Laboratório de Controle - Aula 3 - 2022/1

Introdução ao Matlab e Simulink para simulação de sistemas dinâmicos

Nome: Dionatas Santos Brito

Objetivo desta aula: fazer simulações de um sistema de dois tanques acoplados usando modelos lineares, não lineares e discretos

IMPORTANTE: usar Run Section para fazer as atividades e Run para gerar o relatório final a ser entregue.

Assista o video **sobre esta aula.**

```
turma=3;
I=1;
[h10,h20,q,a1,a2]=init(turma,I)
```

```
h10 = 60
h20 = 40
q = 60
a1 = 2.9146
a2 = 3.5696
```

```
Ar=pi*12.5^2;
datetime('now')
```

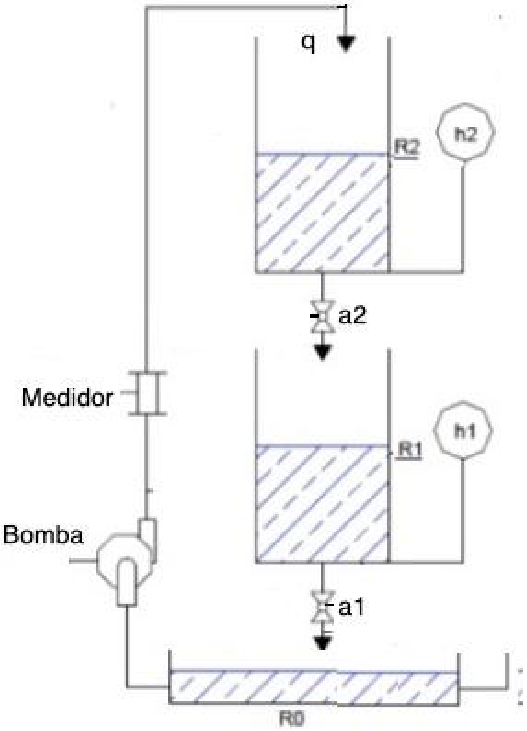
```
ans = datetime
   26-May-2022 23:25:06
```

```
pwd
```

```
ans =
'C:\Users\diona\OneDrive\Área de Trabalho\ufes\Laboratorio de Controle Automático\Aula3'
```

```
tic
```

Sistema de dois tanques acoplados



A bomba produz uma vazão q no reservatório superior R2, que desce para R1 através da válvula manual a_2. A água de R1 escoa para R0 através da válvula manual a_1.

Equações que regem seu comportamento:

$$\frac{dh_1}{dt} = -\frac{a_1}{A}\sqrt{2gh_1} + \frac{a_2}{A}\sqrt{2gh_2}$$

$$\frac{dh_2}{dt} = -\frac{a_2}{A}\sqrt{2gh_2} + \frac{100}{6A}q$$

Vazão q em l/min

Nível em cm

Gravidade $g = 981\frac{cm}{s^2}$

Área dos tanques $A = \pi 12.5^2 cm^2$

Ponto de operação do sistema:

Os dois níveis se estabilizam quando a vazão que passa por a_1 é igual a que passa por a_2, sendo iguais a q. Os niveis h_1 e h_2 dependem dos valores de a_1 e a_2, respectivamente. Para obter o ponto de operação, basta fazer as derivadas iguais a zero.

O ponto de operação é definido pela vazão q e pelos níveis h_1 e h_2, que por sua vez depende das aberturas a_1 e a_2, respectivamente.

Linearização:

Definindo:

$u = q - q_0$

$x = h - h_0$

$\dot{x} = \dot{h}$ (para o sistema não linear tem-se h para representar o nível e para o sistema linear tem-se x).

e usando a expansão em séries de Taylor na parte não linear da equação de nível:

$$\frac{df(x,q)}{dx} = \frac{a_1\sqrt{2g}}{2\sqrt{x_0}} = a_1\sqrt{g/2x_0}$$

resultam as equações de $x_1(t)$ e $x_2(t)$ linearizadas em torno de x_{10}, x_{20}, q_0:

$$A\frac{dx_2}{dt} = \frac{100}{6}q - a_2\sqrt{\frac{g}{2x_{20}}}x_2$$

$$A\frac{dx_1}{dt} = -a_1\sqrt{\frac{g}{2x_{10}}}x_1 + a_2\sqrt{\frac{g}{2x_{20}}}x_2$$

Destas equações pode-se obter o modelo em variáveis de estado

$$\dot{x} = Ax + Bu$$
$$y = Cx$$

e o modelo por função de transferência

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = G(s) = C(sI - A)^1 B$$

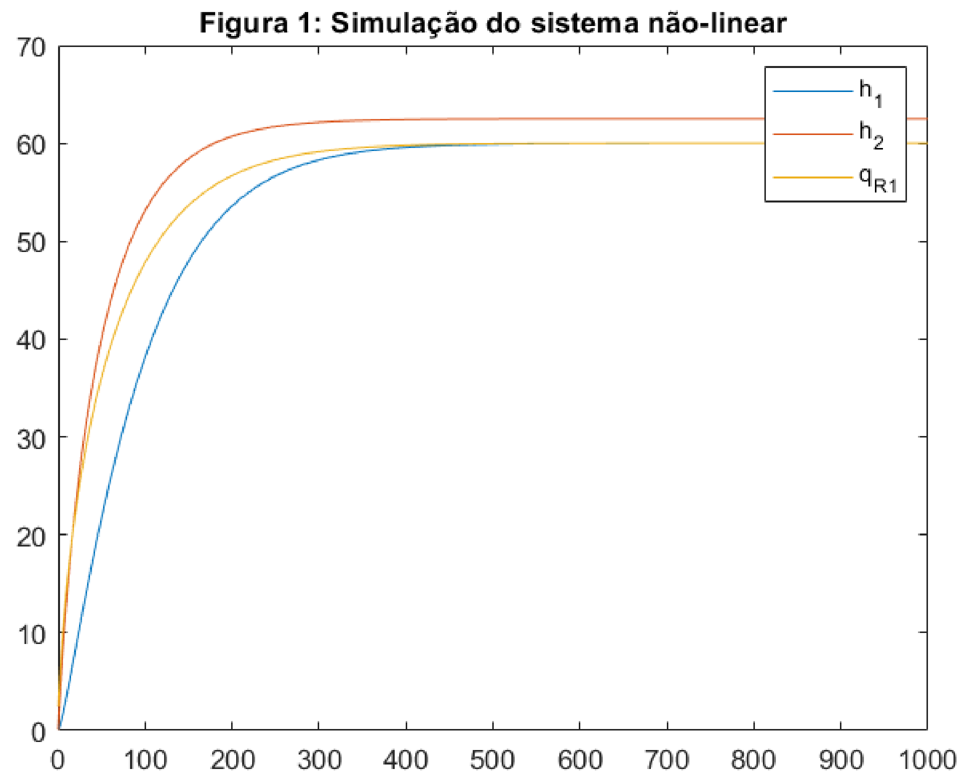
Atividade 1: Simulação do sistema não linear

1.1 Simular o modelo não linear no Matlab para o ponto de operacão definido, e identificar seu ponto de operação, comentando o comportamento das curvas 3 e seus valores. Observe que a função "nivel_2tanques" contém exatamente as equações do modelo não linear.

```
function dh = nivel_2tanques(t,h,a1,a2,q)

g=981;

A=pi*12.5^2;

dh1=-(a1/A)*sqrt(2*g*h(1))+(a2/A)*sqrt(2*g*h(2));

dh2=-(a2/A)*sqrt(2*g*h(2))+(100/6)*q/A;
```

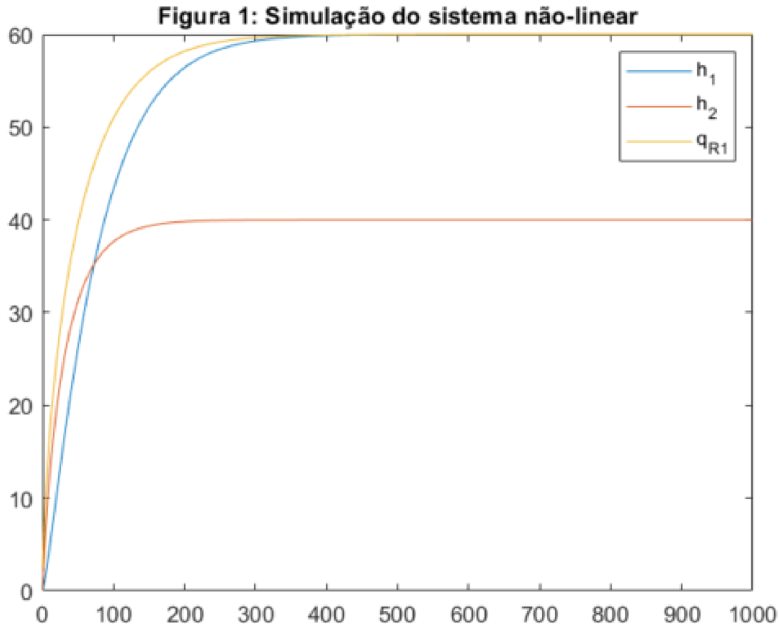
dh=[dh1;dh2];

```
[t,h] = ode45(@(t,y) nivel_2tanques(t,y,a1,a2*0.8,q), [0 1000], [0.1;0.1]);
%[t,h] = ode45(@(t,y) nivel_2tanques(t,y,a1,a2,q), [0 1000], [0.1;0.1]);
qr1=(6/100)*a1*sqrt(2*981*h(:,1));
figure;
plot(t,h,t,qr1);legend('h_1','h_2','q_{R1}');title('Figura 1: Simulação do sistema não-linear')
```



Resposta:

```
[t,h] = ode45(@(t,y) nivel_2tanques(t,y,a1,a2,q), [0 1000], [0.1;0.1]);
qr1=(6/100)*a1*sqrt(2*981*h(:,1));
figure;
plot(t,h,t,qr1);legend('h_1','h_2','q_{R1}');title('Figura 1: Simulação do sistema não-linear');
```



Curva h_1: Aproximadamente 60.

Curva h_2: Aproximadamente 40.

Curva q: Aproximadamente 60.

Ponto de operação: Seria em torno do 60.

Os dois níveis "h_1" e "h_2" não se establizaram nessa simulação.

O nível da curva do h_1 se tornou igual a "q", entretanto o nível de "h_2" não atingiu o mesmo valor que nível de "h_1" .

O ponto de operação do sistema seria em torno do 60, se o nível de h_2 fosse o mesmo valor que os niveis de h_1 e q.

1.2 Mostre ao professor o resultado da simulação e obtenha com ele a simulação que deve ser feita neste item, explicando abaixo o que foi pedido e o resultado da análise.

Resposta:

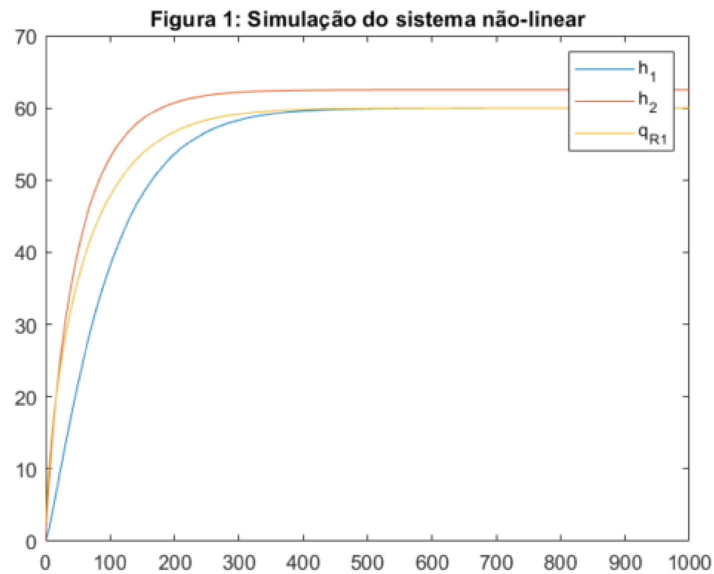
Não foi possivel obter com o professor a simulação desejada, pois ele estava em uma audiência.

Foi pedido para multiplicar o a2 por 0.8(em apenas uma linha):

t,h] = ode45(@(t,y) nivel_2tanques(t,y,a1,a2*0.8,q), [0 1000], [0.1;0.1]);

A modificação do a2 gerou a seguinte simulação:

```
[t,h] = ode45(@(t,y) nivel_2tanques(t,y,a1,a2*0.8,q), [0 1000], [0.1;0.1]);
%[t,h] = ode45(@(t,y) nivel_2tanques(t,y,a1,a2,q), [0 1000], [0.1;0.1]);
qr1=(6/100)*a1*sqrt(2*981*h(:,1));
figure;
plot(t,h,t,qr1);legend('h_1','h_2','q_{R1}');title('Figura 1: Simulação do sistema não-linear');
```

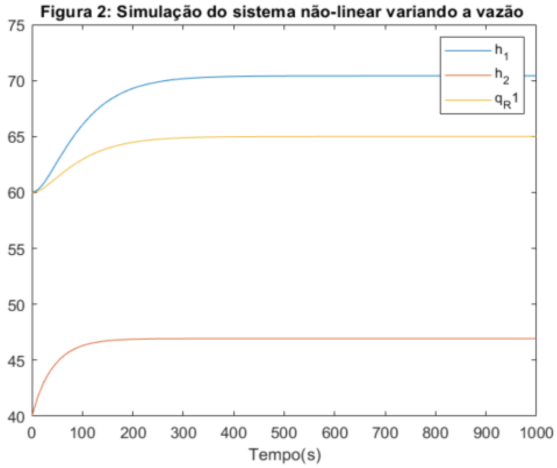


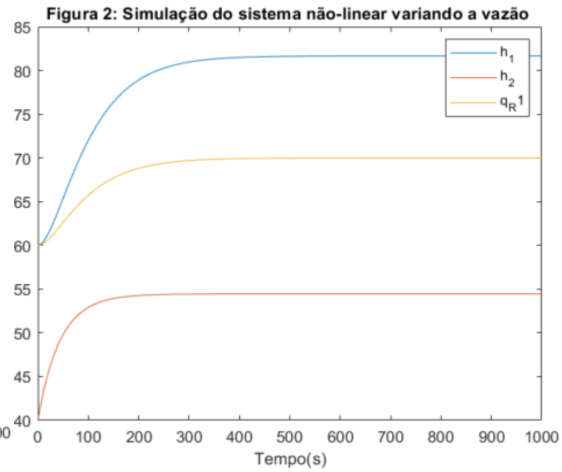
Como o ponto de operação é definido pela vazão q e pelos níveis h_1 e h_2, que por sua vez depende das aberturas a_1 e a_2, ao multiplicar por 0,8 alterando o valor da abertura de "a_2", o nível de h_2 aumentou, se tornando mais próximo do valor que seria o ponto de operação

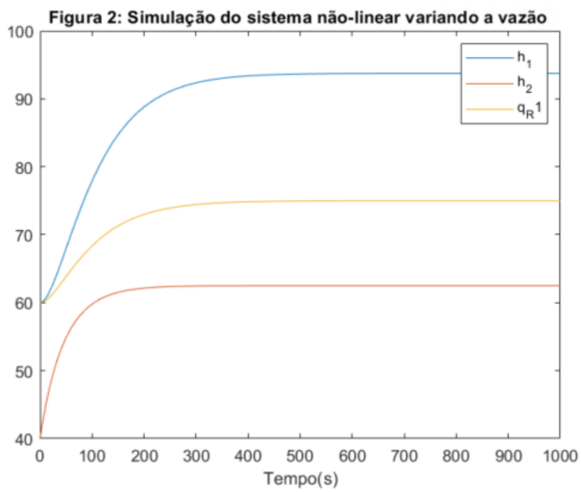
1.3 Refazer a simulação começando do ponto de operação e aumentando ou diminuindo um pouco a vazão q, variando dq, comentando o efeito sobre as curvas e seus valores.

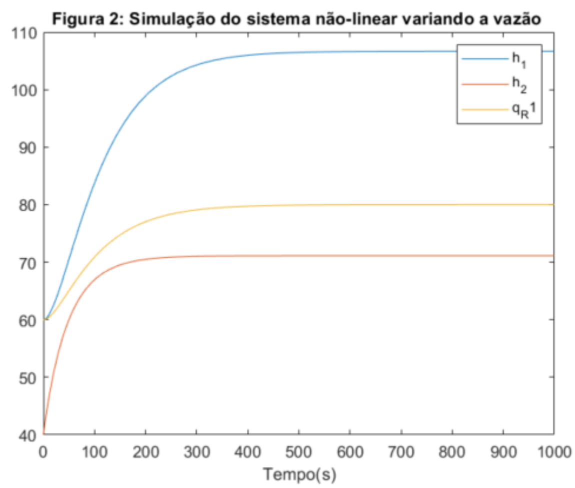
Resposta:

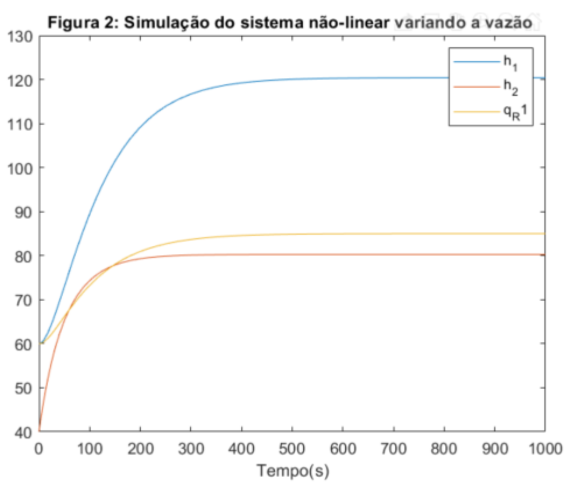
Efeito do aumento no reservatorio superior h_2, foi variado o dq cinco vezes, partindo de 5 até 25, de 5 em 5







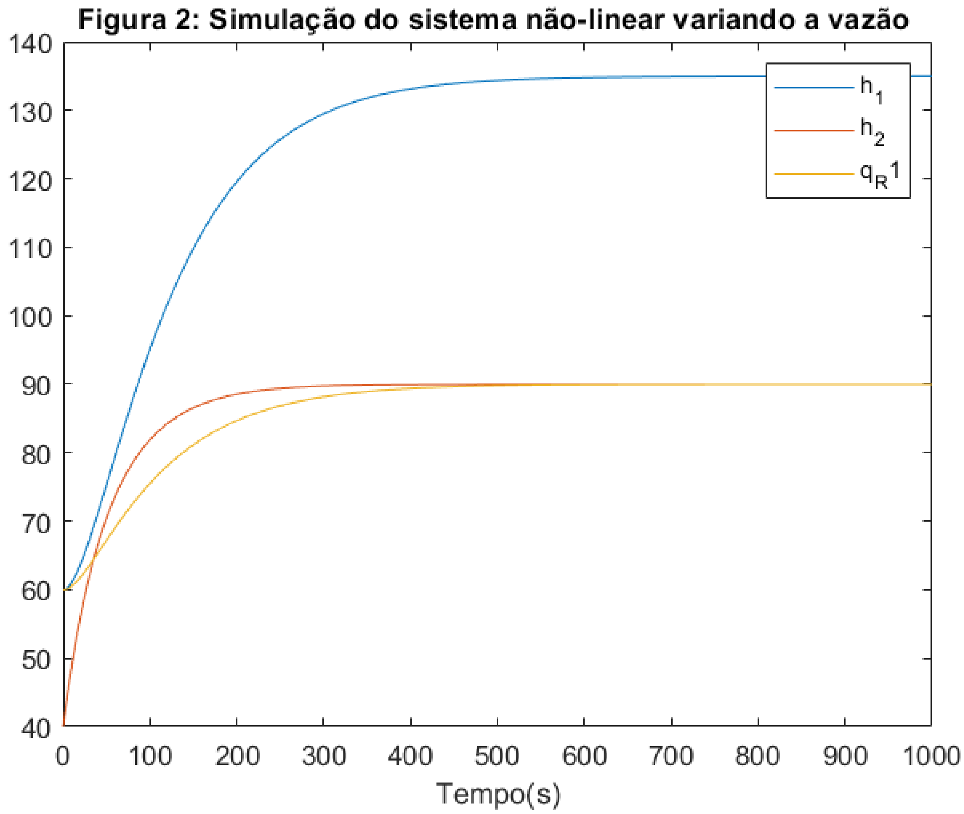




Com essas simulações, foi observado que ao alterar o valor de dq ocasiona na aproximação do nível do reservatório h_2 em relação com o nível de h_1 e a vazão q, que consequentemente, irá convergir no ponto de operaçãp próximo ao 60.

```
dq=30;
[t,h] = ode45(@(t,y) nivel_2tanques(t,y,a1,a2,q+dq), [0 1000], [h10;h20]);
qr1=(6/100)*a1*sqrt(2*981*h(:,1));
```

```
figure;
plot(t,h,t,qr1);legend('h_1','h_2','q_R1');
title('Figura 2: Simulação do sistema não-linear variando a vazão ');
xlabel('Tempo(s)')
```



Atividade 2: Simulação do sistema linear

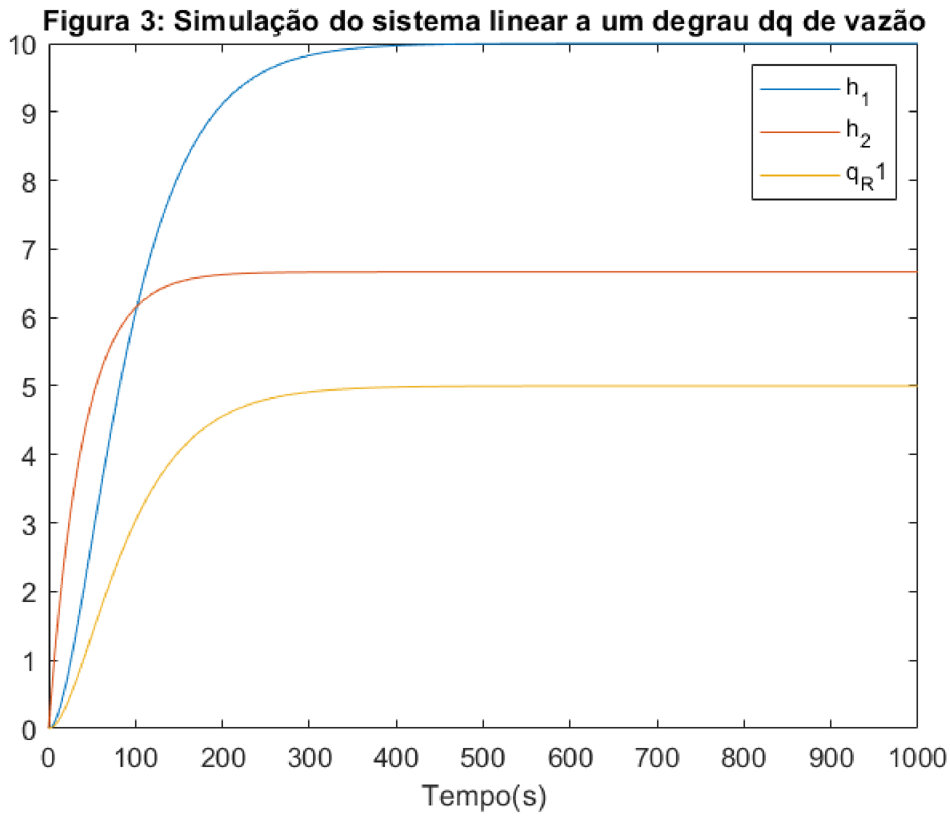
No código a seguir, o sistema linearizado é representado em variáveis de estado por s1.

A FT G é obtida considerando como saída apenas o nivel h1 de R1.

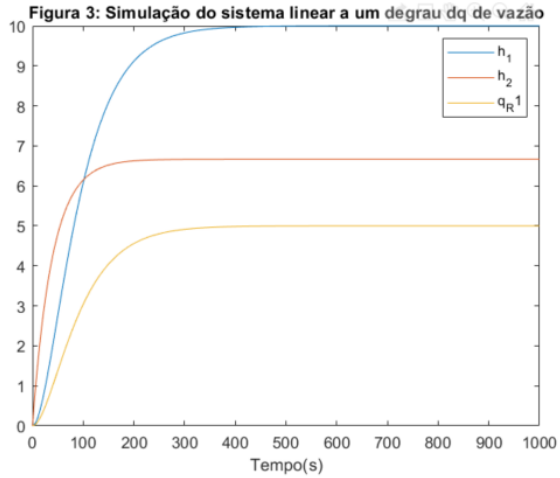
Aplica-se uma variação dq à vazão do ponto de operação q, ou seja, aplica-se uma vazão q+dq. Escolher o tempo de simulação adequado T1.

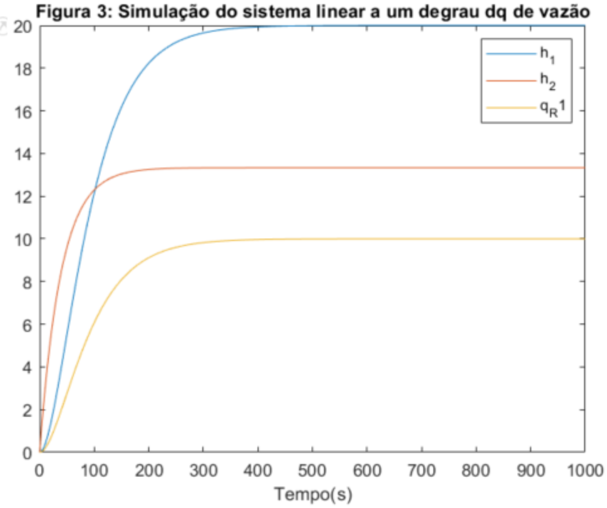
```
T1=1000;
dq=5;
A=[-(a1/Ar)*sqrt(981/(2*h10))   (a2/Ar)*sqrt(981/(2*h20));0 -(a2/Ar)*sqrt(981/(2*h20))];


B=[0;100/(6*Ar)];
C=[1 0;0 1;(6/100)*a1*sqrt(981/(2*h10)) 0];
C0=[1 0];
D=[];
s1=ss(A,B,C,D);
s0=ss(A,B,C0,D);
G=tf(s0);
```

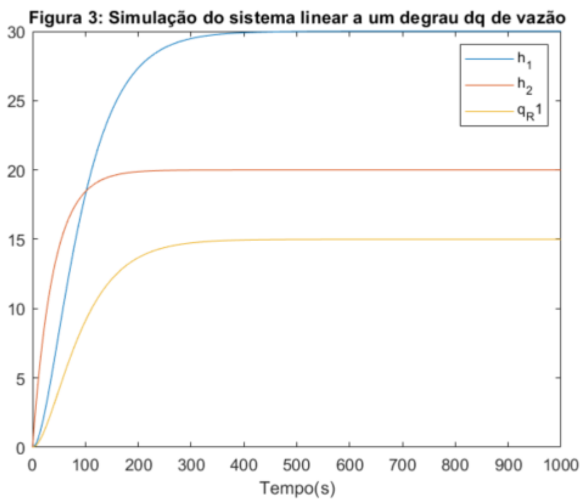
```
[x,t,z]=step(dq*s1,T1);
figure;
plot(t,x);legend('h_1','h_2','q_R1');
title('Figura 3: Simulação do sistema linear a um degrau dq de vazão');
xlabel('Tempo(s)')
```

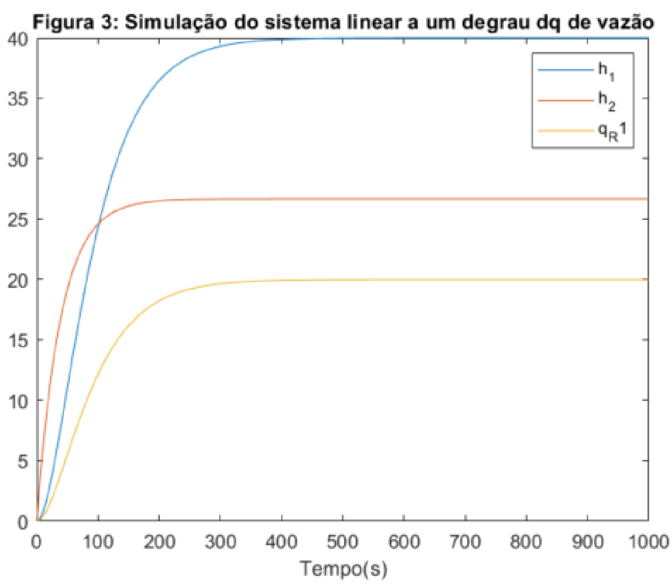


2.1 Comentar as variações dos níveis e da vazão em torno do ponto de operação para o degrau aplicado.









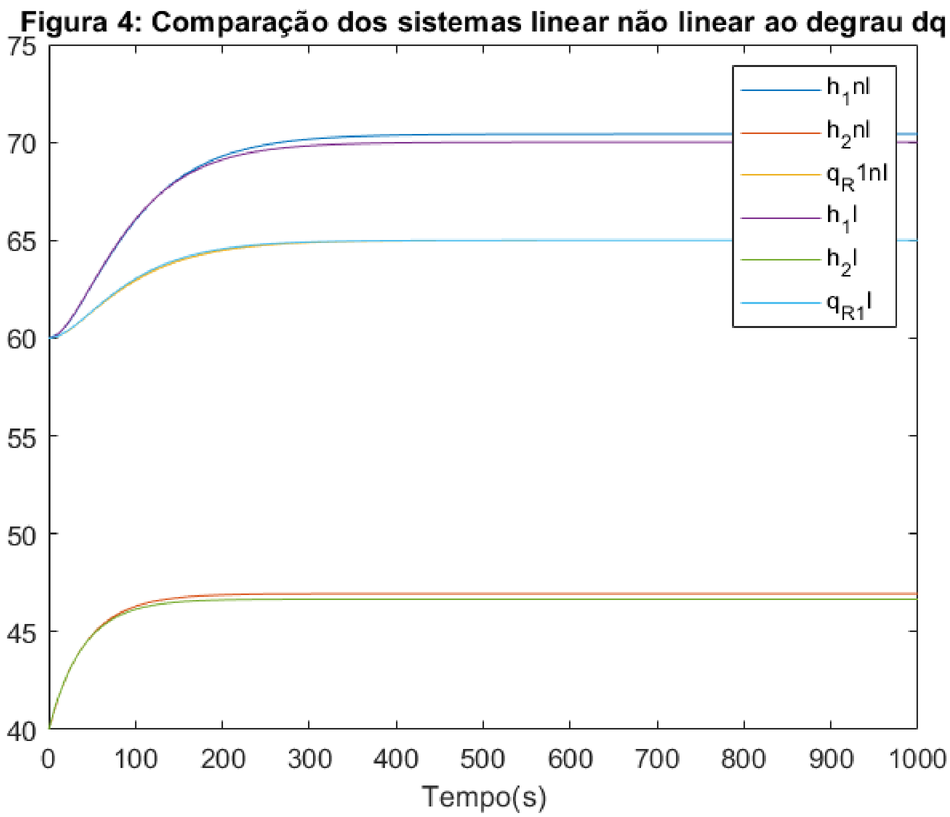
Resposta:

Foi variando o dq quatro vezes (5,10,15,20)

Vazão e Níveis: A medida que foi aumentado dq, a vazão q aumentou e consequentemente os níveis de h_1 e h_2 também aumentaram em torno do ponto de operação após o degrau ser aplicado.

Para comparar a resposta linear e não linear, deve-se somar o ponto de operação ao sistema linear, uma vez que sua simulação começa em zero. A função bsxfun soma o ponto de operação aos níveis e a vazão da simulação linear.

```
xnl=bsxfun(@plus,x,[h10 h20 q]);
[t1,h1] = ode45(@(t,y) nivel_2tanques(t,y,a1,a2,q+dq), [0 T1], [h10;h20]);
qr11=(6/100)*a1*sqrt(2*981*h1(:,1));
figure;
plot(t1,[h1 qr11],t,xnl);legend('h_1nl','h_2nl','q_R1nl','h_1l','h_2l','q_{R1}l')
title('Figura 4: Comparação dos sistemas linear não linear ao degrau dq');
xlabel('Tempo(s)')
```




```
erro_regime=100*xnl(end,1:2)./h1(end,1:2)
```

```
erro_regime = 1×2
   99.4083   99.4083
```

```
TOE=toc
```

```
TOE = 43.5322
```

2.2 Comparar a resposta do sistema linear e não linear variando a vazão aplicada via dq. Qual a máxima variação na vazão aplicada para que o erro em regime de h_1 e h_2 não passe de 2%?

Resposta: A máxima variação na vazão aplicada seria 99.4083 e o erro de regime irá ser aproximadamente 0.6%

```
erro_regime=100*xnl(end,1:2)./h1(end,1:2)
```

```
erro_regime = 1×2
     99.4083   99.4083
```

2.3 Gere um modelo s1d discreto justificando a escolha do tempo de amostragem Ts. Plote então a resposta ao degrau dos sistemas continuos e discretos na mesma figura (step(s1,s1d)).

Justificativa para escolha de Ts: Eu escolhi o valor do Ts por chute, foi tentativa de deixar o gráfico com uma diferença adequada e visível.

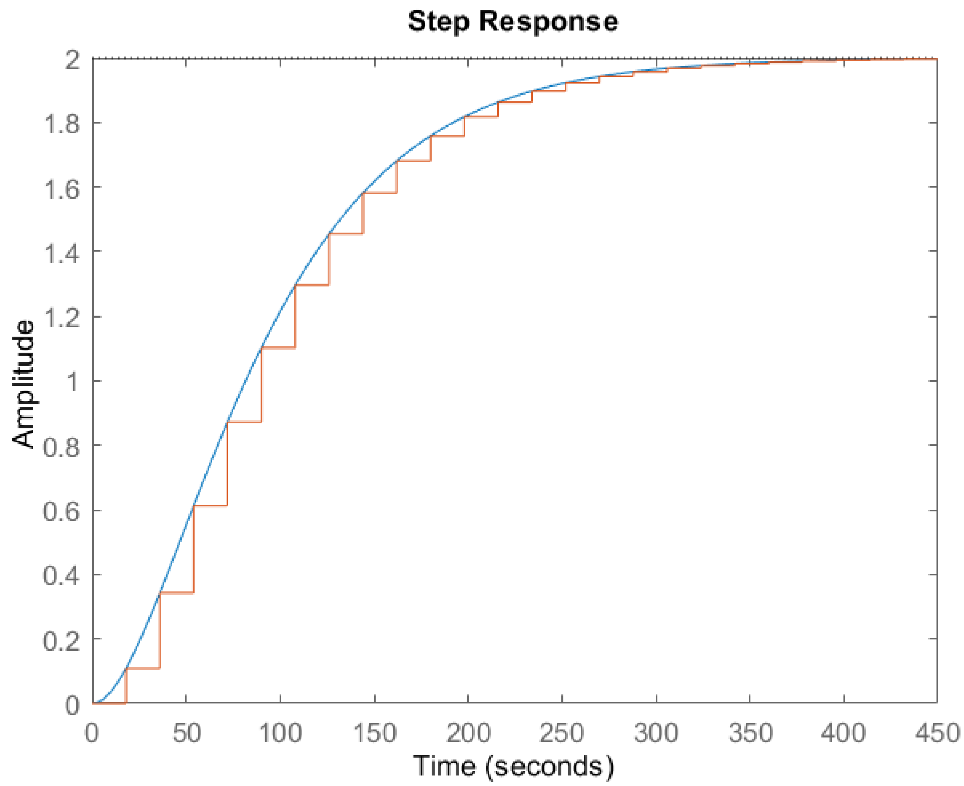
```
Ts=18
```

```
Ts = 18
```

```
gd=c2d(G,Ts)
```

```
gd =
 
    0.1091 z + 0.08455
  ----------------------
  z^2 - 1.369 z + 0.4658
 
Sample time: 18 seconds
Discrete-time transfer function.
```

```
step(G,gd)
```

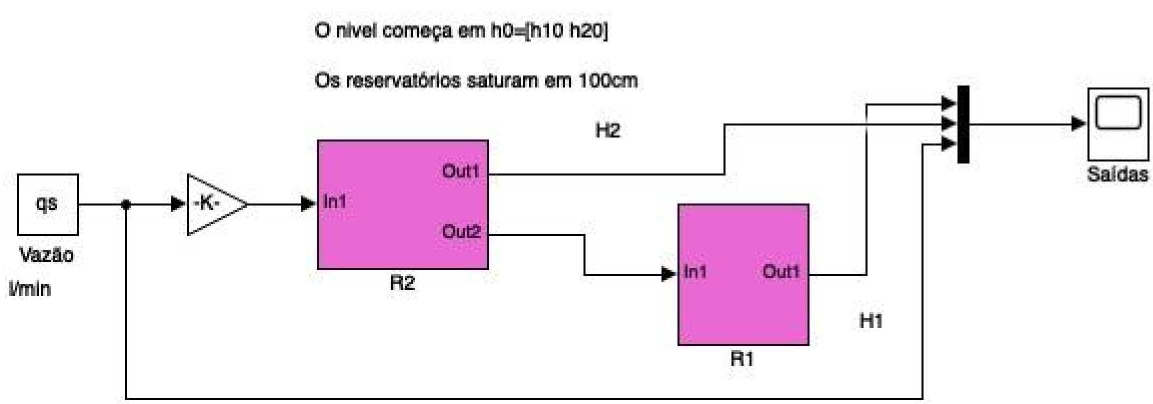


Atividade 3: Simulação dos dois tanques no simulink

O diagrama mostrado é utilizado para simular o sistema de dois 2 tanques. Uma saturação é introduzida nos integradores de R1 e R2 para que o nível não passe de 100 cm, para uma simulação mais real.

Todos os parâmetros já definidos são utilizados no diagrama. Pode-se variar a vazão de entrada qs, escolhendo uma variação dqs. A simulação inicia no ponto de operação já definido.

3.1 Escolha um valor de dqs tal que apenas um dos reservatórios chegue em 100cm. Comente as curvas e seus valores.




```
dqs=0;
```

```
qs=q+dqs;
[y2,t2]=simula_slx(T1);
```

```
Simulink startup was interrupted. To ensure that Simulink is ready
 to use, run sl_refresh_customizations before opening a model.
ans =
    'Error using slCustomizer.staticRefresh
     Program interruption (Ctrl-C) has been detected.'
```

```
figure;
plot(t2,y2);
legend('h_1nl','h_2nl','q')
title('Figura 5: Simulação do sistema não linear no simulink');
xlabel('Tempo(s)')
```

Atividade 4: Avaliação dos modelos

4.1 Verique os polos do sistema de dois tanques, informando se são reais ou complexos e se o sistema é estável, e por quê. Analise tanto o sistema contínuo quanto o discreto.

Caso contínuo: são reais, polos no lado esquedo (negativos) é um sistema estável

```
pole(G)
```

```
ans = 2×1
   -0.0255
   -0.0170
```

Caso discreto: são reais, polos dentro do circulo unitário (menor que 1) é um sistema estável

```
pole(gd)
```

```
ans = 2×1
    0.7367
    0.6323
```

4.2 Obtenha a função de transferência que relacione a vazão aplicada Q(s) com a vazão de saída do reservatório R2. Aplique então um degrau unitário na FT e explique o comportamento da saída.

Resposta:

```

```