

SEM0104 - Aula 7

Equacionamento de Mecanismos

Prof. Dr. Marcelo Becker

SEM - EESC - USP

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM - EESC - USP

Sumário da Aula

- **Notação Complexa**
- Equacionamento de Links
- Mecanismos Simples
- Mecanismos Complexos
- Exemplo
- Bibliografia Recomendada

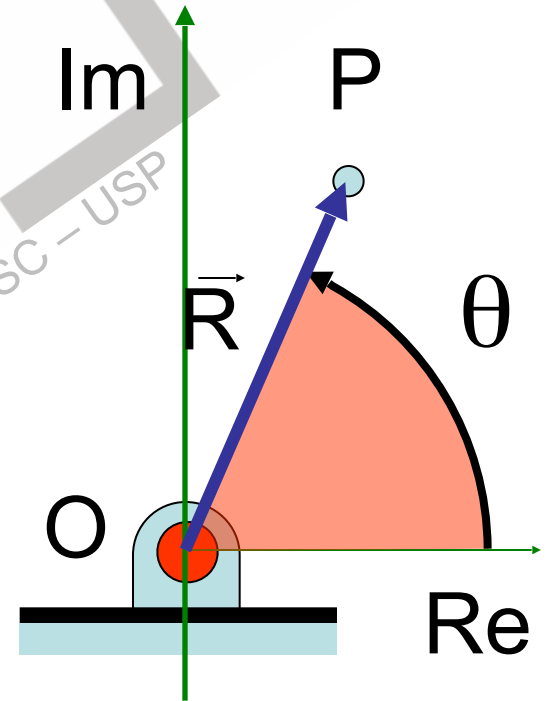
Notação Complexa

- Formas de representação:
 - Exponencial

$$\vec{R} = OP \cdot e^{i\theta}$$

- Senos e Cosenos

$$\vec{R} = OP \cdot (i \cdot \sin \theta + \cos \theta)$$



Sumário da Aula

- Notação Complexa
- **Equacionamento de Links**
- Mecanismos Simples
- Mecanismos Complexos
- Exemplo
- Bibliografia Recomendada

Equacionamento

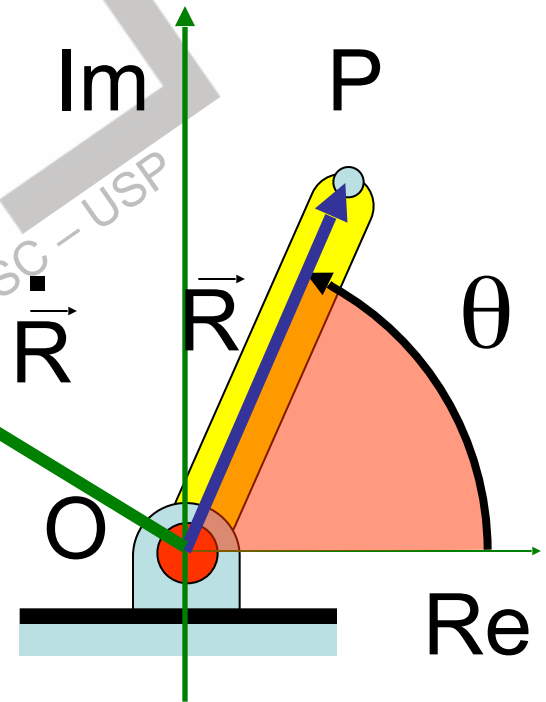
Links Rígidos

- Derivada Primeira
 - Exponencial

$$\dot{\vec{R}} = OP \cdot i\dot{\theta} \cdot e^{i\theta}$$

- Senos e Cosenos

$$\dot{\vec{R}} = OP \cdot \dot{\theta} \cdot (i \cdot \cos \theta - \sin \theta)$$



Equacionamento

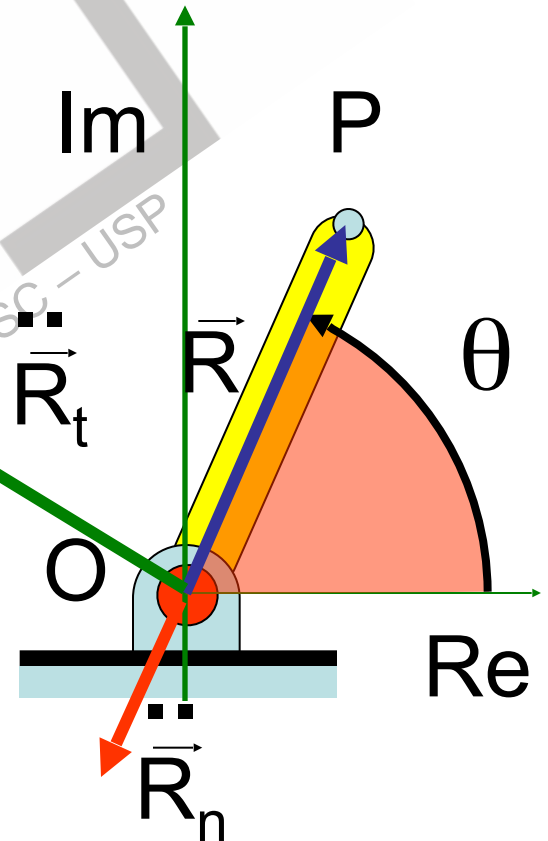
Links Rígidos

- Derivada Segunda
 - Exponencial

$$\ddot{\vec{R}} = OP.(\underbrace{i^2\dot{\theta}^2.e^{i\theta}}_{\ddot{\vec{R}}_n} + \underbrace{i\ddot{\theta}.e^{i\theta}}_{\ddot{\vec{R}}_t})$$

- Senos e Cosenos

$$\ddot{\vec{R}} = -OP.\dot{\theta}^2.(\cos \theta + i.\sin \theta) + OP.\ddot{\theta}.(i.\cos \theta - \sin \theta)$$



Equacionamento

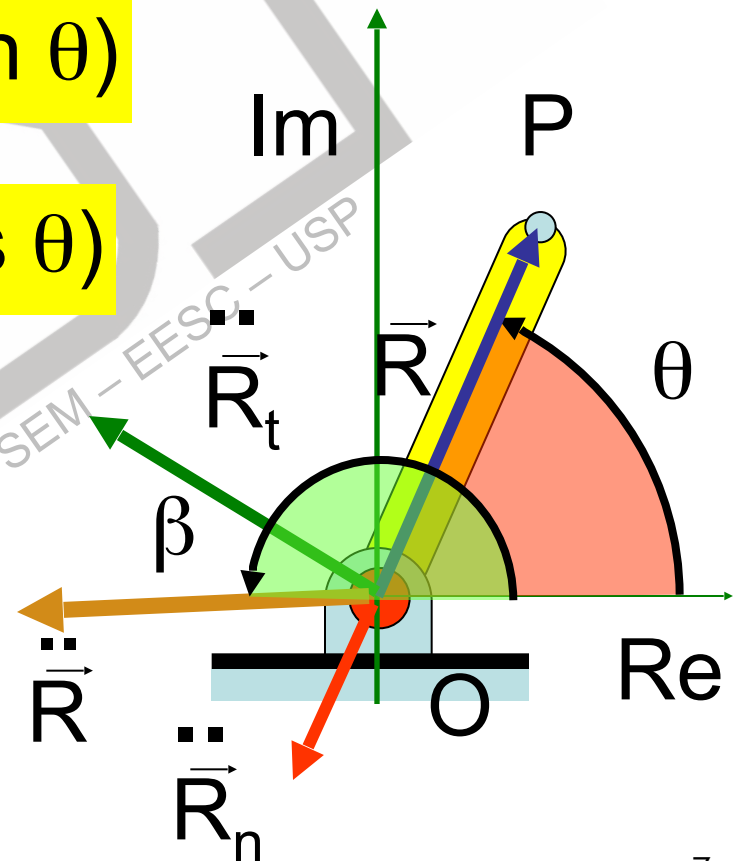
Links Rígidos

- Determinação do Módulo de $\ddot{\vec{R}}$:

$$\ddot{\vec{R}}_{Re} = -OP.(\dot{\theta}^2.\cos \theta - \ddot{\theta}.\sin \theta)$$

$$\ddot{\vec{R}}_{Im} = -OP.(\dot{\theta}^2.\sin \theta + \ddot{\theta}.\cos \theta)$$

$$|\ddot{\vec{R}}| = \sqrt{\ddot{\vec{R}}_{Im}^2 + \ddot{\vec{R}}_{Re}^2}$$

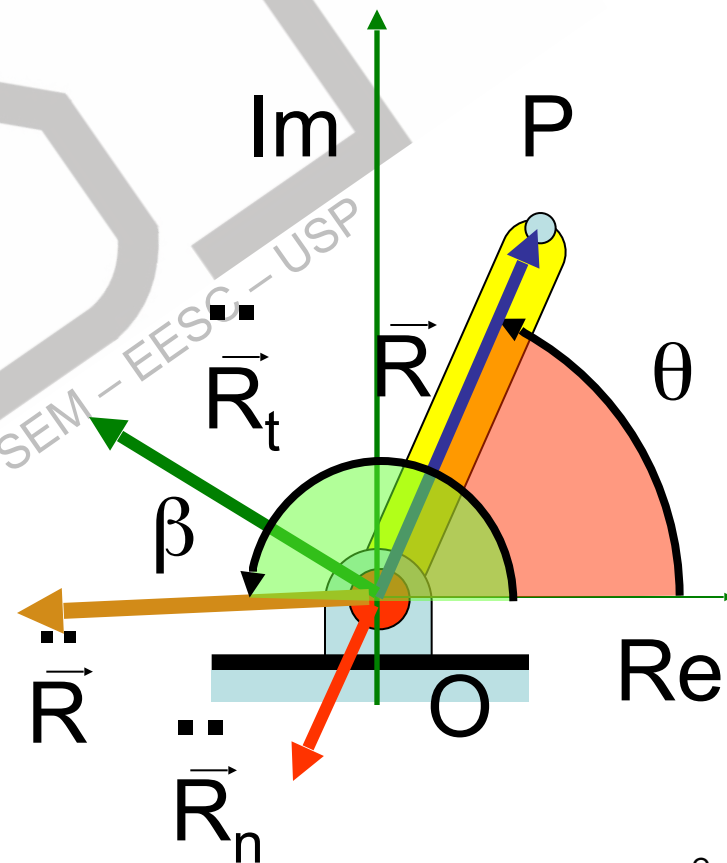


Equacionamento

Links Rígidos

- Determinação da fase de $\ddot{\vec{R}}$:

$$\tan(\beta) = \frac{|\ddot{\vec{R}}_{Im}|}{|\ddot{\vec{R}}_{Re}|}$$



Equacionamento

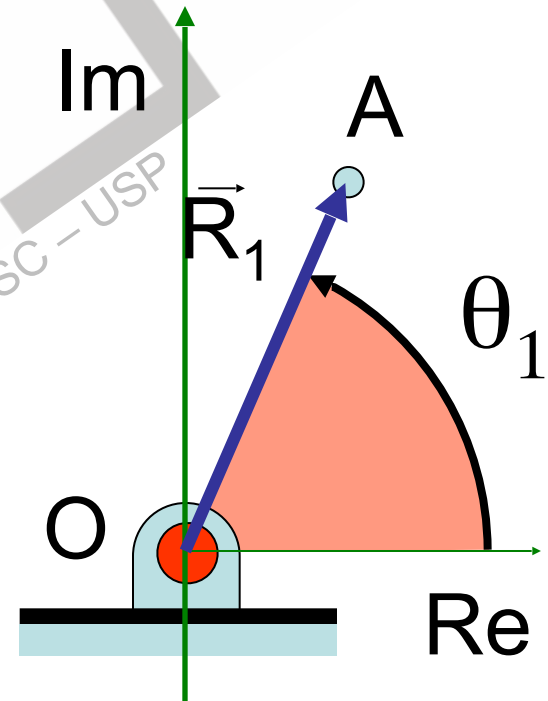
Links não Rígidos

- Formas de representação:
 - Exponencial

$$\vec{R}_1 = R_1 \cdot e^{i\theta_1}$$

- Senos e Cosenos

$$\vec{R}_1 = R_1 \cdot (i \cdot \sin \theta_1 + \cos \theta_1)$$



Equacionamento

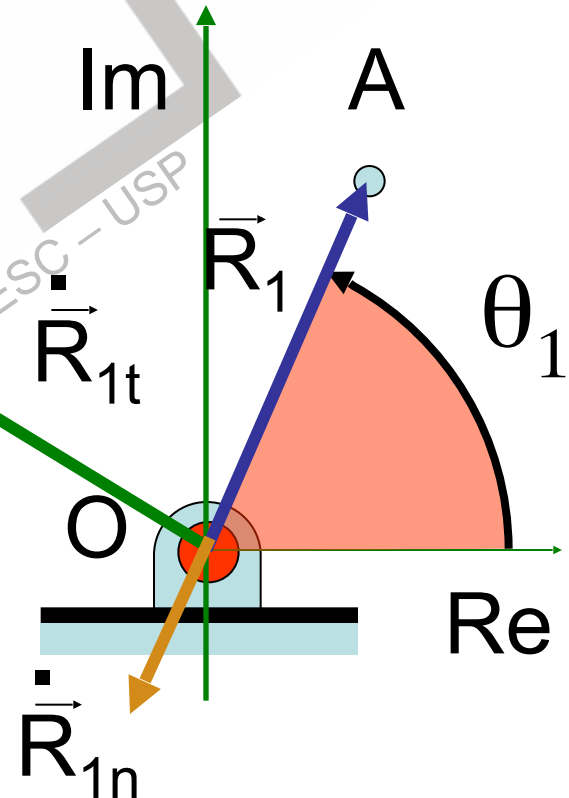
Links não Rígidos

- Derivada Primeira
 - Exponencial

$$\dot{\vec{R}}_1 = \underbrace{R_1 \cdot i\dot{\theta}_1 \cdot e^{i\theta_1}}_{\dot{\vec{R}}_{1t}} + \underbrace{\dot{R}_1 \cdot e^{i\theta_1}}_{\dot{\vec{R}}_{1n}}$$

- Senos e Cosenos

$$\dot{\vec{R}}_1 = \dot{R}_1 \cdot \theta \cdot (i \cdot \cos \theta - \sin \theta) + \dot{R}_1 \cdot (\cos \theta + i \cdot \sin \theta)$$

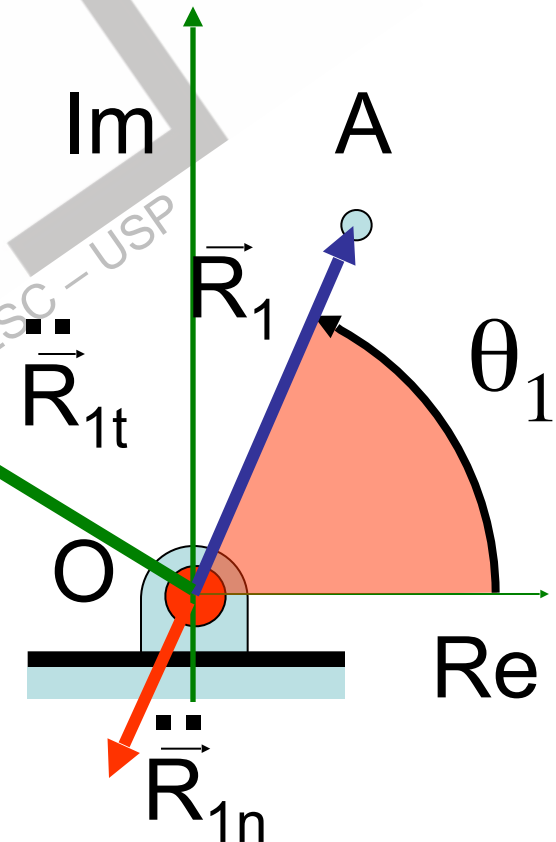


Equacionamento

Links não Rígidos

- Derivada Segunda
 - Exponencial

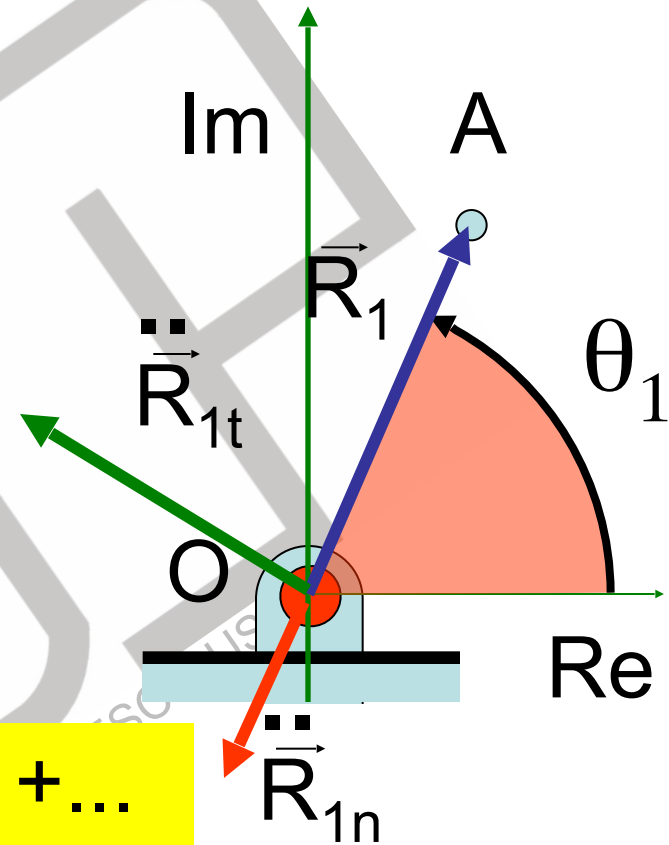
$$\begin{aligned}\ddot{\vec{R}}_1 &= \vec{R}_1 \cdot (i^2 \dot{\theta}_1^2 \cdot e^{i\theta_1} + i \cdot \ddot{\theta}_1 \cdot e^{i\theta_1}) \\ &+ \ddot{\vec{R}}_1 \cdot (i \cdot \dot{\theta}_1 \cdot e^{i\theta_1} + e^{i\theta_1}) \\ &+ \dot{\vec{R}}_1 \cdot i \cdot \dot{\theta}_1 \cdot e^{i\theta_1}\end{aligned}$$



Equacionamento

Links não Rígidos

- Derivada Segunda
– Seno e Coseno



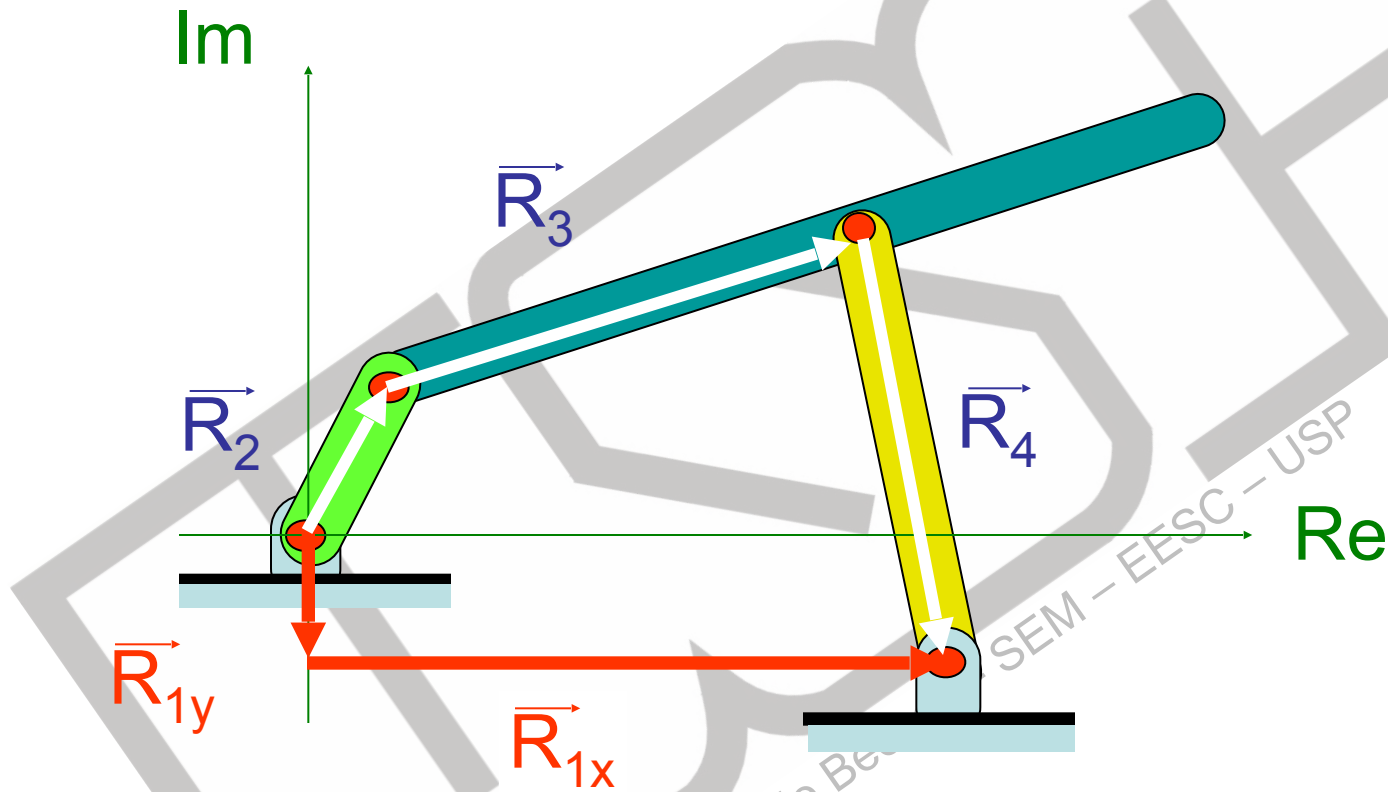
$$\begin{aligned}\ddot{\vec{R}} = & -R_1 \cdot \dot{\theta}_1^2 \cdot (\cos \theta_1 + i \cdot \sin \theta_1) + \dots \\ & \dots + R_1 \cdot \ddot{\theta}_1 \cdot (i \cdot \cos \theta_1 - \sin \theta_1) + \dots \\ & \dots + 2 \cdot \dot{R}_1 \cdot \dot{\theta}_1 \cdot (i \cdot \cos \theta_1 - \sin \theta_1) + \dots \\ & \dots + \ddot{R}_1 \cdot (i \cdot \sin \theta_1 + \cos \theta_1)\end{aligned}$$

Sumário da Aula

- Notação Complexa
- Equacionamento de Links
- **Mecanismos Simples**
- Mecanismos Complexos
- Exemplo
- Bibliografia Recomendada

Equacionamento

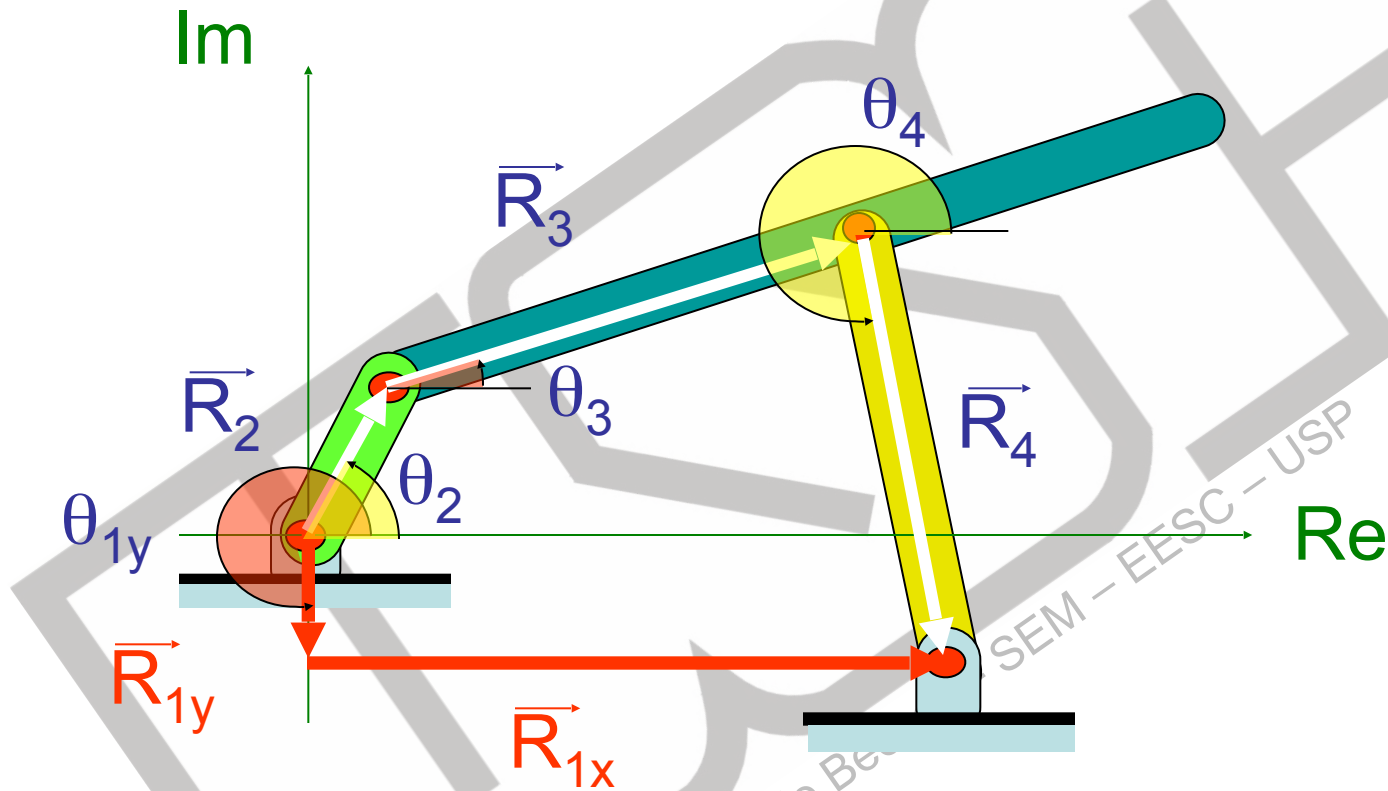
4 Barras - Posição



$$\vec{R}_2 + \vec{R}_3 + \vec{R}_4 = \vec{R}_{1y} + \vec{R}_{1x}$$

Equacionamento

4 Barras - Posição

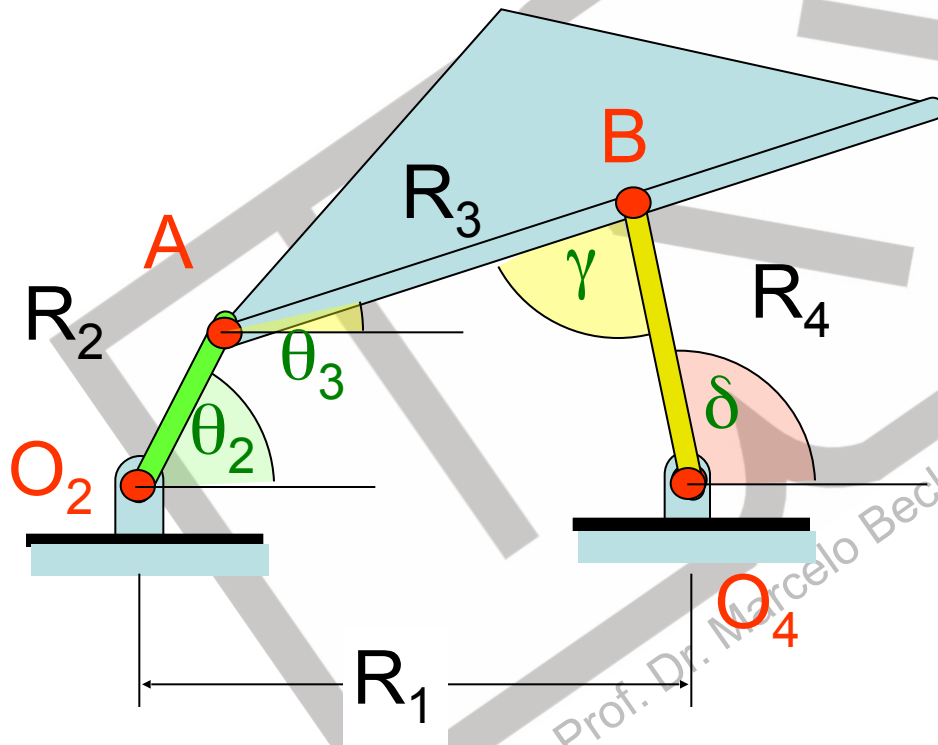


$$R_2 \cdot (\cos\theta_2 + i \cdot \sin\theta_2) + R_3 \cdot (\cos\theta_3 + i \cdot \sin\theta_3) + \dots \\ \dots + R_4 \cdot (\cos\theta_4 + i \cdot \sin\theta_4) = -i \cdot R_{1y} + R_{1x}$$

Equacionamento

Mecanismos Simples – 4 Barras

- 1º Determinar os ângulos



L_2 : link motor

L_1 : solo

L_3 : link acoplador

L_4 : link seguidor

θ_2 : âng. da barra motriz

δ : âng. da barra seguidora

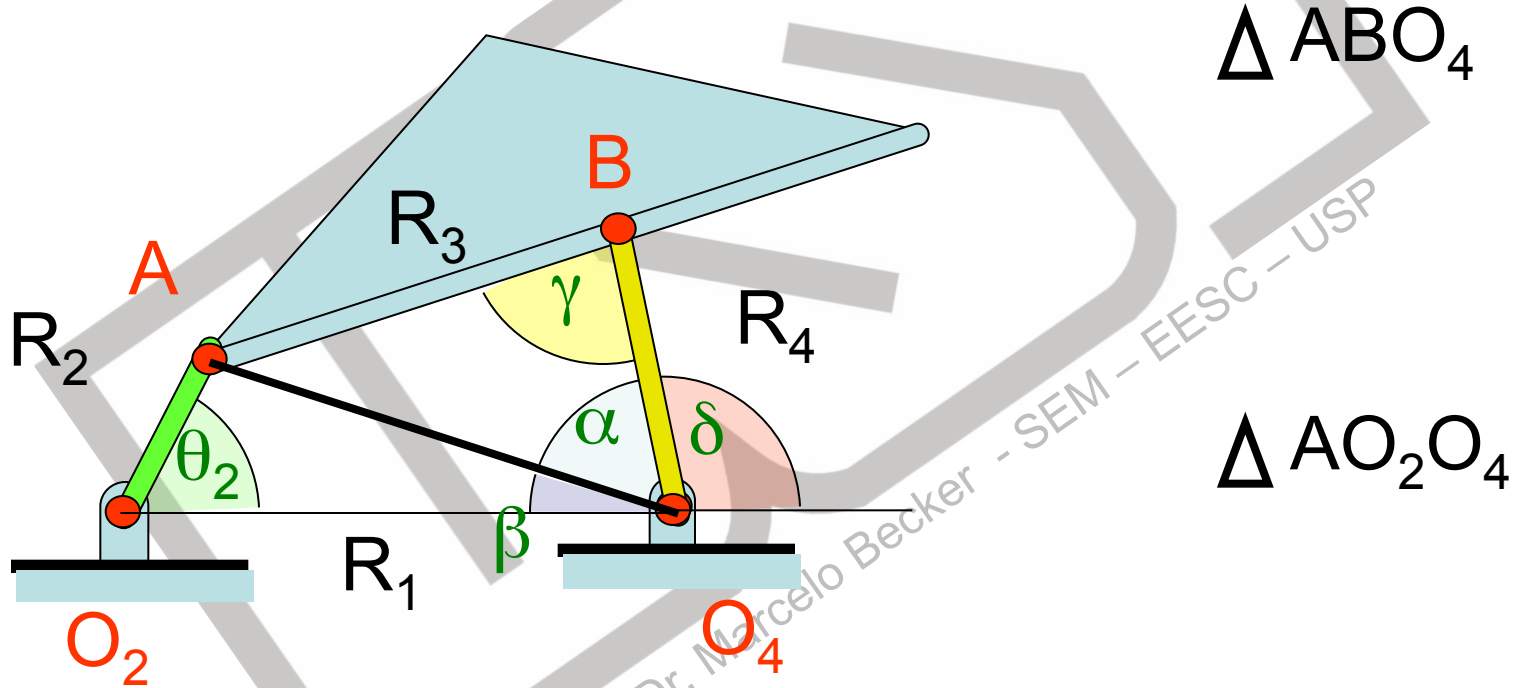
θ_3 : âng. da barra acopladora

γ : âng. de transmissão

Equacionamento

Mecanismos Simples – 4 Barras

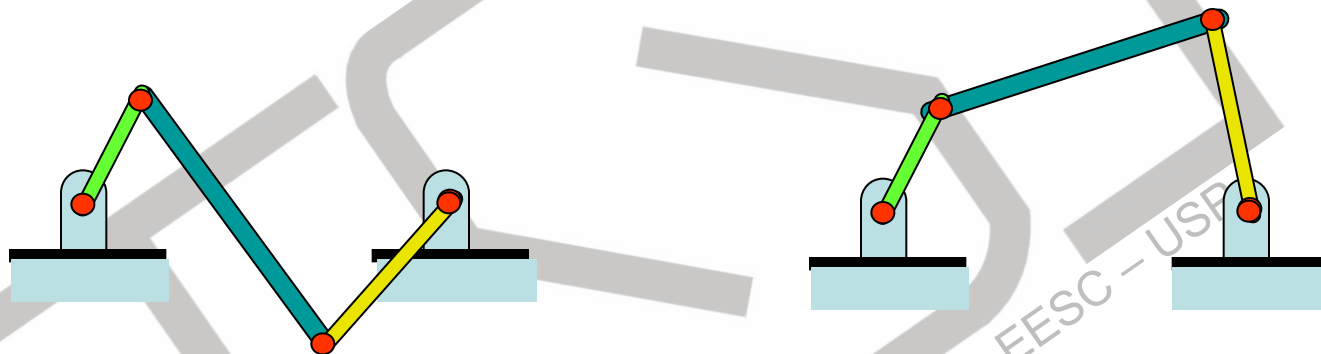
- Aplicar Lei dos Cosenos



Equacionamento

Mecanismos Simples – 4 Barras

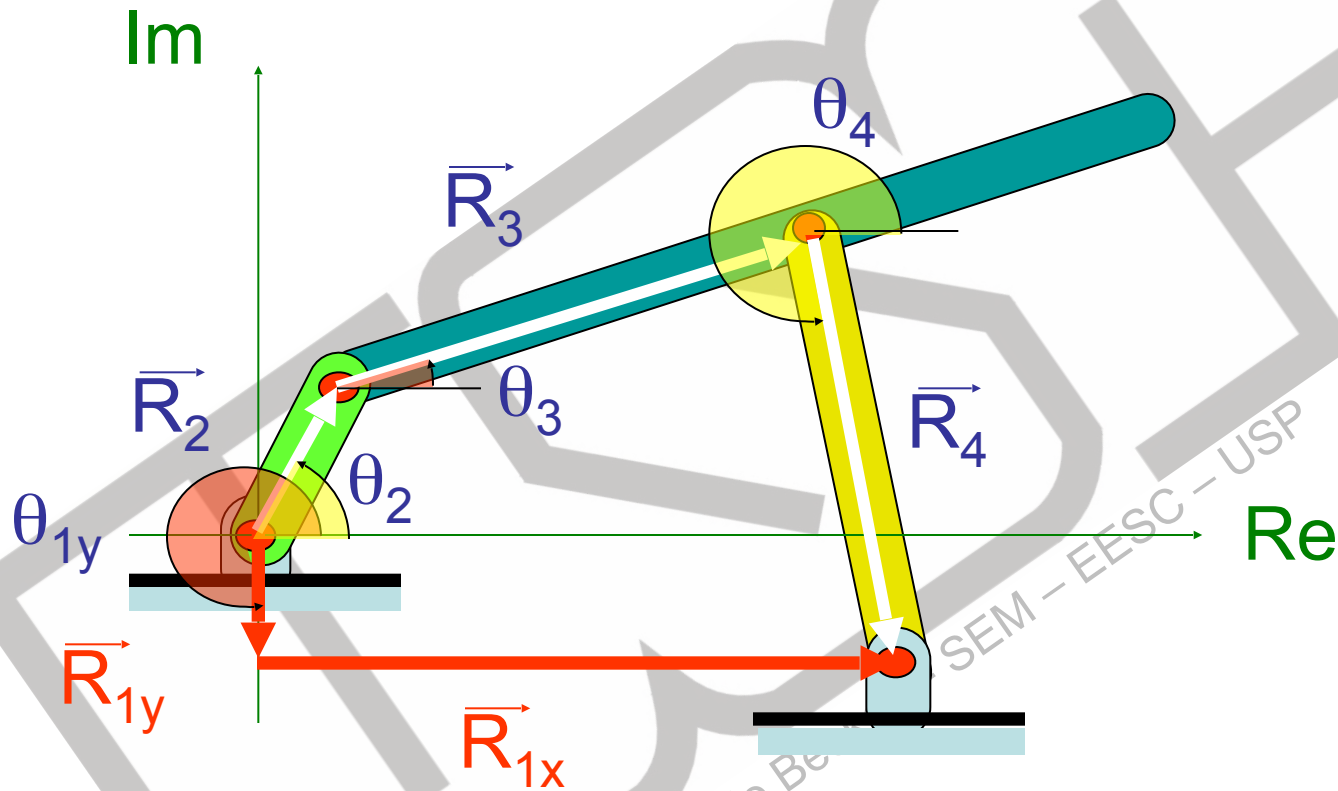
- Mecanismos “Cruzados”



- “Descruzar” o Mecanismo e seguir o equacionamento

Equacionamento

4 Barras - Velocidade



$$R_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot (-\sin\theta_2 + i \cdot \cos\theta_2) + R_3 \cdot \dot{\theta}_3 \cdot (-\sin\theta_3 + i \cdot \cos\theta_3) + \dots \\ \dots + R_4 \cdot \dot{\theta}_4 \cdot (-\sin\theta_4 + i \cdot \cos\theta_4) = 0$$

Equacionamento

4 Barras - Velocidade

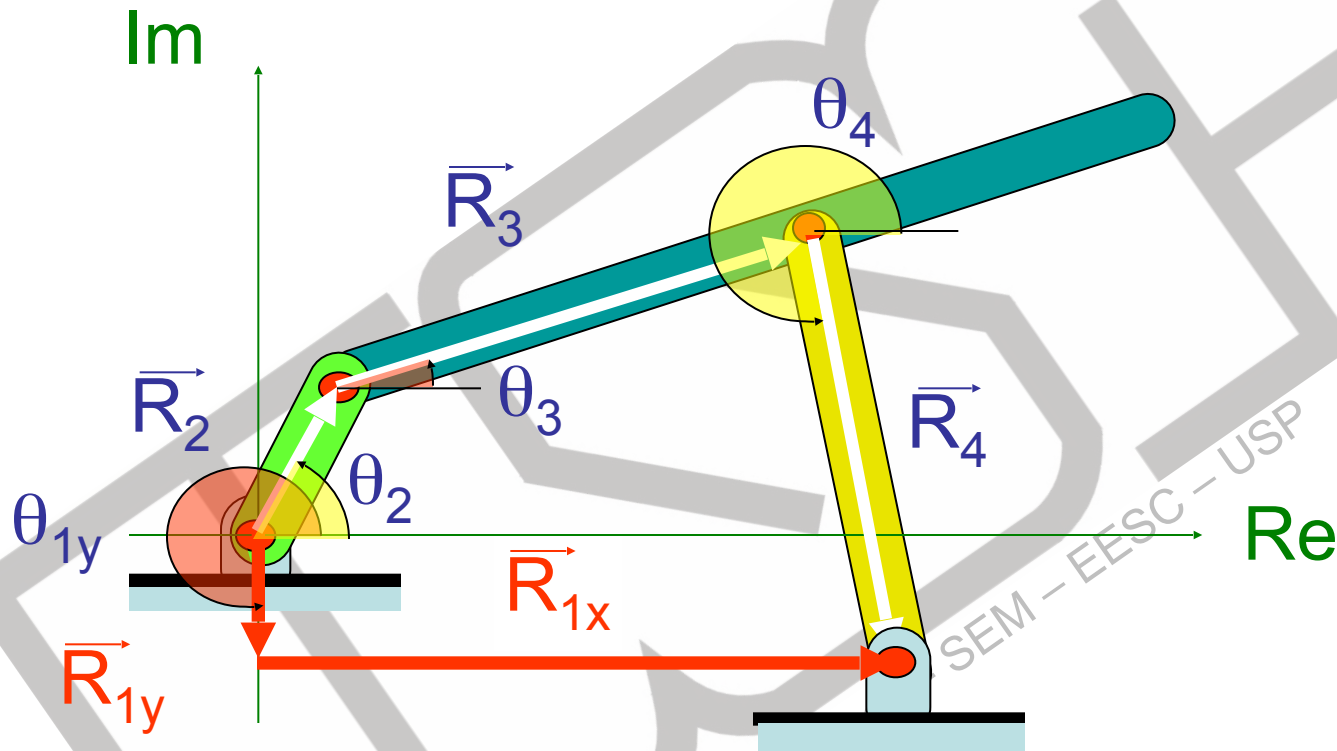
- Dividir em Re e Im

$$R_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot (-\sin\theta_2 + i \cdot \cos\theta_2) + R_3 \cdot \dot{\theta}_3 \cdot (-\sin\theta_3 + i \cdot \cos\theta_3) + \dots \\ \dots + R_4 \cdot \dot{\theta}_4 \cdot (-\sin\theta_4 + i \cdot \cos\theta_4) = 0$$

$$\begin{array}{l} \text{Re} \\ \text{Im} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} -R_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \sin\theta_2 - R_3 \cdot \dot{\theta}_3 \cdot \sin\theta_3 - R_4 \cdot \dot{\theta}_4 \cdot \sin\theta_4 = 0 \\ R_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \cos\theta_2 + R_3 \cdot \dot{\theta}_3 \cdot \cos\theta_3 + R_4 \cdot \dot{\theta}_4 \cdot \cos\theta_4 = 0 \end{array} \right.$$

Equacionamento

4 Barras - Aceleração



$$\begin{aligned}
 & R_2 \cdot \ddot{\theta}_2 \cdot (-\sin\theta_2 + i \cdot \cos\theta_2) + R_3 \cdot \ddot{\theta}_3 \cdot (-\sin\theta_3 + i \cdot \cos\theta_3) + \dots \\
 & \dots + R_4 \cdot \ddot{\theta}_4 \cdot (-\sin\theta_4 + i \cdot \cos\theta_4) - R_2 \cdot \dot{\theta}_2^2 \cdot (\cos\theta_2 + i \cdot \sin\theta_2) - \dots \\
 & \dots - R_3 \cdot \dot{\theta}_3^2 \cdot (\cos\theta_3 + i \cdot \sin\theta_3) - R_4 \cdot \dot{\theta}_4^2 \cdot (\cos\theta_4 + i \cdot \sin\theta_4) = 0
 \end{aligned}$$

Equacionamento

4 Barras - Aceleração

- Dividir em Re e Im

$$R_2 \ddot{\theta}_2 (-\sin\theta_2 + i \cos\theta_2) + R_3 \ddot{\theta}_3 (-\sin\theta_3 + i \cos\theta_3) + \dots \\ \dots + R_4 \ddot{\theta}_4 (-\sin\theta_4 + i \cos\theta_4) - R_2 \dot{\theta}_2^2 (\cos\theta_2 + i \sin\theta_2) - \dots \\ \dots - R_3 \dot{\theta}_3^2 (\cos\theta_3 + i \sin\theta_3) - R_4 \dot{\theta}_4^2 (\cos\theta_4 + i \sin\theta_4) = 0$$

$$\begin{array}{l} \text{Re} \left\{ \begin{array}{l} -R_2 \ddot{\theta}_2 \sin\theta_2 - R_3 \ddot{\theta}_3 \sin\theta_3 - R_4 \ddot{\theta}_4 \sin\theta_4 - \dots \\ \dots - R_2 \dot{\theta}_2^2 \cos\theta_2 - R_3 \dot{\theta}_3^2 \cos\theta_3 - R_4 \dot{\theta}_4^2 \cos\theta_4 = 0 \end{array} \right. \\ \\ \text{Im} \left\{ \begin{array}{l} R_2 \ddot{\theta}_2 \cos\theta_2 + R_3 \ddot{\theta}_3 \cos\theta_3 + R_4 \ddot{\theta}_4 \cos\theta_4 - \dots \\ \dots - R_2 \dot{\theta}_2^2 \sin\theta_2 - R_3 \dot{\theta}_3^2 \sin\theta_3 - R_4 \dot{\theta}_4^2 \sin\theta_4 = 0 \end{array} \right. \end{array}$$

Mecanismos Simples

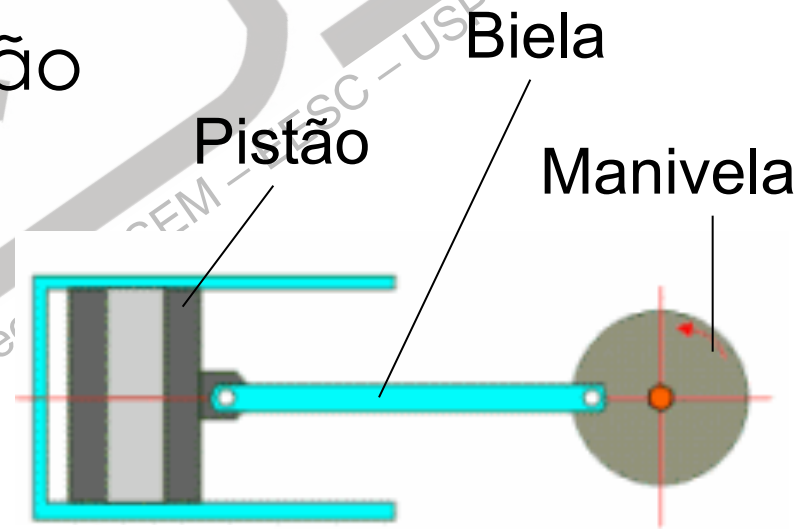
Biela-Manivela

- Exemplos de Aplicação: Motores de Combustão Interna, Máquinas Ferramenta, Compressores, etc.

- Deslocamento do Pistão

- Velocidades

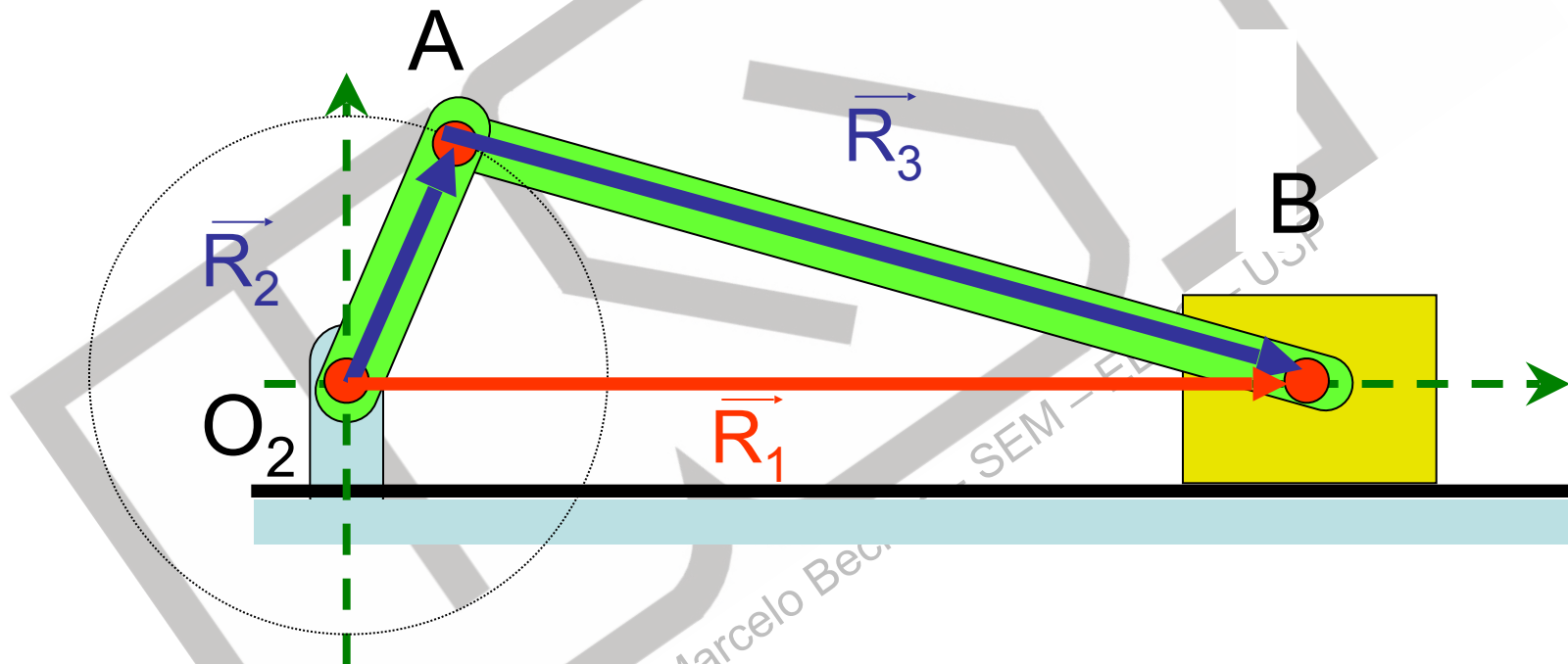
- Aceleração



Mecanismos Simples

Biela-Manivela

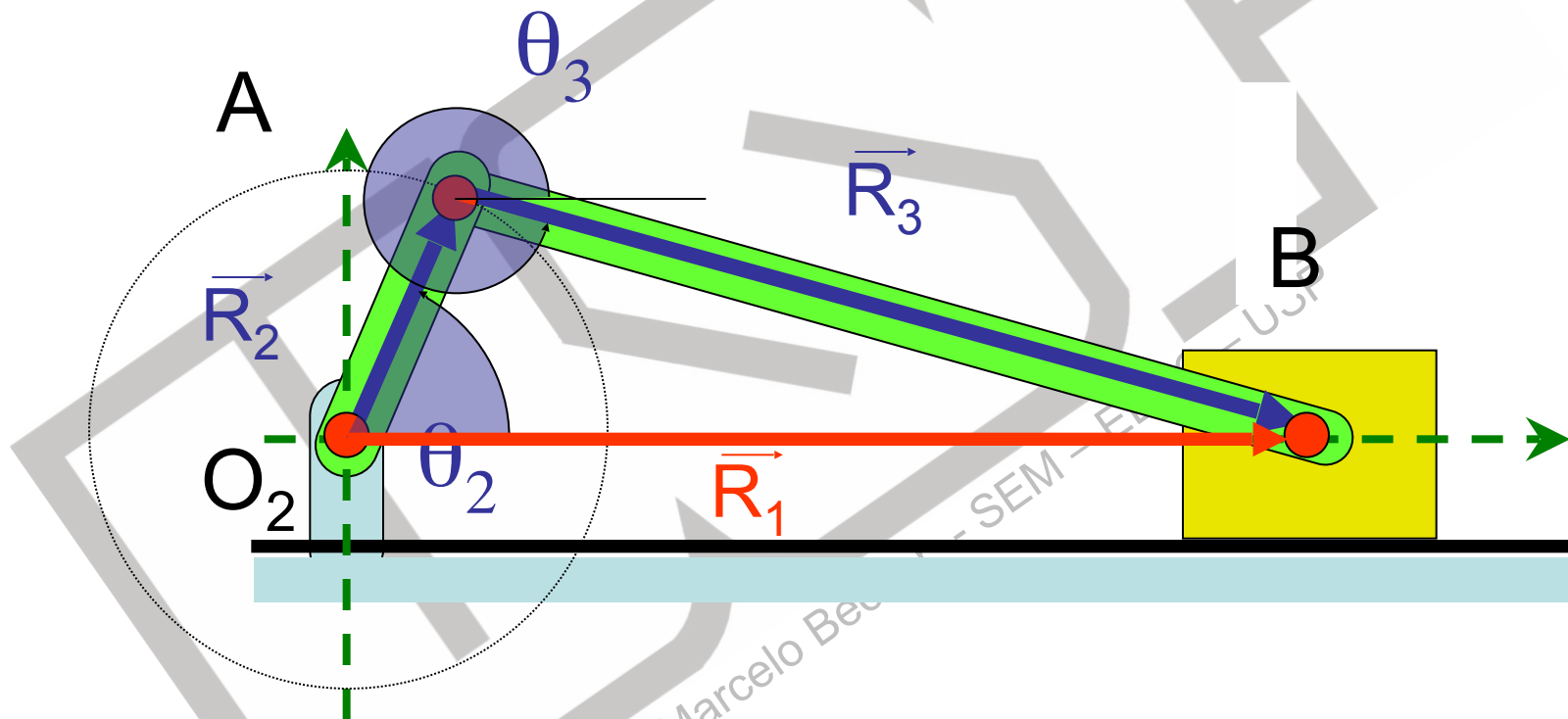
- Equacionamento



Mecanismos Simples

Biela-Manivela

- Equacionamento

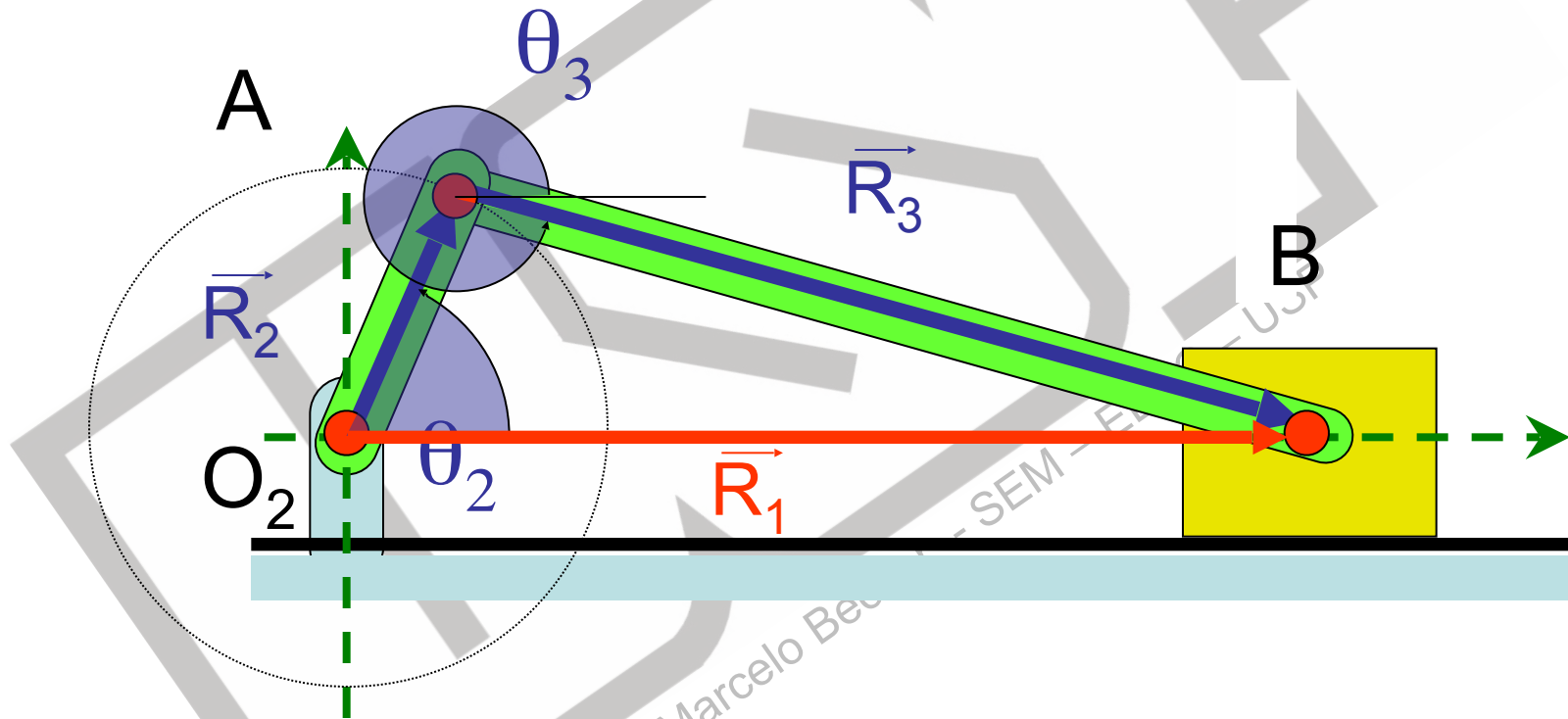


$$\vec{R}_2 + \vec{R}_3 = \vec{R}_1$$

Mecanismos Simples

Biela-Manivela - Posição

- Equacionamento

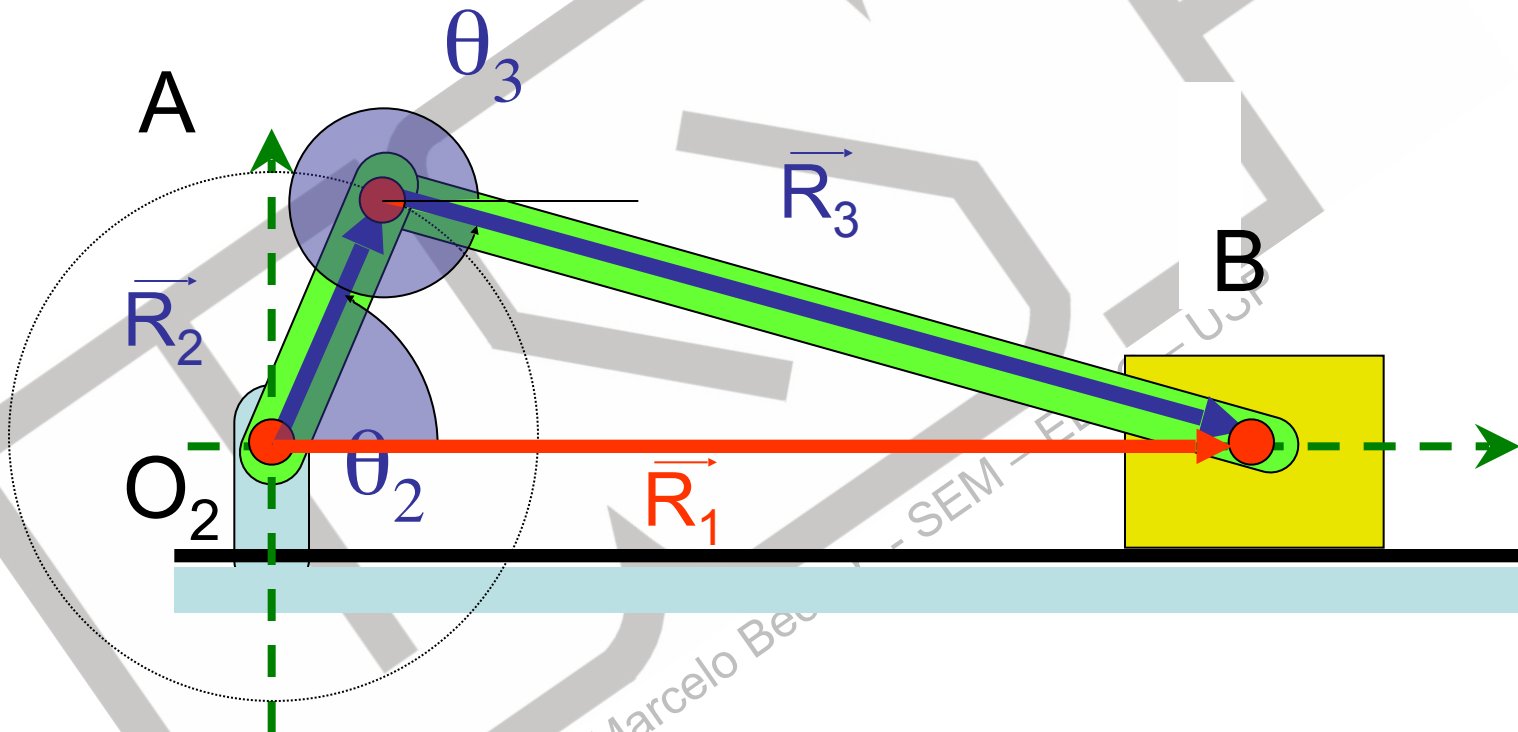


$$R_2 \cdot (\cos\theta_2 + i \cdot \sin\theta_2) + R_3 \cdot (\cos\theta_3 + i \cdot \sin\theta_3) = R_1$$

Mecanismos Simples

Biela-Manivela - Velocidade

- Equacionamento



$$R_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot (i \cdot \cos \theta_2 - \sin \theta_2) + R_3 \cdot \dot{\theta}_3 \cdot (i \cdot \cos \theta_3 - \sin \theta_3) = \dot{R}_1$$

Equacionamento

Biela-Manivela - Velocidade

- Dividir em Re e Im

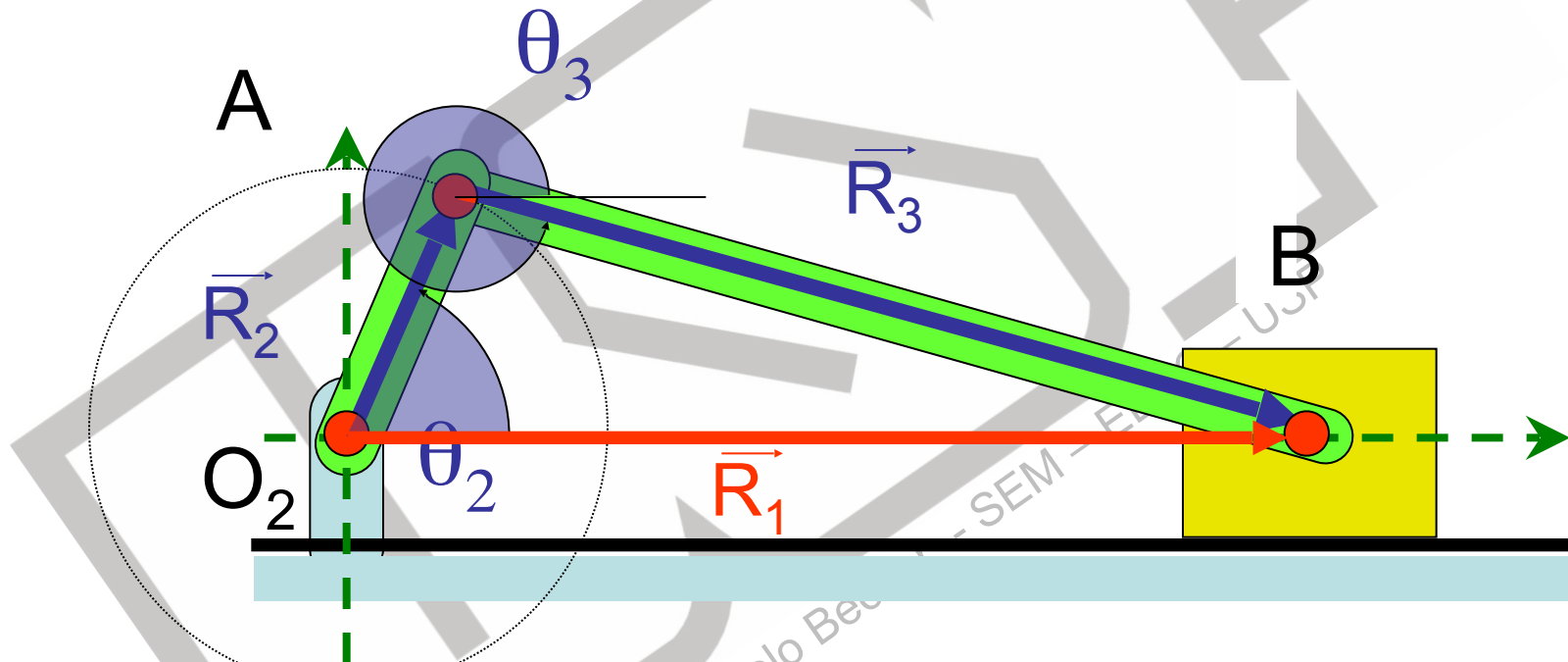
$$R_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot (i \cdot \cos\theta_2 - \sin\theta_2) + R_3 \cdot \dot{\theta}_3 \cdot (i \cdot \cos\theta_3 - \sin\theta_3) = \dot{R}_1$$

$$\begin{array}{l} \text{Re} \\ \text{Im} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} -R_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \sin\theta_2 - R_3 \cdot \dot{\theta}_3 \cdot \sin\theta_3 = \dot{R}_1 \\ R_2 \cdot \dot{\theta}_2 \cdot \cos\theta_2 + R_3 \cdot \dot{\theta}_3 \cdot \cos\theta_3 = 0 \end{array} \right.$$

Mecanismos Simples

Biela-Manivela - Aceleração

- Equacionamento



$$R_2 \cdot \ddot{\theta}_2 \cdot (-\sin\theta_2 + i \cdot \cos\theta_2) + R_3 \cdot \ddot{\theta}_3 \cdot (-\sin\theta_3 + i \cdot \cos\theta_3) - \dots \\ \dots - R_2 \cdot \dot{\theta}_2^2 \cdot (\cos\theta_2 + i \cdot \sin\theta_2) - R_3 \cdot \dot{\theta}_3^2 \cdot (\cos\theta_3 + i \cdot \sin\theta_3) = \ddot{R}_3$$

Equacionamento

Biela-Manivela - Aceleração

- Dividir em Re e Im

$$R_2 \ddot{\theta}_2 (-\sin\theta_2 + i \cos\theta_2) + R_3 \ddot{\theta}_3 (-\sin\theta_3 + i \cos\theta_3) - \dots \\ \dots - R_2 \dot{\theta}_2^2 (\cos\theta_2 + i \sin\theta_2) - R_3 \dot{\theta}_3^2 (\cos\theta_3 + i \sin\theta_3) = \ddot{R}_3$$

$$\begin{cases} \text{Re} & \left\{ \begin{array}{l} -R_2 \ddot{\theta}_2 \sin\theta_2 - R_3 \ddot{\theta}_3 \sin\theta_3 - R_2 \dot{\theta}_2^2 \cos\theta_2 - \dots \\ \dots - R_3 \dot{\theta}_3^2 \cos\theta_3 = \ddot{R}_3 \end{array} \right. \\ \text{Im} & \left\{ \begin{array}{l} R_2 \ddot{\theta}_2 \cos\theta_2 + R_3 \ddot{\theta}_3 \cos\theta_3 - R_2 \dot{\theta}_2^2 \sin\theta_2 - \dots \\ \dots - R_3 \dot{\theta}_3^2 \sin\theta_3 = 0 \end{array} \right. \end{cases}$$

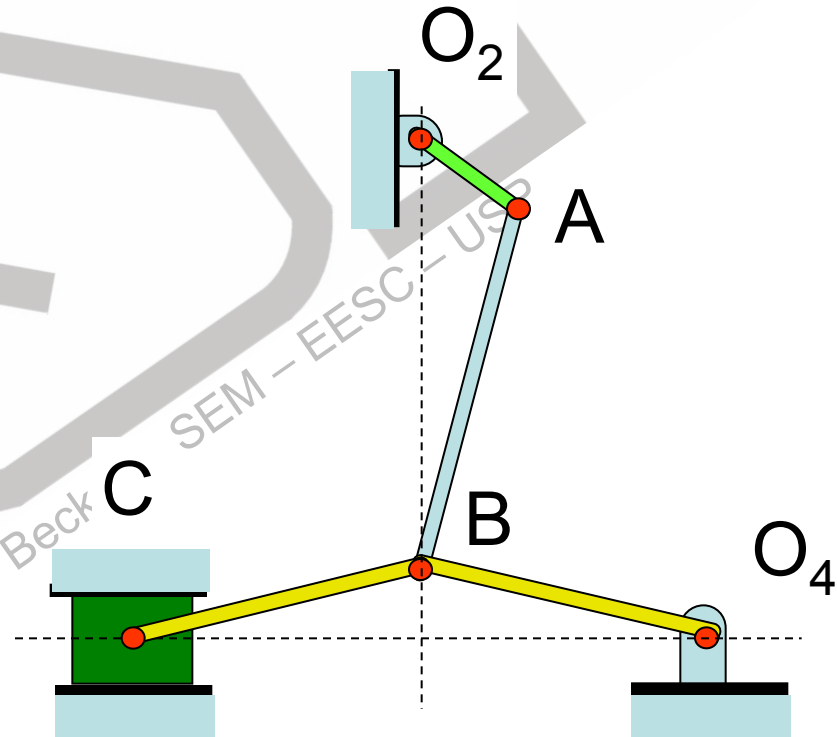
Sumário da Aula

- Notação Complexa
- Equacionamento de Links
- Mecanismos Simples
- **Mecanismos Complexos**
- Exemplo
- Bibliografia Recomendada

Mecanismos Complexos

Mecanismo Toggle

- Barras CB e BO_4 com mesmo comprimento



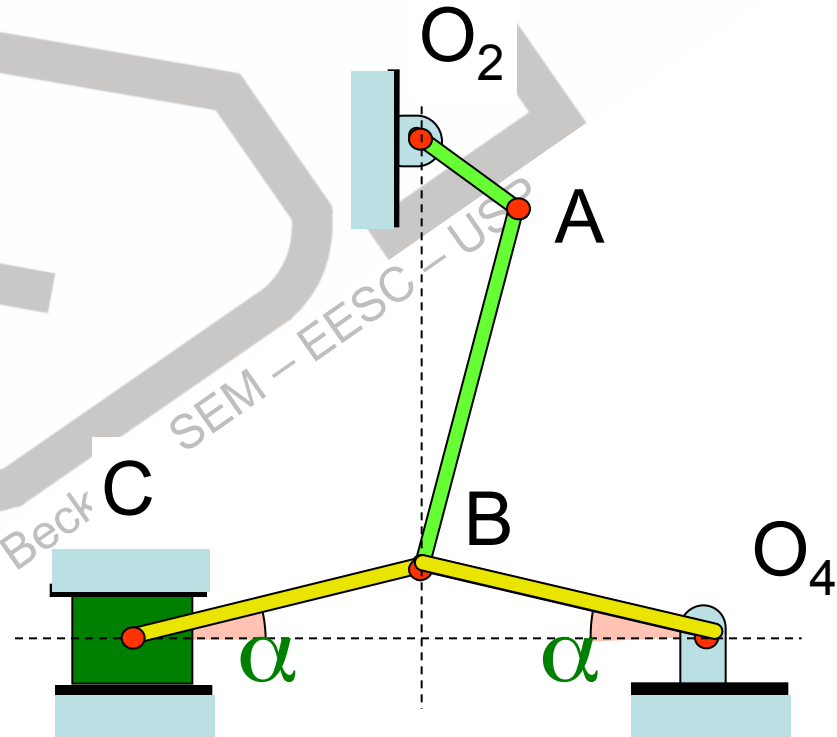
Mecanismos Complexos

Mecanismo Toggle

- Equacionamento: Dividir em 2 mecanismos Simples

- 4 Barras: O_2ABO_4

- Biela-Manivela: CBO_4



Sumário da Aula

- Notação Complexa
 - Equacionamento de Links
 - Mecanismos Simples
 - Mecanismos Complexos
-
- **Exemplo**
 - Bibliografia Recomendada

Enunciado do Problema

Guindaste

- Um guindaste utilizado em docas consiste em um mecanismo 4 barras (A_0ABCB_0), sendo C um ponto da barra ABC. O link AA_0 é acionado por um motor acoplado em A_0 , cuja velocidade é de 720 rpm (c^{te}), através de um redutor de $i=1430:1$. Calcule a velocidade da carga e a variação em sua elevação quando o link AA_0 gira de $\phi=60^\circ$ a $\phi=140^\circ$ (em passos de 10°).

Dados do Problema

Guindaste

$$a = 22,05 \text{ m}$$

$$b = 9,75 \text{ m}$$

$$c = 28,95 \text{ m}$$

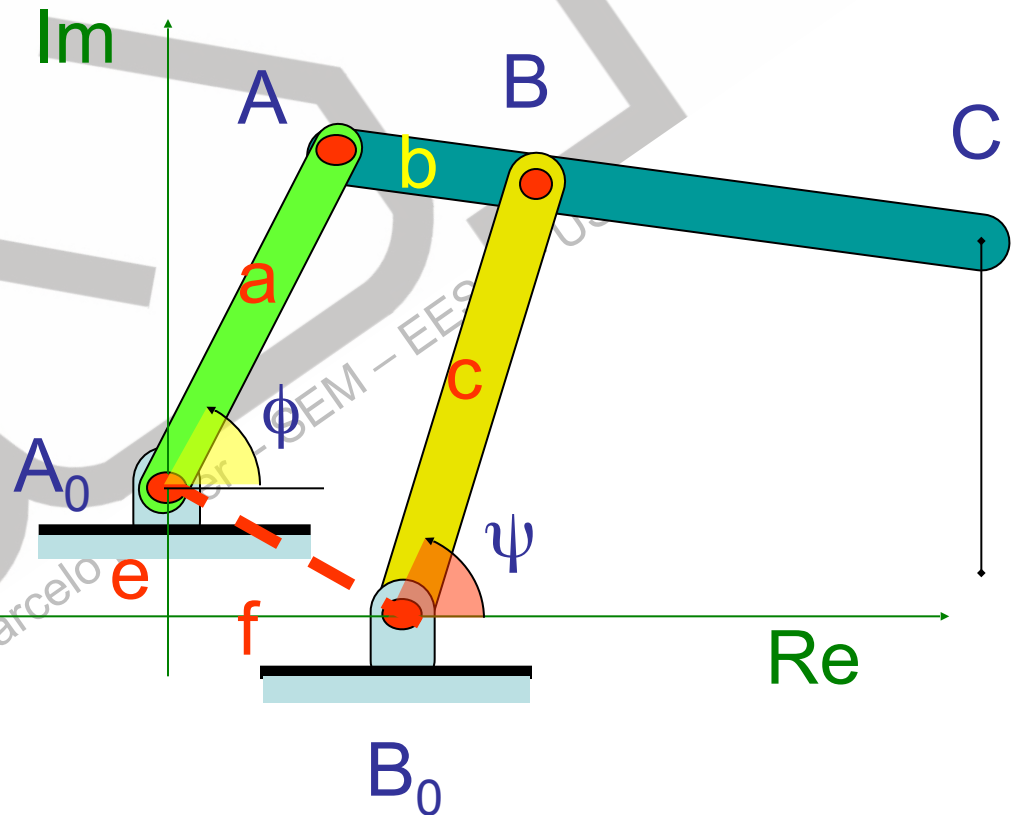
$$e = 7,95 \text{ m}$$

$$f = 9,60 \text{ m}$$

$$L = 33,75 \text{ m}$$

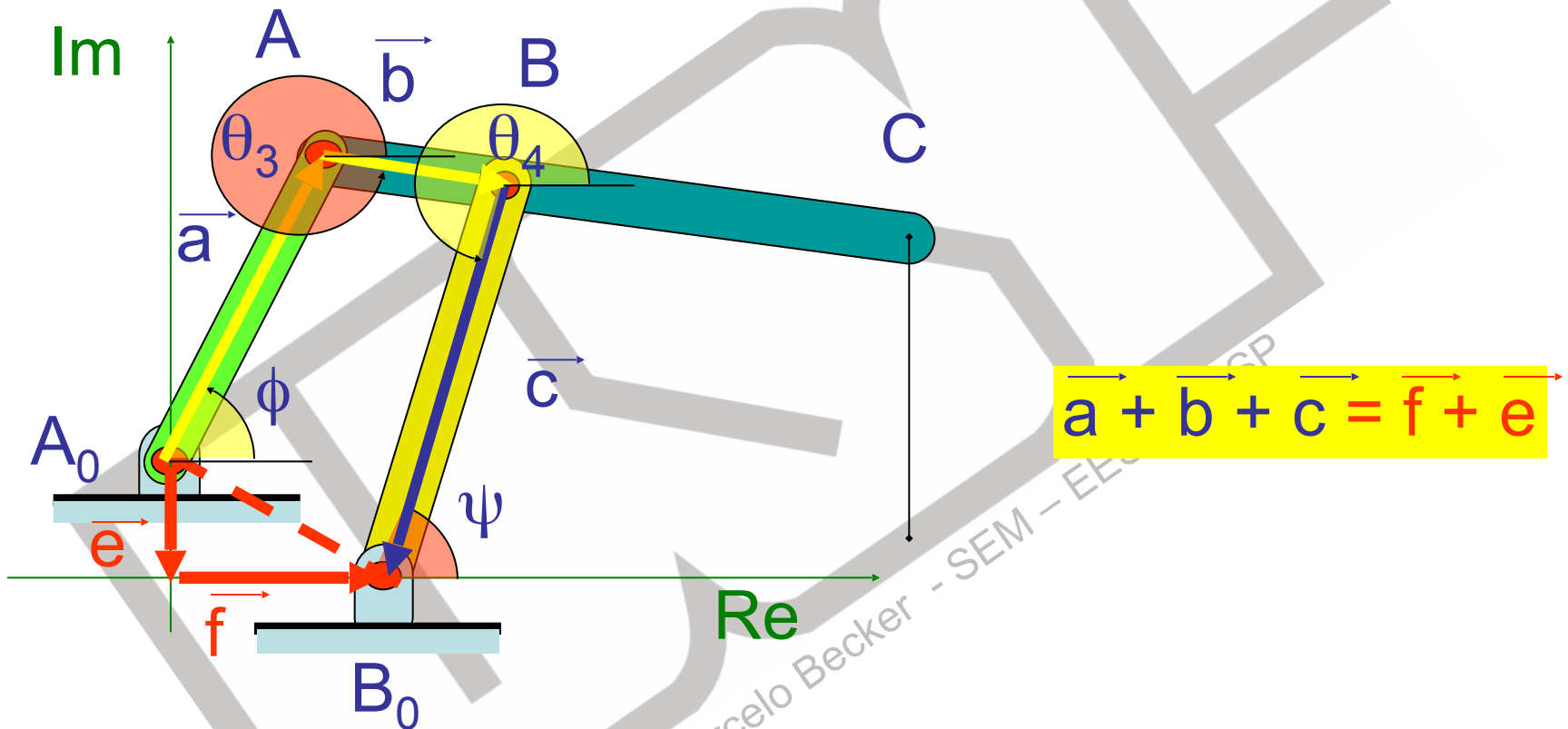
$$CB = 24 \text{ m}$$

$$A_0B_0 = d$$



Equacionamento

Guindaste - Posição



$$a \cdot (\cos\phi + i \cdot \sin\phi) + b \cdot (\cos\theta_3 + i \cdot \sin\theta_3) + \dots$$

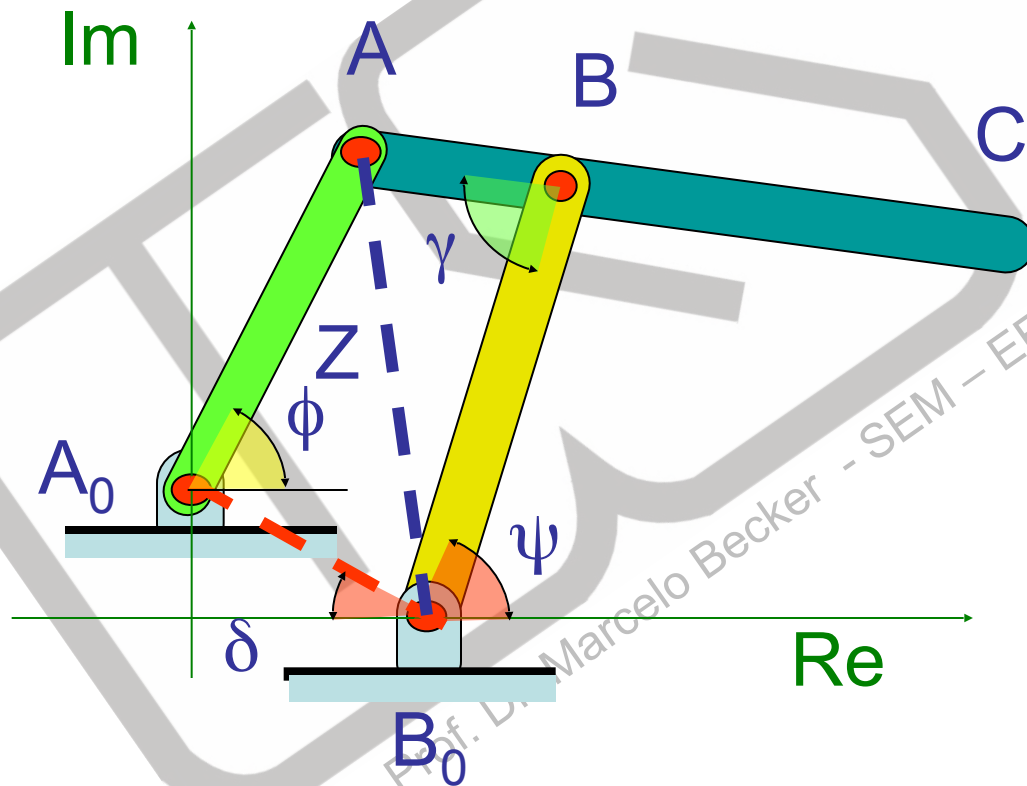
$$\dots + c \cdot (\cos\theta_4 + i \cdot \sin\theta_4) = -i \cdot e + f$$

Equacionamento

Recordação – 4 Barras

- 1º Determinar os ângulos

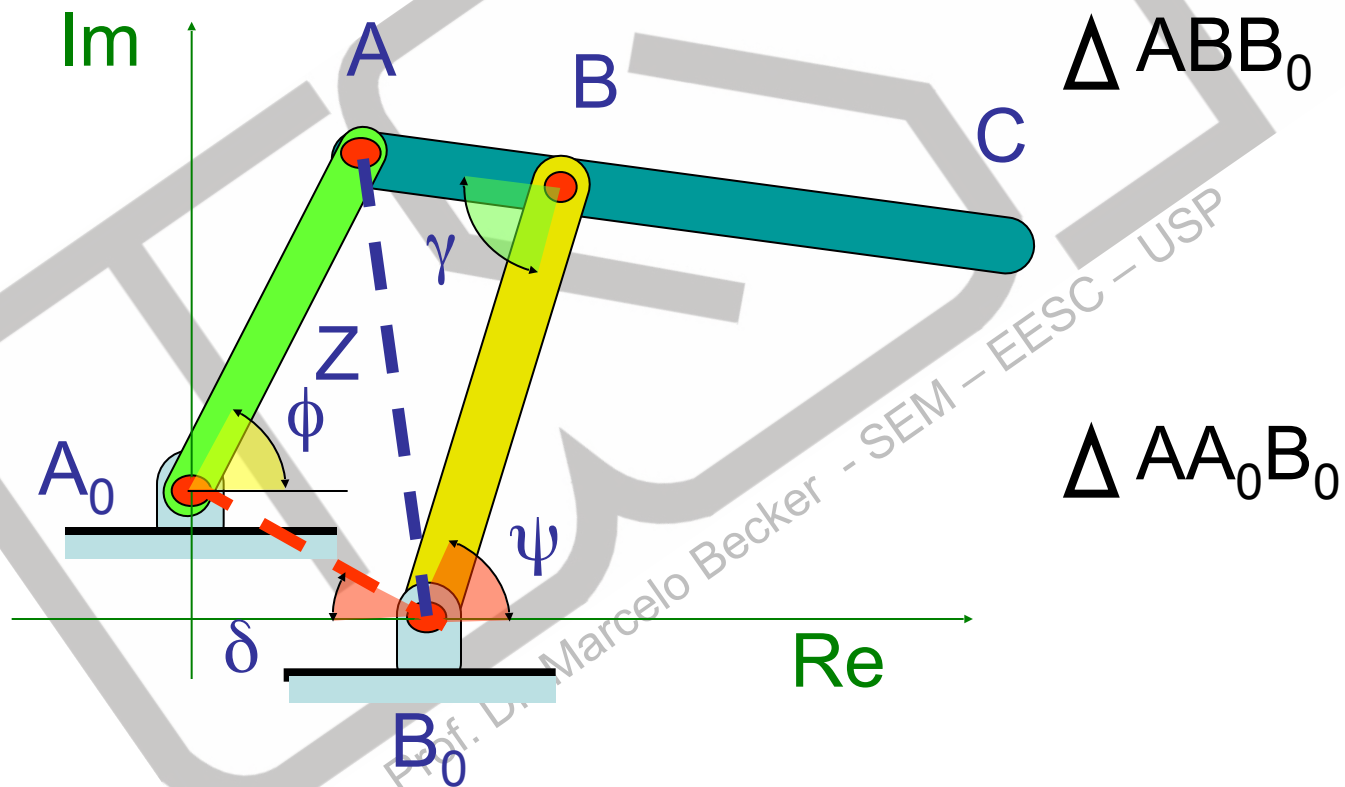
$$Z = f_{\zeta}(\phi + \delta)$$



Equacionamento

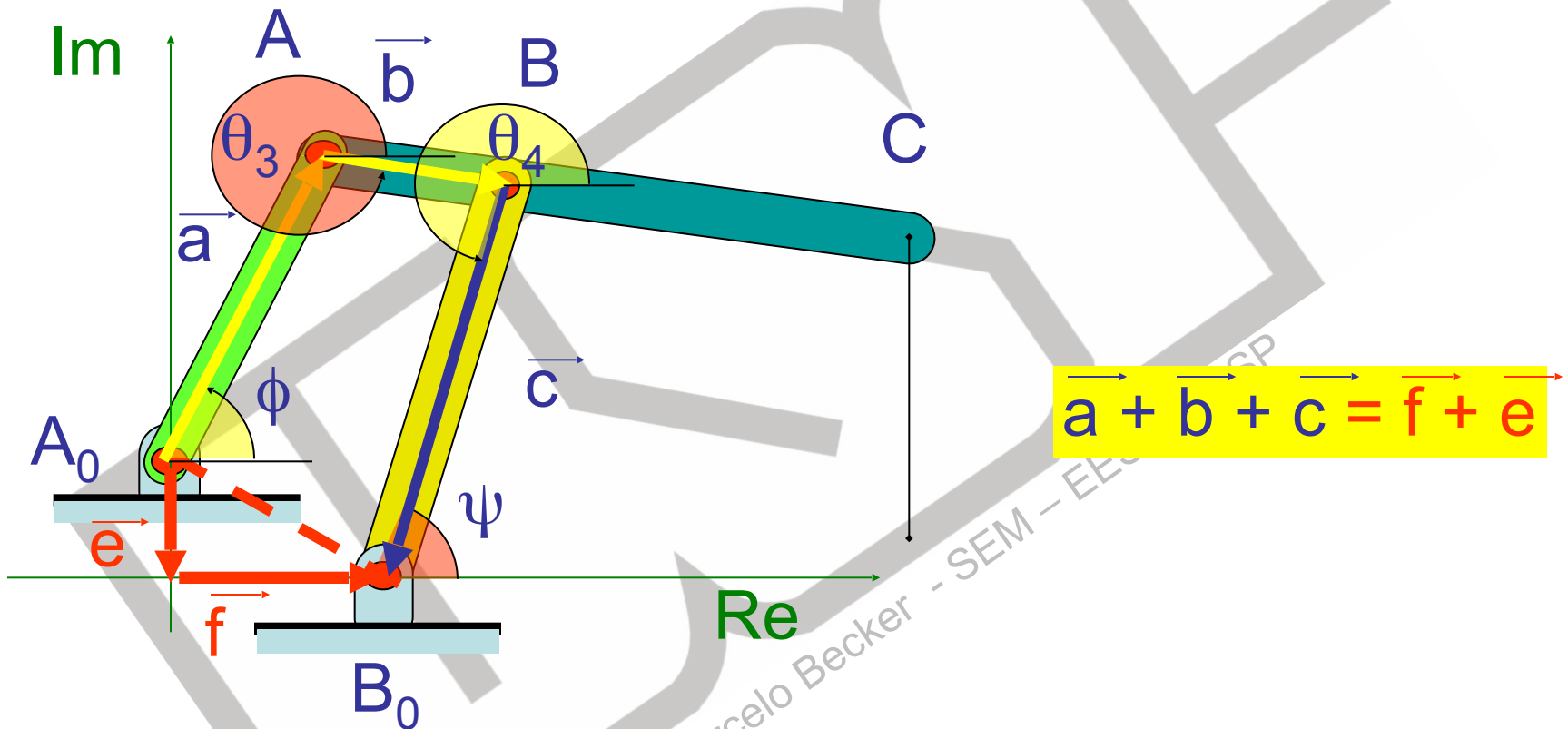
Recordação – 4 Barras

- Aplicar Lei dos Co-senos!!



Equacionamento

Guindaste - Posição



$$a.(\cos\phi + i.\sin\phi) + b.(\cos\theta_3 + i.\sin\theta_3) + \dots$$

$$\dots + c.(\cos\theta_4 + i.\sin\theta_4) = -i.e + f$$

Equacionamento

Guindaste - Posição

- Dividir em Re e Im

$$a.(\cos\phi + i.\sin\phi) + b.(\cos\theta_3 + i.\sin\theta_3) + \dots \\ \dots + c.(\cos\theta_4 + i.\sin\theta_4) = -i.e + f$$

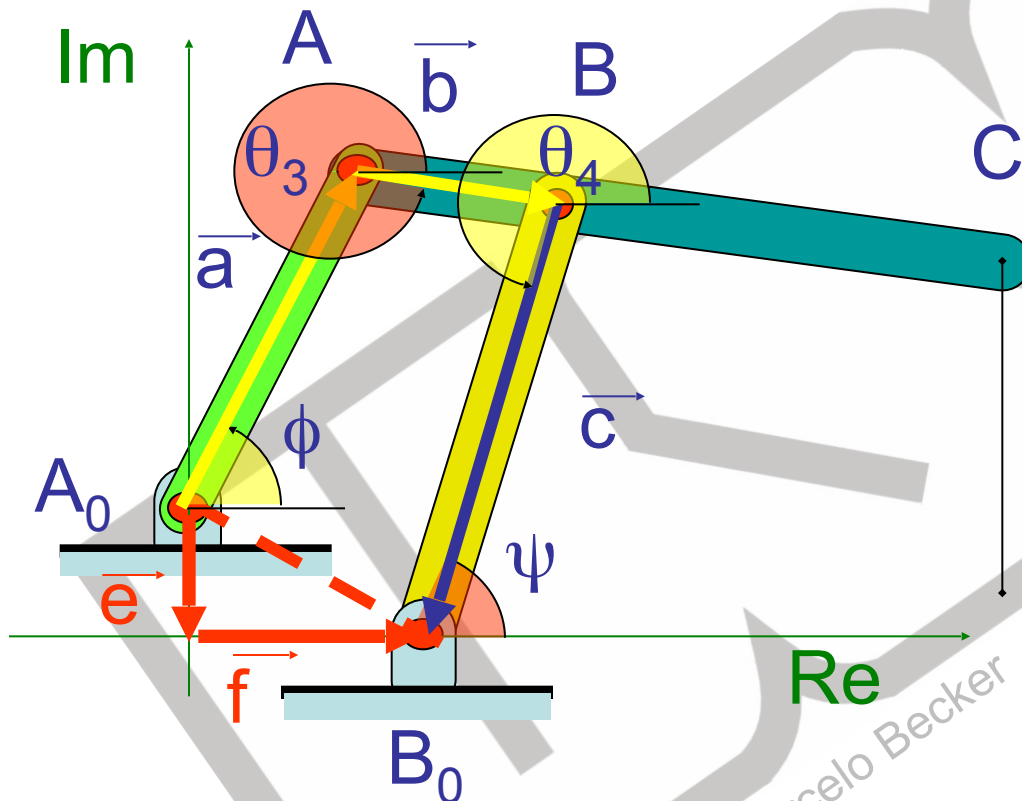
Re

$$a.\cos\phi + b.\cos\theta_3 + c.\cos\theta_4 = f$$

Im

$$a.\sin\phi + b.\sin\theta_3 + c.\sin\theta_4 = -e$$

Equacionamento Guindaste - Velocidade



$$a \cdot \dot{\phi} \cdot (-\sin\phi + i \cdot \cos\phi) + b \cdot \dot{\theta}_3 \cdot (-\sin\theta_3 + i \cdot \cos\theta_3) + \dots \\ \dots + c \cdot \dot{\theta}_4 \cdot (-\sin\theta_4 + i \cdot \cos\theta_4) = 0$$

Equacionamento

Guindaste - Velocidade

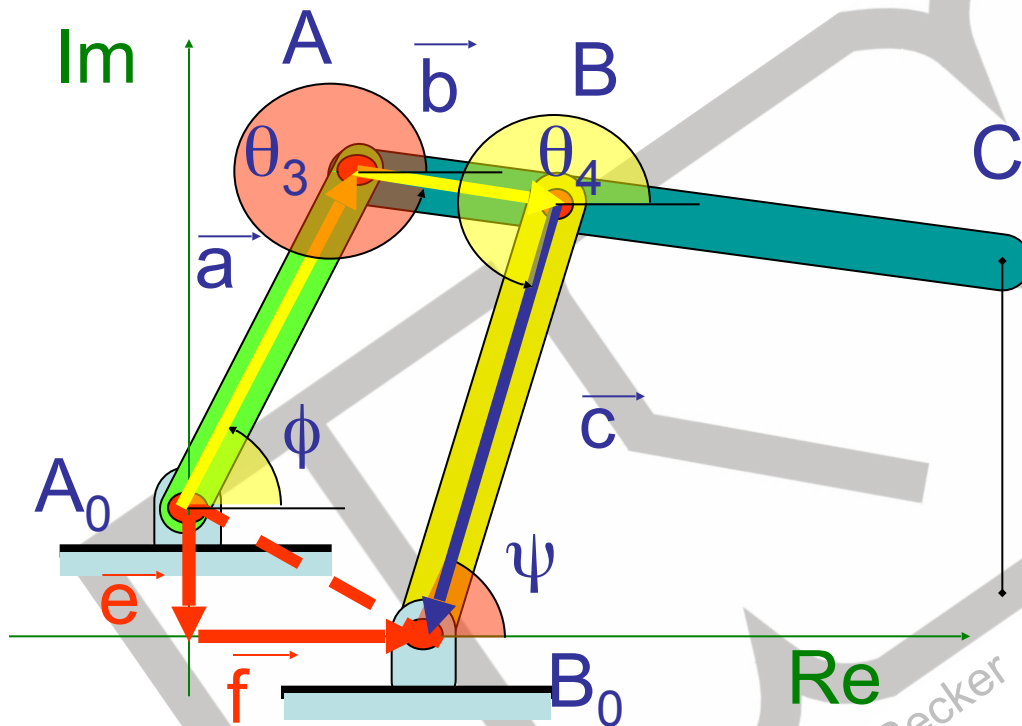
- Dividir em Re e Im

$$a.\dot{\phi}(-\sin\phi + i.\cos\phi) + b.\dot{\theta}_3(-\sin\theta_3 + i.\cos\theta_3) + \dots \\ \dots + c.\dot{\theta}_4(-\sin\theta_4 + i.\cos\theta_4) = 0$$

$$\begin{array}{l} \text{Re} \\ \text{Im} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} -a.\dot{\phi}.\sin\phi - b.\dot{\theta}_3.\sin\theta_3 - c.\dot{\theta}_4.\sin\theta_4 = 0 \\ a.\dot{\phi}.\cos\phi + b.\dot{\theta}_3.\cos\theta_3 + c.\dot{\theta}_4.\cos\theta_4 = 0 \end{array} \right.$$

Equacionamento

Guindaste - Aceleração



$$\begin{aligned}
 & a \cdot \ddot{\phi} \cdot (-\sin\phi + i \cdot \cos\phi) + b \cdot \ddot{\theta}_3 \cdot (-\sin\theta_3 + i \cdot \cos\theta_3) + \dots \\
 & \dots + c \cdot \ddot{\theta}_4 \cdot (-\sin\theta_4 + i \cdot \cos\theta_4) - a \cdot \dot{\phi}^2 \cdot (\cos\phi + i \cdot \sin\phi) - \dots \\
 & \dots - b \cdot \dot{\theta}_3^2 \cdot (\cos\theta_3 + i \cdot \sin\theta_3) - c \cdot \dot{\theta}_4^2 \cdot (\cos\theta_4 + i \cdot \sin\theta_4) = 0
 \end{aligned}$$

Equacionamento

4 Barras - Aceleração

- Dividir em Re e Im

$$\begin{aligned} & a.\ddot{\phi}(-\sin\phi + i.\cos\phi) + b.\ddot{\theta}_3(-\sin\theta_3 + i.\cos\theta_3) + \dots \\ & \dots + c.\ddot{\theta}_4(-\sin\theta_4 + i.\cos\theta_4) - a.\dot{\phi}^2(\cos\phi + i.\sin\phi) - \dots \\ & \dots - b.\dot{\theta}_3^2(\cos\theta_3 + i.\sin\theta_3) - c.\dot{\theta}_4^2(\cos\theta_4 + i.\sin\theta_4) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{l} \text{Re} \left\{ \begin{array}{l} -a.\ddot{\phi}.\sin\phi - b.\ddot{\theta}_3.\sin\theta_3 - c.\ddot{\theta}_4.\sin\theta_4 - \dots \\ \dots - a.\dot{\phi}^2.\cos\phi - b.\dot{\theta}_3^2.\cos\theta_3 - c.\dot{\theta}_4^2.\cos\theta_4 = 0 \end{array} \right. \\ \text{Im} \left\{ \begin{array}{l} a.\ddot{\phi}.\cos\phi + b.\ddot{\theta}_3.\cos\theta_3 + c.\ddot{\theta}_4.\cos\theta_4 - \dots \\ \dots - a.\dot{\phi}^2.\sin\phi - b.\dot{\theta}_3^2.\sin\theta_3 - c.\dot{\theta}_4^2.\sin\theta_4 = 0 \end{array} \right. \end{array}$$

Velocidade e Aceleração

Guindaste – Ponto C (ponta da lança)

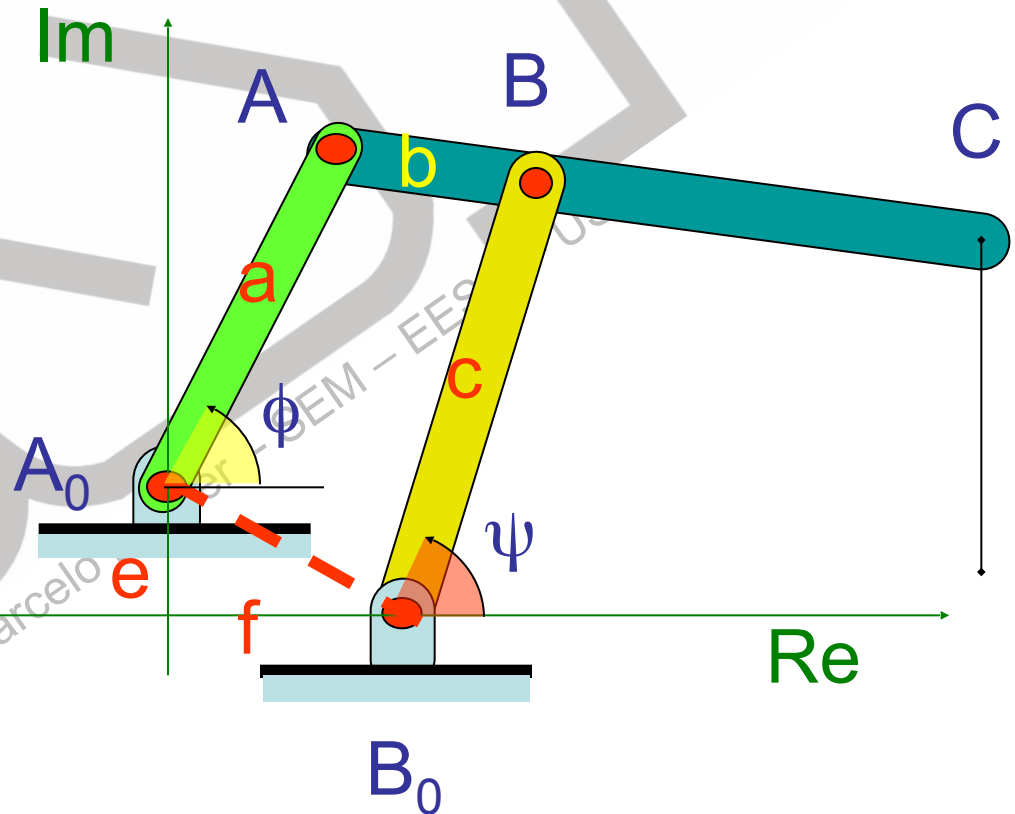
Lembrar que:

$$\vec{V}_C = \vec{V}_A + \vec{V}_{C/A}$$

$$|V_A| = a \cdot \dot{\phi}$$

$$\dot{\phi} = \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{N}{i}$$

$$|V_{C/A}| = L \cdot \dot{\theta}_3$$



Velocidade e Aceleração

Guindaste – Ponto C (ponta da lança)

Assim:

$$\vec{V}_C = \vec{V}_A + \vec{V}_{C/A}$$

$$\vec{V}_A = a \cdot \dot{\phi} \cdot (-\sin\phi + i \cdot \cos\phi)$$

$$\vec{V}_{C/A} = L \cdot \dot{\theta}_3 \cdot (-\sin\theta_3 + i \cdot \cos\theta_3)$$

$$V_C^2 = (-a \cdot \dot{\phi} \cdot \sin\phi - L \cdot \dot{\theta}_3 \cdot \sin\theta_3)^2 + \dots$$
$$+ \dots (a \cdot \dot{\phi} \cdot \cos\phi + L \cdot \dot{\theta}_3 \cdot \cos\theta_3)^2$$

Velocidade e Aceleração

Guindaste – Ponto C (ponta da lança)

Assim:

$$\vec{A}_C = \vec{A}_A + \vec{A}_{C/A}$$

$$\vec{A}_A = a.\ddot{\phi}(-\sin\phi + i.\cos\phi) - a.\dot{\phi}^2(\cos\phi + i.\sin\phi)$$

$$\vec{A}_{C/A} = L.\ddot{\theta}_3(-\sin\theta_3 + i.\cos\theta_3) - L.\dot{\theta}_3^2(\cos\theta_3 + i.\sin\theta_3)$$

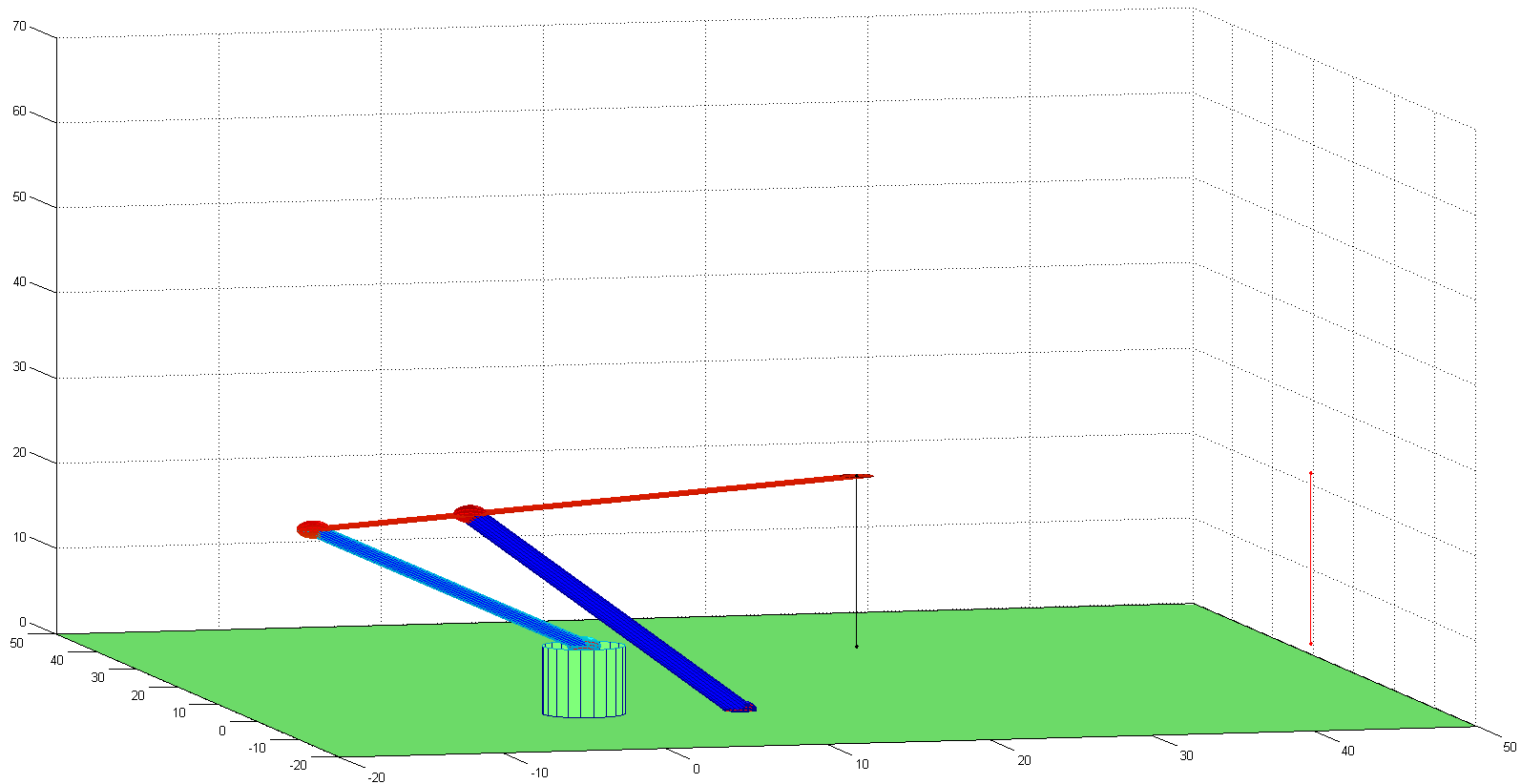
$$A_C^2 = (-a.\ddot{\phi}.\sin\phi - a.\dot{\phi}^2.\cos\phi - L.\ddot{\theta}_3.\sin\theta_3 - L.\dot{\theta}_3^2.\cos\theta_3)^2 \dots \\ + (a.\ddot{\phi}.\cos\phi - a.\dot{\phi}^2.\sin\phi + L.\ddot{\theta}_3.\cos\theta_3 - L.\dot{\theta}_3^2.\sin\theta_3)^2$$

Velocidade e Aceleração

Guindaste – Gráficos



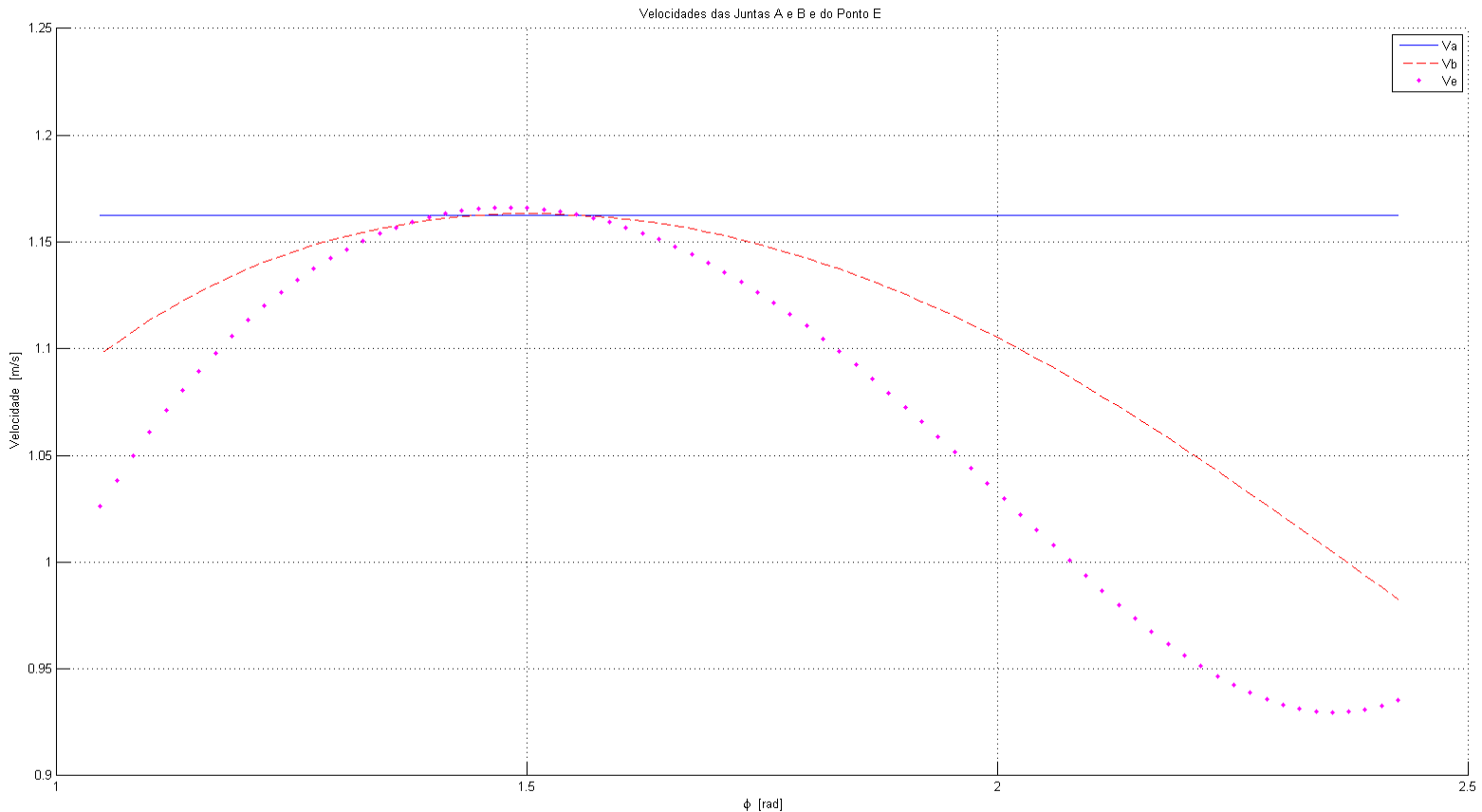
Animação



Velocidade e Aceleração

Guindaste – Gráficos

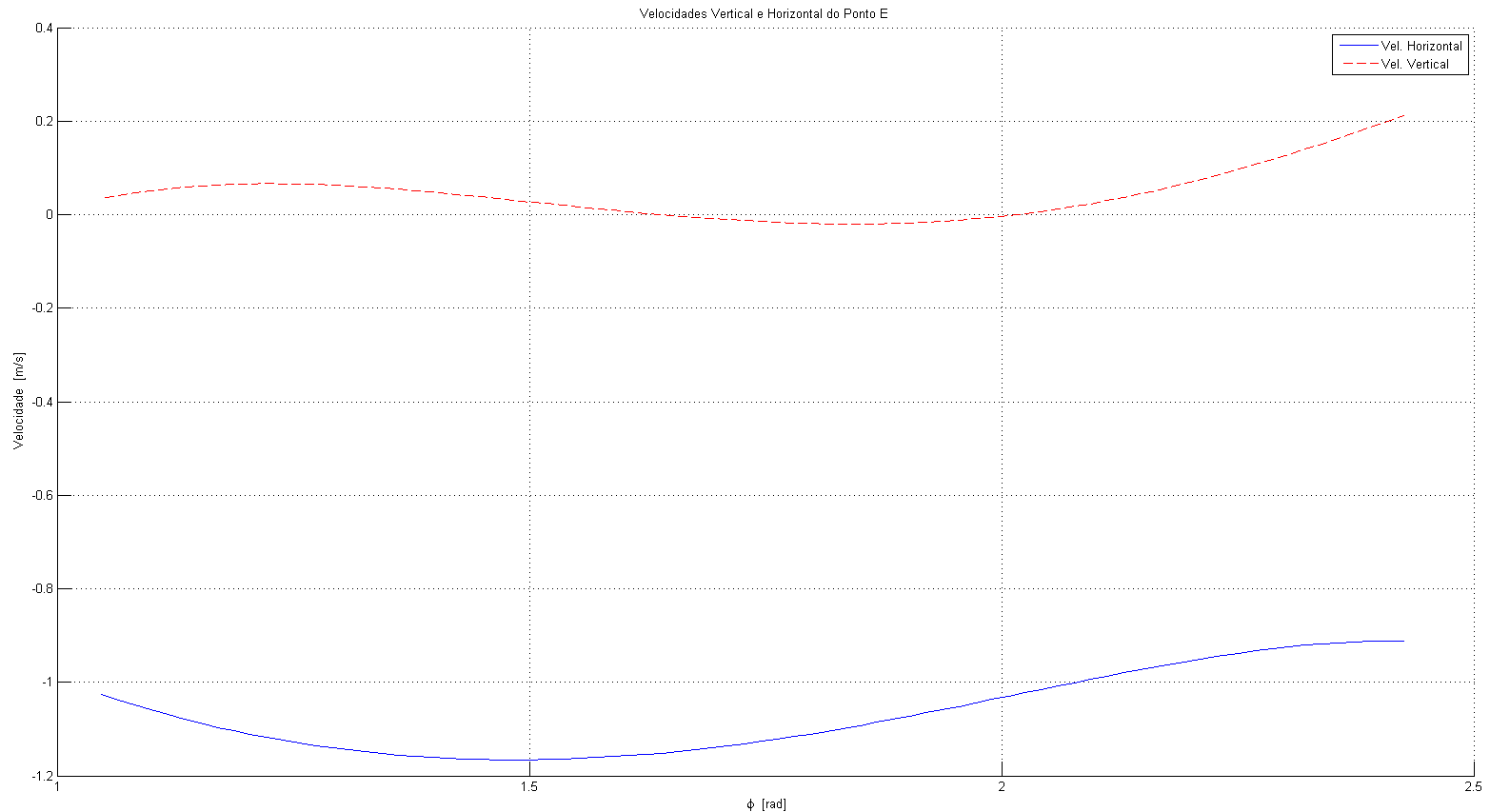
Velocidades: Juntas A e B e Ponto E



Velocidade e Aceleração

Guindaste – Gráficos

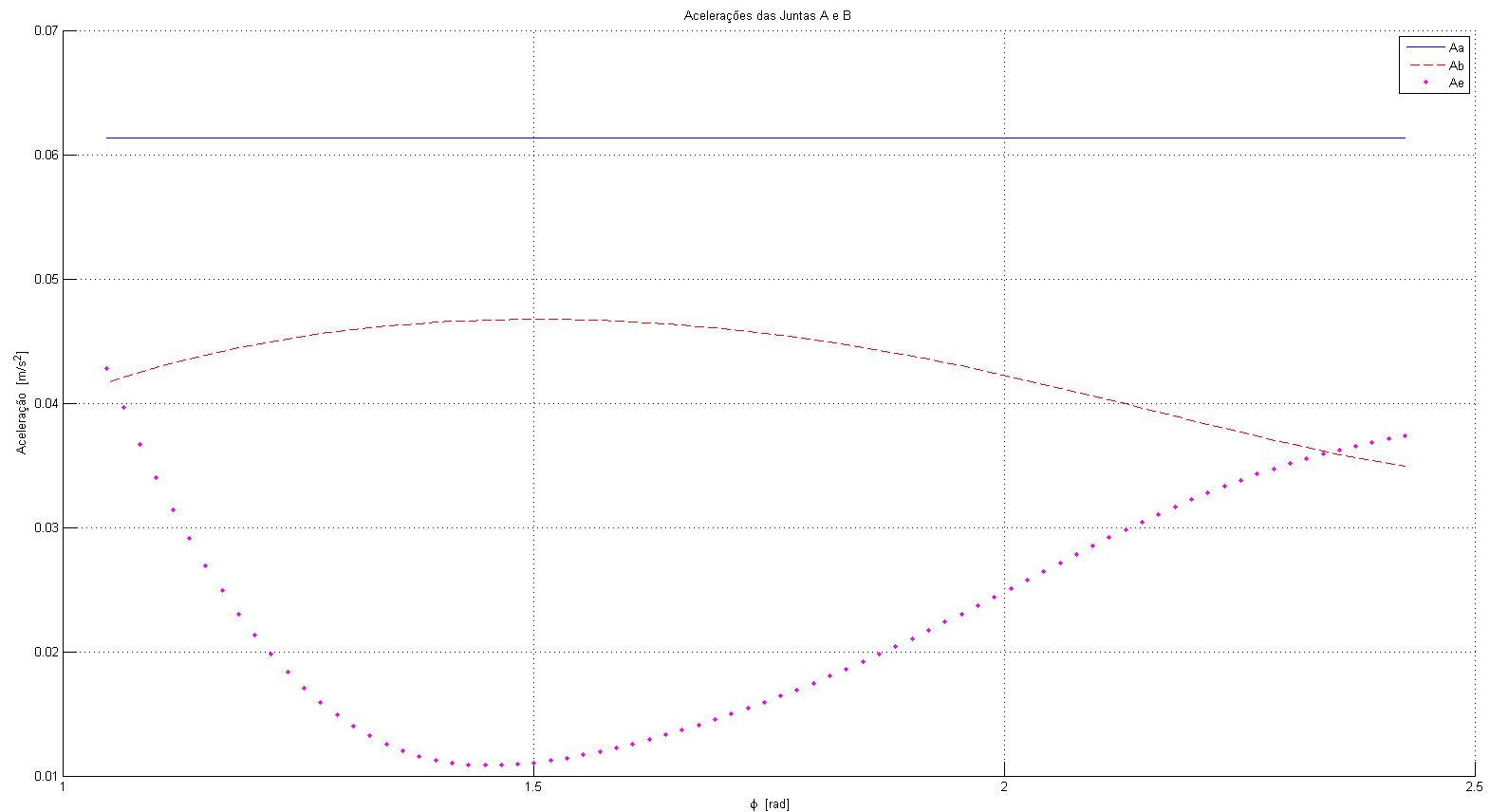
Velocidades do Ponto E (vertical e Horizontal):



Velocidade e Aceleração

Guindaste – Gráficos

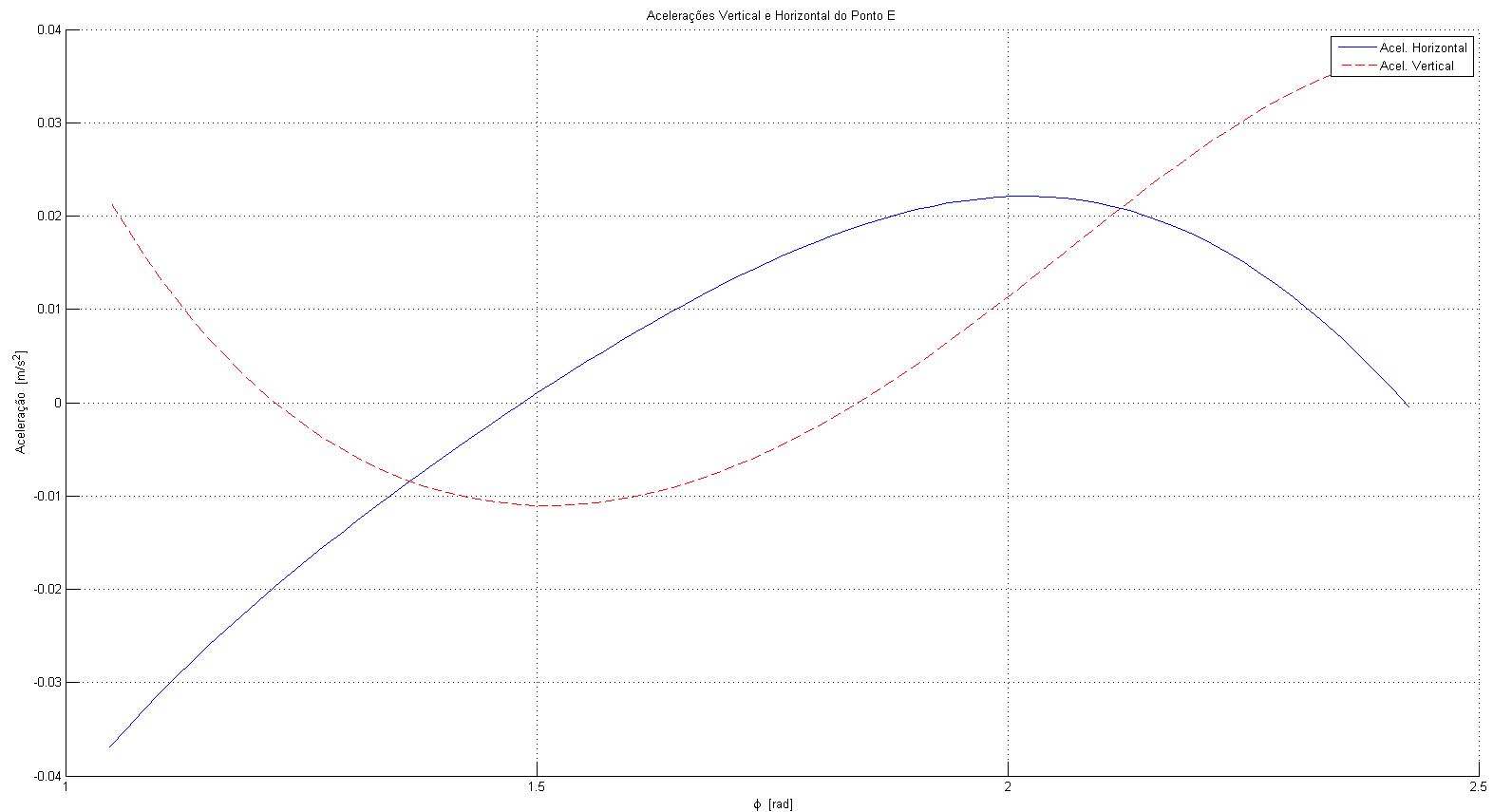
Acerações: Juntas A e B e Ponto E



Velocidade e Aceleração

Guindaste – Gráficos

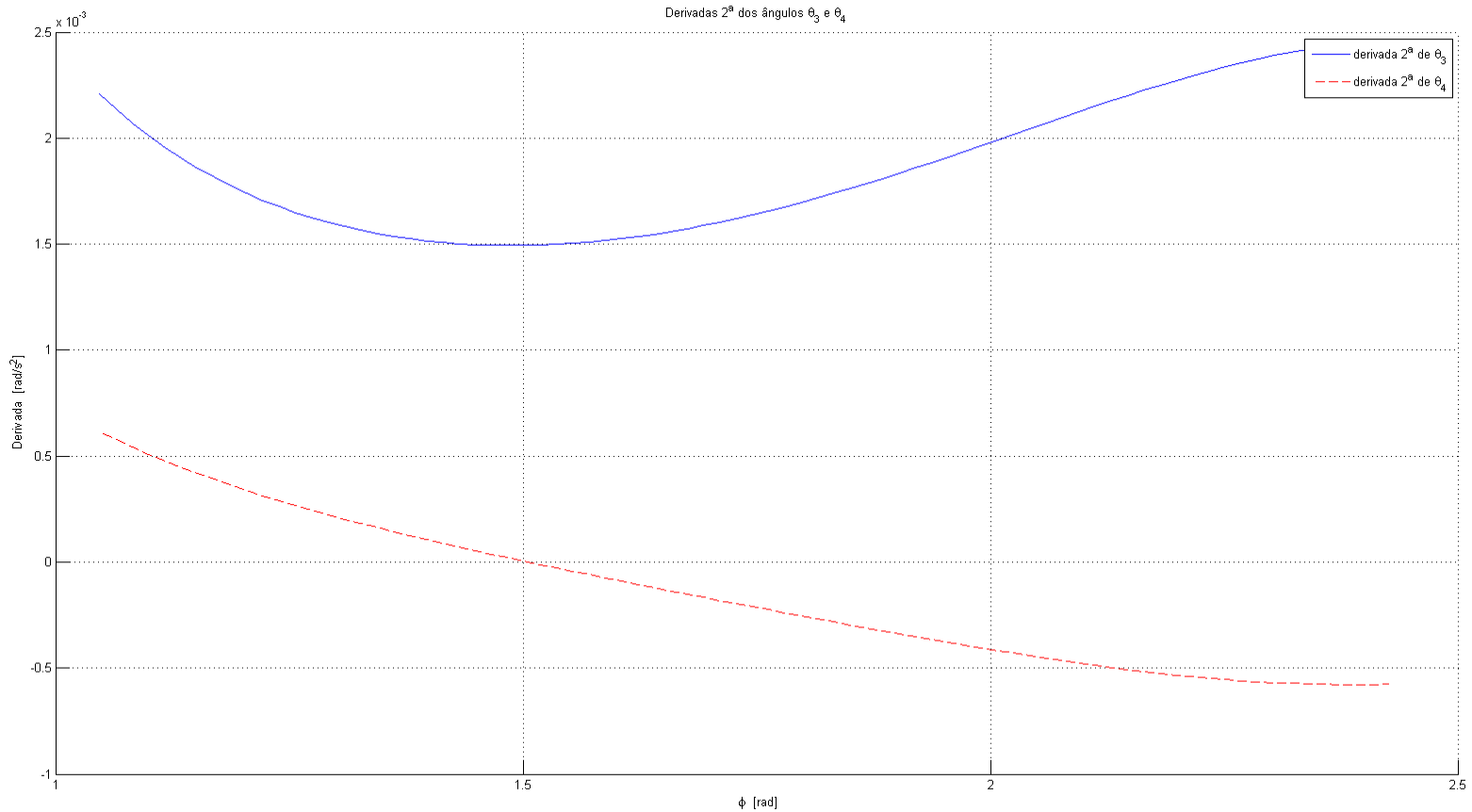
Acelerações do Ponto E (vertical e Horizontal):



Velocidade e Aceleração

Guindaste – Gráficos

Derivada 2ª dos Ângulos θ_3 e θ_4



Sumário da Aula

- Notação Complexa
 - Equacionamento de Links
 - Mecanismos Simples
 - Mecanismos Complexos
 - Exemplo
- Bibliografia Recomendada**

Bibliografia Recomendada

- Shigley, J.E. e Uicker, J.J., 1995, “*Theory of Machines and Mechanisms*”.
- MABIE, H.H., OCVIRK, F.W. “Mecanismos e dinâmica das máquinas”.
- MARTIN, G.H. “Cinematics and dynamics of machines”.
- NORTON, R. L. “Design of Machinery - An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines”
- Notas de Aula