Laboratório de Controle - Aula 2 - 2021/1

Ambiente de simulação do sistema digital de controle

Nome: Arthur Lorencini Bergamaschi

Atividade 1: Análise da resposta do sistema digital de controle

Antes de fazer essa atividade, assista o video labca2.

***Dúvidas sobre usar este live script para gerar o relatório: clique** aqui.*

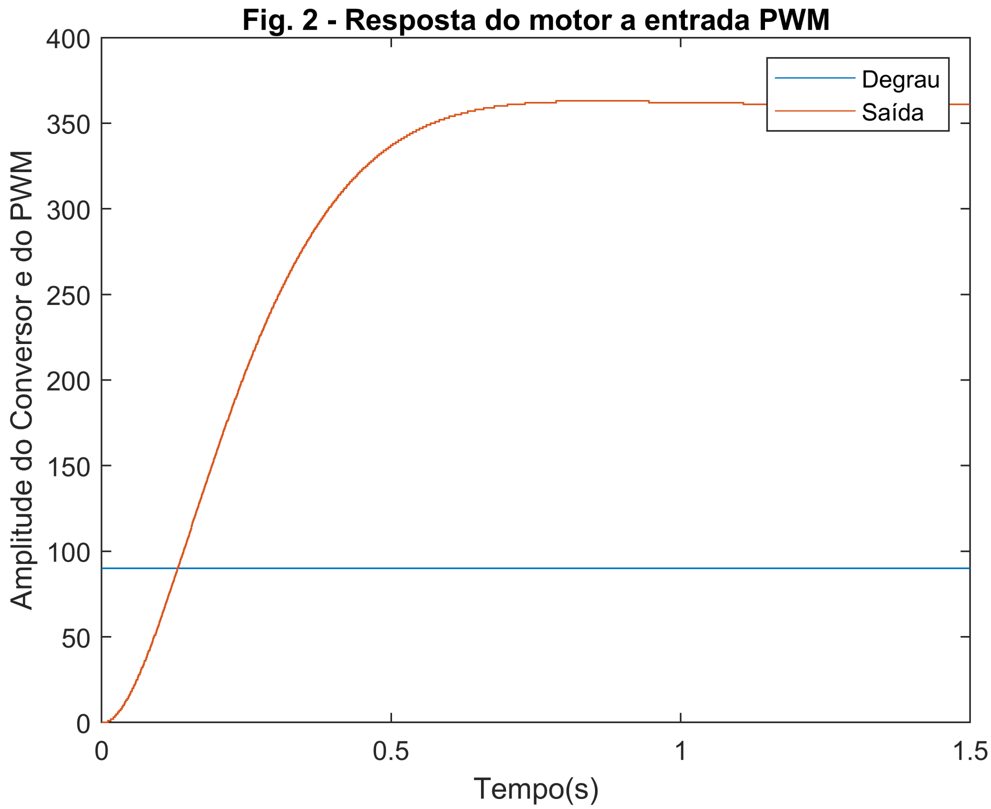
Na figura 1 é mostrado o diagrama que será simulado. Um degrau de amplitude PWM é aplicado na entrada, o motor gira a uma certa velocidade (rpm), e o conversor A/D gera um valor inteiro correspondente a essa velocidade. Faça a simulação, observe a figura 2 e responda as perguntas.

Figura 1


```
Ts=1e-3;
Tempo=1.5;
arquivo='aula2_2018.slx';
I = 1;
Turma = 2;
[wn,PWM]=init(I,Turma);

out=sim(arquivo,Tempo);
u1=out.X(:,2);
y1=out.X(:,3);
t1=out.tout;

stairs(t1,[u1 y1]);legend('Degrau','Saída');xlabel('Tempo(s)');ylabel('Amplitude do Conversor e
title('Fig. 2 - Resposta do motor a entrada PWM');
```



1.1. Como obter o ganho desse sistema e qual esse ganho?

Resposta: Basta fazer a divisão de saída pela entrada. 361/90 = 4.01

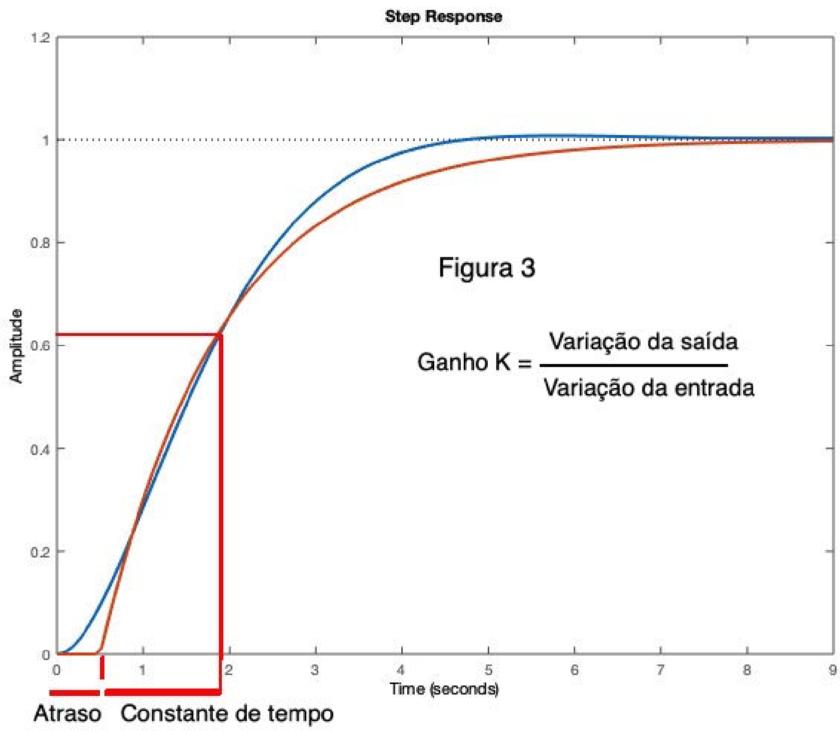
1.2 Qual a constante de tempo desse sistema?

Resposta: A constante de tempo é de cerca de 0.267 s

1.3 Que tensão foi aplicada no motor (em volts) e qual foi a velocidade de regime correspondente em rpm?

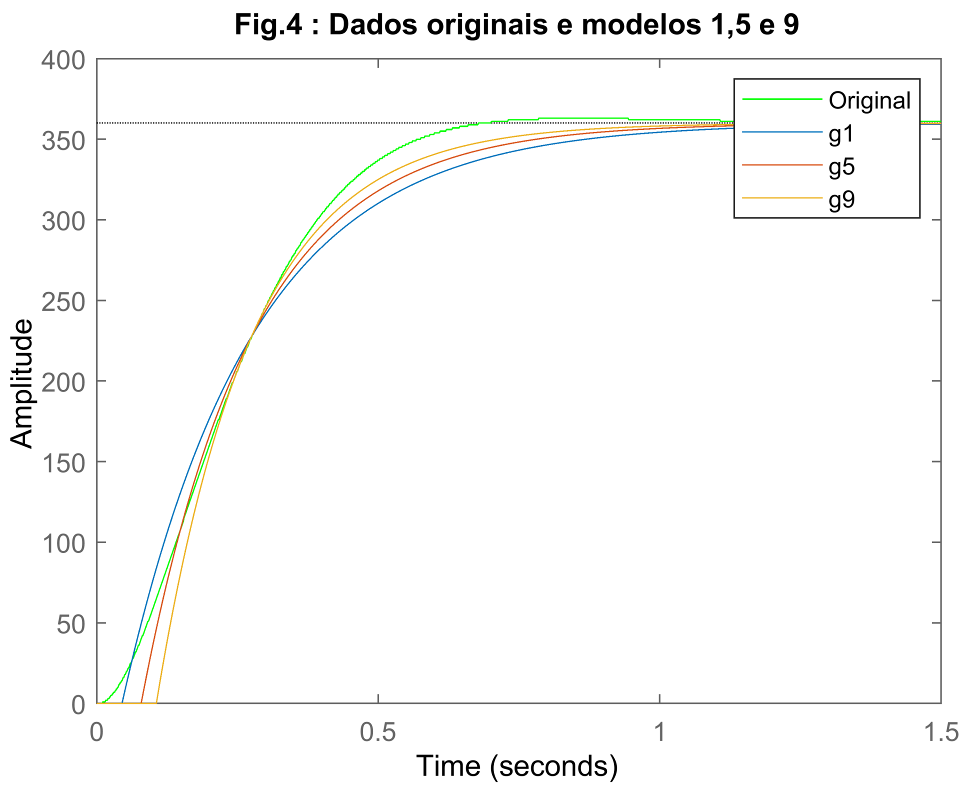
Resposta: A tensão aplicada no motor é de 4.71 V. A velocidade de regime foi de 1175 rpm

Atividade 2 - Aproximação da resposta ao degrau por uma FT de primeira ordem + tempo morto



Na figura 3 mostra-se como aproximar uma resposta ao degrau (em azul) por uma FT de primeira ordem com tempo morto (em vermelho). Assume-se que haja um tempo morto inicial (embora não haja) e a constante de tempo é medida a partir dele. O script abaixo testa 10 valores de tempo morto e obtem os 10 modelos correspondentes, medindo a norma euclidiana do erro entre o modelo e a saída da resposta original ($||erro|| = ||y_{original} - y_{modelo}||$).

```
K=4;
limiar=linspace(0.04,0.2,10);
for i=1:length(limiar)
    delay(i)=t1(sum(y1<limiar(i)*y1(end)));
    tau(i)=t1(sum(y1<0.63*y1(end)))-delay(i);
    g=tf(K,[tau(i) 1],'InputDelay', delay(i));
    ysim=step(PWM*g,t1);
    erro(i)=norm(y1-ysim);
end
plot(t1,y1,'g');hold on
for i=1:4:10
     g=tf(K,[tau(i) 1],'InputDelay', delay(i));
     step(PWM*g,t1);
end
title('Fig.4 : Dados originais e modelos 1,5 e 9');legend('Original','g1','g5','g9');
hold off
```

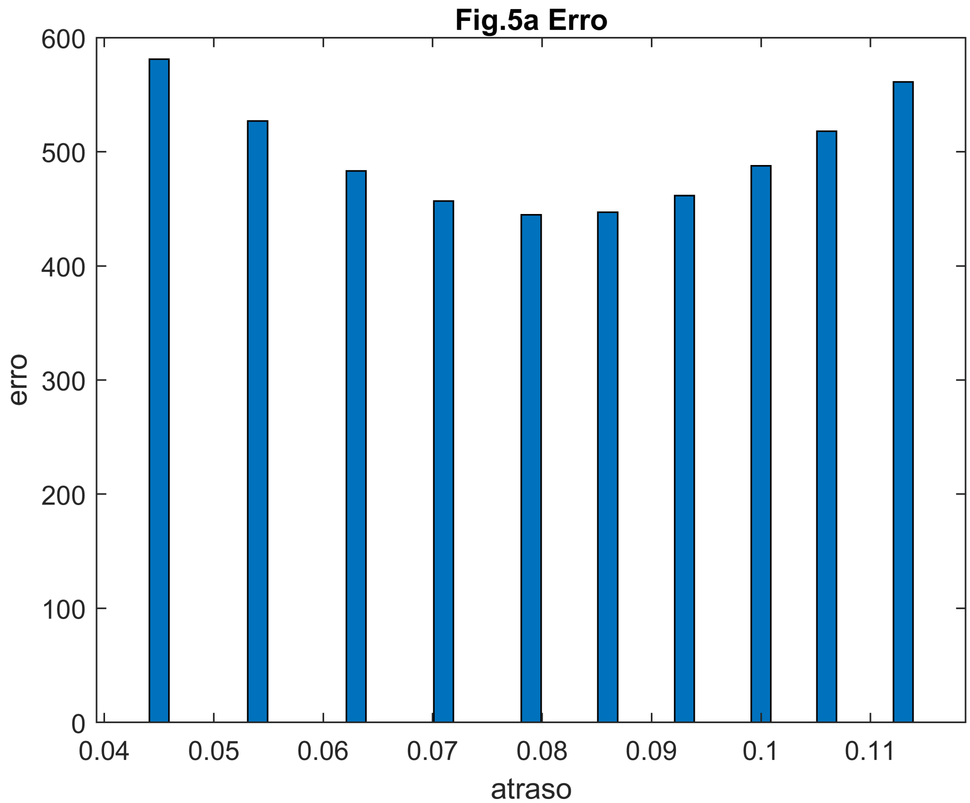


2.1 Comentar como cada modelo (g1,g5,g9) aproxima os valores no início da resposta, na constante de tempo e no valor em regime da saída original (em verde).

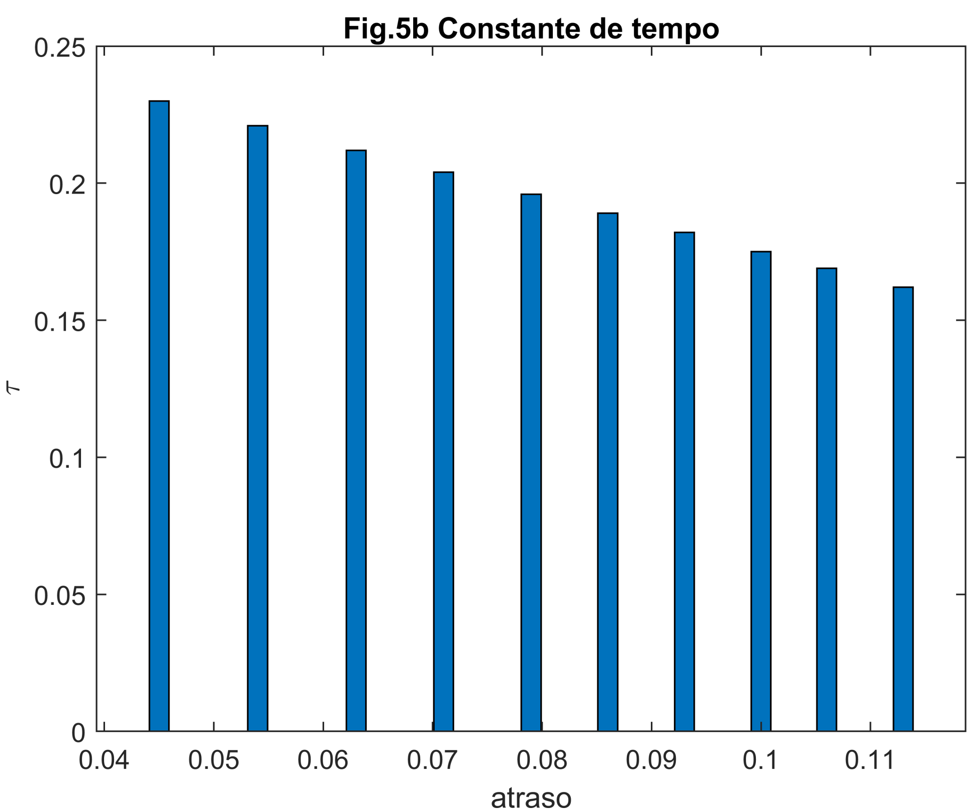
Resposta: A g1 possui um tempo morto menor, mas demora mais que as outras duas para chegar o valor de regime. A g5 possuim um tempo morto maior do que a g1, mas menor g9, mas chega mais rápido do valor de regime do que a g1. A g9 é a que demora mais para iniciar, mas é a que chega mais rápido ao valor de regime.

A figura 5a mostra o erro entre a saída original e a do modelo para os 10 atrasos utilizados no script. A Figura 5b mostra a constante de tempo τ para cada atraso.

```
bar(delay,erro,0.3);xlabel('atraso');ylabel('erro');title('Fig.5a Erro');
```




```
bar(delay,tau,0.3);xlabel('atraso');ylabel('\tau');title('Fig.5b Constante de tempo');
```



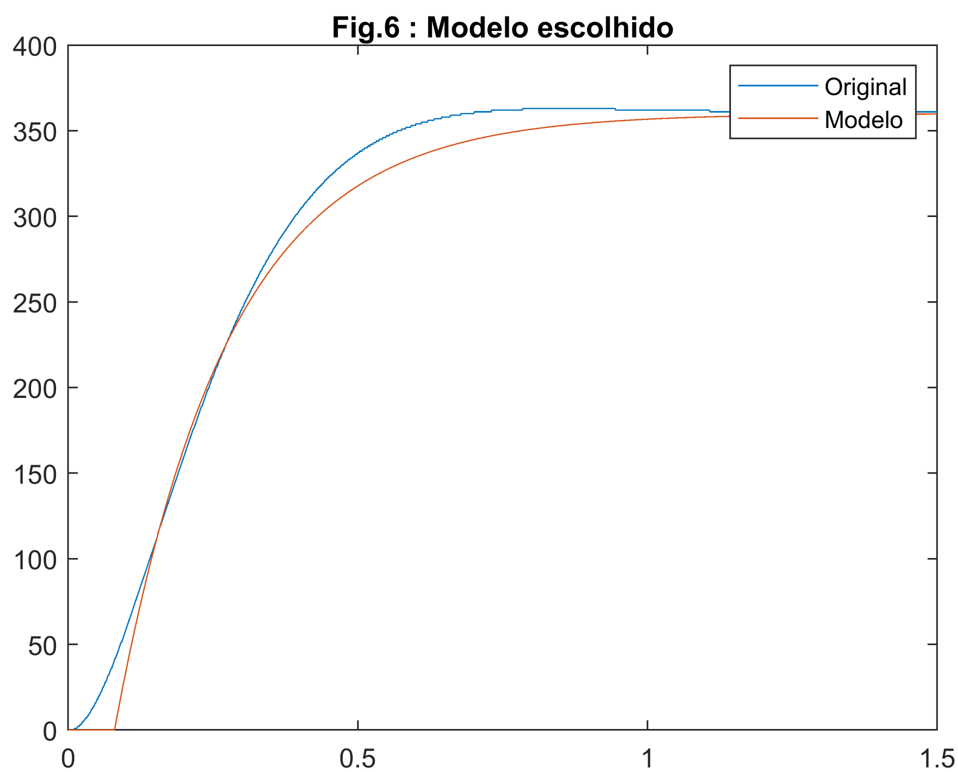
2.2 Explique o efeito do atraso escolhido sobre o erro e sobre a constante de tempo τ, usando as figuras 4 e 5.

Resposta: Quanto maior o atraso, menor é a constante de tempo.

2.3 Usando a figura 5, escolha o atraso e a constante de tempo τ para o modelo que dá o menor erro e substitua-os abaixo (tau e atraso), para comparar a saída desse modelo e a resposta original. Observando a figura 6, que partes da resposta no tempo ficam melhor aproximadas?

Resposta: tau = 0.196 s e atraso = 0.08 s

```
g=tf(K,[0.196 1],'InputDelay',0.08);
ysim=step(PWM*g,t1);
plot(t1,y1,t1,ysim);title('Fig.6 : Modelo escolhido');legend('Original','Modelo');
```



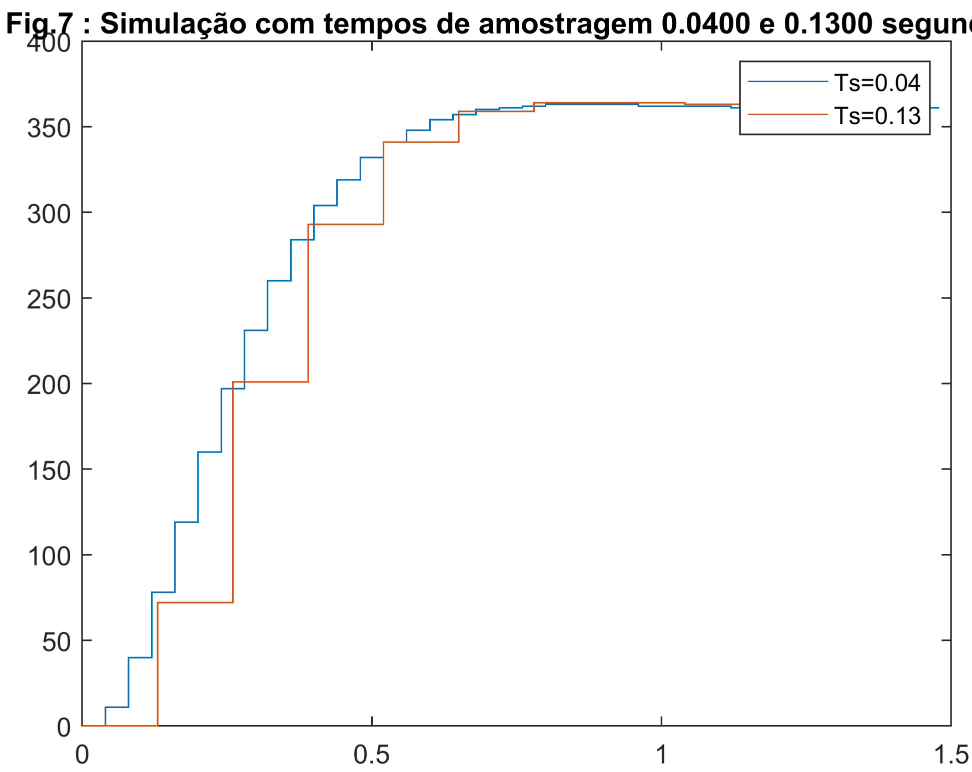
IMPORTANTE: ao gerar a figura 6, mostre-a (compartilhando a tela) para o professor antes de avançar. Ela será usada para escolher os tempos de amostragem das atividades seguintes.

Atividade 3 - Simulação com diferentes tempos de amostragem Ts

```
Ts1=0.04;
Ts=Ts1;
out=sim(arquivo,Tempo);
u2=out.X(:,2);
y2=out.X(:,3);
t2=out.tout;
```

```
Ts2=0.13;
Ts=Ts2;
out=sim(arquivo,Tempo);
u3=out.X(:,2);
y3=out.X(:,3);
t3=out.tout;

tit=sprintf('Fig.7 : Simulação com tempos de amostragem %0.4f e %0.4f segundos ',Ts1,Ts2);
stairs(t2,y2);hold on
stairs(t3,y3);title(tit);hold off;
legend(strcat('Ts=',num2str(Ts1)), strcat('Ts=',num2str(Ts2)));
```



3.1 Em que instantes as curvas para os dois tempos de amostragem são iguais na Figura 7? Por quê?

Resposta: Nos instantes 0, 0.52 e 1.04. Eles são múltiplos de 0.04 e 0.13.

3.2 Explique o efeito do segurador de ordem zero nas curvas mostradas na figura 7, e informe em que blocos eles estão na figura 1 (abra o arquivo slx e confira).

Resposta: Ele faz a reconstrução do sinal que um conversor A/D faz. Ele está nos blocos do PWM e do Conversor A/D.

Atividade 4 - Discretização do modelo de primeira ordem + tempo morto

Caso tenha dúvidas sobre a discretização de um sistema de primeira ordem, veja o apêndice. Video mais conceitual sobre o tema pode ser visto em Luis Aguirre

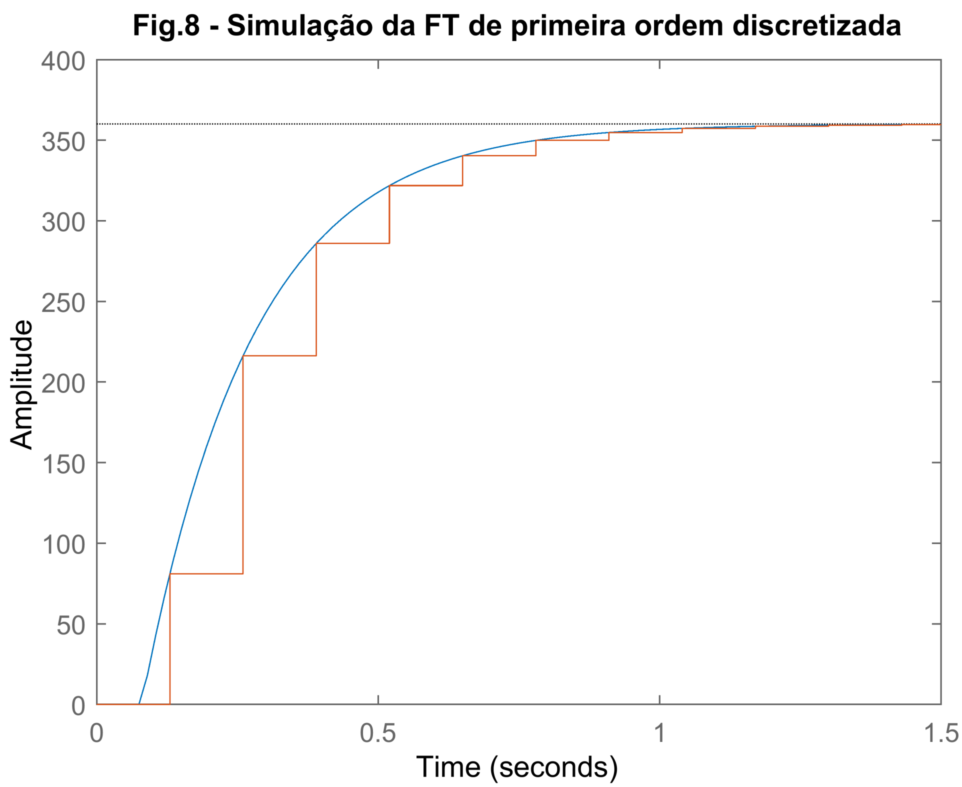
```
G=g
```

```
G =
 
                    4
  exp(-0.08*s) * -----------
                 0.196 s + 1
 
Continuous-time transfer function.
```

```
Gd=c2d(G,Ts2)
```

```
Gd =
 
            0.9007 z + 1.039
  z^(-1) * ----------------
               z - 0.5152
 
Sample time: 0.13 seconds
Discrete-time transfer function.
```

```
step(PWM*G,PWM*Gd, Tempo);title('Fig.8 - Simulação da FT de primeira ordem discretizada');
```



4.1 Explique o que é mostrado na figura 8 e que tempo de discretização foi utilizado

Resposta: A figura 8 mostra o modelo projetado e a sua discretização (usando Ts = 0.13s)

4.2 Explique de onde vem o termo z^{-d} de Gd e o explique o valor de d.

Resposta: Esse termo z^-d vem por causa da discretização do atraso de tempo. O valor de 1 é devido o tempo morto corresponde a um atraso de tempo.

4.3 Quantos e quais são os polos de malha fechada de Gd? Explique, lembrando que o sistema modelado tem ordem 1.

Resposta: Existe apenas um polo de 0.5152.

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

```
ans = datetime
   23-Jun-2021 10:28:11
```

```
pwd
```

```
ans =
'C:\Users\malaquias\Desktop\UFES - LCA\Aula2'
```

Apêndice - discretização

Considere a FT $G(s) = \frac{1}{s+2}$ e o tempo de amostragem $T = 0.2s$.

A discretização desta FT sem SOZé obtida diretamente da tabela de transformada Z.

$$G(z) = \frac{z}{z - e^{-2T}} = \frac{z}{(z - 0.67)}$$

Adicionando ao SOZ, resulta

$$G(z) = \frac{1}{2}\frac{z-1}{z} Z\left[\frac{2}{s(s+2)}\right] = \frac{1}{2}\frac{z-1}{z}\frac{z(1-e^{-2T})}{(z-0.67)(z-1)}$$
$$= \frac{0.165}{(z-0.67)}$$

Discretizacão do atraso de tempo

Caso haja atraso de tempo, ele também deve ser discretizado. Seja

$$G(s) = \frac{e^{-0.4s}}{s+2}$$

Como $z = e^{\mathrm{T}s}$, resulta

$$G(z) = \frac{0.165}{(z-0.67)} z^{-4}$$

Ou seja, o tempo morto corresponde a 4 atrasos de tempo, uma vez que o tempo de amostragem é 0.1s.