

Ivan Jorge Gabe | ivan.gabe@farroupilha.ifrs.edu.br
Vítor Paese De Carli | vitorpaesedecarli@gmail.com.br



DOWNLOAD DO TYPHOON HIL CONTROL CENTER

- **REQUISITANDO LICENÇA GRATUITA**

ACESSAR O LINK:

<https://info.typhoon-hil.com/virtual-hardware-in-the-loop-get-your-free-licence>

- **PREENCHA O FORMULÁRIO**

Access Free Virtual HIL License

FIRST NAME* LAST NAME*

Vitor Paese De Carli

EMAIL*

vitorpaesedecarli@gmail.com

COUNTRY*

Brazil

COMPANY NAME*

IFRS

COMPANY MARKET SEGMENT*

Academic

COMPANY MARKET VERTICAL*

Grid Modernization & Power Systems

PRIMARY JOB FUNCTION*

Student

Typhoon HIL is committed to protecting and respecting your privacy, and we'll only use your personal information to provide the services you requested. You can unsubscribe from these communications at any time. For more information please review our [Privacy Policy](#).

☐ I would like to receive other communications from Typhoon HIL.

SUBMIT

- **ABRIR LINK DO EMAIL E PREENCHER O FORMULÁRIO**

A CHAVE DE ATIVAÇÃO DEVE SER COPIADA E COLADA NO CAMPO CORRESPONDENTE.

Ivan Jorge Gabe | ivan.gabe@farroupilha.ifrs.edu.br
Vítor Paese De Carli | vitorpaesedecarli@gmail.com.br

DOWNLOAD DO *TYPHOON HIL* CONTROL CENTER

email:

password:

password (again):


first name:

last name:

activation key:


[Sign up](#)

- ABRA O LINK DE CONFIRMAÇÃO NO EMAIL
- FAÇA LOGIN USANDO OS DADOS CADASTRADOS
- VÁ NA ABA *DOWNLOAD* E BAIXE A VERSÃO MAIS RECENTE PARA SEU OS

ACCOUNT DOWNLOAD  SUBSCRIPTION SUPPORT LOGOUT

Software **Firmware** Documentation

Typhoon HIL Control Center



Version: 2023.4 SP1
Release date: 15.11.2023
Windows (x64, 2.3 GB)
Linux (x64, 2.9 GB)

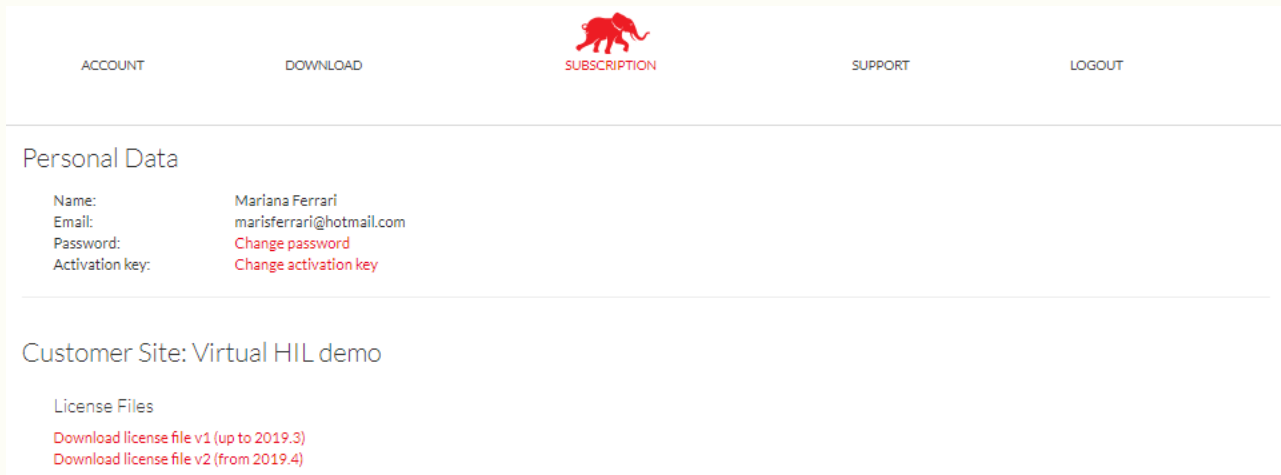
Notice


- **Library compatibility:**
 - 2023.4 requires Typhoon HIL API version 1.25.0 or greater.
 - 2023.4 requires TyphoonTest version 1.28.0 or greater.
- **Installation changes:** From version 2019.2 installation procedure will not uninstall previous version/s of Typhoon software.
- **Discontinued Support for 32-bit Version:** The 2019.2 release is the last release to support 32-bit version. It is still possible to access previous 32-bit versions from [this page](#).
- **Discontinued Support for HIL600 and HIL602 devices:** The 2020.3 release is the last release to support these devices.
- **Discontinued Support for HIL603:** The 2021.4 release is the last release to support this device.
- **Discontinued Support for Windows 7/8.1, Debian 10 and Ubuntu 20.04 LTS:** The 2023.3 release is the last release to support this operating systems.
- **Linux installation:** To install Linux version, please follow instructions on [this link](#).
- **THCC silent installation:** Example how THCC can be "silently" installed by using [batch script](#).

Ivan Jorge Gabe | ivan.gabe@farroupilha.ifrs.edu.br
Vitor Paese De Carli | vitorpaesedecarli@gmail.com.br

DOWNLOAD DO TYPHOON HIL CONTROL CENTER

- VÁ NA ABA DE ACCOUNT E BAIXE O LICENSE FILE DA SUA VERSÃO



ACCOUNT DOWNLOAD  SUBSCRIPTION SUPPORT LOGOUT

Personal Data

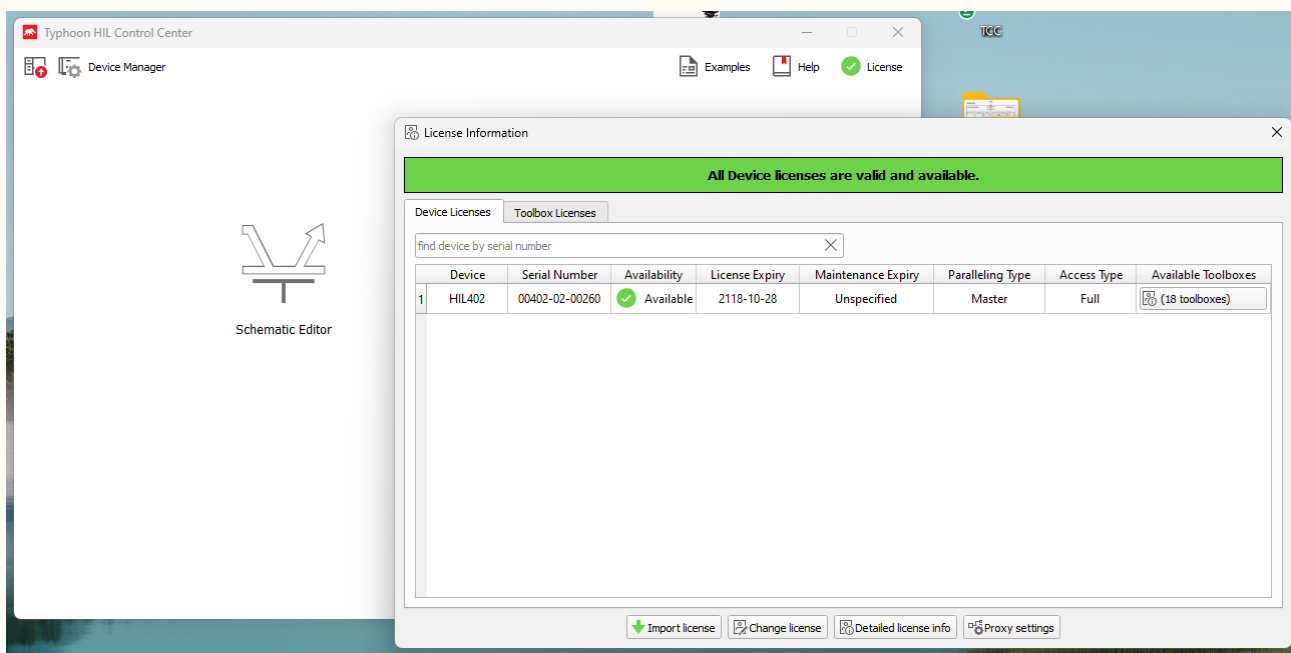
Name: Mariana Ferrari
Email: marisferrari@hotmail.com
Password: [Change password](#)
Activation key: [Change activation key](#)

Customer Site: Virtual HIL demo

License Files

[Download license file v1 \(up to 2019.3\)](#)
[Download license file v2 \(from 2019.4\)](#)

- IMPORTAR LICENÇA PARA O SOFTWARE





PASSO A PASSO PARA DESENVOLVIMENTO DE UM CONTROLADOR DIGITAL

- **LEVANTAMENTO DO MODELO**

FERRAMENTA TÍPICAS:

Função de Transferência no Domínio da Frequência

Modelo em Espaço de Estados

- **INSERÇÃO DO MODELO EM SOFTWARE**

FERRAMENTA TÍPICAS:

Matlab

Octave (Gratuito)

Python (Gratuito)

- **PROJETO DO CONTROLADOR**

MÉTODOS:

Local das raízes

Resposta em frequência (por Diagrama de Bode)

Ziegler-Nichols (Importante na ausência do modelo)

- **DISCRETIZAÇÃO DO CONTROLADOR**

MÉTODOS:

ZOH (Zero-order hold - o mais simples)

Tustin (Bilinear)

Impulso

Matched

Entre outros...

- **AVALIAÇÃO DE ESTABILIDADE**

MÉTODO SUGERIDO:

Mapeamento de Polos e Zeros do Sistema Discretizado

- **OBTENÇÃO DA EQUAÇÃO DE DIFERENÇAS**

MÉTODO:

Transformada Z Inversa ($Xz^{-1} = X[k-n]$)

- **DESENVOLVIMENTO DO CÓDIGO**

LINGUAGENS TÍPICAS:

C (mais comum)

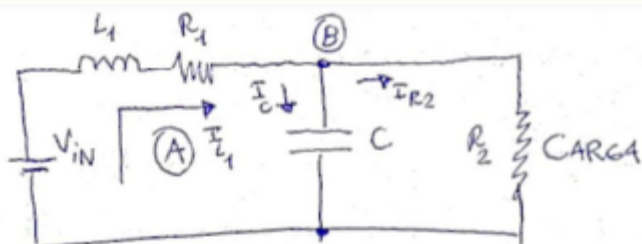
C++

Rust

- **TESTE EM PLATAFORMA *HARDWARE-IN-THE-LOOP* (HIL)**



LEVANTAMENTO DO MODELO



$$I_{cap} = C \cdot \frac{dV}{dt}$$

$$V_L = L \frac{dI}{dt}$$

LKT NA MALHA (A)

$$V_{IN} = L_1 \cdot \frac{dI_{L1}}{dt} + I_{L1} R_1 + V_C$$

$$\frac{dI_{L1}}{dt} = \dot{I}_{L1}$$

$$L_1 \dot{I}_{L1} = V_{IN} - I_{L1} R_1 - V_C$$

$$\dot{I}_{L1} = -\frac{R_1}{L_1} \cdot I_{L1} - \frac{1}{L_1} \cdot V_C + \frac{1}{L_1} \cdot V_{IN}$$

LKC AO PONTO (B)

$$I_{L1} = I_C + I_{R2} \rightarrow I_C = C \cdot \frac{dV_C}{dt} = C \cdot \dot{V}_C$$

$$I_{R2} \Rightarrow V = IR \Rightarrow V_C = I_{R2} \cdot R_2 \Rightarrow I_{R2} = \frac{V_C}{R_2}$$

Reescrevendo...

$$I_{L1} = C \cdot \dot{V}_C + \frac{V_C}{R_2}$$

$$C \cdot \dot{V}_C = I_{L1} - \frac{V_C}{R_2}$$

$$\dot{V}_C = \frac{1}{C} \cdot I_{L1} - \frac{1}{C \cdot R_2} \cdot V_C$$

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{L1} \\ \dot{V}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R_1/L_1 & -1/L_1 \\ 1/C & 1/(C \cdot R_2) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{L1} \\ V_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1/L_1 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot V_{IN}$$

$$Y = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{L1} \\ V_C \end{bmatrix}$$

**INSERÇÃO DO MODELO NO SOFTWARE**

```
% parametros do sistema
L1 = 1e-3;
R1 = 0.5;
C1 = 44e-6;
R2 = 100;
% matriz de estados
A = [-R1/L1    -1/L1;
      1/C1     -1/(R2*C1)];
% matriz de entrada
B = [ 1/L1;
      0 ];
% matriz de saida
C = [0 1]; %escolhendo "ver" a tensao sobre o capacitor C1
% matriz de transicao direta
D = 0;
% definicao do espaco de estados
FILTRO_LCR_ss = ss(A,B,C,D);
% definicao do espaco de estados no dominio do tempo discreto
[Ad,Bd,Cd,Dd,tz] = ssdata(c2d(FILTRO_LCR_ss,ts));
FILTRO_LCR_ssd = ss(Ad,Bd,Cd,Dd);

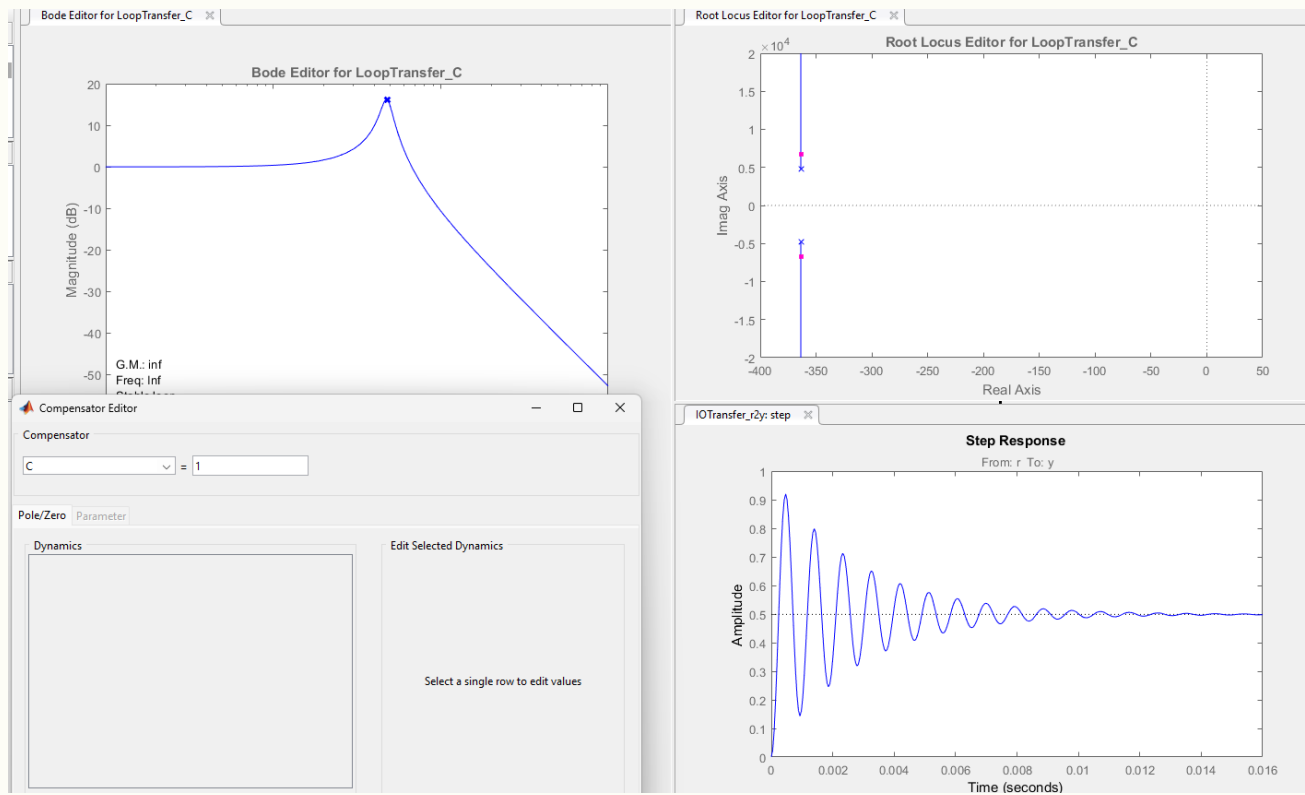
%% extracao das funcoes de transferencia

%{
as funcoes de transferencia permitem usar o sisotool, a ferramenta acelera
o projeto quando o sistema possui apenas 1 entrada.
%}

%tensao do capacitor em relacao a tensao de entrada
[num, den] = ss2tf(A,B,C,D);
VC_tf      = minreal(tf(num, den));
VC_tfd     = c2d(VC_tf, tsc, 'zoh');
```

Ivan Jorge Gabe | ivan.gabe@farroupilha.ifrs.edu.br
Vítor Paese De Carli | vitorpaesedecarli@gmail.com.br

PROJETO DO CONTROLADOR





Ivan Jorge Gabe | ivan.gabe@farroupilha.ifrs.edu.br
Vitor Paese De Carli | vitorpaesedecarli@gmail.com.br

DISCRETIZAÇÃO DO CONTROLADOR

$$PID(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d \cdot s$$

Derivativo
Integral
Proporcional

$$PID(s) = \frac{K_p \cdot s + K_i + K_d \cdot s^2}{s}$$

$$PID(s) = \frac{K_d \cdot (s^2 + \frac{K_p}{K_d} \cdot s + \frac{K_i}{K_d})}{s}$$

↳ No MATLAB vai ficar apresentado assim...

Do domínio da frequência p/ tempo discreto...

O PID necessita do método de Tustin
pois tem mais zeros que polos...

$$\text{No método } s = \frac{2}{T_s} \cdot \frac{(z-1)}{(z+1)}$$

$$PID(z) = K_p + K_i \cdot \frac{T_s}{2} \cdot \frac{(z+1)}{(z-1)} + K_d \cdot \frac{2}{T_s} \cdot \frac{(z-1)}{(z+1)}$$

↳ $K'_p = K_p$ $K'_i = \frac{K_i \cdot T_s}{2}$ $K'_d = \frac{K_d \cdot 2}{T_s}$

$$PID(z) = K'_p + K'_i \cdot \frac{(z+1)}{(z-1)} + K'_d \cdot \frac{(z-1)}{(z+1)}$$

$$PID(z) = \frac{K'_p \cdot (z^2 - 1) + K'_i (z+1)^2 + K'_d (z-1)^2}{z^2 - 1}$$

$$PID(z) = \frac{z^2 (K'_p + K'_i + K'_d) + z \cdot (2K'_i - 2K'_d) + (-K'_p + K'_i + K'_d)}{z^2 - 1}$$

$$\text{Definindo } K_1 = K'_p + K'_i + K'_d$$

$$K_2 = 2K'_i - 2K'_d$$

$$K_3 = -K'_p + K'_i + K'_d$$

Obtem-se ...

$$PID(z) = \frac{z^2 \cdot K_1 + z \cdot K_2 + K_3}{z^2 - 1}$$

Ivan Jorge Gabe | ivan.gabe@farroupilha.ifrs.edu.br
 Vítor Paese De Carli | vitorpaesedecarli@gmail.com.br

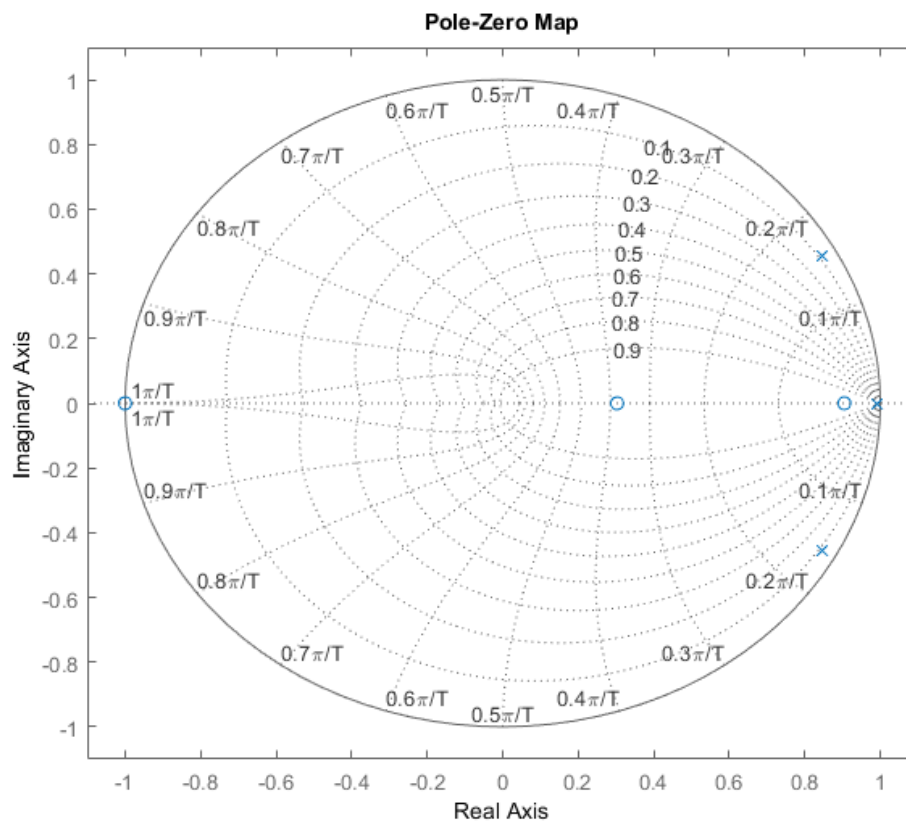
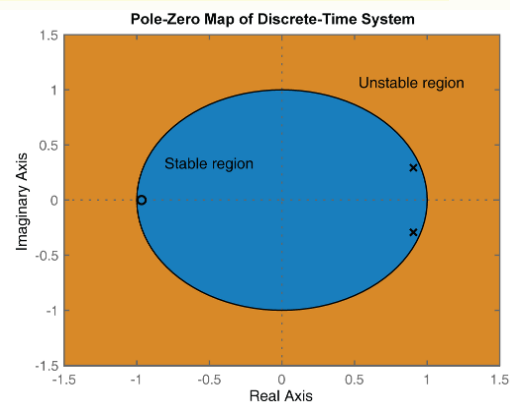
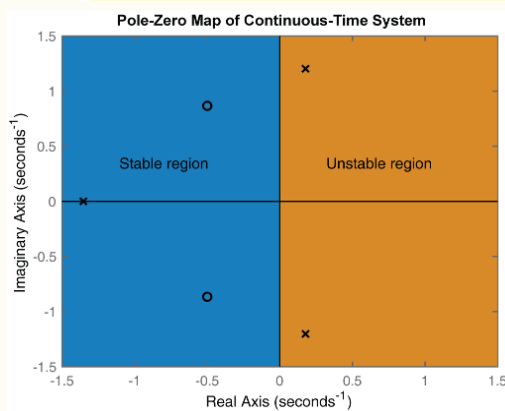
AVALIAÇÃO DE ESTABILIDADE

```
%% definicao da malha de controle

% malha aberta
VC_malha_aberta = PID * VC_tf;
% malha fechada
VC_malha_fechada = minreal(VC_malha_aberta / (1 + VC_malha_aberta));

%discretizacao da malha
VC_malha_fechadad = minreal(c2d(VC_malha_fechada, tsc, 'tustin'));

% plot dos polos e zeros de malha fechada
figure(1)
pzmap(VC_malha_fechadad);
```





OBTENÇÃO DA EQUAÇÃO DE DIFERENÇAS

Obtendo a equação de diferenças

$$\frac{z^2 \cdot K_1 + z \cdot K_2 + K_3}{z^2 - 1} = \frac{Y(z)}{U(z)} \cdot \left(\frac{1/z^2}{1/z^2} \right)$$

$$\frac{K_1 + K_2 \cdot z^{-1} + K_3 \cdot z^{-2}}{1 - z^{-2}} = \frac{Y(z)}{U(z)}$$

$$K_1 \cdot U(z) + K_2 \cdot U(z) \cdot z^{-1} + K_3 \cdot U(z) \cdot z^{-2} = Y(z) - Y(z) \cdot z^{-2}$$

$$Y(z) = Y(z) \cdot z^{-2} + K_1 \cdot U(z) + K_2 \cdot U(z) \cdot z^{-1} + K_3 \cdot U(z) \cdot z^{-2}$$

$$\left[X(z) \cdot z^{-n} = X[k-n] \right]$$

$$Y[k] = Y[k-2] + K_1 \cdot U[k] + K_2 \cdot U[k-1] + K_3 \cdot U[k-2]$$

Ivan Jorge Gabe | ivan.gabe@farroupilha.ifrs.edu.br
Vítor Paese De Carli | vitorpaesedecarli@gmail.com.br



INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
Rio Grande do Sul

DESENVOLVIMENTO DO CÓDIGO

CLIQUE AQUI PARA ABRIR O CÓDIGO DO PROJETO



Ivan Jorge Gabe | ivan.gabe@farroupilha.ifrs.edu.br
 Vítor Paese De Carli | vitorpaesedecarli@gmail.com.br

TESTE EM PLATAFORMA *HARDWARE-IN-THE-LOOP*

