EXPERIÊNCIA 1

Conhecendo e modelando a planta

PTC 3312 – Laboratório de Controle

2º semestre de 2020

Fábio Fialho

Laboratório de Automação e Controle

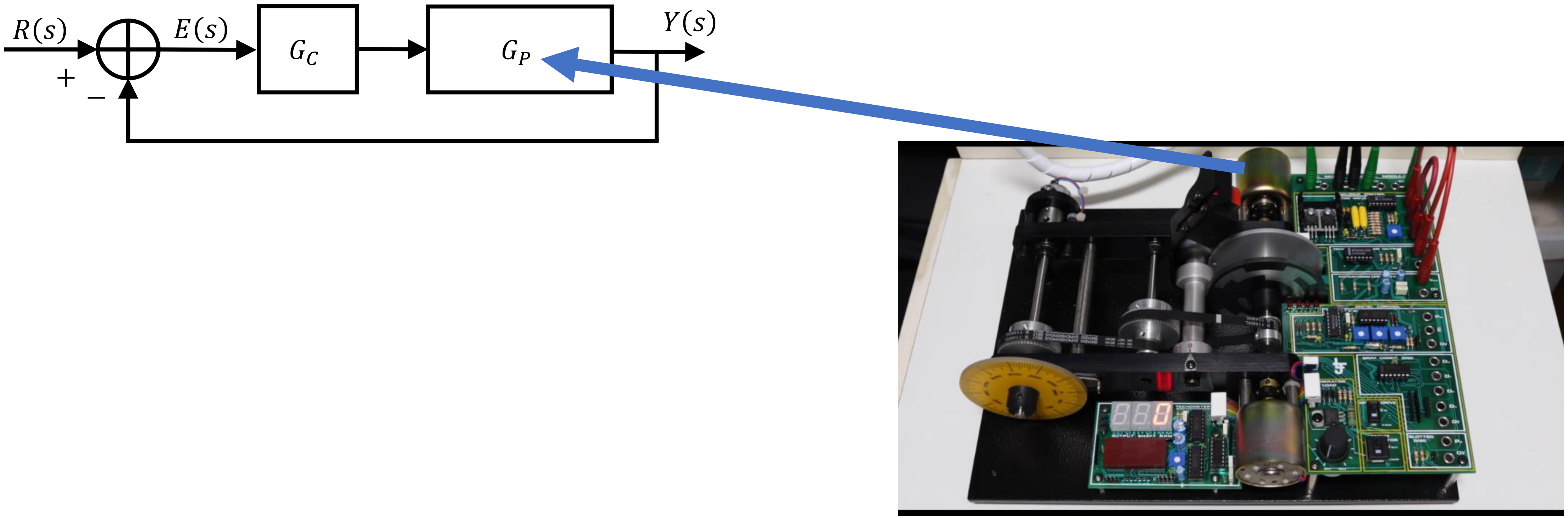
Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

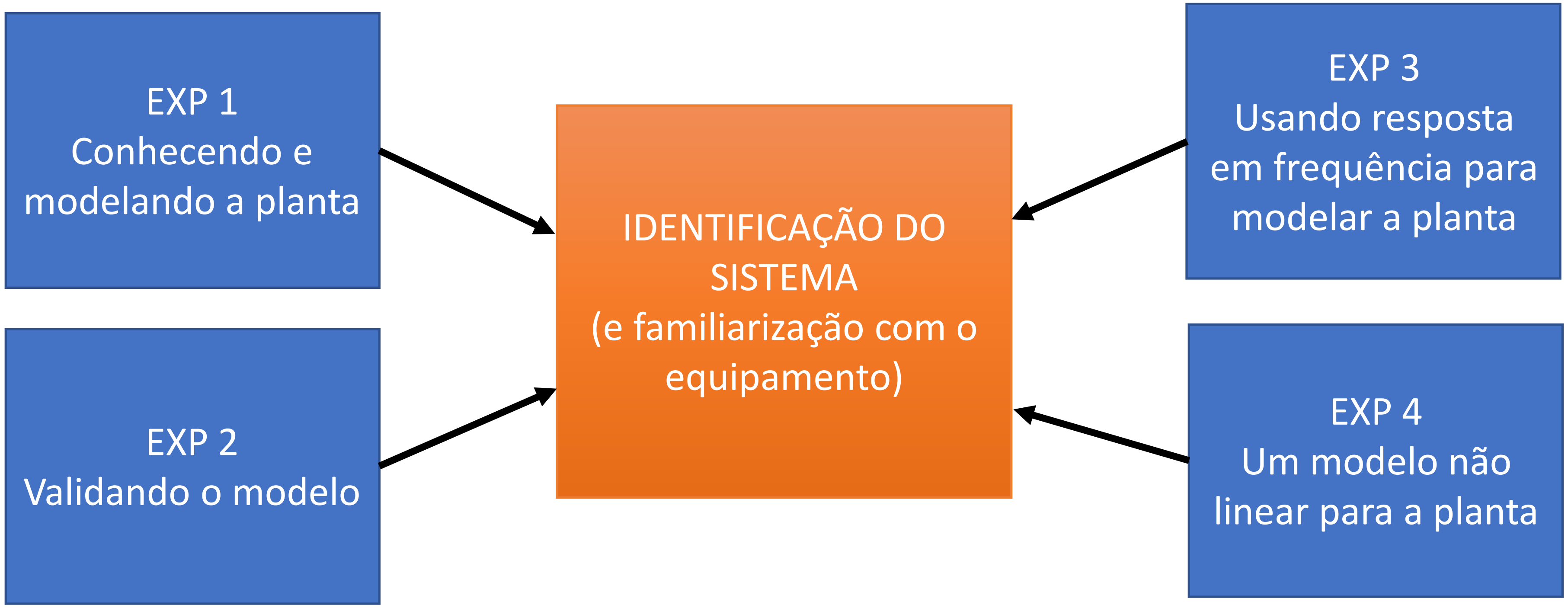
Versão 1.1

Motivação

Malha de controle



Esquema geral do módulo de modelagem do Laboratório de Controle

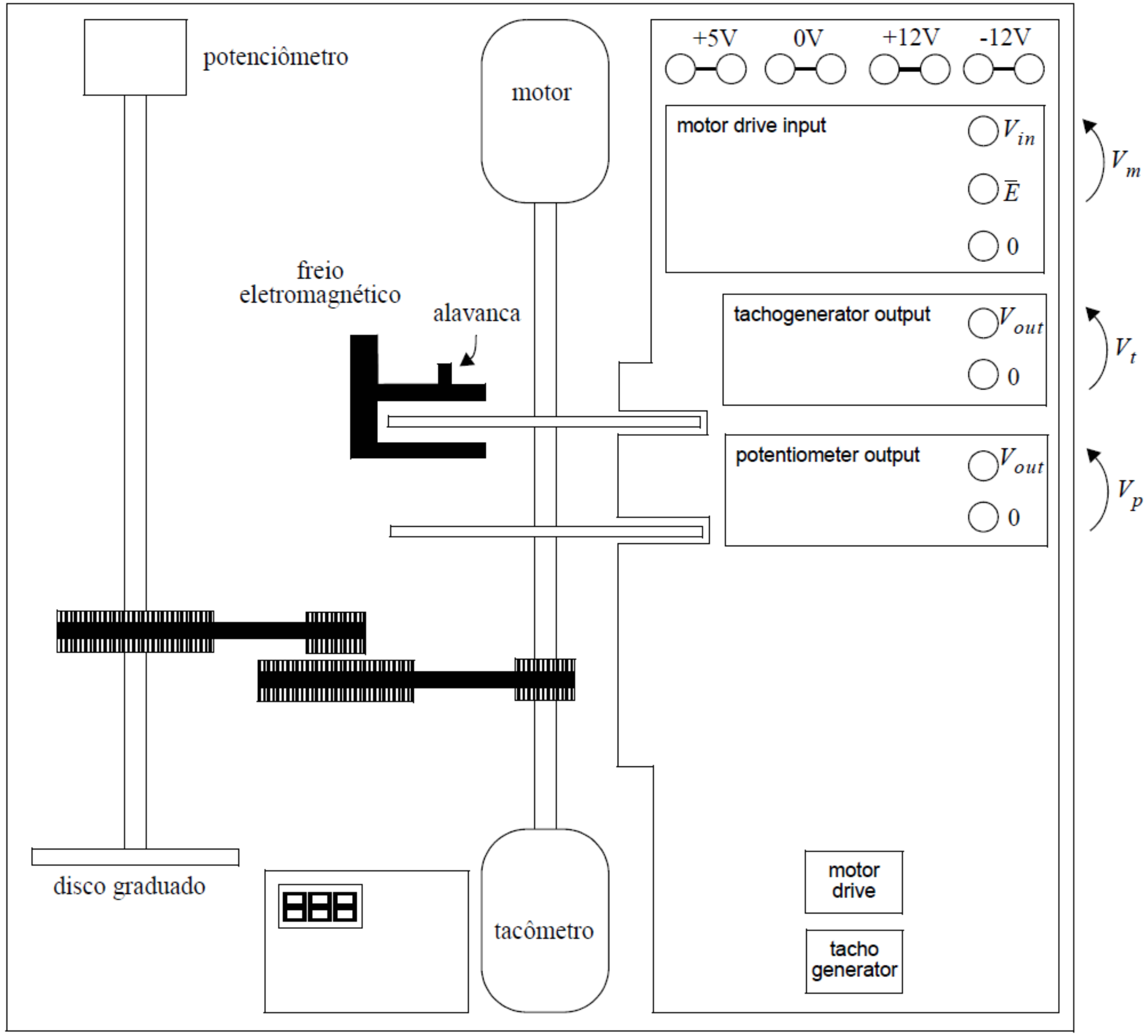


- Metodologia da Modelagem
  - Compreensão da teoria
  - Levantamento dos parâmetros
  - Validação dos modelos

A etapa de aquisição dos dados experimentais será feita pelo Prof. Ricardo. Ver videoaula associada ao tópico.

Experiência 1 - Conhecendo e modelando a planta

- Objetivo: obter um modelo matemático **linear** para o servomecanismo existente no Laboratório de Controle



Função de transferência

- Consideremos o sistema definido pela seguinte equação diferencial:

$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \ldots + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_m \frac{d^m x}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x}{dt^{m-1}} + \ldots + b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x$$

onde *y* é saída do sistema e *x* é a entrada e $n \geq m$.

- Tomando-se a transformada de Laplace de ambos os membros da equação, resulta:

$$(a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \cdots + a_1 s + a_0) Y(s) = (b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \cdots + b_1 s + b_0) X(s)$$

Função de transferência

$$(a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \cdots + a_1 s + a_0)Y(s) = (b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \cdots + b_1 s + b_0)X(s)$$

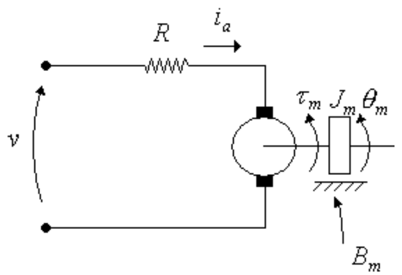
- Função de transferência: $G(s) = \left.\dfrac{\mathcal{L}(saída)}{\mathcal{L}(entrada)}\right|_{c.i.=0}$

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \ldots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \ldots + a_1 s + a_0} = \frac{\sum_{i=0}^{m} b_i s^i}{\sum_{i=0}^{n} a_i s^i}$$

com $n \geq m$

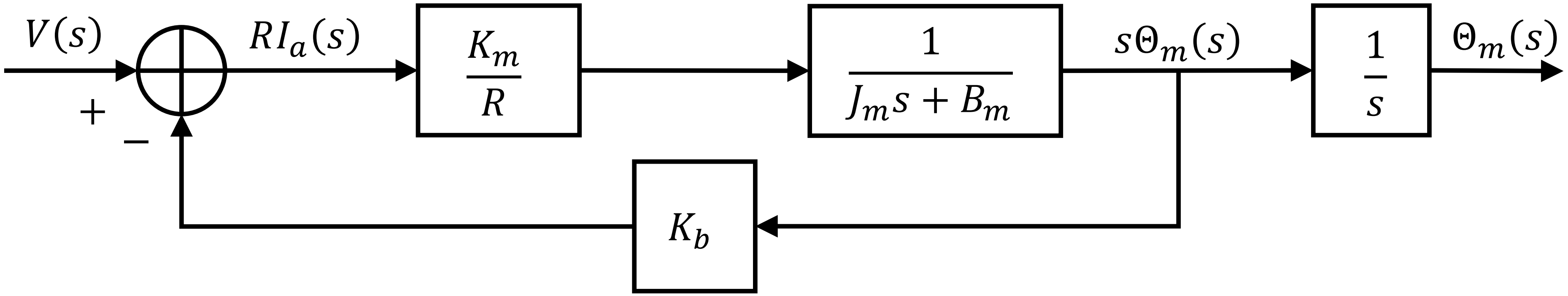
- Usando o conceito de função de transferência, é possível representar a dinâmica do sistema pelas equações algébricas em "s".
- **A aplicabilidade do conceito da função de transferência é limitada aos sistemas de equações diferenciais lineares invariantes no tempo.**

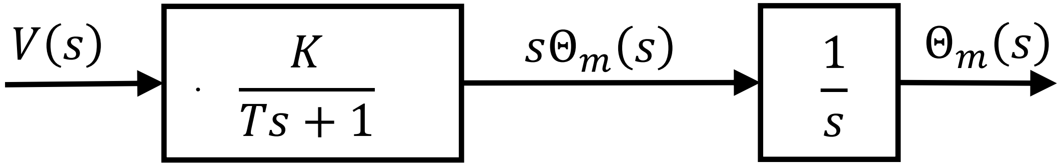
Dinâmica do Atuador



$$\left(J_m.s + B_m + \frac{K_m.K_b}{R}\right).s.\Theta_m(s) = \frac{K_m}{R}.V(s)$$

- Na forma de diagrama de blocos:





Com K sendo o ganho do processo e T a sua constante de tempo

O equacionamento físico do problema (análise fenômenológica):

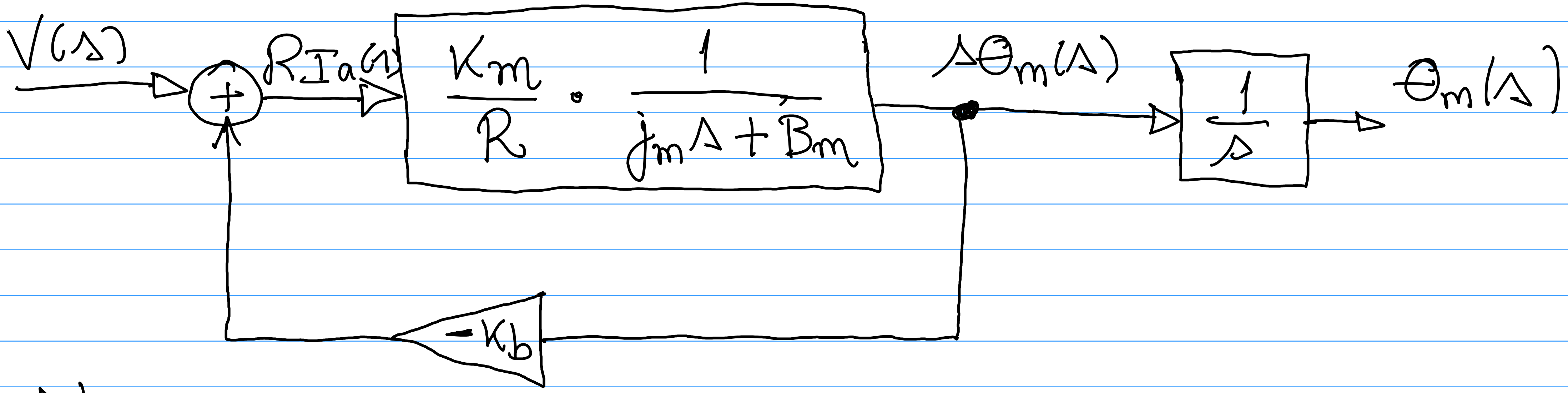
$$\left(J_m s + B_m + \frac{K_m K_b}{R}\right) s\,\Theta_m(s) = \frac{K_m}{R} V(s)$$

$$(s J_m + B_m) s\,\Theta_m(s) + \frac{K_m K_b}{R} s\,\Theta_m(s) = \frac{K_m}{R} V(s)$$

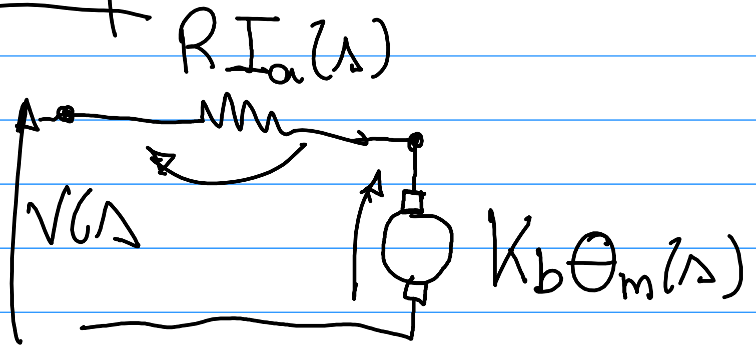
$$(s J_m + B_m) s\,\Theta_m(s) = \frac{K_m}{R}\left[V(s) - K_b\, s\,\Theta_m(s)\right]$$

$$s\,\Theta_m(s) = \frac{K_m}{R} \cdot \frac{1}{J_m s + B_m}\left[V(s) - K_b\, s\,\Theta_m(s)\right]$$

Esse equacionamento pode ser descrito pelo seguinte diagrama de blocos:



Note que:



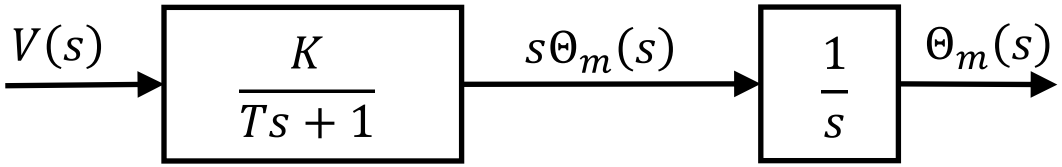
2º Lei de Kirchhof

$$V(s) = RI_a(s) + K_b\,s\theta_m(s)$$

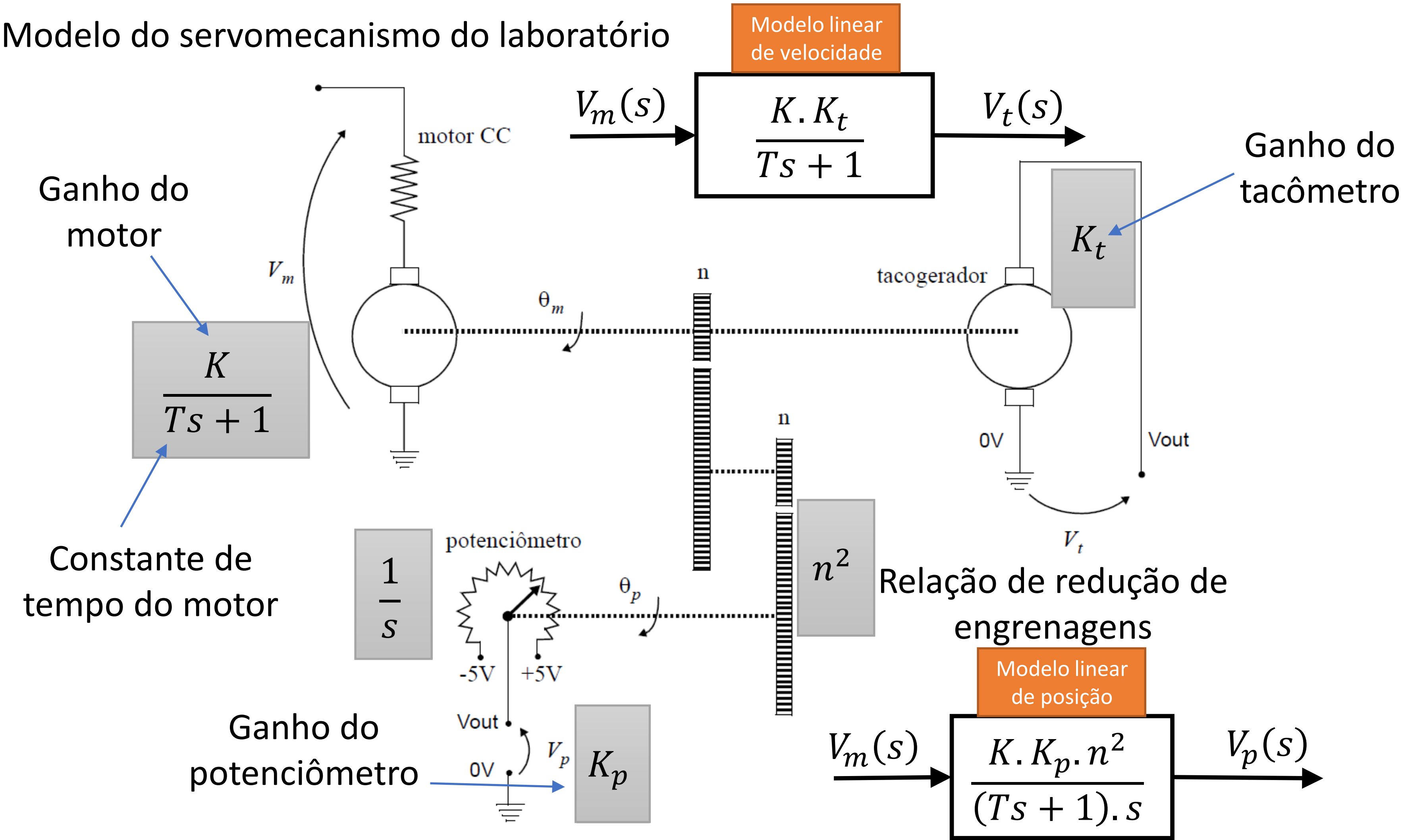
$$RI_a(s) = V(s) - K_b\,s\theta_m(s)$$

Modelo do servomecanismo

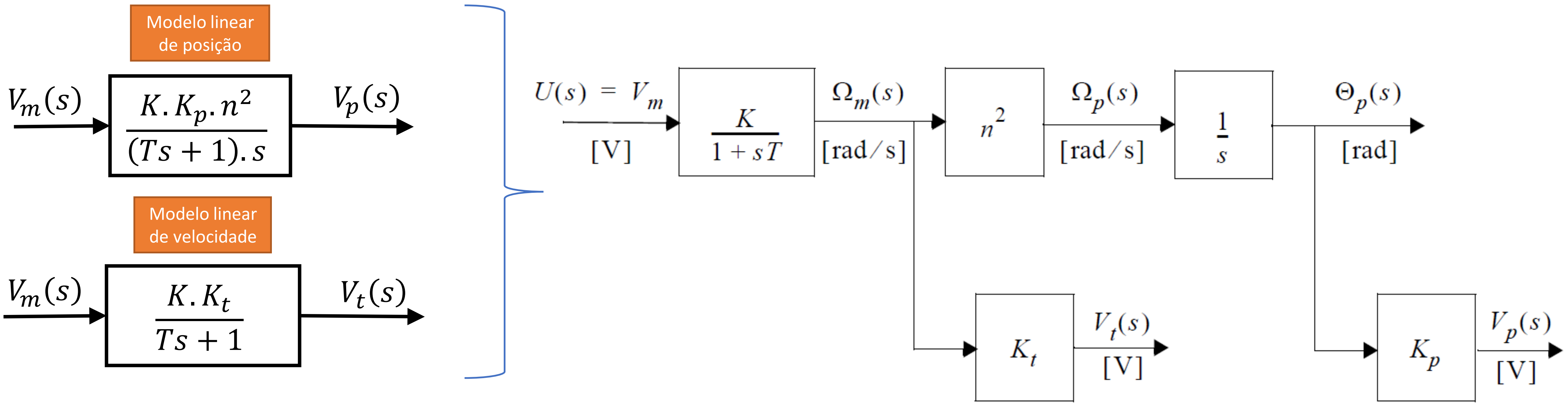
Modelo de um motor CC



Modelo do servomecanismo do laboratório



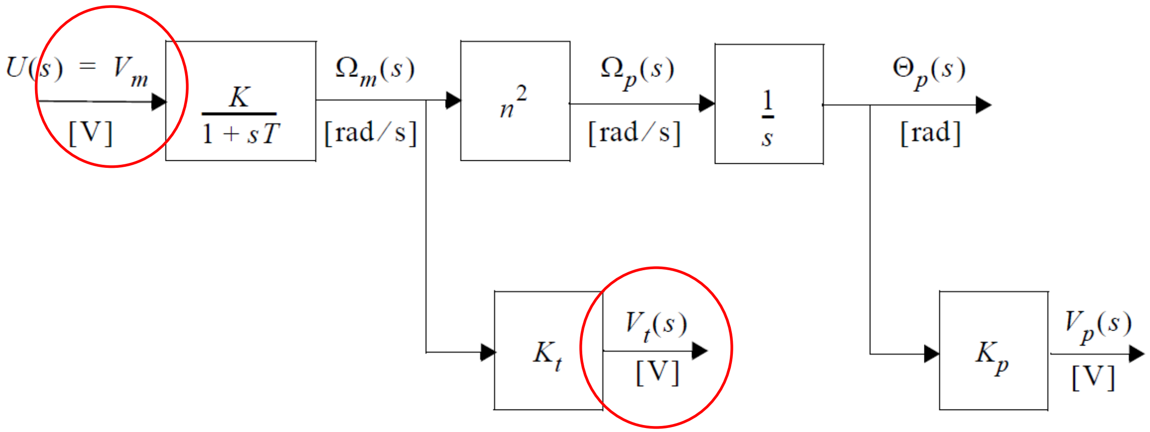
Modelo do servomecanismo

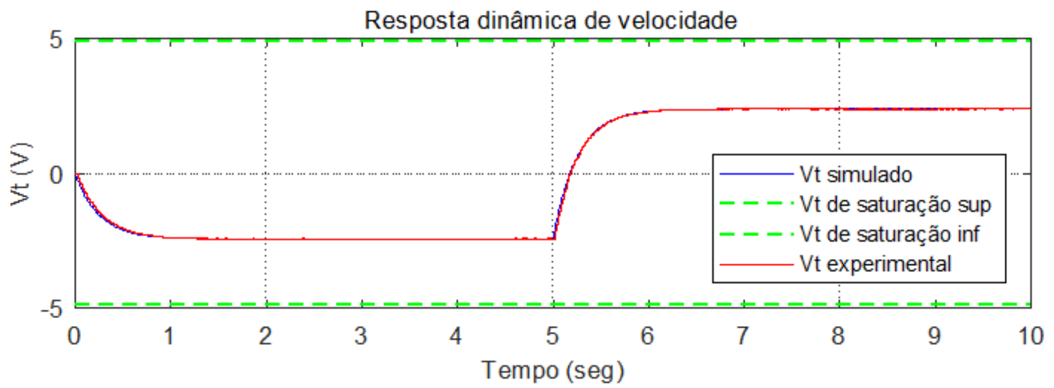


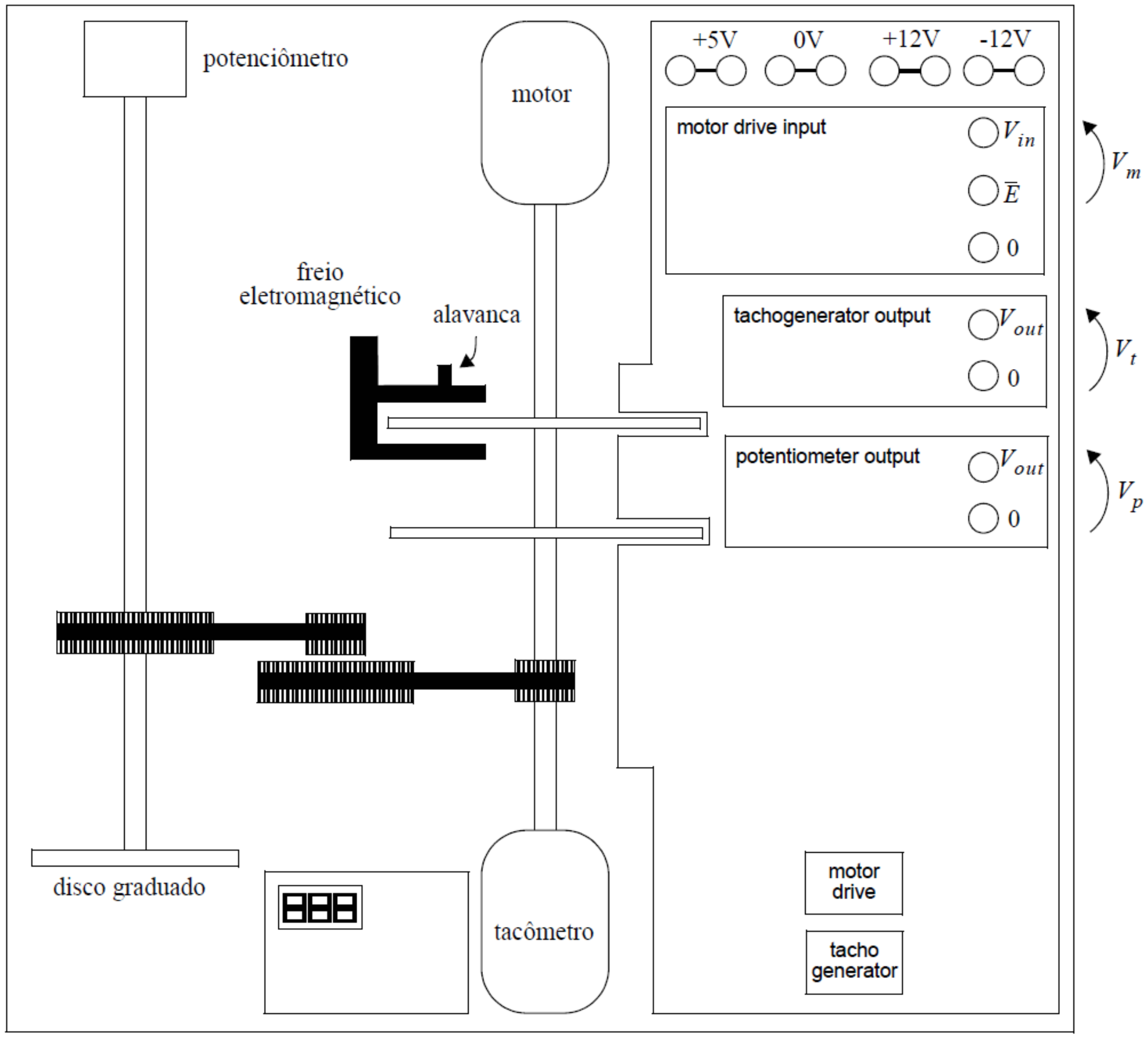
Objetivo das atividades: Determinar os valores de K, K_p, K_t e T a partir dos dados experimentais.

Atividades em sala

a) Levante a curva característica V_t (tensão no tacômetro) contra V_m (tensão de armadura). Obtenha a partir desta curva e da do próximo item o valor de K (em $(rad/s)/V$).



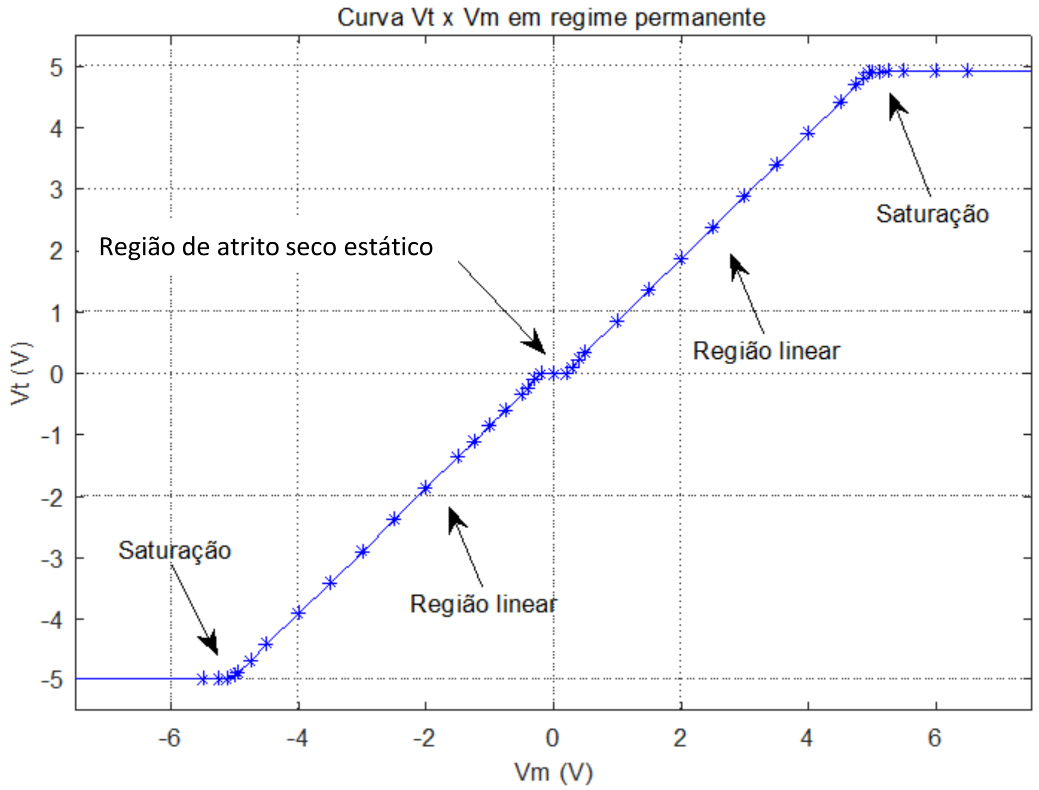


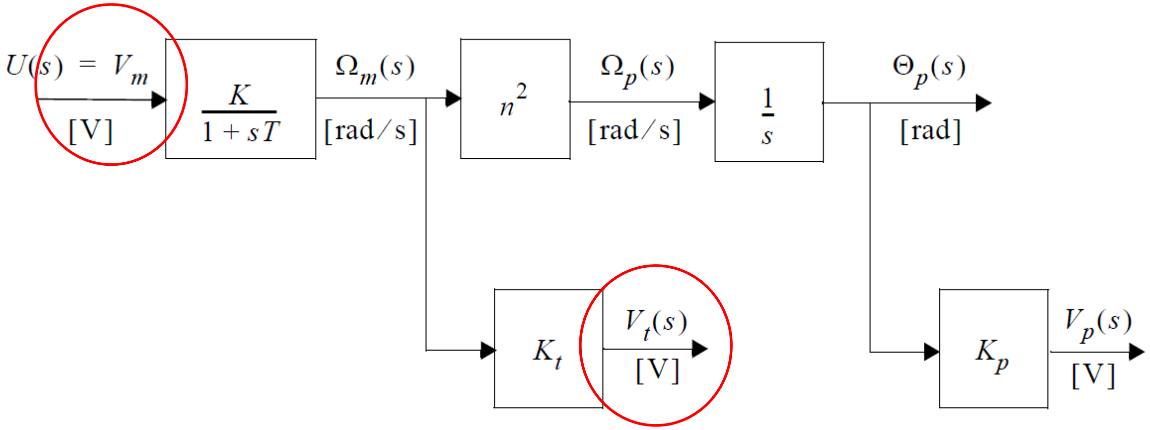


Atividades em sala

a) Levante a curva característica V_t (tensão no tacômetro) contra V_m (tensão de armadura). Obtenha a partir desta curva e da do próximo item o valor de K (em $(rad/s)/V$).

Devido ao comportamento não linear do sistema, há o aparecimento nessa curva de zonas de atrito e saturação. Identifique-as claramente.





Atividades em sala

b) Utilizando o mostrador digital do painel do servomecanismo e a medida da tensão do tacômetro, levante a curva característica V_t (tensão no tacômetro) contra ω_m (velocidade angular no eixo do motor). Obtenha a partir desta curva o valor de K_t (em $V/(rad/s)$).

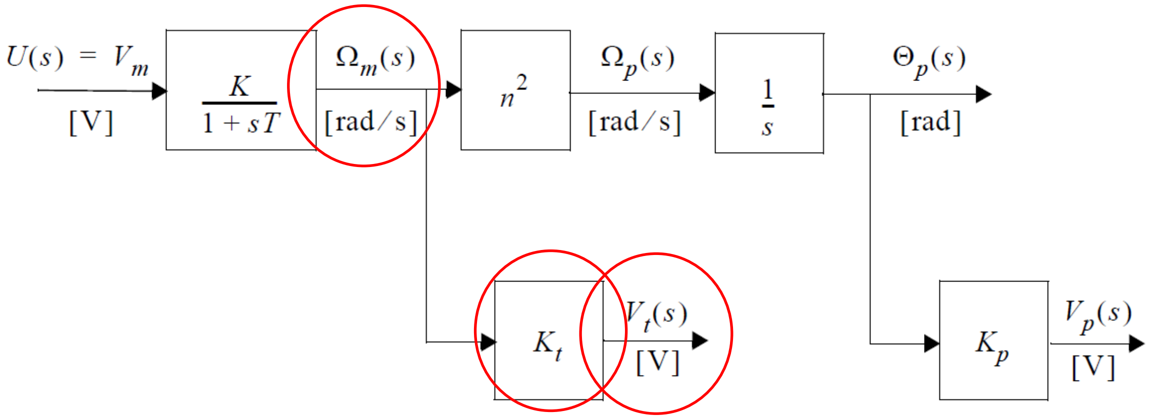
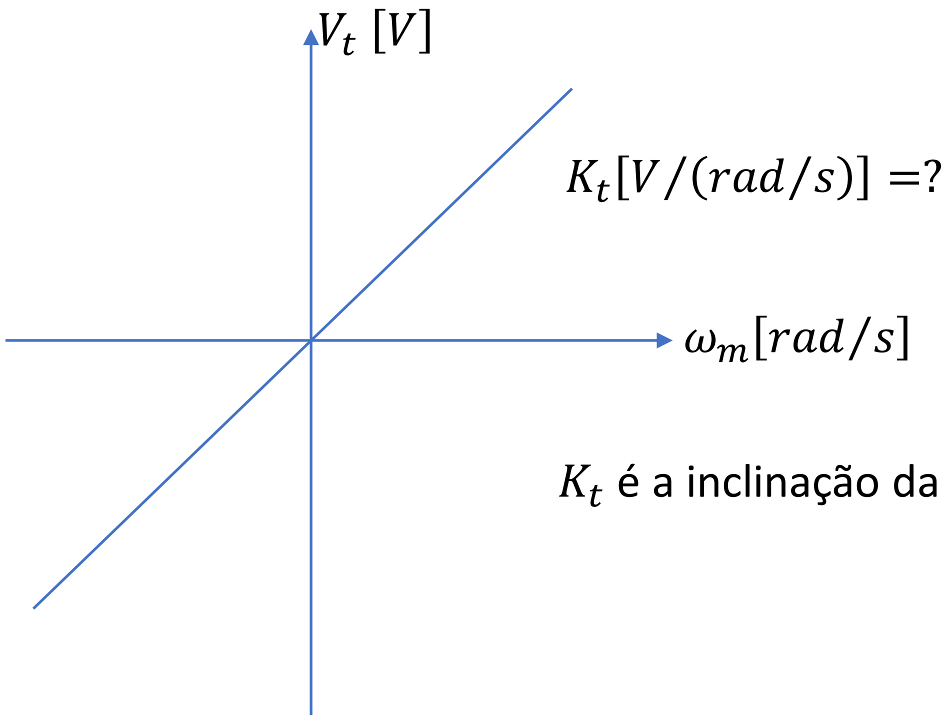


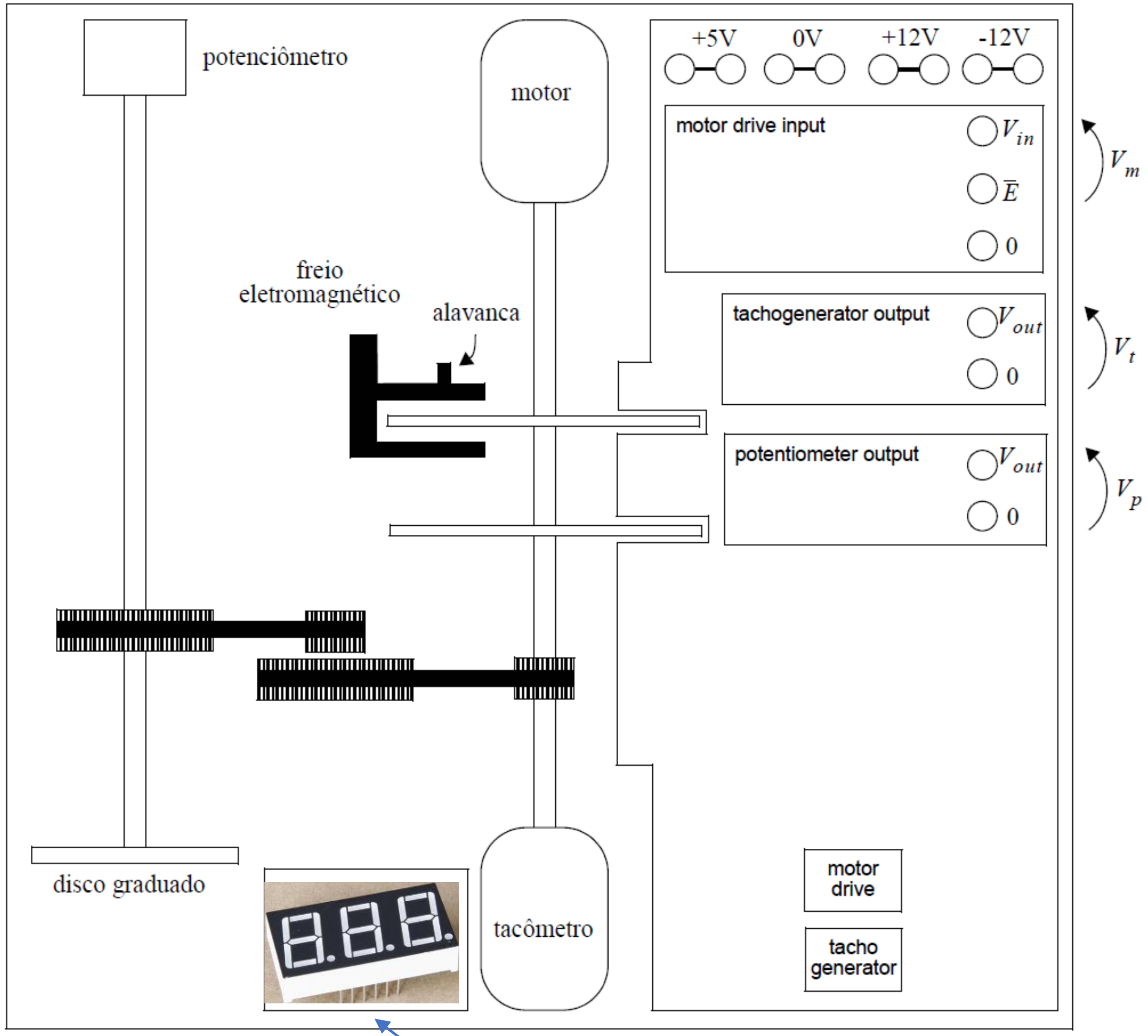
Gráfico V_t x ω_m

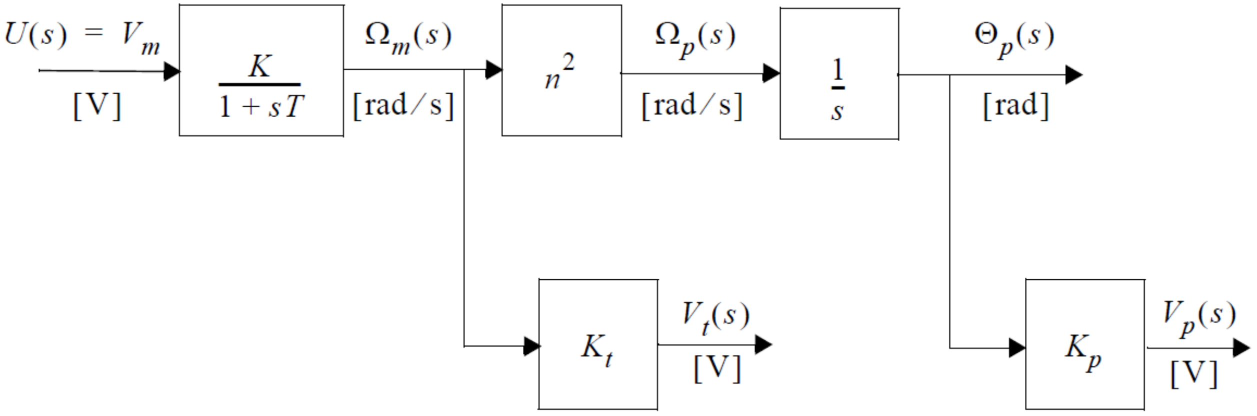


$K_t[V/(rad/s)] = ?$

K_t é a inclinação da reta

Relação entre ω_p e ω_m





$$K_t = ?\ [V/(rad/s)]$$

$$\omega_p\ medido\ em\ [rpm] \Rightarrow \omega_p[rad/s]$$

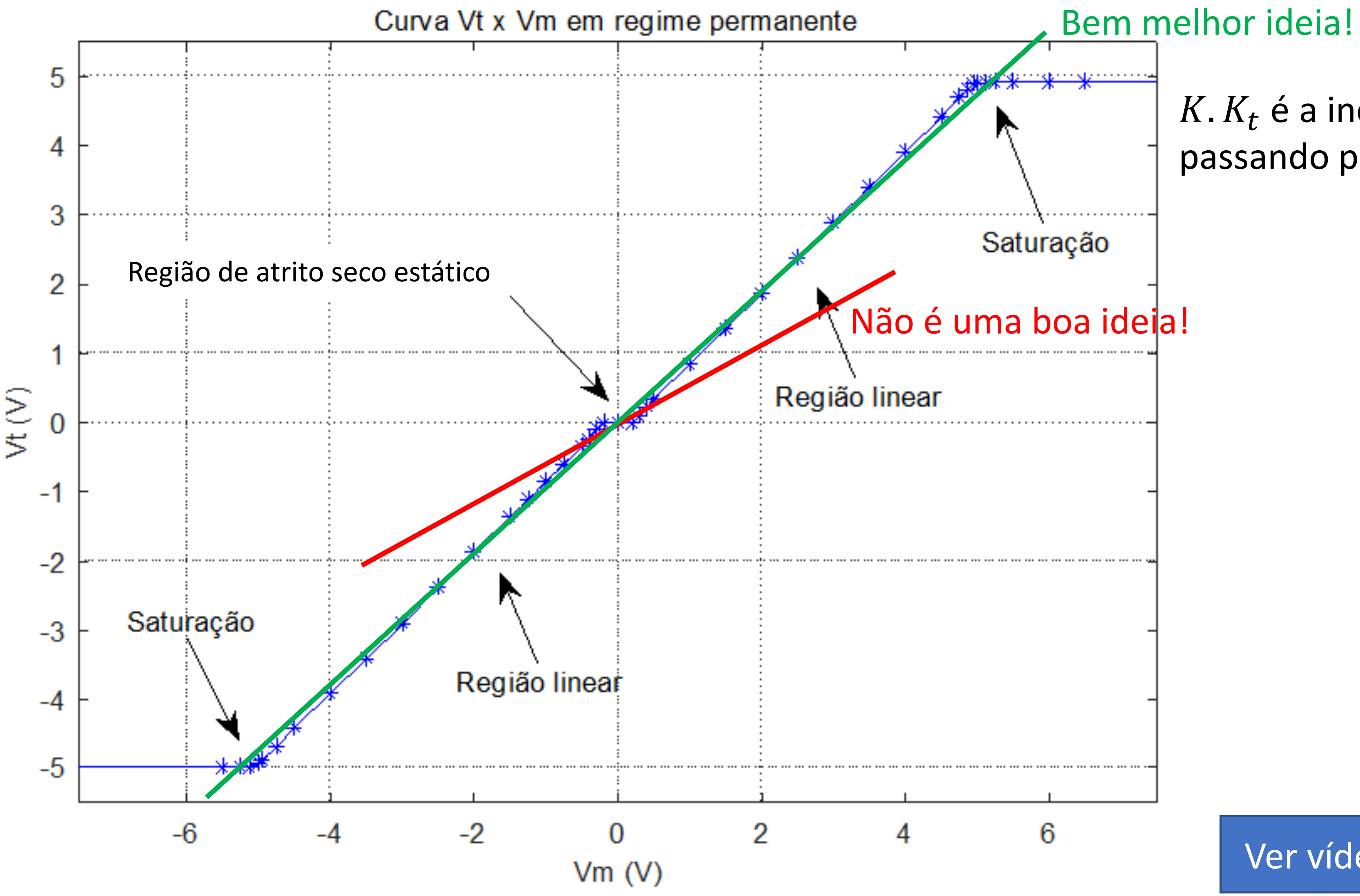
$$\omega_p = n^2\omega_m \Leftrightarrow \omega_m = \frac{\omega_p}{n^2}\ [rad/s]$$

$$V_t = K_t\omega_m \Leftrightarrow K_t = \frac{V_t}{\omega_m}[V/(rad/s)]$$

Atenção: Embora K_t se refira ao eixo do motor, o display de velocidade angular [rpm] do servomecanismo se refere ao eixo do potenciômetro, devendo assim ser corrigido do valor de redução de engrenagens!

Atividades em sala

- Voltando ao item a), podemos determinar, enfim, o valor de K

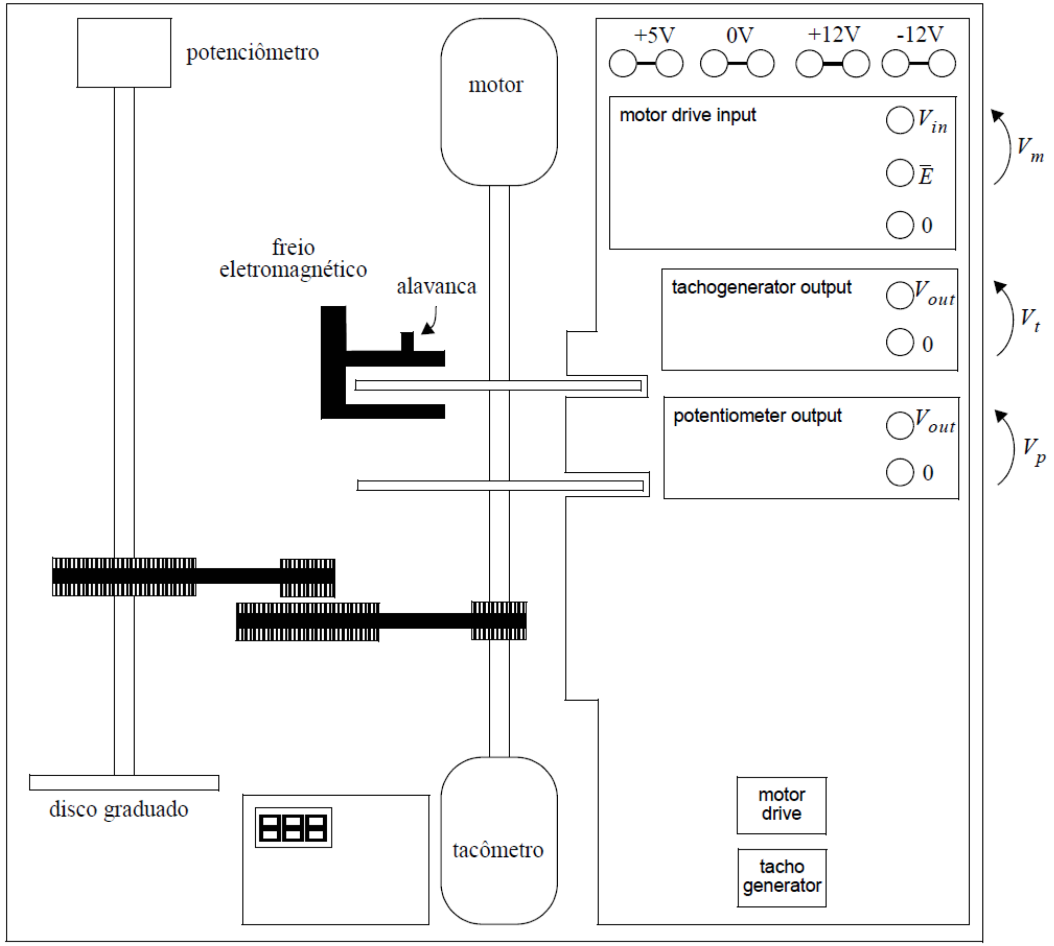


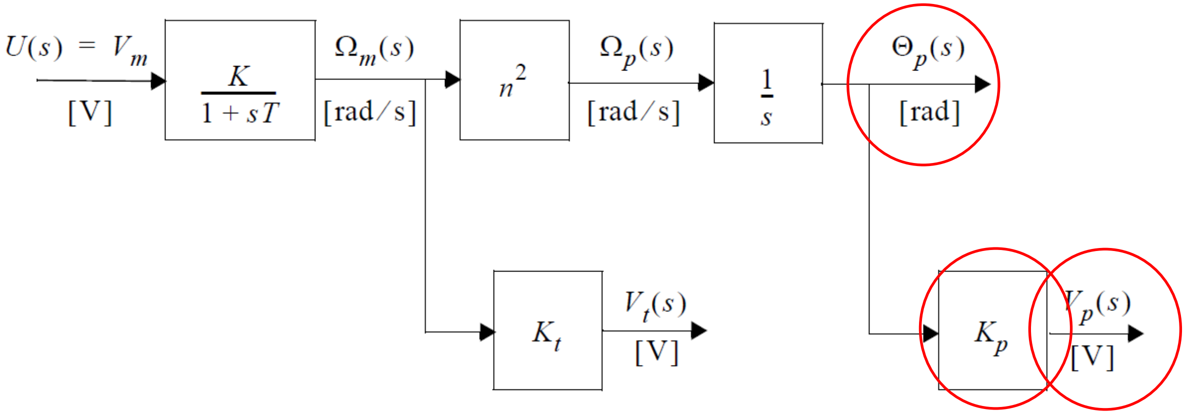
$K.K_t$ é a inclinação da reta passando pela origem!

Ver vídeo de coleta de dados

Atividades em sala

c) Com o motor desacoplado (isto é, com o terminal V_{in} desconectado ou alimentado com 0 V), gire manualmente o eixo do motor e determine a característica a V/rad, isto é, a constante K_p .





Atividades em sala

c) Com o motor desacoplado (isto é, com o terminal V_{in} desconectado ou alimentado com 0 V), gire manualmente o eixo do motor e determine a característica a V/rad, isto é, a constante K_p .

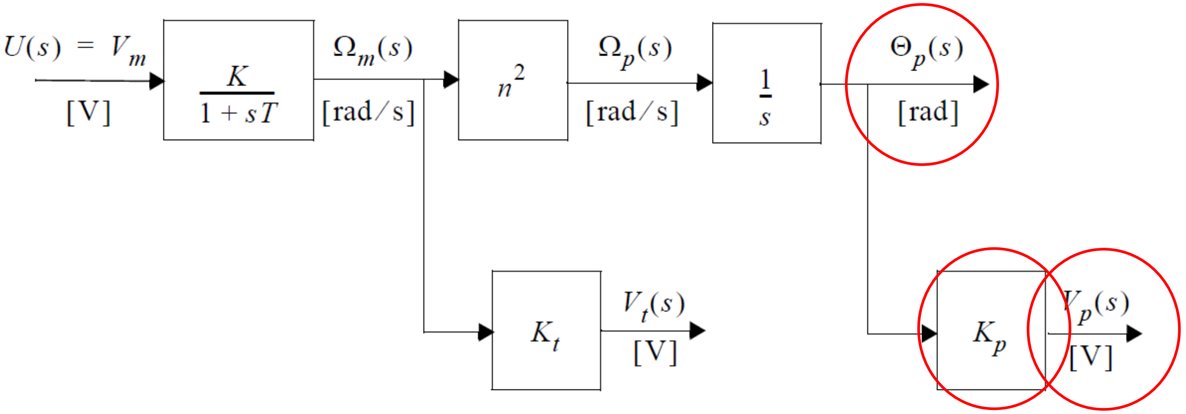
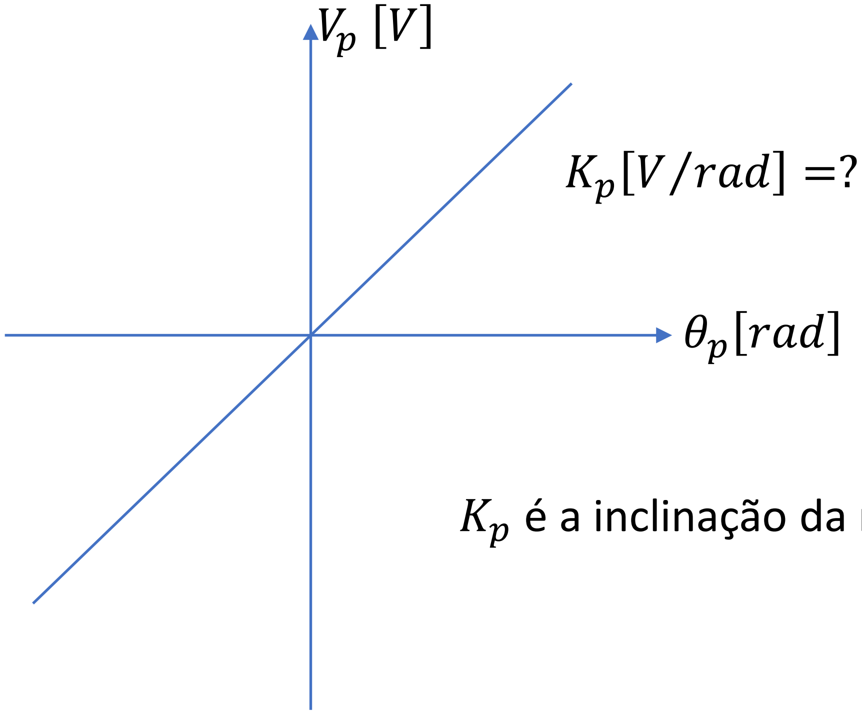


Gráfico V_p x θ_p



$K_p[V/rad] = ?$

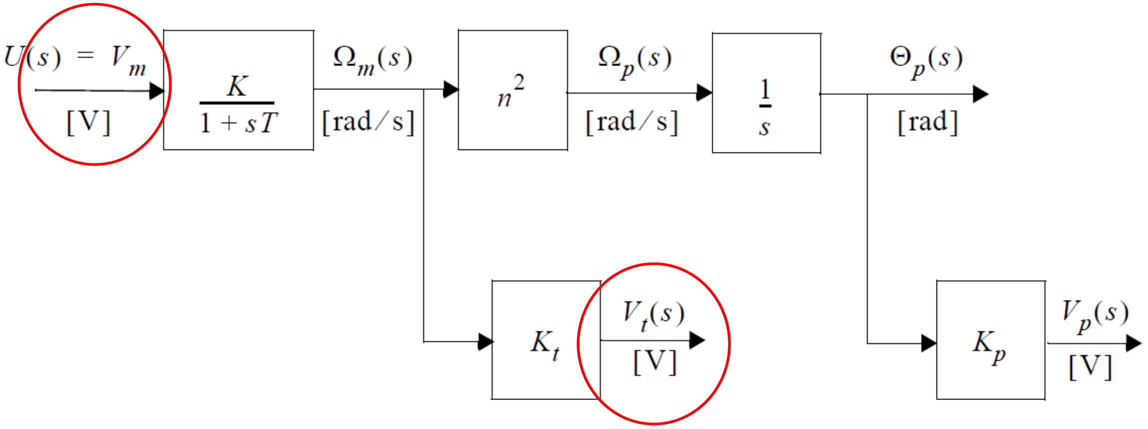
K_p é a inclinação da reta

DICA: Há um método alternativo para realizar este item. Veja o Apêndice B.

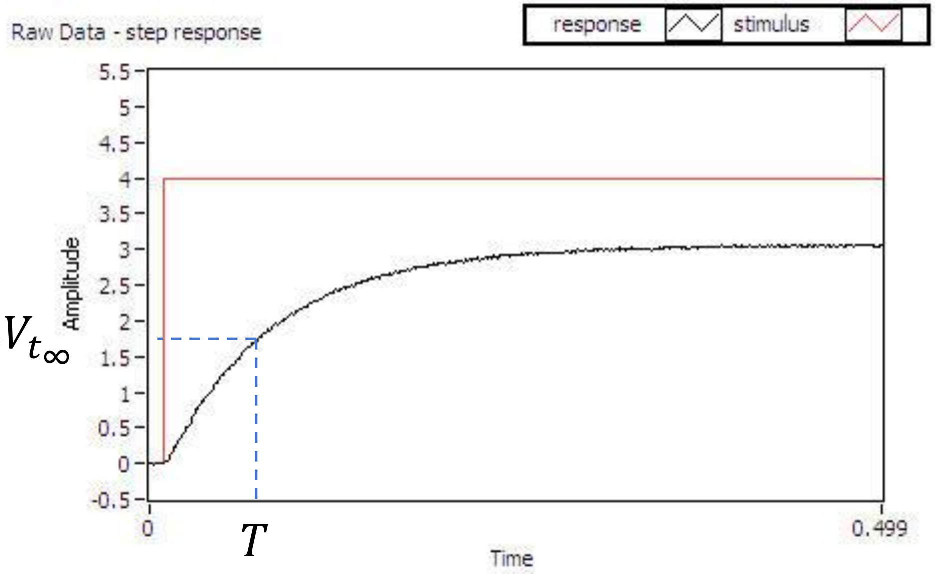
Ver vídeo de coleta de dados do item.

Atividades em sala

d) Aplicando um degrau ao sistema, obtenha a função de transferência $\frac{V_t(s)}{V_m(s)}$, isto é, determine os valores de K e T. Utilize o osciloscópio para coletar a curva. DICA: Veja o Apêndice A.



63%$V_{t\infty}$



T

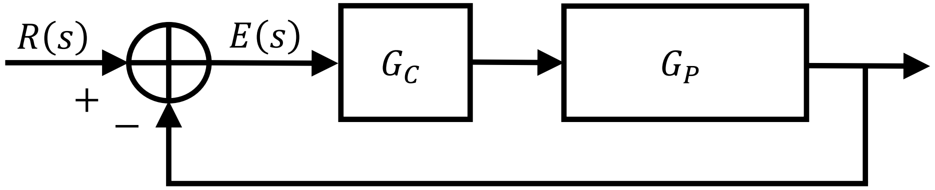
$$G_{t/u}(s) = \frac{V_t(s)}{V_m(s)} = \frac{K.K_t}{1 + sT}$$

$$K.K_t = \frac{V_{t\infty}}{V_{m\infty}}$$

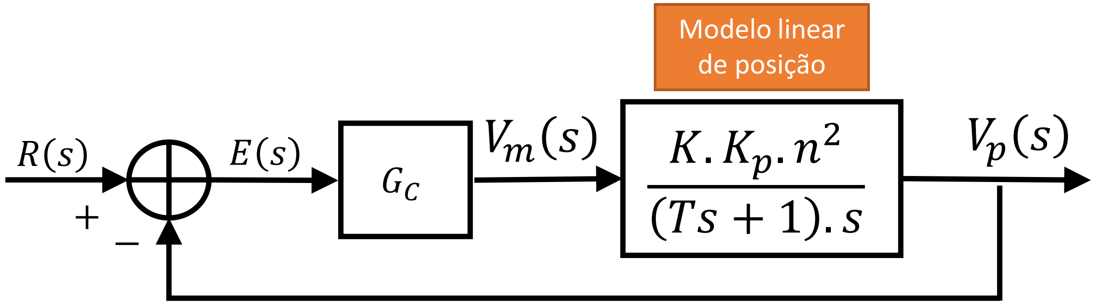
$$K = \frac{V_{t\infty}}{K_t.V_{m\infty}}$$

Retomando o slide de motivação

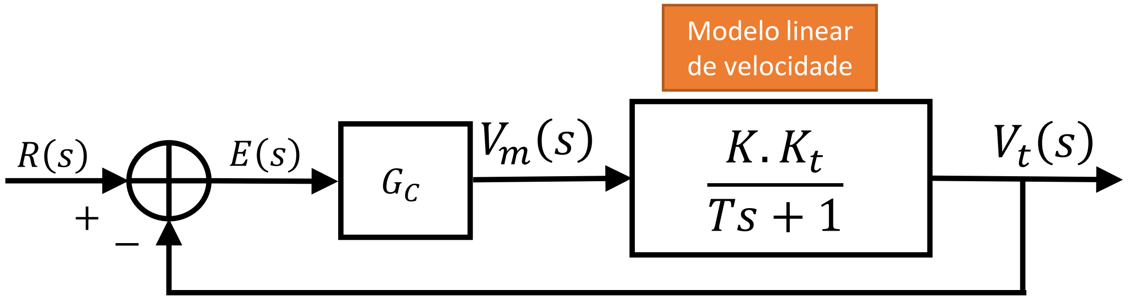
Malha de controle



Malha de controle de posição



Malha de controle de velocidade



PROFESSORES DE LAB. DE CONTROLE

Diego Colón	diego@lac.usp.br
Fabio Fialho	fabio.fialho@usp.br
Felipe Pait	pait@lac.usp.br
Fuad Kassab Junior	fuad@lac.usp.br
Ricardo Marques	rpm@lac.usp.br

FIM DA APRESENTAÇÃO