

Aula 7 - Laboratório de Controle - 2022/1

Métodos de sintonia dos ganhos do controlador PID

Nome: Gabriel Boasquives e Gabriel Falcone

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

```
I= 4 ;  
turma=1 ;  
g=init(turma,I)
```

g =

$$\frac{3686}{s^4 + 32 s^3 + 384 s^2 + 2048 s + 4096}$$

Continuous-time transfer function.

g =

$$\frac{3686}{s^4 + 32 s^3 + 384 s^2 + 2048 s + 4096}$$

Continuous-time transfer function.

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

```
ans = datetime
```

```
16-Mar-2020 21:03:23
```

```
pwd
```

```
ans =
```

```
'C:\Users\Admin\Desktop\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.**

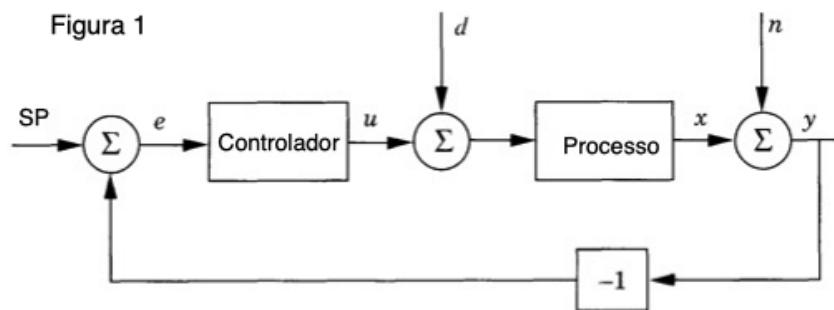
A Tabela 1 mostra como são calculados os ganhos dos controladores P, PI ou PID usando o método de Ziegler-Nichols

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=0.35;
teta=0.15;
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);

```

```

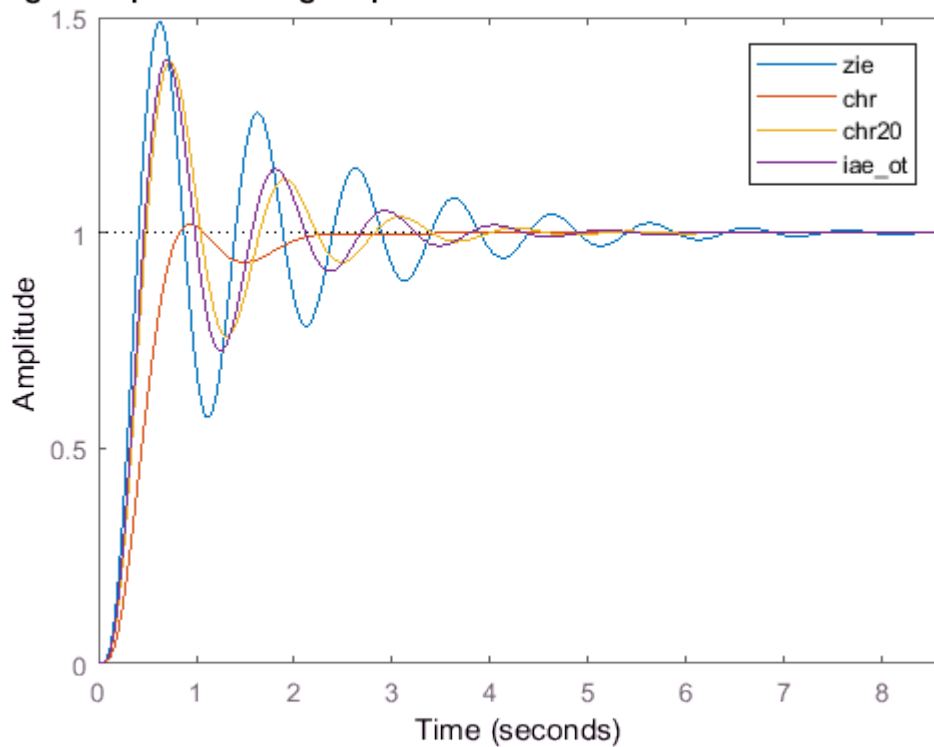
m3=feedback(c3*g,1);
m4=feedback(c4*g,1);

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

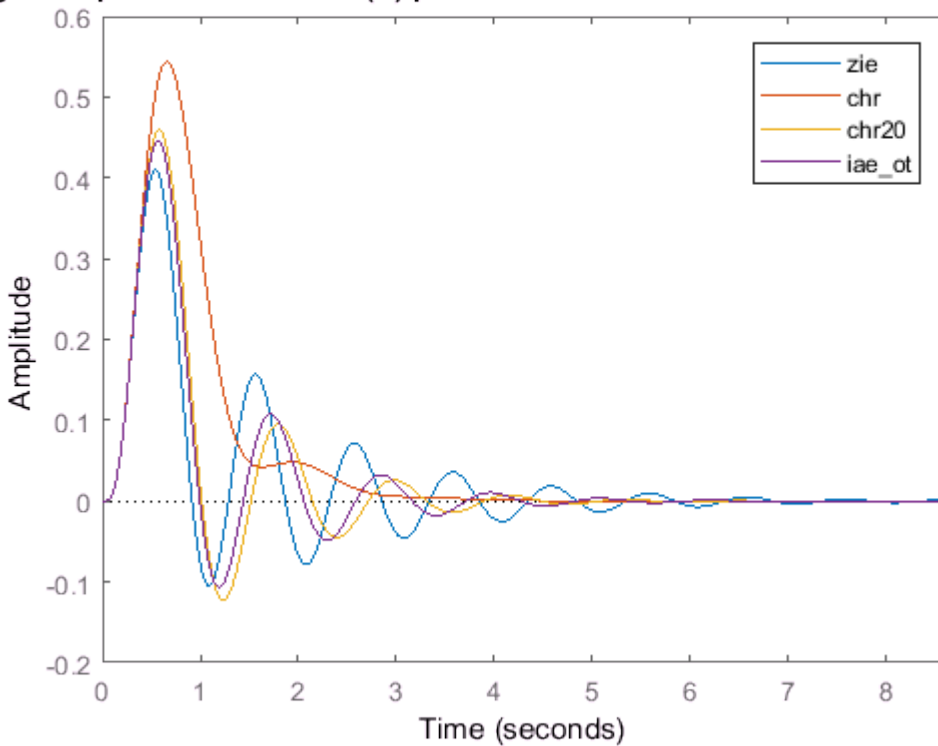


```

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')

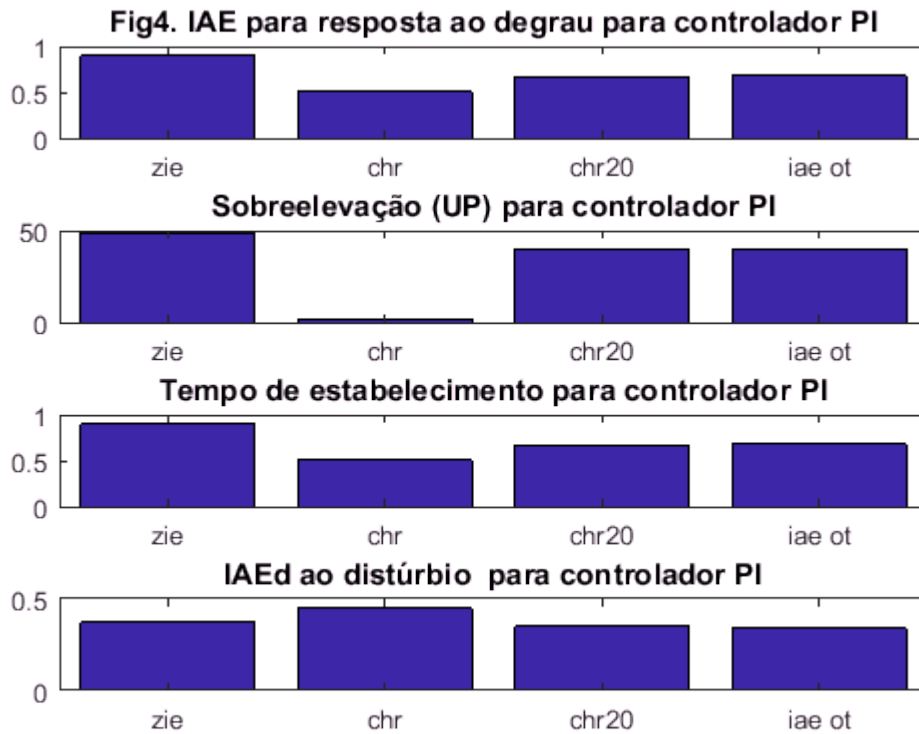
```

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'});
```



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

O melhor controlador PI é dado pelo método de CHR, uma vez que o mesmo apresenta o menor IAE sendo este 0.5035 e o menor UP sendo este de aproximadamente 1.97.

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 controlador com melhor rejeição ao distúrbio é dado pelo uso do método IAE ótimo. Entretanto, tal controlador não dará a menor resposta em degrau com um valor de 0.67, perdendo para o método CHR. Tal acontecimento se dá pelo fato de que, o método CHR apresenta uma pior resposta ao distúrbio visto que na figura 3 a área da curva vermelha será maior que a do método IAE ótimo.

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

Desses 4 controladores, "c", que corresponde ao método Zie terá o maior ganho K_p . Com o maior ganho K_p , a sobrelevação (UP) ficará maior pelo fato do sistema estar mais oscilatório e menos amortecido. Isso também influenciará IAE, já que o cálculo da área usará os parâmetros previamente citados e também será o maior entre os métodos comparados. Por fim, como o sistema estará mais oscilatório, seu t_s também será maior e sua resposta ao distúrbio será grande, mas não será a pior entre os métodos analisados.

Sintonia do controlador PID

```
c1=sintonia(g1,'PID', 'zie');
```

```

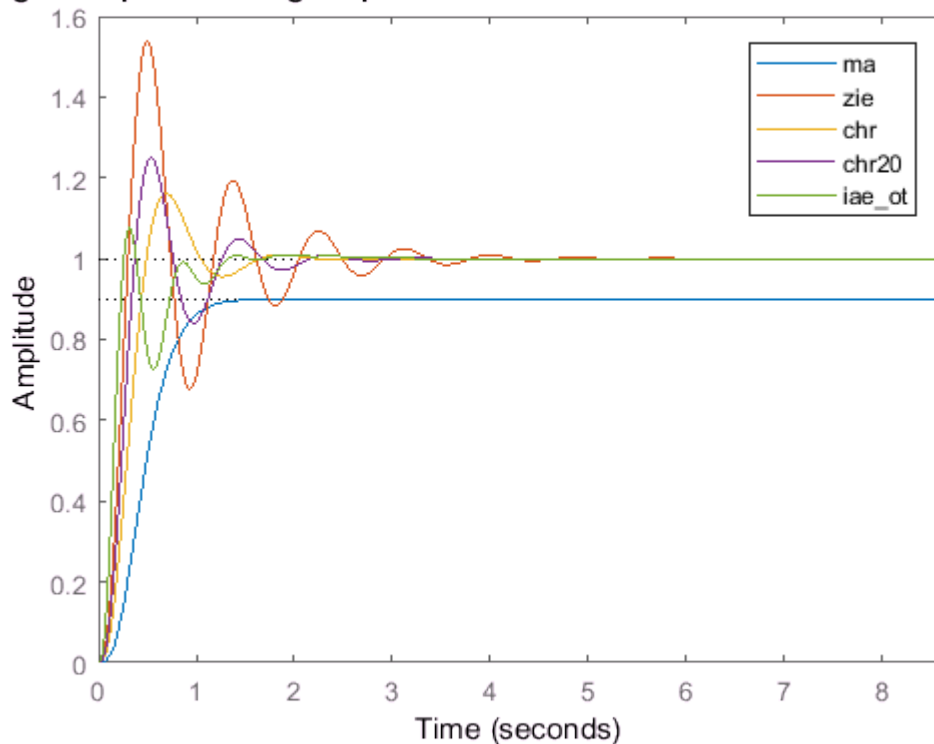
c2=sintonia(g1,'PID', 'chr');
c3=sintonia(g1,'PID', 'chr20');
c4=sintonia(g1,'PID', 'iae_ot');

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



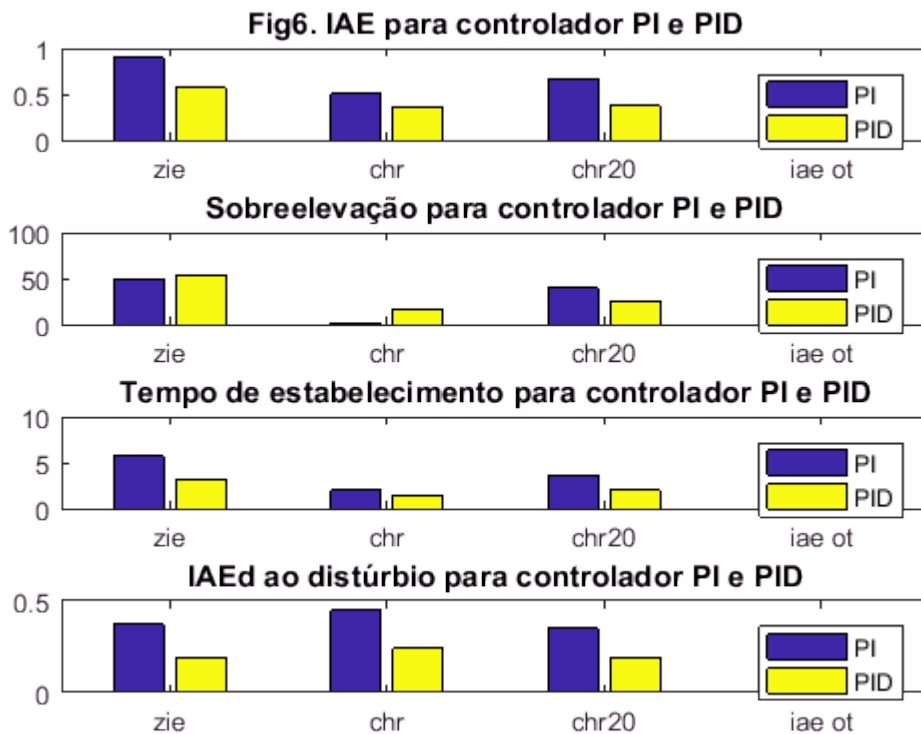
```

[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.

O IAE para controladores PI e PID sempre será maior para o primeiro sistema. Tal colocação pode ser explicada por esse tipo de sistema ter, em média um tempo de sobreelevação (U_p) e um tempo de assentamento (t_s) maiores que os registrados na média para controladores PID. Tais parâmetros influenciam diretamente no cálculo da área a ser considerada para IAE.

2.5 Compare o desempenho dos controladores PI e PID (Fig.6) em termos dos valores de IAE para os 4 métodos, usando as figuras de resposta ao degrau para justificar

Todos os valores de PID serão menores que os encontrados para IAE em PI. Ao analisarmos ambas as figuras que mostram a resposta ao degrau é possível perceber que os sistemas PID são mais rápidos e apresentam características menos oscilatórias que os PI. Tal característica faz com que sua área para o cálculo de IAE seja substancialmente menor, confirmando o comportamento analisado anteriormente.

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)

Como visto anteriormente, vimos que, para uma melhor resposta ao degrau, deveremos ter um menor IAE. Além disso, ao analisarmos a rejeição ao distúrbio, o sistema deverá ser o menor possível. Por

consequente, a escolha mais prudente para essa situação será o controlador PID e o método CHR 20 ou Iae Ot



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

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

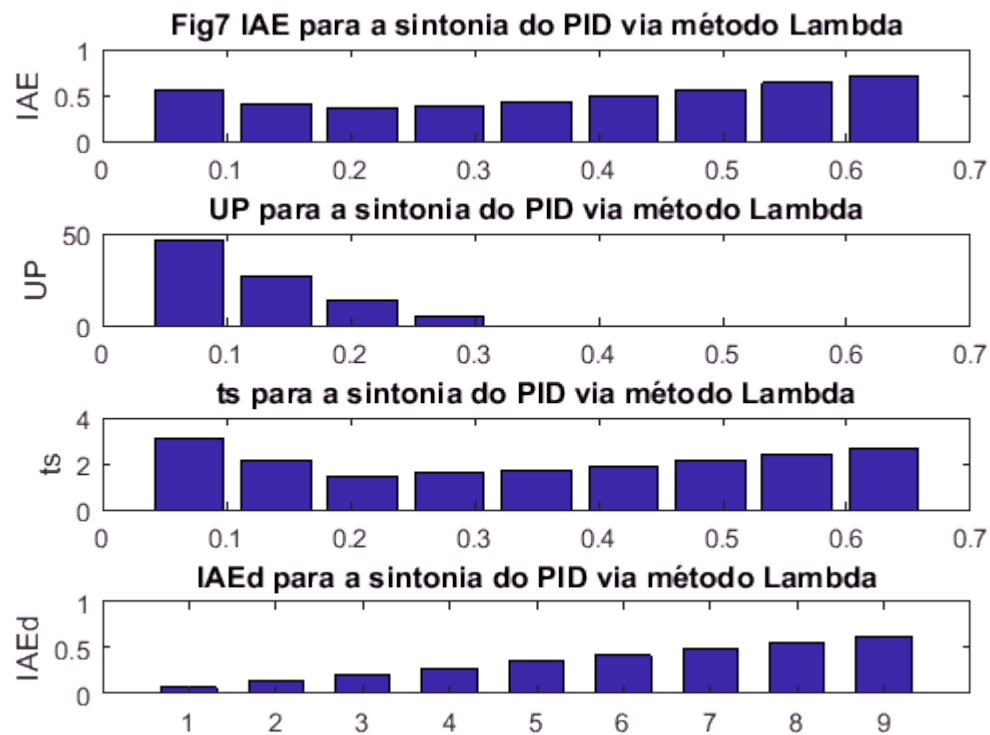
Assim, pode escolher a dinâmica da resposta, reduzindo o tempo de subida e estabelecimento, com o preço de uma maior sobrelevação.

```
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)]=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');
```

```

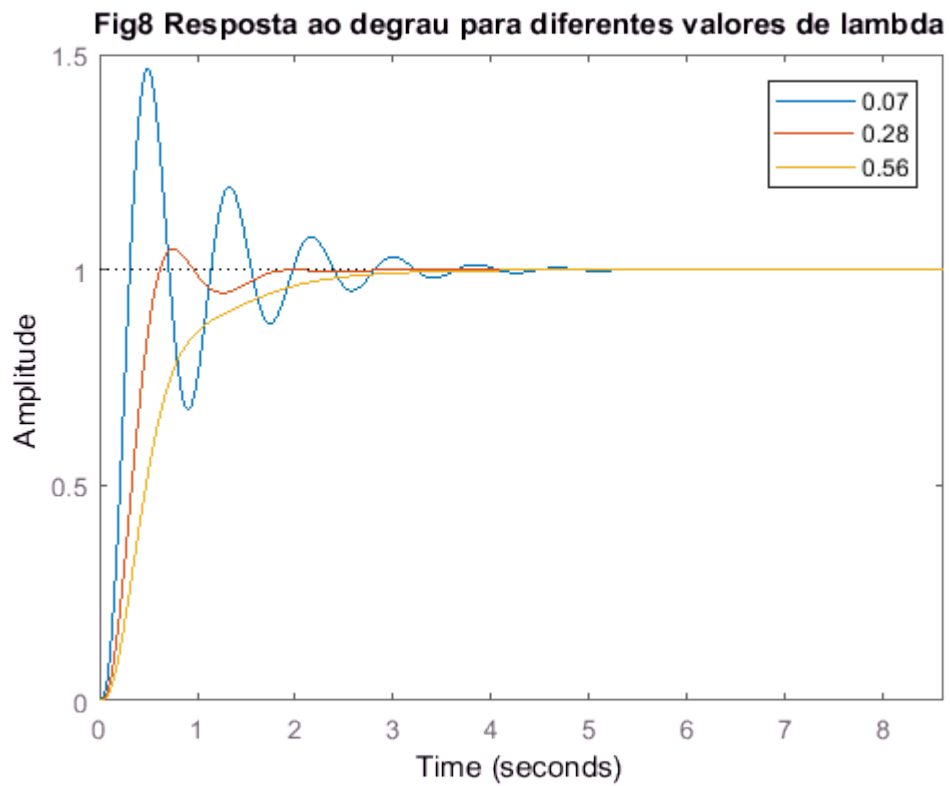
c1=sintonia(g1,'PID','lam',lambda(1));
c2=sintonia(g1,'PID','lam',lambda(4));
c3=sintonia(g1,'PID','lam',lambda(8));

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

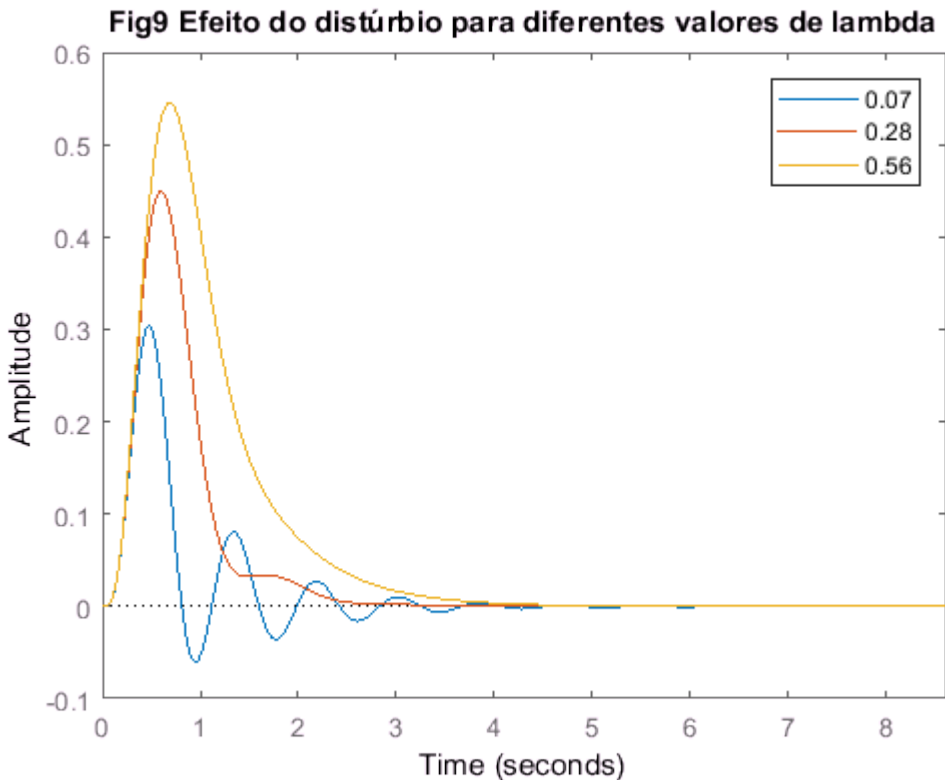
m1d=feedback(g,c1);
m2d=feedback(g,c2);
m3d=feedback(g,c3);

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 t_s ? 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)

Ao analisarmos o λ , percebemos que com o seu aumento, teremos menor sobre-elevação (UP) e maior tempo de acomodação (t_s). Tal afirmativa se dá pelo fato de que o sistema analisado é PID e, por isso, temos que com um λ menor, teremos um maior K_p , visto que são inversamente proporcionais. Nesse sentido, com o maior K_p , teremos uma resposta mais oscilatória com maior UP e maior t_s , a medida que λ aumenta K_p diminui e assim, t_s aumenta pela resposta estar menos oscilatória. Para sistemas PI, a relação será a mesma que encontramos anteriormente, com a ressalva de que o sistema se comportará de maneira mais abrupta.

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?

Para ambos os casos, temos que com o aumento de λ , IAE e IAE_d estarão continuamente subindo com a ressalva que para o menor valor de λ IAE também será grande. Sendo assim, para esse caso é necessário escolher um pequeno valor de λ , mas que não seja o menor para não pegarmos o alto valor de IAE.

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

Quando comparado o valor de IAE, temos que o método IAE_{OT} será melhor que o obtido pelo método de sintonia λ . Isso acontece porque o método λ está sendo aplicado ao controlador original,

não garantindo a optimalidade do método, enquanto o IAE_OT está sendo analisado sobre o método aproximado, garantindo melhor resposta.