



# Propagação Radioelétrica

2017/II

Profa. Cristina

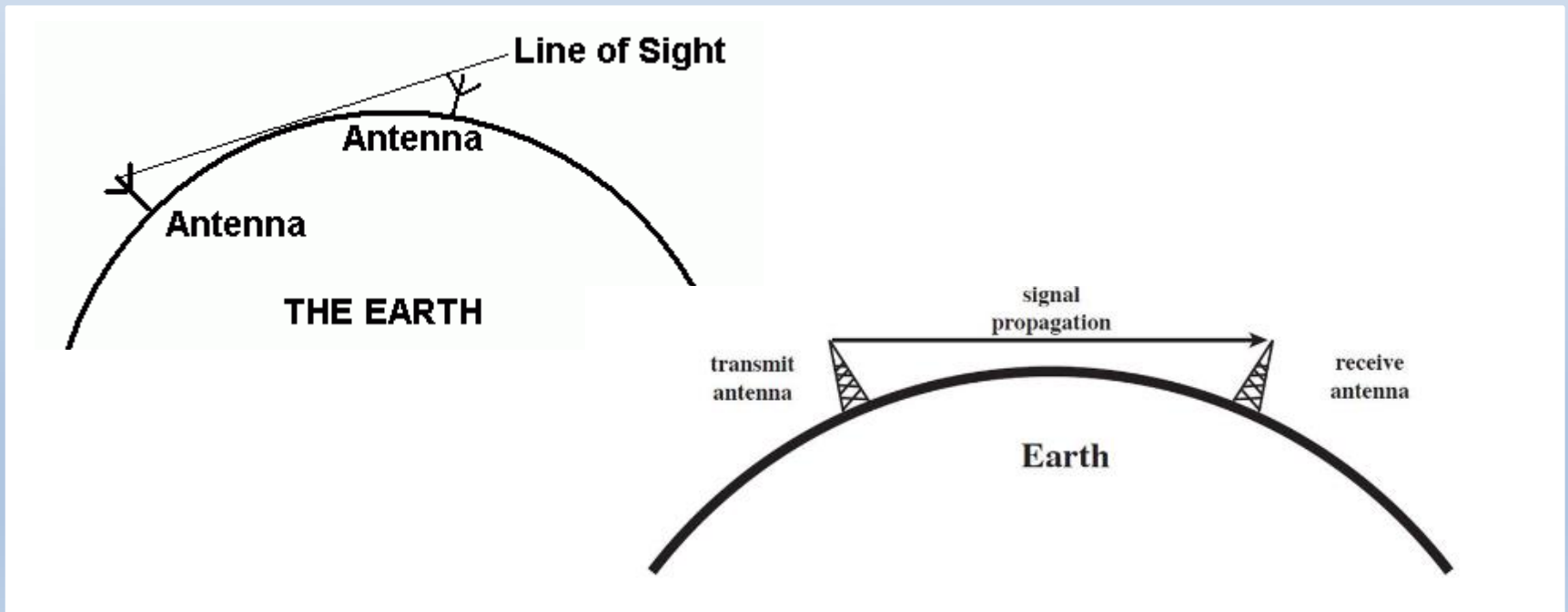
# Módulo III

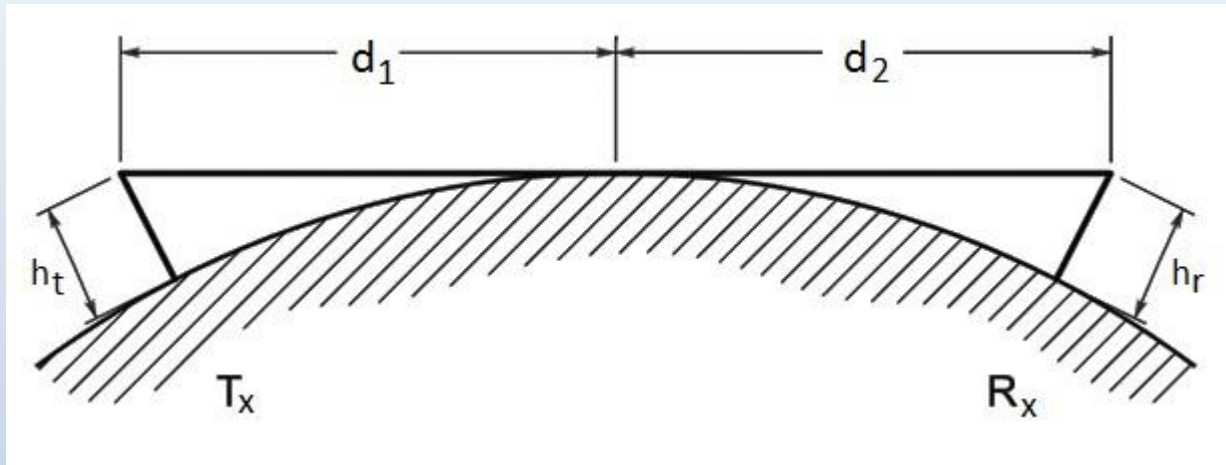
Distância em visada direta

Zona de Fresnel

Zona de interferência e Zona de difração

- Devido à curvatura da Terra, existe uma distância limite para a qual a antena receptora tem uma visão não obstruída da antena transmissora.
- Esta distância é chamada “distância de visada”.

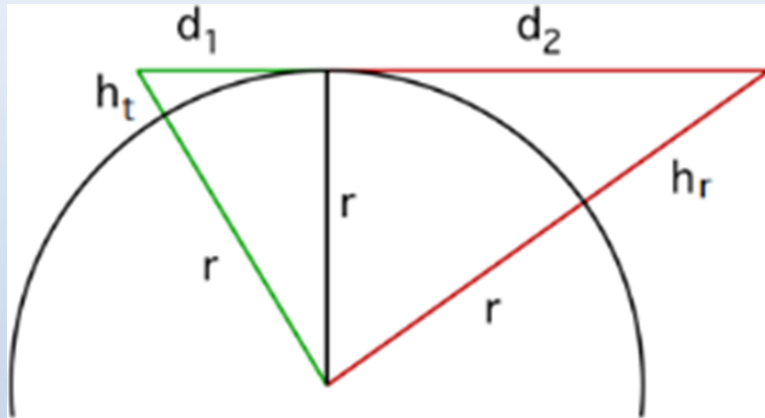




Se tivermos duas torres de alturas  $h_t$  ( $T_x$ ) e  $h_r$  ( $R_x$ ), a **máxima distância** entre elas, em linha de visada, será a soma de suas distâncias ao horizonte, respectivamente,  $d_1$  e  $d_2$ .

$$d = d_1 + d_2$$

Para determinar a distância máxima  $d = d_1 + d_2$ , consideremos a figura a seguir.



$$d_1^2 = (h_t + r)^2 - r^2$$

$$d_2^2 = (h_r + r)^2 - r^2$$

$$d_1^2 = h_t^2 + 2h_tr + r^2 - r^2 = h_t^2 + 2h_tr$$

$$d_2^2 = h_r^2 + 2h_rr + r^2 - r^2 = h_r^2 + 2h_rr$$

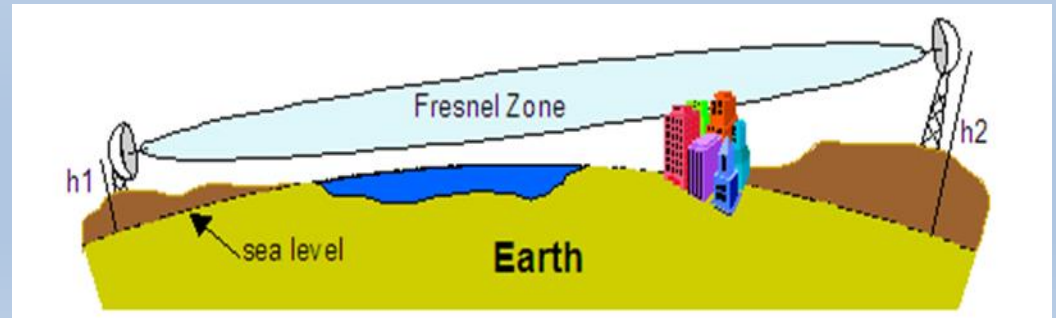
Dado que  $r$  será sempre muito maior do que  $h_t^2$  e  $h_r^2$  (raio efetivo da Terra = 6370 km), podemos escrever que

$$d_1 = \sqrt{2h_tr} \quad \text{e} \quad d_2 = \sqrt{2h_rr}, \quad \text{de onde,}$$

$$d = d_1 + d_2 = \sqrt{2h_tr} + \sqrt{2h_rr} = \sqrt{2r}\sqrt{h_t} + \sqrt{2r}\sqrt{h_r} = \sqrt{2r}(\sqrt{h_t} + \sqrt{h_r}), \quad \text{ou}$$

$$d_{[km]} = \sqrt{2r} (\sqrt{h_t} + \sqrt{h_r}) = 3.57 (\sqrt{h_t} + \sqrt{h_r})$$

- Quando não há nenhum obstáculo, e uma antena consegue enxergar perfeitamente a outra, dá-se o nome de visada direta, ou seja, não ocorrerá problema na comunicação entre transmissor e receptor, fazendo com que o link não seja afetado.
- Quando há obstáculos no caminho de propagação, os sinais obstruídos são recebidos parcialmente (a difração permite que as ondas atinjam antenas receptoras fora da linha de visada, mesmo sob obstrução).
- A **Zona de Fresnel** define uma região (elipsóide) dentro da qual a maior parte da energia do sinal está contida, de tal forma que, estando esta região (ou boa parte dela) livre de obstáculos, se terá garantia de propagação em condições de espaço-livre.
- A Zona de Fresnel é, portanto, um aspecto de suma importância no planejamento de um link *wireless*.



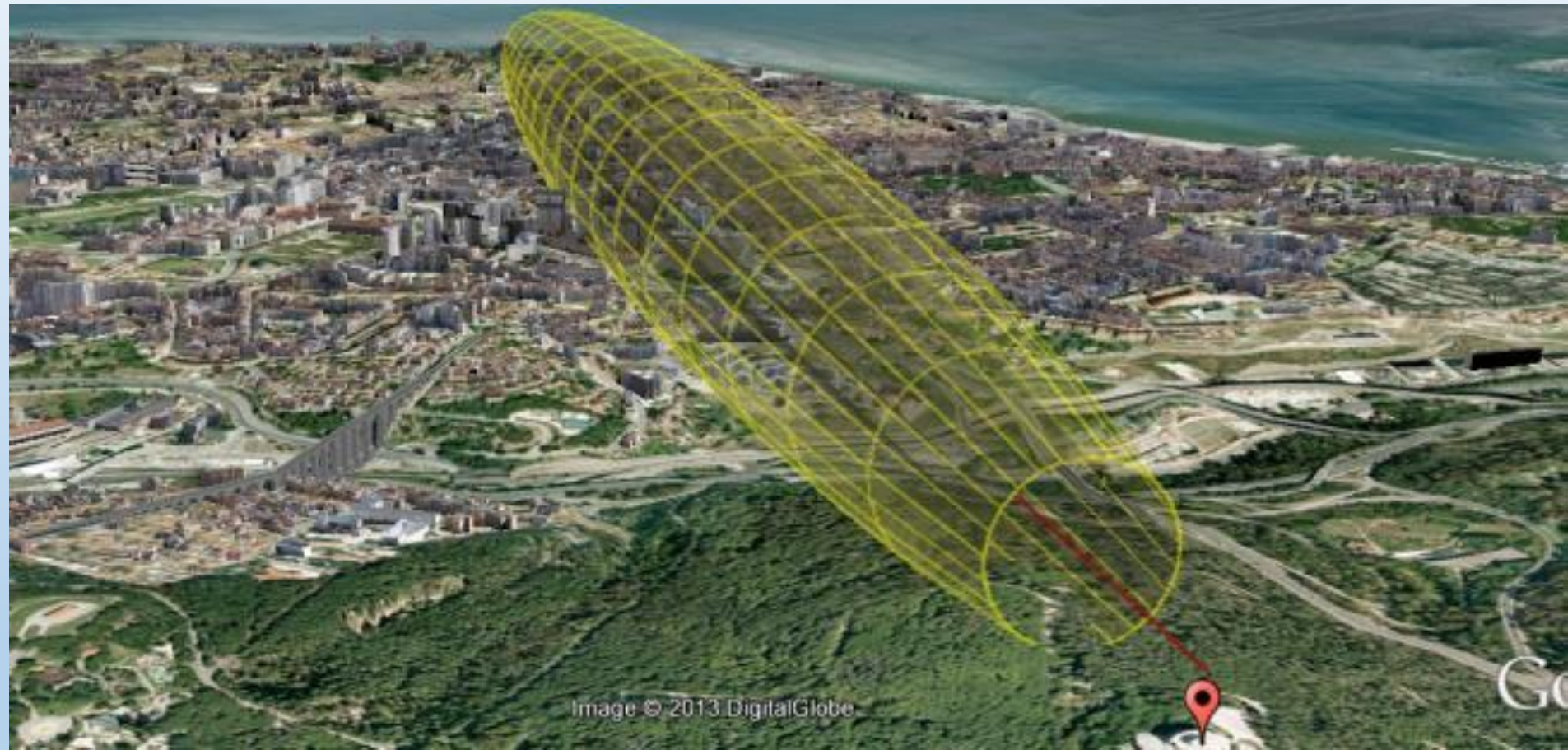
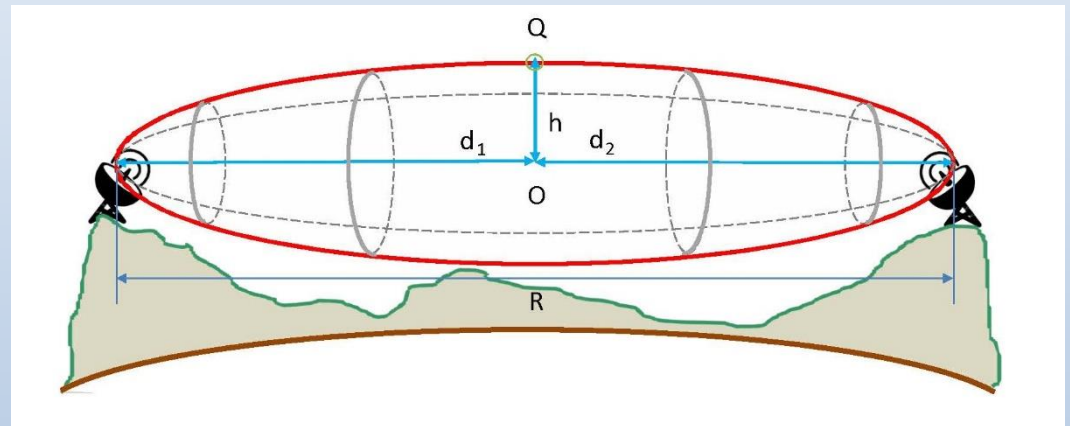


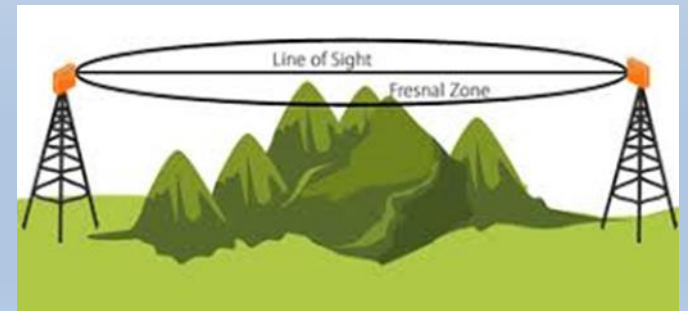
Image © 2013 DigitalGlobe

A Zona de Fresnel pode ser definida como uma série de círculos concêntricos de diferentes raios em torno da linha de visada (seções circulares de um elipsoide cujas extremidades estão na antena Tx e na antena Rx), conforme mostram as figuras abaixo.

Ela é importante para a integridade do link, porque determina uma área em torno da linha de visada que, se obstruída, pode introduzir atenuação no sinal.



Objetos na Zona de Fresnel tais como árvores e prédios, entre outros, podem produzir reflexão, difração, absorção ou espalhamento do sinal, causando degradação ou perda completa do sinal.

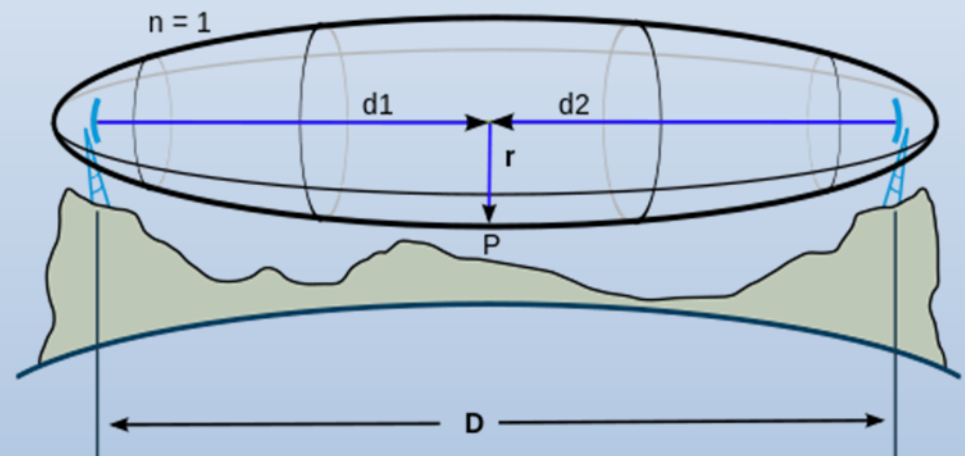




Fresnel estabeleceu que a quantidade de energia transmitida ao longo do espaço livre e recebida em um determinado ponto, ao longo da trajetória, está contida no volume de um elipsóide cujo tamanho depende do comprimento da onda e da distância entre Tx e Rx.

As múltiplas zonas de Fresnel são definidas a partir de um índice  $n$  inteiro. O Raio da  $n$ -ésima zona de Fresnel é dado por:

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$



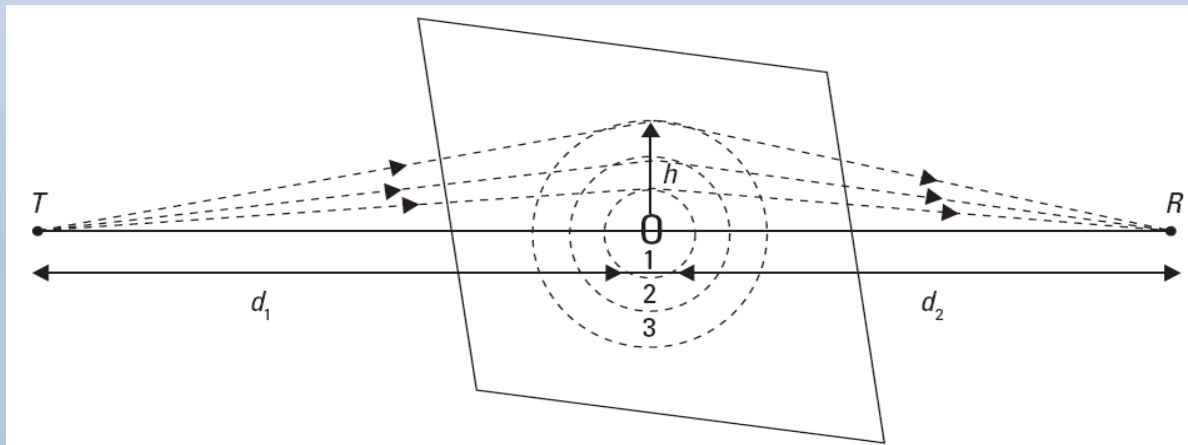
$r_n$  = raio da  $n$ -ésima zona de Fresnel ( $m$ )

$d_1$  = distância do ponto P para uma das antenas ( $m$ )

$d_2$  = distância do ponto P para a outra antena ( $m$ )

$\lambda$  = comprimento de onda do sinal transmitido ( $m$ )

- As Zonas de Fresnel explicam a perda de difração como uma função da diferença de caminho em torno de uma obstrução.
- As Zonas de Fresnel representam regiões sucessivas de ondas secundárias que têm uma extensão de caminho do transmissor ao receptor que é  $n\lambda/2$  vezes maior do que a extensão total do caminho na linha de visada, onde  $n$  é o índice do raio da zona de Fresnel.
- Consideremos a projeção dos círculos concêntricos sobre um plano perpendicular à direção de propagação da onda, conforme figura abaixo.



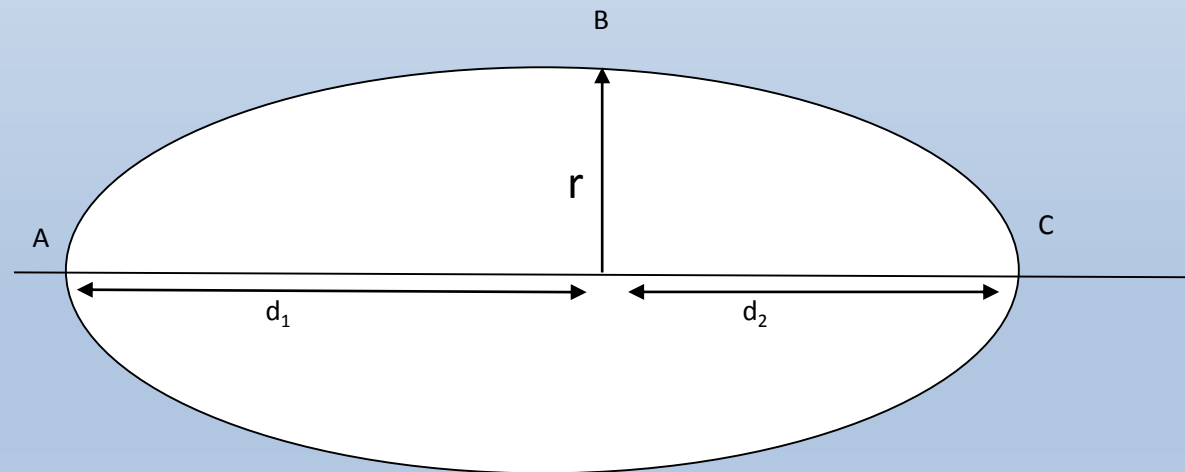
- Os círculos concêntricos definem os limites das Zonas de Fresnel sucessivas.
- As ondas possuem fases diferentes em cada zona de Fresnel, cada uma delas defasada de  $\lambda/2$ .

- O Raio da primeira Zona de Fresnel (em metros) é dado por

$$r_1 = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

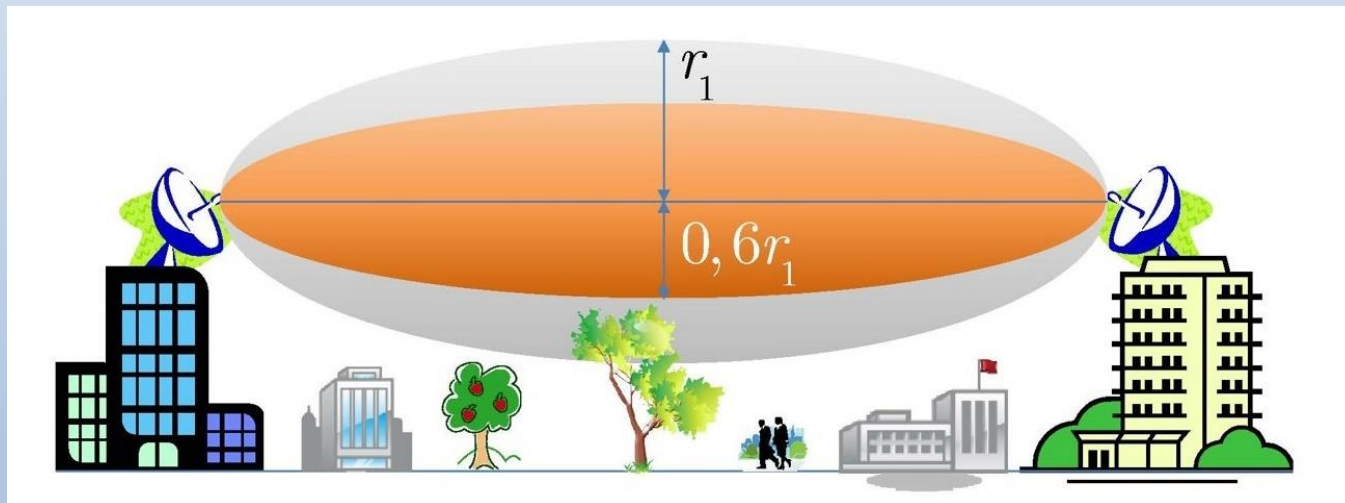
- O Raio da  $n$ -ésima Zona de Fresnel (em metros) é dado por

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$



Primeira zona de Fresnel

- Levando em conta a importância de uma Zona de Fresnel desobstruída, é necessário quantificar até que grau a Zona de Fresnel pode ser bloqueada sem que haja perda significativa do sinal.
- Para maximizar a performance do *link wireless* é requerido que pelo menos 60% da primeira zona de Fresnel estejam liberados de qualquer obstrução.

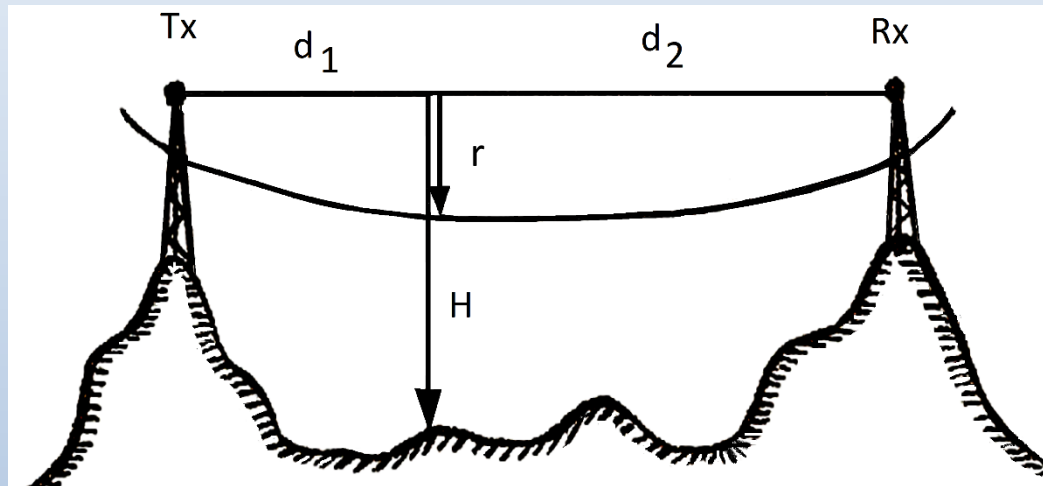


Manter 60% da 1ª zona de Fresnel livre de obstáculos

Bloqueio admitido que não causa efeito pronunciado na degradação do sinal

$FP = H/r$  é denominado **Folga de Percurso** entre duas antenas.

$FV = H - r$  é denominado **Folga de Visada** entre duas antenas.



- $H$  é a distância entre a linha de visada direta e um ponto qualquer do terreno do percurso entre Tx e Rx,
- $r$  é o raio da primeira Zona de Fresnel.

- A linha de visada direta é traçada da antena transmissora até a antena receptora.
- O ponto qualquer do percurso, que serve de referência para o traçado de  $H$ , está situado à distância  $d_1$  da antena transmissora e à distância  $d_2$  da antena receptora.

# Zona de interferência e Zona de difração

- As condições de espaço livre na prática não ocorrem, e as ondas eletromagnéticas sofrem efeitos de absorção e reflexão no percurso do terreno entre antena transmissora e receptora.
- Estes efeitos são decorrentes do caminho de propagação na atmosfera, que é influenciado pelas condições geográficas do terreno, e pelos efeitos de propagação na atmosfera.
- No entanto, existem algumas condições em que podemos assumir que a propagação está ocorrendo de forma aproximada à propagação no espaço livre.

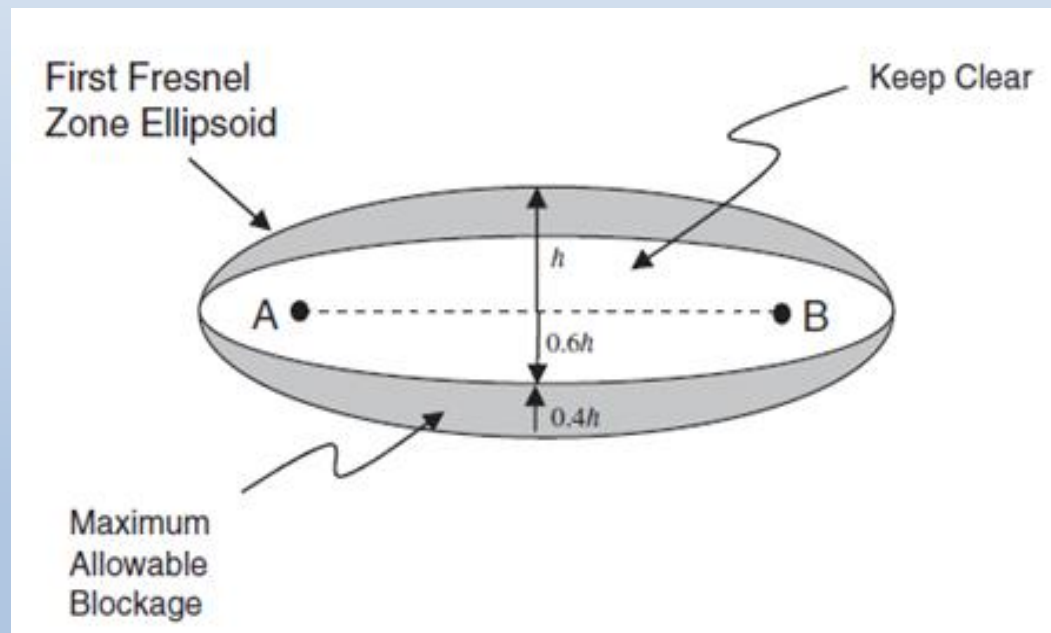
- **Zona de interferência** é a região entre as antenas em que ocorre a superposição da onda direta e de uma onda refletida pela superfície do terreno no percurso entre TX e RX, ocasionando interferência entre as duas ondas (direta e refletida) que incidem na antena receptora. A interferência pode ser qualquer situação entre interferência destrutiva e construtiva.
- Na zona de interferência, 60% da primeira Zona de Fresnel está desobstruída. No entanto, o sinal que incide na antena receptora sofre os efeitos de interferência acima descritos.

- **Zona de difração** é a região entre as antenas em que a onda eletromagnética sofre difração ao incidir em algum objeto no interior da Zona de Fresnel, atenuando a onda que incide na antena receptora.
- Na zona de difração, 60% da primeira Zona de Fresnel não está desobstruído. E, portanto, o obstáculo no interior desta região provocará difração, fazendo com que a onda chegue atenuada na antena receptora.



# Zona de interferência e Zona de difração

- A propagação se processa na zona de interferência quando a folga de percurso  $H/r$  é maior do que 0.6 do raio da primeira zona de Fresnel.
- Na figura a seguir vemos que o receptor encontra-se na zona de interferência do transmissor.



# Zona de interferência e Zona de difração

- A propagação se dará por difração quando a folga de percurso for inferior a 0.6 do raio da primeira zona de Fresnel.
- Na figura a seguir vemos que o receptor encontra-se na zona de difração do transmissor.

