

Aula 6 - Laboratório de Controle - 2022/1

Métodos de sintonia dos ganhos do controlador PID

Nome: Matheus Penido Loureiro e Vinicius Breda Altoé

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

```
I=3 ;  
turma=4 ;  
g=init(turma,I)
```

g =

$$\frac{9.448e04}{s^4 + 72 s^3 + 1944 s^2 + 23328 s + 104976}$$

Continuous-time transfer function.

g =

$$\frac{9.448e04}{s^4 + 72 s^3 + 1944 s^2 + 23328 s + 104976}$$

Continuous-time transfer function.

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

```
ans = datetime  
      24-Jun-2022 08:55:29
```

```
pwd
```

```
ans =  
'C:\Users\LEC0\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.**

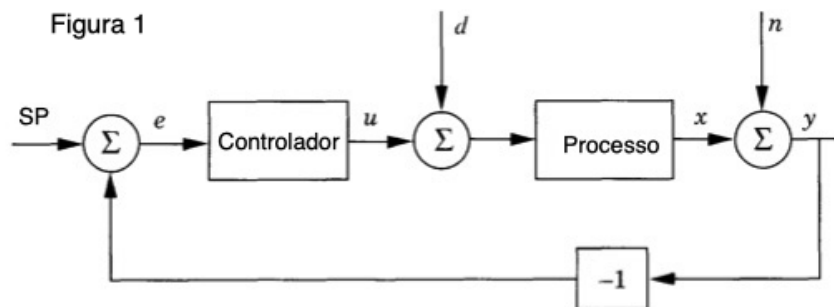
A Tabela 1 mostra como são calculados os ganhos dos controladores P, PI ou PID usando o método de Ziegler-Nichols

usando um modelo de primeira ordem definido por $G(s) = \frac{Ke^{-\theta}}{\tau s + 1}$, 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=0.15;
teta=0.1;
gl=tf(K,[tau 1],'InputDelay', teta);
c1=sintonia(gl,'PI','zie');
c2=sintonia(gl,'PI','chr');
c3=sintonia(gl,'PI','chr20');
c4=sintonia(gl,'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);
```

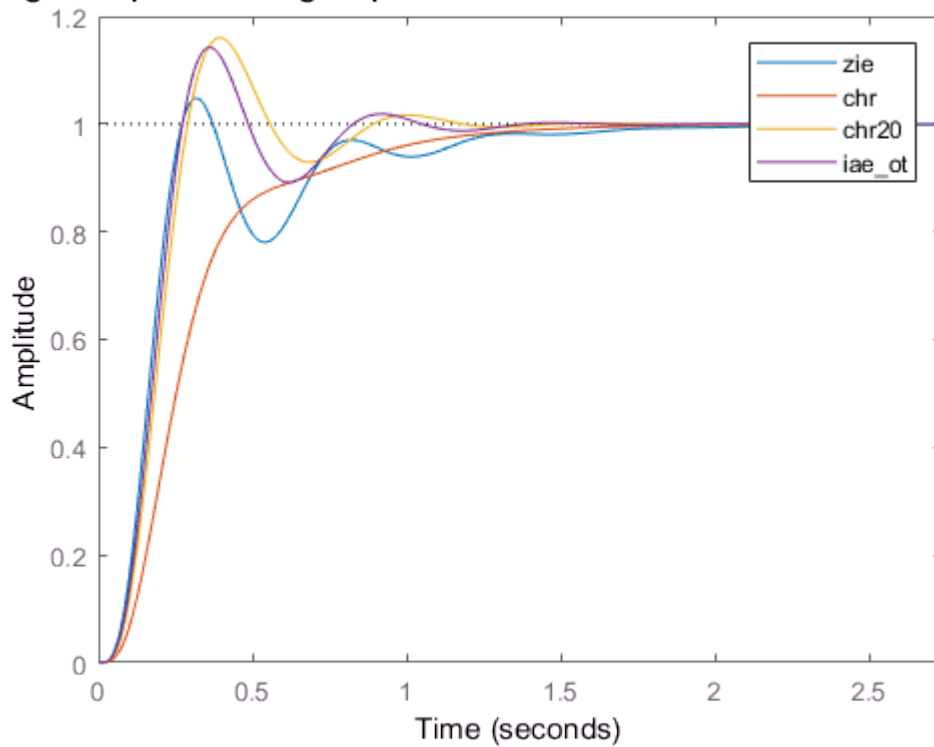
```

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

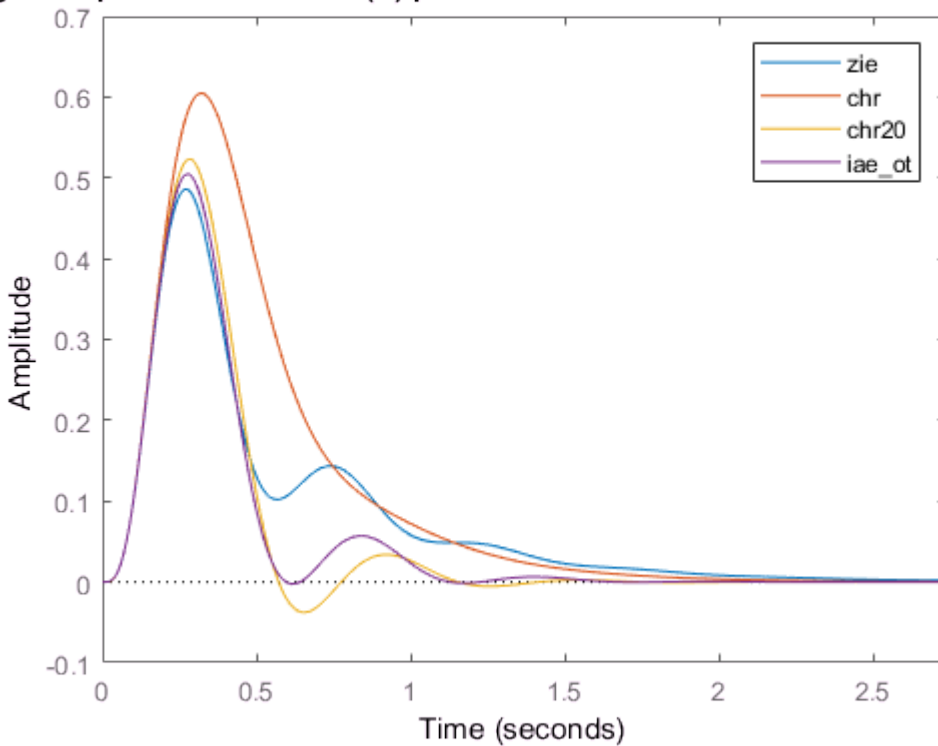


```

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')

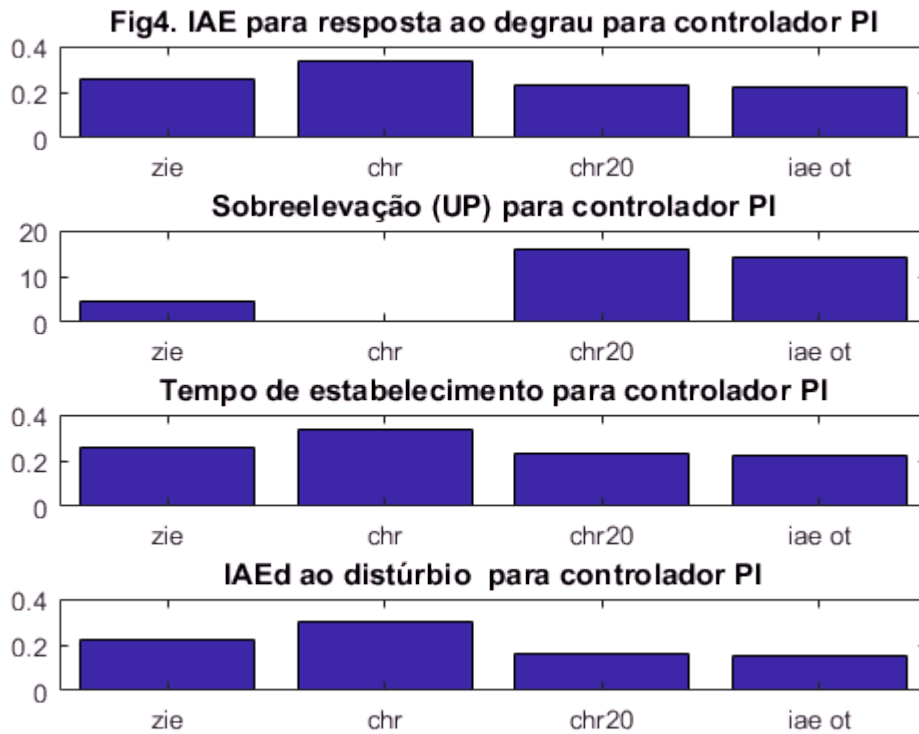
```

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 método que dá melhor controlador PI para o critério de IAE é o 'iae ot', que tem um IAE de 0.2178, já o método com melhor critério de UP é o 'chr', que tem sobrelevação zero.

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 PI que dá melhor rejeição ao distúrbio é o 'iae ot' com valor de 0.1563. Ele também dá o menor IAE a resposta ao degrau. Como pode ser observado na Fig.3, a curva formada pelo controlador PI de método "iae ot" possui uma oscilação de menor amplitude para a referência ao degrau unitário, assim sendo, a integral do erro desta curva resulta em um valor menor quando comparada as demais.

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 ganho "Kp" foi o "c1" com um Kp de 1.5. Para um maior valor de Kp, esperava-se uma maior sobrelevação da resposta ao degrau, este efeito não foi observado no controlador "c1", referente ao controlador do método zie. Para um maior kp, também espera-se um menor tempo de estabelecimento do sistema, contudo isso também não foi observado, já que 'c1' tem 0.25 s de tempo de estabelecimento enquanto o menor é de 0.21 s. Então IAE e IAEd também seriam os menores, caso 'c1' tivesse o menor ts, conforme esperado. Porém, como isso não aconteceu, 'c1' não teve os menores IAEds.

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);

```

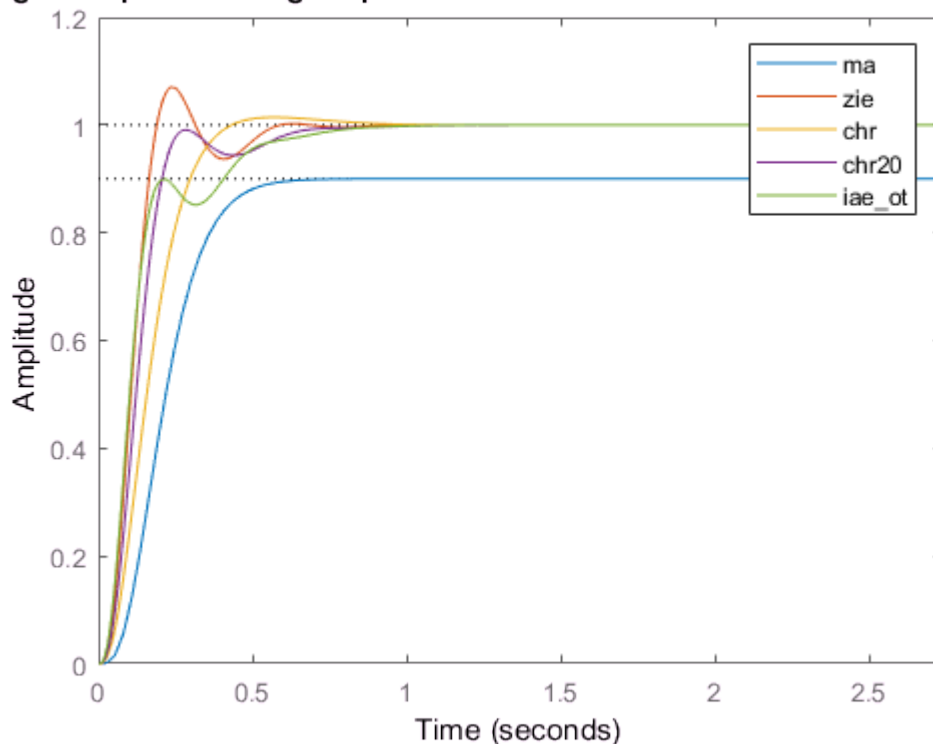
```
figure
```

```

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

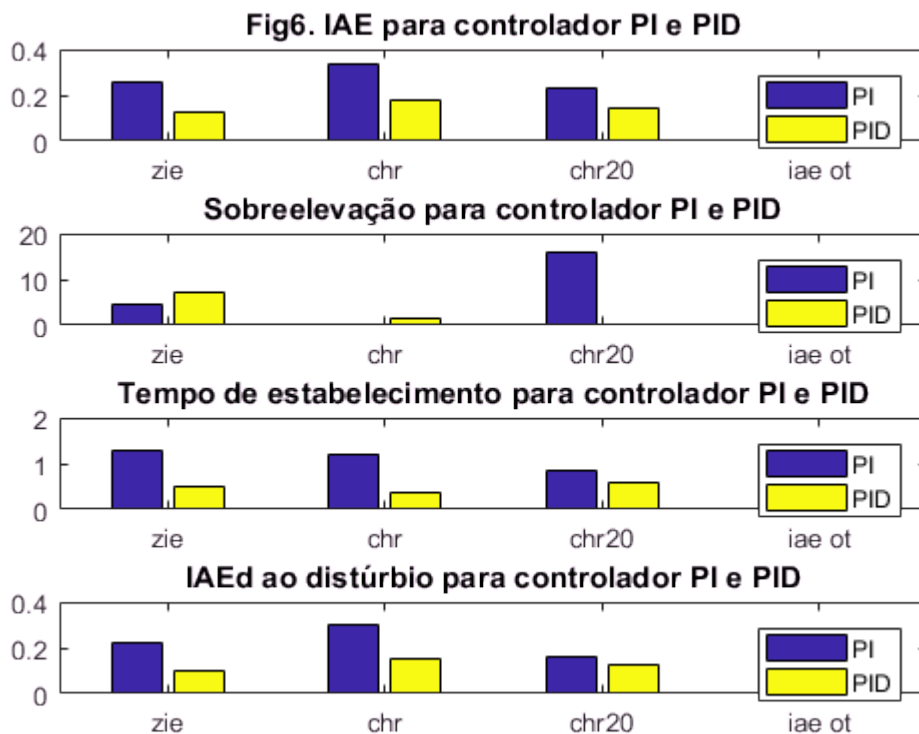
```
subplot(4,1,3);
```

```
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 t_p e t_s para explicar as diferenças.

Observados os valores registrados na Fig.6, é possível notar que o IAE e IAEd para todos os métodos de controladores é superior em PI. Para os métodos chr20 e iae ot os valores de sobreelevação para o controlador PID foram nulos, enquanto para o controlador PI foram 16 e 14.2, respectivamente, desta forma, espera-se um IAE maior para o PI.

Para os métodos zie e chr, as sobreelevações são próximas, e uma vez que IAE é majoritariamente influenciado por t_s . Zie e Chr tem maiores valores de IAE em PI por terem um maior valor de t_s .

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

Quando comparadas as Fig.2 e Fig 5, onde são plotadas as curvas das respostas ao degrau, é possível notar que as respostas ao degrau para os controladores PID possuem uma menores sobreelevação, tempo de estabelecimento e número de oscilações quando comparadas aos controladores PI, assim, espera-se menores IAEs nos controladores PID.

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 a maioria dos casos, o controlador PID possui um menor IAEd, IAE, UP e ts, assim ele se torna uma menor opção quando comparados ao PI. Comparando os 4 métodos para o PID, o controlador escolhido foi o 'zie', pois ele apresenta melhores IAE e IAEd quando comparados aos demais e seu tempo de estabelecimento "ts" é o segundo menor, o que reflete em uma resposta rápida do sistema, apesar de sua sobrelevação ser a maior, seu valor é de aproximadamente 6%, o que é um valor aceitável para a maioria dos sistemas.

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

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

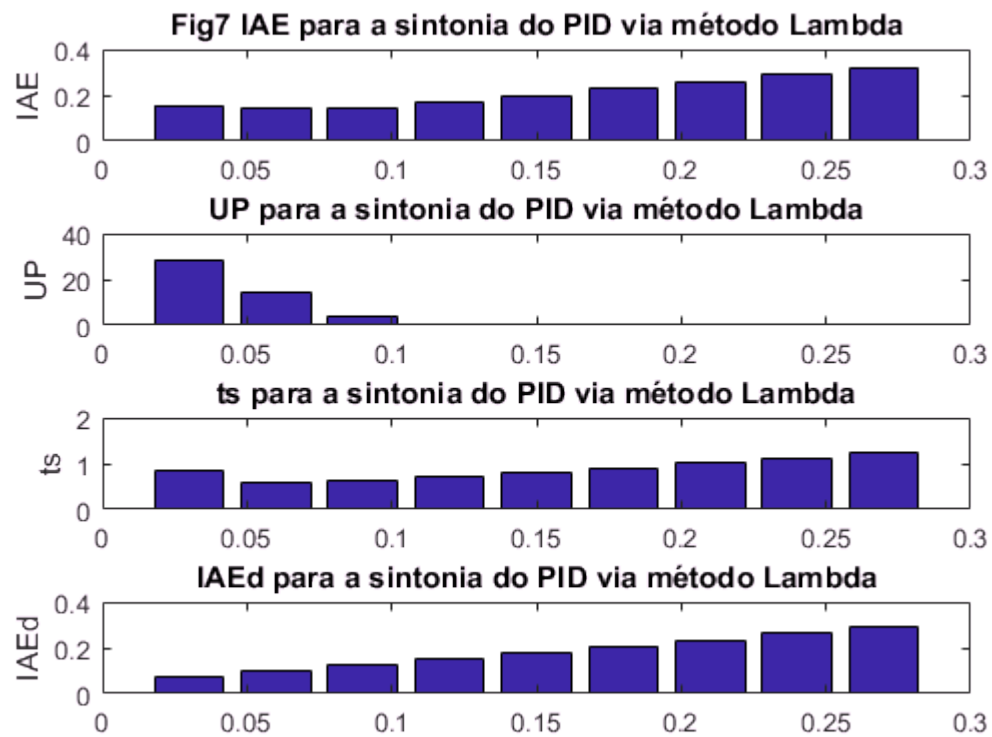
Assim, pode escolher a dinâmica da resposta, reduzindo o tempo de subida e estabelecimento, com o preço de uma maior sobrelevação.

```
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');
```

```

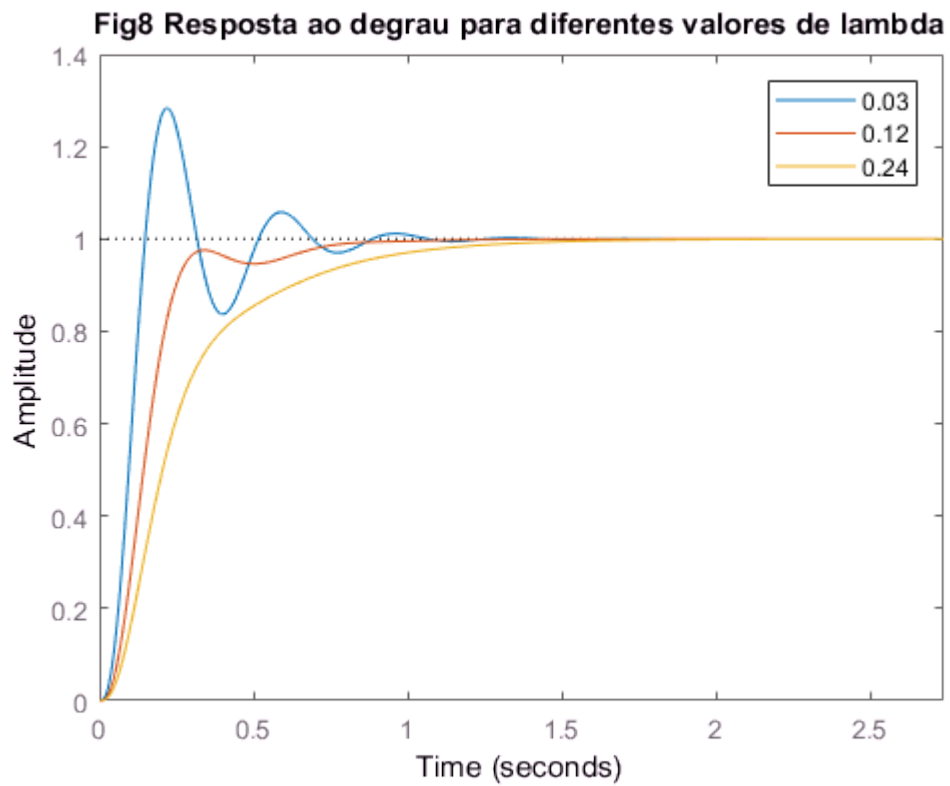
c1=sintonia(g1,'PID', 'lam',lambda(1));
c2=sintonia(g1,'PID', 'lam',lambda(4));
c3=sintonia(g1,'PID', 'lam',lambda(8));

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

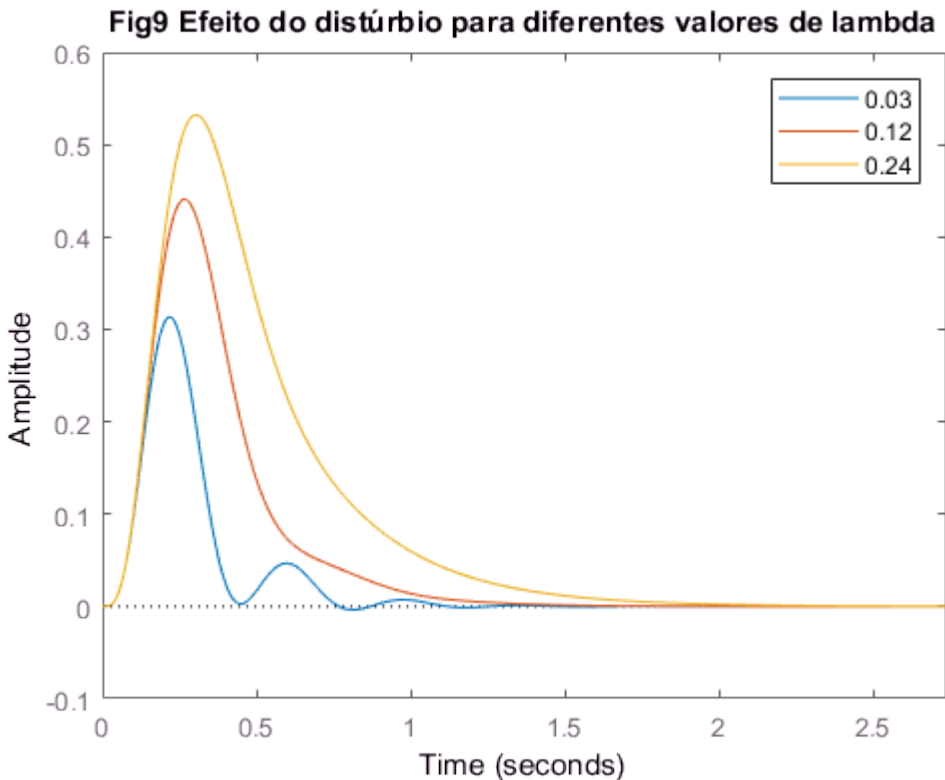
m1d=feedback(g,c1);
m2d=feedback(g,c2);
m3d=feedback(g,c3);

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 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)

Como pode ser observado na Fig.7 o UP é inversamente proporcional ao lambda, assim, a medida que o lambda aumente, a sobre-elevação diminui, isso acontece pois o lambda está no denominador da função de K_p , assim sendo, quanto maior o lambda, menor o valor do ganho, ocasionalmente, menor a sobre-elevação.

Por sua vez, o tempo de estabelecimento e o lambda são diretamente proporcionais, logo t_s aumenta com o aumento de lambda. Isso ocorre pois o tempo de estabelecimento é inversamente proporcional ao ganho, ou seja, quanto menor o ganho, mais lento será a resposta.

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?

Como pode ser observado na Fig.7, IAE e IAE_d aumentam a medida que o lambda aumenta. Isso ocorre pois os valores de IAE e IAE_d são diretamente afetados por " t_s ", assim a medida que t_s aumenta, os valores de IAE e IAE_d aumentam.

Idealmente, o melhor valor de lambda seria a onde se encontram os menores valores de IAE e IAE_d, contudo, observado que para valores muito baixos (Fig.7) os valores de UP são elevados e a resposta ao degrau é muito oscilatória. Deste modo, a melhor opção, das apresentadas na Fig.8, seria lambda = 0.12, que não apresenta sobre-elevação, e apresenta baixa oscilação, baixos valores de IAE e IAE_d.

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 encontrado para o controlador PID do método iae ot foi de 0.1487, enquanto que o valor encontrado para o controlador obtido pelo método lambda foi de 0.1563. O método de 'iae_ot', busca o melhor valor de IAE para o sistema utilizado, enquanto o menor valor de lambda, tem o menor valor de IAE para o método lambda. Com isso, os valores obtidos foram próximos (aproximadamente 0.01 de diferença), sendo o iae ot o menor, conforme o esperado por se tratar de um valor de otimização de desempenho.

A diferença entre os valores se dá na utilização de diferentes modelos para se compor as funções de transferência, enquanto que o método lambda utilizada de um controlador de 1ª ordem, o método iae ot utiliza um de ordem superior, que é aproximado para simulação.

