



# Centro de Instrução Almirante Wandenkolk - CIAW Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA



## Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Sistemas de Armas



## SAB: Simulação e Controle de Artefatos Bélicos Métodos de Guiamento



Jozias **Del Rios** Cap Eng



[delriosjdrvgs@fab.mil.br](mailto:delriosjdrvgs@fab.mil.br)



(12) 98177-9921

Abril 2018



# AA-811

## **SIMULAÇÃO E CONTROLE** **DE ARTEFATOS BÉLICOS**

### Métodos de Guiamento

Instrutor: 1ºTen Eng Jozias **DEL RIOS**

Autor do Material: Jozias **DEL RIOS** — rev. 20.jul.2016

## TÓPICOS

### Métodos de Guiamento

1. GOLiS
2. Homing Guidance
3. Command Guidance
4. Pursuit Guidance
5. Proportional Navigation

## CONCEITOS

**GNC** – Guiamento, Navegação (+IMU) e Controle (autopilotos).

**SSKP** – Single Shot Kill Probability.

**Miss-Distance** – menor distância de encontro míssil-alvo.

**TGO** – Time to Go: tempo restante para impacto (estimado).

**LATAX** – Lateral Acceleration: fator de carga da manobra.

**ZEM** – Zero Effort Miss: zerar LATAX e verificar o miss-distance.

**BTT** – Bank to Turn / **STT** – Skid to Turn

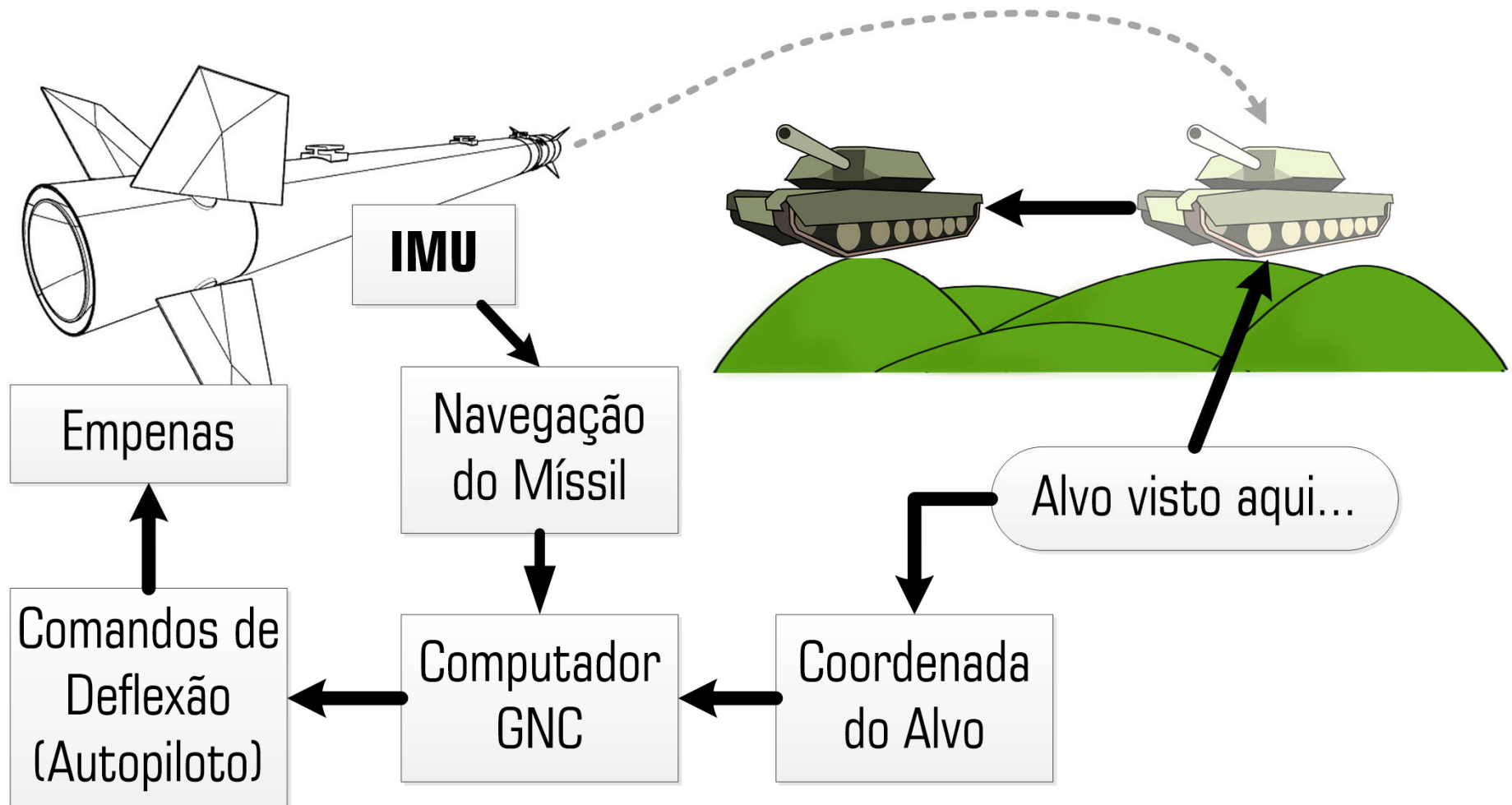
**DLZ** – Dynamic Launch Zone

**NEZ** – No Escape Zone

## NECESSIDADE DE GUIAMENTO

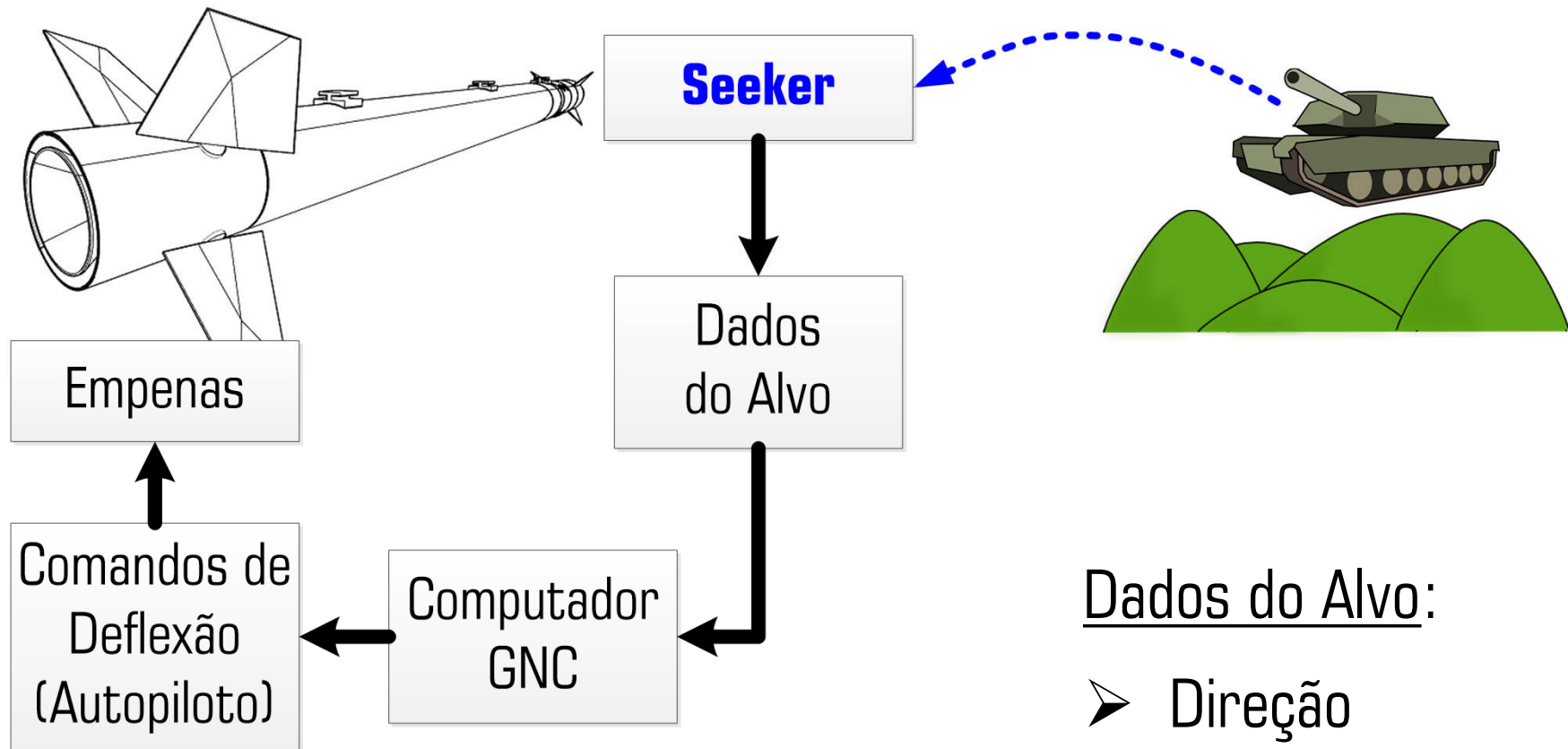
- Dispersão aleatória da condição de lançamento
  - Movimentação e manobras evasivas do alvo
  - Deflexão do rumo por imperfeição do armamento
  - Geometria de interceptação para letalidade efetiva
  - Customização de trajetória
- Amplia o **SSKP Single Shot Kill Probability**
- Aumenta o alcance do armamento (stand-off / safety)
- Reduz atrito e custo

## GOLiS: Go-Onto Location in Space



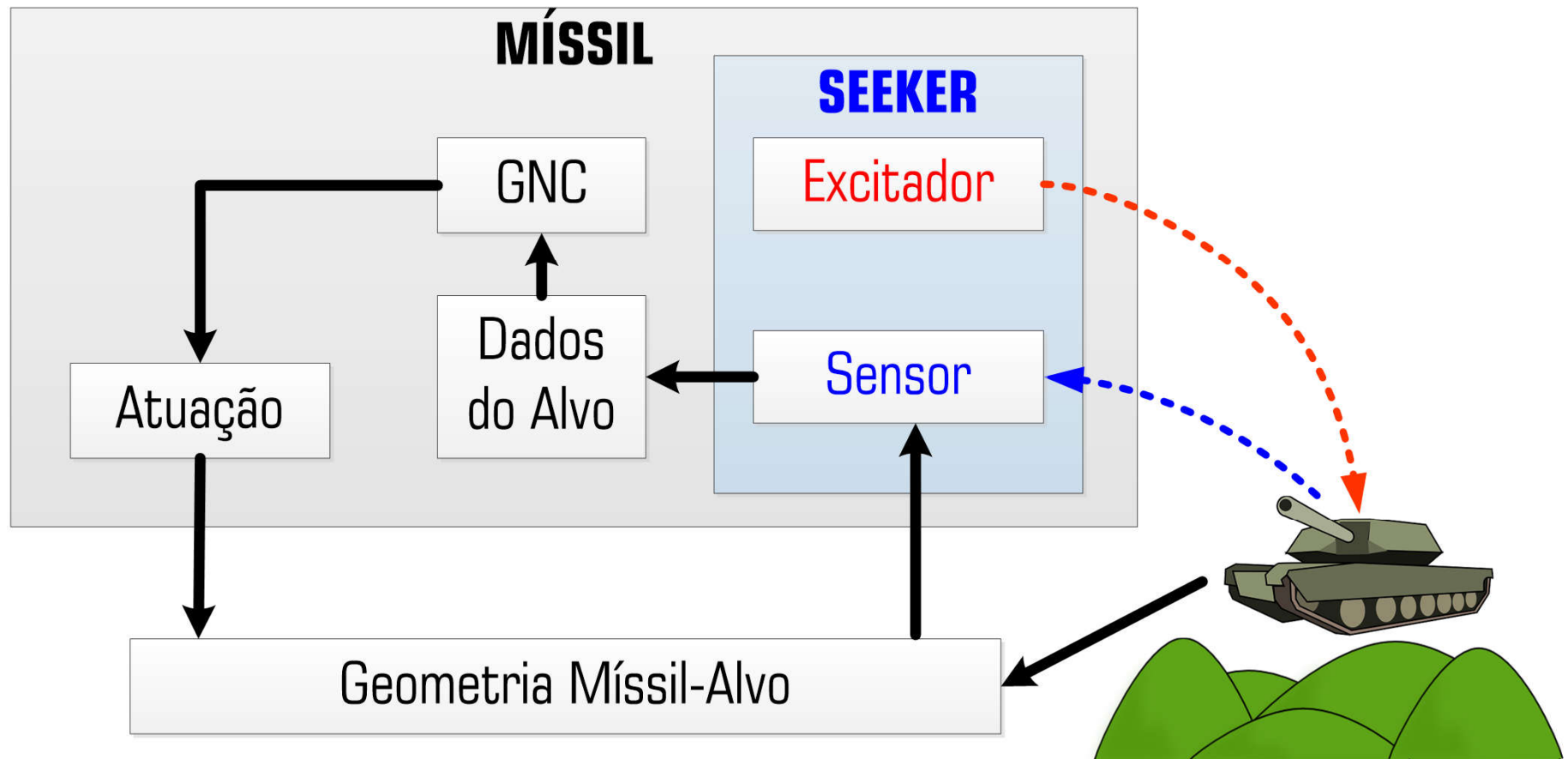
Inertial / Preset / Terrain / Celestial / Magnetic / Radio (GPS) / ...

## HOMING GUIDANCE



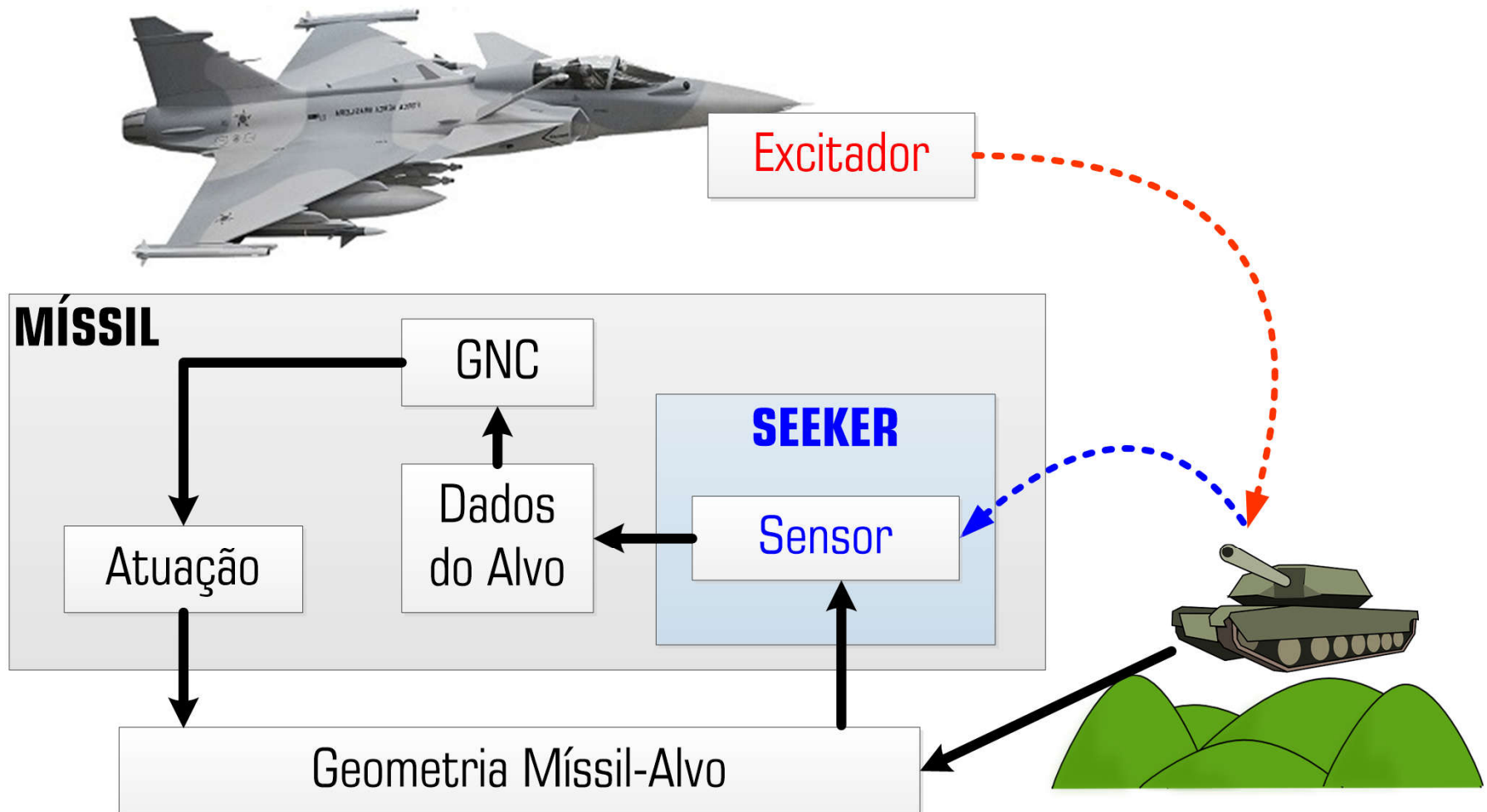
(**V**elocidade **A**ngular **I**nercial da **L**inha de **V**isada)

## ACTIVE HOMING GUIDANCE

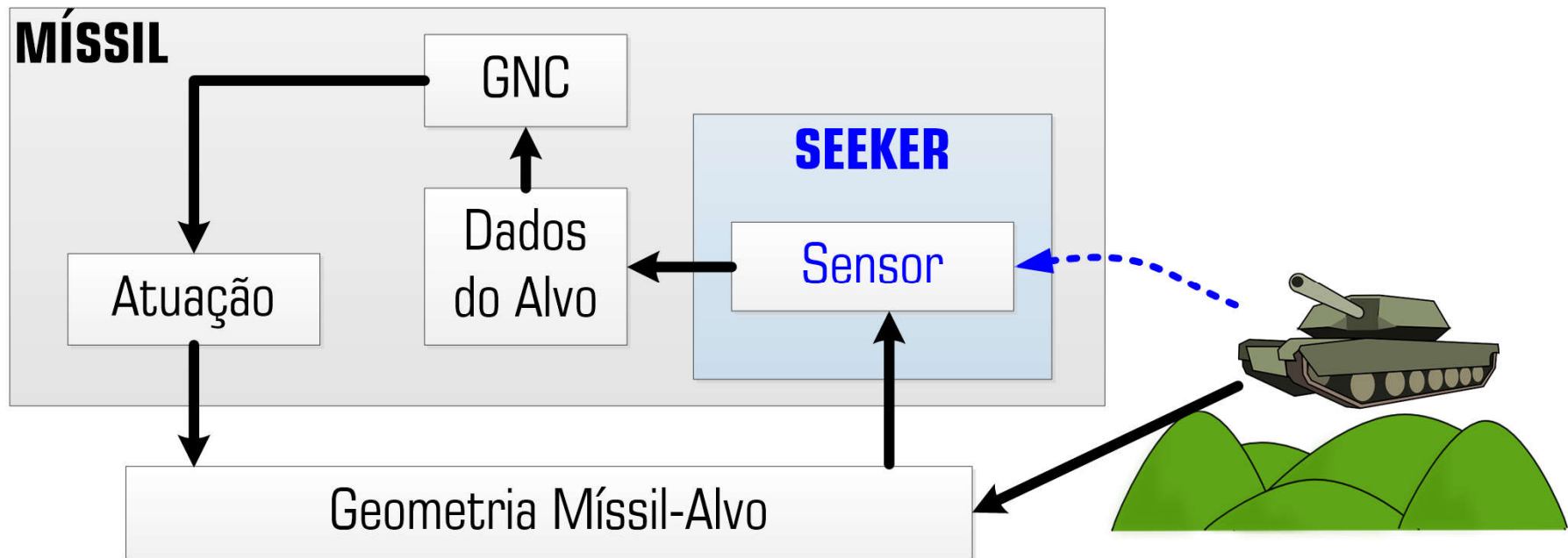




## SEMI-ACTIVE HOMING GUIDANCE



## PASSIVE HOMING GUIDANCE

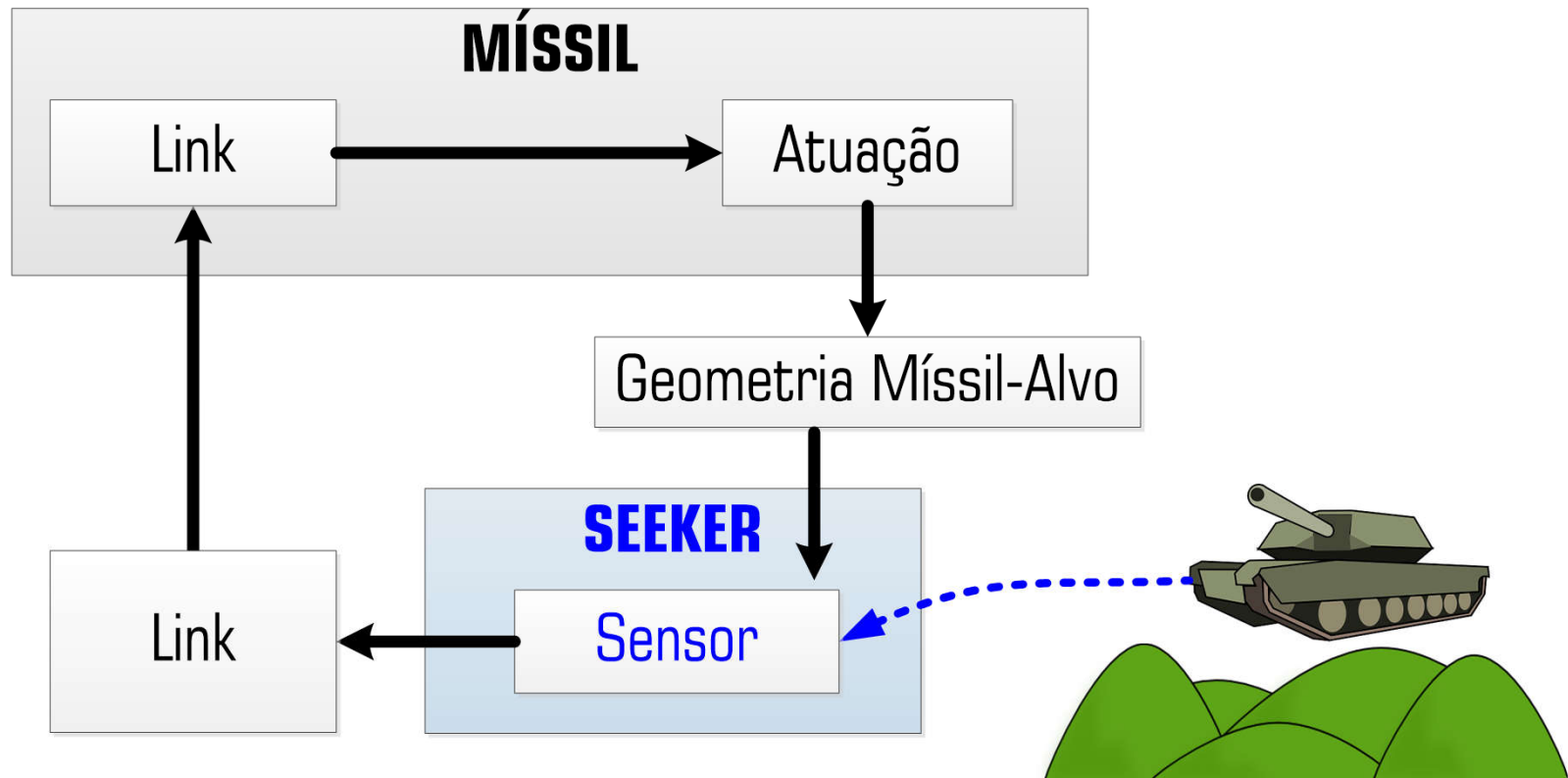


infrared (IR) (heat seeker),

Radar (anti-radiation),

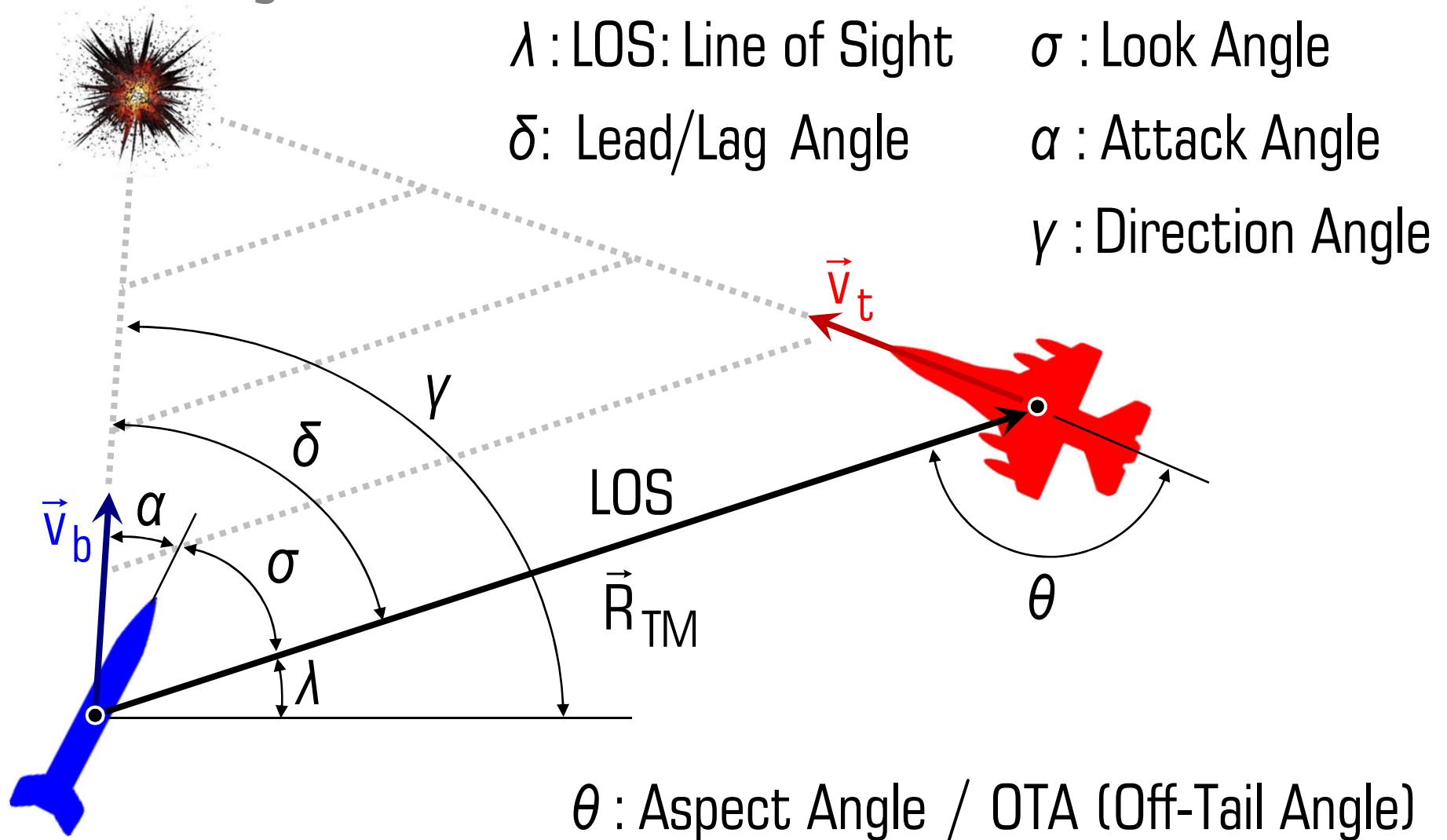
sound ...

## COMMAND GUIDANCE



Man-in-the-Loop, Beam-Rider, Line-of-Sight

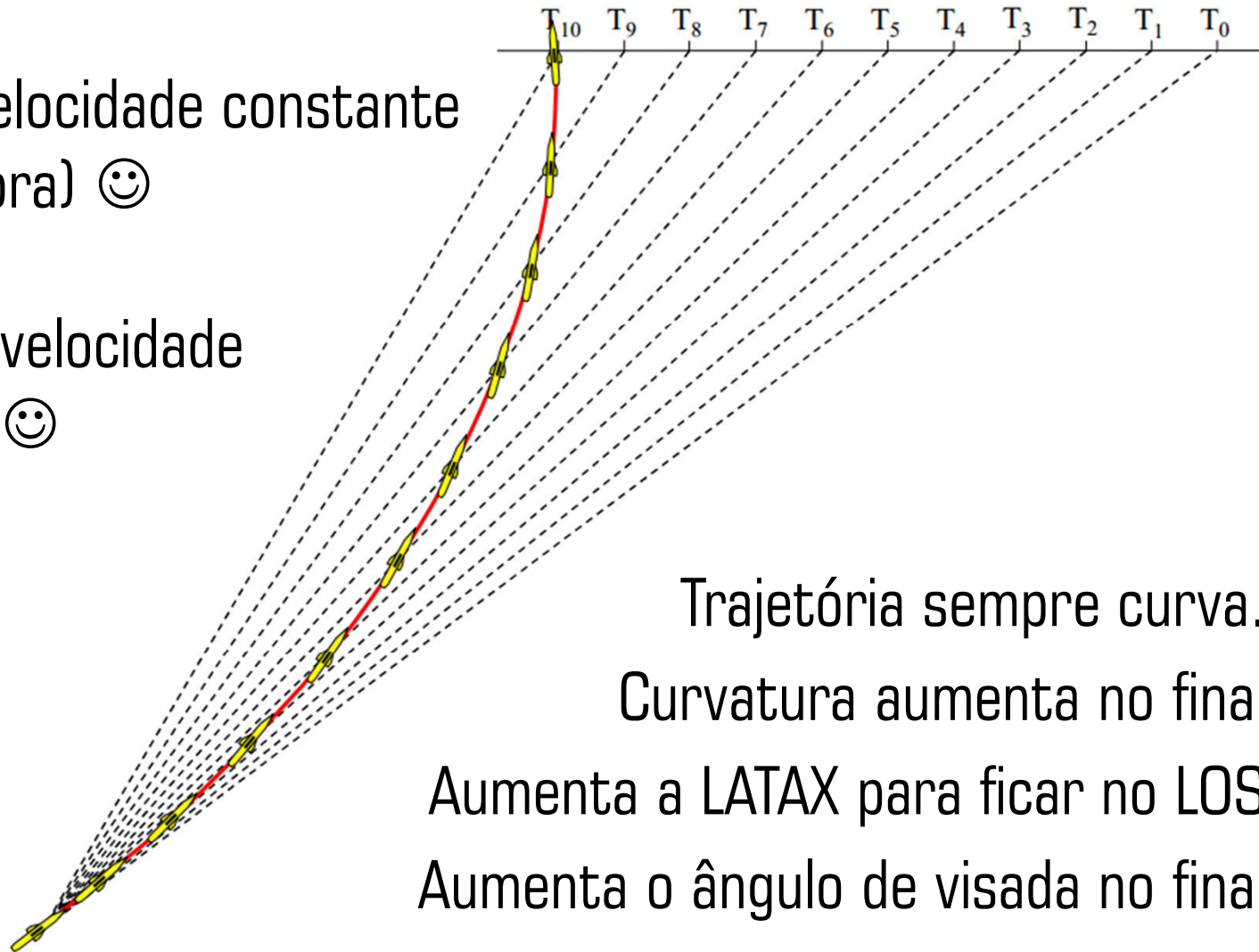
## NAVEGAÇÃO PROPORCIONAL (PN) - GEOMETRIA



## CLOS: COMMAND to LINE of SIGHT - GEOMETRIA

Alvo com velocidade constante  
(não manobra) 😊

Míssil com velocidade  
constante. 😊



Trajetória sempre curva. ☹

Curvatura aumenta no final ☹

Aumenta a LATA para ficar no LOS ☹

Aumenta o ângulo de visada no final ☹

## PURSUIT GUIDANCE

### Attitude Pursuit:

Controla a direção do corpo do míssil para apontar para o alvo.

### Velocity Pursuit:

Controla a direção da velocidade do míssil para o alvo. (Melhor)

Trajetória sempre curva ☹️

Curvatura aumenta no final (aumenta LATAX no final) ☹️☹️

Diminui o ângulo de visada no final (LA) 😊

Bom para engajamento Air-Air Head-on

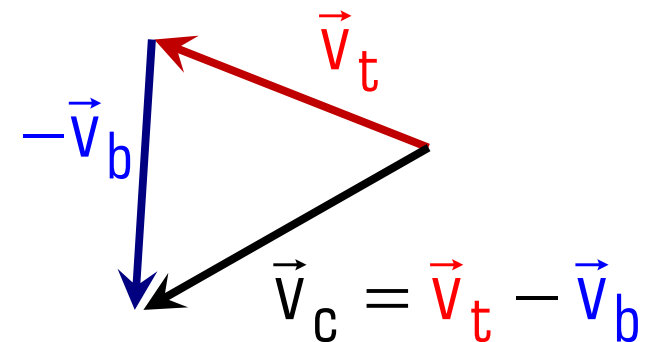
## “PROPORTIONAL NAVIGATION” GUIDANCE

Antecipa a manobra, para deixar a trajetória reta 😊😊😊

Mantem o ângulo de visada constante 😊

Curvatura zero no final 😊😊

$$a_{\perp \lambda} = K_{NP} \cdot v_c \cdot \dot{\lambda}$$



$v_c$  : closing speed: velocidade de aproximação. Só radar mede 😞

Derivada do LOS  $\rightarrow$  autodiretor precisa ter baixo ruído. 😞

$K_{NP}$ : constante efetiva de navegação: valor entre 3 e 5.

3  $\rightarrow$  – LATAX, miss-distance maior quando o alvo manobra.

5  $\rightarrow$  +LATAX, realimenta erros/atrasos do Seeker/GNC/Act

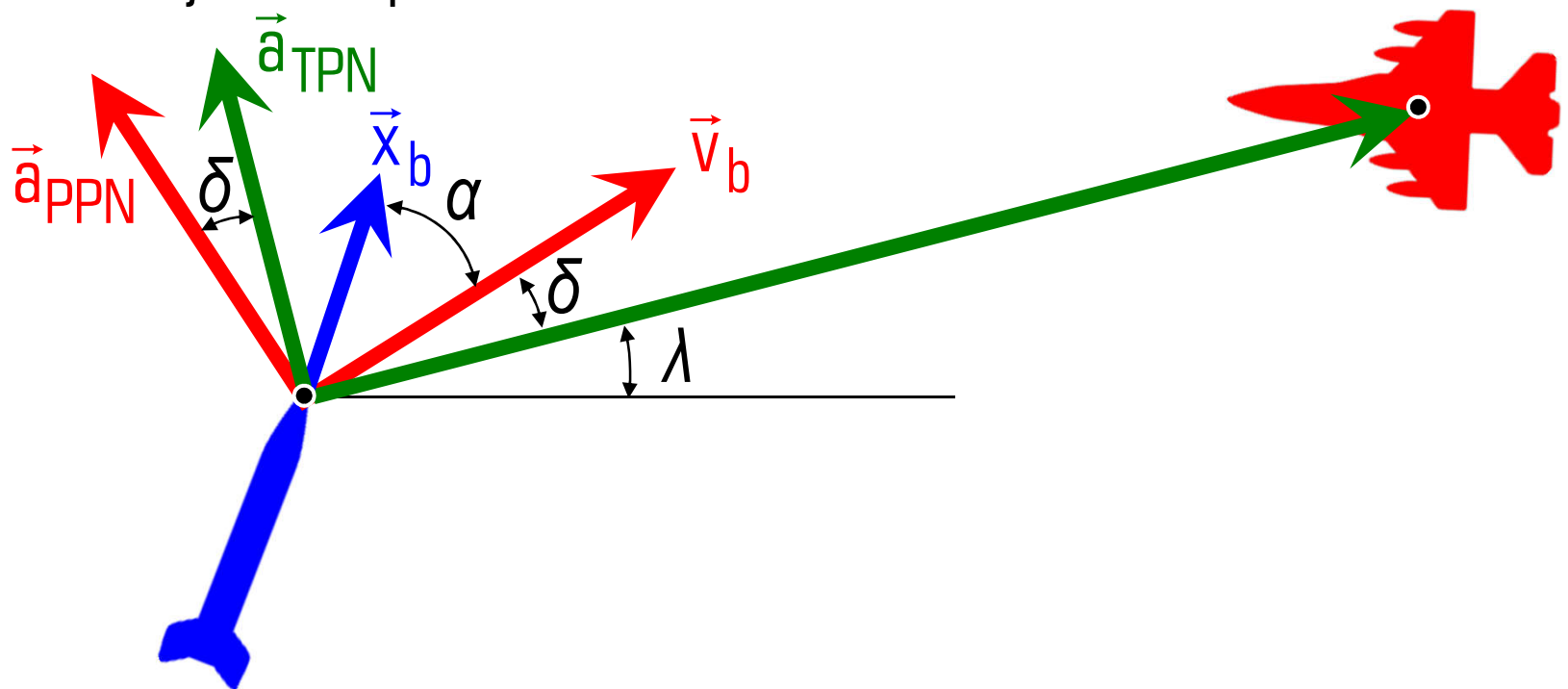
## “PROPORTIONAL NAVIGATION” GUIDANCE

**TPN:** True Proportional Navigation:

Manobra desejada no plano normal ao LOS.

**PPN:** Pure Proportional Navigation:

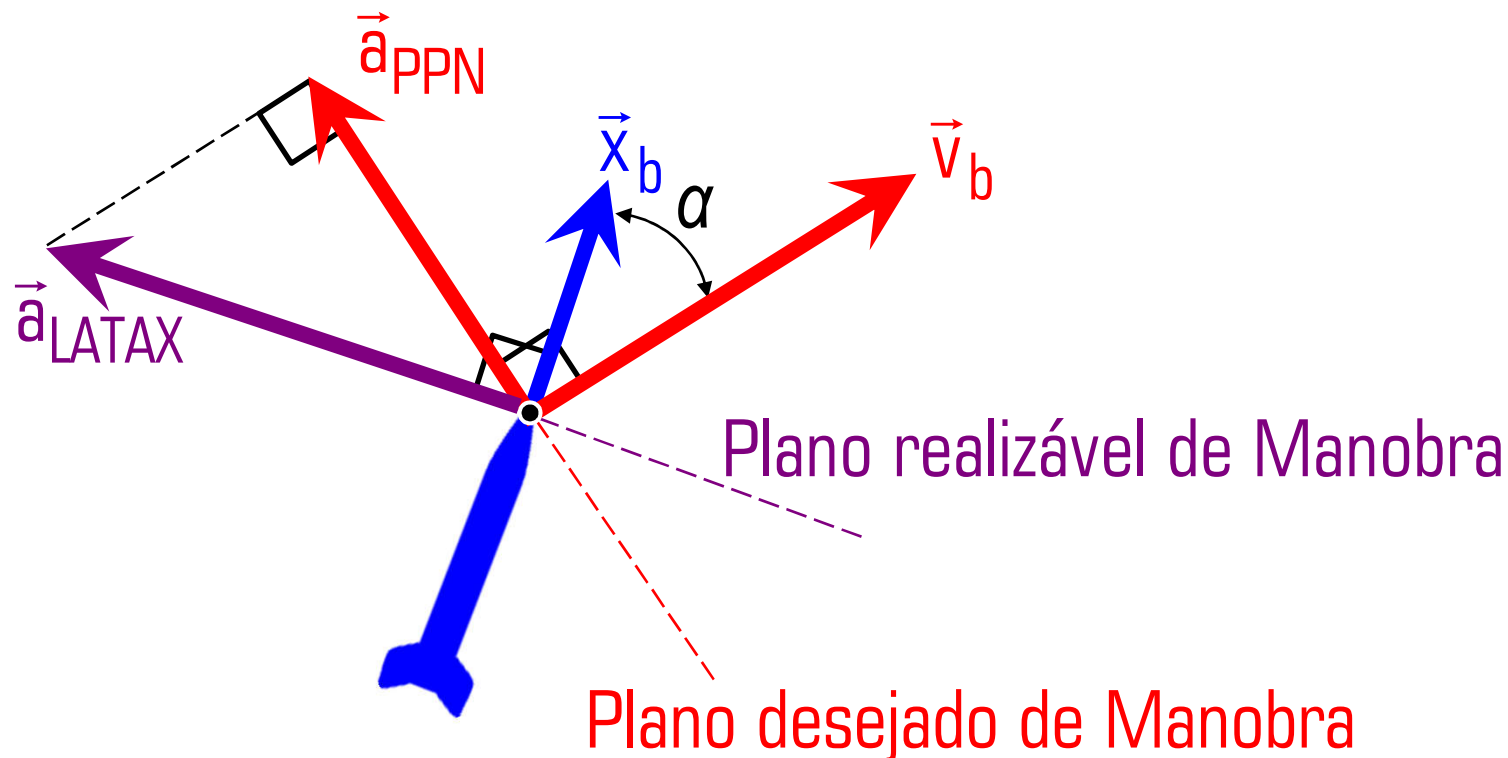
Manobra desejada no plano normal à velocidade.





## DESPROJEÇÃO DA ACELERAÇÃO

Manobras no plano perpendicular ao eixo do míssil devem resultar na aceleração desejada pela Lei de Guiamento quando projetado no plano desejado de manobra:



## MALHAS DE CONTROLE

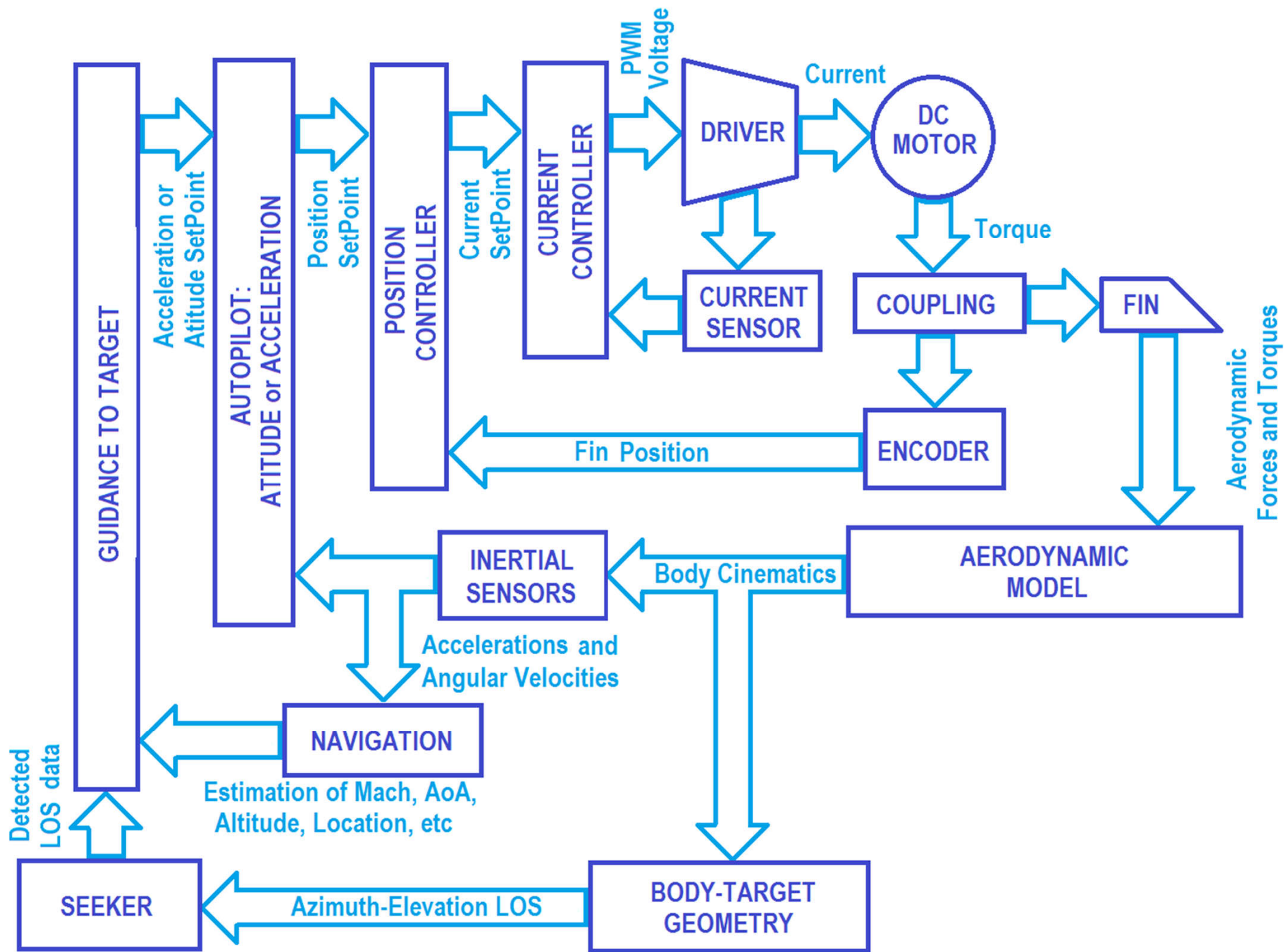
Cada malha fechada é de **3 a 10** vezes mais rápida do que a próxima malha externa: constante de tempo ou bandwidth (BW)

Malha mais externa de todas deverá ser a mais rápida possível.

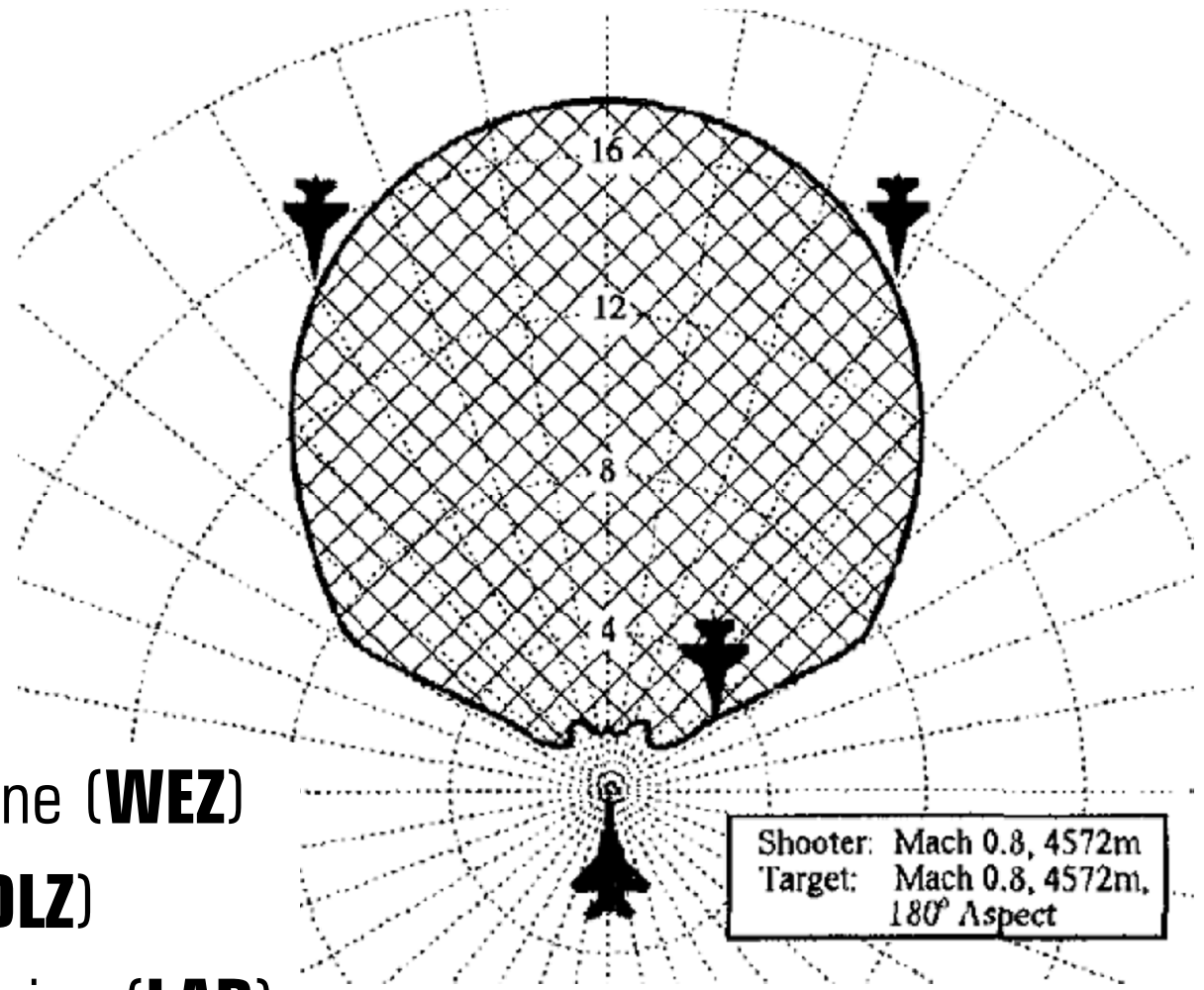
Conclusão: malha de corrente tão rápida quanto possível.

Obs: A velocidade do sistema ainda será limitada pelo atraso do autodiretor e a largura de banda da aerodinâmica;

Exemplo:	PWM	=	<b>3000</b> Hz	
	Corrente	=	<b>300</b> Hz	(Atuadores)
	Posição	=	<b>100</b> Hz	
	Autopiloto	=	<b>20</b> Hz	
	Guiamento	=	<b>5</b> Hz	



## NO ESCAPE ZONE (NEZ)



Weapon Engagement Zone (**WEZ**)

Dynamic Launch Zone (**DLZ**)

Launch Acceptability Region (**LAR**)