

Aula 6 - Laboratório de Controle - 2022/1

Métodos de sintonia dos ganhos do controlador PID

Nome: Igor Batista Vieira e João Victor Marçal

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

```
I=2 ;  
turma=4 ;  
g=init(turma,I)
```

g =

$$\frac{1.866e04}{s^4 + 48 s^3 + 864 s^2 + 6912 s + 20736}$$

Continuous-time transfer function.

g =

$$\frac{1.866e04}{s^4 + 48 s^3 + 864 s^2 + 6912 s + 20736}$$

Continuous-time transfer function.

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

ans = *datetime*

24-Jun-2022 08:21:39

```
pwd
```

ans =

'C:\Users\Admin\Desktop\LabControle\Aula6'

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.**

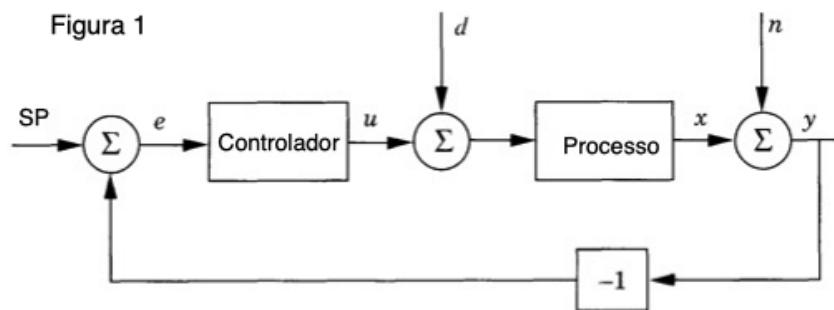
A Tabela 1 mostra como são calculados os ganhos dos controladores P, PI ou PID usando o método de Ziegler-Nichols

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	$\frac{0.9\tau}{K\theta}$	3.33θ	
PID	$\frac{1.2\tau}{K\theta}$	2θ	0.5θ

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=0.23;
teta=0.12;
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

```

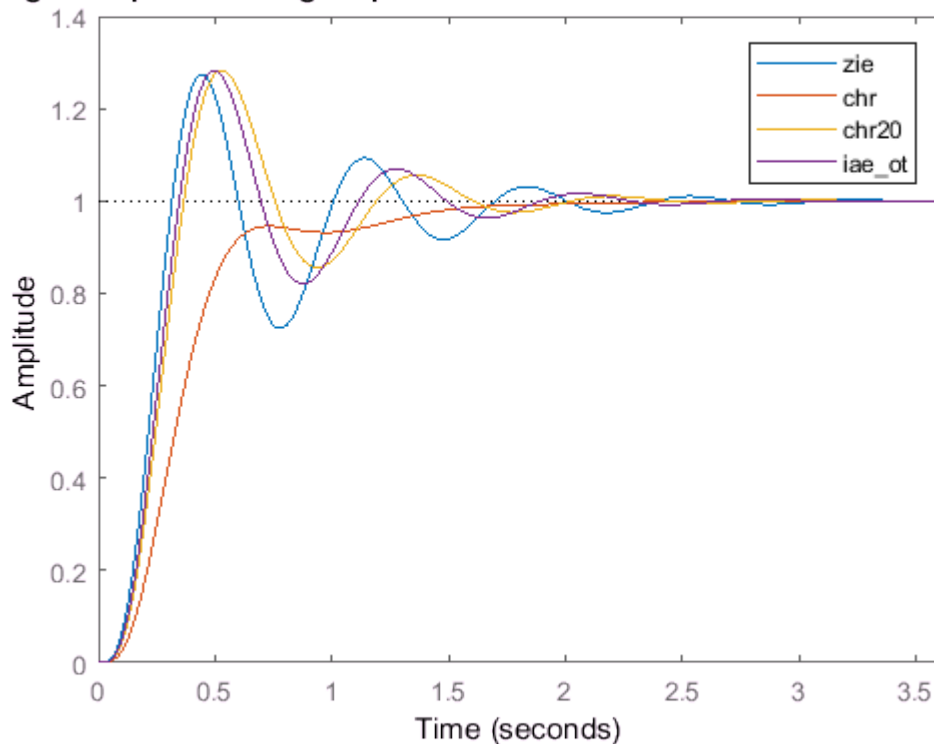
Warning: MATLAB has disabled some advanced graphics rendering features by switching to software OpenGL. For more information, click [here](#).

```

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

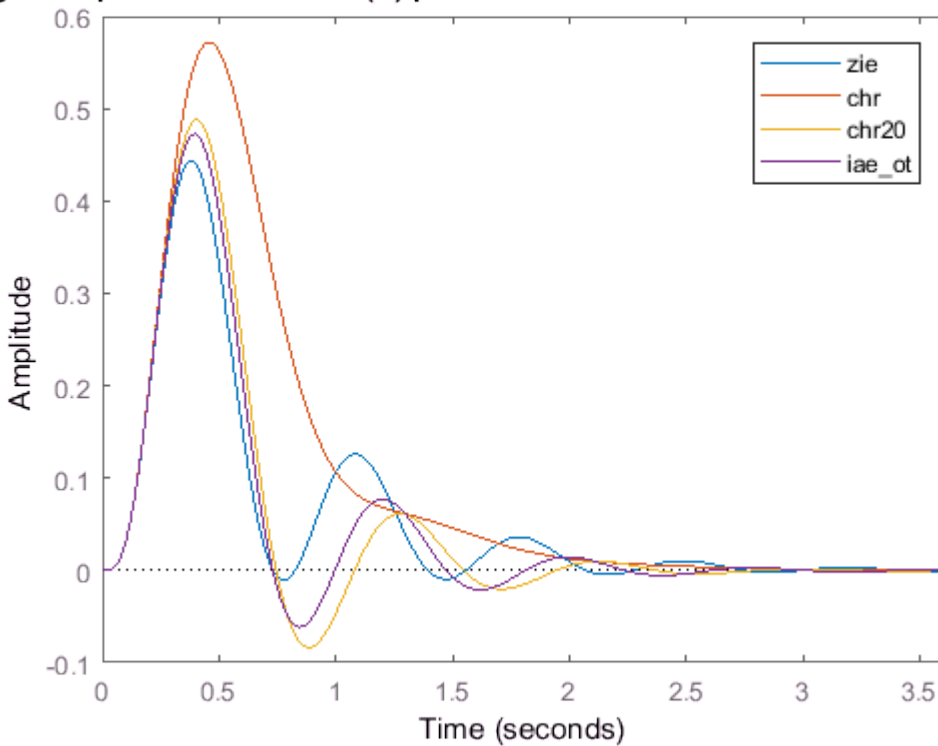


```

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')

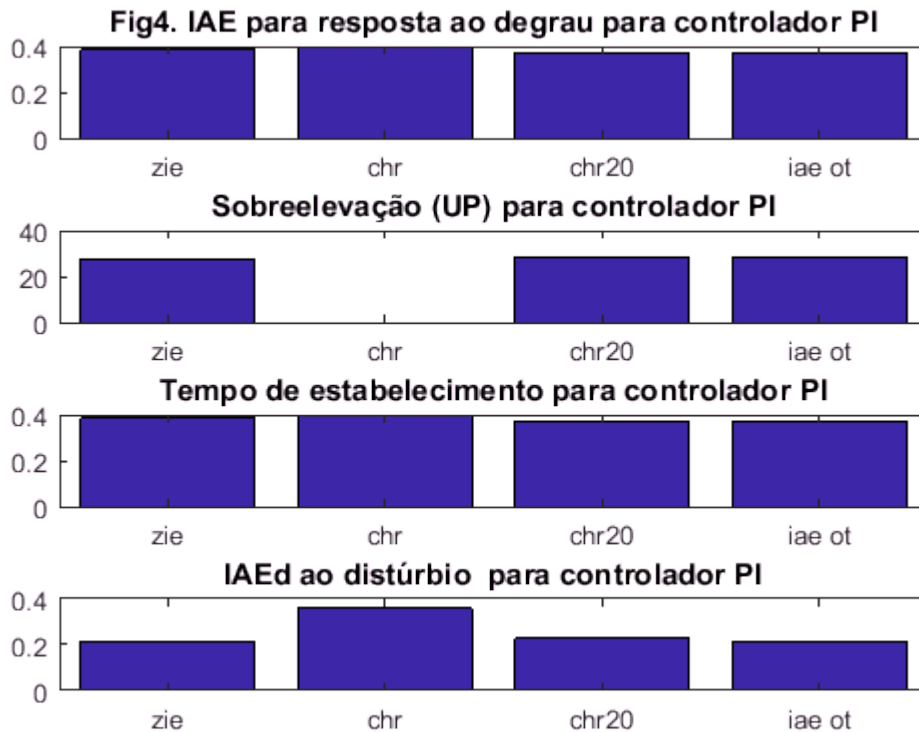
```

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'});
```



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

Considerando o critério IAE, todos os controladores responderam de forma similar, mas o controlador **chr** foi o que teve o melhor UP entre eles, não tendo sobrelevação, com IAE 0.3976 .

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 melhor controlador PI foi o **zie**, com um IAEd = 0.2135, porém, ele não é o que apresenta o menor IAE para a resposta ao degrau, com um valor de IAE = 0.3841, enquanto o **iae ot** possui um IAE = 0.3709.

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 que possui o maior ganho Kp é o zie, com o valor de Kp = 1.92. O efeito sobre IAE foi **alto com valor de** IAE = 0.3841, UP = 27.44, ts = 0.3841 e IAEd 0.2135.



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);
```

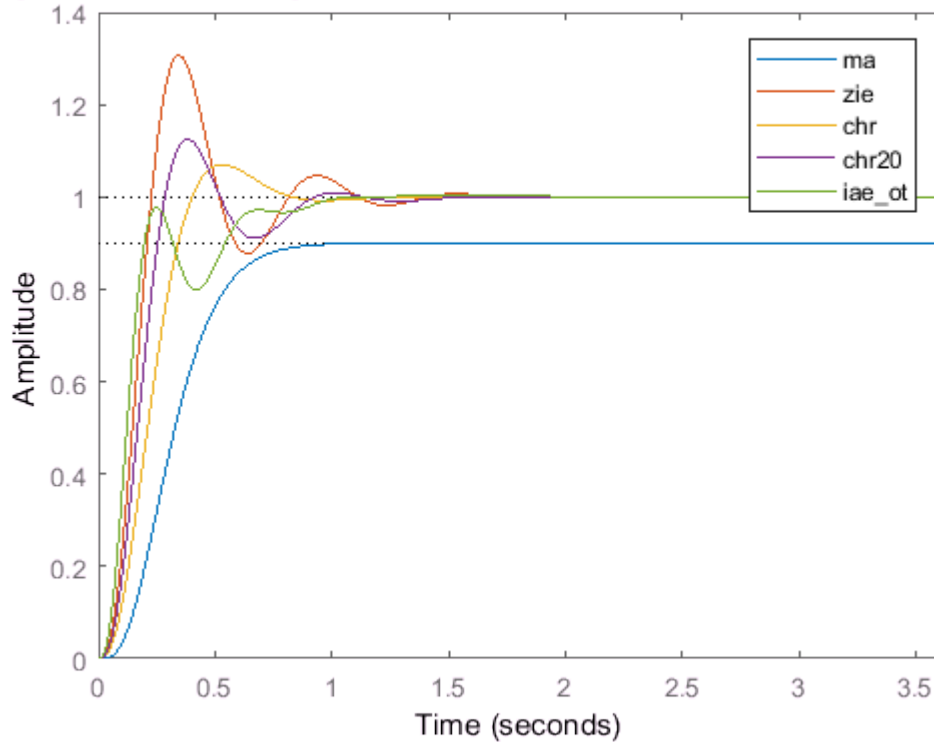
```
m4=feedback(c4*g,1);
```

```
figure
```

```
step(g,m1,m2,m3,m4,Tempo);title('Fig5. Resposta ao degrau para os 4 métodos de sintonia e cont
```

```
legend('ma','zie','chr','chr20','iae_ot')
```

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



```
[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('Fig6. 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);
```

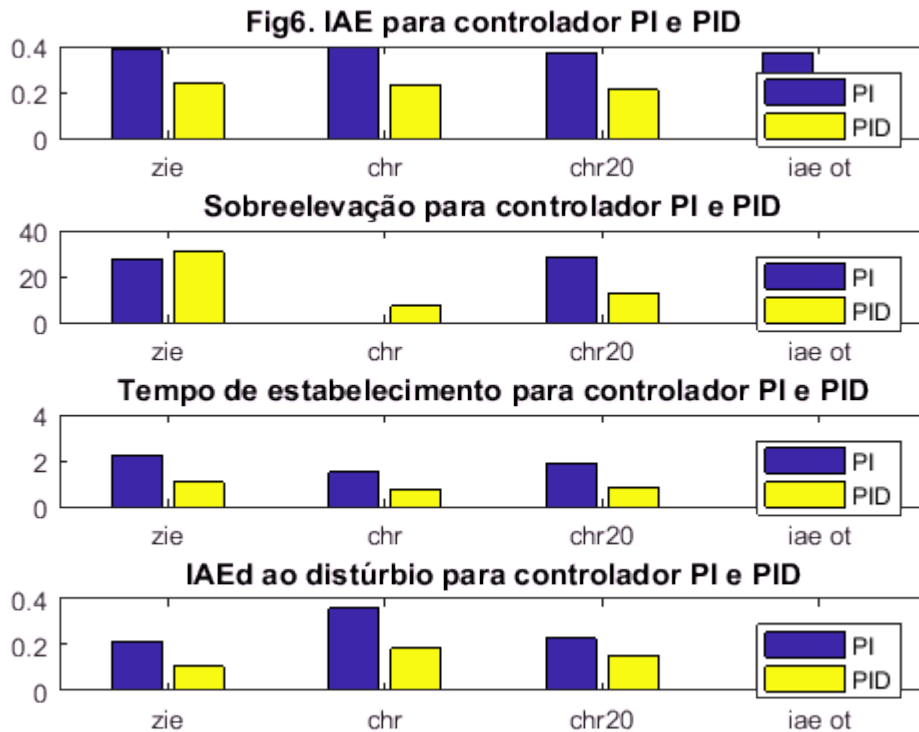
```
bar([ts_pi;ts_pid]);title('Tempo de estabelecimento para controlador PI e PID');
```

```
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 U_p e t_s para explicar as diferenças.

Os valores obtidos dos IAE para os controladores PI são sempre maiores que os dos controladores PID, isto é devido a sobrelevação ser alta em todos os sintonizadores, exceto no chr, que possui sobrelevação nula, e o controlador PID possui menor tempo de estabelecimento em relação a todos os sintonizadores para os controladores PI, resultando em um maior IAE por se tratar de uma integral e o derivativo é o responsável por diminuir o tempo de estabelecimento.

2.5 Compare o desempenho dos controladores PI e PID (Fig.9) em termos dos valores de IAE para os 4 métodos, usando as figuras de resposta ao degrau para justificar

Todos os controladores conseguiram atingir a **resposta esperada no regime**, entretanto, todos os controladores PID obtiveram um melhor resultado quando comparado aos controladores PI. Isto é possível ao observar as respostas ao degrau, onde os controladores respondem de forma mais rápida e atingem o valor de regime mais rápido, reduzindo o valor de IAE.

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

Para escolher o melhor controlador (PI ou PID), o fator a ser analisado é o IAE, pois, ele sintetiza o resultado da sobrelevação e do tempo de estabelecimento. Para escolher o melhor método de sintonização, devemos procurar um menor valor de IAE entre os analisados. Com isso, temos o

melhor candidato o **iae ot** com um valor de IAE = 0.183, sendo o melhor valor dentre os analisados, e, consequentemente, o melhor sintonizador.

Atividade 3 - Avaliação da sintonia lambda com controlador PID

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

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

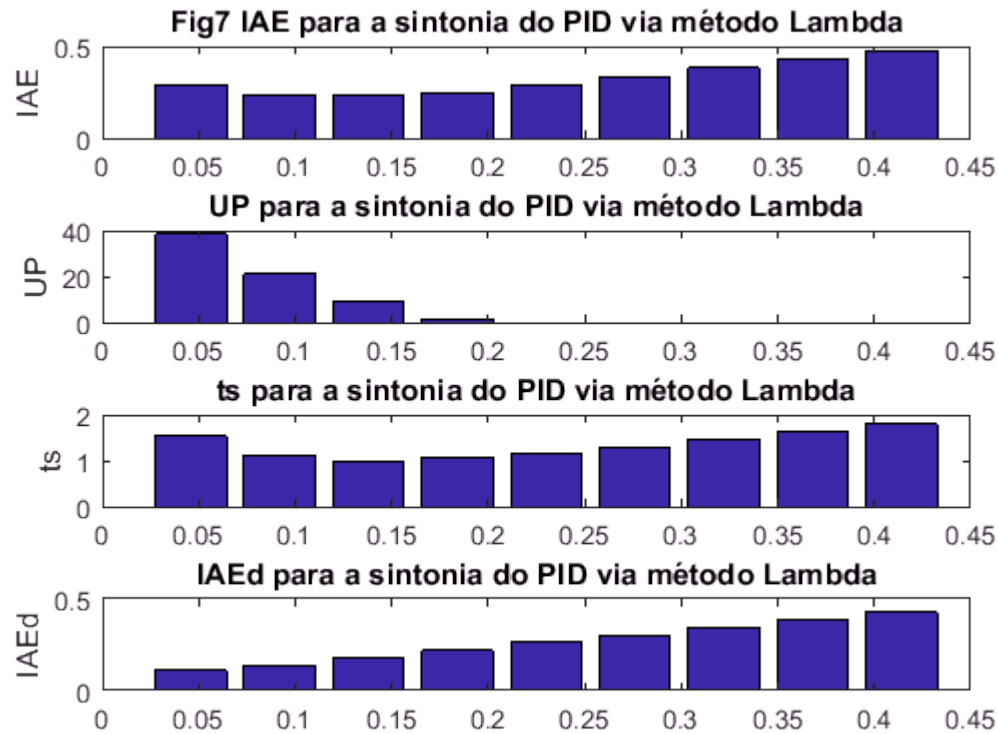
Assim, pode escolher a dinâmica da resposta, reduzindo o tempo de subida e estabelecimento, com o preço de uma maior sobrelevação.

```
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('Fig7 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');
```

```

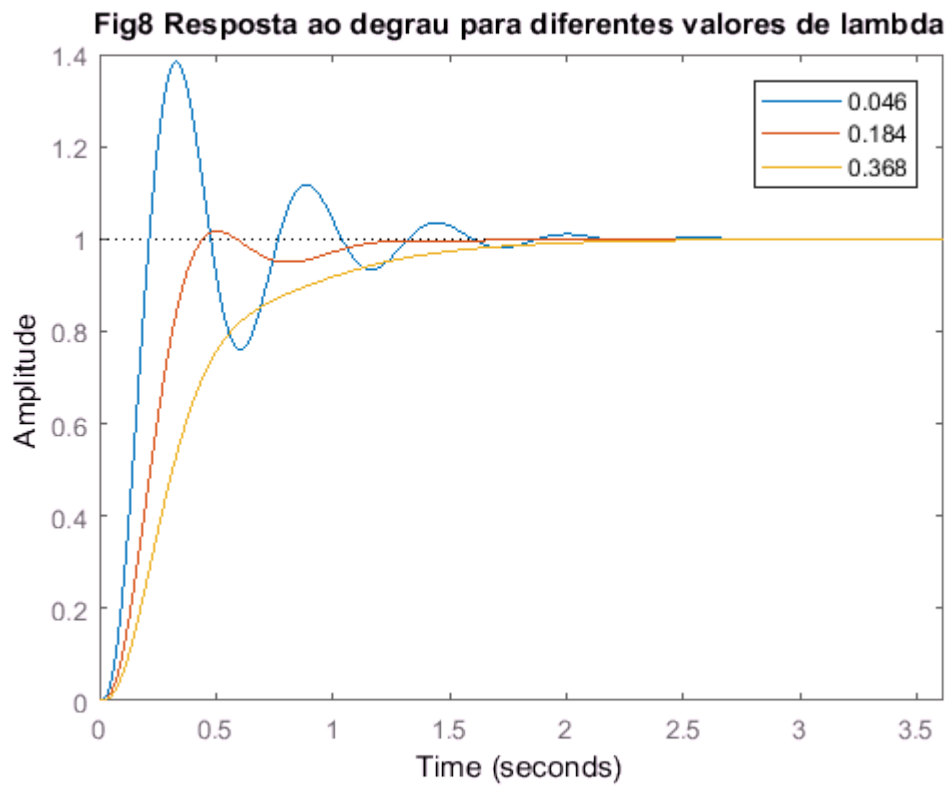
c1=sintonia(g1,'PID', 'lam',lambda(1));
c2=sintonia(g1,'PID', 'lam',lambda(4));
c3=sintonia(g1,'PID', 'lam',lambda(8));

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

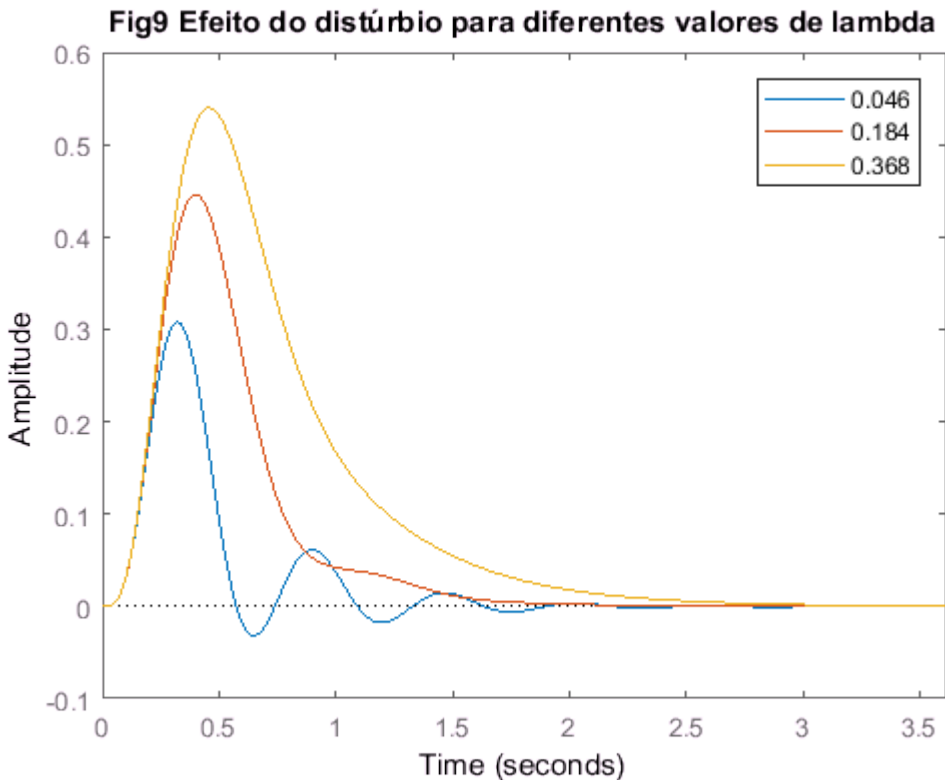
m1d=feedback(g,c1);
m2d=feedback(g,c2);
m3d=feedback(g,c3);

figure
step(m1,m2,m3,Tempo);title('Fig8 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('Fig9 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 λ 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)

Como é possível observar, para maiores valores de λ temos um maior valor de UP. Isto é devido ao λ estar no denominador de K_p . Para o tempo de estabelecimento, os valores obtidos resultam em uma curva, reduzindo até um determinado valor $t_s = 0.97$ em $\lambda = 0.138$ e voltando a crescer logo em seguida.

3.2 Compare o efeito de λ sobre o IAE (resposta ao degrau) e sobre o IAE_d (resposta ao distúrbio). Como escolher um valor de λ que atenda bem os dois?

O valor de IAE começa com o valor de 0.2912 para $\lambda = 0.046$, decaindo até o valor de 0.231 para $\lambda = 0.138$, voltando a crescer logo em seguida. Em relação a resposta ao distúrbio, conforme λ aumenta, o valor de IAE_d aumenta. Para escolher o melhor valor que atenda bem o IAE e o IAE_d. O fator a ser analisado primeiramente é o IAE, pois, ele sintetiza o resultado da sobrelevação e do tempo de estabelecimento. Para escolher o melhor método de sintonização, devemos procurar um menor valor de IAE entre os analisados. Após isso, devemos olhar para o IAE_d e ver se a resposta ao distúrbio é aceitável.

3.3 Compare o valor de IAE conseguido com o método IAE_{ot} e o menor valor obtido com o método lambda. Justifique as diferenças (lendo pag 27 de Sintonia_pid.pdf).

O valor de IAE_{ot} foi menor do que o valor obtido pelo método lambda, sendo IAE_{ot} = 0.183 e IAE_λ = 0.231. Isto é devido ao método lambda alterar somente o K_p , não tendo possibilidade de alterar o

Ti, não chegando no resultado mais otimizado possível, enquanto o IAE_ot permite alterar ambos os parâmetros, chegando em uma melhor otimização do sistema.