Aula 3 - Laboratório de Controle - 2021/1

Identificação de modelos a partir de dados

Nome: Yuri Rissi Negri

Atividade 1: Análise da resposta do motor

O modelo do motor utiizado é mostrado na Figura 1. A entrada é o sinal PWM e a saída agora é a rotação, em RPM. Um sinal de ruído é adicionado a saída.

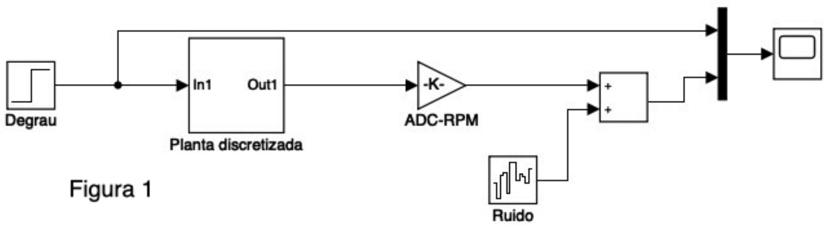
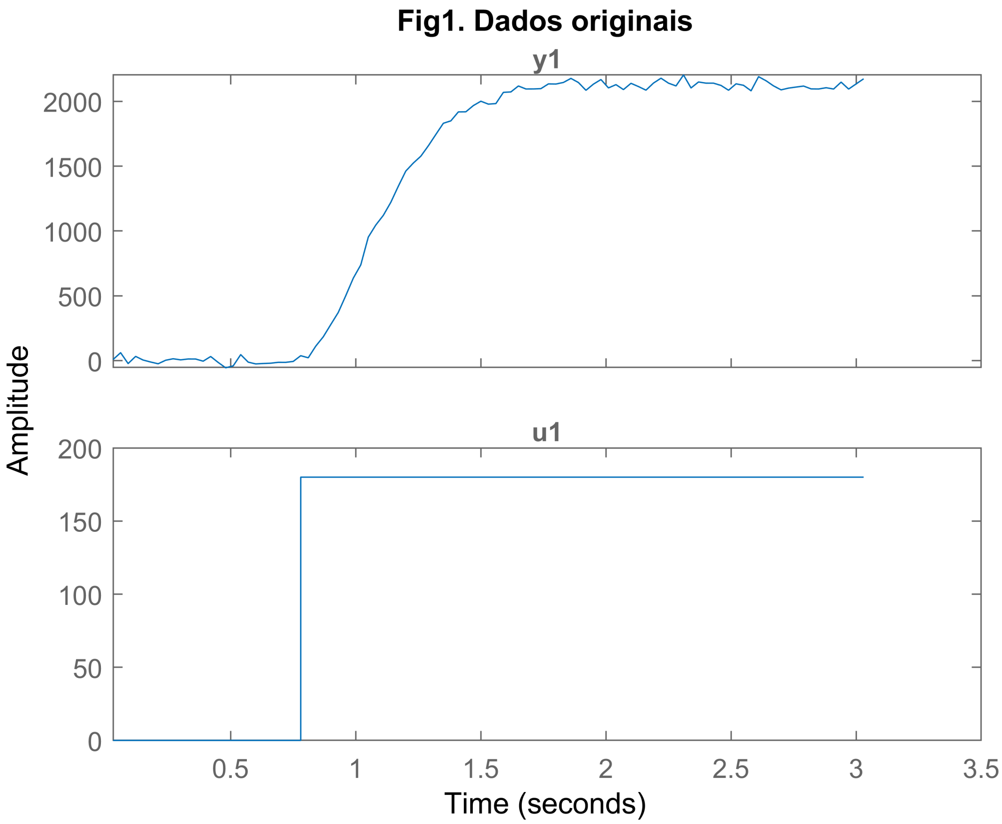


Figura 1

```
Tempo = 3;
arquivo='aula3_2018.slx';
Stepdelay=0.25*Tempo;

[wn,PWM,rpm_r,Ts]=init(8,5);
warning('off','all');
[y,u,t]=simula_slx(arquivo,Tempo);
dat=iddata(y,u,Ts);
plot(dat); title('Fig1. Dados originais')
```



1.1 Explicar o que representam as duas curvas da Figura 1.

A primeira curva representa a nossa saída para o modelo do motor. Essa que será a rotação do motor somado de um ruido que foi introduzido ao sistema. O ruido dificulta na nossa analise, mas podemos dizer que em regime permanente, nosso primeiro gráfico apresenta um valor aproximado de Y = 2100.

Já o nosso segundo gráfico, é referente a nossa entrada em PWM, que está relacionada ao numero de rotações do motor, e em regime permanente em Y= 180 para os parâmetros adotados. Podemos observar também que o atraso das duas curvas são próximas está em torno de 0,75 segundos.

1.2 Calcular o valor da entrada PWM para ter em regime uma saída de velocidade = rpm_r. Explicar o cálculo e informar como obter o valor da saída em regime na figura 2.

Nossa entrada PWM esta relacionada a nossa saída pelo ganho do sistema, que é dado por K = (saída/entrada) em regime permanente. Do item anterior podemos então calcular o ganho aproximado para esse sistema:

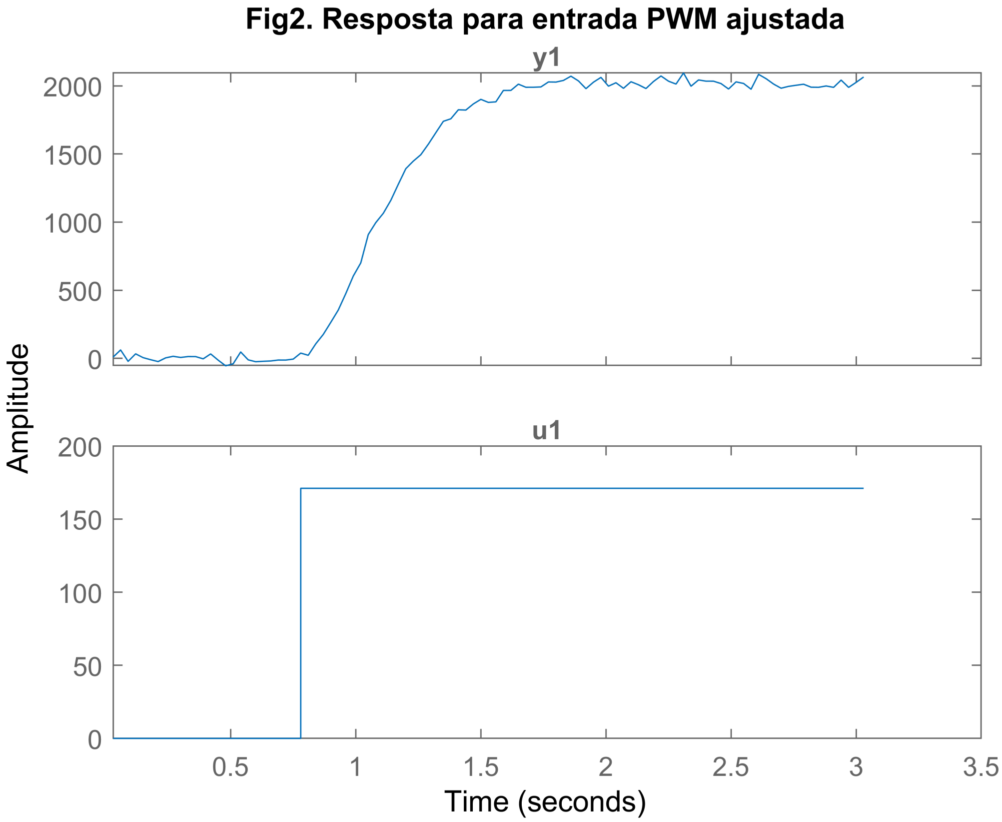
K = 2100/180 = 11,67

Assim, para uma valor de rpm_r = 2000, podemos isolar a entrada na formula do ganho, e utilizando o K calculado, encontrar a entrada PWM para gerar essa saída.

entrada = (saída/K) = 2000/11,67 ~= 171

PWM =171

```
PWM=171;
[y,u,t]=simula_slx(arquivo,Tempo);
dat=iddata(y,u,Ts);
plot(dat);title('Fig2. Resposta para entrada PWM ajustada')
```



Atividade 2: Identificação dos modelos contínuos de ordem 1 e 2

Ler o apêndice sobre a identificação de funções de transferência e o sobre o índice fit para medir a qualidade do modelo. Depois, use os comandos abaixo para estimar a FT g1 de ordem 1 e a FT g2 de ordem 2.

```
delay=t(sum(y<0.1*y(end)))-Stepdelay;
g1=tfest(dat,1,0,delay)
```

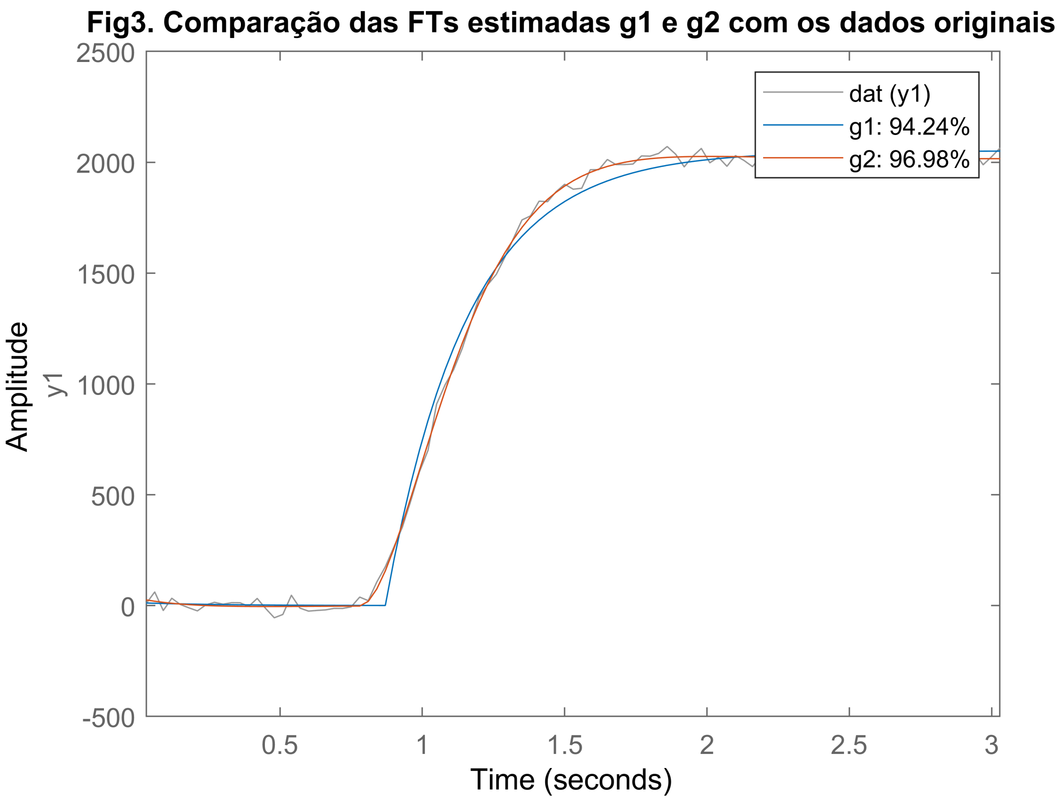
```
g1 =

  From input "u1" to output "y1":
                   41.79
  exp(-0.09*s) * ---------
                 s + 3.483
```

```
Continuous-time identified transfer function.

Parameterization:
   Number of poles: 1   Number of zeros: 0
   Number of free coefficients: 2
   Use "tfdata", "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
Estimated using TFEST on time domain data "dat".
Fit to estimation data: 94.24%
FPE: 2779, MSE: 2619
```

```
g2=tfest(dat,2,0)
```

```
g2 =

  From input "u1" to output "y1":
          295.5
  ---------------------
  s^2 + 8.612 s + 25.06

Continuous-time identified transfer function.

Parameterization:
   Number of poles: 2   Number of zeros: 0
   Number of free coefficients: 3
   Use "tfdata", "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
Estimated using TFEST on time domain data "dat".
Fit to estimation data: 96.98%
FPE: 795.1, MSE: 720.1
```

```
figure;compare(dat,g1,g2);
title('Fig3. Comparação das FTs estimadas g1 e g2 com os dados originais');
```



2.1 Explique o comando tfest e analise o FIT de g1 e g2, comparando.

O comando tfest estima uma função de transferência com parâmetros especificados, no caso o número de pólos e zeros, que se aproxima da curva original, no nosso caso, dada por "dat". Assim, podemos gerar uma curva de aproximação com ordem desejada, a fim de se obter o melhor resultado, onde a qualidade da aproximação é dado pelo calculo da métrica FIT. Assim analisando o gráfico da figura 3, podemos perceber que a curva g2 apresenta um FIT mais próximo de 100% em comparação a curva g1, ou seja, a curva g2 apresenta um erro menor sobre a saída quando comparada a g1, sendo uma melhor aproximação. Isso se dá pelo fato que foi estimado uma FT de ordem maior para g2, o que diminui o erro, mas também aumenta a dificuldade de análise por apresentar mais pólos.

2.2 Compare esse método de estimar g1 ao utilizado na aula 2 (atividade 2).

Durante a aula 2, para podermos estimar a nossa curva tivemos que encontrar manualmente o ganho, a constante de tempo e o atraso da nossa curva original a fim de traçar varias curvas, fixando o ganho, mas com diferentes valores de atraso. Dessa forma, selecionar a curva que apresentou um menor erro dentre nossa faixa de valores, e a constante de tempo associado.

Em comparação, o método que utilizamos para estimar g1, utiliza amostras da nossa função original "dat" como parâmetro de entrada para a função tfest, juntamente com o número de pólos e zeros. Também é dado como entrada o atraso de tempo delay, calculado pela função delay=t(sum(y<0.1*y(end)))-Stepdelay.

Assim a função estima a FT que nos gera melhor curva para aquela ordem de sistema, juntamente com o índice FIT sem a necessidade de se calcular o ganho e testar diferentes atrasos de tempo e constantes de tempo. Dessa forma, o método desta aula utilizou muito menos etapas e linhas de código, sendo assim mais prático.

2.3 Compare g1 com a FT G de primeira ordem+tempo morto $G = \frac{e^{ds}K}{\tau s + 1}$ e obtenha o ganho K e a constante de tempo τ.

Para obter o ganho e a constante de tempo, devemos antes manipular a FT de g1 para que a mesma fique como em $G = \frac{e^{ds}K}{\tau s + 1}$

Assim, para o nosso caso, basta dividir o denominador e numerador por 3,483. Vamos obter assim:

K = 41,79/3,483 = 12

τ = 1/3,483 = 0,287 s

2.4 Compare g2 com o protótipo de segunda ordem em malha fechada $M(s) = \frac{w_n^2}{s^2 + 2\zeta w_n s + wn^2}$ e obtenha ζ e w_n.

O enunciado nos pede para encontrar os elementos associados a malha fechada, assim, utilizando o comando para obter g2 em malha fechada:

```
g2f = feedback (g2, 1)
```

```
g2f =

  From input "u1" to output "y1":
          295.5
  ---------------------
  s^2 + 8.612 s + 320.6

Continuous-time transfer function.
```

```
[Wn,zeta] = damp(g2f)
```

```
Wn = 2×1
   17.9052
   17.9052
zeta = 2×1
    0.2405
    0.2405
```

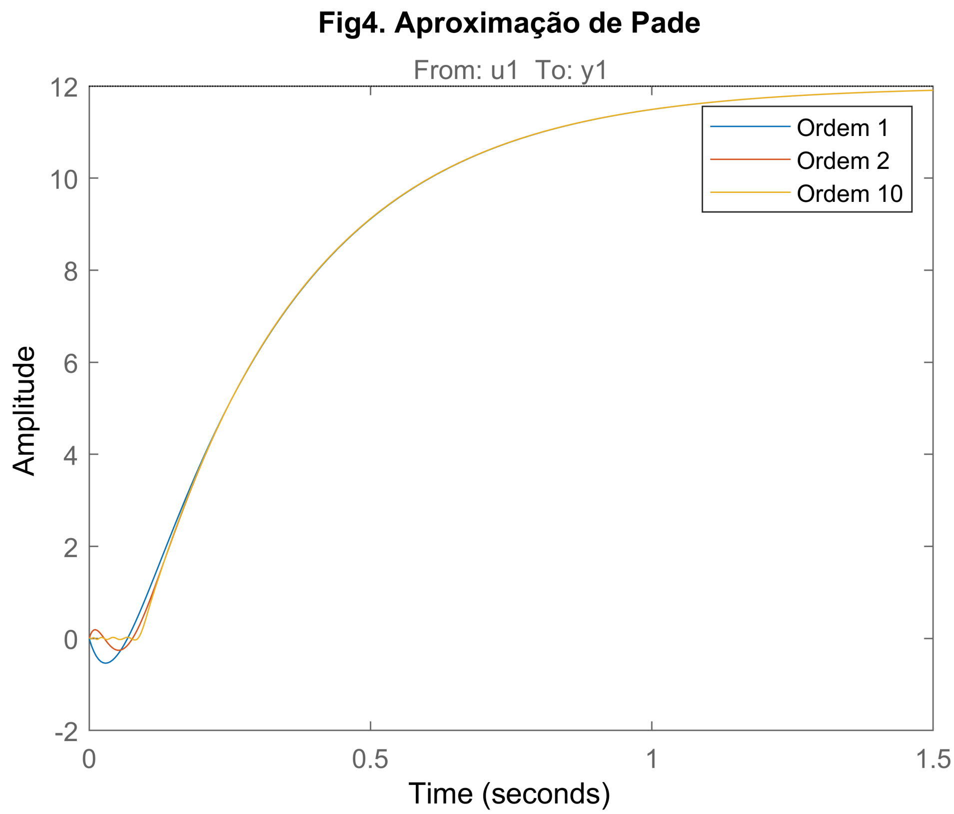
Atividade 3 - Aproximação de Padé do tempo morto

A aproximação de Padé permite aproximar o atraso e^{-ds} por polos e zeros, e assim obter FTs racionais na presença de atrasos (ver apêndice 2)

No script a seguir, usa-se aproximação de Padé de ordem 1,2,10 para aproximar o tempo morto de g1 por polinômios.

```
g1p=pade(g1,1);
g2p=pade(g1,2);
g10p=pade(g1,10);
```

```
figure(7);step(g1p , g2p, g10p, Tempo/2 );title('Fig4. Aproximação de Pade');legend('Ordem 1',
```



3.1 Use a aproximação de Padé para obter uma FT de malha fechada m1 de g1 e obtenha seus polos (ver links de ajuda na aula 2).

Vamos utilizar a g1 por ser de menor ordem, para facilitar a análise. Sendo assim, temos g1p a aproximação de Padé para g1, utilizou se os comandos para encontrar a FT em malha fechada e os pólos da mesma:

```
m1 = feedback (g1p, 1)
```

```
m1 =

  From input "u1" to output "y1":
    -41.79 s + 928.6
  --------------------
  s^2 - 16.08 s + 1006

Continuous-time transfer function.
```

```
pole (m1)
```

```
ans = 2×1 complex
   8.0413 +30.6818i
```

```
8.0413 -30.6818i
```

3.2 Use o comando rlocus para explicar o que ocorre com as raízes de 1+kg1(s)=0 (polos de malha fechada) quando o ganho k varia de zero a infinito (coloque apenas texto e informações do LR, sem comandos ou figuras).

Como explicado anteriormente vamos tomar a função g1p, por ser a de menor ordem, terá um menor numero de pólos, o que facilitara a nossa análise. Para g1p, iremos ter 2 pólos e um zero. Utilizando o comando rlocus, o mesmo irá automaticamente fechar a malha e tomar os pólos e zeros de malha aberta, e traçar assim os caminhos para todos os valores de raízes possíveis.

Assim, analisando o gráfico, vamos ter dois pólos onde K = 0:

Pólos de malha aberta: (-22,2 ; -3,5)

E vamos ter um zero onde K = infinito:

Zero: (22,2)

Portanto, vamos ter dois caminhos em que K vai de 0 a infinito. Sabemos também, que para o tempo continuo, para atender o critério de estabilidade, nossa raiz deve se encontrar do lado esquerdo do nosso eixo imaginário. Como nossos dois caminhos tendem para o lado direito do eixo imaginário, vamos ter um K limite que atenda a estabilidade. Esse K será dado quando o caminho interceptar o eixo imaginário. Sendo assim tomando o ponto graficamente, vamos ter:

Klim = 0,61 em +25,4i e -25,4i , que são os pontos onde os caminhos interceptam o eixo.

Assim, para valores menores que Klim o sistema será estável, enquanto que para qualquer valor maior que nosso Klim, vamos ter um sistema instável.

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

```
ans = datetime
   02-Jul-2021 21:08:00
```

```
pwd
```

```
ans =
'C:\Users\asus1\Desktop\Aula 3'
```

Apêndice 1

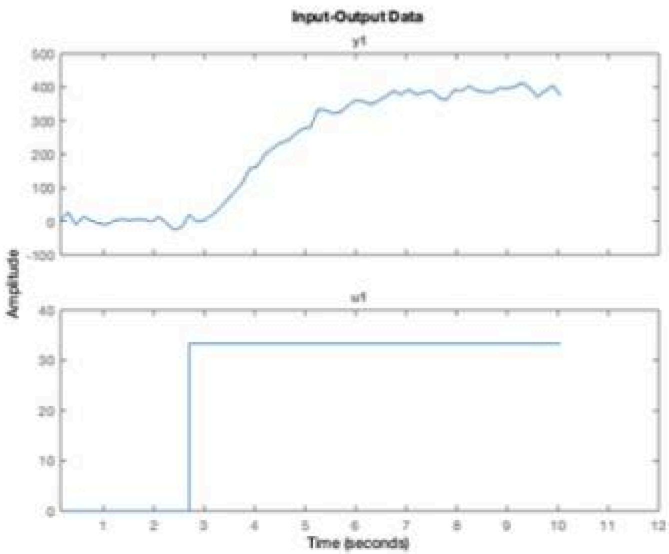
Identificação de modelos no Matlab

Seja o conjunto de dados de entrada-saída coletados e mostrados abaixo. Os métodos de identificação de sistemas permitem estimar os parâmetros de funções de transferência que aproximem a relação mostrada pelos dados.

A função tfest minimiza o erro do modelo para uma função de transferência com o número de polos e zeros especificados.

Exemplos:

```
g=tfest(dat,2,1); Estima uma FT com 2 polos e 1 zero
g=tfest(dat,1,0,d); Estima uma ft com 1 polo, nenhum zero e atraso=d
O numerador e denominador do modelo são acessados via g.Numerator e g.Denominator
Os dados usados por tfest são colocados na struct dat com o comando
dat=iddata(y,u,Ts);
```



Qualidade do modelo: usa-se a métrica fit, calculada por $fit = 100 * (1 - \frac{\|erro\|}{\|y - \bar{y}\|})$, sendo y a saída e $\bar{y}$ seu valor médio. Um valor de fit próximo de 100 indica que o erro é muito pequeno comparado ao sinal de saída y.

Ao estimar uma FT `g=tfest(dat,2,1),` o valor do FIT de g é obtido via `g.Report.Fit.FitPercent`

Apêndice 2

Aproximação de Padé

Seja a FT de primeira ordem+tempo morto $G(s) = \frac{Ke^{-ds}}{\tau s+1}$. Não é possível obter a FT de malha fechada $M(s) = \frac{G(s)}{1+G(s)}$, devido a presença do atraso no numerador, pois $M(s)$ não é uma FT racional (polinômio no numerador e no denominador).

A aproximação de Padé do atraso é uma solução para o problema. A aproximação de primeira ordem é

$$e^{-ds} \cong \frac{-s + 2/d}{s + 2/d}$$

e teríamos $G(s) \cong \frac{K(-s+\frac{2}{d})}{(\tau s+1)(s+\frac{2}{d})}$.

No Matlab, basta fazer g1p=pade(g1,N), sendo N a ordem da aproximação. g1p será a aproximação de Padé de ordem N de g1.