

, onde  $A_k$  representa a transformada de Fourier de  $\alpha_k$ .

# Efeito *Doppler*

- A frequência percebida no receptor é diferente da portadora, causado pelo movimento em ~relativo entre transmissor e receptor.
- Se o movimento é de aproximação do transmissor:  $f = f_c + f_d$ , em caso contrário é igual a  $f = f_c - f_d$ .

, onde Frequência ou banda Doppler ( $f_d$ ) é dada por  $f_d = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{v}{\lambda} \cos\theta$





IBMEC.BR

 /IBMEC

 IBMEC

 @IBMEC\_OFICIAL

 @IBMEC

 **ibmec**