

## Aula 7 - Laboratório de Controle - 2022/1

### Métodos de sintonia dos ganhos do controlador PID

Nome: Rasley de Paula Forde

Antes de fazer esta aula, é muito importante ler o documento [sintonia\\_pid.pdf](#).

```
I=9 ;  
turma=1 ;  
g=init(turma,I)
```

g =

$$\frac{2.108e05}{s^4 + 88 s^3 + 2904 s^2 + 42592 s + 234256}$$

Continuous-time transfer function.

g =

$$\frac{2.108e05}{s^4 + 88 s^3 + 2904 s^2 + 42592 s + 234256}$$

Continuous-time transfer function.

```
datetime('now')
```

```
ans = datetime  
15-Jun-2022 08:59:44
```

```
pwd
```

```
ans = 'C:\Users\LECO\Desktop\LabControle\Aula 6'
```

### Atividade 1 - Obtenção de modelos de ordem 1 e sintonia de controladores

Nesta atividade, execute o app aula7.mlapp para fazer a sintonia de um controlador P, PI ou PID via método de Ziegler-Nichols.

**Assista o video Aula7.mp4 sobre como usar este app.**

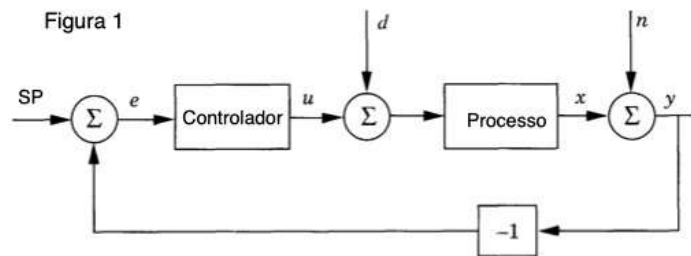
A Tabela 1 mostra como são calculados os ganhos dos controladores P, PI ou PID usando o método de Ziegler-Nichols

usando um modelo de primeira ordem definido por  $G(s) = \frac{K e^{-\theta}}{\tau s + 1}$ , aproximado de uma FT de maior ordem.

Lembrando:  $K_i = 1/T_i$  e  $K_d = T_d$ ,

Tabela 1. Sintonia via segundo método de Ziegler Nichols			
Controlador	$K_P$	$T_I$	$T_D$
P	$\frac{\tau}{K\theta}$	-	-
PI	$\frac{0.9\tau}{K\theta}$	$3.33\theta$	
PID	$\frac{1.2\tau}{K\theta}$	$2\theta$	$0.5\theta$

As simulações são feitas como mostrado na figura 1, para uma entrada degrau SP e para um distúrbio em degrau em d.



Mostre o resultado da sintonia ao professor que o avaliará.

O modelo de ordem 1 obtido será usado nas demais atividades.

## Atividade 2 - Avaliação dos métodos de sintonia: controladores PI e PID

Da atividade 1, escolha os parâmetros do modelo  $g_1$  que será usado daqui para diante. Os 4 métodos de sintonia apresentados em `sintonia_pid` serão avaliados aqui.

Controladores PI e PID serão sintonizados e devem ter seu desempenho comparado.

### Sintonia do controlador PI

```

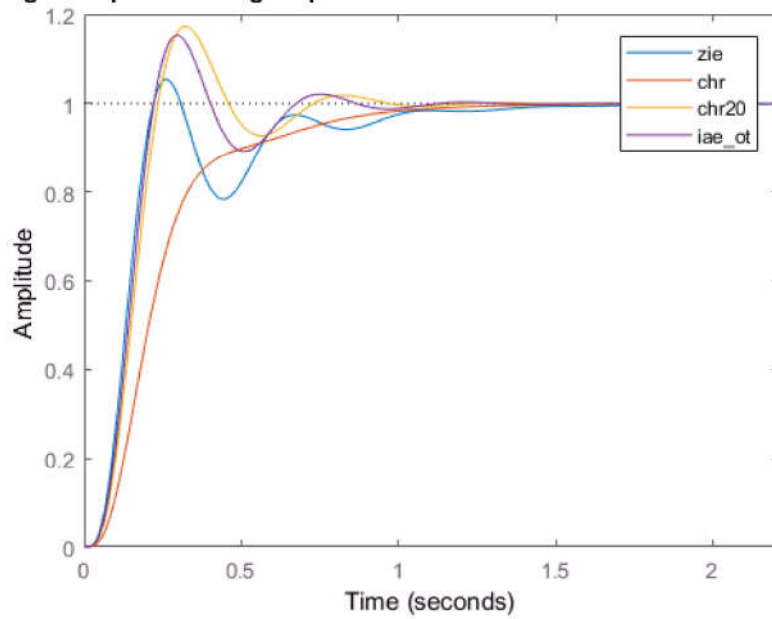
K=0.9; % Estes valores (K,tau,teta) vem da atividade 1
tau=0.12;
teta=0.08;
g1=tf(K,[tau 1],'InputDelay', teta);
c1=sintonia(g1,'PI', 'zie');
c2=sintonia(g1,'PI', 'chr');
c3=sintonia(g1,'PI', 'chr20');
c4=sintonia(g1,'PI', 'iae_ot');

m1=feedback(c1*g,1);
m2=feedback(c2*g,1);
m3=feedback(c3*g,1);
m4=feedback(c4*g,1);

m1d=feedback(g,c1);
m2d=feedback(g,c2);
m3d=feedback(g,c3);
m4d=feedback(g,c4);

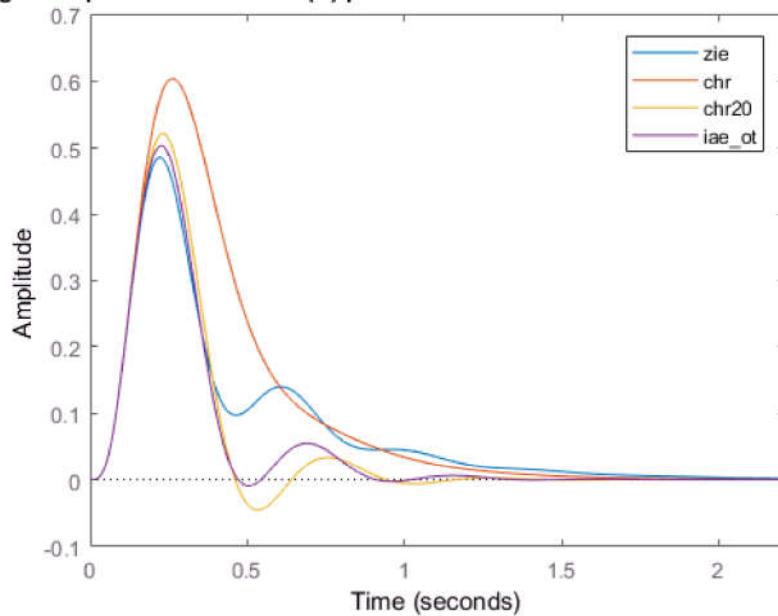
[y,t]=step(m1d);
figure
Tempo=max(t); % Escolher valor que mostre a resposta transitoria e em regime
t=linspace(0,Tempo,500);
step(m1,m2,m3,m4,Tempo);title('Fig2. Resposta ao degrau para os 4 métodos de sintonia e controlador PI');
legend('zie','chr','chr20','iae_ot')
  
```

**Fig2. Resposta ao degrau para os 4 métodos de sintonia e controlador PI**



```
figure
step(m1d,m2d,m3d,m4d,Tempo);title('Fig3. Resposta ao distúrbio (d) para os 4 métodos de sintonia e controlador PI');
legend('zie','chr','chr20','iae_ot')
```

**Fig3. Resposta ao distúrbio (d) para os 4 métodos de sintonia e controlador**



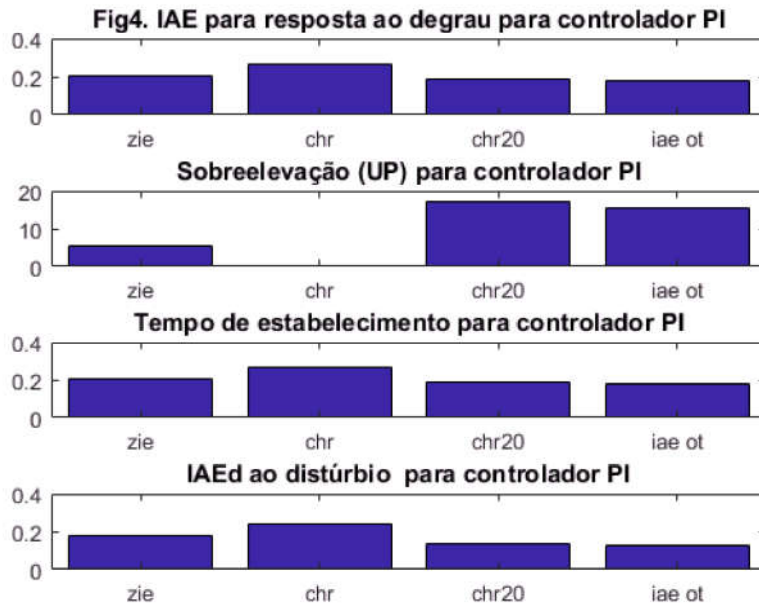
```
[iae_pi(1), UP_pi(1), ts_pi(1), iaed_pi(1)]=iaeupts(c1,g,t);
[iae_pi(2), UP_pi(2), ts_pi(2), iaed_pi(2)]=iaeupts(c2,g,t);
[iae_pi(3), UP_pi(3), ts_pi(3), iaed_pi(3)]=iaeupts(c3,g,t);
[iae_pi(4), UP_pi(4), ts_pi(4), iaed_pi(4)]=iaeupts(c4,g,t);

figure;
subplot(4,1,1);
bar(iae_pi);title('Fig4. IAE para resposta ao degrau para controlador PI');
set(gca,'xticklabel',{'zie','chr','chr20','iae ot'});
subplot(4,1,2);
```

```

bar(UP_pi);title('Sobreelevação (UP) para controlador PI');
set(gca,'xticklabel',{'zie','chr','chr20','iae ot'});
subplot(4,1,3);
bar(iae_pi);title('Tempo de estabelecimento para controlador PI');
set(gca,'xticklabel',{'zie','chr','chr20','iae ot'});
subplot(4,1,4);
bar(iaed_pi);title('IAEd ao distúrbio para controlador PI');
set(gca,'xticklabel',{'zie','chr','chr20','iae ot'});

```



```
%tt1=toc;
```

2.1 Que método dá o melhor controlador PI para os critérios IAE e UP?

O melhor método pelo critério IAE é o método IAE ótimo, pois possuem o menor valor de 0.179. Utilizando como critério a sobrelevação, o melhor método é o de CHR, com 0% de sobrelevação.

2.2 Verifique se o controlador PI que dá melhor rejeição ao distúrbio (menor IAEd) também dá menor IAE (resposta ao degrau). Compare e justifique, usando as figuras 2 e 3.

O método de IAE ótimo possui a melhor rejeição ao distúrbio, com um IAEd de 0.1262. Este é o mesmo método com menor IAE, como dito anteriormente na questão 2.1. Isto pode ser verificado através das figuras 2 e 3 observando que ele possui um dos maiores tempos de subida e tempo de estabelecimento, com sobrelevação menor que o método CHR. Análise a resposta ao distúrbio, este método possui baixo distúrbio máximo e um baixo tempo de estabilização.

2.3 Dos 4 controladores (c1,c2,c3,c4), qual tem maior ganho Kp? Verifique que efeito isto teve sobre IAE, UP, ts, IAEd

O controlador com maior Kp, é o controlador que utiliza o método Ziegler-Nichols, o c1. Este possui um ganho Kp de 2. Um maior ganho Kp resulta em menor tempo de subida, mas não afeta tanto o tempo de estabelecimento. Isto também reduz o IAE e o IAEd. Porém, ocorre um aumento da sobrelevação. Entre os quatro métodos ele possui ts e IAE, IAEd menores que o método CHR, enquanto possui uma sobrelevação inferior aos métodos CHR20 e IAE ot.

## Sintonia do controlador PID

```

c1=sintonia(g1,'PID', 'zie');
c2=sintonia(g1,'PID', 'chr');
c3=sintonia(g1,'PID', 'chr20');
c4=sintonia(g1,'PID', 'iae_ot');

m1=feedback(c1*g,1);
m2=feedback(c2*g,1);
m3=feedback(c3*g,1);

```

```

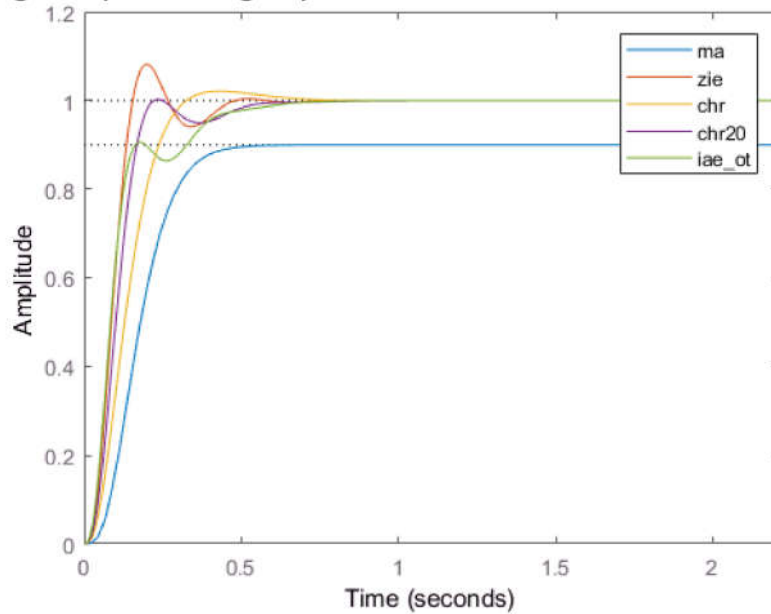
m4=feedback(c4*g,1);

m1d=feedback(g,c1);
m2d=feedback(g,c2);
m3d=feedback(g,c3);
m4d=feedback(g,c4);

figure
step(g,m1,m2,m3,m4,Tempo);title('Fig5. Resposta ao degrau para os 4 métodos de sintonia e controlador PID');
legend('ma','zie','chr','chr20','iae_ot')

```

**Fig5. Resposta ao degrau para os 4 métodos de sintonia e controlador PID**

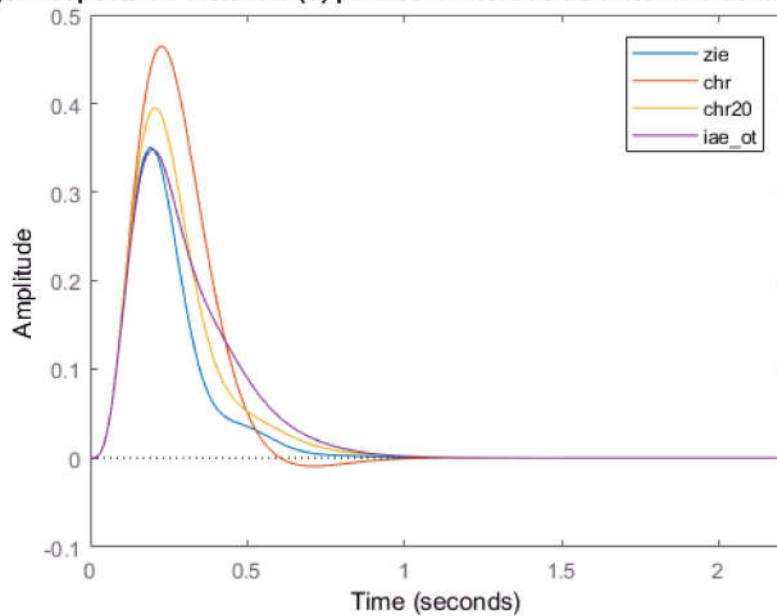


```

figure
step(m1d,m2d,m3d,m4d,Tempo);title('Fig6. Resposta ao distúrbio (d) para os 4 métodos de sintonia e controlador PID');
legend('zie','chr','chr20','iae_ot')

```

**Fig6. Resposta ao distúrbio (d) para os 4 métodos de sintonia e controlador F**

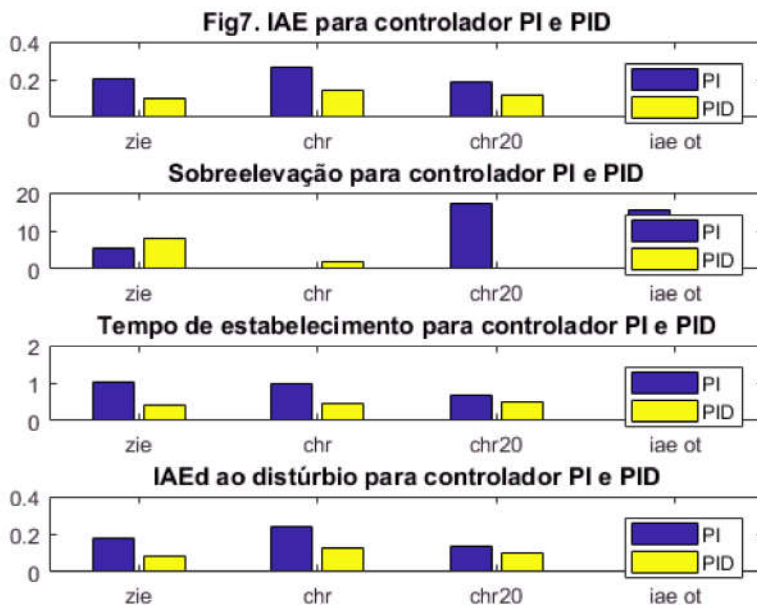


```

[iae_pid(1), UP_pid(1), ts_pid(1), iaed_pid(1)]=iaeupts(c1,g,t);
[iae_pid(2), UP_pid(2), ts_pid(2), iaed_pid(2)]=iaeupts(c2,g,t);
[iae_pid(3), UP_pid(3), ts_pid(3), iaed_pid(3)]=iaeupts(c3,g,t);
[iae_pid(4), UP_pid(4), ts_pid(4), iaed_pid(4)]=iaeupts(c4,g,t);

figure;
subplot(4,1,1);
bar([iae_pi;iae_pid]);title('Fig7. IAE para controlador PI e PID');
legend('PI','PID');
set(gca,'xticklabel',{'zie','chr','chr20','iae ot'});
subplot(4,1,2);
bar([UP_pi;UP_pid]);title('Sobreelevação para controlador PI e PID');
set(gca,'xticklabel',{'zie','chr','chr20','iae ot'});legend('PI','PID');
subplot(4,1,3);
bar([ts_pi;ts_pid]);title('Tempo de estabelecimento para controlador PI e PID');
set(gca,'xticklabel',{'zie','chr','chr20','iae ot'});legend('PI','PID');
subplot(4,1,4);
bar([iaed_pi;iaed_pid]);title('IAEd ao distúrbio para controlador PI e PID');
set(gca,'xticklabel',{'zie','chr','chr20','iae ot'});legend('PI','PID');

```



2.4 Compare os valores de IAE obtidos pelos controladores PI e PID, e use os valores de Up para explicar as diferenças.

No caso dos quatro métodos utilizados os valores de IAE para os controladores PID são inferiores aos valores obtidos pelos controladores PI. Isto deve-se devido ao menor tempo de estabelecimento que todos os métodos obtêm ao utilizar controlador PID, este parâmetro é o que mais influencia no valor de IAE, logo mesmo que para o caso de Ziegler-Nichols e CHR ocorra maior sobreelevação, os valores de IAE continuam menores.

2.5 Compare o desempenho dos controladores PI e PID (Fig.7) em termos dos valores de IAE para os 4 métodos, usando as figuras de resposta ao degrau para justificar

O valor de IAE é calculado a partir da área entre a entrada degrau e a resposta do sistema. Pode-se observar que para todos os métodos os gráficos possuem um tempo de subida e estabelecimento muito inferior, e também uma sobreelevação muito menor. Devido a isso, a área entre os gráficos de PID e um degrau são muito menores que a área entre as respostas PI e um degrau. Isto foi observado através da comparação das figuras 2 e 5.

2.6 Usando as figuras mostradas, como escolher o controlador (PI ou PID) e o método (um dos 4) para a melhor resposta ao degrau e ao mesmo tempo melhor rejeição ao distúrbio? (faça uma nova figura, se isto ajudar)

Uma maneira de escolher o melhor controlador é comparando o IAE e IAEd e fazendo a escolha do controlador com os menores valores. Para todos métodos, os controladores PID possuem menor IAE e IAEd, e entre os quatro métodos o controlador PID pelo método Ziegler-Nichols possui os menores IAE e IAEd com os valores de 0.1011 e 0.08 respectivamente.

### Atividade 3 - Avaliação da sintonia lambda com controlador PID

Neste método o parâmetro  $\lambda$  é escolhido de forma a obter os parâmetros do controlador  $C(s)$  para que se tenha em malha fechada

$$M(s) = \frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)} = \frac{1}{\lambda s + 1}$$

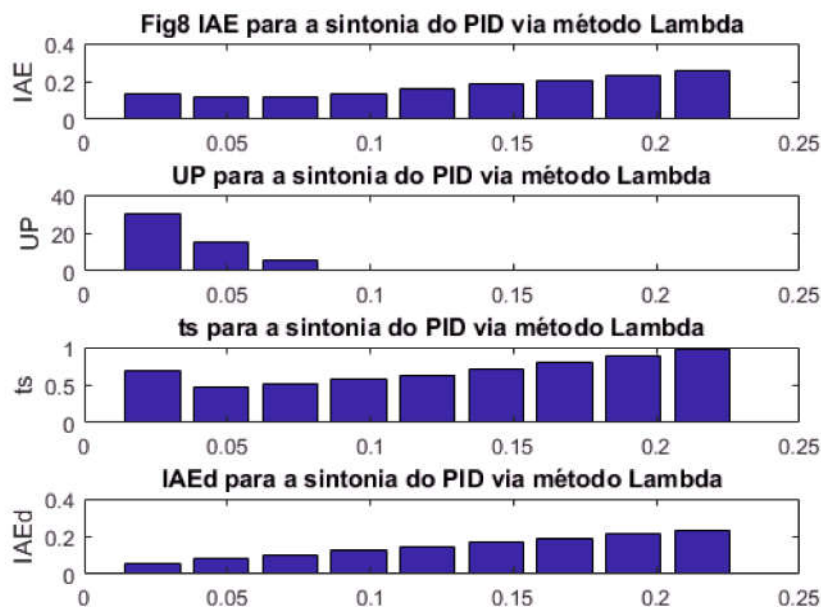
Assim, pode escolher a dinâmica da resposta, reduzindo o tempo de subida e estabelecimento, com o preço de uma maior sobrelevação.

```
tau=g1.Denominator{1}(1);
lambda=tau*[0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4 1.6 1.8]; % Altere se ficar melhor
for i=1:length(lambda)
    c=sintonia(g1,'PID', 'lam',lambda(i));
    m=feedback(c*g,1);
    [iael(i),upl(i), tsl(i), iaedl(i)]=iaeupts(c,g,t);
end

figure
subplot(4,1,1);
bar(lambda,iael);title('Fig8 IAE para a sintonia do PID via método Lambda');
ylabel('IAE');
subplot(4,1,2);
bar(lambda,upl);title('UP para a sintonia do PID via método Lambda');
ylabel('UP');

subplot(4,1,3);
bar(lambda,tsl);title('ts para a sintonia do PID via método Lambda');
ylabel('ts');

subplot(4,1,4);
bar(lambda,iaedl);title('IAEd para a sintonia do PID via método Lambda');
ylabel('IAEd');
```



```
c1=sintonia(g1,'PID', 'lam',lambda(1));
```

```

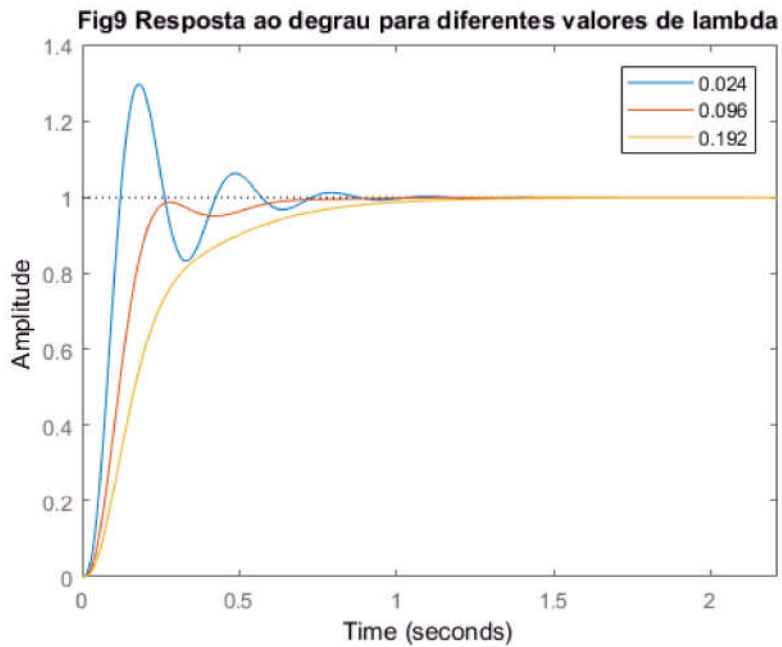
c2=sintonia(g1,'PID', 'lam',lambda(4));
c3=sintonia(g1,'PID', 'lam',lambda(8));

m1=feedback(c1*g,1);
m2=feedback(c2*g,1);
m3=feedback(c3*g,1);

m1d=feedback(g,c1);
m2d=feedback(g,c2);
m3d=feedback(g,c3);

figure
step(m1,m2,m3,Tempo);title('Fig9 Resposta ao degrau para diferentes valores de lambda')
legend(num2str(lambda(1)),num2str(lambda(4)),num2str(lambda(8)))

```

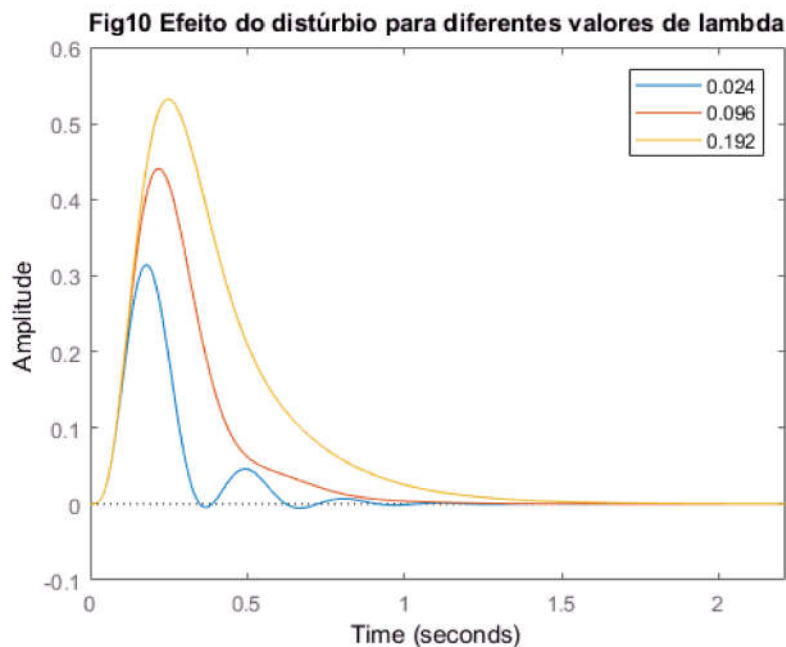


```

figure
step(m1d,m2d,m3d,Tempo);title('Fig10 Efeito do distúrbio para diferentes valores de lambda')
legend(num2str(lambda(1)),num2str(lambda(4)),num2str(lambda(8)))

```





3.1 Qual o efeito do valor de  $\lambda$  em UP e ts? Justifique o comportamento baseado no ganho  $K_p$ , que é dado por  $K_p = \frac{2\tau + \theta}{K(2\lambda + \theta)}$  para PID e  $K_p = \frac{2\tau + \theta}{2K\lambda}$  para PI. (ver Tabela 7 de Sintonia\_PID.pdf)

Pode-se observar que  $K_p$  é inversamente proporcional ao valor de  $\lambda$ , e já sabe-se pela teoria que maiores valores de ganho resultam em maiores valores de sobre-elevação e menores valores de tempo de estabelecimento. A relação dos valores de  $\lambda$  e os valores de sobre-elevação e tempo de estabelecimento para os controladores das figuras 8 e 9 segue esta teoria, onde maiores  $\lambda$  possuem menor sobre-elevação e maiores tempos de estabelecimento.

3.2 Compare o efeito de  $\lambda$  sobre o IAE (resposta ao degrau) e sobre o IAE<sub>d</sub> (resposta ao distúrbio). Como escolher um valor de  $\lambda$  que atenda bem os dois?

Maiores valores de  $\lambda$  resultam em menores valores de  $K_p$ , e por consequência menores valores de tempo de estabelecimento. Menores valores de tempo de estabelecimento resultam em menores IAE e IAE<sub>d</sub>. Porém é importante estar atento que menores valores de  $\lambda$  também resultam em uma maior sobre-elevação, e valores muito grandes de sobre-elevação começam a resultar em maiores valores de IAE. A partir disto, observa-se que para escolher o melhor controlador baseado em IAE e IAE<sub>d</sub>, deve-se escolher valores baixos de  $\lambda$ , porém superiores ao valor que resultem em sobre-elevações muito elevadas. Para o caso do controlador utilizado, escolhe-se  $\lambda = 0.048$ .

3.3 Compare o valor de IAE conseguido com o método IAE<sub>ot</sub> e o menor valor obtido com o método lambda. Justifique as diferenças (lendo pag 27 de Sintonia\_pid.pdf).

Para o controlador PIE utilizando o método IAE<sub>ot</sub> obteve-se um IAE de 0.1189, enquanto para o controlador PID utilizando método lambda foi obtido IAE de 0.1183 como menor valor. Isto ocorre pois o método lambda possui um parâmetro que pode ser arbitrado, enquanto o método do IAE<sub>ot</sub> possui valores fixos, desta forma é possível alterar o valor de  $\lambda$  até que se encontre um valor de IAE que se aproxime do valor obtido através do método IAE<sub>ot</sub>