

Curso: Engenharia de Computação

Sistemas de Comunicações Móveis

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



Canal de Comunicações **Móveis**

Visão geral

- A propagação por rádio em ambientes de comunicações móveis **externos (*outdoor*)** ou **internos (*indoor*)** é um fenômeno complexo
- O desempenho de sistemas de comunicações móveis é afetado por **efeito de multipercurso de curta duração** e por perdas de **larga duração**
- Esses efeitos tendem a produzir vários tipos de problemas às comunicações móveis.

Visão geral

- Caracterização do canal de comunicações
 1. Modelagem da atenuação em função da frequência usada, distância entre transmissor e receptor e localização espacial
 2. Medição da variação de fase e amplitude em função do tempo
 3. Análise do comportamento probabilístico do canal

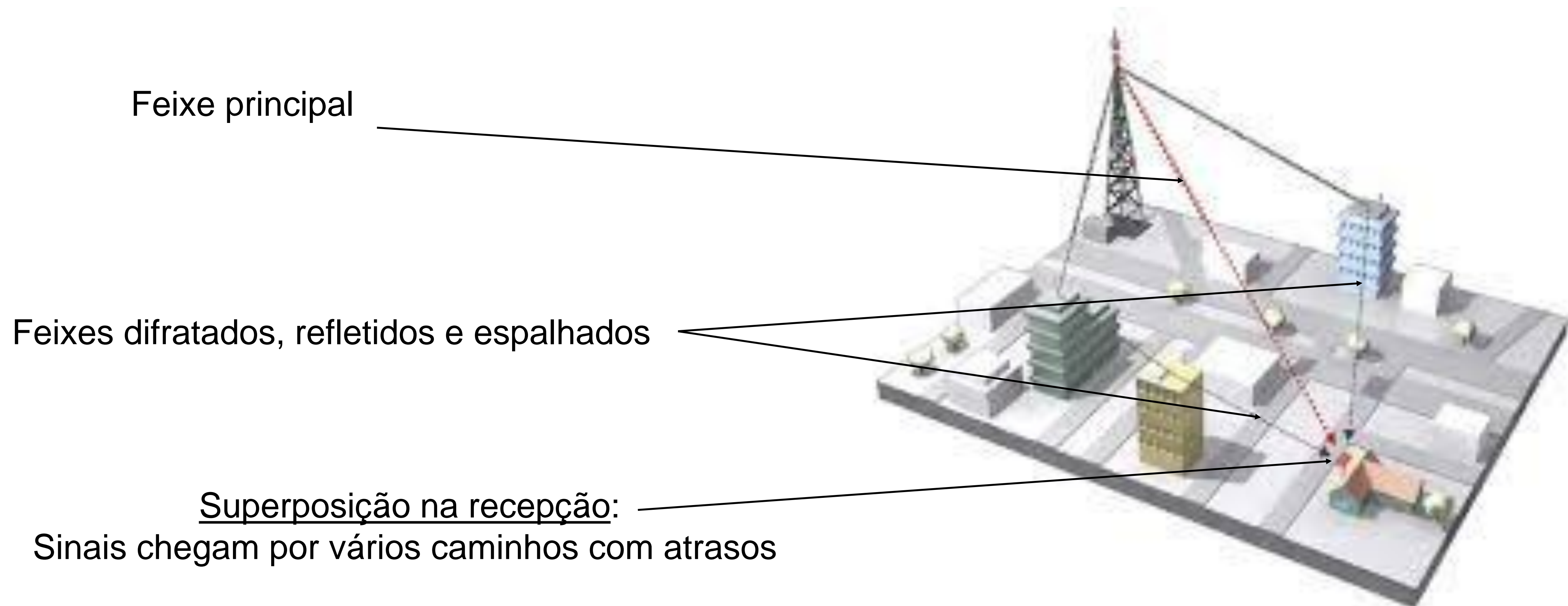
Efeitos do canal sobre o sinal transmitido

- 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. Percursos múltiplos** – 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.
- 4. Desvanecimento** – variações aleatórias ao longo do tempo da intensidade do sinal recebido causadas pelo meio de propagação.

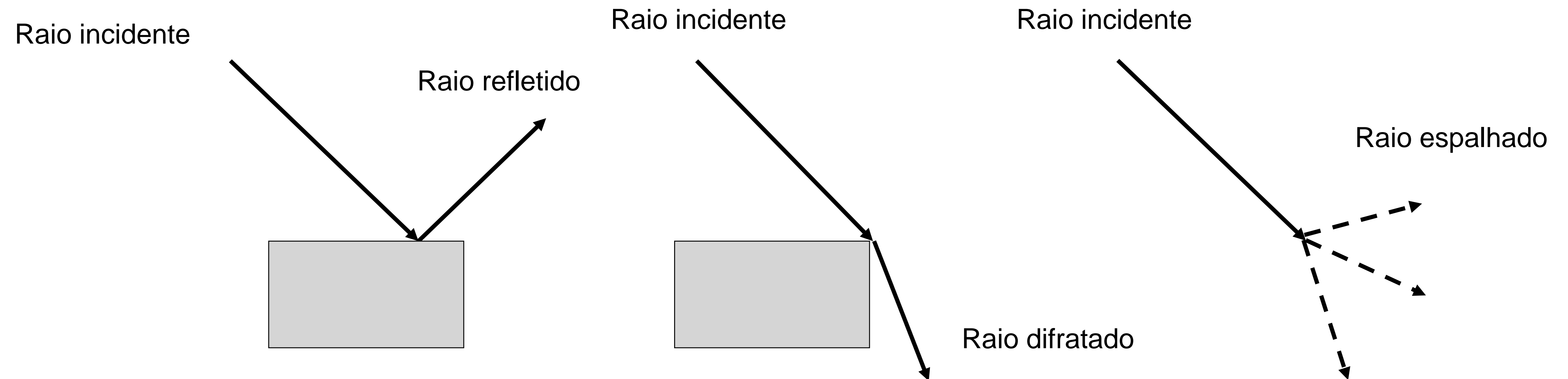
Efeitos de percursos múltiplos



Efeitos de percursos múltiplos

- Os sinais de multipercurso se recombinaem 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

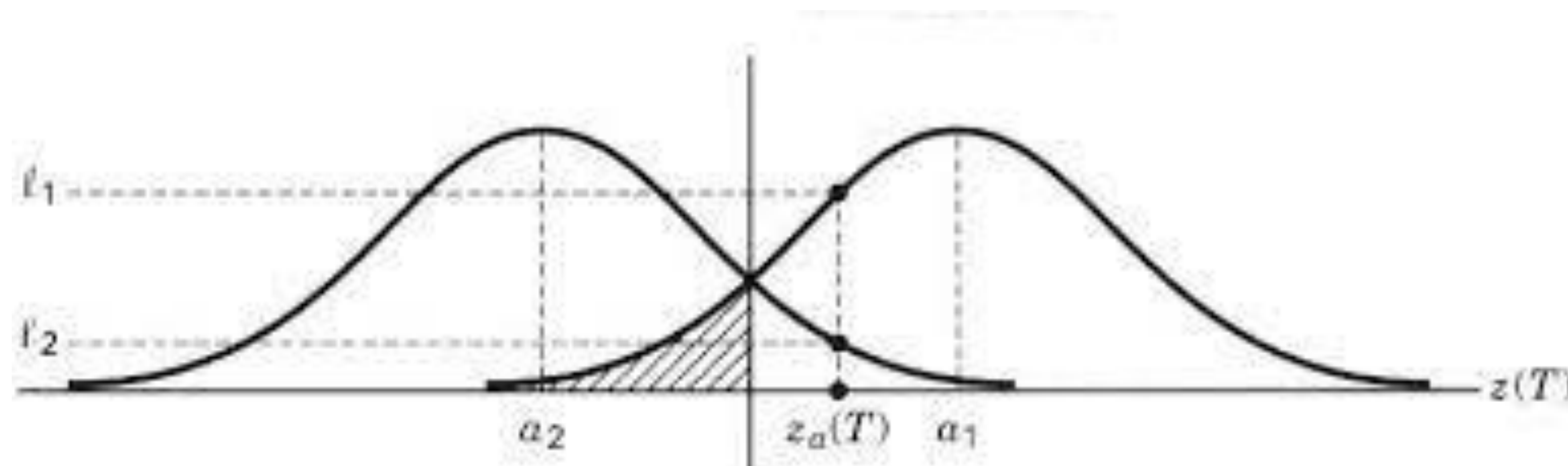


Efeitos de percursos múltiplos

- Os sinais que percorrem caminhos que têm **atrasos idênticos** são subtraídos ou adicionados na recombinação, dependendo se as **fases dos sinais estão alinhadas ou não**.
- Esse tipo de distorção é conhecido como **desvanecimento de faixa estreita**.
- Consequência: **formação de erros em rajadas**.

Efeitos de percursos múltiplos

- Sinais que percorrem caminhos que têm diferentes atrasos também são recombinaados.
- Esse tipo de distorção é chamado de **desvanecimento de faixa larga**.
- **Consequência:** produzem o espalhamento do pulso, podendo produzir interferência intersimbólica.



Desvanecimento

Os tipos de desvanecimento (*fading*) observados em um canal móvel sobre o sinal podem ser agrupados em três categorias principais:

- desvanecimento espacial,
- desvanecimento temporal e
- desvanecimento seletivo em frequência.

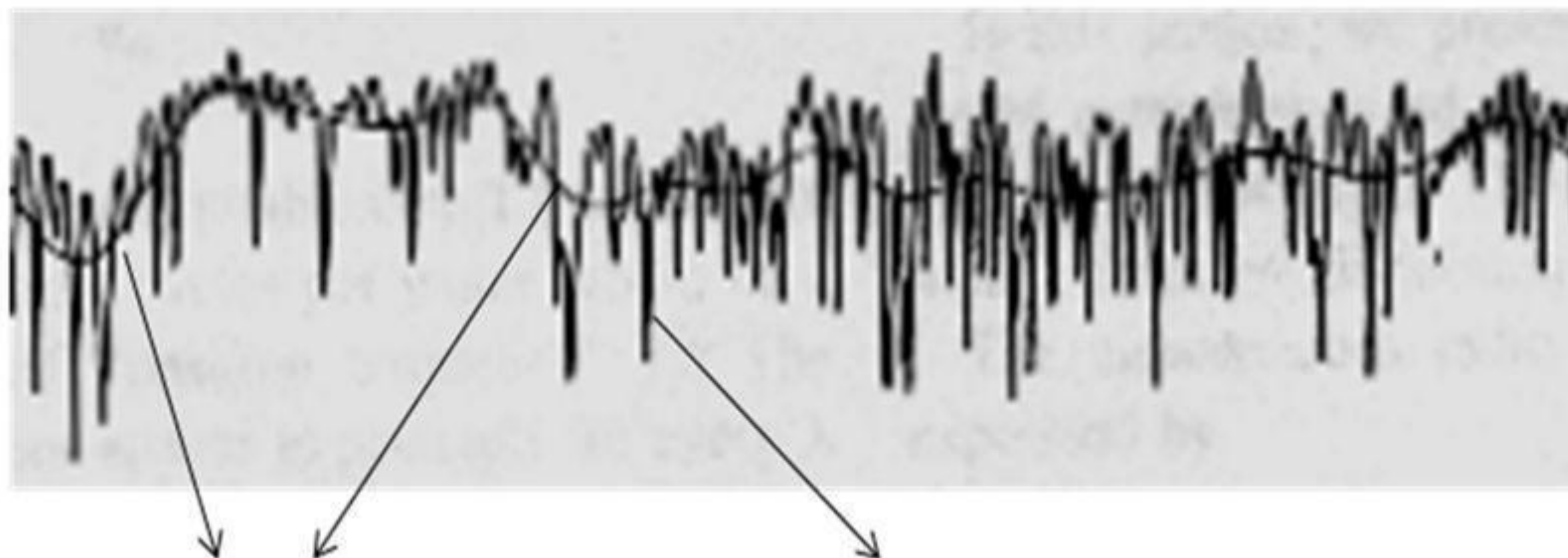
Desvanecimento espacial

Caracterizado por uma **variação da intensidade do sinal em função da distância** e apresenta **duas versões**: desvanecimento de grande escala e de pequena escala.

Desvanecimento de grande escala é a **média do conjunto das flutuações do sinal**, enquanto

desvanecimento de pequena escala é a **variação do sinal em torno do valor médio**.

Desvanecimento espacial



Variação de Grande
Escala

Variação de Pequena
Escala

Desvanecimento espacial

A equação seguinte descreve, de forma simples, o desvanecimento de grande escala como uma **função da distância**

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

em que 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.

- $n=2$, em espaço livre (*outdoor*)
- $n<2$, em espaços com corredores (*indoor*)
- $n>2$, dentro de salas e escritórios (*indoor*)

Desvanecimento espacial

- O desvanecimento espacial depende fortemente da topografia,
- Normalmente leva a uma variação lenta da resposta do canal, seja na amplitude, fase ou atraso, por esse motivo chamado de **desvanecimento lento**.

Desvanecimento temporal

- Caracteriza-se por apresentar uma **variação da intensidade do sinal**, medida em uma frequência particular fixa, como função do tempo, também chamado de **desvanecimento de faixa estreita**
- Uma das causas do desvanecimento temporal é o **movimento físico dentro do canal**, isto é, **entidades móveis podem bloquear percursos do sinal e absorver parte da energia do sinal temporariamente**, de forma a criar desvanecimentos momentâneos.

Desvanecimento temporal

- A outra causa do desvanecimento temporal 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.

Desvanecimento seletivo em frequência

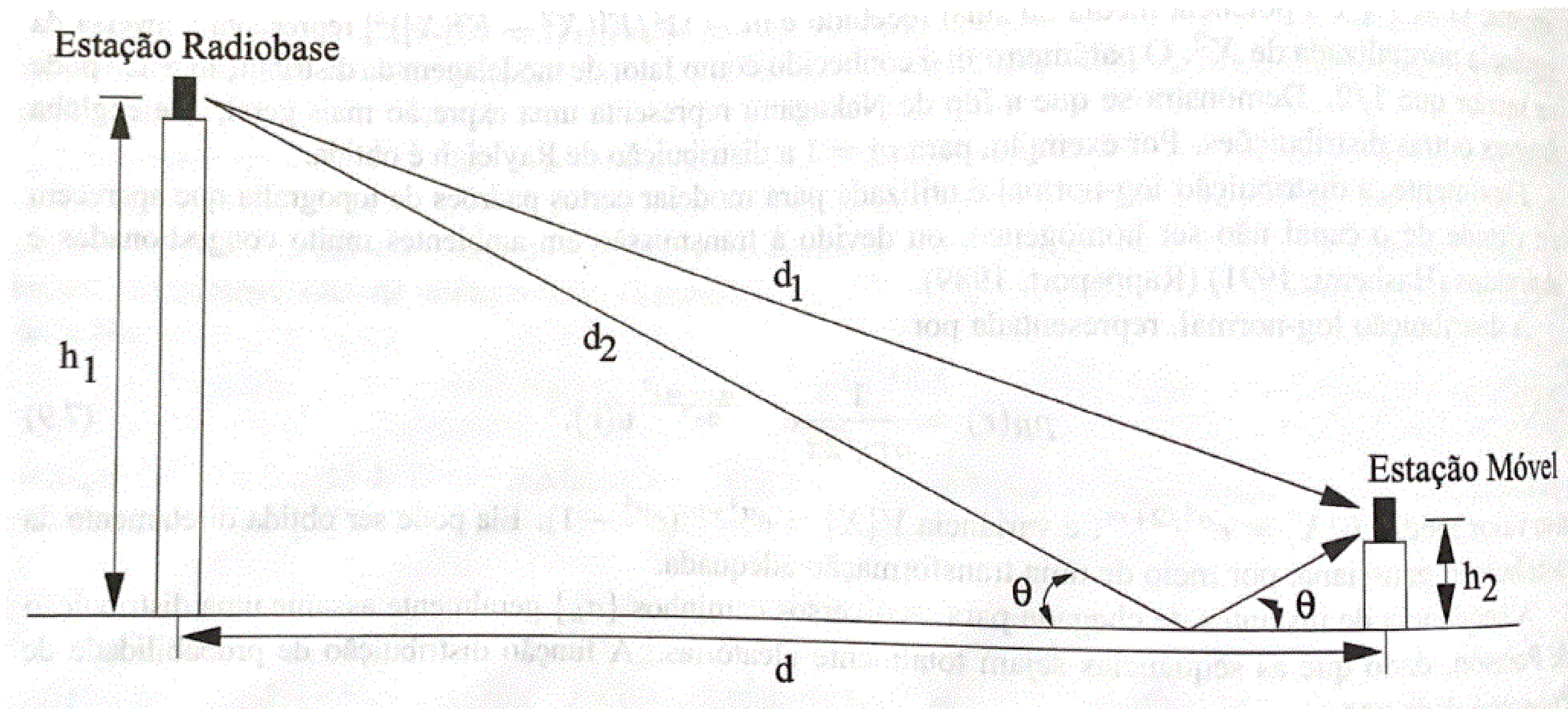
- Caracterizado como uma **variação da intensidade do sinal em função da frequência**, também conhecido como **desvanecimento de faixa larga**.
- A principal causa do desvanecimento seletivo em frequência é a **propagação em multipercurso**. Em certas frequências, a **combinação dos sinais em percursos múltiplos provoca a redução do sinal recebido, para sinais defasados, ou sua elevação, no caso de sinais em fase**

Modelo de canais móveis

- Um modelo apropriado para o canal deve levar em conta os três efeitos de desvanecimento
- Os fatores que influenciam o desvanecimento são normalmente 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



Modelagem de multipercursos

- Modelo de dois raios

Pode-se definir matematicamente a potência recebida, aplicando-se o modelo de dois raios, pela aplicação da fórmula

$$P_r = P_o \cdot \left(\frac{h_1 \cdot h_2}{d^2} \right)^2$$

Modelagem de multipercursos

- Modelo de dois raios com seletividade de frequência
 - O modelo admite o **ruído aditivo**.
 - Supõe-se **funções de atenuação**, α e β , que têm um efeito multiplicativo no sinal direto e refletido, respectivamente.
 - O efeito líquido do multipercurso é introduzir o desvanecimento seletivo em frequência no sinal transmitido.
 - O atraso no tempo σ para o sinal refletido é considerado constante.

Modelagem de multipercursos

- O sinal recebido é dado por

$$r(t) = a(t).s(t) + \beta(t) s(t - \sigma) + n(t)$$

- Três casos importantes são considerados:
 - no primeiro caso, as funções de atenuação são consideradas independentes do tempo;
 - no segundo caso, elas são consideradas variantes no tempo, mas determinísticas;
 - finalmente, considera-se que as duas funções têm natureza aleatória.

Modelagem de multipercursos

- No caso de funções de atenuação constante, o módulo ao quadrado da função de transferência do canal pode ser obtido diretamente da equação

$$|H(w)|^2 = \alpha^2 + \beta^2 + 2 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \cos(w\sigma)$$

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

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

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

em que A_k representa a transformada de Fourier de α_k .

Modelo estatístico do canal

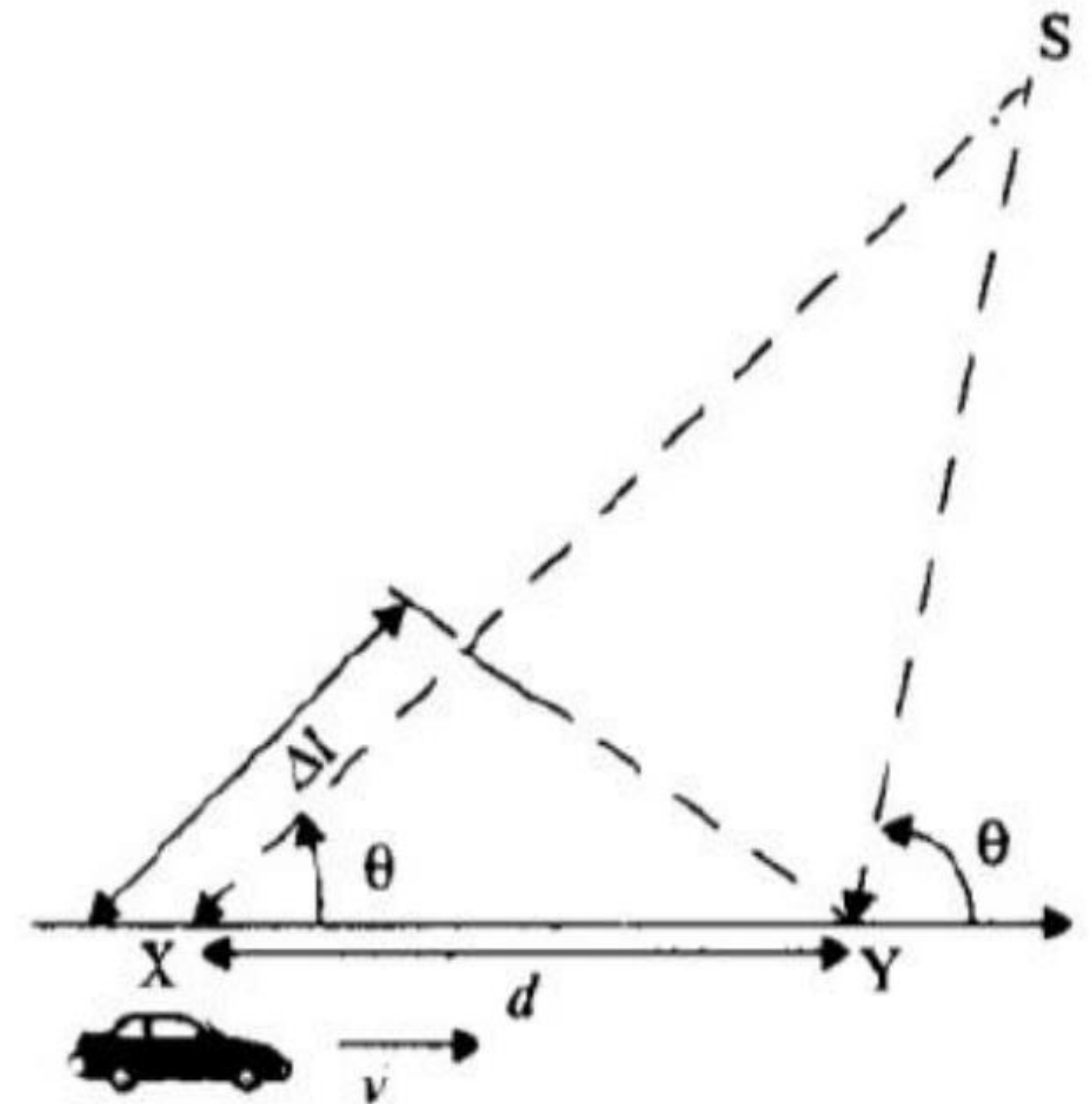
- Os **desvanecimentos temporal e de seletividade de frequência** estão relacionados mais intensamente com as flutuações rápidas do canal **relacionadas com o deslocamento entre transmissor e receptor**, por esse motivo chamado de **desvanecimento rápido**.
- A resposta em frequência de um canal variante no tempo é denotada por $H(w,t)$ e obtida por meio da transformada de Fourier da resposta ao impulso em relação à variável τ , $h(\tau, t)$.

Efeito Doppler

- Parâmetros:
 - Banda passante de correlação (w_c): sinais transmitidos em que a banda é menor do que a banda passante de correlação, então todos os componentes espectrais sofrem variações similares.
 - Espalhamento de atraso $\sigma_{RMS}=1/w_c$.
 - Tempo de coerência (t_c)
 - Frequência ou banda Doppler (f_D):
$$f_d = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{v}{\lambda} \cos\theta$$

Modelo estatístico do canal

- A frequência percebida é diferente da portadora.
- Se o movimento é de aproximação do transmissor: $f = f_c + f_d$, em caso contrário é igual a $f = f_c - f_d$.
- $f_D = 1/t_c$.



Perdas em propagação

- O sinal sofre perdas de propagação relacionadas com alguns fatores, além das causas já mencionadas, como:
 - Perda de propagação na área próxima à antena da ERB
 - Perda de propagação a grandes distâncias
 - Perda de propagação em espaço livre
 - Perda ao longo da superfície terrestre
 - Propagação sobre a água
 - Perda por folhagem



IBMEC.BR

 /IBMEC

 IBMEC

 @IBMEC_OFICIAL

 @IBMEC

 **ibmec**