



SAA0167

Princípios de Aviação e Navegação

Sistemas Anticolisão

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

- **Introdução**
- **Transponder**
- **TCAS – Traffic Collision and Avoidance System**
- **TAS – Traffic Advisory System**
- **Ground Radar**
- **TAWS – Terrain Awareness and Warning System**

- **Introdução**
- Transponder
- TCAS – Traffic Collision and Avoidance System
- TAS – Traffic Advisory System
- Ground Radar
- TAWS – Terrain Awareness and Warning System

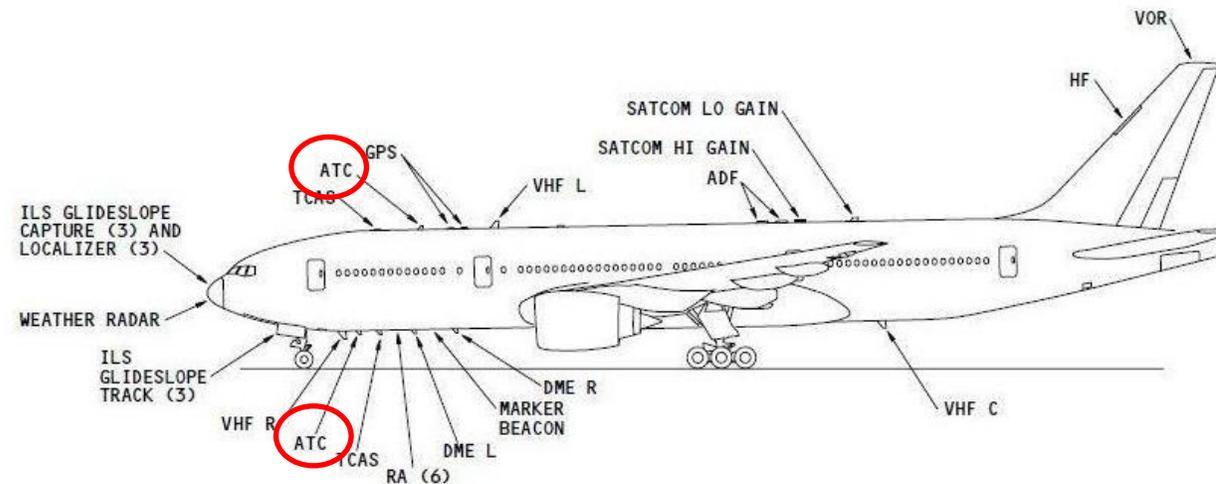
- Sistemas que têm o objetivo de aumentar a segurança do voo, mapeando possíveis colisões
- Podem ser sistemas que previnam colisões com o solo ou sistemas que evitem colisões com outros tráfegos
 - TCAS – Traffic Alert and Collision Avoidance System
 - TAS – Traffic Advisory System
- Ground Radar
- TAWS – Terrain Awareness Warning System

} Evita colisão
Com tráfego

} Evita colisão
com o solo

- Introdução
- **Transponder**
- TCAS – Traffic Collision and Avoidance System
- TAS – Traffic Advisory System
- Ground Radar
- TAWS – Terrain Awareness and Warning System

- Antes de tratar desses sistemas, é importante que se tenha o conceito de Air Traffic Control (ATC) Transponder
- Este sistema trata de um tipo de radar secundário (mensagens codificadas de modo a saber sua origem) que pode “conversar” com outras aeronaves ou estações

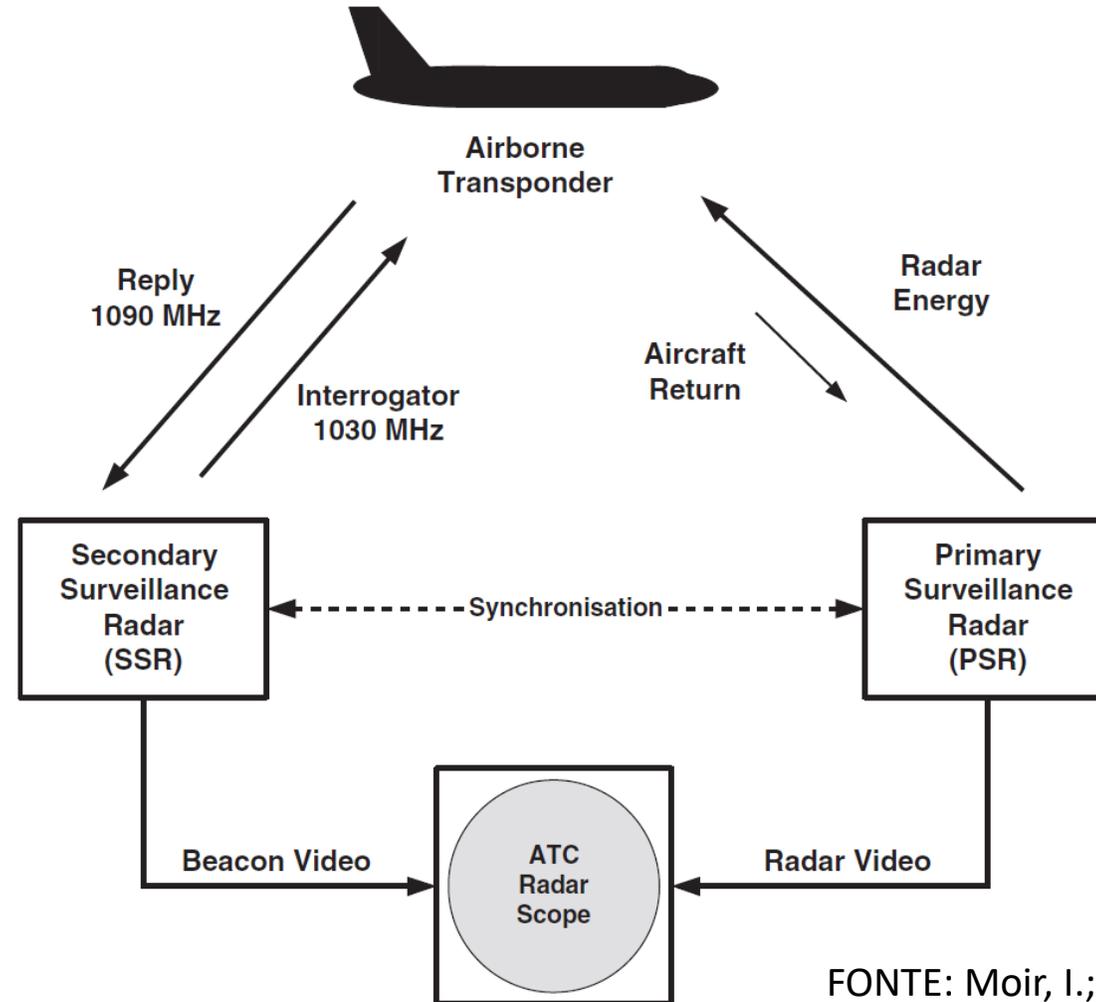


FONTE: Boeing

777 GENERAL - ANTENNA LOCATIONS

- O transponder envia mensagens codificadas a frequência de 1030 MHz e recebe a resposta a 1090 MHz
- O sistema pode atuar em conjunto com antenas em solo ou se comunicando com outras aeronaves
- Em contato com estações em solo, o sistema pode ter uma ideia precisa dos tráfegos que estão voando naquela região, e que são detectados por um sistema de radar primário
- Dessa forma, ao mesmo tempo que a aeronave é detectada pelo radar primário, ela obtém, pelo radar secundário, informações de outras aeronaves que estejam no espaço aéreo

Transponder



FONTE: Moir, I.; Seabridge, A.; Jukes, M. (2013)

- Outra função do transponder é a comunicação com outras aeronaves que também tenham sistemas semelhantes
- Sistemas desse tipo são chamados de Transponder mode S (select)
- Este sistema é muito utilizado em conjunto com o sistema de TCAS (que será estudado adiante)

- Introdução
- Transponder
- **TCAS – Traffic Collision and Avoidance System**
- TAS – Traffic Advisory System
- Ground Radar
- TAWS – Terrain Awareness and Warning System

- TCAS – Traffic Collision and Avoidance System
- Seu conceito surgiu em 1955 e foi reconhecido pelo FAA em 1981. Em 1988 passou a ser regulamentado pelos órgãos certificadores
- Seu princípio é semelhante ao do radar, com sinal de frequência 1030 MHz (1,03 GHz)
- Seu sinal é emitido omnidirecionalmente, e o sistema identifica de qual direção está vindo o sinal refletido
- Atualmente é obrigatório em aeronaves acima de 30 passageiros e/ou acima de 15.000 kg de peso máximo

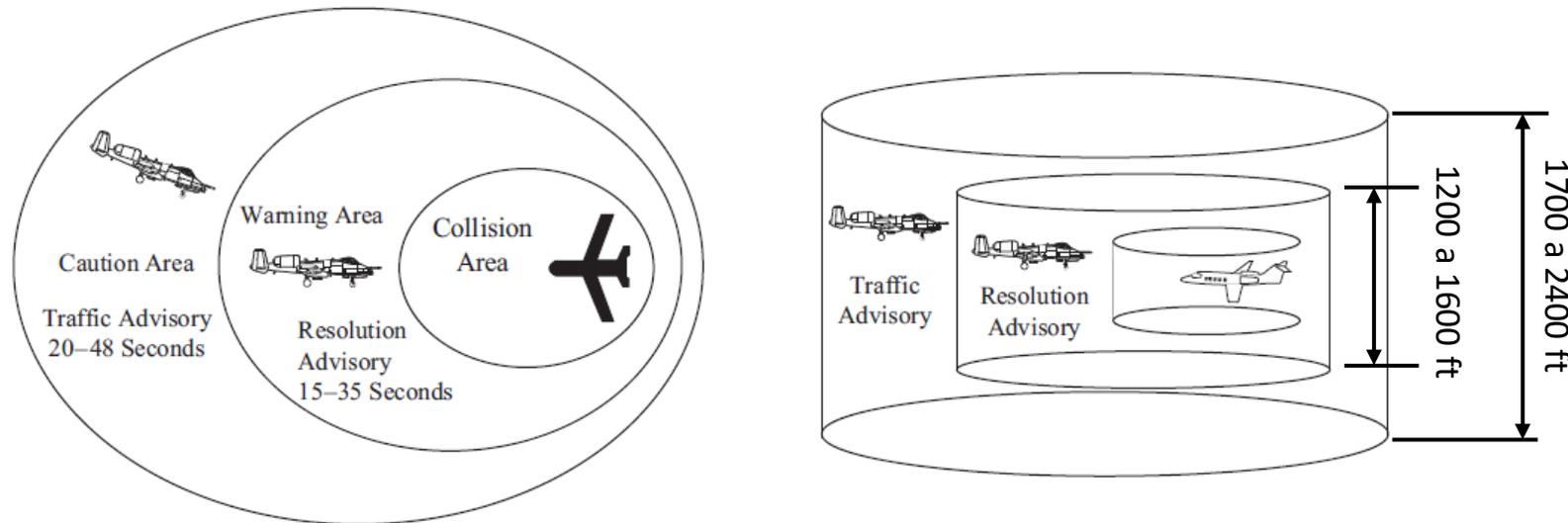
- Antenas



777 GENERAL - ANTENNA LOCATIONS

FONTE: Boeing

- Baseado na proximidade do tráfego, o alerta pode ser dos seguintes modos:
 - Traffic Advisory (TA): Informa a existência de tráfego na proximidade (sem risco de colisão)
 - Resolution Advisory (RA): Informa a proximidade de um tráfego que, se não for tomada uma atitude, pode levar à colisão
 - Other Traffic (OT)/Proximate Traffic: não apresentam risco. São representados na tela, mas não possuem alerta



FONTE: McShea, R. E. (2010)

- Forma como os tráfegos são apresentados no display do TCAS:
 - Traffic Advisory
 - Resolution Advisory
 - ◆ Proximate Traffic: tráfego fora da área de RA, mas dentro do alcance da tela do TCAS (branco ou azul), com possibilidade de vir a ser um TA
 - ◇ Other Traffic: tráfegos na área de alcance do TCAS, representados apenas para aumento da consciência situacional (branco ou azul)

- Além disso, junto a essas indicações são apresentadas as seguintes informações:

+ se o tráfego indicado está mais alto
 - se o tráfego indicado está mais baixo

Diferença de altura entre a aeronave e o tráfego indicado (x100 ft)

+08↓

Se o tráfego indicado está atualmente subindo ou descendo (válido apenas para razões superiores a 500 fpm)

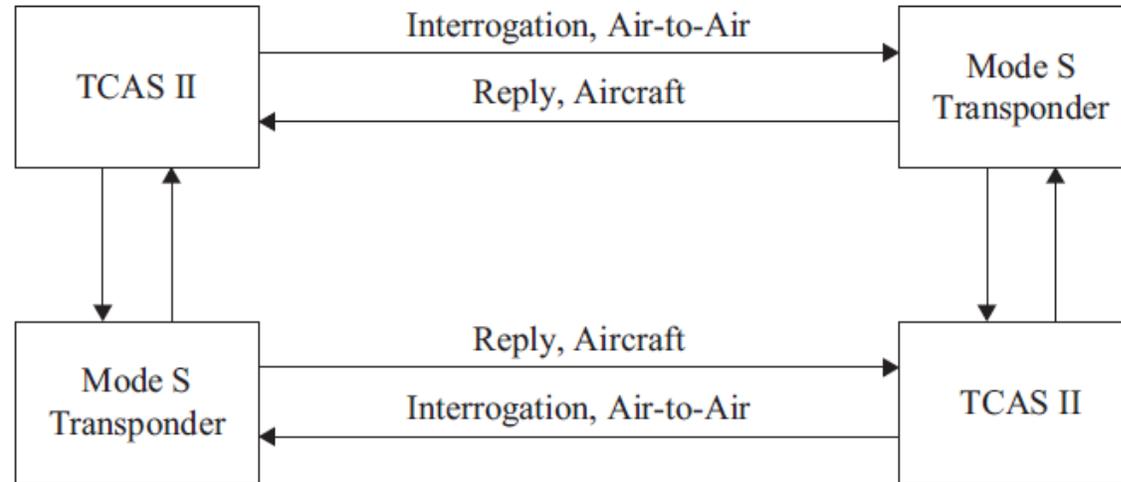


FONTE: Wikipedia



FONTE: flight-mechanic.com

- Os sistemas de TCAS podem ser classificados de duas formas:
 - TCAS I: apresentam uma tela com a representação dos tráfegos próximos
 - TCAS II: apresenta, além das informações do TCAS I, a indicação de qual a atitude a ser tomada pelo piloto da aeronave
- O sistema TCAS II é possível quando este atua em conjunto com o Transponder Mode S
- O Transponder de uma aeronave mantém comunicação com o da outra, e definem que uma das aeronaves deve descer e a outra subir, por exemplo



FONTE: McShea, R. E. (2010)

- Os alertas são dados com base no conceito de tempo de reação do piloto (fatores humanos) e do desempenho da aeronave
- As manobras indicadas pelo TCAS II são apenas longitudinais (subida ou descida)

- Alertas dados pelo TCAS I (qualquer situação) e pelo TCAS II em condição de TA:
 - “TRAFFIC, TRAFFIC”
- Alertas dados pelo TCAS II em condição de RA:
 - Climb, climb, climb
 - Descend, descend
 - Reduce Climb
 - Increase Climb
 - Etc.
- Esses alertas devem ser dados na forma de aural e mensagem de texto na tela do TCAS

- A velocidade vertical do tráfego indicado é medida pela diferença de posição de dois pulsos consecutivos dados pela antena de TCAS
- A determinação do alcance máximo da indicação pode ser regulada no display
- Para evitar interferências quando a aeronave está próxima ao solo (como em um pouso ou decolagem), o sistema deve ter alguma forma de ser inibido. As formas mais comuns são por radar altímetro (abaixo de uma determinada altura, o sistema é inibido) ou por trem de pouso (o sistema é inibido quando o trem de pouso está abaixado)

- Durante anos houve o conceito de TCAS III, que teria as mesmas funções do TCAS II, mas com o adicional de indicar ao piloto desvios laterais também
- O conceito não chegou a ser incorporado porque a tecnologia da época não permitia precisão suficiente, até que surgiu o conceito de TCAS IV, que englobou o TCAS III
- TCAS IV teria, além das funções já descritas, o uso de ferramentas secundárias de navegação, como o GPS
- Como o desenvolvimento do ADS-B, este conceito foi deixado de lado

- Vídeos

<https://www.youtube.com/watch?v=zK7dl3NStIo>

<https://www.youtube.com/watch?v=IHxk0KsRHmg>

- Introdução
- Transponder
- TCAS – Traffic Collision and Avoidance System
- **TAS – Traffic Advisory System**
- Ground Radar
- TAWS – Terrain Awareness and Warning System

- TAS – Traffic Advisory System
- Sistema semelhante ao TCAS I, mas com restrições adicionais
- A antena dos sistemas de TAS são unidirecionais
- O sistema possui dois tipos de tráfego:
 - Traffic Advisory (TA)
 - Other Traffic (OT)
- Os sistemas podem ser classificados de duas formas:
 - TAS classe A
 - TAS classe B

- **TAS classe A**
- Possui um display que indica presença e posição relativa do tráfego
- A indicação deve mostrar diferença entre TA e OT, proa e altitude relativa
- A diferença entre TA e OT deve ser feita por diferença de formato da indicação, já que as telas podem ser monocromáticas
- O alcance da indicação é fixo em 10 NM e deve ser indicado uma linha de 2 NM para referência

- **TAS classe A**
- O sistema deve ser capaz de mostrar pelo menos 3 tráfegos simultaneamente (os 3 mais próximos)
- A diferença entre TA e OT em geral é uma forma cheia (TA) e a mesma forma representada apenas por linha (OT)
- O aural deve ser “Traffic, traffic”, em condição TA



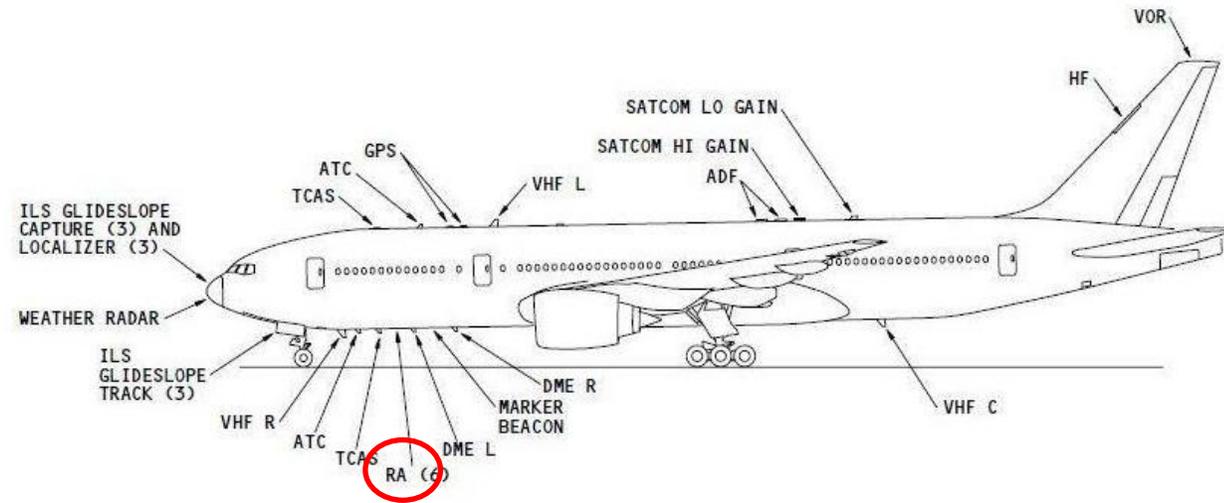
FONTE: Wikipedia

- **TAS classe B**
- Não possui tela, mas valem todas as outras características apresentadas no TAS classe A
- Pela ausência de tela, uma mensagem visual “Traffic, traffic” deve ser apresentada no EICAS

- Introdução
- Transponder
- TCAS – Traffic Collision and Avoidance System
- TAS – Traffic Advisory System
- **Ground Radar**
- TAWS – Terrain Awareness and Warning System

- Ground Radar ou Radar Altímetro (RA)
- Sistema de radar utilizado para medição de altura da aeronave
- Sinal de onda contínua, operando de 4,2 GHz a 4,4 GHz
- Por limitações físicas, os componentes devem ser pequenos
- Não atua bem sobre gelo ou neve
- A informação gerada por esse sistema é utilizada por vários outros, como TAWS, TCAS, Glideslope, etc.

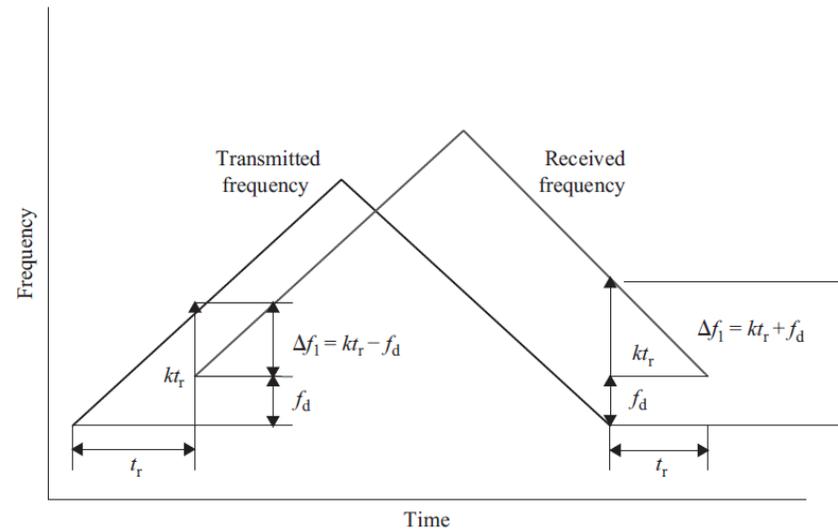
- Antena



777 GENERAL - ANTENNA LOCATIONS

FONTE: Boeing

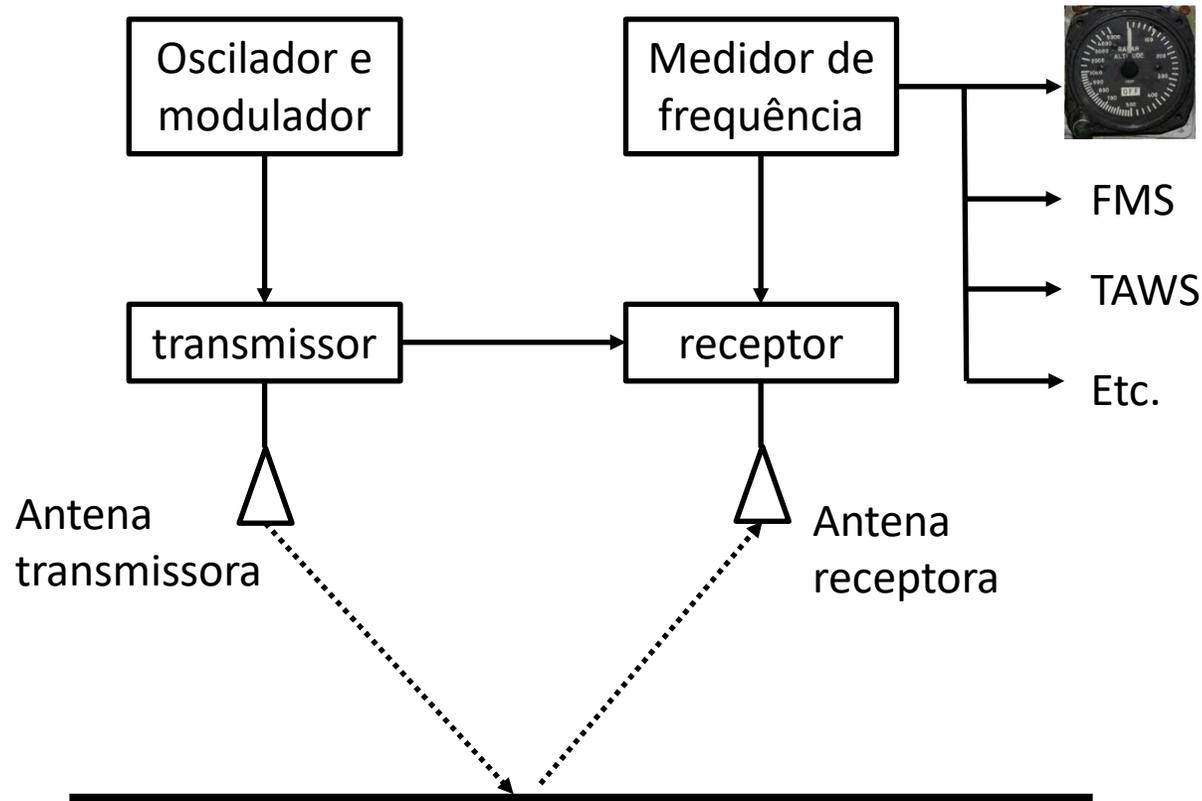
- Como o relevo muda conforme a aeronave se desloca, o sinal utiliza frequência modulada, para diminuir incertezas na indicação



FONTE: McShea, R. E. (2010)

- Precisão do sistema:
 - De 0 a 100 ft de altura: precisão de 1 ft
 - Acima de 100 ft: 1% da altura

- Esquema de funcionamento



- Sistemas de Radar Altímetro trabalham em geral de 0 a 5.000 ft e altura. Alguns sistemas trabalham até 10.000 ft
- Indicação

Analógico



FONTE: 1924-lorencaberisha.blogspot.com

Digital



FONTE: Garmin

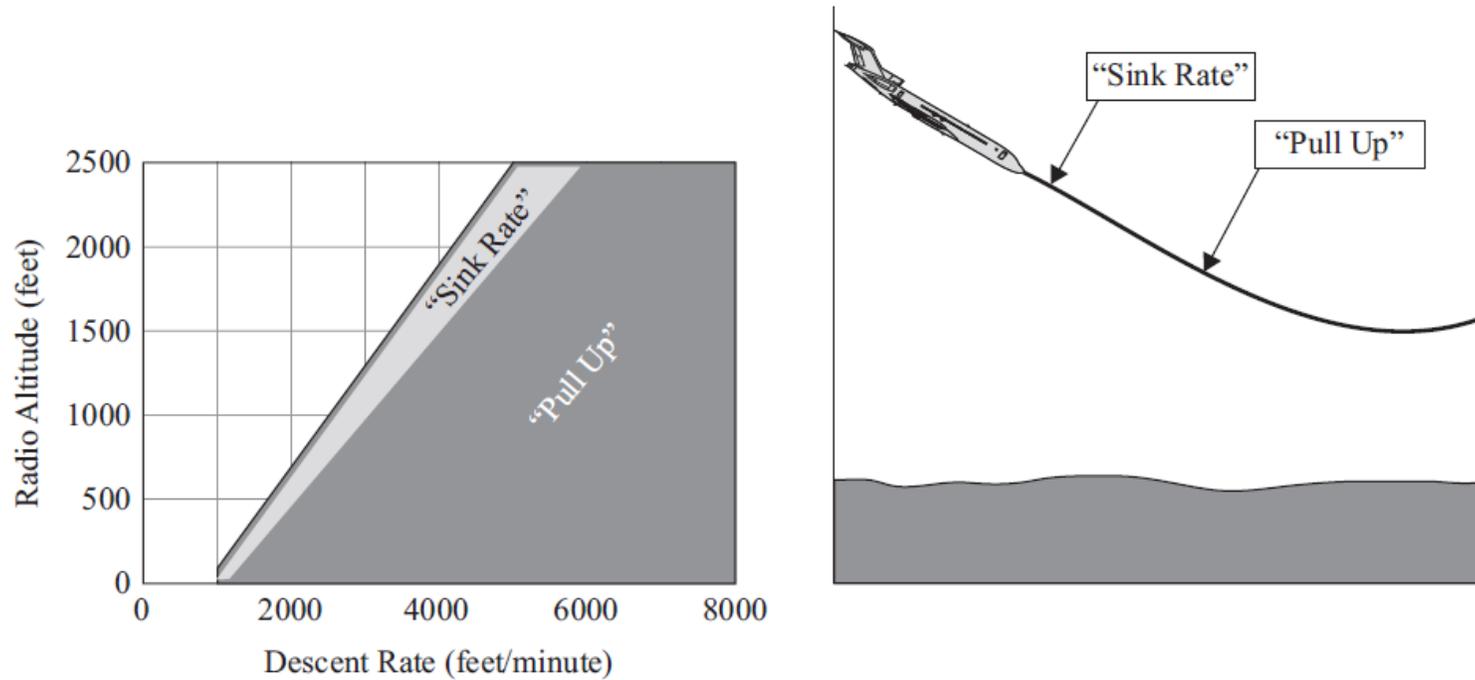
- Introdução
- Transponder
- TCAS – Traffic Collision and Avoidance System
- TAS – Traffic Advisory System
- Ground Radar
- **TAWS – Terrain Awareness and Warning System**

- TAWS – Terrain Awareness and Warning System
- Sistema cuja função é evitar colisão com o solo
- O sistema básico é o GPWS (Ground Proximity Warning System)
- Além dele existe o EGPWS (Enhanced Ground Proximity Warning System), que será estudado posteriormente
- O sistema gera mensagens de alerta com base em parâmetros de navegação e medições do radar altímetro
- Desde 2005 o FAA exige TAWS em aeronaves de 6 ou mais passageiros. Para aeronaves maiores a exigência é desde 1992

- Os sistemas de GPWS são divididos em classe A, B ou C
- Sua função básica é fornecer alerta nas seguintes situações:
 - Modo 1: Razão de descida excessiva *
 - Modo 2: Excesso de proximidade com o terreno
 - Modo 3: Razão de subida negativa após decolagem *
 - Modo 4: Voo em direção ao terreno fora da configuração de pouso
 - Modo 5: Desvio para baixo em uma rampa de ILS
 - Modo 6: Descida para 500 ft ou menos do terreno ou da pista mais próxima *
- No caso de EGPWS, existem as funções adicionais
 - Forward Look Terrain Avoidance (FLTA) *
 - Premature Descent Alert (PDA) *
- Classe A: Todas as funções acima
- Classes B e C: apenas as funções com *

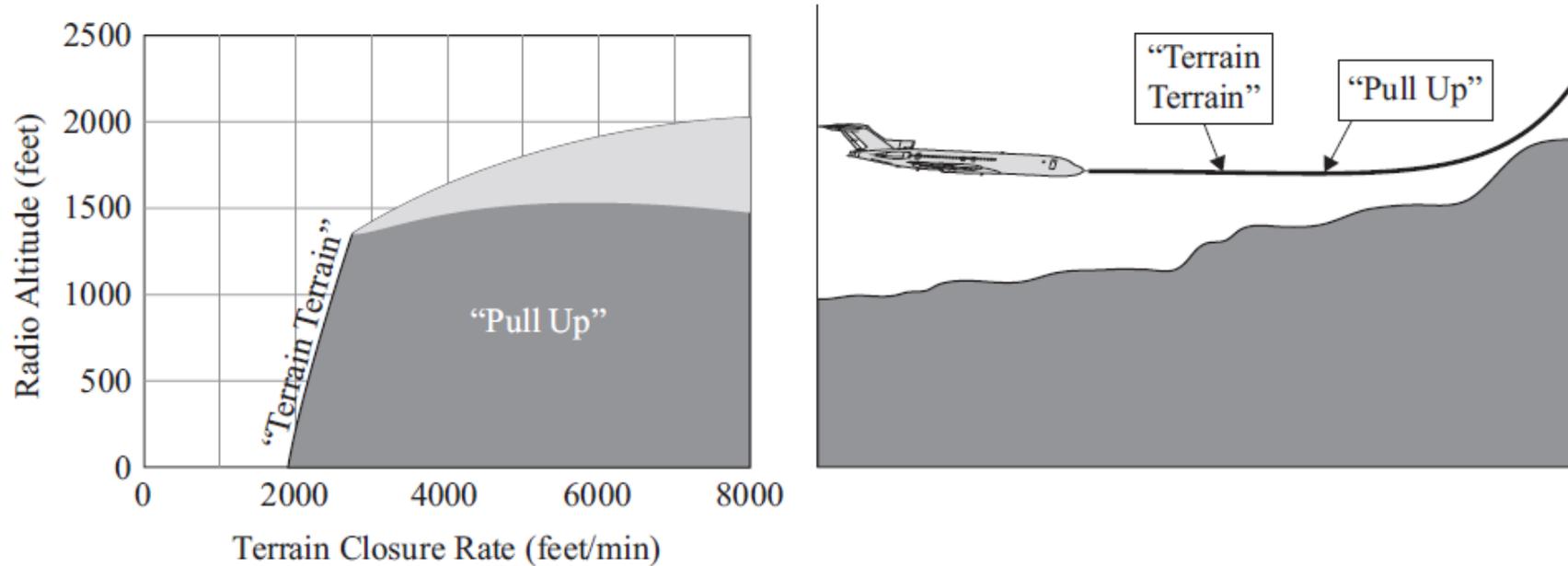
- Os sistemas classe C são idênticos aos classe B, mas instalados em aeronaves sem obrigatoriedade de sistema de TAWS
- Todas as condições de alerta devem apresentar mensagem visual (no MFD) e mensagem aural
- As mensagens podem ser de dois modos:
 - Caution: condição menos grave. Condição anterior à de Warning. As mensagens devem surgir em âmbar e a voz em tom de menor urgência
 - Warning: Condição mais grave. Mensagens em vermelho e voz em tom de maior urgência

- **Condições de Mensagens**
- Modo 1: Razão de descida excessiva



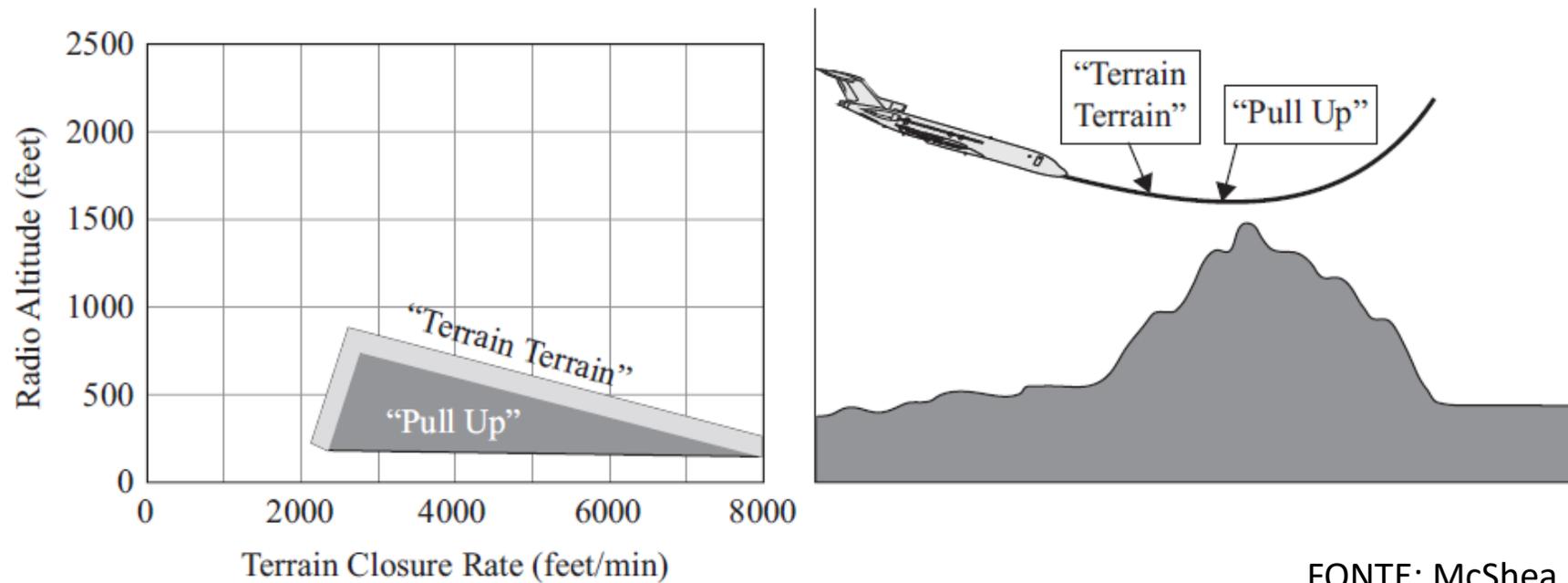
FONTE: McShea, R. E. (2010)

- **Condições de Mensagens**
- Modo 2A: Excesso de proximidade com o terreno – sem flape de pouso



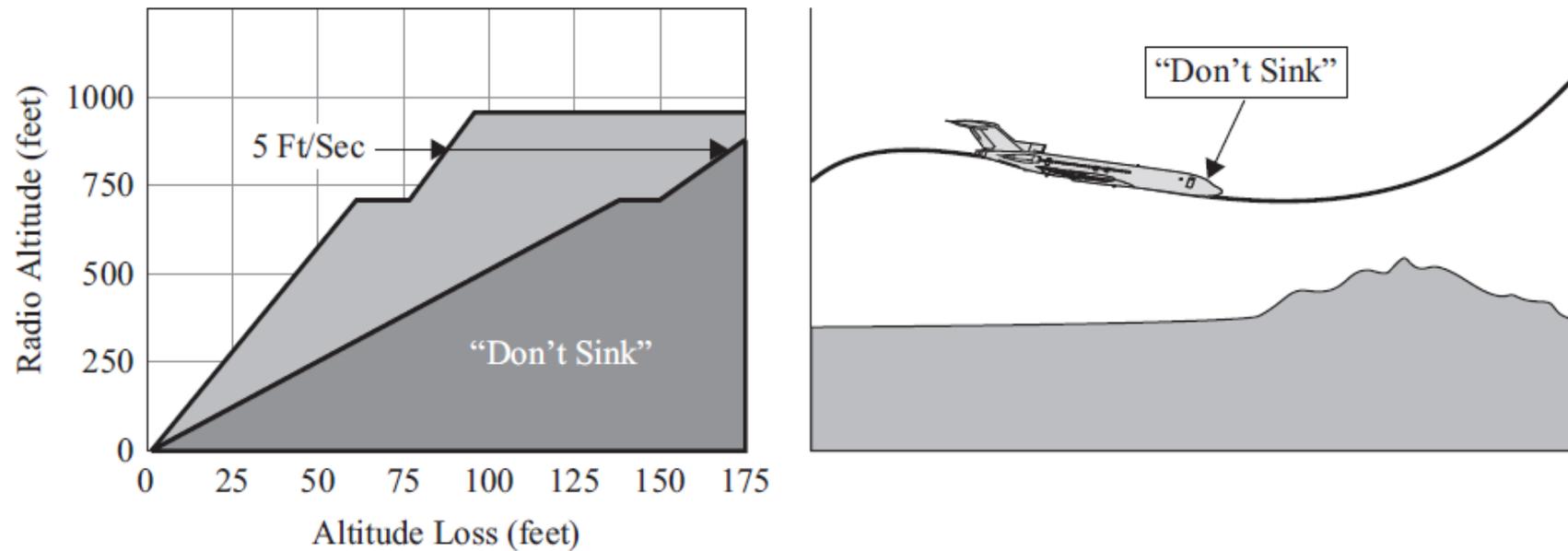
FONTE: McShea, R. E. (2010)

- **Condições de Mensagens**
- Modo 2B: Excesso de proximidade com o terreno – com flape de pouso



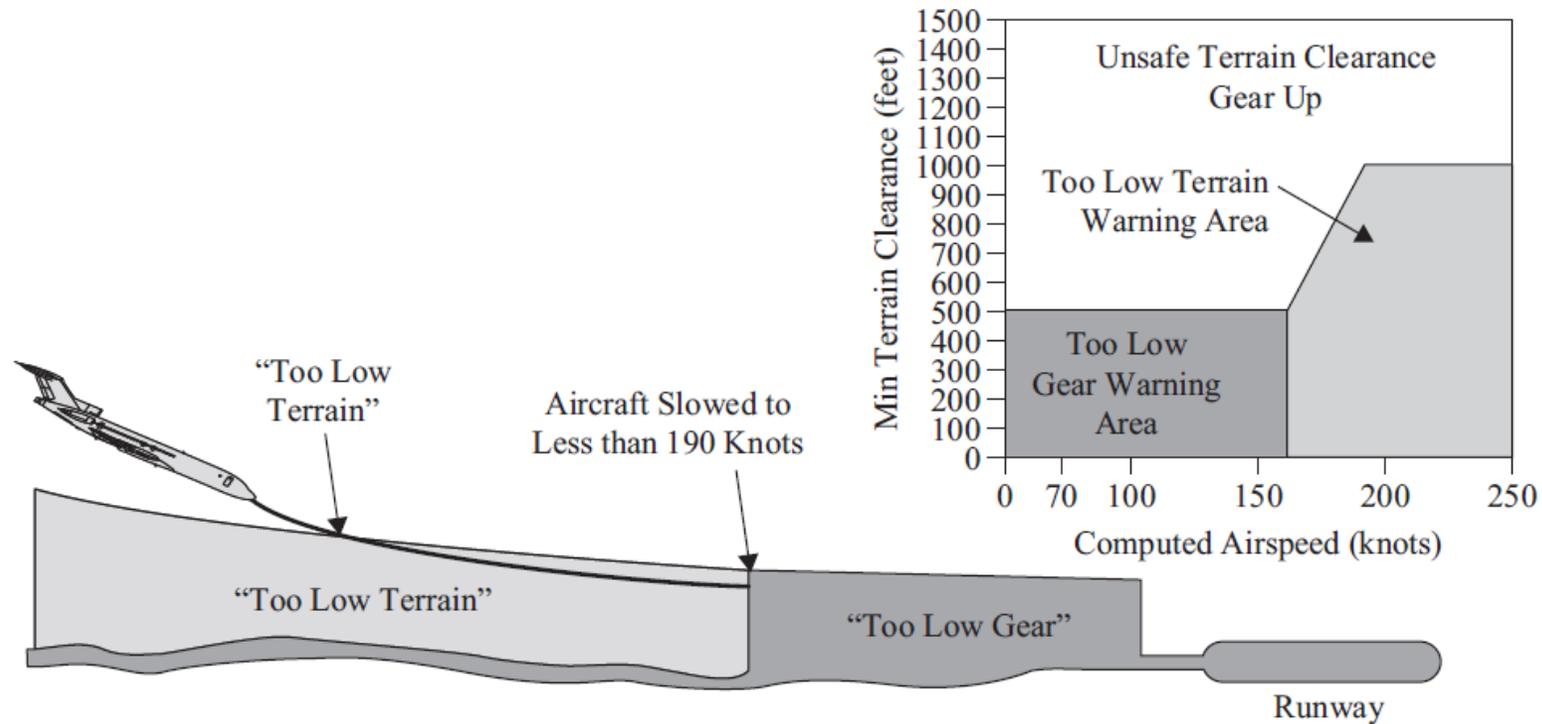
FONTE: McShea, R. E. (2010)

- **Condições de Mensagens**
- Modo 3: Perda de altitude após decolagem



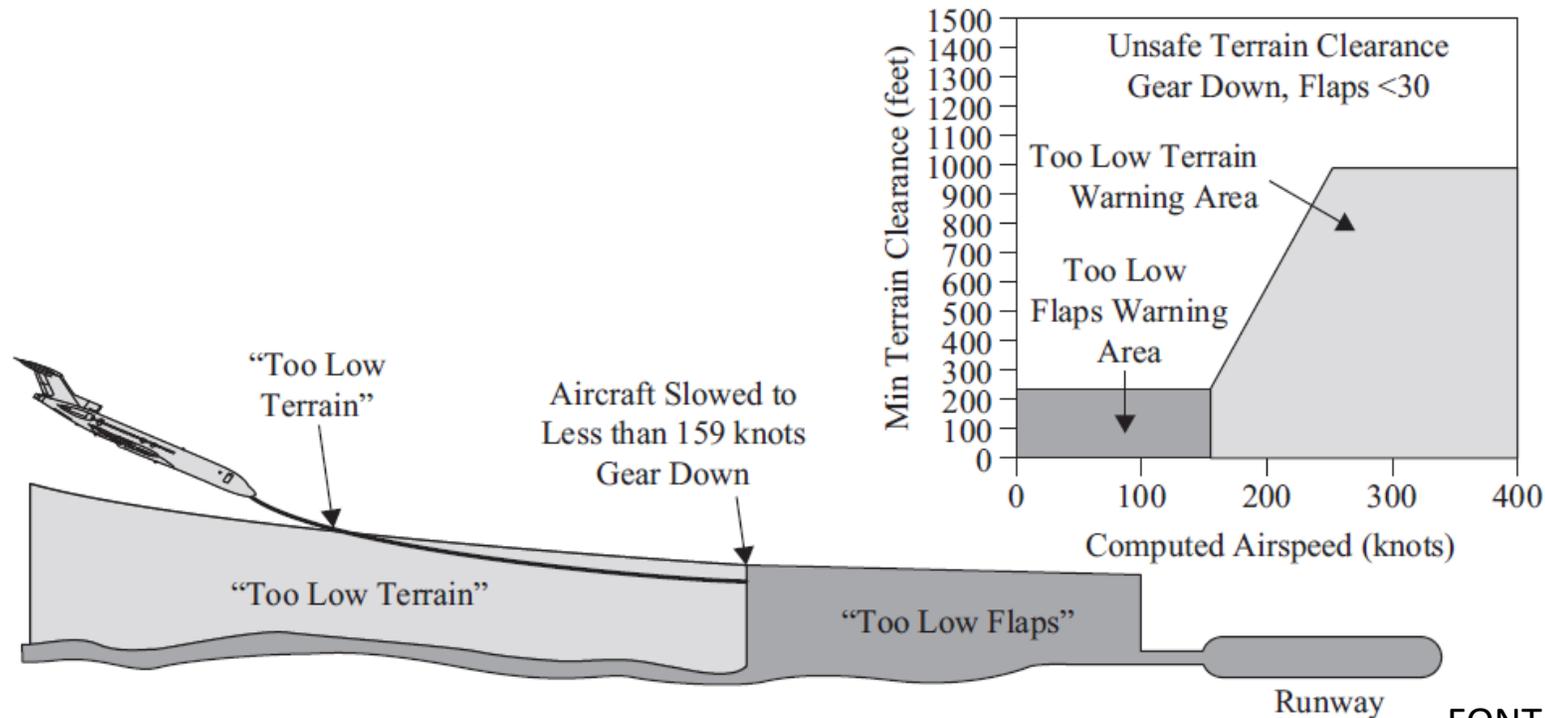
FONTE: McShea, R. E. (2010)

- **Condições de Mensagens**
- Modo 4A: Voo em direção ao terreno – trem de pouso recolhido



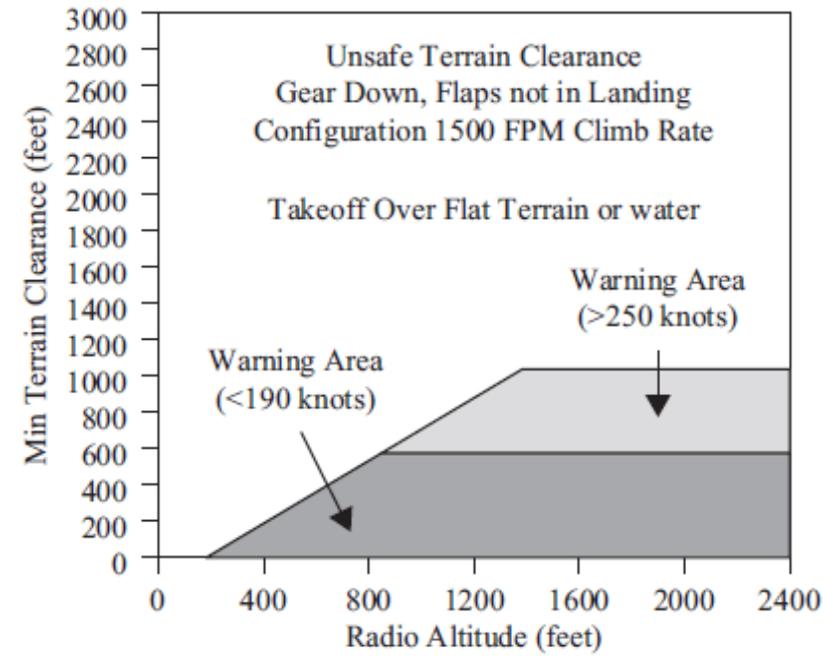
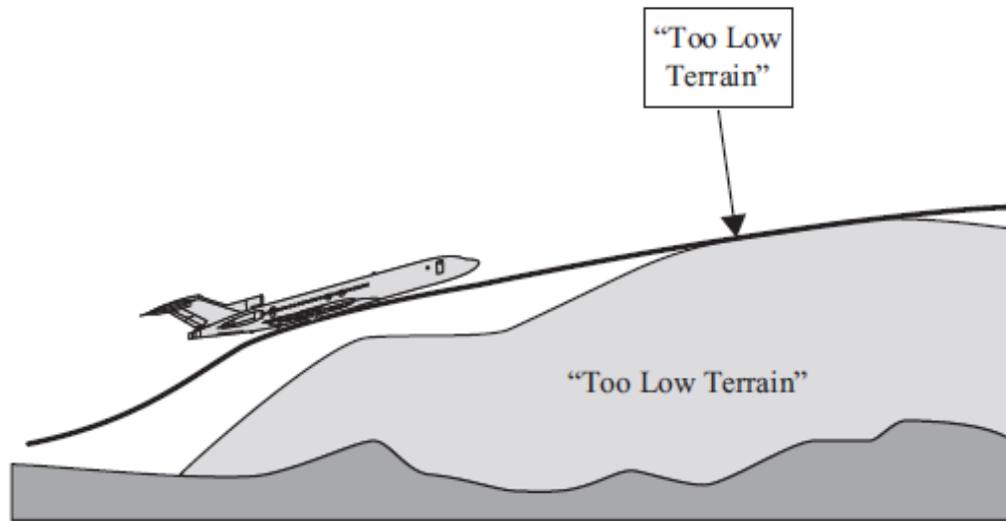
FONTE: McShea, R. E. (2010)

- **Condições de Mensagens**
- Modo 4B: Voo em direção ao terreno – trem de pouso abaixado e flape fora de condição de pouso



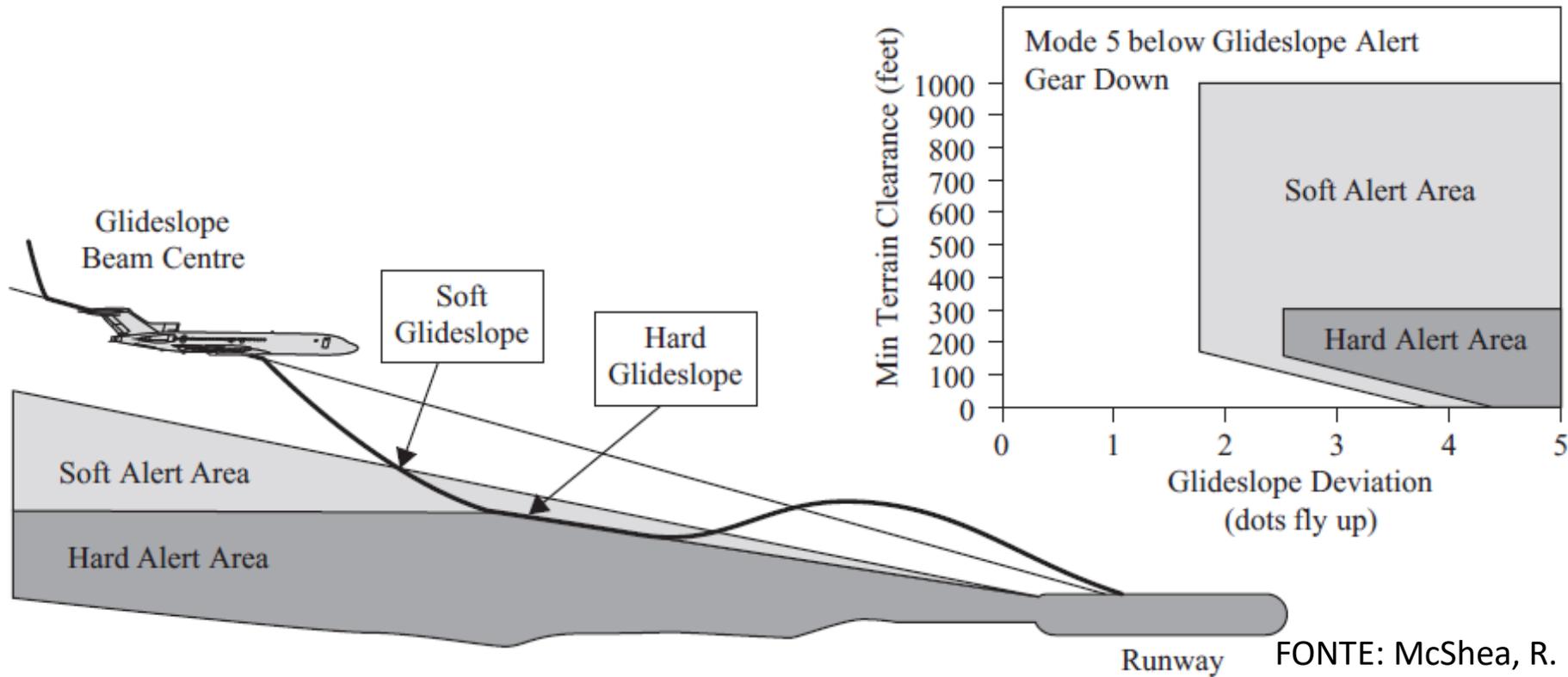
FONTE: McShea, R. E. (2010)

- **Condições de Mensagens**
- **Modo 4C: Contorno de relevo**



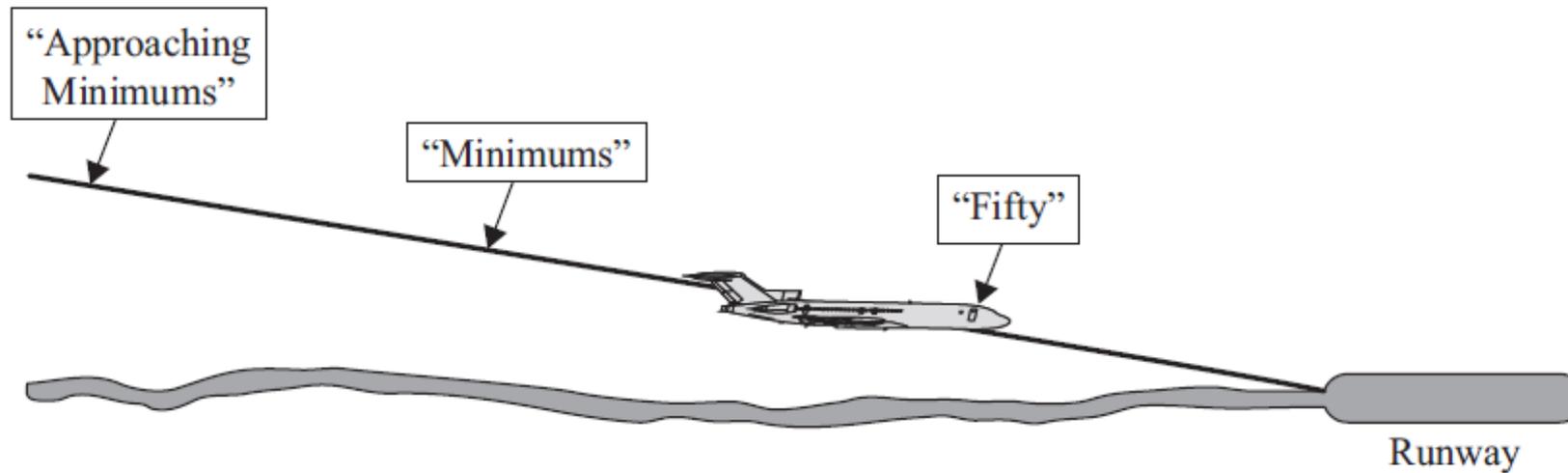
FONTE: McShea, R. E. (2010)

- **Condições de Mensagens**
- **Modo 5: Desvio (para baixo) de rampa de ILS**



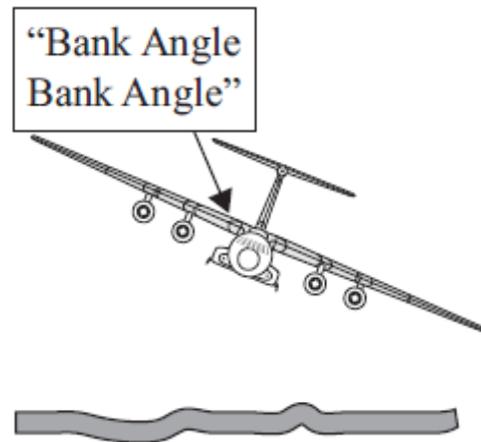
FONTE: McShea, R. E. (2010)

- **Condições de Mensagens**
- Modo 6: “Callouts” de aproximação

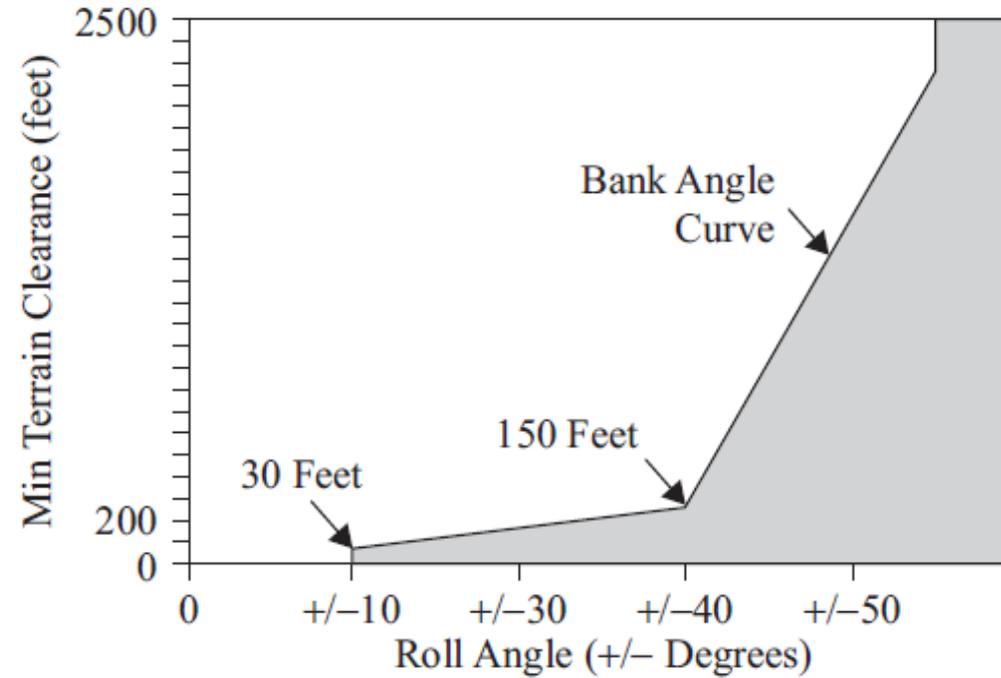


FONTE: McShea, R. E. (2010)

- Condições de Mensagens
- Modo 6: Avisos

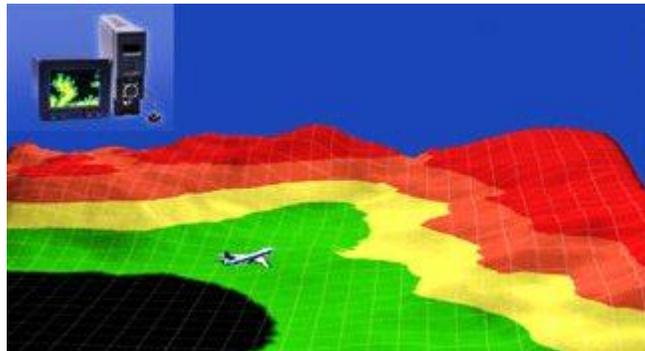


FONTE: McShea, R. E. (2010)



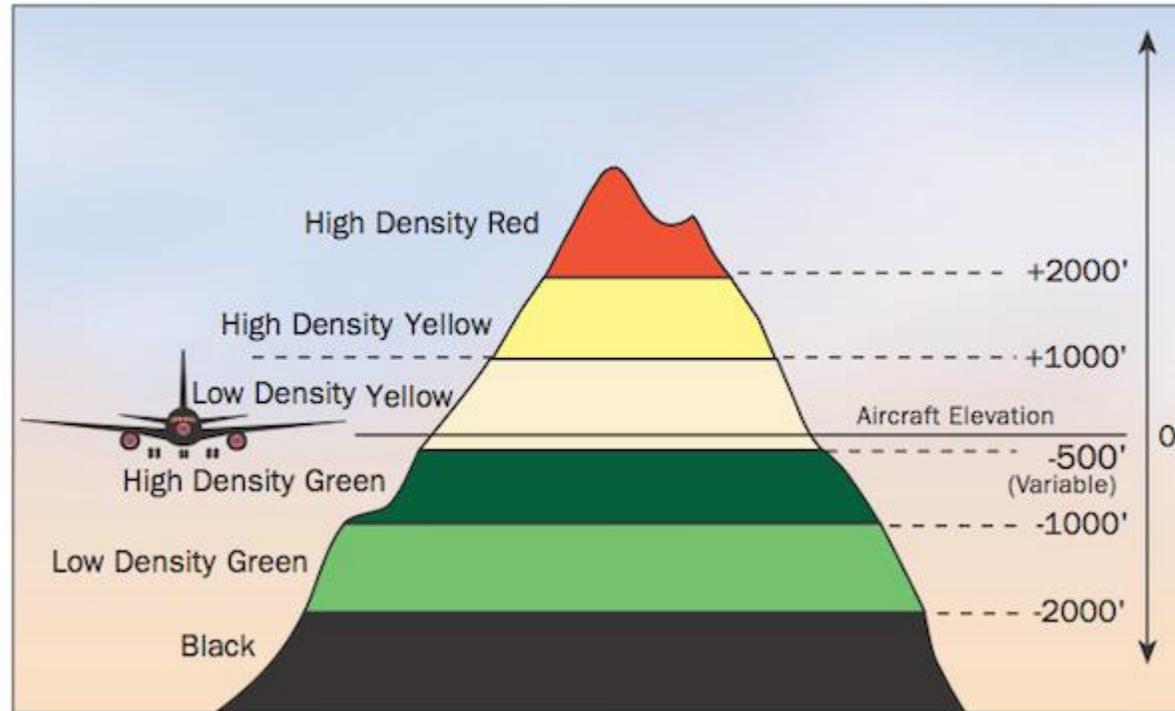
- **Prioridade de Mensagens**
 1. “Sink Rate” e “Pull-up” (warning)
 2. “Terrain” (warning)
 3. “Terrain” (caution)
 4. “Too Low Terrain”
 5. Callouts de aproximação
 6. “Sink Rate” (caution)
 7. “Don’t Sink”

- EGPWS – Enhanced Ground Proximity Warning System
- Tem as mesmas funções do GPWS, com o adicional de possuir uma display que mostra o relevo em escala de cores



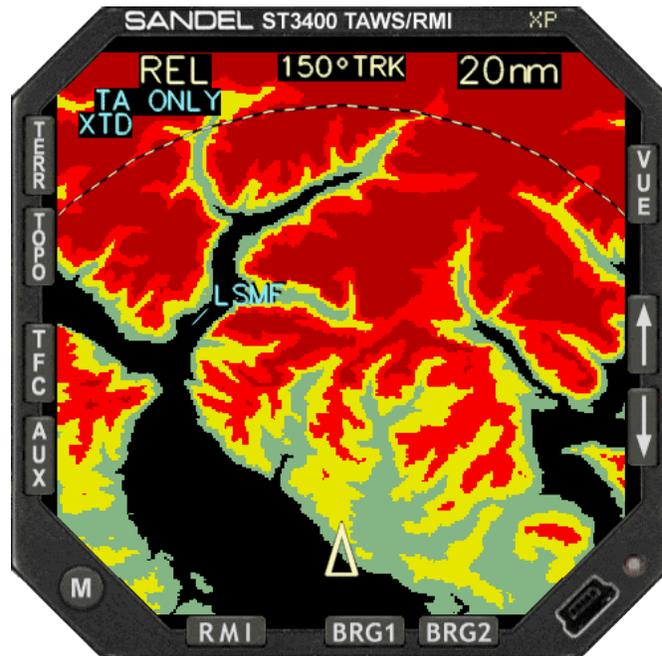
FONTE: klmukiaa.com

- Escala de cores



FONTE: code7700.com

- O terreno mostrado é armazenado em uma base de dados do próprio sistema, que deve ser atualizada constantemente



FONTE: reality-xp.com



FONTE: sandelavilon.com

- Vídeos

<https://www.youtube.com/watch?v=rpcfTX7qf8Y>

<https://www.youtube.com/watch?v=ag6rIU-CDwY>