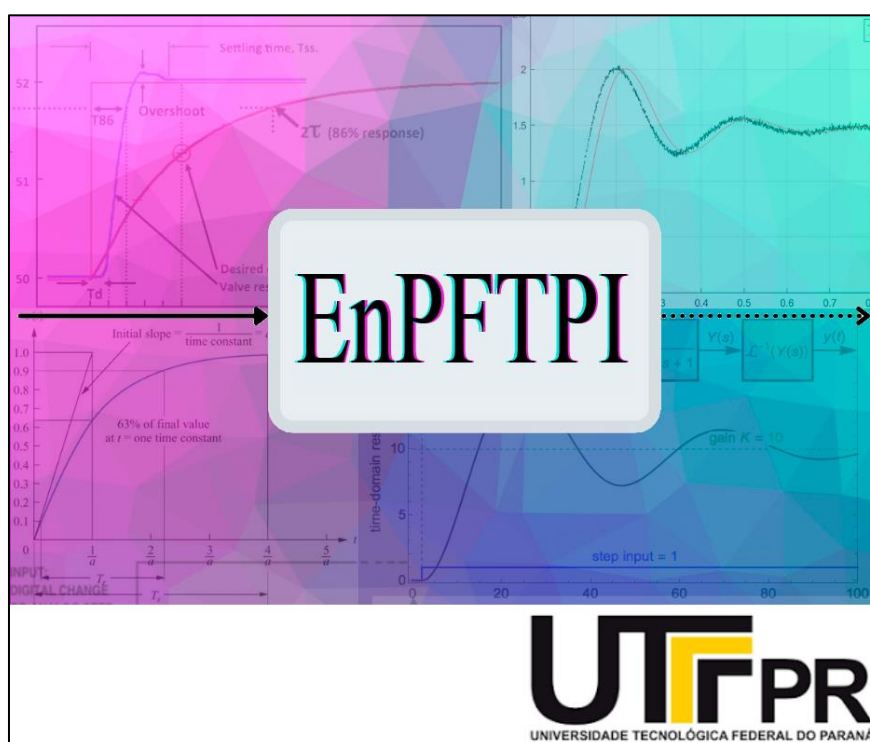


Manual do Aplicativo para Estimação Não Paramétrica de Função de Transferência de Processos Industriais (EnPFTPI)



Lucas Pawelski

Henrique Coldebella

Prof. Dr. Flávio Rossini

Engenharia Eletrônica

CAMPUS CAMPO MOURÃO, 2022.

Agradecimentos

A todos os envolvidos, diretos e indiretos no projeto, por todo apoio oferecido.

Ao Professor Dr. Flávio Luiz Rossini, por todo suporte, orientação e compreensão durante o desenvolvimento de todas as etapas do projeto.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo incentivo e apoio financeiro viabilizado por meio do edital 03/2021 DIREC.

Sumário

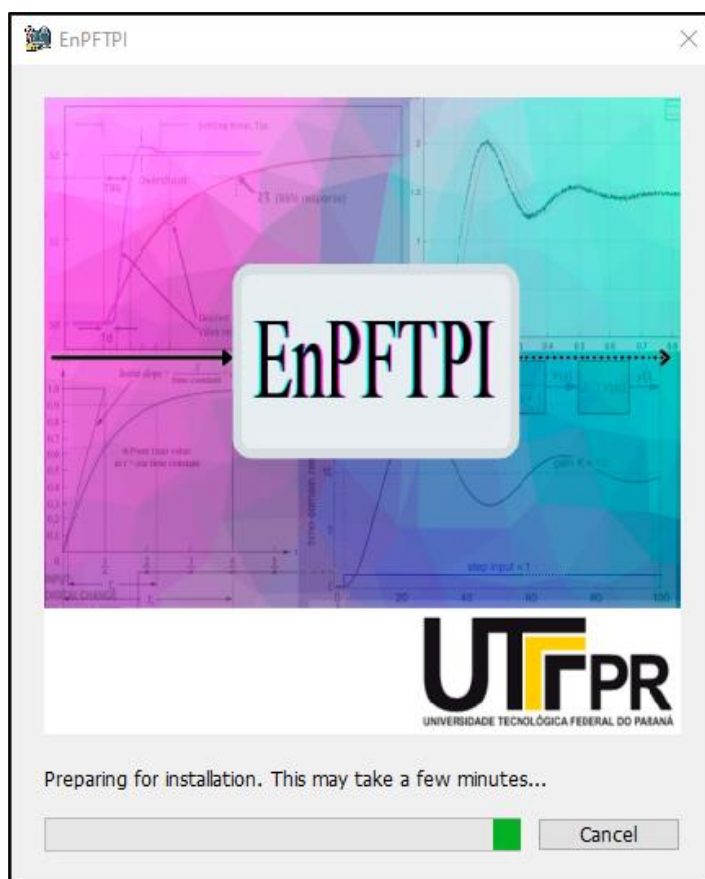
1 - Instalação	5
2 – Funções de Transferência	9
2.1 – Sistemas de primeira ordem	10
2.2 – Sistemas de segunda ordem	10
2.3 – Identificação de Sistemas: Curva de reação.....	11
2.3.1 - Método de Ziegler-Nichols.....	11
2.3.2 - Método de Smith para Sistemas de Primeira Ordem	12
2.3.3 - Sistemas de Segunda Ordem Subamortecidos.....	13
3 – Formatação da Tabela de Dados	15
4 – Apresentação da interface	16
5 – Exemplo de uso.....	21
5.1 – Circuito RLC, Estudo de caso	21
5.2 – Obtendo os dados do circuito.....	23
5.3 – Utilização do aplicativo.....	23
5.4 – Resultados	27
6 – Conclusão.....	28

1 - Instalação

Para o bom funcionamento do aplicativo há necessidade de seguir o passo-a-passo para instalação do mesmo. Assim, a seguir serão apresentadas as etapas para instalação adequada do Aplicativo para Estimção Não Paramétrica de Função de Transferência de Processos Industriais. Torna-se necessário informar que o aplicativo foi desenvolvido exclusivamente para o sistema operacional Microsoft Windows, seguem os passos:

Passo 1: Após fazer o *download* do instalador do aplicativo EnPFTPI, clique no arquivo executável “**setup.exe**” que se encontra no diretório. Ao executar o instalador, conceda as permissões de administrador. Na Figura 1, ilustra-se a primeira tela do aplicativo que será aberta, a qual mostra que a instalação está sendo preparada, e poderá levar alguns minutos.

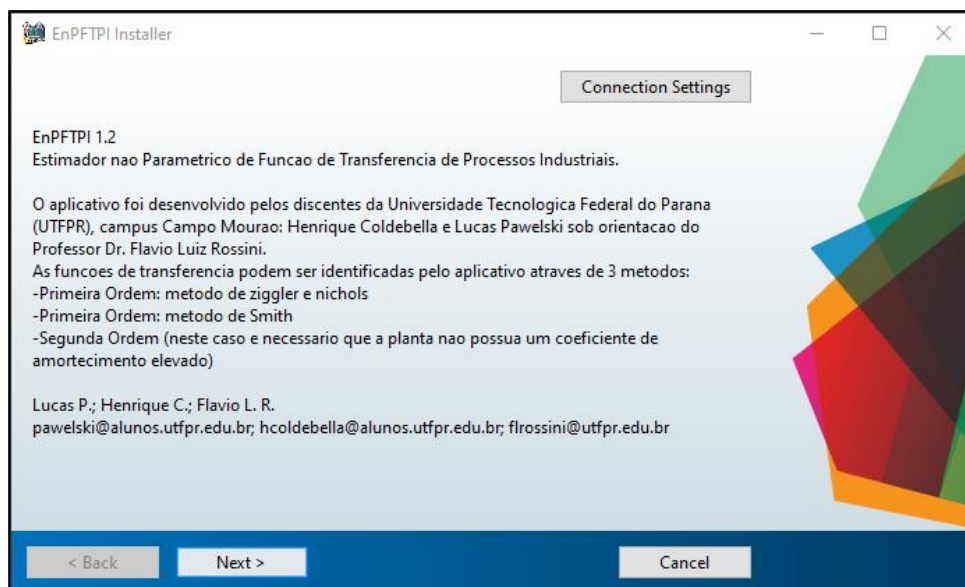
Figura 1: Tela de início do instalador



Fonte: Autoria Própria.

Passo 2: Após alguns instantes, prossiga com a instalação do aplicativo e clique em “Next >” como mostrado na Figura 2.

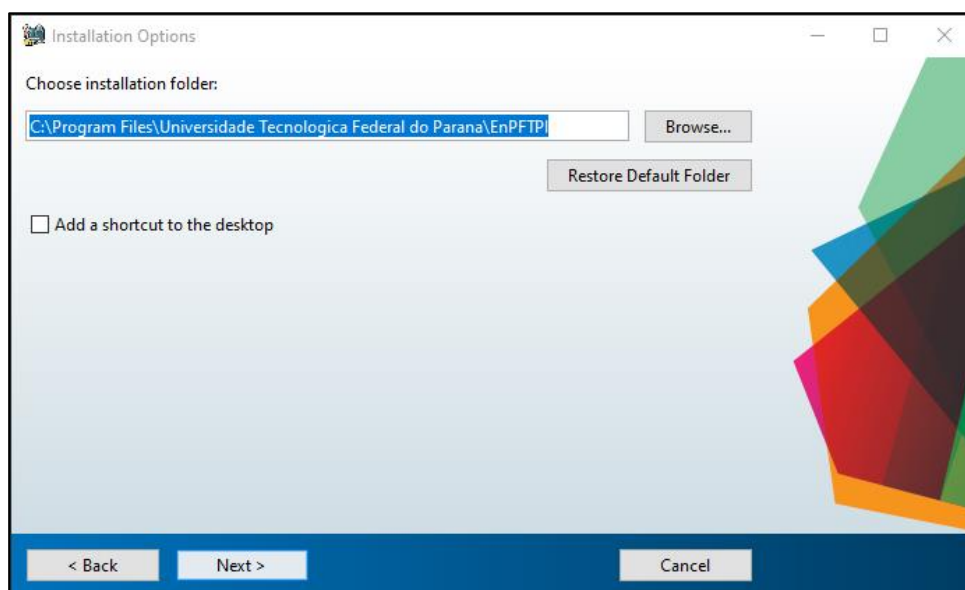
Figura 2: Tela de informações do aplicativo



Fonte: Autoria Própria.

Passo 3: Selecione o destino de instalação do aplicativo através da caixa de texto mostrada na Figura 3. Caso seja necessário, clique em “Add a shortcut to the desktop” para adicionar um ícone de acesso rápido do aplicativo em sua área de trabalho, em seguida clique em “Next >”.

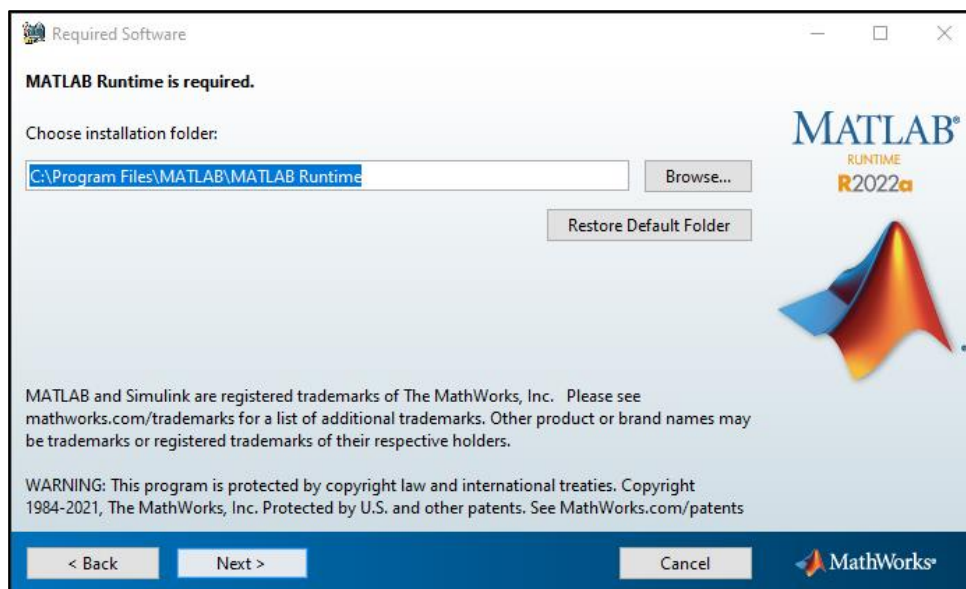
Figura 3: Seleção do diretório de instalação



Fonte: Autoria Própria.

Passo 4: Para o funcionamento do aplicativo, será necessário instalar o MATLAB® Runtime, esse complemento se torna necessário em computadores que não possuem o MATLAB® instalado. Selecione o destino da instalação através da caixa de texto e em seguida clique em “Next >”, como mostrado na Figura 4.

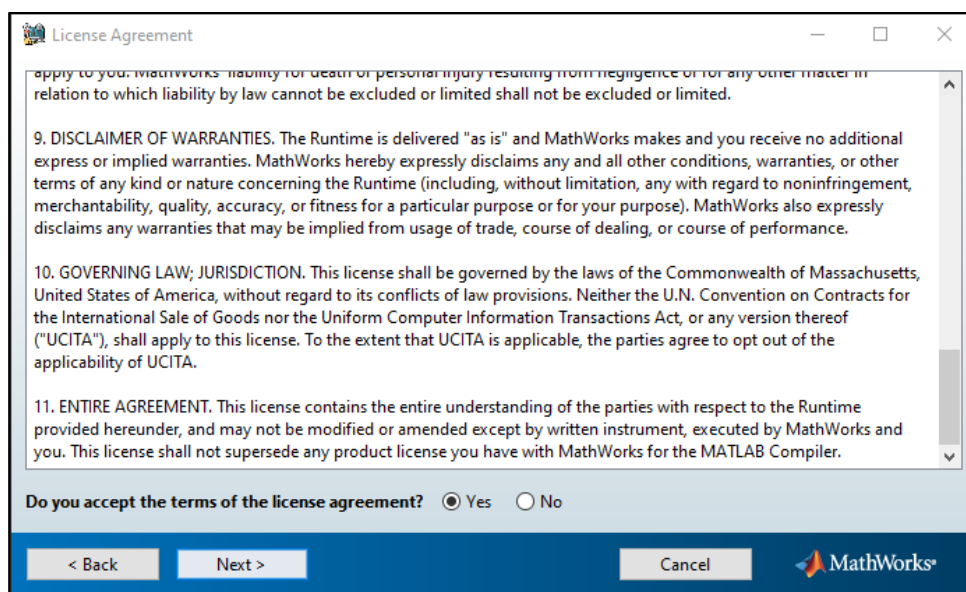
Figura 4: Seleção do diretório de instalação do MATLAB® Runtime



Fonte: Autoria Própria.

Passo 5: Após ler os Termos de Licença, clique no botão “Yes” caso concorde com os mesmos. Em seguida, clique em “Next >”, como demonstrado na Figura 5.

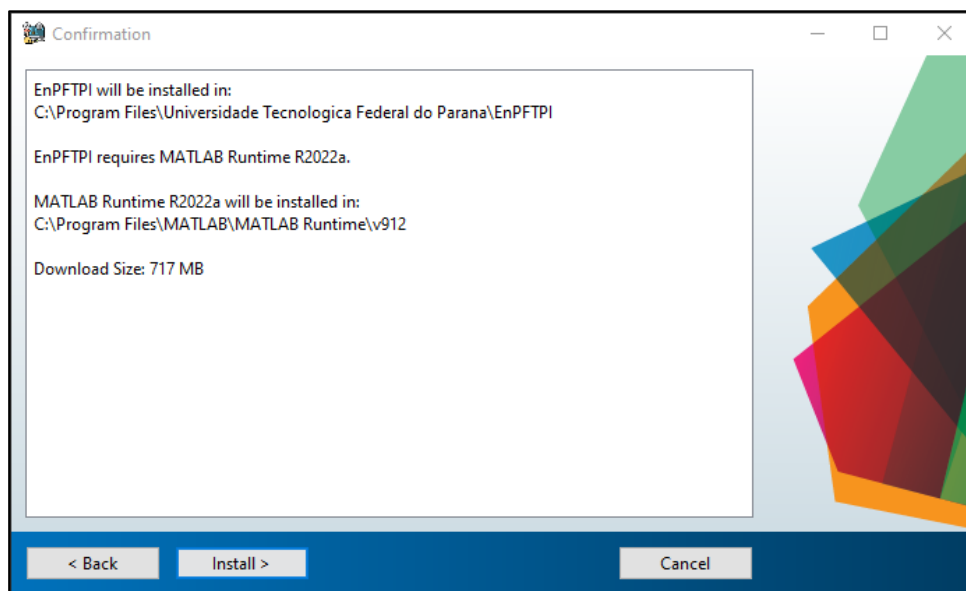
Figura 5: Termos de licença do MATLAB® Runtime



Fonte: Autoria Própria.

Passo 6: Uma tela de confirmação será apresentada, na Figura 6, a qual indica o destino do aplicativo e do MATLAB® Runtime, além do tamanho de *download* do mesmo. Após checar todas as informações, clique em “**Install >**” para iniciar o *download* e a instalação.

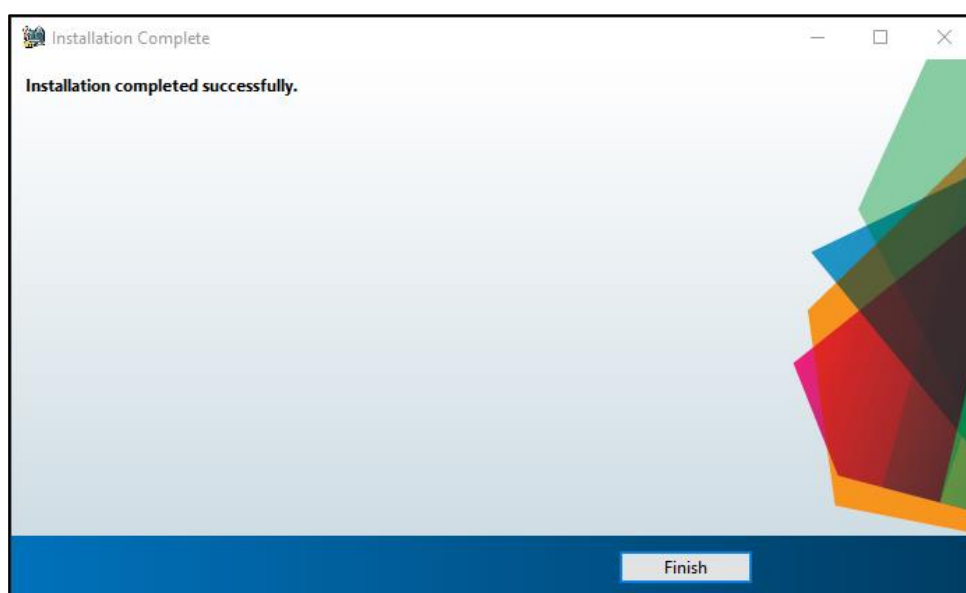
Figura 6: Informações sobre a instalação



Fonte: Autoria Própria.

Passo 7: Finalizada a instalação, caso não tenha ocorrido interrupção, clique em “**Finish**” e o aplicativo EnPFTPI estará pronto para o uso, vide Figura 7.

Figura 7: Finalização da instalação.



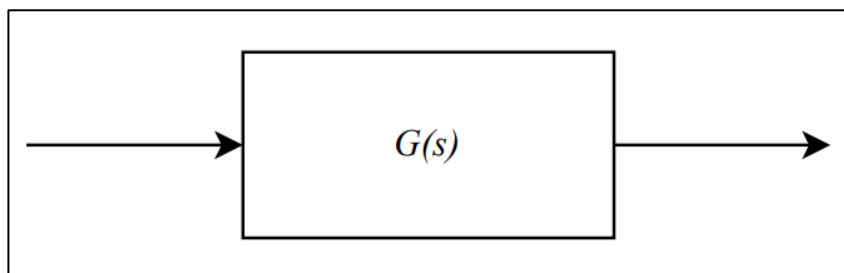
Fonte: Autoria Própria.

2 – Funções de Transferência

A função de transferência é definida como a relação entre as transformadas de Laplace das variáveis de entrada e saída de um determinado sistema linear, o qual são constituídos de parâmetros concentrados, invariantes no tempo e de única entrada e única saída (do inglês “Single-Input Single-Output” - SISO).

Na Figura 8, mostra-se um diagrama de blocos de função de transferência, o bloco possui uma entrada $x(t)$ e uma saída $y(t)$.

Figura 8: Função de Transferência com uma entrada e uma saída



Fonte: Autoria Própria.

Sendo assim, a função de transferência deste sistema é a representação no domínio da frequência da dinâmica do sistema, essa razão entre a saída e a entrada pode ser representada da seguinte forma.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} \quad (1)$$

sendo $G(s)$ a função de transferência do sistema LIT (Linear Invariante no Tempo) genérico.

A importância dessa representação se justifica ao buscar um modelo matemático para realização de projeto, simulação e análise de certo sistema industrial. Assim a descrição matemática torna possível aplicar os métodos de projeto de sistemas de controle.

Apesar do exemplo citado ser representado no domínio da frequência contínua, ou seja, domínio de Laplace, frequentemente também se encontram representações de funções de transferências discretas (Transformada Z).

O aplicativo EnPFTPI parte das seguintes hipóteses de uma função de transferência:

1. A função de transferência é uma propriedade do sistema, dessa forma, é completamente independente do sinal de entrada.
2. É uma relação entre a entrada e saída do sistema, nesse sentido, não proporciona informação alguma sobre a estrutura física do sistema.

2.1 – Sistemas de primeira ordem

De modo geral, uma função de transferência com atraso do sinal de saída, pode ser expressa da forma:

$$G(s) = \frac{b_m s^m + \dots + b_1 s + b_0}{s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0} e^{-\theta s} \quad (2)$$

sendo θ o tempo morto, o qual corresponde ao tempo de atraso da saída do sistema em relação a entrada.

Na equação (2) é mostrado de forma genérica uma função de transferência de ordem n , ou seja, a ordem do polinômio do denominador indica a ordem do sistema a ser tratado (OGATA, 2010). De forma geral, um sistema de primeira ordem pode ser representado como segue.

$$\frac{Y(s)}{X(s)} e^{-\theta s} = \frac{K}{\tau s + 1} e^{-\theta s} \quad (3)$$

sendo K o ganho do sistema, isto é, a razão entre a variação da saída em relação a variação da entrada, τ a constante de tempo, essa corresponde ao valor da resposta ao degrau em que se obtém aproximadamente 63% do valor de regime permanente do processo, e o tempo de atraso θ , correspondente ao tempo entre o início do degrau de entrada e o estímulo inicial da saída.

Na análise de sistemas de primeira ordem, é convencional utilizar como padrão uma entrada em degrau unitário para excitar o sistema de forma a se obter, a resposta temporal do sistema. Assim, por meio dessa resposta o aplicativo EnPFTPI poderá auxiliar.

Para estimação da função de transferência, são usados métodos não paramétricos (caixa-preta) de análise gráfica da resposta ao degrau. Assim, torna-se possível encontrar os parâmetros K , τ e θ da função de transferência a ser a priori identificada.

2.2 – Sistemas de segunda ordem

Um sistema de segunda ordem padrão, tem-se a seguinte função de transferência típica, expressa da forma:

$$G(s) = \frac{K \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2} e^{-\theta s} \quad (4)$$

sendo ω_n a frequência natural não amortecida e ζ o coeficiente de amortecimento, os parâmetros que determinam as características dinâmicas do sistema de segunda ordem.

Sistemas de segunda ordem podem ser classificados quanto ao valor do coeficiente de amortecimento, sendo subamortecidos ($0 < \zeta < 1$), criticamente amortecido ($\zeta = 1$) ou sobre amortecido ($\zeta > 1$).

Para se encontrar as características do sistema de segunda ordem, é comum submeter o sistema a uma entrada em degrau, semelhante ao descrito para um sistema de primeira ordem. A partir da resposta ao degrau, é possível obter as seguintes características: tempo de subida t_r (tempo em que a resposta passa de 10% a 90% de seu valor de regime), tempo de estabilização t_s (tempo em que a resposta permanece dentro de cerca de 2% do seu valor final), tempo de pico t_p (tempo em que a resposta atinge o maior sobressinal antes de se estabilizar) e por fim o valor de sobressinal máximo atingido (OGATA, 2010).

Da mesma forma, são com essas características de resposta ao degrau que o aplicativo EnPFTPI irá determinar os valores de frequência natural do sistema e o coeficiente de amortecimento.

2.3 – Identificação de Sistemas: Curva de reação

O método da curva de reação é um dos métodos de identificação de sistemas não paramétricos mais utilizados, principalmente por conta da simplicidade de implementação em ambiente fabril, tal método utiliza uma análise do comportamento gráfico da resposta ao degrau do sistema desconhecido (OGATA, 2010).

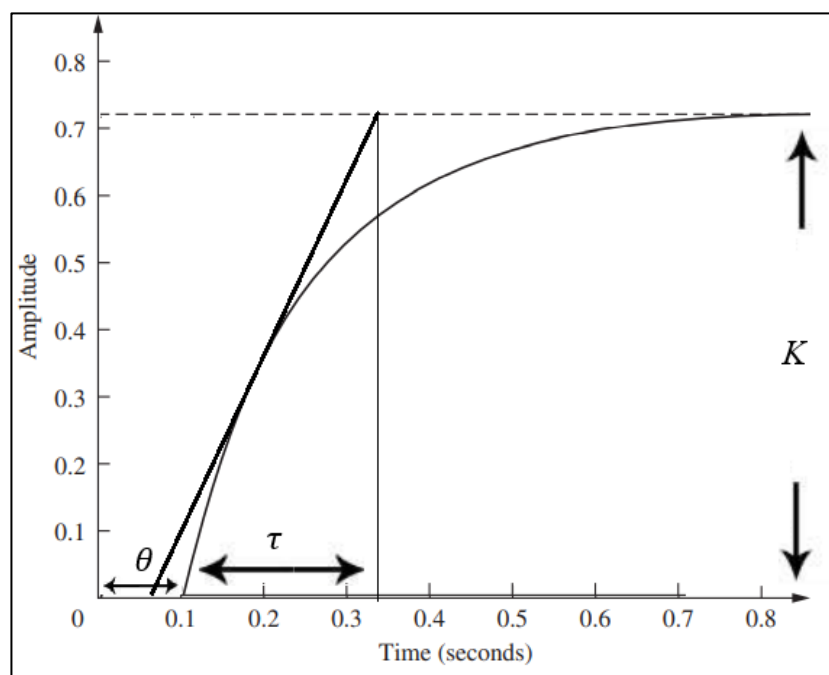
Para esse tipo de análise, deve-se inicialmente submeter o sistema a entrada em degrau até que o processo atinja o estado de regime permanente e a partir de um sistema de mensuração e aquisição dos dados da resposta de entrada e saída do sistema, no período de tempo correspondente ao regime transitório.

Atualmente há muitas formas de realizar a captura de dados, portanto esse procedimento simples, potencializa a determinação de funções de transferência de primeira e segunda ordem com o uso do app EnPFTPI, por meio de métodos não paramétricos.

2.3.1 - Método de Ziegler-Nichols

O método de Ziegler-Nichols (1942) é um dos métodos de identificação e sintonia mais utilizados em projetos de sistemas de controle clássicos. A partir da resposta do sistema, o método consiste em estabelecer uma reta tangente à curva em um ponto de inflexão do sinal de resposta, de forma que seja possível determinar, por inspeção gráfica, as constantes K , τ e θ .

Figura 9: Constantes - Método de Ziegler-Nichols

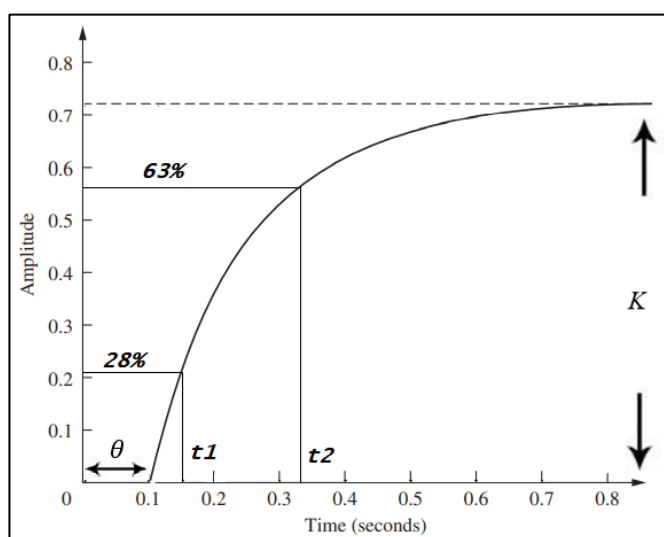


Fonte: Adaptado de (OGATA, 2010).

2.3.2 - Método de Smith para Sistemas de Primeira Ordem

Proposto pelo Dr. Cecil Smith (1972), este método determina que as constantes θ e τ sejam selecionadas de forma que coincidam em dois pontos que apresentam elevada taxa de variação. Isto é, valores intermediários correspondentes ao ponto em que a resposta ao degrau atinge 28% do valor de regime permanente e ao ponto que a resposta atinge 63% do valor final da saída (MARLIN, 2014).

Figura 10: Constantes - Método de Smith



Fonte: Adaptado de (OGATA, 2010).

Assim, o valor da constante de tempo pode ser determinada com a seguinte relação entre os tempos t_1 e t_2 .

$$t_2 = \theta + \tau \quad (5)$$

$$t_1 = \theta + \frac{\tau}{3} \quad (6)$$

Portanto, ao isolar τ em relação a t_1 e t_2 e comparar as Equações (5) e (6), obtém-se:

$$\tau = \frac{3}{2}(t_2 - t_1) \quad (7)$$

2.3.3 - Sistemas de Segunda Ordem Subamortecidos

Para determinar as constantes K , ω_n e ζ , é feita uma análise dos pontos de máximo e mínimo locais da resposta ao degrau do sistema de segunda ordem subamortecido, esses pontos podem ser representados matematicamente como (SÖDERSTRÖM; STOICA, 1989):

$$t_k = k \frac{\pi}{\omega_0 \sqrt{1-\zeta^2}}, \quad k = 1, 2, 3, 4, \dots \quad (8)$$

sendo k cada ponto amostrado no tempo.

O valor de cada pico da saída pode ser expresso como:

$$y(t_k) = K[1 - (-1)^k M^k] \quad (9)$$

sendo M representa o valor de sobressinal, e pode ser definido como:

$$M = e^{-\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \quad (10)$$

Ao adequar a Equação (10), é possível determinar o valor de M em função do primeiro pico e do ganho K , ou seja.

$$M = \frac{y(t_1)}{K} - 1 \quad (11)$$

Em seguida determina-se o valor de sobressinal M e encontra-se o coeficiente de amortecimento da forma:

$$\zeta = \frac{-\ln(M)}{\sqrt{\pi^2 + (\ln(M))^2}} \quad (12)$$

Para encontrar o valor da frequência natural do sistema, utiliza-se o período de oscilação T , que pode ser encontrado a partir da diferença entre o tempo do primeiro pico e o segundo pico, em segundos, expresso por

$$T = t_2 - t_1 \quad (13)$$

Portanto, a frequência natural ω_n pode ser determinada a partir de um arranjo da Equação (12), como:

$$\omega_n = \frac{2\pi}{T\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (14)$$

3 – Formatação da Tabela de Dados

Este tópico abordará sobre como os dados obtidos acerca da planta devem ser dispostos para serem utilizados no aplicativo, uma vez que, os dados fora do padrão não possam ser reconhecidos pelo EnPFTPI.

Dessa forma, o formato da tabela de dados deve seguir o seguinte *layout* mostrado na Tabela 1:

Tabela 1: Disposição dos dados adquiridos.

Dados Coletados		
Entrada	Saída	Amostragem
x[0]	y[0]	T
x[1]	y[1]	
x[2]	y[2]	
x[...]	y[...]	
x[n-1]	y[n-1]	
x[n]	y[n]	

Fonte: Autoria Própria.

Na Tabela 1, demonstra-se de uma forma teórica e visual como os dados mensurados na planta devem estar tabulados. Na prática, esses dados podem ser organizados através de qualquer *software* para manipulação de planilhas, como é o caso do Excel da família Office, Google Planilhas, LibreOffice Calc, dentre outros.

Em suma, na primeira coluna da planilha devem estar tabulados todos os dados de entrada utilizados como *setpoint*, na segunda coluna todos os dados capturados como resposta da planta, e a última coluna deve haver o tempo entre cada amostra de entrada e saída, ou seja, o período de amostragem.

É necessário também ficar atento para que os vetores de medição esteja concatenados, uma vez que, cada coluna deve possuir seu respectivo par, e ambas devem ter o mesmo tamanho.

4 – Apresentação da interface

Neste tópico será abordado como a interface do aplicativo foi projetada, essa pode ser catalogada entre quatro principais blocos: Carregamento dos dados, Filtragem dos dados, Seleção da aproximação e Janela de visualização.

Ao abrir o aplicativo pela primeira vez, uma janela igual a presente na Figura 11 será exibida

Figura 11: Tela inicial do aplicativo EnPFTPI

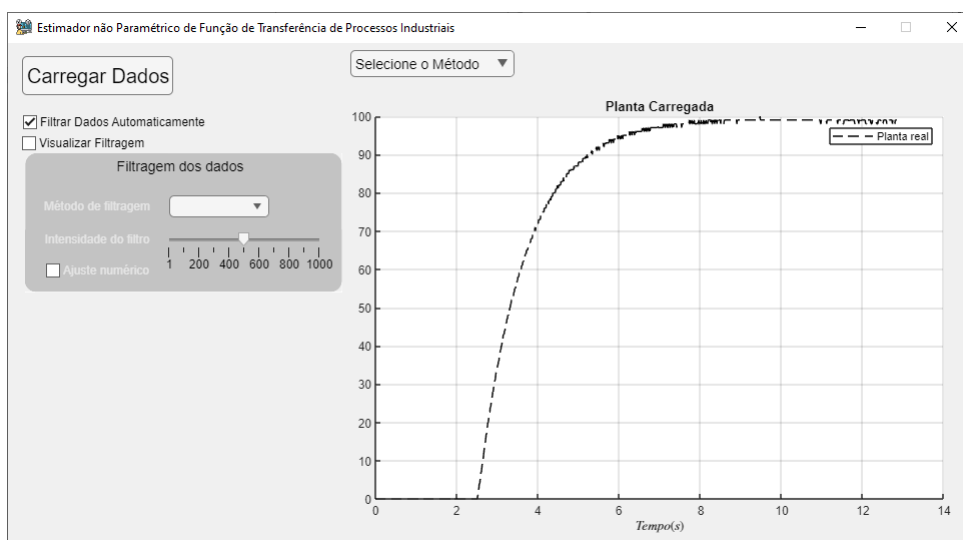


Fonte: Autoria Própria.

Através da Figura 11 é possível notar que só existe um botão disponível para interação. O botão **Carregar dados** é o responsável por estabelecer a correspondência entre os dados obtidos da planta com a inteligência do aplicativo. O tópico **Formatação da Tabela de Dados**, Seção 3 do presente neste manual, deve ser checado caso ocorra um erro ao carregar os dados para o aplicativo.

Ao carregar os dados obtidos para o aplicativo com êxito, alguns itens a mais serão mostrados na tela, como apresentado na Figura 12. Dentre os novos botões disponíveis na tela do aplicativo, o primeiro a ser mencionado é o botão **Selecione do Método**.

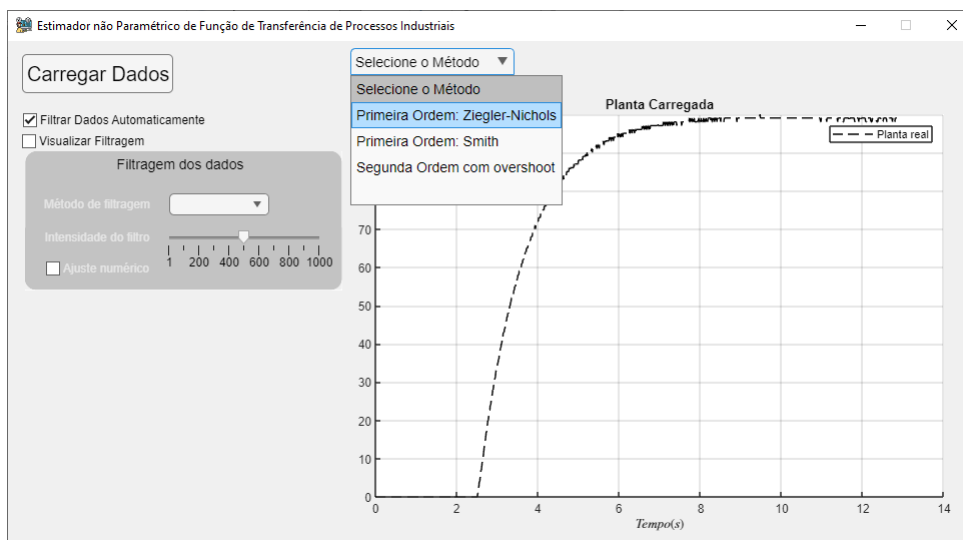
Figura 12: Tela pós carregamento dos dados



Fonte: Autoria Própria.

Ao clicar pela primeira vez no botão **Selecione o Método**, uma lista no formato *drop down* será exibida como mostrada na Figura 13:

Figura 13: Botão Selecione o Método após o clique



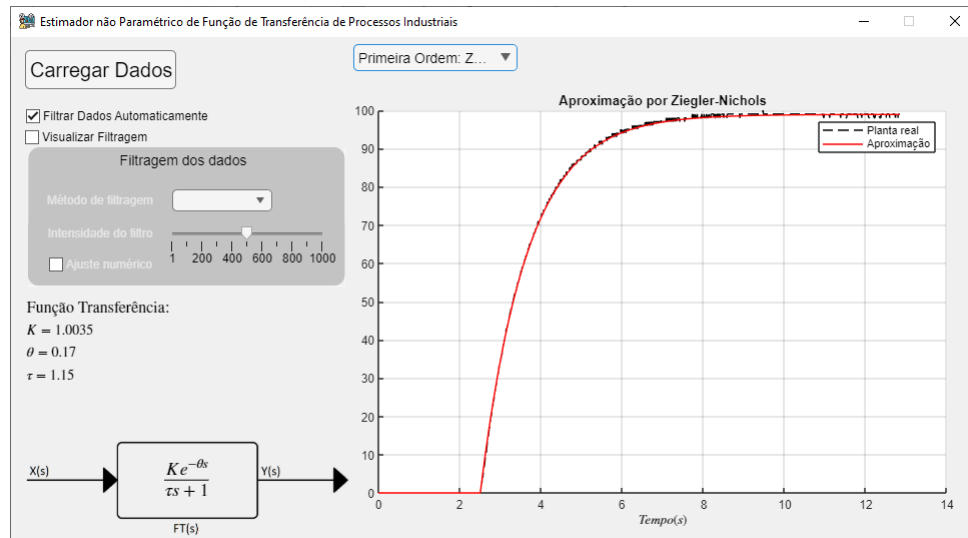
Fonte: Autoria Própria.

Tal botão possibilita ao usuário escolher qual método de aproximação sua planta seguirá para buscar a respectiva função de transferência. Como citado anteriormente neste manual através do tópico **funções de transferência**, o aplicativo contém três aproximações, sendo elas:

- **Primeira Ordem: Ziegler-Nichols;**
- **Primeira Ordem: Smith;**
- **Segunda Ordem com overshoot;**

Após a Seleção de algum dos métodos para a aproximação, a tela do aplicativo será atualizada, assim retornará ao usuário a expressão algébrica e gráfica da aproximação à resposta do sistema. Estes resultados podem ser observados através da tela de plotagem e a partir dos parâmetros mostrados no canto inferior esquerdo do aplicativo, ilustrado na Figura 14.

Figura 14: Aproximação obtida pelo aplicativo

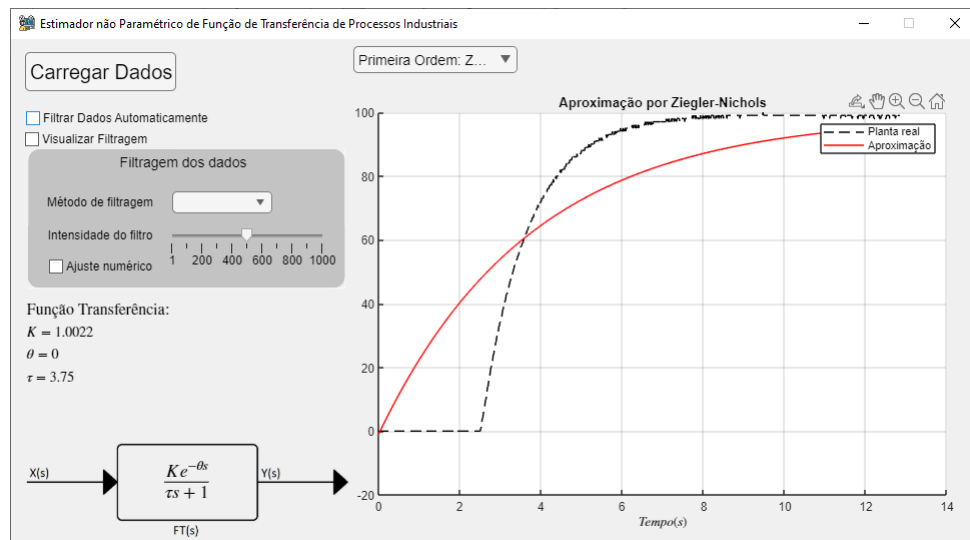


Fonte: Autoria Própria.

É possível notar na Figura 14, a aproximação obtida neste caso se mostrou fiel. Isso ocorre devido ao fato que os dados obtidos possuem baixo ruídos durante a coleta, com isso o botão **Filtrar Dados Automaticamente** pode se manter selecionado. Este botão é responsável por fazer uma filtragem suave dos dados reais, o filtro é ativado por padrão ao executar o aplicativo, porém, nem sempre essa filtragem é suficiente.

Quando a Filtragem Automática não é satisfatória ou não gera a planta adequada graficamente, o botão **Filtrar Dados Automaticamente** pode ser desabilitado, e as opções de filtragem que antes estavam opacas passam a se tornar visíveis, ao clicar em **Método de Filtragem** a tela do aplicativo, como mostrado na Figura 15.

Figura 15: Filtragem Automática desligada



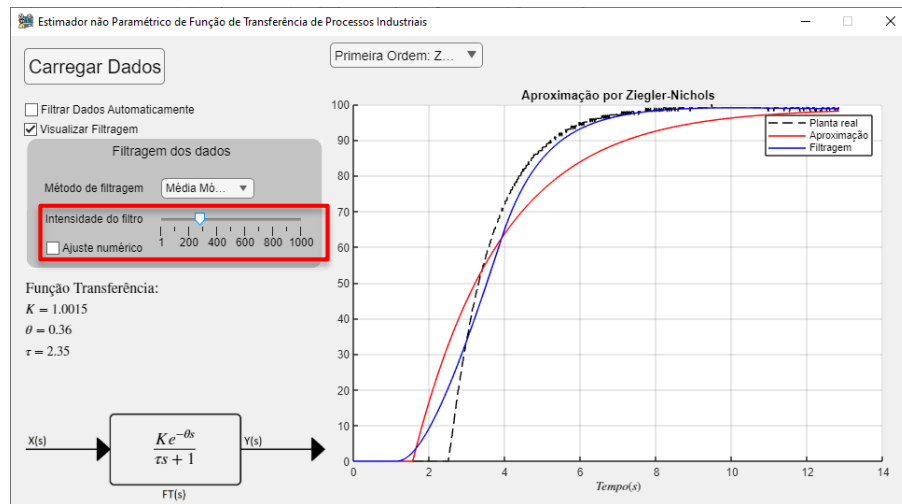
Fonte: Autoria Própria.

A filtragem manual possui apenas duas opções: **Método de filtragem** e **Intensidade do filtro**. A seleção de Método de filtragem pode ser vista na Figura 15, onde é mostrado também os quatro métodos disponíveis:

- Gaussiana;
- Regressão Linear;
- Regressão Quadrática;
- Média Móvel;

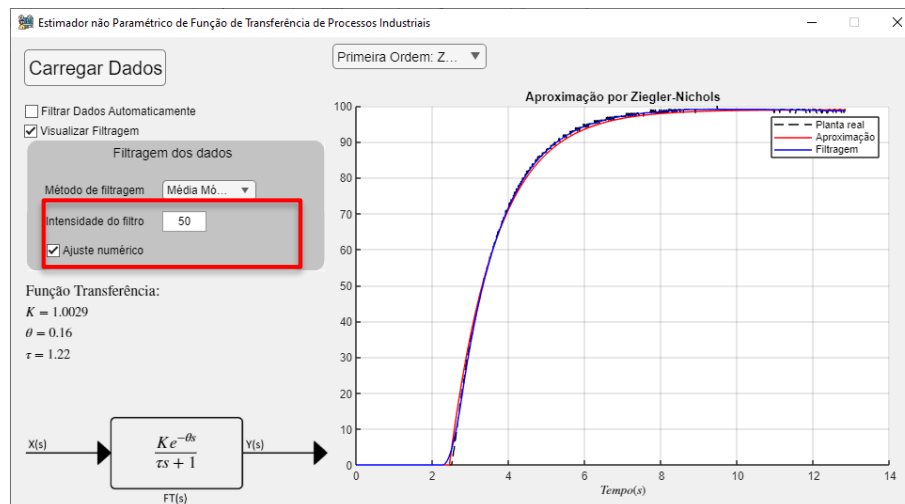
A respeito da **Intensidade do filtro** essa pode ser ajustada via *slider* numérico como ilustrado na Figura 16 ou digitado em um campo numérico, como indicado na Figura 17.

Figura 16: Intensidade do filtro selecionada via slider



Fonte: Autoria Própria.

Figura 17: Intensidade do filtro modificada via campo numérico

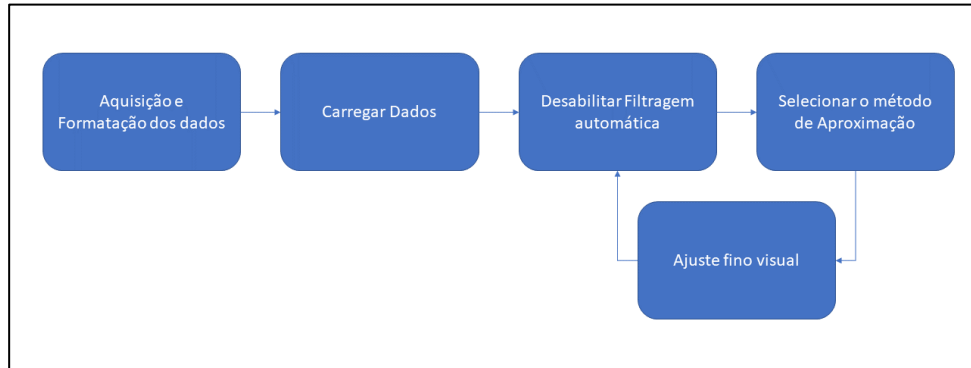


Fonte: Autoria Própria.

5 – Exemplo de uso

Neste tópico será abordado um passo-a-passo para exemplificar o uso do aplicativo, as etapas para uso adequado do *app* são apresentadas na Figura 18.

Figura 18: Fluxograma de apresentação da sequência de passos

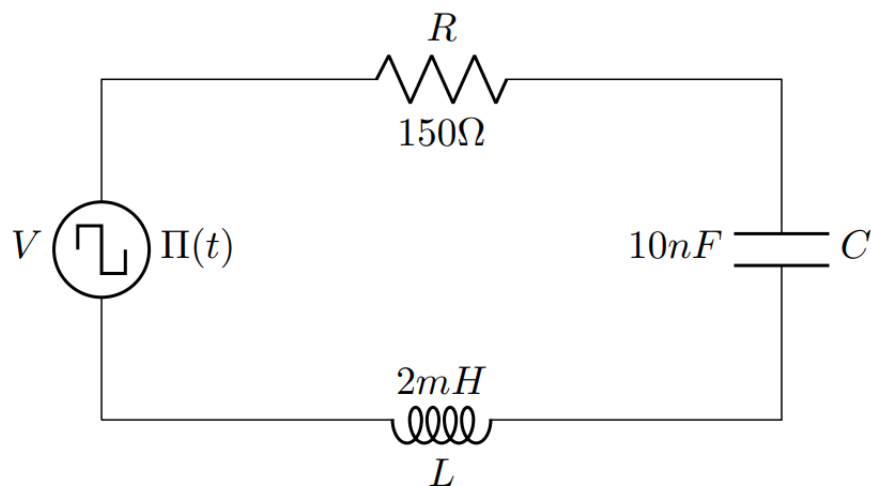


Fonte: Autoria Própria.

5.1 – Circuito RLC: Estudo de caso

Para exemplificar o tutorial de uso do aplicativo, foi implementado um circuito elétrico de segunda ordem para validar seu funcionamento como um estudo de caso. O circuito elaborado pode ser visto pela Figura 19.

Figura 19: Circuito esquemático construído para o estudo de caso



Fonte: Autoria Própria.

Foi aplicado ao circuito, Figura 19, uma entrada do tipo porta retangular com 500 Hz e amplitude em 1,4 V. Neste estudo foi observada como saída a tensão no capacitor de 10 nF, com isso, analiticamente pode ser encontrada a seguinte função de transferência no domínio de Laplace:

$$V_C(s) = \frac{\frac{1}{CL}}{s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{CL}} \quad (15)$$

e ao substituir os valores dos componentes na Equação (15) é obtido:

$$V_C(s) = \frac{50 \times 10^9}{s^2 + 75 \times 10^3 s + 50 \times 10^9} \quad (16)$$

Sabe-se que para sistemas de segunda ordem, alguns valores interessantes podem ser obtidos, como mostrado na Equação (17).

$$FT_{2^a\text{Ordem}}(s) = \frac{K\omega_n^2 e^{\theta s}}{s^2 + \zeta\omega_n + \omega_n^2} \quad (17)$$

Assim, com os valores dos componentes presentes no circuito, foi obtido os seguintes parâmetros da função de transferência:

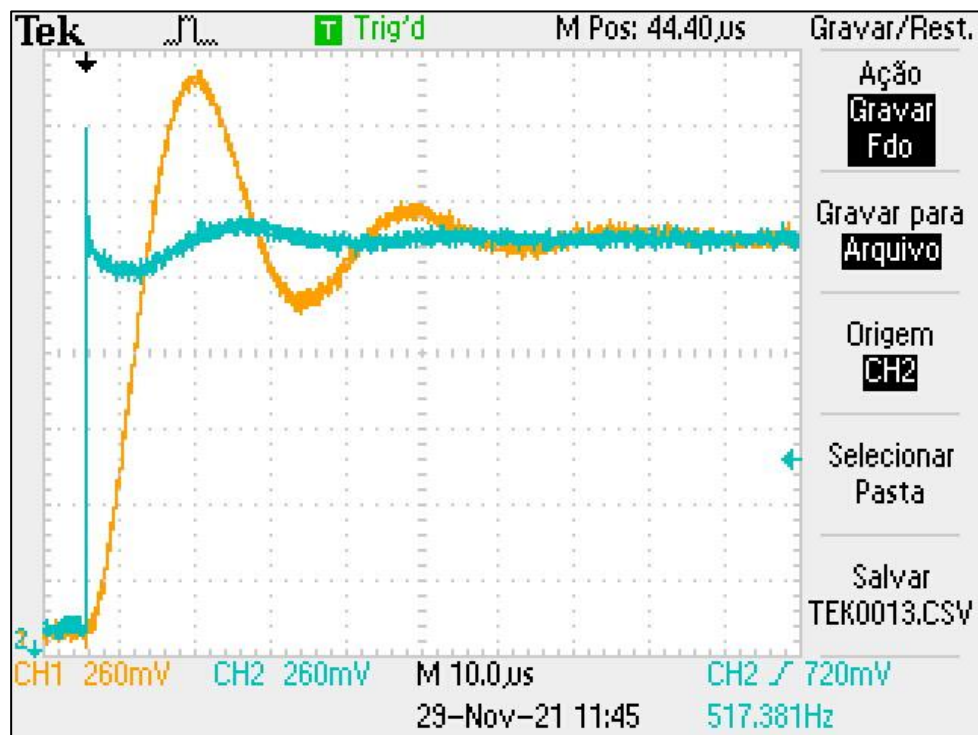
- $K = 1$;
- $\theta = 0$;
- $\zeta = 0,3354$;
- $\omega_n = 223606,7977$;

A partir destes valores foi possível validar o funcionamento do aplicativo na aproximação de funções de transferência, como será apresentado na próxima seção.

5.2 – Aquisição dos dados do circuito

Por meio do circuito implementado em laboratório, com um osciloscópio foi possível visualizar a resposta obtida e capturar os pontos de entrada e resposta, esses dados podem ser observados na Figura 20.

Figura 20: Entrada e Resposta do Circuito RLC Série



Fonte: Autoria Própria.

O osciloscópio utilizado foi o *Tektronix Tds2012*, além da captura da forma de onda, ele também é capaz de fazer a captura de todos os pontos que a geraram, dessa forma, após tratar os dados e colocá-los no padrão mostrado na Tabela 1, o aplicativo pode ser executado.

5.3 – Utilização do aplicativo

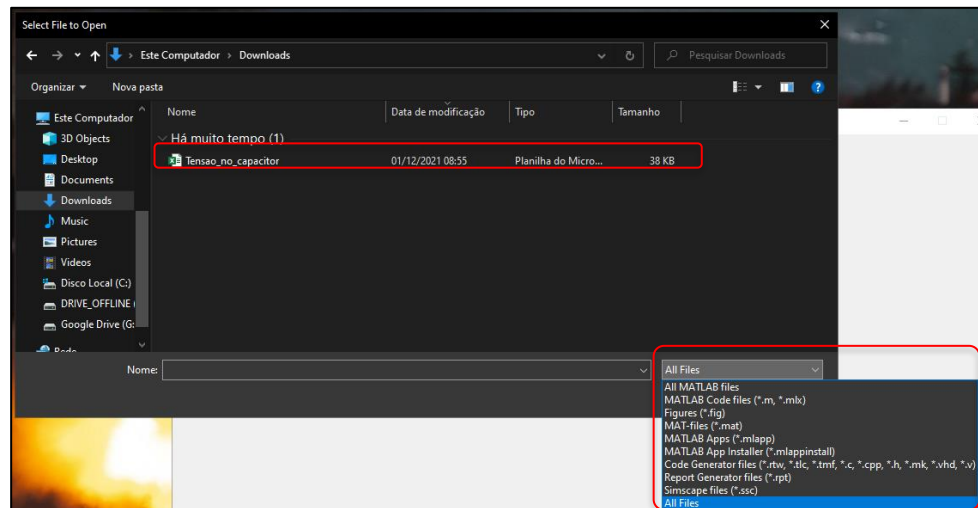
Com todas as informações e dados obtidos nos itens anteriores, é possível utilizar o aplicativo propriamente para estimação dos parâmetros.

O primeiro passo para utilizar o aplicativo após abri-lo é clicar no botão “Carregar dados”, vide Figura 11.

Logo após será aberta uma janela para escolher o diretório do arquivo que contém os dados, nesse caso, os dados se encontram dentro da pasta “Downloads”, por padrão os arquivos que aparecerão são os de extensões desenvolvidas pelo próprio MATLAB®, contudo os arquivos foram

formatados com o uso de um *software* de planilhas externo, e dessa forma será necessário habilitar a busca de todos os tipos de formatos, como mostrado na Figura 21.

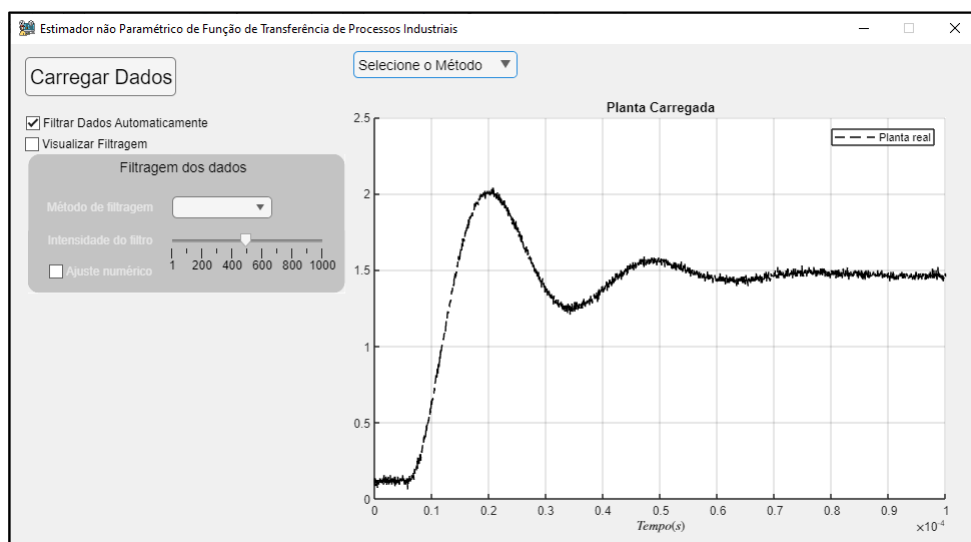
Figura 21: Seleção do arquivo carregado



Fonte: Autoria Própria.

A partir dos dados carregados, torna-se possível visualizar a resposta gerada pelo circuito na tela do aplicativo como ilustrado na Figura 22.

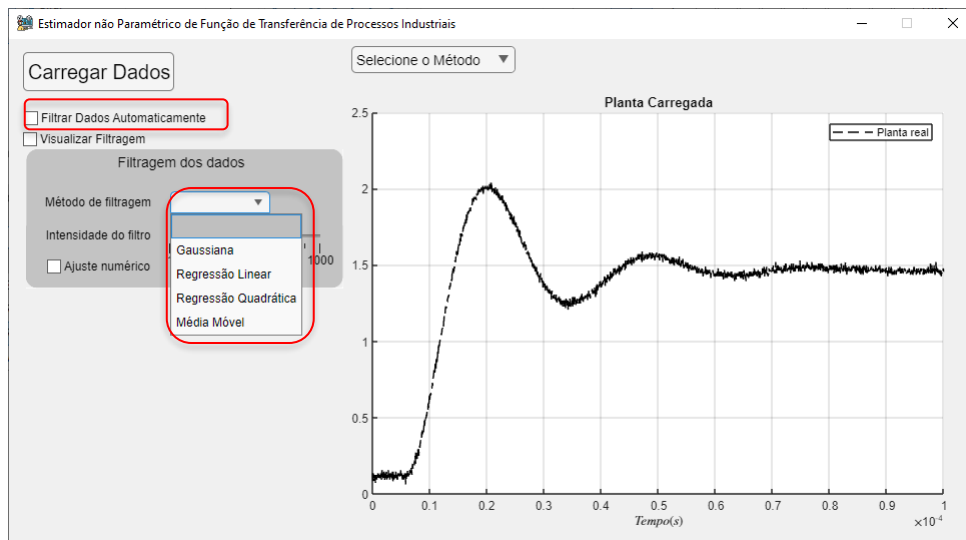
Figura 22: Dados Carregados com sucesso



Fonte: Autoria Própria.

Após Carregar os dados, o próximo passo como mostra o fluxograma na Figura 23 é desabilitar a filtragem automática, este passo é importante quando se busca um ajuste fino, caso a filtragem automática gere um resultado satisfatório, isso pode ser negligenciado.

Figura 23: Filtragem automática desativada



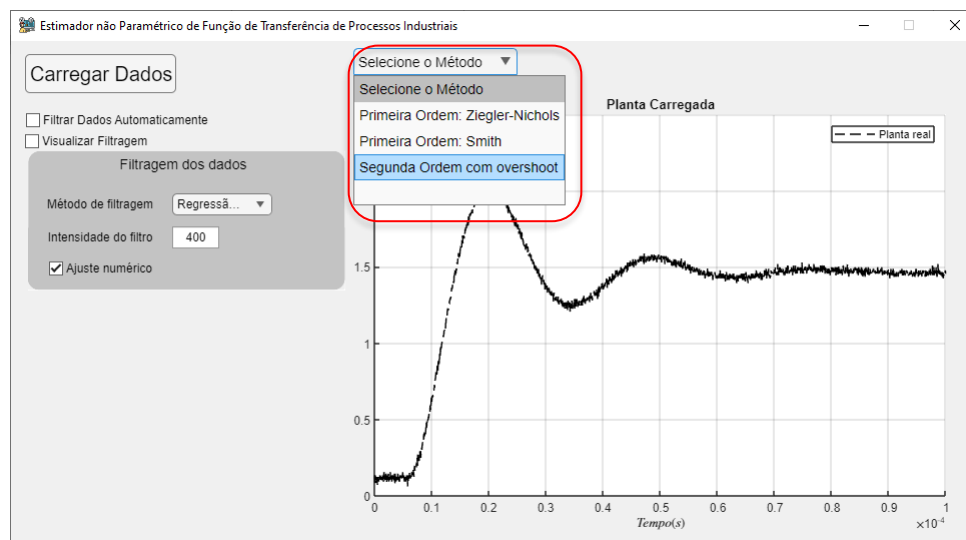
Fonte: Autoria Própria.

Após desabilitar a filtragem automática, ao clicar no botão “Método de filtragem” foi selecionado o método “Regressão Quadrática”, após realizar testes empíricos foi constatado que este é o método mais recomendado para esse caso em específico.

Após selecionar o método, para utilizá-lo em uma intensidade específica, foi alterado o ajuste por *slider* através do botão “Ajuste numérico”, com isso, foi utilizado uma intensidade de 400 pontos para o estudo de caso.

Com os dados carregados e filtrados, para visualizar uma aproximação da função transferência gerada pelo aplicativo foi selecionado um tipo de aproximação apropriado, neste caso, o comportamento da resposta indica um comportamento característico de plantas de segunda ordem, desta forma em “Selecione o método” foi escolhido a aproximação “Segunda Ordem com overshoot”, como ilustrado na Figura 24.

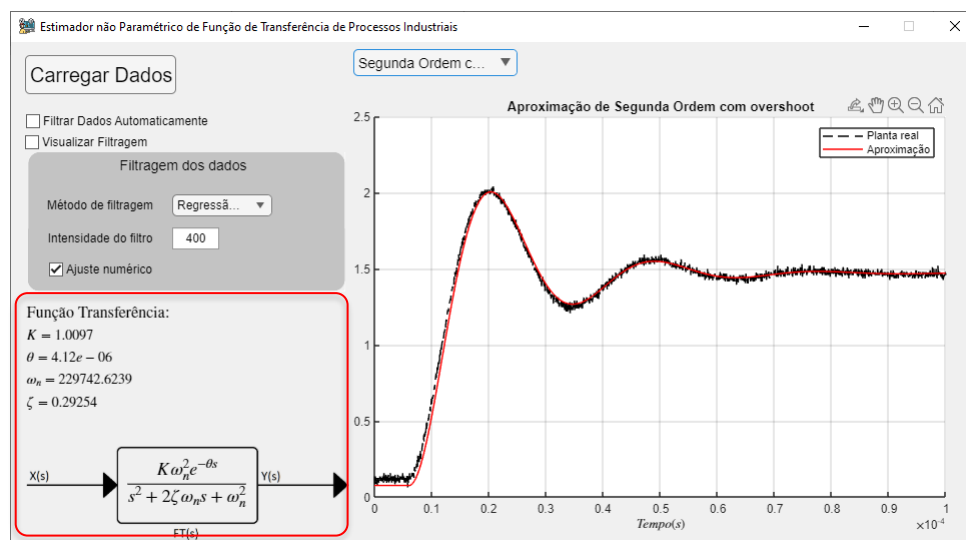
Figura 24: Seleção do método de aproximação



Fonte: Autoria Própria.

Após a seleção o método para aproximar a função de transferência, o aplicativo pode retornar os parâmetros de uma função de transferência, Figura 25.

Figura 25: Resultados gerados pelo aplicativo



Fonte: Autoria Própria.

5.4 – Resultados

Com os resultados teóricos levantados na Seção 5.1 e com os resultados experimentais encontrados na Seção 5.3, construiu-se a Tabela 2 para verificar o erro presente em cada um dos parâmetros estimados.

Tabela 2: Resultados obtidos

<i>Parâmetro</i>	<i>Teórico</i>	<i>Experimental</i>	<i>Erro Relativo (%)</i>
K	1	1,0097	0,97
ζ	0,3354	0,2925	12,79
ω_n	223606,7977	229742,6239	2,74
θ	0	$4,12 \times 10^{-6}$	-----

Fonte: Autoria Própria

Através da Tabela 2 é possível notar que os parâmetros encontrados pelo aplicativo são próximos dos dados obtidos teoricamente. O maior erro relativo encontrado foi no coeficiente de amortecimento ζ , uma vez que há diferenças nos valores dos componentes físicos e teóricos, além da forma do sinal de excitação, devido ao equipamento utilizado..

Os valores do resistor, capacitor e indutor utilizados na construção do circuito teórico, e consequentemente da função de transferência foram os valores comerciais, ou seja, existe um desvio percentual de cada um desses valores associados a cada componente. Somente no Resistor utilizado existe uma variação de 10% do valor informado, e isso refletiu diretamente no erro relativo presente no coeficiente de amortecimento, pois o mesmo está diretamente relacionado com o valor da resistência.

6 – Conclusão

Através deste manual, tornou-se possível notar que o EnPFTPI foi capaz de aproximar funções de transferência de primeira e de segunda ordem, desde que para o caso de uma planta de segunda ordem, essa deve possuir pelo menos dois picos de *overshoot* bem pronunciados. Os resultados obtidos na Seção 5 puderam mostrar que a ferramenta é capaz de aproximar funções de transferência apenas com dados de entrada, saída e Amostragem.

Com a disponibilização do EnPFTPI, espera-se contribuir com estudantes e profissionais da área de automação e controle que demandam levantar uma função transferência de um processo industrial real, pois, o levantamento dessa é de suma importância para sistemas de controle clássicos ou modernos que utilizam de modelo para calcular os ganhos do controlador.

REFERÊNCIAS

SÖDERSTRÖM, T.; STOICA, P., *System Identification*, 1^a ed., Prentice Hall International, United Kingdom, 1989.

MARLIN, T. E. *Process Control: designing processes and control systems for dynamicperformance*. McGraw-Hill, Inc., 2 edition,. 2014.

OGATA, K. *Engenharia de Controle moderno*. 5^a ed. Prentice Hall. São Paulo, 2010.