



# SAA0167

## Princípios de Aviação e Navegação

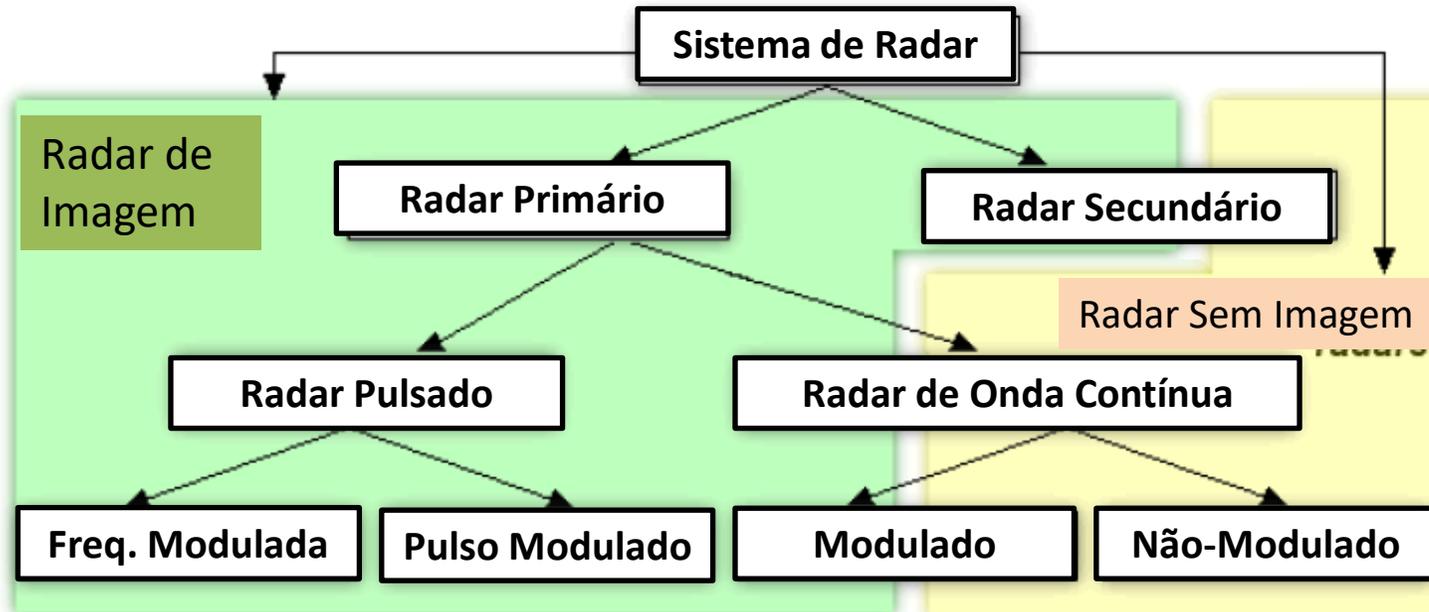
### Radar – parte 2

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

- **Classificação Quanto ao Tipo**
- **Classificação Quanto à Aplicação**
- **Tipos Especiais de Radares**
- **Lóbulos Secundários**
- **Considerações Finais**

- **Classificação Quanto ao Tipo**
- Classificação Quanto à Aplicação
- Tipos Especiais de Radares
- Lóbulos Secundários
- Considerações Finais

- Dependendo da informação que se deseja, os radares podem ter diferentes qualidades e tecnologias. Uma forma muito comum de classificação dos radares é a que segue



ADAPTADO DE: [radartutorial.eu](http://radartutorial.eu)

- Radar com imagem/sem imagem
- Radares com imagem mapeiam um ambiente ou alvo utilizando ao menos duas dimensões, portanto emitindo ondas de duas direções diferentes, gerando uma imagem do tipo de uma foto



FONTE: thespacereview.com



FONTE: capellaspace.com

- Radar com imagem/sem imagem
- Radares sem imagem atuam em uma única direção e fornecem apenas a presença de um alvo



FONTE: flightglobalimages.com



FONTE: marineinsight.com

- **Radar primário**
- Os radares primários emitem e recebem sinal simples, sem código
- São passíveis de confusão caso haja outro radar ou onda na mesma frequência atuando dentro do alcance da antena
- Os radares primários podem ser pulsados ou de onda contínua

- **Radar primário**
- Pulsado
- Emite sinais na forma de pulsos e os recebe da mesma forma
- Tais radares podem ter a frequência modulada (com os pulsos sendo emitidos a diferentes frequências continuamente) ou de pulsos modulados, variando o PRI (intervalo de repetição dos pulsos) ou o PW (duração dos pulsos)
- Tais modulações ocorrem de forma extremamente precisa

# Classificação Quanto ao Tipo

- Radar primário
- Pulsado
- Variação da Frequência



- Variação do PRI

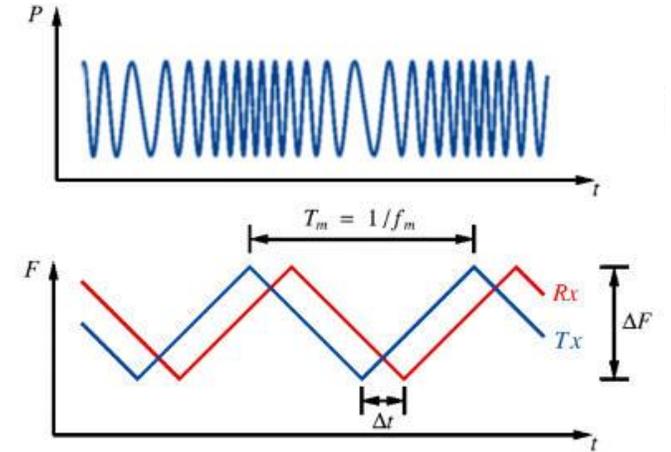


- Variação do PW

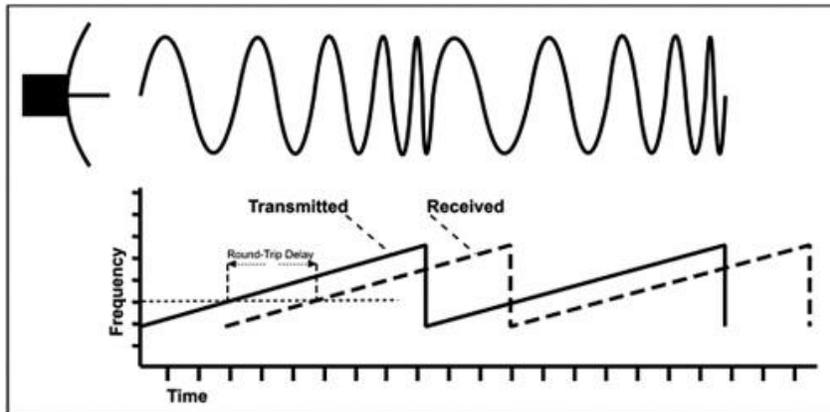


FONTE: [vias.org](http://vias.org)

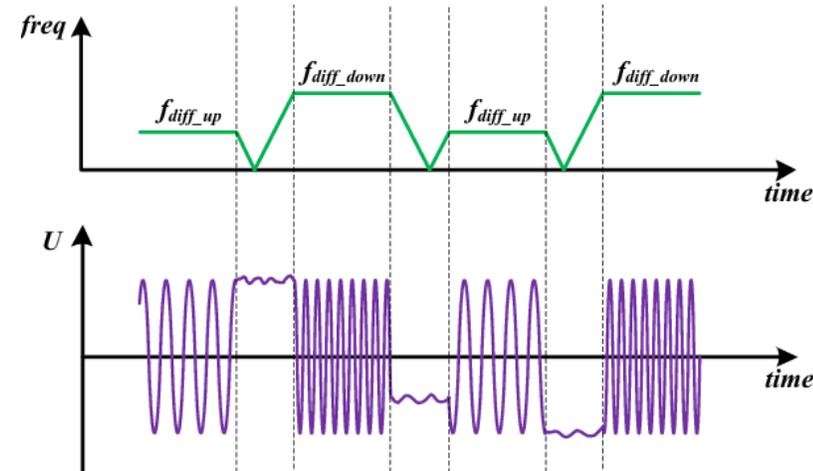
- Radar primário
- Onda Contínua
- Emitem e recebem continuamente os sinais
- Podem ter os sinais com frequência modulada ou não



FONTE: st-andrews.ac.uk



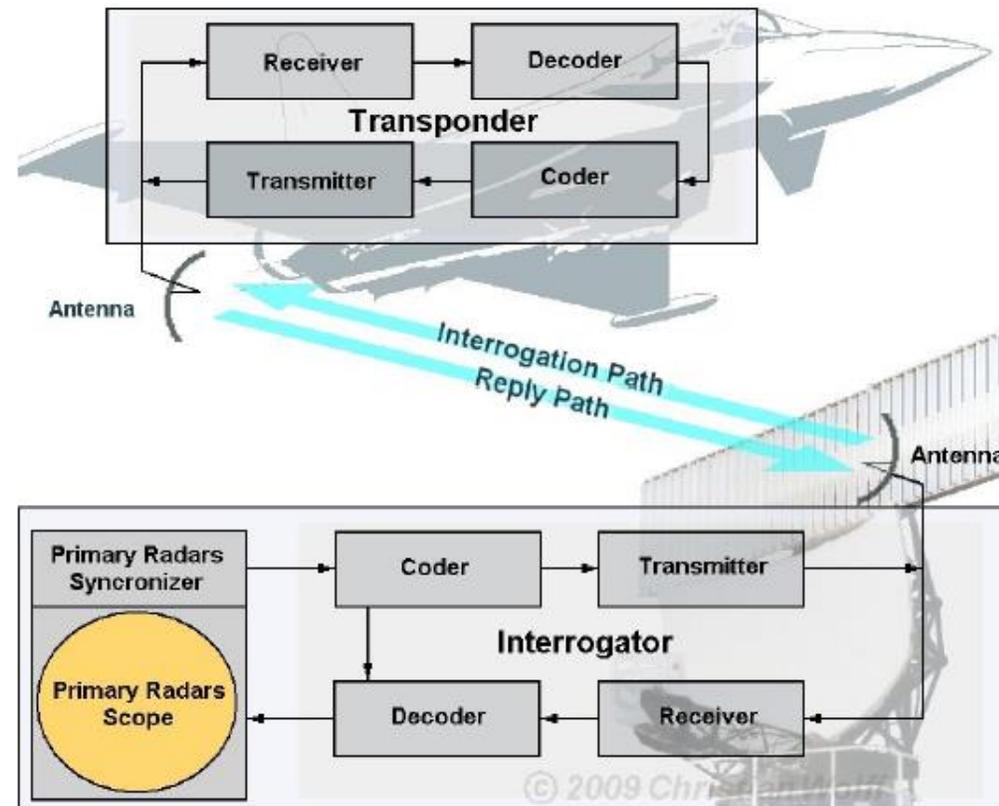
FONTE: Levanon, A. et al. (2014)  
<https://doi.org/10.1364/AO.53.008549>



FONTE: semanticscholar.org

- **Radar secundário**
- Trabalham com sinal codificado, com perguntas e respostas
- O sinal enviado possui um código que, após refletido e devolvido, é processado pela estação receptora para se confirmar que o sinal é mesmo aquele enviado
- Isso evita ambiguidades e confusão de sinais
- Quando o sinal inclui a comunicação com uma aeronave, a codificação/decodificação é feita por um transponder

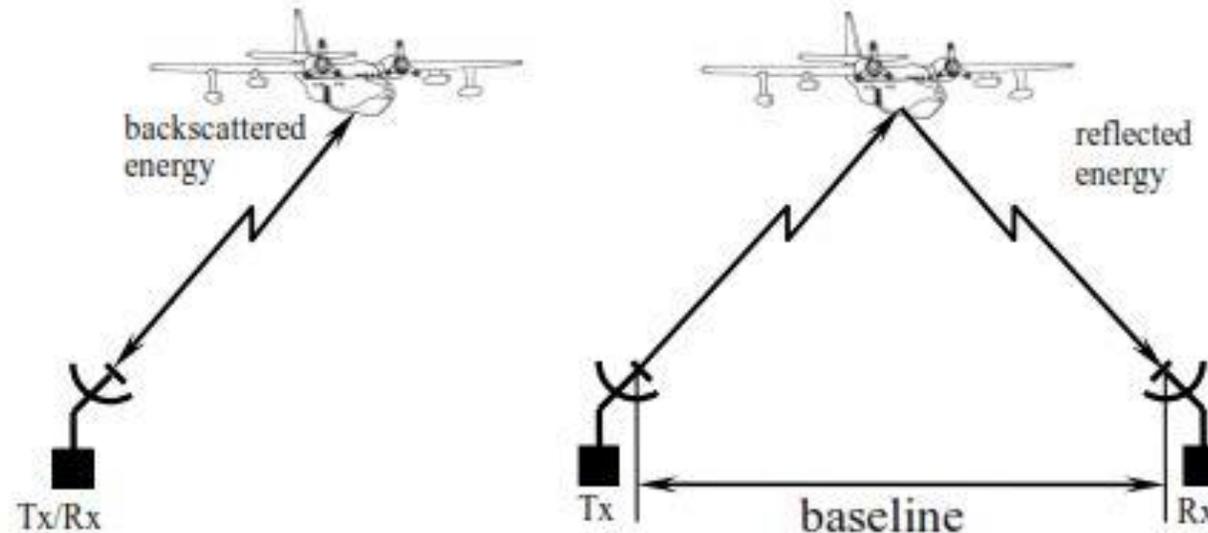
- Radar secundário
- Princípio de funcionamento



FONTE: radartutorial.eu

- **Radars Monostáticos/Bistáticos**
- Além das classificações já vistas, os radares podem ser classificados ainda como Monostáticos ou Bistáticos
- Radars Monostáticos são aqueles que a fonte de emissão e a de recepção do sinal é a mesma
- Radars Bistáticos possuem fontes de emissão e recepção diferentes

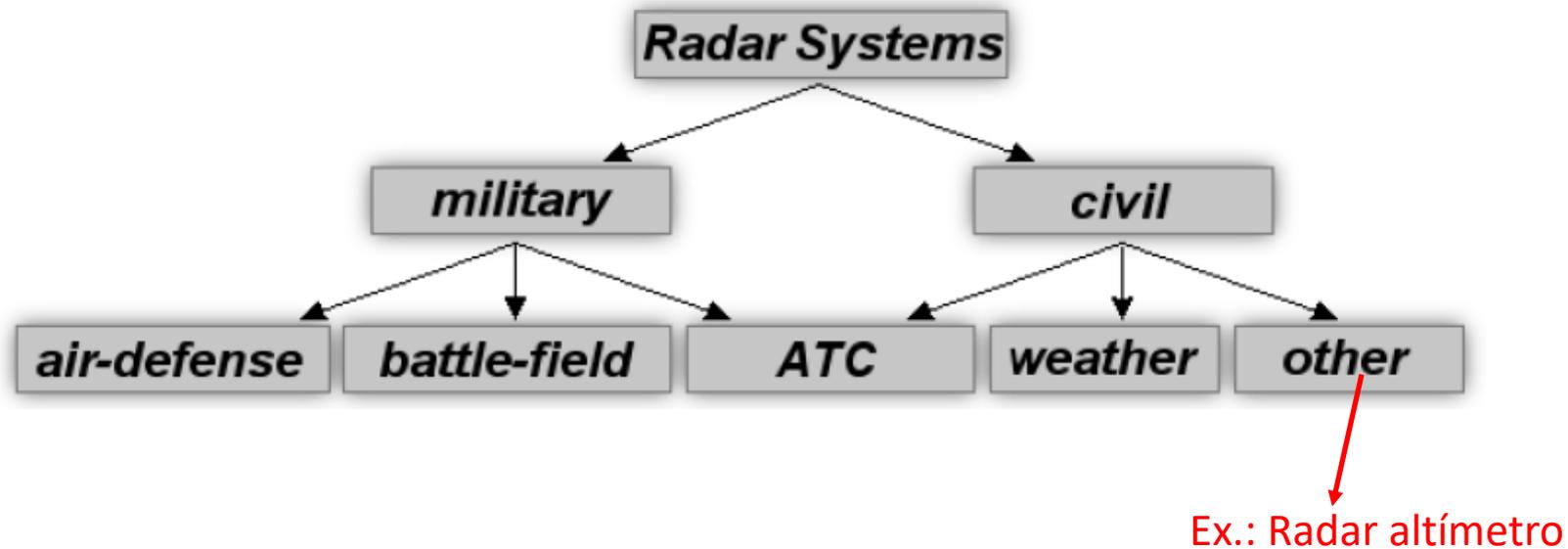
- **Radars Monostáticos/Bistáticos**
- Os radares Bistáticos reduzem o efeito de a onda se dispersar ao invés de refletir de volta à origem



FONTE: telecomabc.com

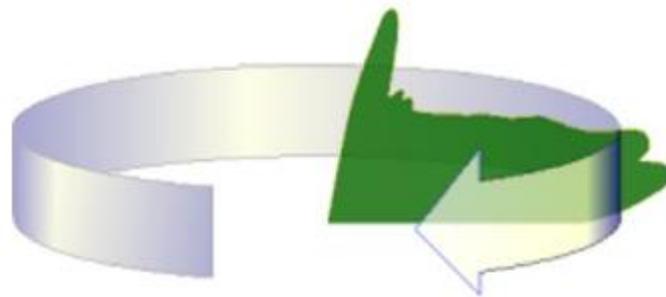
- Classificação Quanto ao Tipo
- **Classificação Quanto à Aplicação**
- Tipos Especiais de Radares
- Lóbulos Secundários
- Considerações Finais

- Segundo a aplicação, classificam-se os radares da seguinte forma:

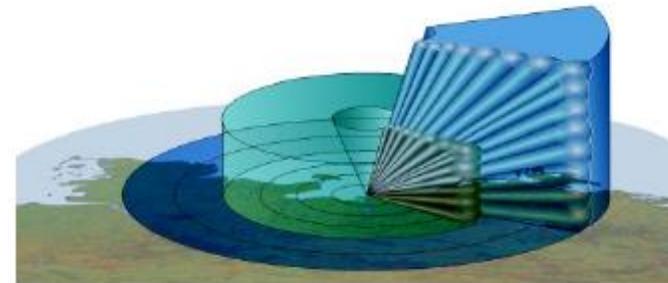


FONTE: radartutorial.eu

- **Air-defense Radar (Radar de Defesa Aérea):**
- Radares baseados em solo ou montados em aeronave, que conseguem detectar 360 graus com um alcance bastante elevado (acima de 300 NM)
- Podem informar Distância e Direção do alvo (chamados de radar 2D), ou Distância, Direção e Altura (chamados de Radar 3D)



Esquema de Radar 2D



Esquema de Radar 3D

FONTE: [radartutorial.eu](http://radartutorial.eu)

- **Air-defense Radar (Radar de Defesa Aérea):**
- Principais funções desse tipo de radar:
  - Long Range Early Warning (incluindo AEW – Airborne Early Warning)
  - Alerta de Míssil
  - Medição de altura
  - Interceptação controlada em solo



FONTE: vosizneias.com



FONTE: Wikipedia

- **Air-defense Radar (Radar de Defesa Aérea):**



FONTE: Wikipedia

- **Battle-field Radar (Radar de Campo de Batalha):**
- Radares portáteis, carregados em veículos
- Em geral são pulsados, com PRI curto e baixo PW
- Principais tipos de radares de campo de batalha:
  - Weapon Control Radar
  - Multi-funcion Radar
  - Multi Target Radar
  - MORTAR

- **Battle-field Radar (Radar de Campo de Batalha):**
- Weapon Control Radar
- Radares apontados para a direção em que se lança um projétil, para se traçar a trajetória do mesmo



FONTE: [imar-navigation.de](http://imar-navigation.de)



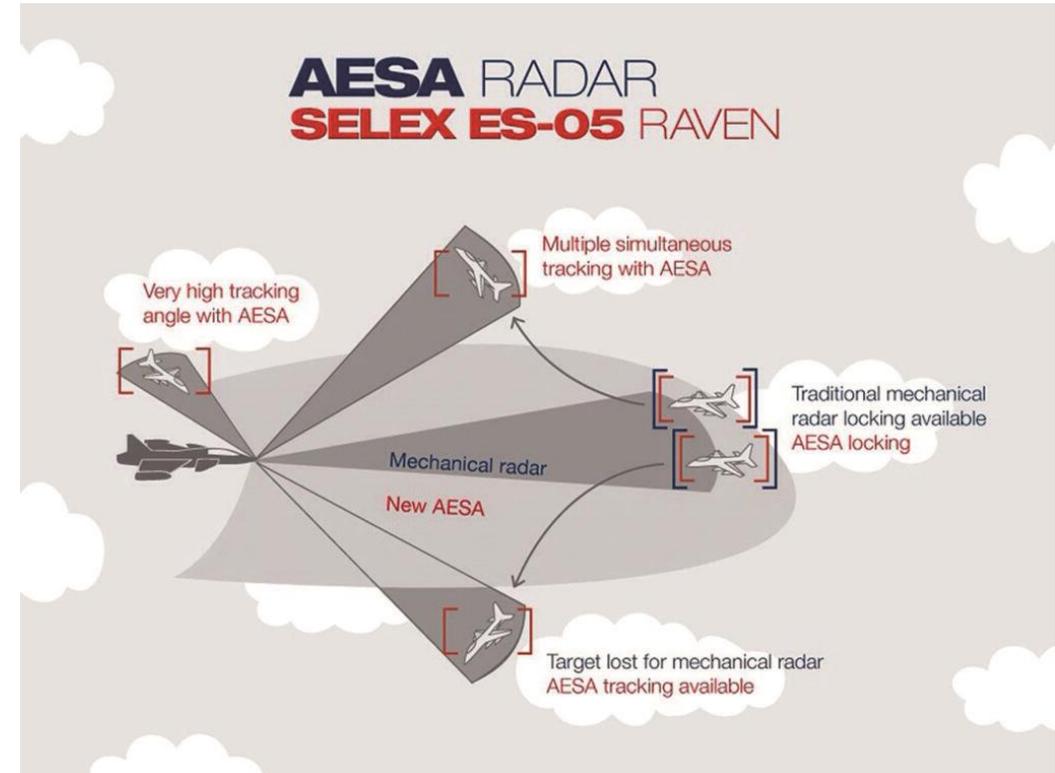
FONTE: [defenseissues.net](http://defenseissues.net)

- **Battle-field Radar (Radar de Campo de Batalha):**
- Multi Function Radar
- Radares utilizados para aplicações diversas em campo



FONTE: defpost.com

- **Battle-field Radar (Radar de Campo de Batalha):**
- Multi Target Radar
- Radares capazes de mapear diversos alvos ao mesmo tempo



FONTE: euro-sd.com

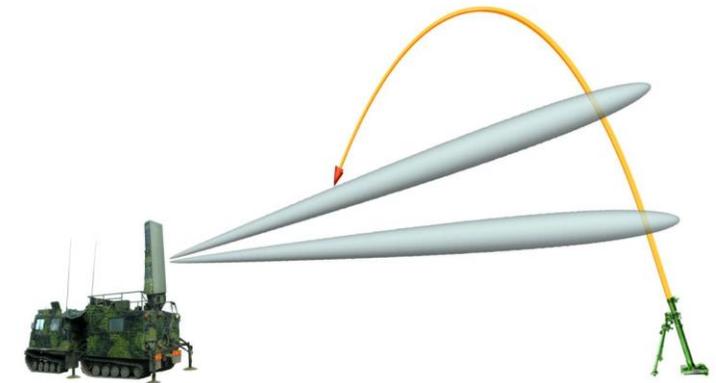
- **Battle-field Radar (Radar de Campo de Batalha):**
- MORTAR
- Radares que observam diversos pontos da trajetória de um projétil balístico e conseguem calcular onde ele vai cair



FONTE: globalsecurity.org



FONTE: defpost.com



FONTE: radartutorial.eu

- **Air Traffic Control (ATC) Radar:**
- São radares de solo utilizados para mapeamento de tráfego aéreo
- Podem ser de cinco tipos:
  - En-route radar systems,
  - Air Surveillance Radar (ASR) systems,
  - Precision Approach Radar (PAR) systems,
  - Surface Movement Radars
  - Special Weather Radars

- **Air Traffic Control (ATC) Radar:**
- En-Route Radar
- Opera em detecção, e determinação da posição, velocidade e curso dos tráfegos presentes em uma determinada região
- Normalmente opera em banda L
- Possui alcance de aproximadamente 250 NM



FONTE: [cvi-systems.com](http://cvi-systems.com)



FONTE: [panamaadvisoryinternationalgroup.com](http://panamaadvisoryinternationalgroup.com)

- **Air Traffic Control (ATC) Radar:**
- Air Surveillance Radar (ASR)
- Operam no mapeamento de aeronaves que estejam próximas a um determinado aeródromo
- Atuam em banda E
- Captam aeronaves que estejam abaixo de 25000 ft e a distância menor que 40 a 60 NM

- Air Traffic Control (ATC) Radar:
- Air Surveillance Radar (ASR)



FONTE: flyingmag.com



FONTE: radartutorial.eu

- **Air Traffic Control (ATC) Radar:**
- Precision Approach Radar (PAR)
- Radares de aproximação com maior precisão
- Servem para pouso guiado pelo controle de tráfego, usuais em condições meteorológicas ruins



FONTE: etm-inc.com



FONTE: aviationchief.com

- **Air Traffic Control (ATC) Radar:**
- Surface Movement Radar (SMR)
- Detectam o movimento de aeronaves e/ou veículos terrestres que estejam em solo, atuando em um aeródromo
- Emitem ondas de banda J. São pulsados e com pulso extremamente curto

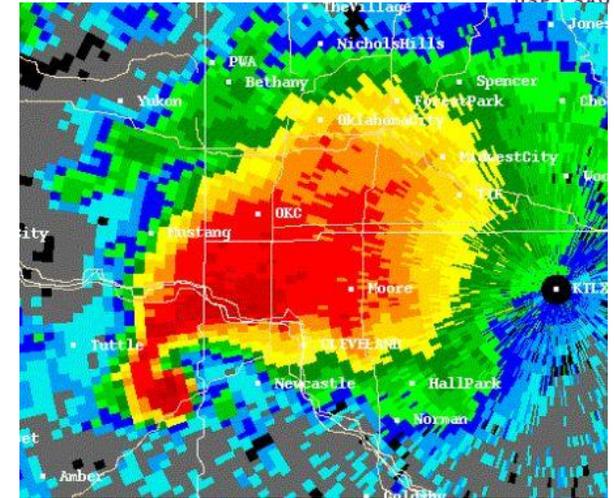


FONTE: saab.com



FONTE: pprune.org

- **Air Traffic Control (ATC) Radar:**
- Special Weather Radar
- Radares meteorológicos em solo que detectam possíveis formações meteorológicas que podem afetar a segurança do voo



FONTE: cliffmass.blogspot.com

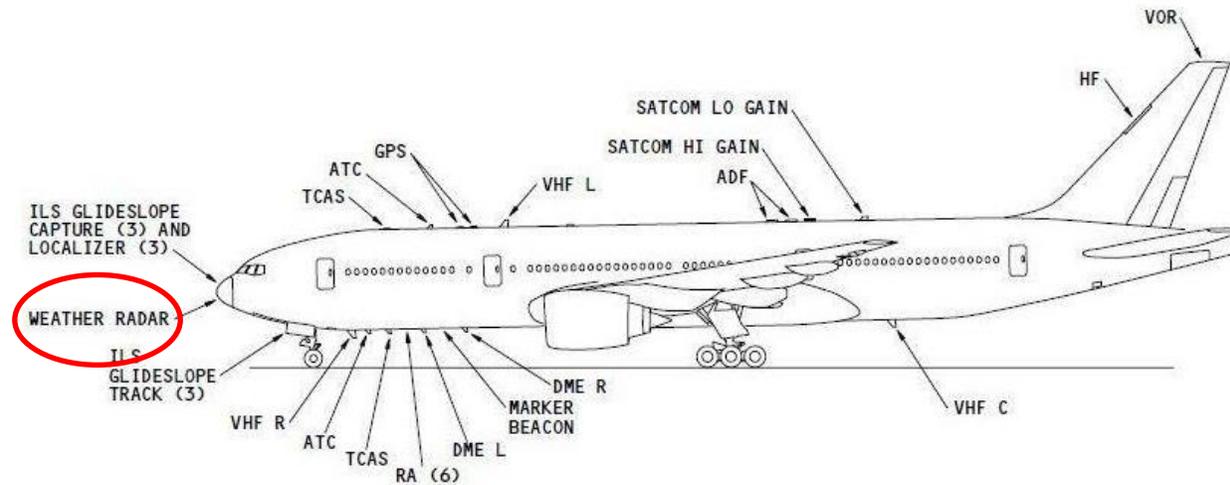


FONTE: weather.gov.hk



FONTE: Wikipedia

- **Weather Radar:**
- Radar a bordo da aeronave para detecção de formações meteorológicas
- Antena

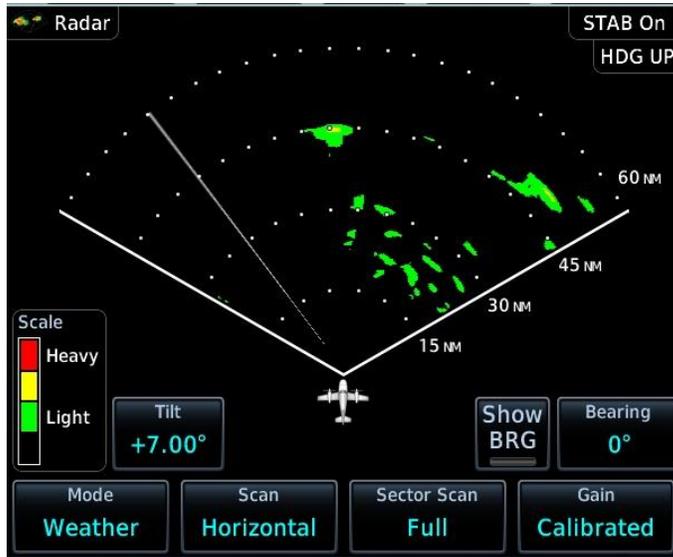


FONTE: Boeing

777 GENERAL - ANTENNA LOCATIONS

- **Weather Radar:**
- Atuam entre 8 a 12,5 GHz
- Indicam área frontal em ângulo ajustável. Quanto menor a abertura do radar, mais profunda é sua leitura
- Detectam intensidade de precipitações nas formações encontradas
- Apresentam os dados em forma de uma escala de cores, partindo do preto (sem nenhuma formação), verde (formações leves) até o magenta (formações pesadas)

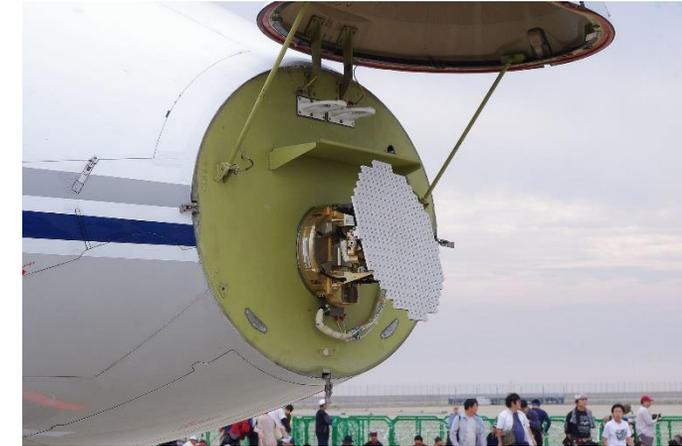
- Weather Radar:
- Exemplo de escala



FONTE: sarasotaevionics.com

| Weather Mode Color | Intensity          | Approximate Precipitation Rate (in/hr.) |
|--------------------|--------------------|---|
| Black              | < 23 dBZ           | < .01.                                  |
| Green              | 23 dBZ to < 32 dBZ | .01 - 0.1.                              |
| Yellow             | 32 dBZ to < 41 dBZ | 0.1 - 0.5                               |
| Red                | 41 dBZ to < 50 dBZ | 0.5 - 2                                 |
| Magenta            | 50 dBZ and greater | > 2                                     |

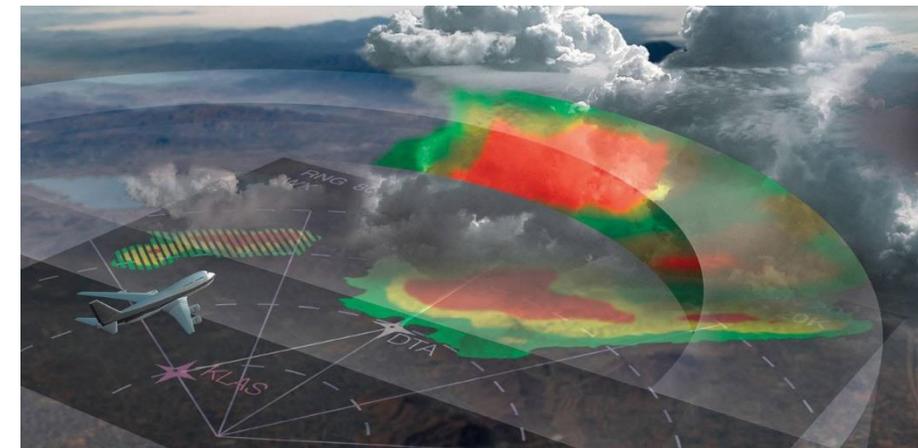
FONTE: Garmin



FONTE: Wikipedia



FONTE: jethead.wordpress.com

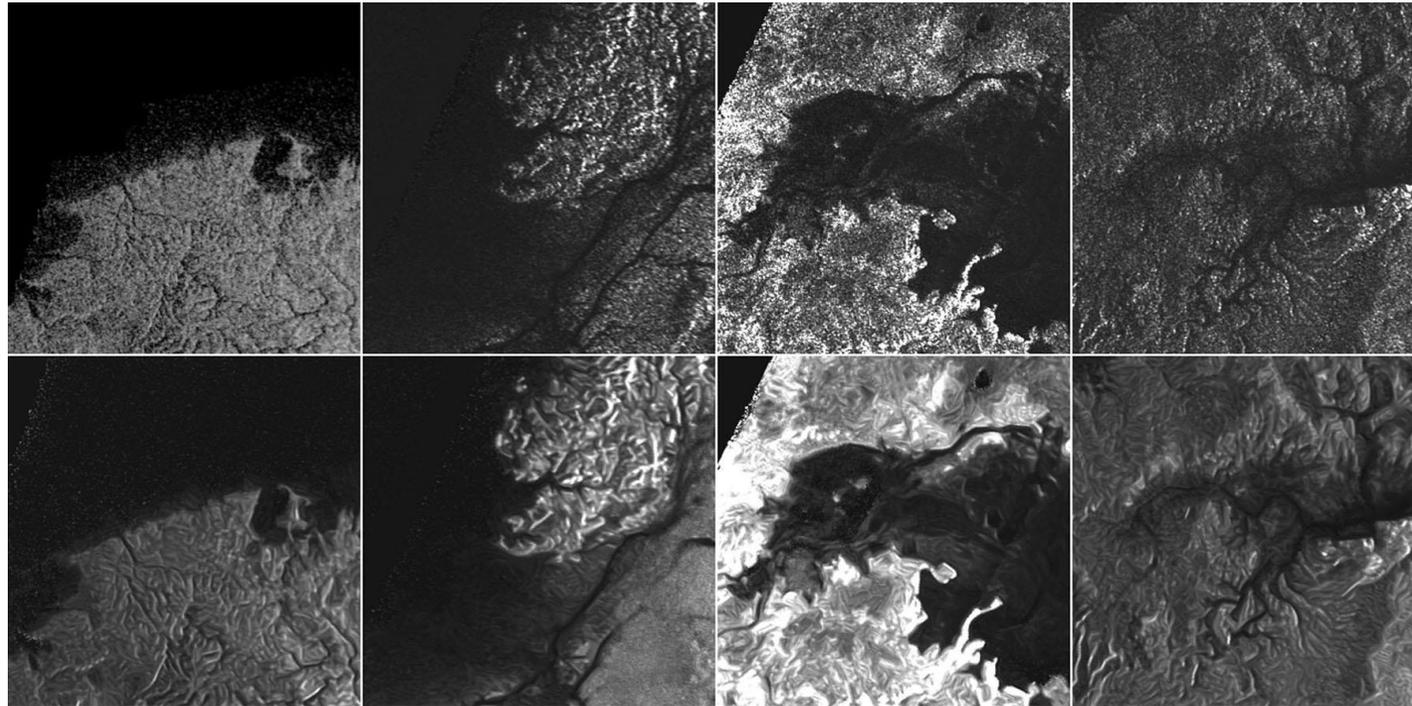


FONTE: ainonline.com

- Classificação Quanto ao Tipo
- Classificação Quanto à Aplicação
- **Tipos Especiais de Radares**
- Lóbulos Secundários
- Considerações Finais

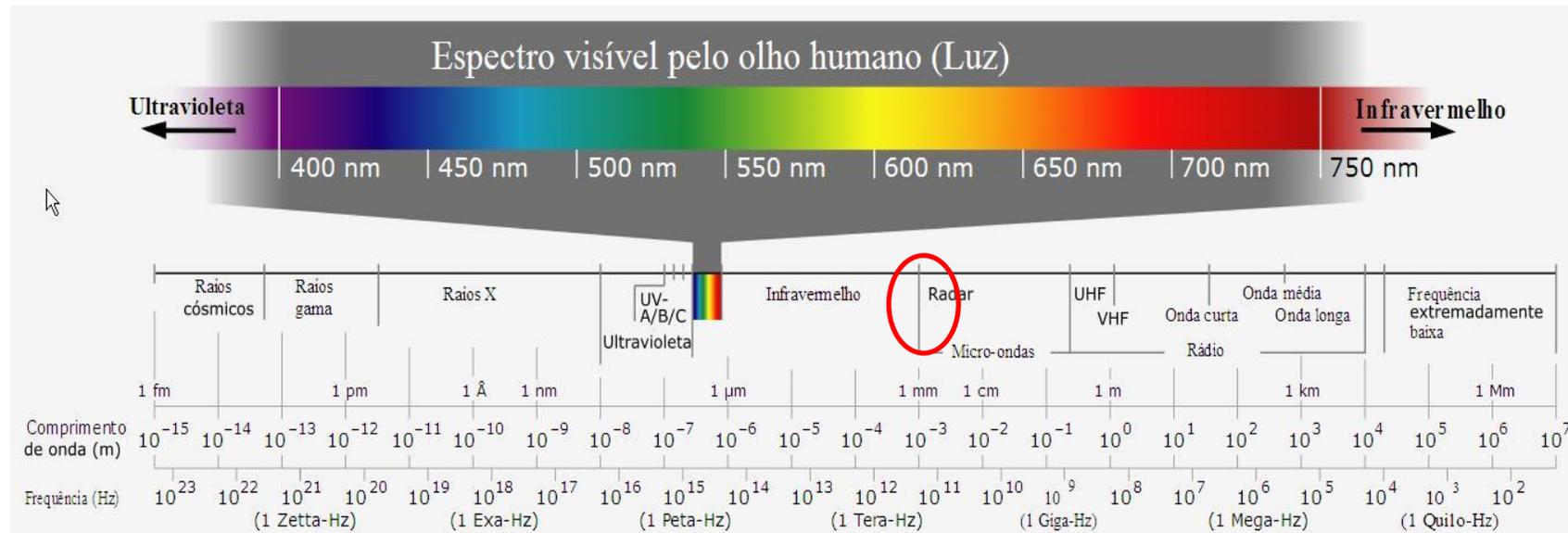
- **SAR – Synthetic Aperture Radar**
- São Radares Air-Ground (vigilância) posicionados em aeronaves, normalmente para mapeamento detalhado do solo
- Como a aeronave está em movimento, é possível se fazer a varredura de uma determinada região de vários ângulos diferentes
- Isso faz com que o radar tenha uma Abertura artificialmente aumentada, funcionando como se ele tivesse uma antena muito maior
- Em geral o alcance desse tipo de radar não é muito grande (em torno de 25 NM)

- SAR – Synthetic Aperture Radar
- Graças a este artifício, a imagem é muito detalhada e, dependendo do processamento, é possível até se obter uma imagem 3D da região visualizada



FONTE: [astronomynow.com](http://astronomynow.com)

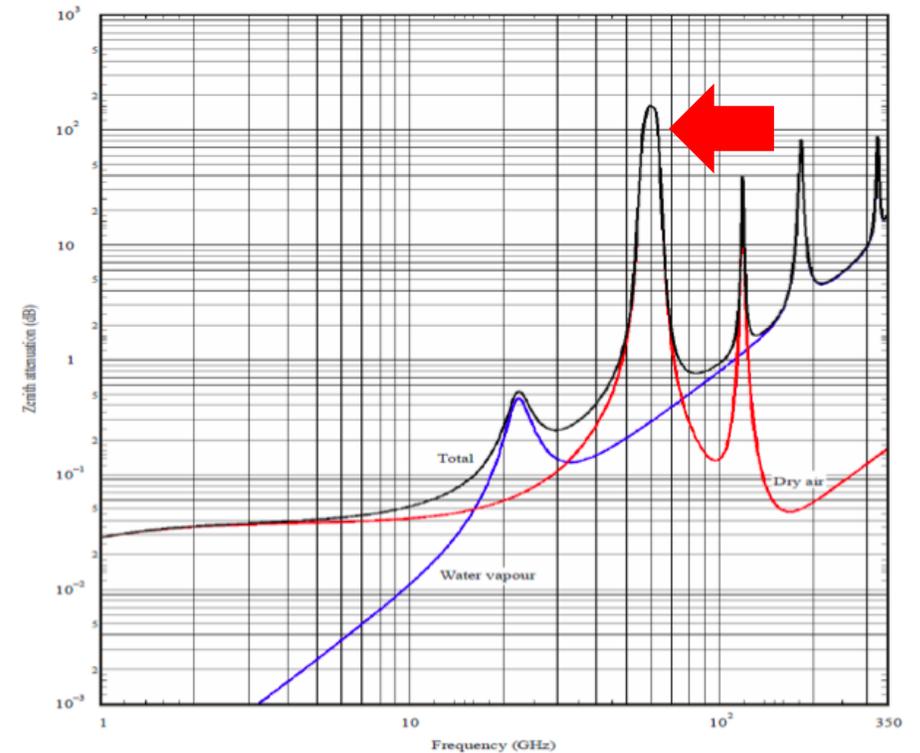
- **Millimetric Radar**
- Radares especiais que trabalham a frequências altíssimas, chegando a 300 GHz (quase infravermelho), o que dá um comprimento de onda de 1 mm



FONTE: lusoacademia.org

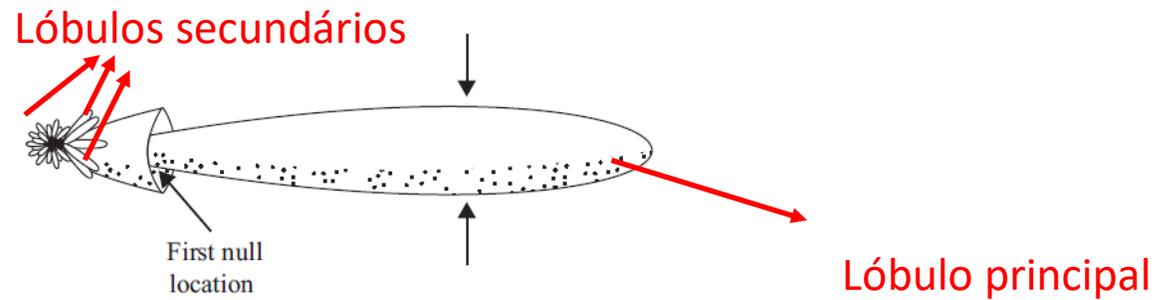
- **Millimetric Radar**
- A grande vantagem é que esse sinal não sofre praticamente nenhuma influência de aerossóis ou particulados
- A desvantagem é que sofrem muito problema de atenuação atmosférica
- Antenas pequenas, mas requer potências extremamente altas

FONTE: [propagation.ece.gatech.edu](http://propagation.ece.gatech.edu)



- Classificação Quanto ao Tipo
- Classificação Quanto à Aplicação
- Tipos Especiais de Radares
- **Lóbulos Secundários**
- Considerações Finais

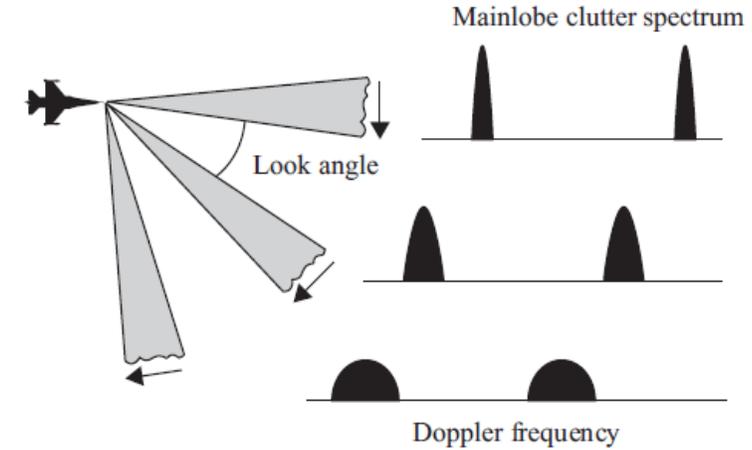
- O envio de ondas de radar gera, além do lóbulo principal, alguns lóbulos secundários, que também são recebidos pela antena receptora do radar



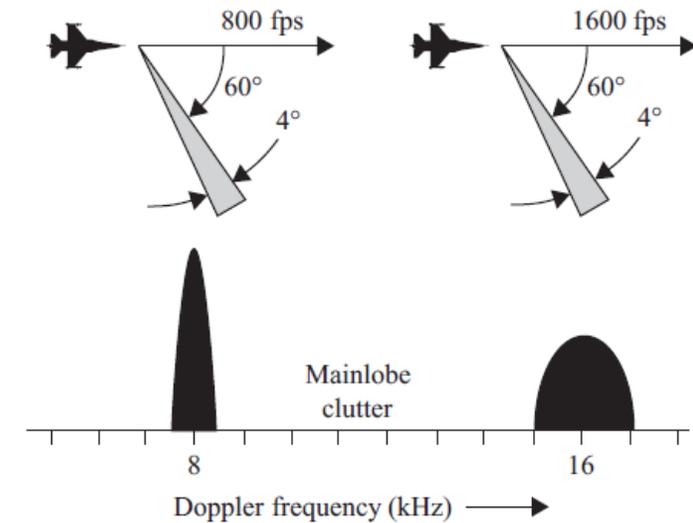
FONTE: McShea, R. E. (2010)

- Esses lóbulos, quando enviados de uma aeronave em movimento, tendem a retornar ao sistema na forma de interferência
- Como não voltam como um sinal direto, estão sujeitos a influência do efeito Doppler

- O primeiro problema a se analisar é que a forma do pulso depende da incidência do sinal

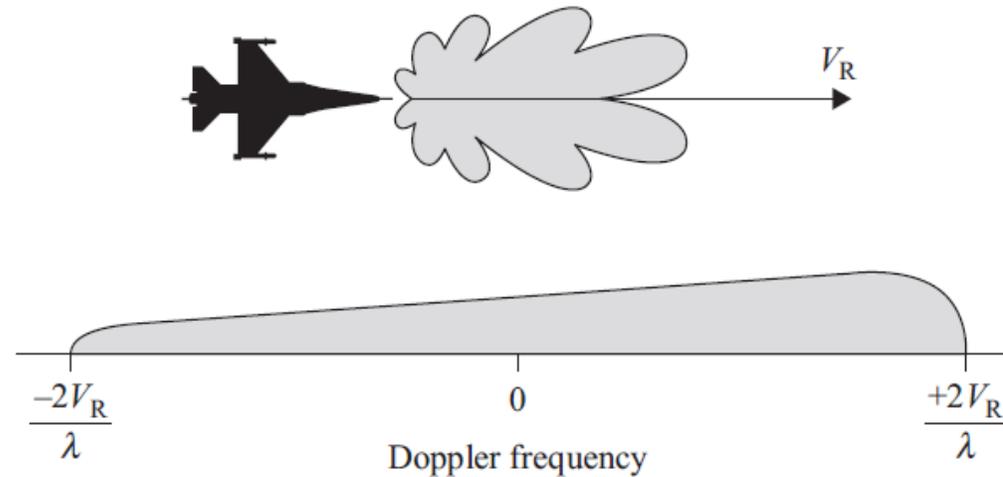


- Outro fator que influencia na forma do pulso é a velocidade relativa da aeronave e o objeto



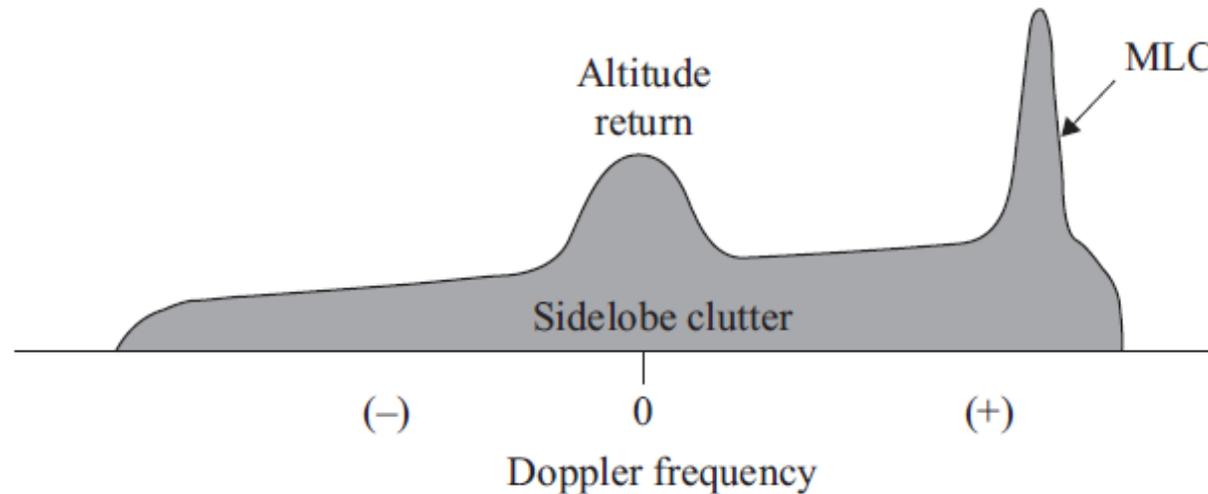
FONTE: McShea, R. E. (2010)

- Com isso, os lóbulos secundários sempre vão gerar uma leitura do chão que tem o seguinte formato



FONTE: McShea, R. E. (2010)

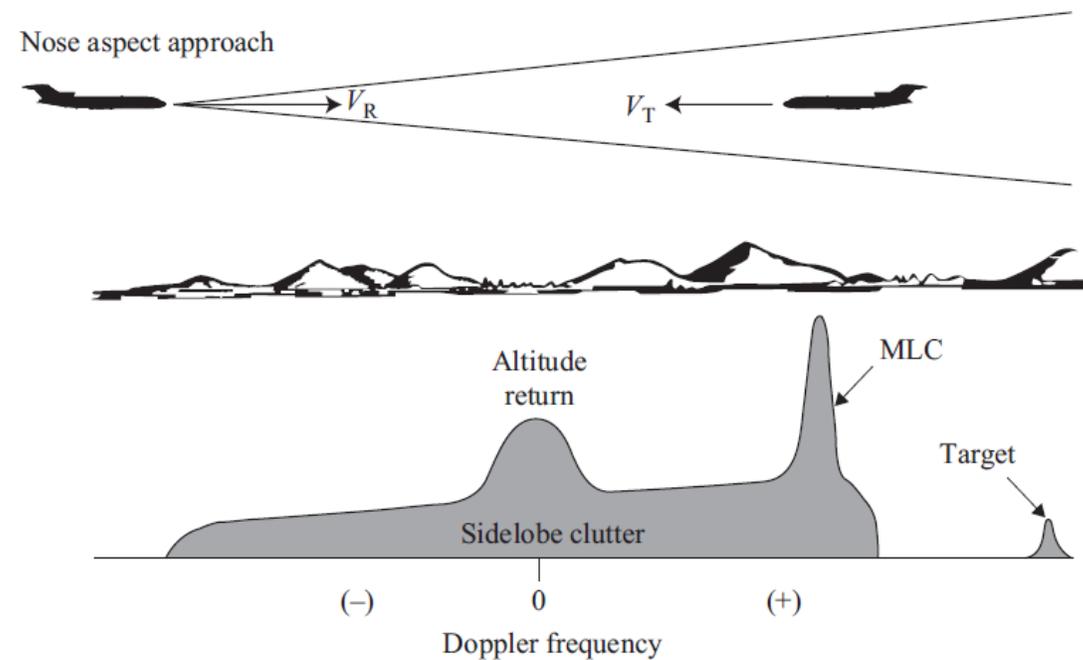
- Adiciona-se a este sinal, o retorno da altura sem o efeito doppler (que é mais forte) e o retorno do chão devido ao lóbulo principal. Dessa forma, o sinal de retorno deve ser



FONTE: McShea, R. E. (2010)

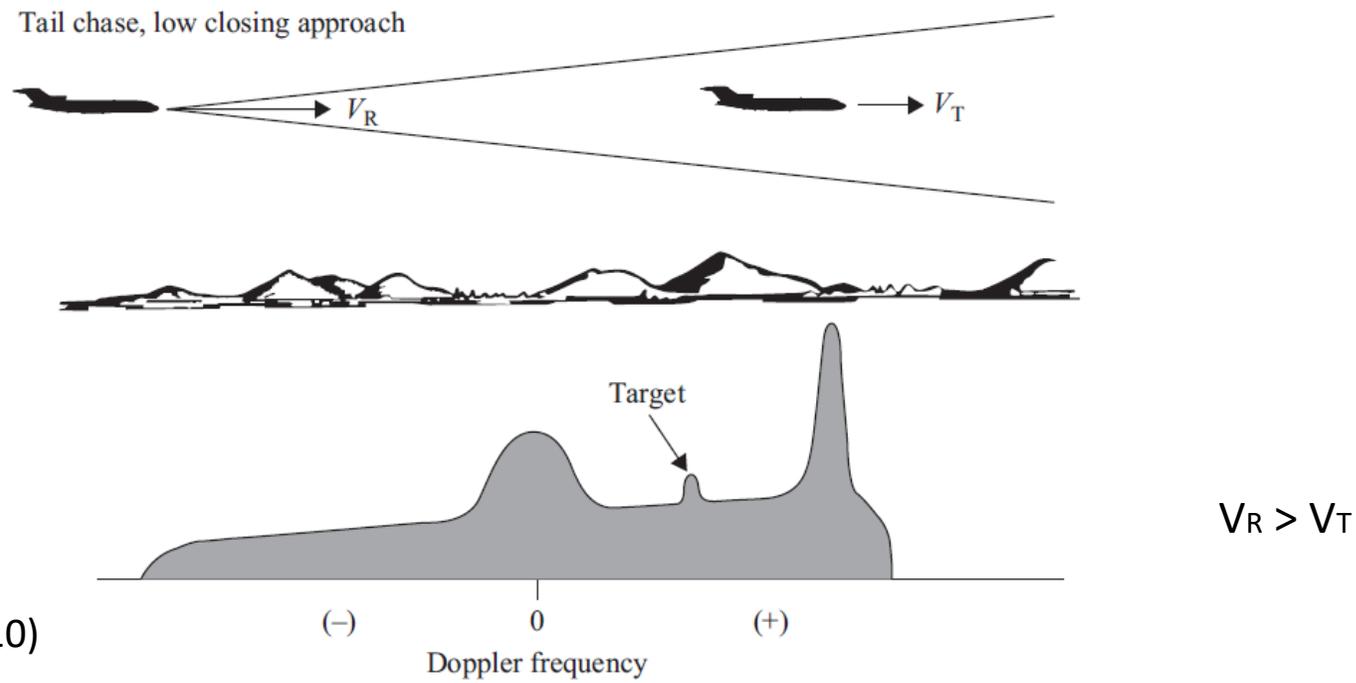
MLC = Mainlobe Clutter

- Dessa forma, alguns casos particulares de detecção de alvo devem ser estudados:
  - Objeto se aproximando da aeronave



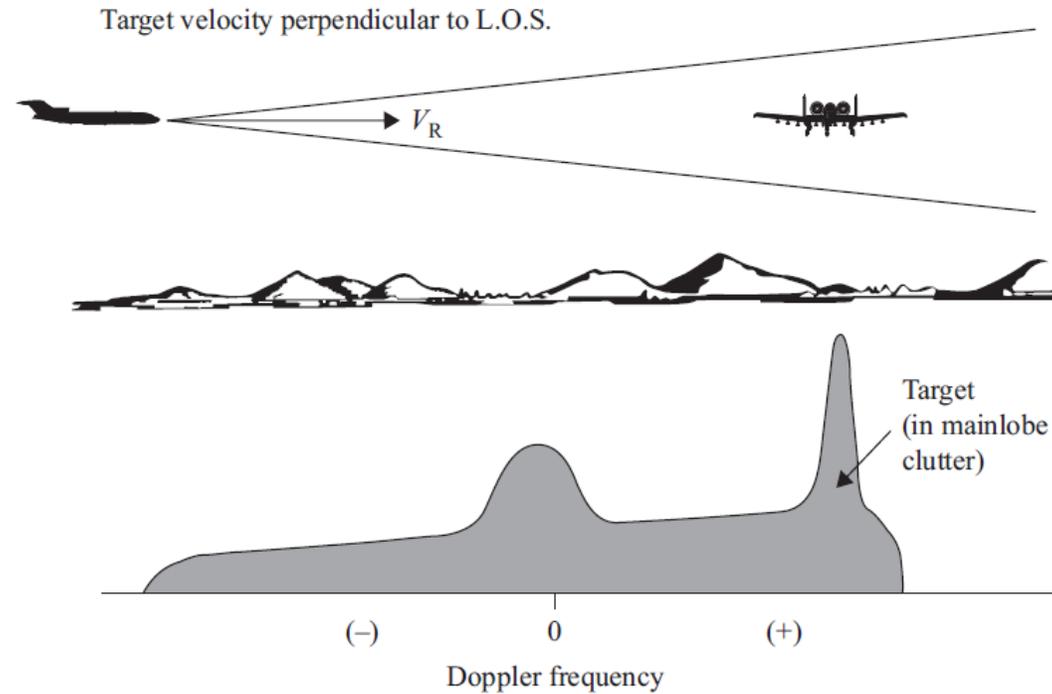
FONTE: McShea, R. E. (2010)

- Dessa forma, alguns casos particulares de detecção de alvo devem ser estudados:
  - Objeto se aproximando da aeronave, com baixa velocidade relativa



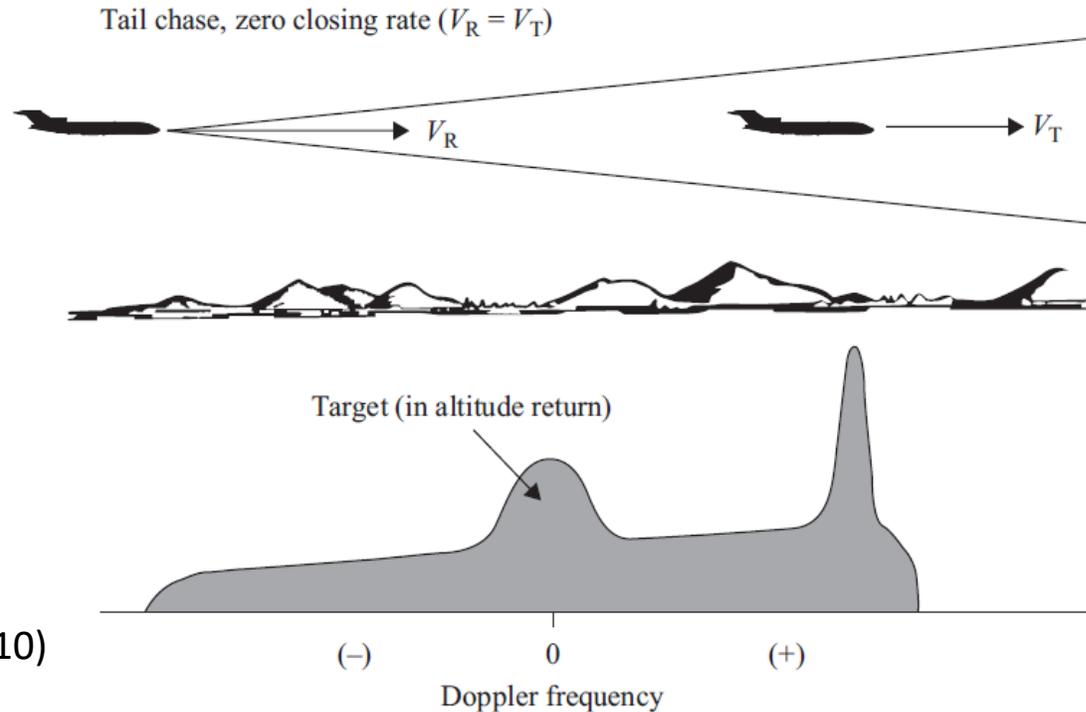
FONTE: McShea, R. E. (2010)

- Dessa forma, alguns casos particulares de detecção de alvo devem ser estudados:
  - Objeto voando perpendicularmente à aeronave



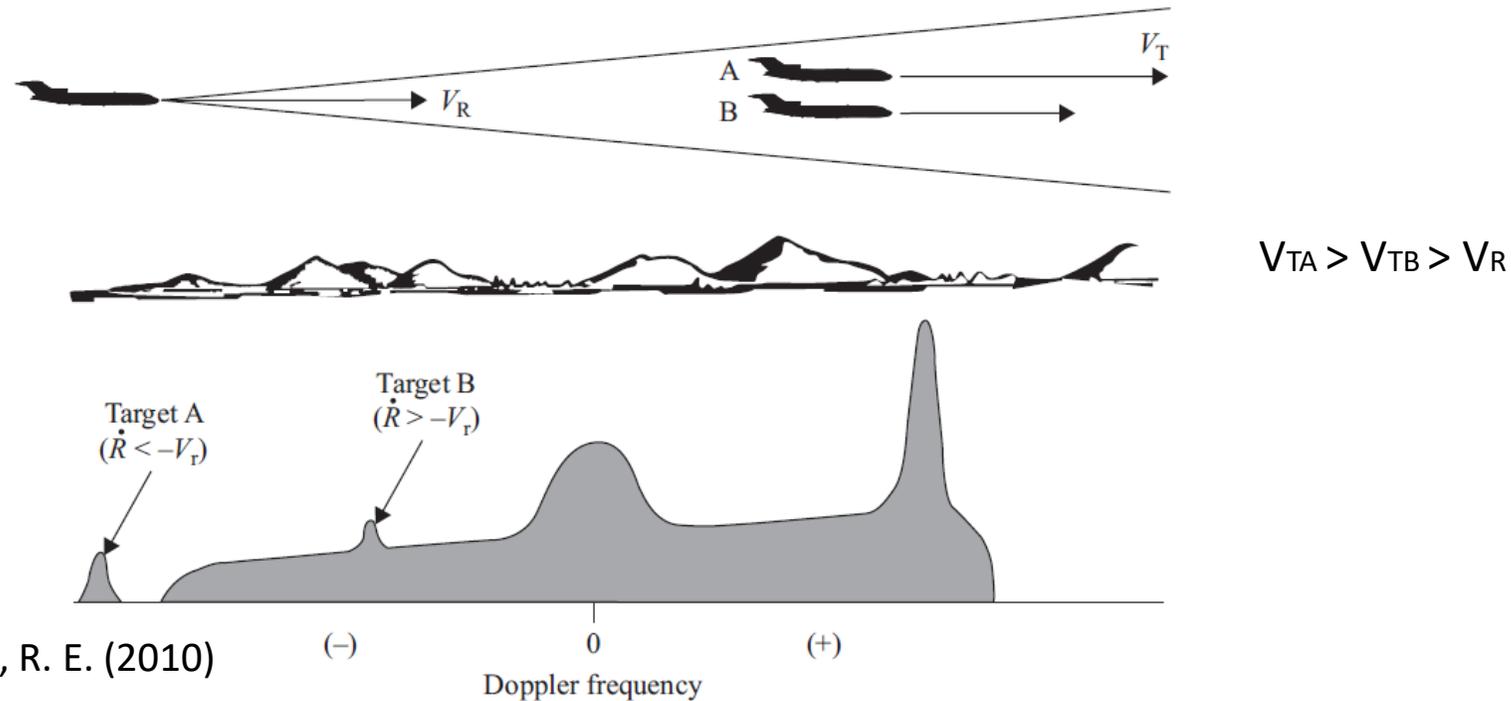
FONTE: McShea, R. E. (2010)

- Dessa forma, alguns casos particulares de detecção de alvo devem ser estudados:
  - Objeto e aeronave voando com velocidade relativa igual a zero



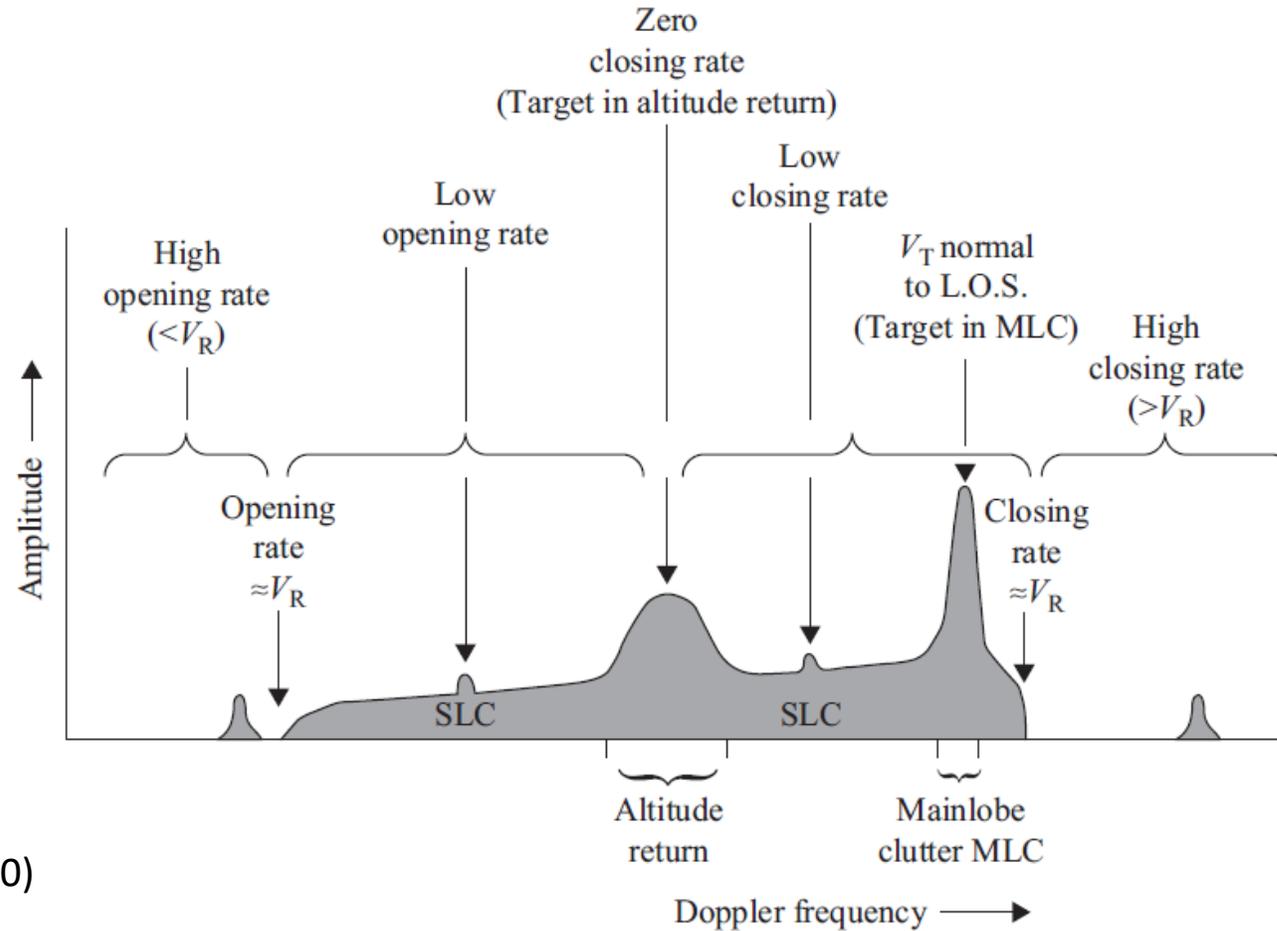
FONTE: McShea, R. E. (2010)

- Dessa forma, alguns casos particulares de detecção de alvo devem ser estudados:
  - Objetos e aeronave voando com velocidades diferentes



FONTE: McShea, R. E. (2010)

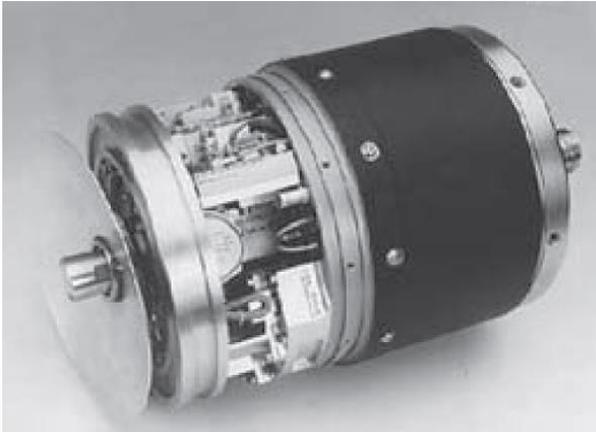
- De forma geral:



FONTE: McShea, R. E. (2010)

- Classificação Quanto ao Tipo
- Classificação Quanto à Aplicação
- Tipos Especiais de Radares
- Lóbulos Secundários
- **Considerações Finais**

- Para a escolha ou projeto de um radar montado em uma aeronave, alguns detalhes devem ser considerados:
  - Tamanho da antena (consequentemente o tamanho do comprimento de onda)



Millimetric Wave Radar, 0.8 cm



X-band Radar, 3 cm



S-band Early Warning Radar, 10 cm

FONTE: McShea, R. E. (2010)

- Para a escolha ou projeto de um radar montado em uma aeronave, alguns detalhes devem ser considerados:
  - Efeitos aeroelásticos da antena
  - Vibração da antena com a aeronave em funcionamento
  - Compatibilidade eletromagnética
  - Efeitos aerodinâmicos causados pela antena

- Para a escolha ou projeto de um radar montado em uma aeronave, alguns detalhes devem ser considerados:



FONTE: defesanet.com.br

