



SAA0167

Princípios de Aviação e Navegação

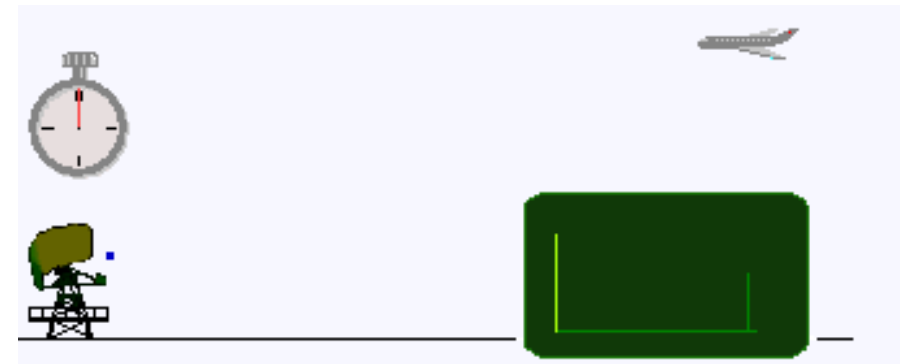
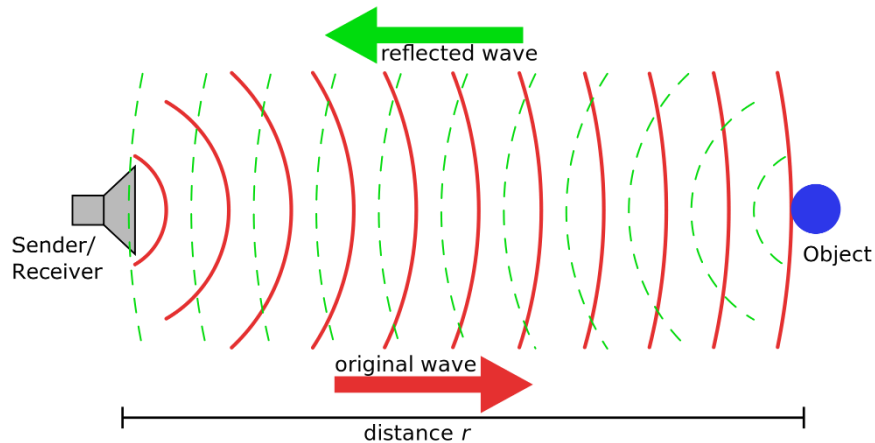
Radar – parte 1

Prof. Dr. Jorge Henrique Bidinotto
jhbidi@sc.usp.br

- **Introdução**
- **Desempenho do Radar**
- **Informações Fornecidas Pelo Radar**
- **Recepção de Sinal**

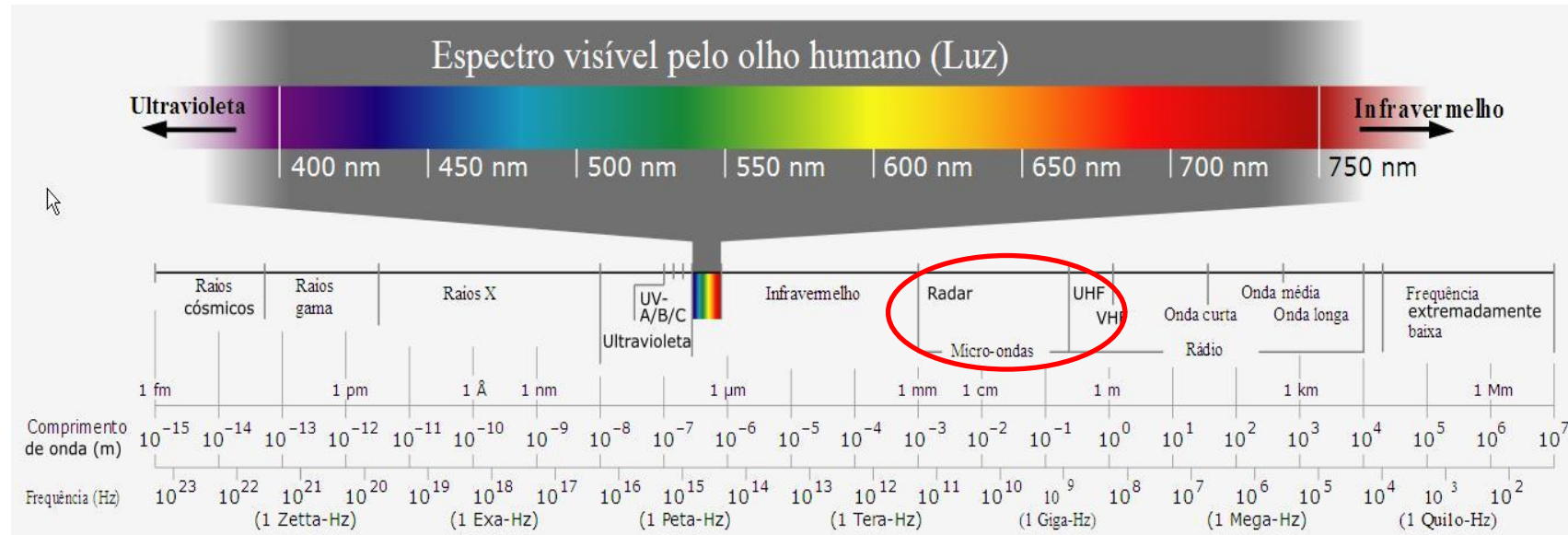
- **Introdução**
- Desempenho do Radar
- Informações Fornecidas Pelo Radar
- Recepção de Sinal

- RADAR – Radio Aided Detection And Ranging
- Utiliza ondas de rádio que são emitidas em pulsos ou continuamente, refletidas em um objeto e retornam para a fonte de emissão
- O tempo que a onda leva para fazer o trajeto permite calcular a distância do objeto



FONTE: Wikipedia

- As ondas utilizadas podem variar de 0,5 GHz a 100 GHz, abrangendo ondas UHF e micro-ondas

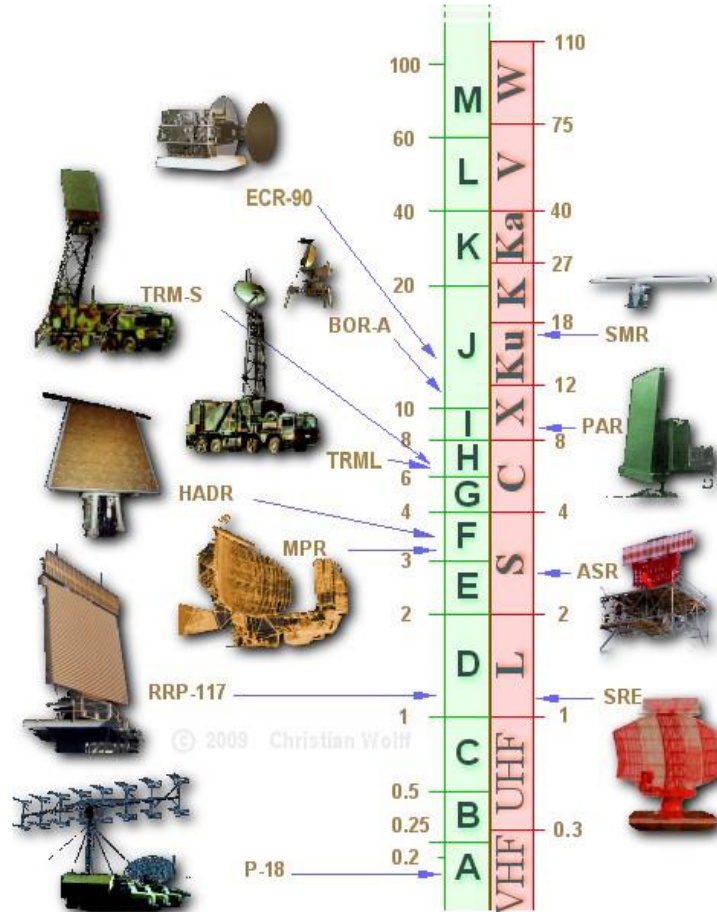


FONTE: lusoacademia.org

- Classificações (antiga e nova) das ondas utilizadas em radares

Classificação Nova

Classificação	Faixa de Freq
M	60-100 GHz
L	40-60 GHz
K	20-40 GHz
J	10-20 GHz
I	8-10 GHz
H	6-8 GHz
G	4-6 GHz
F	3-4 GHz
E	2-3 GHz
D	1-2 GHz
C	0,5-1 GHz
B	0,25-0,5 GHz
A	> 0,25 GHz



FONTE: radartutorial.eu

Classificação Antiga

Classificação	Faixa de Freq
W	75-111 GHz
V	40-75 GHz
KA	26-40 GHz
K	18-26 GHz
KU	12,4-18 GHz
X	8-12,4 GHz
C	4-8 GHz
S	2-4 GHz
L	1-2 GHz
UHF	0,3-1 GHz
VHF	> 0,3 GHz

- Introdução
- **Desempenho do Radar**
- Informações Fornecidas Pelo Radar
- Recepção de Sinal

- Vários fatores podem afetar o desempenho do Radar:
 - Frequência da onda
 - Atmosfera
 - Ruído
 - Tamanho da antena
- Tais fatores serão estudados separadamente, mas em resumo, afetam da seguinte forma:

Frequência	Compr. Onda *	Atenuação Atmosférica	Tamanho Antena	Potência Requerida
Baixa	Longo	Baixa	Grande	Alta
Alta	Curto	Alta	Pequeno	Baixa

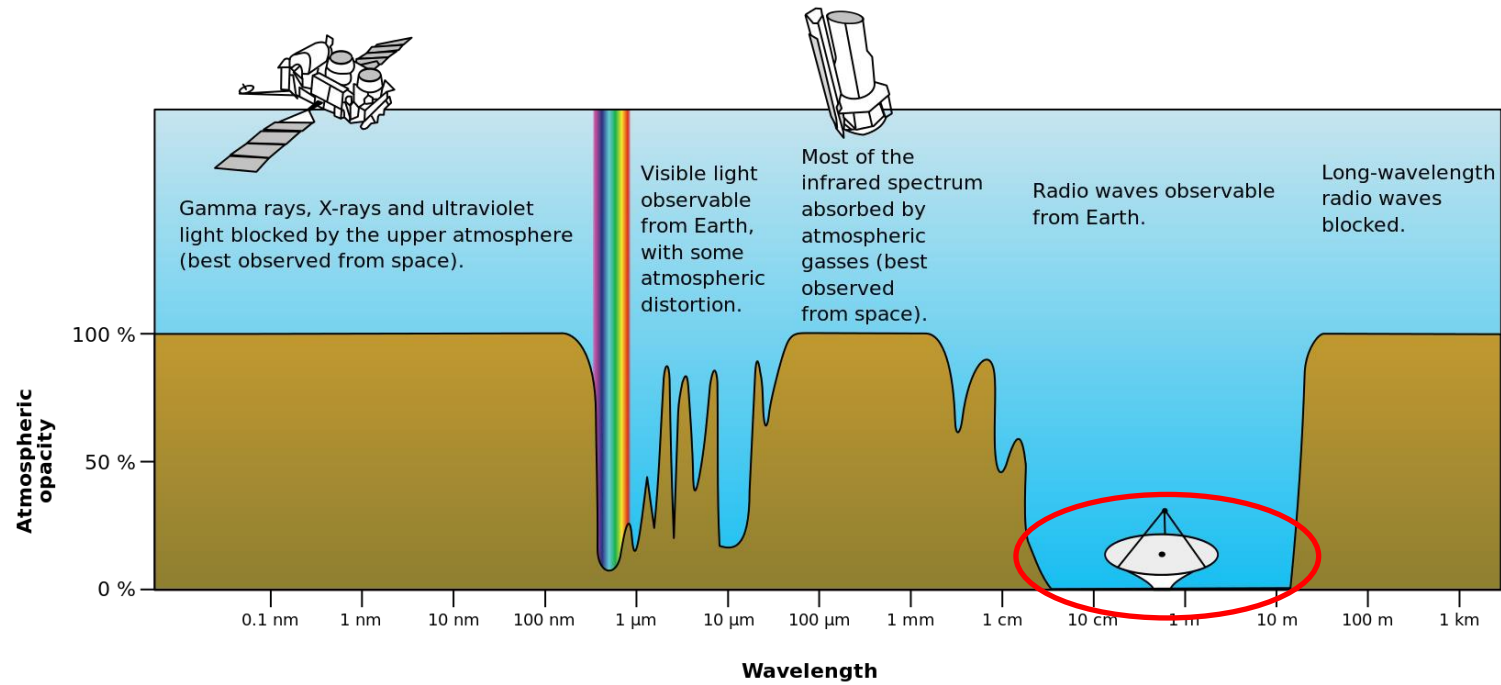
$$* f = \frac{c}{\lambda}$$

frequência ← * $f = \frac{c}{\lambda}$ → Vel. da luz
Comprimento de onda

- **Frequência da onda**
- A escolha da frequência é o que vai determinar todo o projeto do radar
- Frequências menores possuem um alcance mais longo
- Frequências maiores são menos sujeitas a interferências
- A escolha da frequência altera significativamente várias características do radar, como o tamanho da sua antena e o tamanho dos objetos detectados

- **Atmosfera**
- Dois fenômenos atmosféricos podem atenuar a transmissão das ondas do radar:
- Absorção: fração da energia absorvida principalmente por moléculas de oxigênio e por vapor d'água
- Em geral é quase desprezível em frequências de rádio

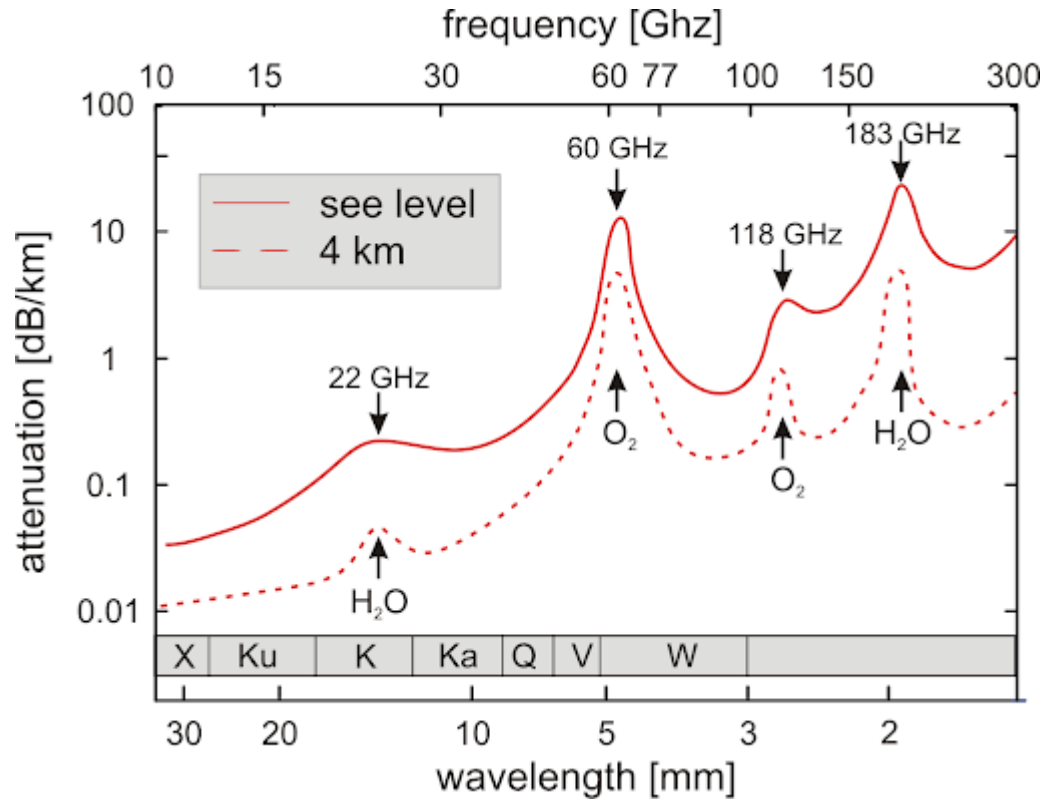
- Atmosfera
- Dois fenômenos atmosféricos podem atenuar a transmissão das ondas do radar:
- Absorção:



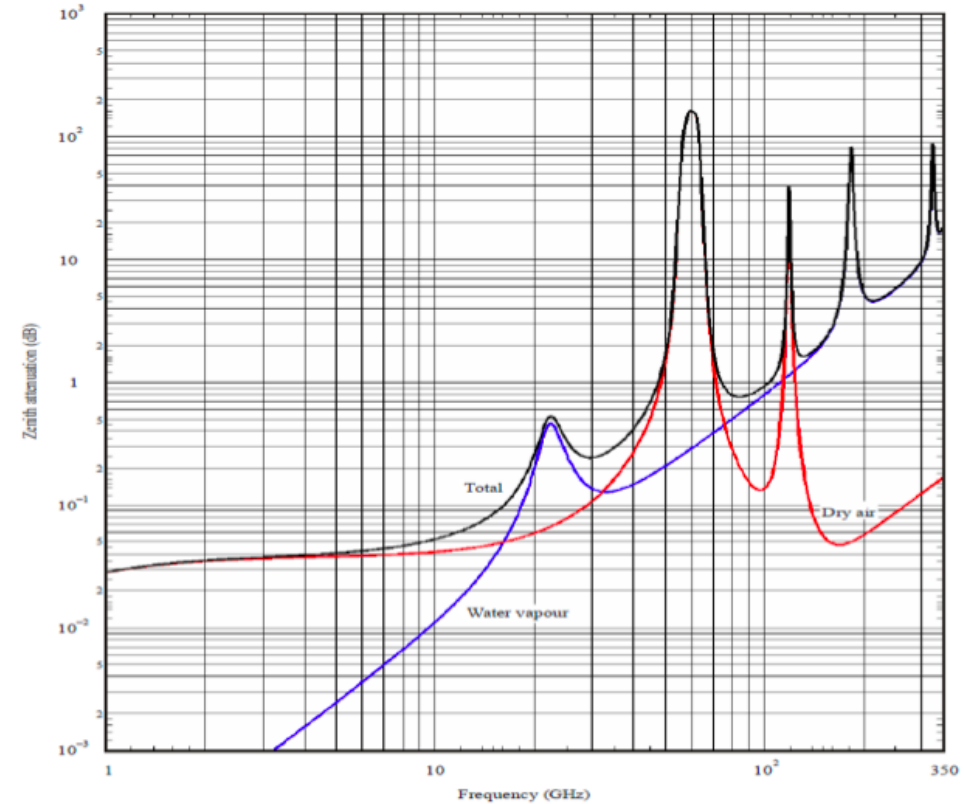
FONTE: Wikipedia

- **Atmosfera**
- Dois fenômenos atmosféricos podem atenuar a transmissão das ondas do radar:
- Dispersão: é a energia dispersada por partículas suspensas no ar, como fumaça, vapor de água condensado, poluição, etc.
- A soma dos dois fenômenos causa a atenuação do sinal de radar, que também depende da frequência

- Atmosfera



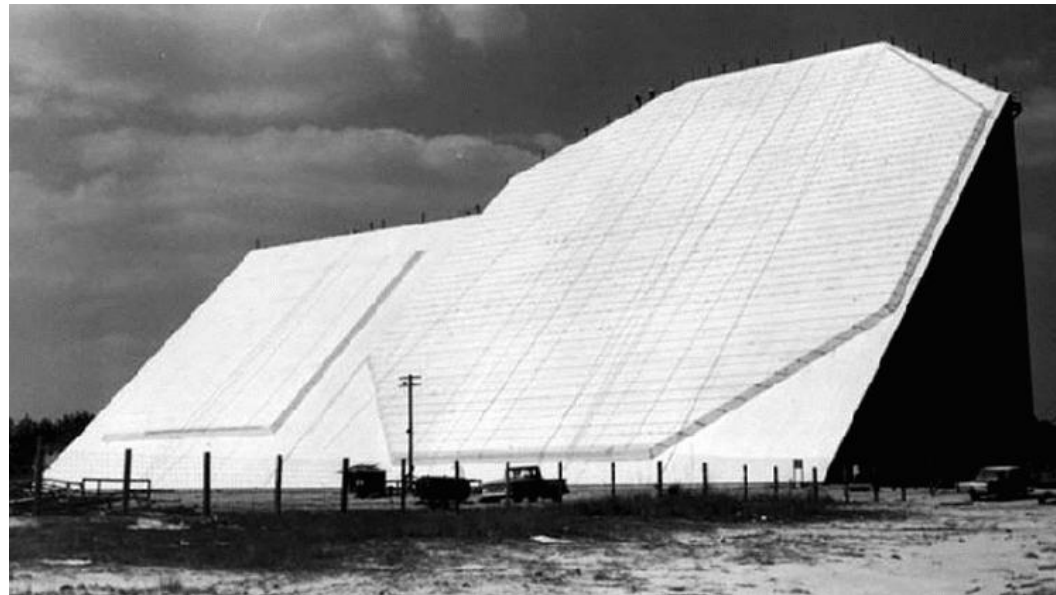
FONTE: gorgia.no-ip.com



FONTE: propagation.ece.gatech.edu

- **Ruído**
- Existem três fontes principais de ruído no radar:
- Ruído elétrico: ocorre principalmente em frequências HF (3 a 30 MHz)
- Ruído devido à ação humana: ocorrem acima de 10 GHz, ficando mais forte na faixa de 20 a 40 GHz
- Na faixa entre 0,3 e 10 GHz, o nível de ruído é menor, mas está sujeito a ruído galáctico, dependendo de atividade solar e outros fatores externos ao planeta

- **Tamanho da Antena**
- O tamanho da antena é diretamente proporcional ao comprimento de onda, portanto inversamente proporcional à frequência
- Logo, quanto menor a frequência, maior deve ser a antena



FONTE: fas.org

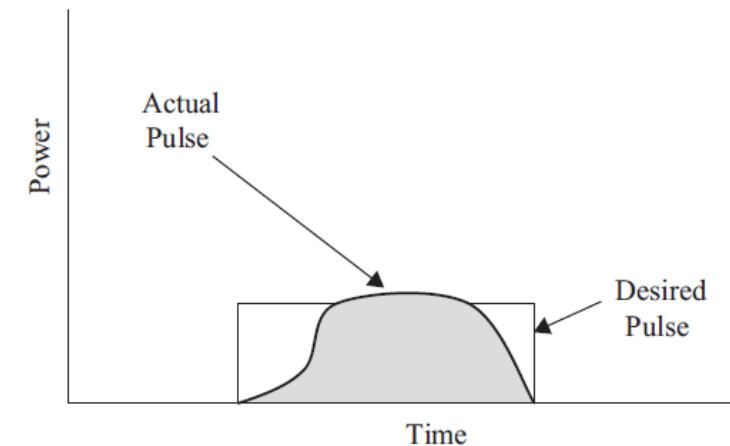
- Introdução
- Desempenho do Radar
- **Informações Fornecidas Pelo Radar**
- Recepção de Sinal

- O uso do radar pode fornecer ao operador as seguintes informações:
 - Distância
 - Variação de distância
 - Azimute (direção)
 - Elevação
- O obtenção de cada informação será analisada separadamente

- **Distância (Range):**
- É obtida simplesmente pelo tempo necessário para a onda ir, refletir no alvo e voltar. Esse tempo (em μs) dividido por 2 (ida e volta), e sabendo que a onda viaja à velocidade da luz, fornece a distância do objeto

$$R = \frac{c}{2} \Delta t$$

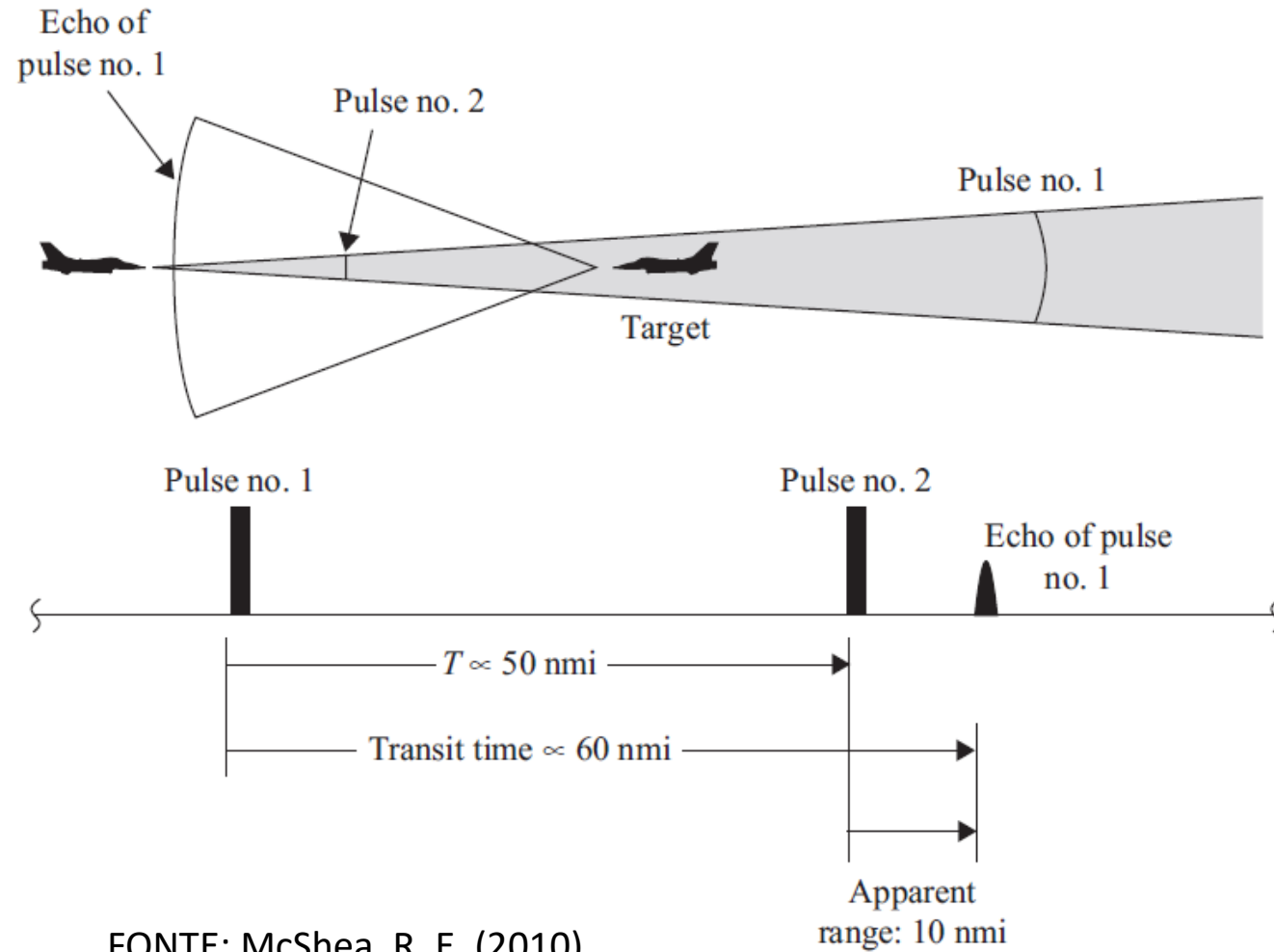
- A acurácia da leitura depende do formato do pulso enviado. Idealmente o pulso deve ser quadrado e ter seu início e fim bem definidos
- A presença de uma “rampa” determinando o pulso causa imprecisão na leitura



FONTE: McShea, R. E. (2010)

- **Distância (Range):**
- Outro problema possível na medição da distância é a ambiguidade de pulsos
- Quando um objeto está muito longe e/ou o intervalo entre os pulsos (PRI – Pulse Repetition Interval) é pequeno, pode surgir uma ambiguidade dos sinais refletidos
- Essa ambiguidade pode gerar uma leitura errada ou duvidosa de distância

- **Distância (Range):**



FONTE: McShea, R. E. (2010)

- **Distância (Range):**
- Pra evitar esse problema, com o surgimento de uma eventual ambiguidade, o radar pode variar seu PRI da seguinte forma

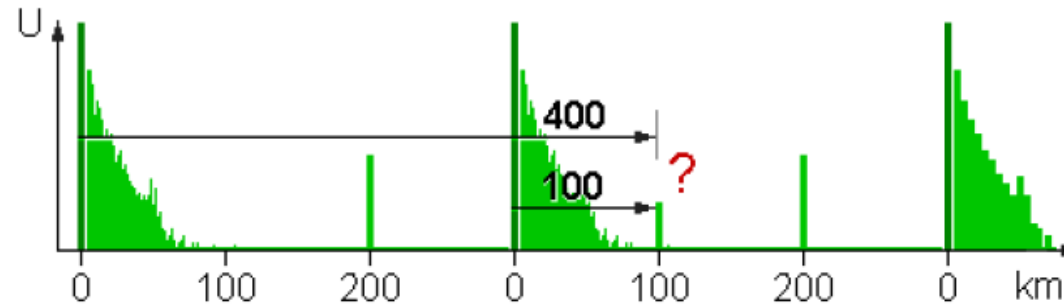


Figure 6: a second-sweep echo in a distance of 400 km assumes a wrong range of 100 km

$$R_u = \frac{c \cdot PRI}{2}$$

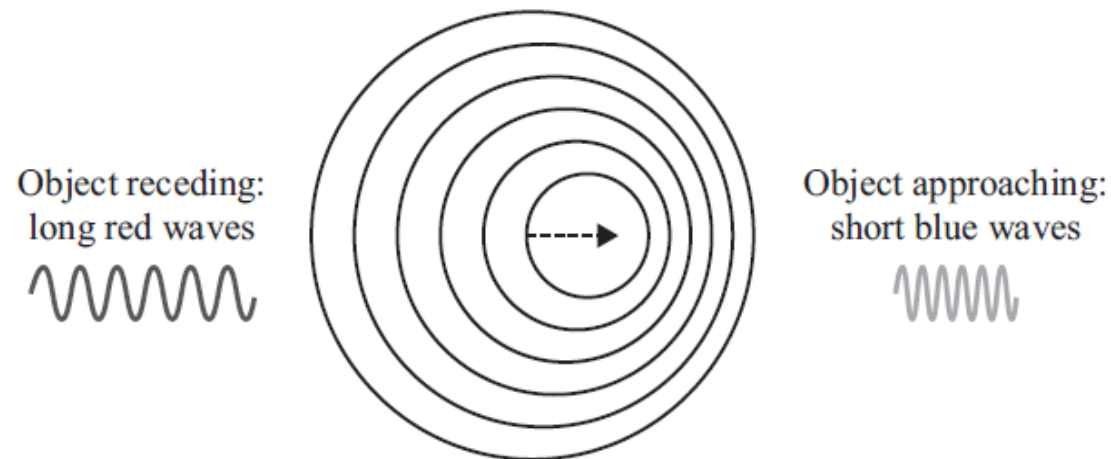
Distância máxima de não-ambiguidade ← R_u

Vel. da luz → c

Intervalo de Repetição de Pulso → PRI

FONTE: radartutorial.eu

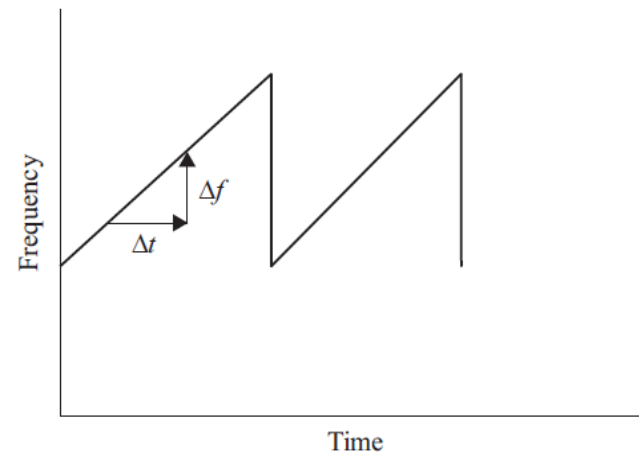
- **Variação de Distância (Range Rate):**
- É a Velocidade relativa entre o objeto detectado e o radar
- A velocidade entre ambos, é medida por efeito Doppler, considerando a diferença na frequência da onda emitida e da onda recebida



FONTE: McShea, R. E. (2010)

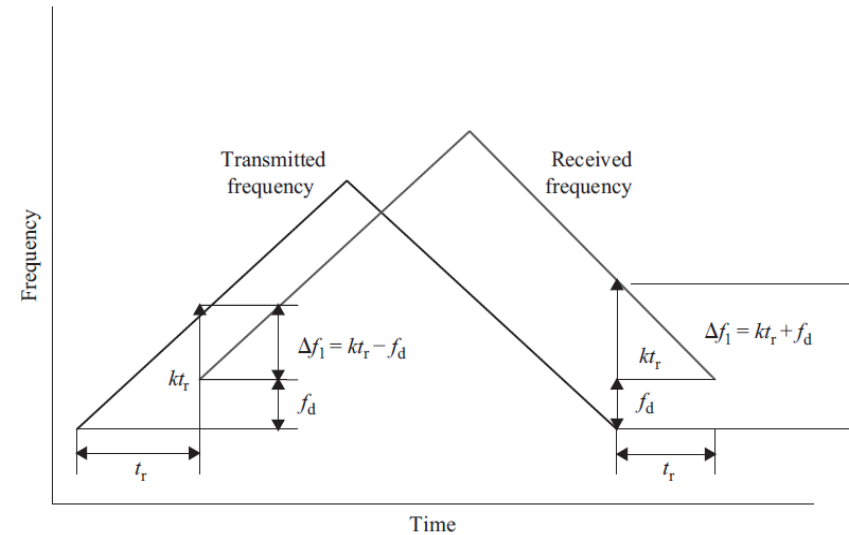
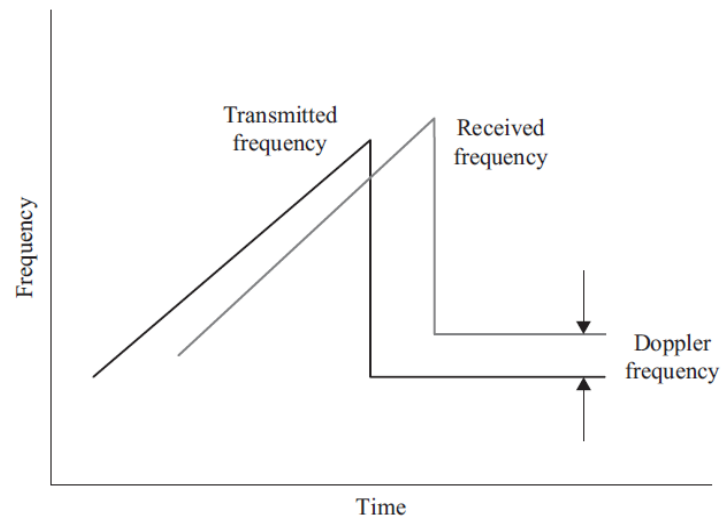
- **Variação de Distância (Range Rate):**
- Quando os dois objetos estão em movimento, se aproximando, a onda sofre três estágios de compressão: na emissão, na reflexão e na recepção
- Para se ter ideia, cada 1 kt de velocidade relativa, varia aproximadamente 35 Hz na frequência da onda

- **Variação de Distância (Range Rate):**
- Para um objeto em movimento utiliza-se ainda a Frequência Modulada do sinal emitido pelo radar
- Com uma frequência precisamente variada, é possível se determinar, por efeito Doppler, a aceleração do objeto detectado



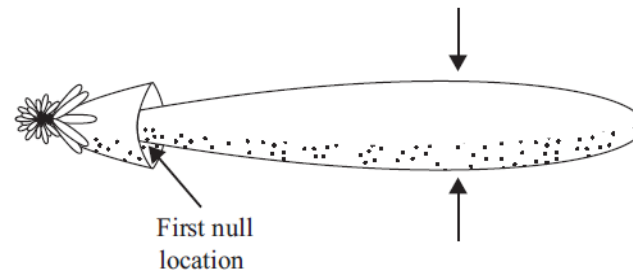
FONTE: McShea, R. E. (2010)

- **Variação de Distância (Range Rate):**
- Essa variação pode ser de diferentes modos



FONTE: McShea, R. E. (2010)

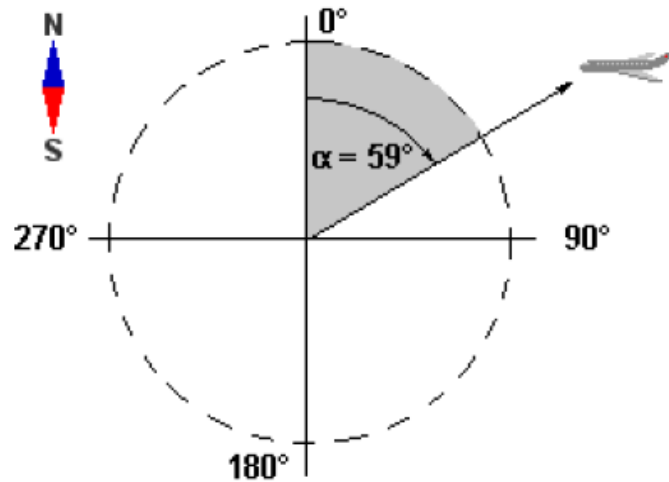
- **Azimute e elevação:**
- Quando essas informações são requeridas, o lóbulo do sinal enviado deve ser mais estreito, o que detecta com mais dificuldade
- Nesse caso pode ser necessário que a antena se movimente para mapear o objeto



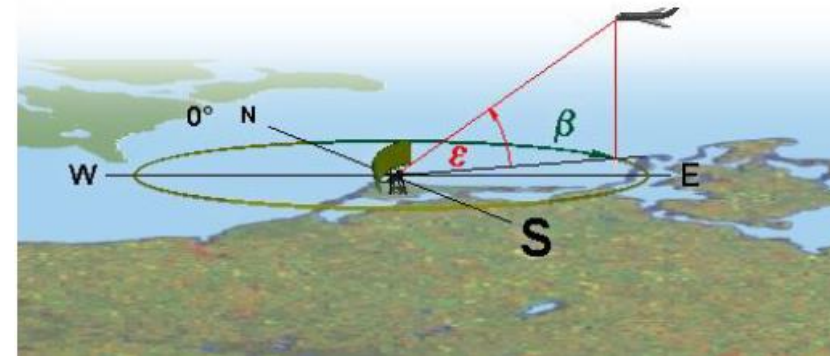
FONTE: McShea, R. E. (2010)

- Azimute e elevação:

Azimute

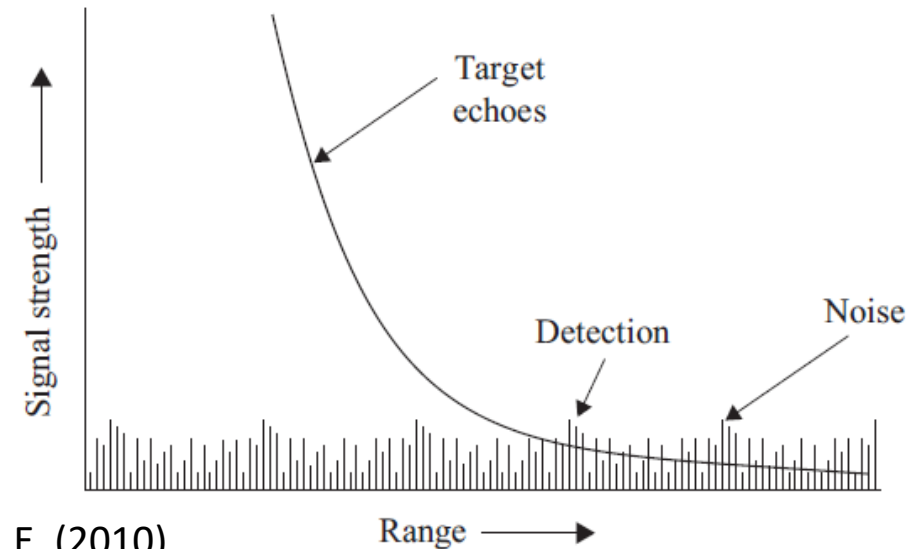


Elevação



FONTE: radartutorial.eu

- **Limitação:**
- Quanto mais longe o objeto detectado, mais fraco é o sinal de retorno, devido a perdas
- Por isso o sistema de radar possui uma distância máxima que pode detectar um objeto
- Essa distância é tal que o sinal de retorno (ou Eco) tem intensidade menor que o ruído recebido



FONTE: McShea, R. E. (2010)

- Introdução
- Desempenho do Radar
- Informações Fornecidas Pelo Radar
- **Recepção de Sinal**

- Existem vários fatores que influenciam na qualidade do sinal que vai retornar até a antena do radar:
 - Potência
 - Tamanho da Antena
 - Características de Reflexão do objeto
 - Tempo de permanência do alvo
 - Frequência/Comprimento de onda da transmissão
 - Intensidade do ruído
 - Processamento
- A potência do sinal recebido pela antena, após a reflexão, é dado pela equação

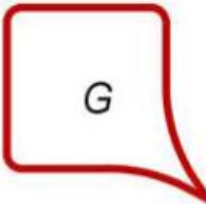
Energia recebida pelo radar [W] após reflexão

$$P_{rx} = P_{tx} \left[\frac{G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma_t}{(4\pi)^3 \cdot R^4 \cdot L_s} \right]$$

Pico da energia enviada pelo radar [W]

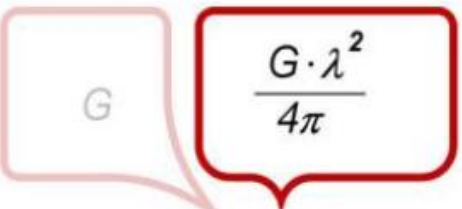
- Ganho da Antena

$$\text{Ganho} = \frac{\text{máxima intensidade do sinal}}{\text{intensidade média do sinal}}$$



$$P_{rx} = P_{tx} \cdot \left(\frac{G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma_t}{(4\pi)^3 \cdot R^4 \cdot L_s} \right)$$

- Abertura da antena (ou área efetiva)
- Todo sinal é enviado, mas apenas uma parte é recebido após a reflexão (com um mesmo ganho). Essa grandeza mede o quanto a antena é capaz de receber de energia após um sinal enviado



$$P_{rx} = P_{tx} \cdot \left(\frac{G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma_t}{(4\pi)^3 \cdot R^4 \cdot L_s} \right)$$

- Seção (cross section)
- Determina a capacidade que um alvo tem de receber o sinal e refletir de volta para a antena. Depende da geometria do alvo, da direção que o radar está apontado, da frequência do sinal e do material do alvo

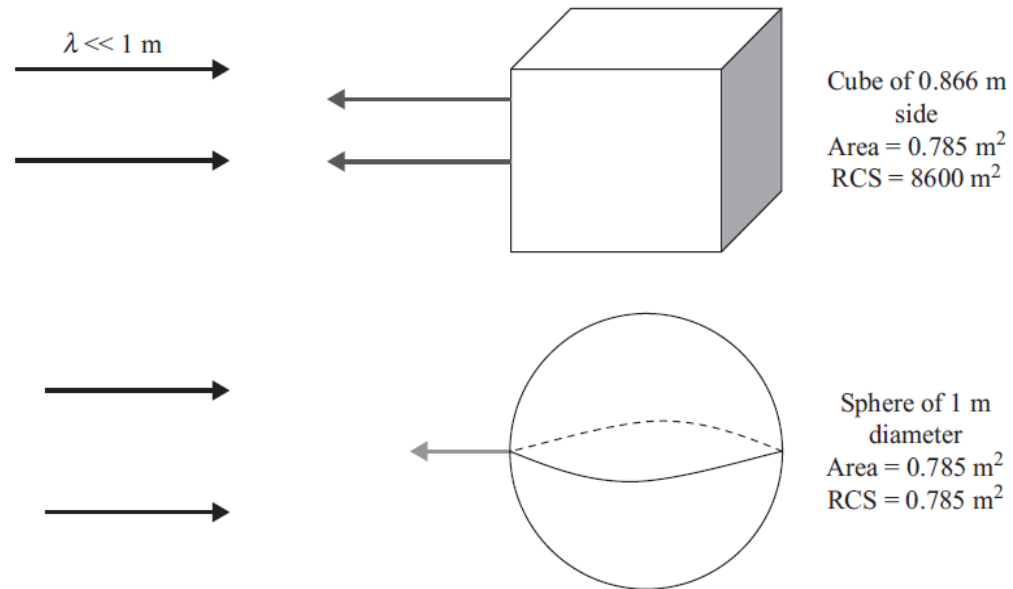
$$P_{rx} = P_{tx} \cdot \left(\frac{G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma_t}{(4\pi)^3 \cdot R^4 \cdot L_s} \right)$$

Targets	$\sigma_t [m^2]$
Jumbo Jet	100
jet airliner	20 ... 40
large fighter	6
helicopter	3
four-passenger jet	2
small aircraft	1
stealth jet	0.1 ... 0.01



FONTE: Wikipedia

- Seção (cross section)

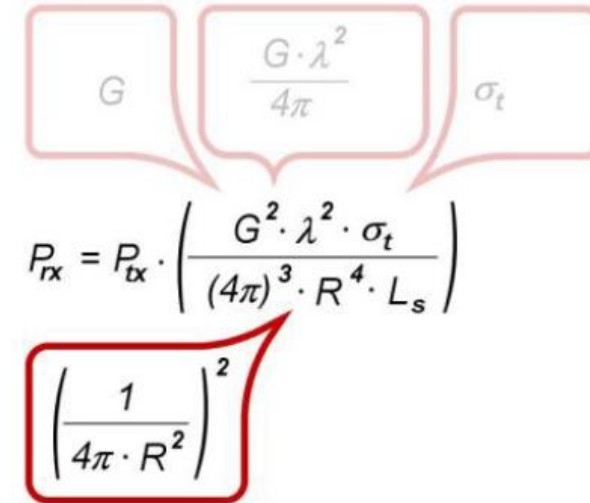


FONTE: McShea, R. E. (2010)



FONTE: Wikipedia

- Perdas do sinal do espaço
- R = Range (distância do alvo)



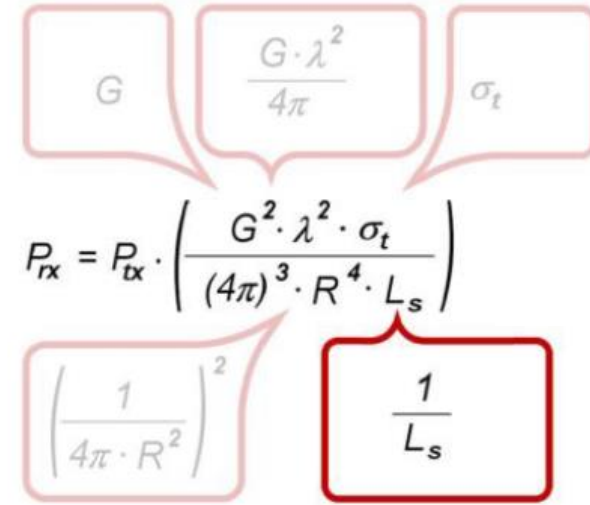
$$P_{rx} = P_{tx} \cdot \left(\frac{G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma_t}{(4\pi)^3 \cdot R^4 \cdot L_s} \right)$$

$$\left(\frac{1}{4\pi \cdot R^2} \right)^2$$

- Perdas externas

Component	Symbol	Loss
atmospherics loss	L_a	1.2 dB
beam shape loss	L_{ant}	1.3 dB
beam width factor	L_B	1.2 dB
filter matching loss	L_m	0.8 dB
fluctuation loss (for $P_d=0.9$)	L_f	8.4 dB
integration loss	L_i	3.2 dB
miscellaneous signal-processing loss	L_x	3.0 dB
receive line loss	L_r	1.0 dB
transmit line loss	L_t	1.0 dB
total system loss	L_s	21.1 dB

FONTE: radartutorial.eu



$$P_{rx} = P_{tx} \cdot \left(\frac{G \cdot \lambda^2 \cdot \sigma_t}{(4\pi)^3 \cdot R^4 \cdot L_s} \right)$$

Em unidades métricas: 128,8

- Partindo dessa equação é possível se calcular o máximo alcance de um determinado radar

$$P_{rx} = P_{tx} \left[\frac{G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma_t}{(4\pi)^3 \cdot R^4 \cdot L_s} \right] \xrightarrow{\text{Isolando-se R}} R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_{tx} \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma_t}{(4\pi)^3 \cdot P_{MDS} \cdot L_s}}$$

Mínimo sinal recebido
(igual ao ruído externo)

- Exemplo de aplicação

FONTE: radartutorial.eu

Radar Range Equation Parameter		
	Metric units	Decibels
Radiated Power P_{tx}	$1 \cdot 10^6 \text{ W}$	60 dBW
Antenna Gain G	1900	32.8 dB
Transmitters Wavelength λ (at 2,700 MHz)	0.11m	
Radar Cross Section σ (e.g. of a small aircraft)	1 m²	
MDS echo P_{MDS}	$5 \cdot 10^{-15} \text{ W}$	-113 dBm
Sum of losses (see: Table 2) L_s	128.8	21.1 dB

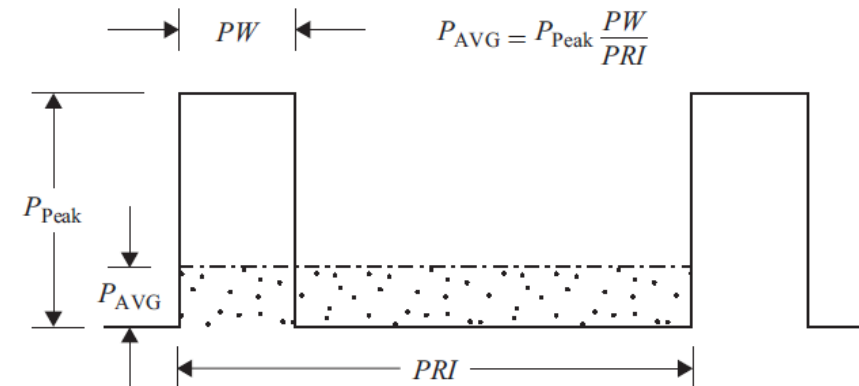
$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_{tx} \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma_t}{(4\pi)^3 \cdot P_{MDS} \cdot L_s}} = \sqrt[4]{\frac{1 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot 1900^2 \cdot 0.11^2 \cdot 1\text{m}^4}{(4\pi)^3 \cdot 5 \cdot 10^{-15} \text{ W} \cdot 128.8}} = 76.5 \text{ km}$$

- Existem três formas de se melhorar o sinal de um radar por pulsos. Estas formas (e suas consequências) são listadas a seguir:

- Aumentar a potência de pico P_{peak}
A potência da antena deve ser aumentada

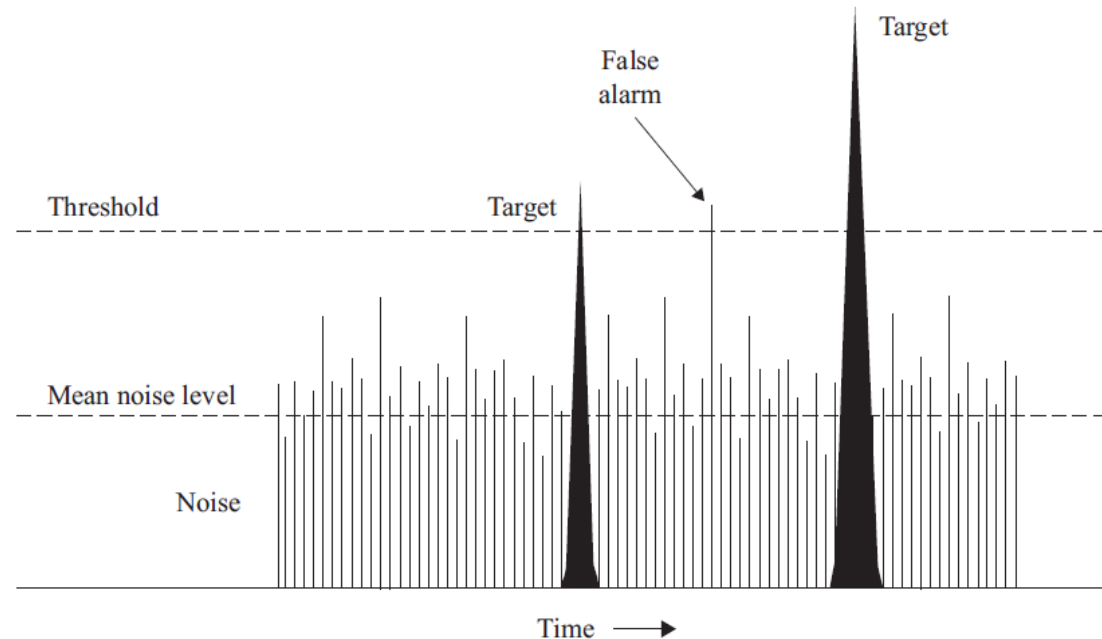
- Diminuir o Intervalo de Repetição de Pulso PRI
Aumenta o número de ambiguidades

- Aumentar a duração do pico PW
Diminui a capacidade para alvos mais próximos



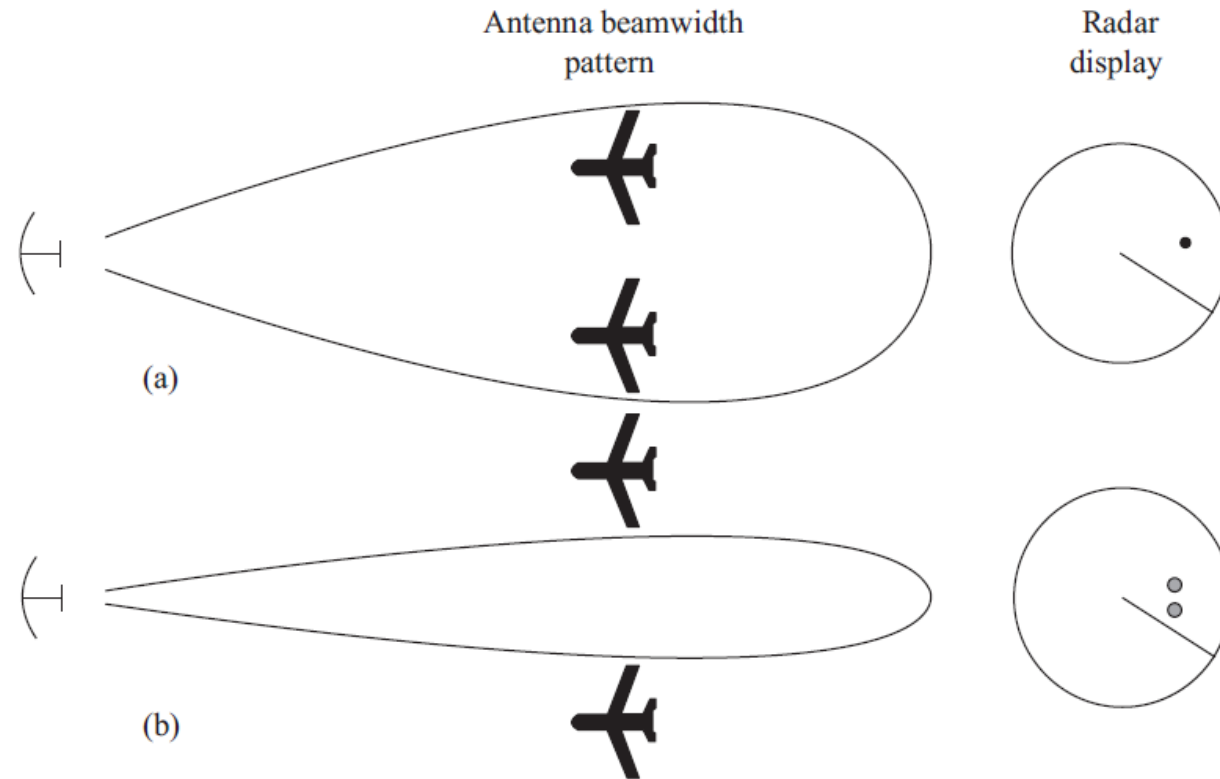
FONTE: McShea, R. E. (2010)

- Em geral, baseado na experiência e nas condições, escolhe-se um nível de potência considerado mínimo (abaixo disso é ruído)
- Mesmo assim, pode acontecer de algum pico de ruído ultrapassar esse limite. Esta detecção é chamada de “Alarme Falso”



FONTE: McShea, R. E. (2010)

- A escolha do tamanho do lóbulo também é importante para evitar erros no sinal recebido



FONTE: McShea, R. E. (2010)