

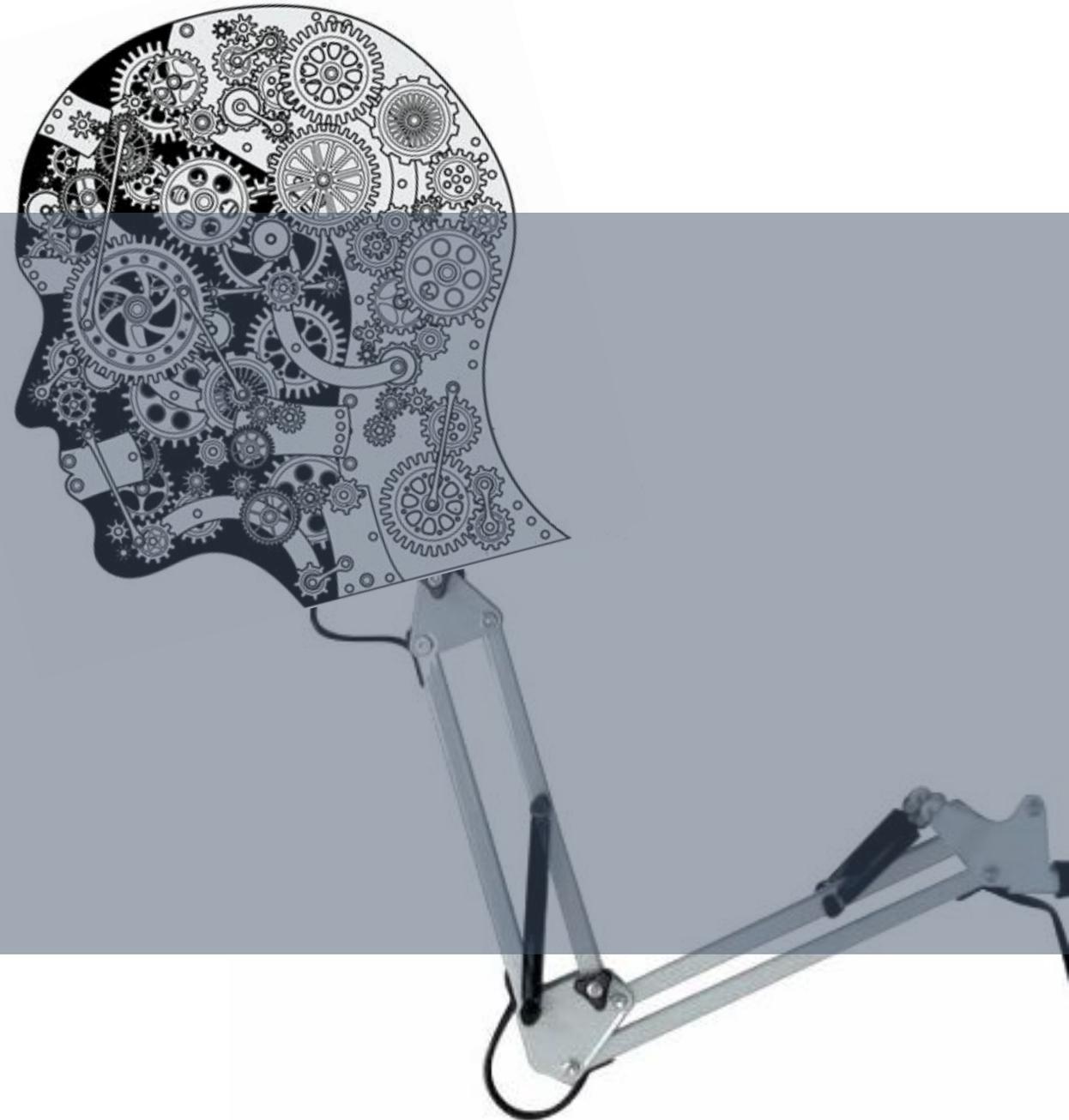


**Escola de Engenharia de São Carlos**  
Departamento de Engenharia Mecânica

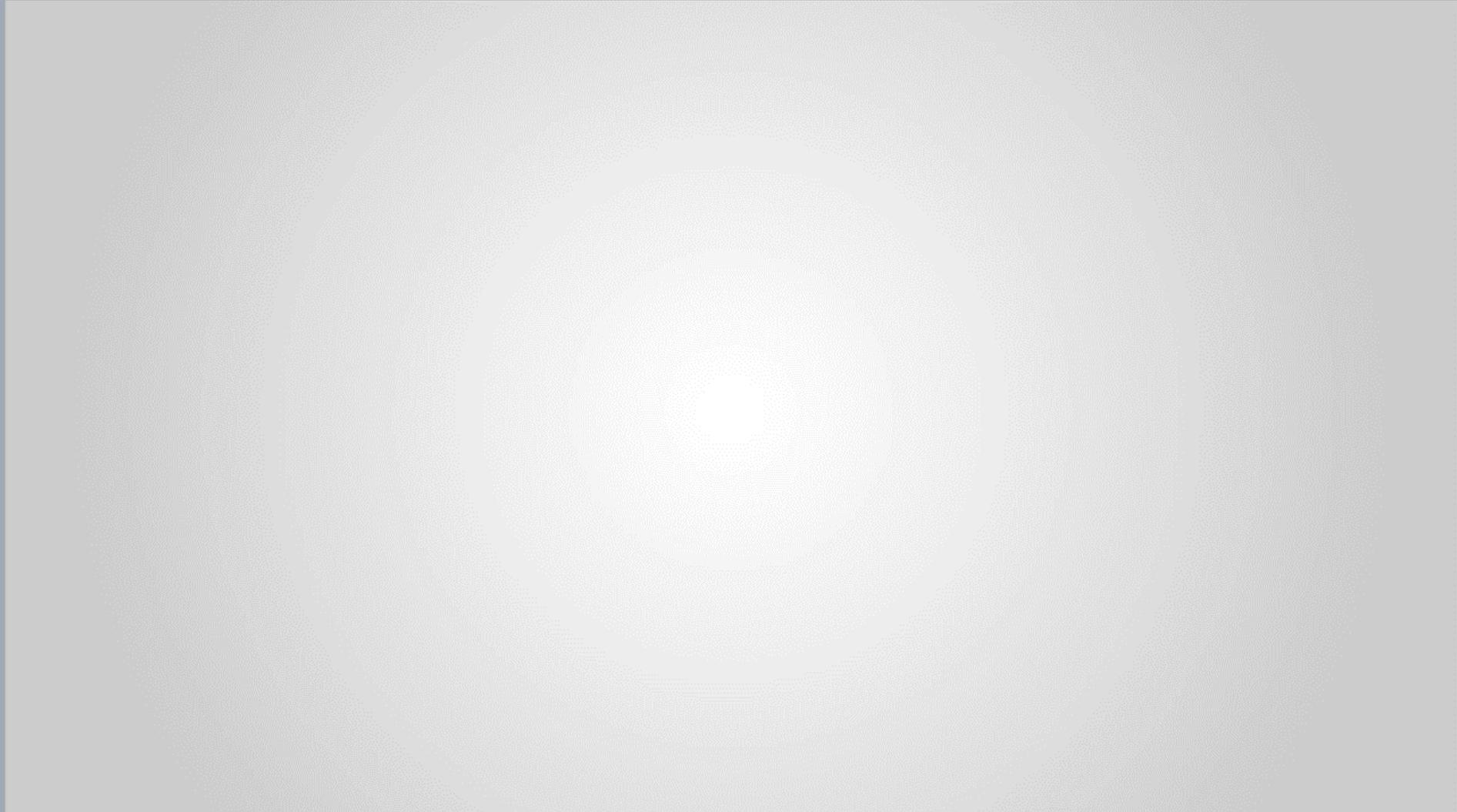
# SEM 104 - Mecanismos

Prof. Rodrigo Nicoletti

## AULA 11 – Cames



# Exemplos de Cames

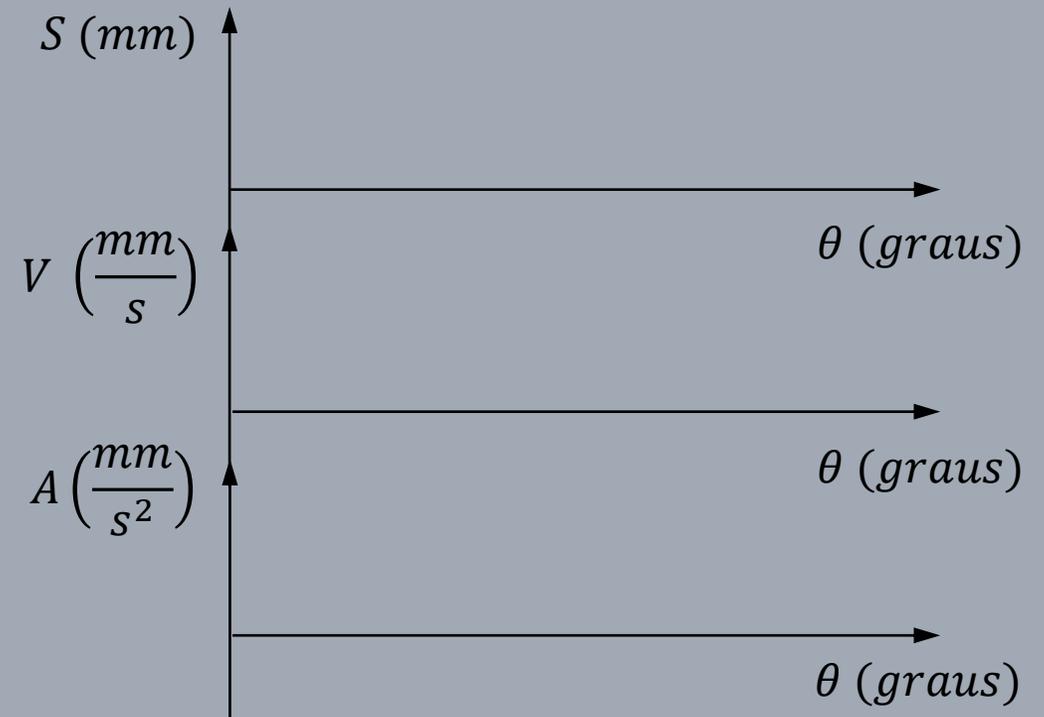


## Lei Fundamental no Projeto de Cames

*A função que descreve a geometria do came deve ser contínua até a segunda derivada do deslocamento (aceleração) em todo o intervalo de 360°*

## Diagramas SVA

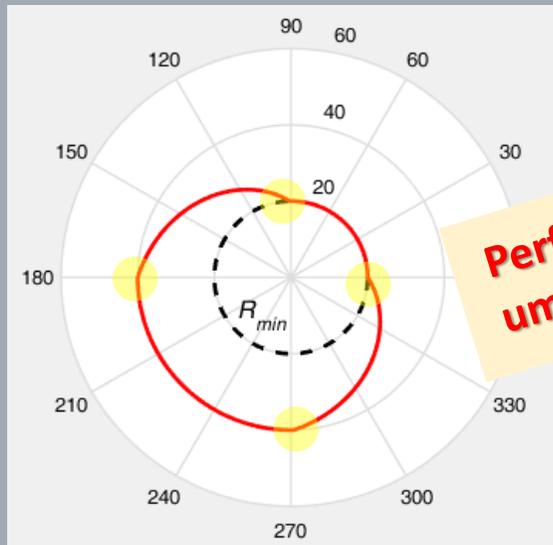
A geometria do came é definida pelos diagramas SVA (deslocamento, velocidade, aceleração)



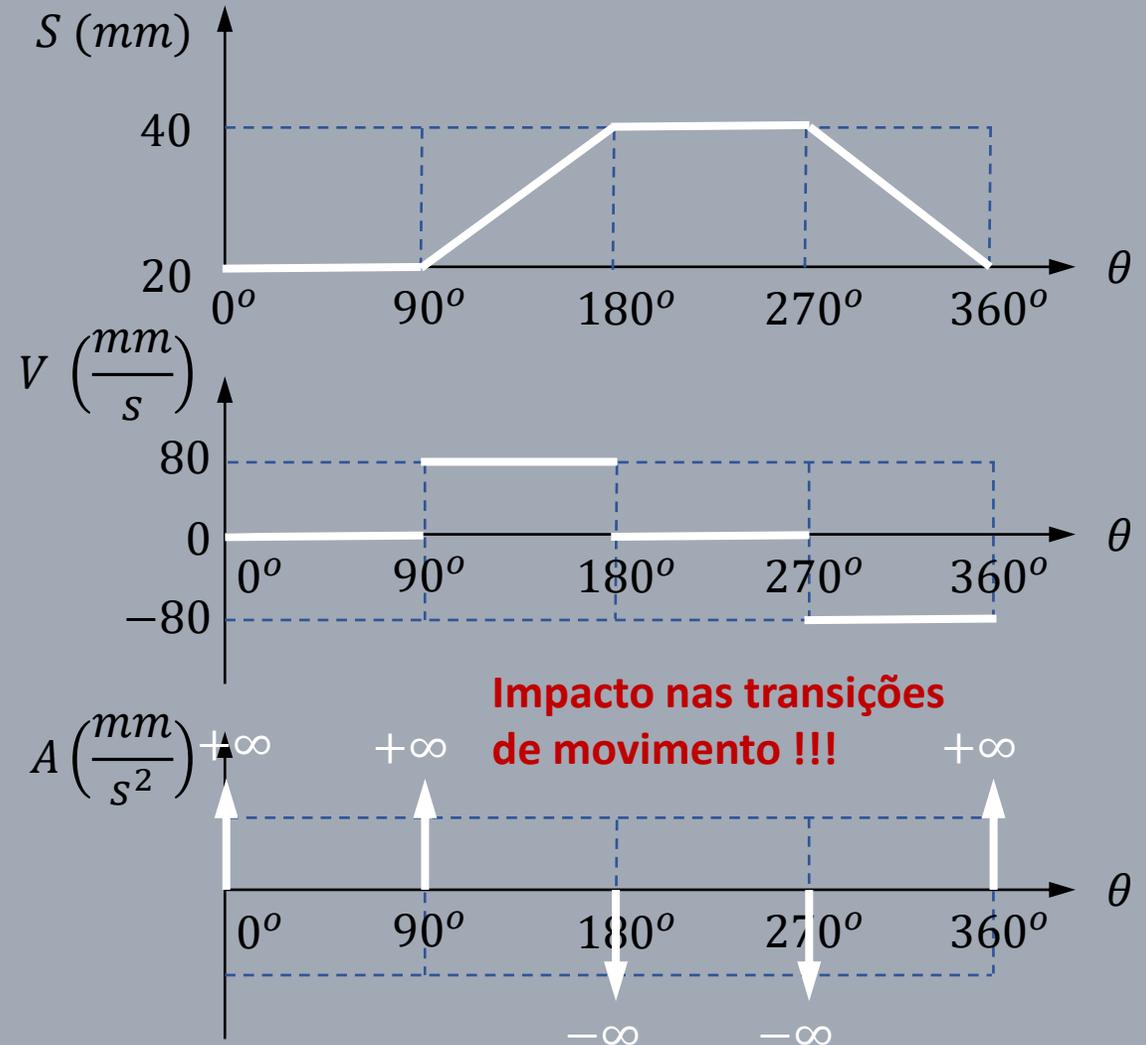
# Perfil Linear

Deseja-se projetar um came de forma que o seguidor tenha a seguinte trajetória com velocidade de 1 *rps* ( $2\pi \text{ rad/s}$ ):

- 1)  $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$  - permanece no raio mínimo  $R_{min} = 20 \text{ mm}$
- 2)  $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$  - sobe até  $40 \text{ mm}$
- 3)  $180^\circ \leq \theta \leq 270^\circ$  - permanece em  $40 \text{ mm}$
- 4)  $270^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$  - retorna até  $R_{min} = 20 \text{ mm}$



**Perfil Linear não é uma boa opção !!!**

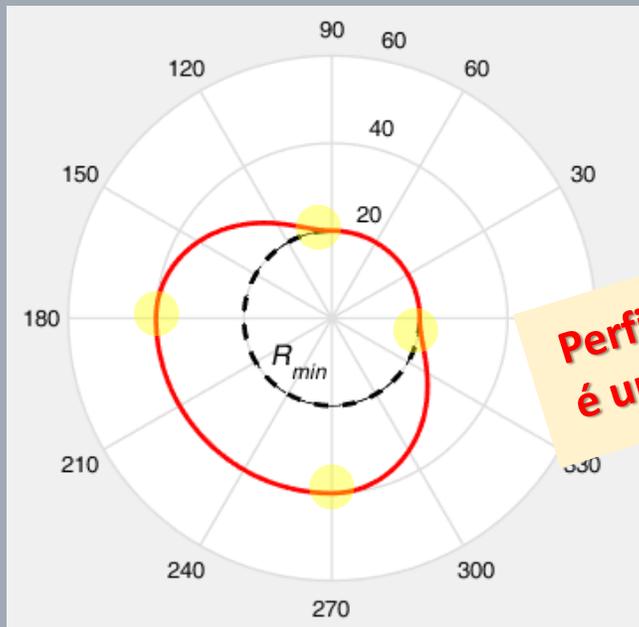


# Perfil Harmônico (Senoidal)

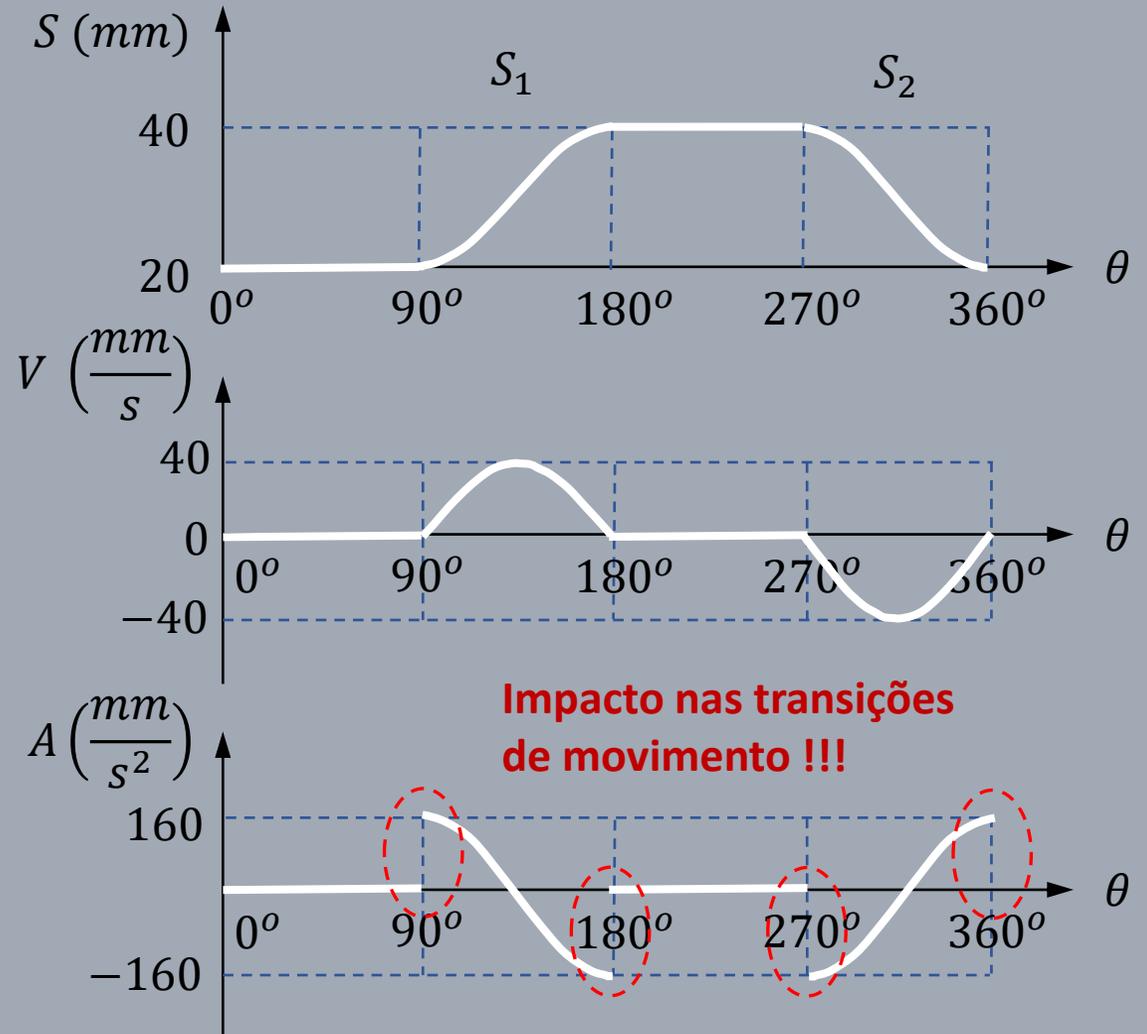
Nos trechos de mudança de raio:

$$S_1 = 30 - 10 \cos\left(\pi \frac{\theta - 90^\circ}{90^\circ}\right)$$

$$S_2 = 30 + 10 \cos\left(\pi \frac{\theta - 270^\circ}{90^\circ}\right)$$



**Perfil Harmônico não é uma boa opção !!!**



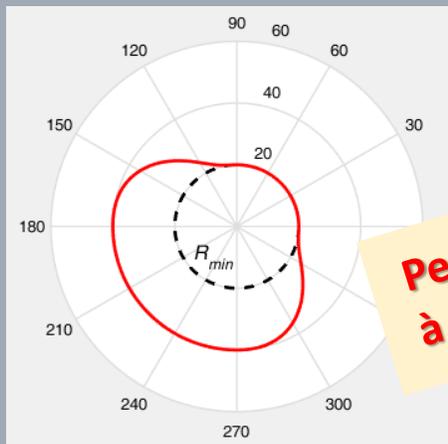
# Perfil Cicloidal

A aceleração pode ficar contínua com uma senóide, da forma:

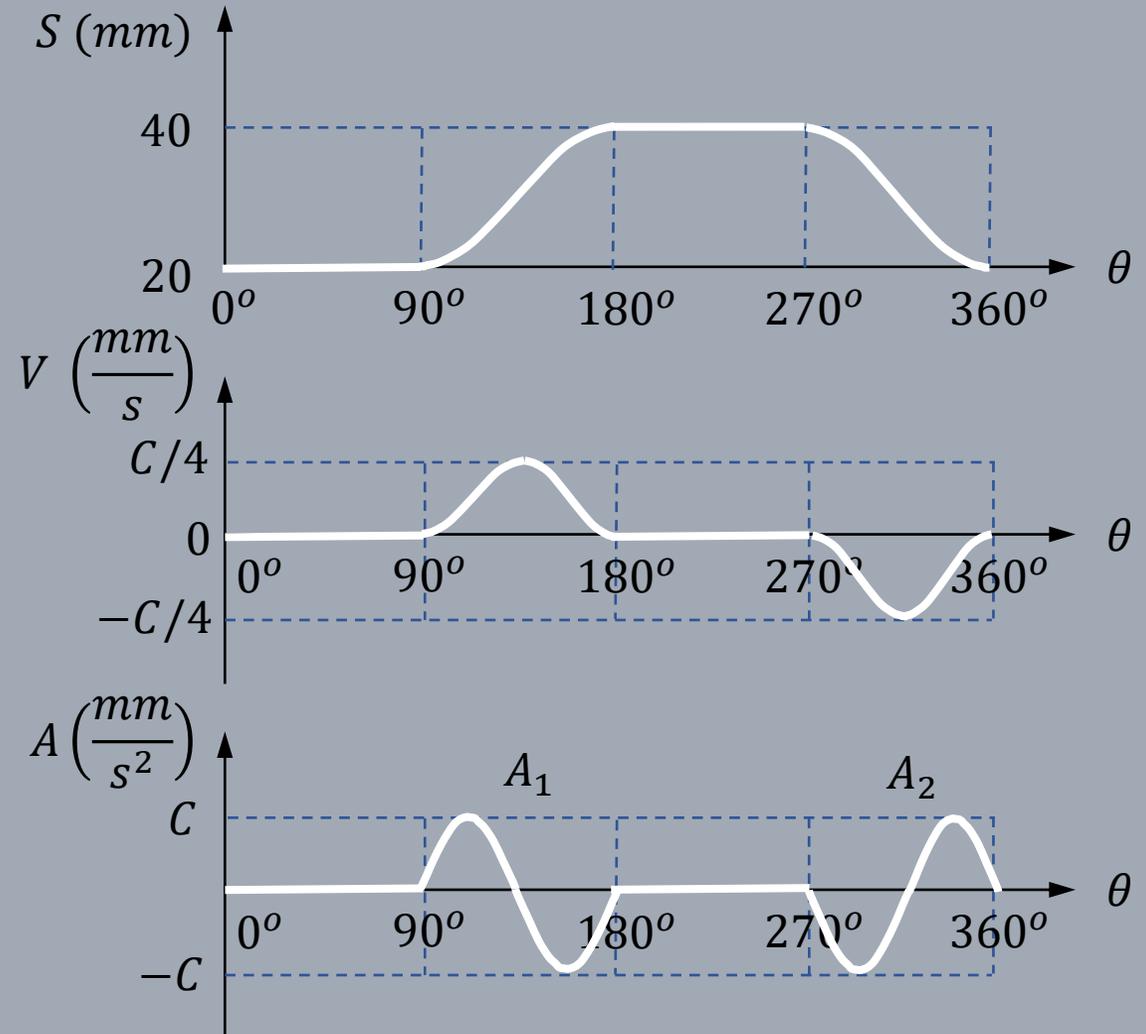
$$A_1 = C \sin\left(2\pi \frac{\theta - 90^\circ}{90^\circ}\right)$$

$$A_2 = -C \sin\left(2\pi \frac{\theta - 270^\circ}{90^\circ}\right)$$

Integrando-se as expressões de aceleração encontram-se as expressões para a velocidade e deslocamento.



**Perfil Cicloidal atende à Lei Fundamental !!!**



# Perfil Cicloidal

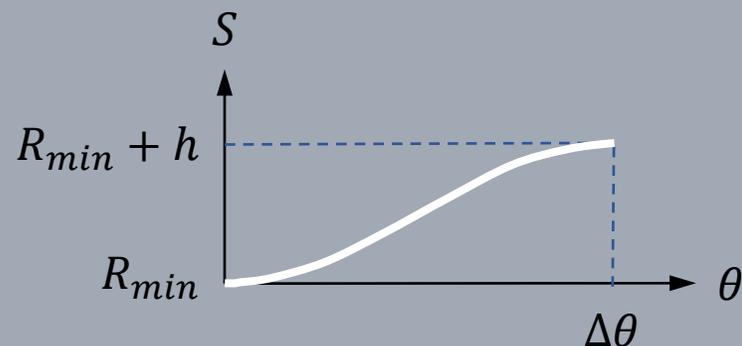
A expressões gerais do **perfil cicloidal** são:

## SUBIDA

$$S = R_{min} + h \left[ \frac{\theta}{\Delta\theta} - \frac{1}{2\pi} \sin \left( 2\pi \frac{\theta}{\Delta\theta} \right) \right]$$

$$V = h \frac{\dot{\theta}}{\Delta\theta} \left[ 1 - \cos \left( 2\pi \frac{\theta}{\Delta\theta} \right) \right]$$

$$A = h \left( \frac{\dot{\theta}}{\Delta\theta} \right)^2 \sin \left( 2\pi \frac{\theta}{\Delta\theta} \right)$$

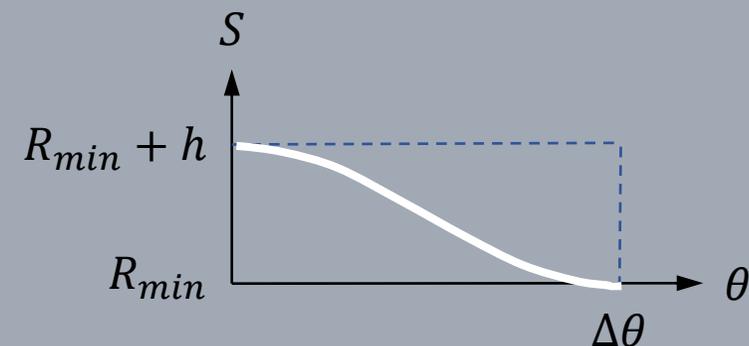


## DESCIDA

$$S = R_{min} + h \left[ 1 - \frac{\theta}{\Delta\theta} + \frac{1}{2\pi} \sin \left( 2\pi \frac{\theta}{\Delta\theta} \right) \right]$$

$$V = h \frac{\dot{\theta}}{\Delta\theta} \left[ \cos \left( 2\pi \frac{\theta}{\Delta\theta} \right) - 1 \right]$$

$$A = -h \left( \frac{\dot{\theta}}{\Delta\theta} \right)^2 \sin \left( 2\pi \frac{\theta}{\Delta\theta} \right)$$



# Perfil Polinomial

A forma geral do **perfil polinomial** é:

$$S = C_0 + C_1 \frac{\theta}{\Delta\theta} + C_2 \left(\frac{\theta}{\Delta\theta}\right)^2 + C_3 \left(\frac{\theta}{\Delta\theta}\right)^3 + C_4 \left(\frac{\theta}{\Delta\theta}\right)^4 + C_5 \left(\frac{\theta}{\Delta\theta}\right)^5$$

$$V = \frac{\dot{\theta}}{\Delta\theta} \left[ C_1 + 2C_2 \frac{\theta}{\Delta\theta} + 3C_3 \left(\frac{\theta}{\Delta\theta}\right)^2 + 4C_4 \left(\frac{\theta}{\Delta\theta}\right)^3 + 5C_5 \left(\frac{\theta}{\Delta\theta}\right)^4 \right]$$

$$A = \left(\frac{\dot{\theta}}{\Delta\theta}\right)^2 \left[ C_2 + 3C_3 \frac{\theta}{\Delta\theta} + 12C_4 \left(\frac{\theta}{\Delta\theta}\right)^2 + 20C_5 \left(\frac{\theta}{\Delta\theta}\right)^3 \right]$$

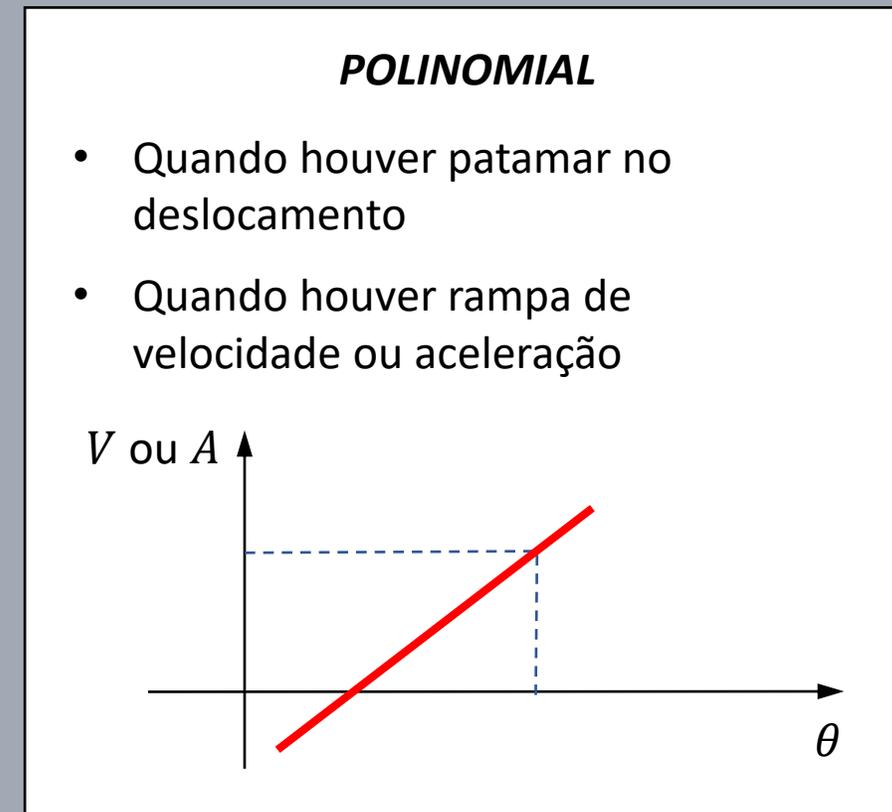
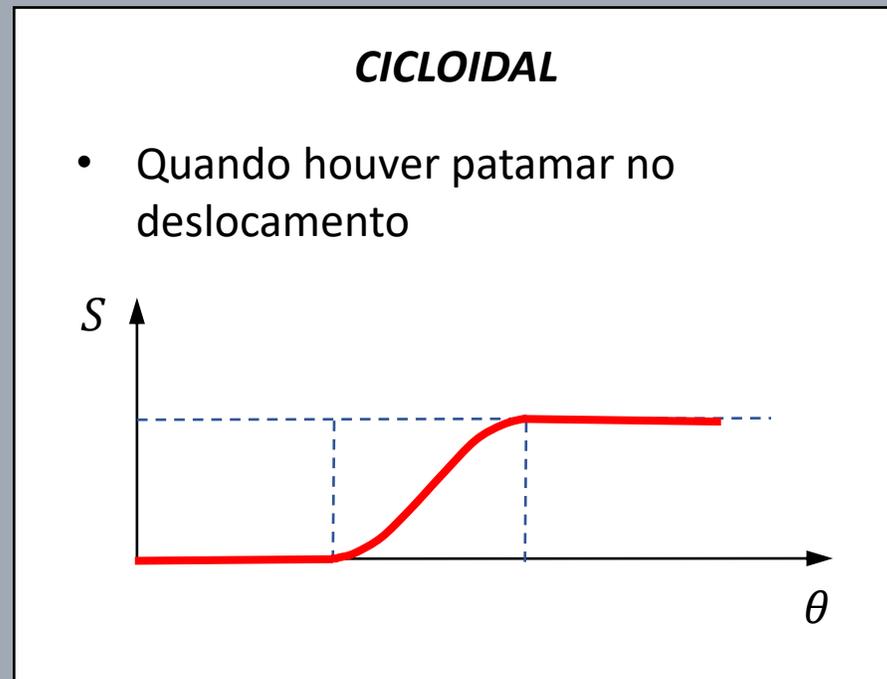
**Perfil Polinomial atende à Lei Fundamental !!!**

As constantes do polinômio são encontradas em função dos movimentos desejados.

# Perfil Cicloidal x Polinomial

Quando usar o perfil cicloidal?

Quando usar o perfil polinomial?

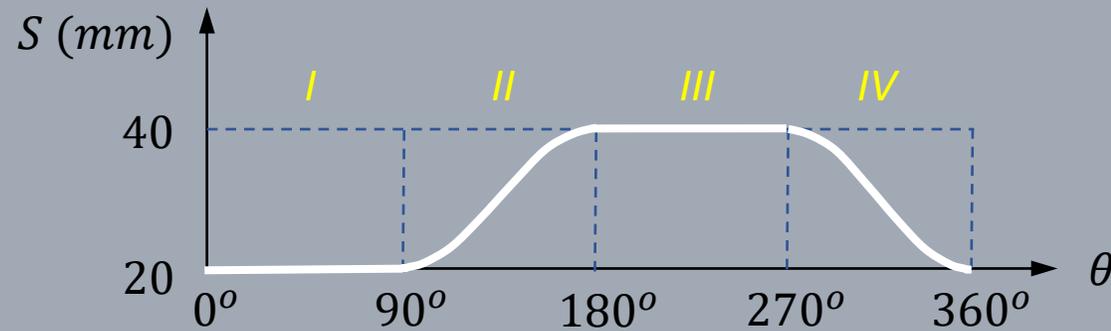


# Exemplo 1

Perfil Cicloidal !!!

Deseja-se projetar um came de forma que o seguidor tenha a seguinte trajetória com velocidade de 1 rps ( $2\pi \text{ rad/s}$ ):

- 1)  $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$  - permanece no raio mínimo  $R_{min} = 20 \text{ mm}$  (PATAMAR)
- 2)  $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$  - sobe até  $40 \text{ mm}$
- 3)  $180^\circ \leq \theta \leq 270^\circ$  - permanece em  $40 \text{ mm}$  (PATAMAR)
- 4)  $270^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$  - retorna até  $R_{min} = 20 \text{ mm}$



**TRECHO II** (subida)

$$S_{II} = 20 + 20 \left[ \frac{\theta - 90^\circ}{90^\circ} - \frac{1}{2\pi} \sin \left( 2\pi \frac{\theta - 90^\circ}{90^\circ} \right) \right]$$

$$V_{II} = 80 \left[ 1 - \cos \left( 2\pi \frac{\theta - 90^\circ}{90^\circ} \right) \right]$$

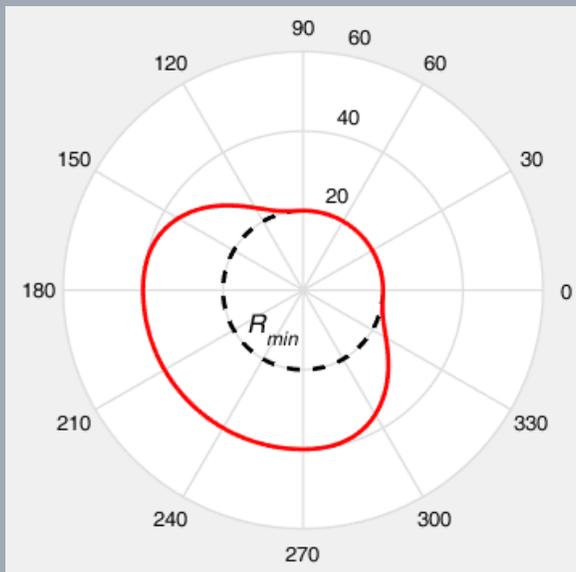
$$A_{II} = 320 \sin \left( 2\pi \frac{\theta - 90^\circ}{90^\circ} \right)$$

# Exemplo 1

Perfil Cicloidal !!!

Deseja-se projetar um came de forma que o seguidor tenha a seguinte trajetória com velocidade de  $1 \text{ rps}$  ( $2\pi \text{ rad/s}$ ):

- 1)  $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$  - permanece no raio mínimo  $R_{min} = 20 \text{ mm}$  (PATAMAR)
- 2)  $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$  - sobe até  $40 \text{ mm}$
- 3)  $180^\circ \leq \theta \leq 270^\circ$  - permanece em  $40 \text{ mm}$  (PATAMAR)
- 4)  $270^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$  - retorna até  $R_{min} = 20 \text{ mm}$



**TRECHO IV** (descida)

$$S_{IV} = 20 + 20 \left[ 1 - \frac{\theta - 270^\circ}{90^\circ} + \frac{1}{2\pi} \sin \left( 2\pi \frac{\theta - 270^\circ}{90^\circ} \right) \right]$$

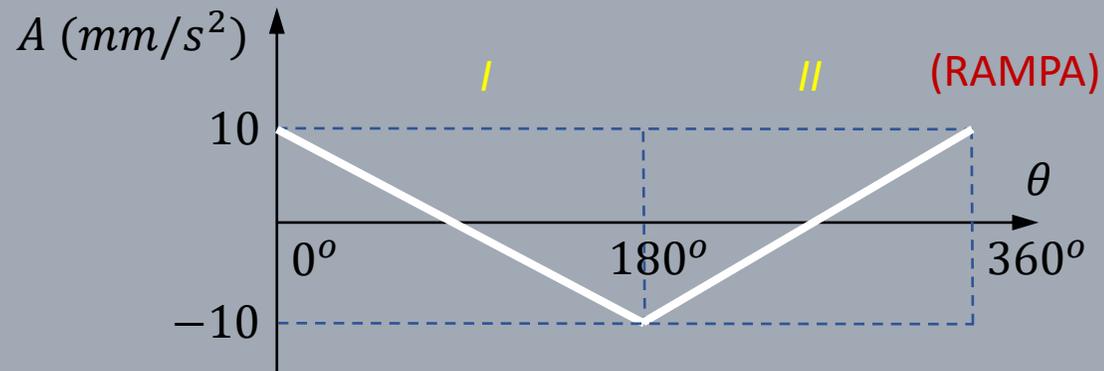
$$V_{II} = 80 \left[ \cos \left( 2\pi \frac{\theta - 270^\circ}{90^\circ} \right) - 1 \right]$$

$$A_{II} = -320 \sin \left( 2\pi \frac{\theta - 270^\circ}{90^\circ} \right)$$

## Exemplo 2

Perfil Polinomial !!!

Projeto o perfil do came que induza a aceleração abaixo:



Considere  $R_{min} = 10 \text{ mm}$  e  $\dot{\theta} = 1 \text{ rad/s}$ .

### TRECHO I

$$A_I = 10 - 20 \frac{\theta}{180^\circ} \quad (\text{conhecido})$$

Sabemos que:

$$A = \left( \frac{\dot{\theta}}{\Delta\theta} \right)^2 \left[ C_2 + 3C_3 \frac{\theta}{\Delta\theta} + 12C_4 \left( \frac{\theta}{\Delta\theta} \right)^2 + 20C_5 \left( \frac{\theta}{\Delta\theta} \right)^3 \right]$$

Portanto:

$$\begin{aligned} C_2 &= 49,4 \\ C_3 &= -32,9 \\ C_4 &= 0 \\ C_5 &= 0 \end{aligned}$$

## Exemplo 2

### TRECHO I

Sabendo que:

$$V = \frac{\dot{\theta}}{\Delta\theta} \left[ C_1 + 2C_2 \frac{\theta}{\Delta\theta} + 3C_3 \left( \frac{\theta}{\Delta\theta} \right)^2 + 4C_4 \left( \frac{\theta}{\Delta\theta} \right)^3 + 5C_5 \left( \frac{\theta}{\Delta\theta} \right)^4 \right]$$

E considerando  $V = 0$  em  $\theta = 0^\circ$ , tem-se que:

$$C_1 = 0$$

Portanto:

$$V_I = 31,4 \frac{\theta}{180^\circ} - 31,4 \left( \frac{\theta}{180^\circ} \right)^2$$

Sabendo que:

$$S = C_0 + C_1 \frac{\theta}{\Delta\theta} + C_2 \left( \frac{\theta}{\Delta\theta} \right)^2 + C_3 \left( \frac{\theta}{\Delta\theta} \right)^3 + C_4 \left( \frac{\theta}{\Delta\theta} \right)^4 + C_5 \left( \frac{\theta}{\Delta\theta} \right)^5$$

E considerando  $S = R_{min}$  em  $\theta = 0^\circ$ , tem-se que:

$$C_0 = R_{min} = 10 \text{ mm}$$

Portanto:

$$S_I = 10 + 49,4 \left( \frac{\theta}{180^\circ} \right)^2 - 32,9 \left( \frac{\theta}{180^\circ} \right)^3$$

Ou seja, em  $\theta = 180^\circ$ :

$$S = 26,5 \text{ mm}$$

$$V = 0 \text{ mm/s}$$

# Exemplo 2

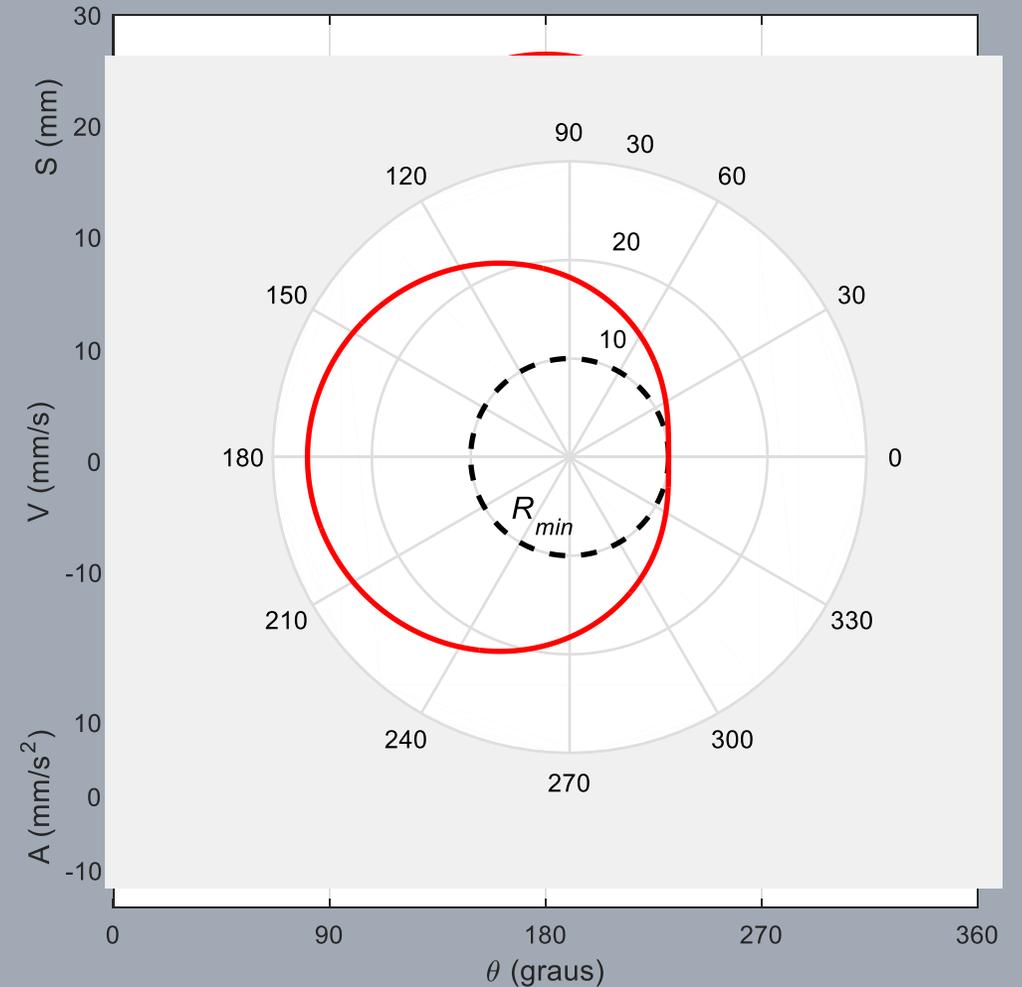
## TRECHO II

$$A_{II} = -10 + 20 \frac{\theta - 180^\circ}{180^\circ} \quad (\text{conhecido})$$

Fazendo-se a análise de forma análogo ao Trecho I, obtém-se:

$$V_{II} = -31,4 \frac{\theta - 180^\circ}{180^\circ} + 31,4 \left( \frac{\theta - 180^\circ}{180^\circ} \right)^2$$

$$S_{II} = 25,6 - 49,4 \left( \frac{\theta - 180^\circ}{180^\circ} \right)^2 - 32,9 \left( \frac{\theta - 180^\circ}{180^\circ} \right)^3$$



1) Identifique se o came tem patamar ou rampa

2) Se tiver patamar no deslocamento:      **CICLOIDAL** ou **POLINOMIAL**

3) Se tiver rampa na velocidade ou aceleração:      **POLINOMIAL**

# Tarefa

Determine o perfil do came de forma que se tenha:

- Em  $\theta = 0^\circ$ ,  $S = 10 \text{ mm}$  e  $V = 0 \text{ mm/s}$ ;
- Velocidade decrescente linear de  $+5$  a  $-5 \text{ mm/s}$  no trecho  $90^\circ \leq \theta \leq 270^\circ$ ;
- Velocidade de rotação do came de  $\dot{\theta} = 1 \text{ rad/s}$ .

Utilize o Matlab/Octave para obter as curvas SVA e o desenho do came em coordenadas polares.

Dúvidas ???

**Utilize o FÓRUM no eDisciplinas !**  
[edisciplinas.usp.br](http://edisciplinas.usp.br)

