

Pedro Jacob Bosman Barros

**Relatório de Estágio Supervisionado LIEC -
Laboratório de Instrumentação Eletrônica e
Controle**

Campina Grande, Paraíba

Agosto de 2022

Pedro Jacob Bosman Barros

Relatório de Estágio Supervisionado LIEC - Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Centro de Engenharia Elétrica e Informática – CEEI

Departamento de Engenharia Elétrica – DEE

Orientador: George Acioli Júnior, D.Sc.

Campina Grande, Paraíba

Agosto de 2022

Pedro Jacob Bosman Barros

Relatório de Estágio Supervisionado LIEC - Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Trabalho aprovado. Campina Grande, Paraíba, 01 de setembro de 2022:

George Acioli Júnior, D.Sc.
Orientador

Rafael Bezerra Correia Lima, D.Sc.
Convidado

Campina Grande, Paraíba
Agosto de 2022

Agradecimentos

Os agradecimentos principais são direcionados aos meus pais, Péricles Barros e Heliante Bosman, bem como as minhas irmãs, Clarisse Pétua e Fabrícia Paola, por todo o incentivo e apoio, seja profissional ou emocional, que sempre me deram. Não existem palavras que descrevam minha gratidão à vocês.

Agradeço aos mestres desta jornada pela orientação deste e de outros trabalhos acadêmicos fundamentais na minha formação profissional, em especial: D.Sc. George Acioli pela orientação no desenvolvimento deste trabalho acadêmico; Ph.D. Péricles Barros por ter aceitado supervisionar o estágio; D.Sc. Rafael Lima, por ter aceitado compor a banca de avaliação deste trabalho.

Agradeço também aos professores e funcionários da Universidade Federal de Campina Grande pelos ensinamentos e experiências que vão além dos livros e por tornarem o ensino possível. Em especial, além dos já citados, os professores Alexandre Serres, Gutemberg Lira, Wamberto Queiroz, Gutemberg Júnior, Adolfo Herbster, Jaidilson Jó da Silva, Danilo Santos e aos funcionários do departamento, Adail Ferreira e Tchaikowsky Oliveira, que auxiliaram imensamente em todas as questões burocráticas da faculdade.

A minha companheira, Camyla Bandeira, e aos meus grandes amigos, Layrton Reis, Hugo Addobbati, João Lula e Rodrigo Assis, sou imensamente grato por tê-los em minha vida e pela compreensão das ausências. Por fim, agradeço aos meus queridos amigos de curso e que levarei para a vida. Sem vocês este curso não teria graça.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Foto da fachada do edifício do LIEC	9
Figura 2 – Arquitetura geral do sistema LIEC Remote	11
Figura 3 – Algoritmo do Controlador Preditivo DMC - caso monovariável	17
Figura 4 – Interface do MATLAB	18
Figura 5 – Interface do <i>App Designer</i> - Desenvolvimento da Interface do Aplicativo	18
Figura 6 – Interface do <i>App Designer</i> - Desenvolvimento do Código do Aplicativo	19
Figura 7 – Interface do Software DMCSimulado	21
Figura 8 – Definir Sistema de 1 ^o Ordem com Atraso	22
Figura 9 – Definir Parâmetros do Controlador DMC	23
Figura 10 – Resposta ao Degrau do Sistema - Encontrar Matrizes DMC	24
Figura 11 – Parâmetros da Simulação	24
Figura 12 – Gráfico - Simulação	25
Figura 13 – Salvar Dados da Simulação	25

Lista de abreviaturas e siglas

DEE	Departamento de Engenharia Elétrica
DMC	<i>Dynamic Matrix Control</i>
FIR	Resposta ao Impulso Finita
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
IHM	Interface Humano-Máquina
LIEC	Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande

Lista de símbolos

k	Instante de amostragem
h_i	Coefficientes da resposta ao impulso
$u(k - i)$	História passada das ações de controle
N	Tempo de estabilização da variável controlada
$y(k)$	Variável controlada - Saída do processo
$u(k)$	Ações de controle - Entrada do processo
S_N	Coefficientes de resposta ao degrau do processo
N_p	Horizonte de predição
M	Horizonte de controle
\hat{Y}	Valores preditos da variável controlada
ΔU	Ações futuras de controle
$\Upsilon(k)$	Leitura do sensor da planta no instante atual " k "
P	Efeito das ações de controle passadas
S	Matriz dinâmica do sistema
\hat{E}	Vetor de erros entre o valor desejado e o previsto
SP	Valor de referência
U	Ações de controle
J	Função de custo
R	Fator de supressão (Matriz de pesos)
$G(s)$	Função de transferência do processo
K	Ganho de estado estacionário do processo
T	Constante de tempo do processo
θ	Tempo de atraso do processo

Sumário

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Objetivos	8
1.2	Local do Estágio	9
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1	Sistema LIEC Remote	10
2.2	Algoritmo de Controle Preditivo - <i>Dynamic Matrix Control</i> (DMC)	11
2.2.1	Predição das Saídas	12
2.2.2	Controlador Preditivo DMC	14
2.2.2.1	Função Objetivo	16
2.3	MATLAB	17
2.3.1	<i>App Designer</i>	18
3	ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	20
3.1	Atividades de Estudo	20
3.2	Atividades de Documentação	20
3.3	Atividades de Desenvolvimento de Software (DMCSimulado)	20
3.3.1	Definição do Sistema	22
3.3.2	Definição dos parâmetros do Controlador	22
3.3.3	Encontrando matrizes - DMC	23
3.3.4	Simulação	24
3.3.5	Salvar Dados	25
4	CONCLUSÃO	26
	REFERÊNCIAS	27
	APÊNDICES	28
	APÊNDICE A – SISTEMA LIEC REMOTE	29
A.1	Software - Usuários	29
A.2	Software - Processos	45
A.3	Software - Servidor	57

1 Introdução

Neste documento são descritas as atividades desenvolvidas pelo discente Pedro Jacob Bosman Barros no Estágio Supervisionado de 180 horas. O estágio foi realizado no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC), durante o período de 30 de maio de 2022 até 19 de agosto de 2022, sob a orientação do professor George Acioli Júnior e a supervisão do professor Péricles Rezende Barros.

O estágio supervisionado tem como objetivo o cumprimento da disciplina Estágio Curricular, pertencente à grade do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). A disciplina é fundamental para a formação profissional, proporcionando ao aluno a oportunidade de colocar em prática os conhecimentos adquiridos no decorrer do curso e no decorrer do estágio.

Nesse estágio, as principais atividades desenvolvidas pelo estagiário referem-se à documentação de programas do sistema LIEC Remote, com a elaboração de guias de uso, e o desenvolvimento de um software que simula a resposta de sistemas de 1º ordem com atraso, em malha aberta, com um controlador preditivo do tipo *Dynamic Matrix Control* (DMC) projetado para rastrear uma referência desejada.

1.1 Objetivos

Os principais objetivos definidos para o estágio supervisionado, realizado no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC), foram a documentação dos programas do LIEC Remote, de forma a facilitar o uso dos software, e o desenvolvimento de um software que auxilie os alunos do laboratório nos estudos de controle preditivo.

Os objetivos específicos definidos foram:

1. elaborar um guia de uso para o software dos usuários do sistema LIEC Remote;
2. elaborar um guia de uso para o software dos dispositivos de processos do sistema LIEC Remote;
3. elaborar um guia de uso para o software servidor do sistema LIEC Remote;
4. o desenvolvimento de um software que simula a resposta de sistemas de 1º ordem com atraso, em malha aberta, com um controlador preditivo do tipo *Dynamic Matrix Control* (DMC) projetado para rastrear uma referência desejada.

1.2 Local do Estágio

O Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC), localizado no edifício Gurdip Singh Deep da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), é um laboratório do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) voltado para pesquisas nas áreas de Controle, Automação e Eletrônica.

O LIEC ocupa um prédio de $900m^2$ e é composto por laboratórios de Controle de Processos, Sistemas de Manufatura, IoT industrial, Automação, Wireless e de Controle e Otimização. Além disso, possui um auditório e salas para o desenvolvimento e para os alunos de pós-graduação (LIEC, 2022). Assim, o laboratório compreende um ambiente de desenvolvimento acadêmico, teórico e prático, nos níveis de graduação e pós-graduação.

Figura 1 – Foto da fachada do edifício do LIEC



Fonte: (LIEC, 2022)

2 Fundamentação Teórica

2.1 Sistema LIEC Remote

O sistema LIEC Remote é um sistema de laboratório remoto utilizado no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC). Esse sistema é composto por software e hardware que, em conjunto, permitem o acesso remoto de usuários à processos reais.

A arquitetura geral do sistema LIEC Remote pode ser vista na figura 2. O sistema possui 3 tipos de software:

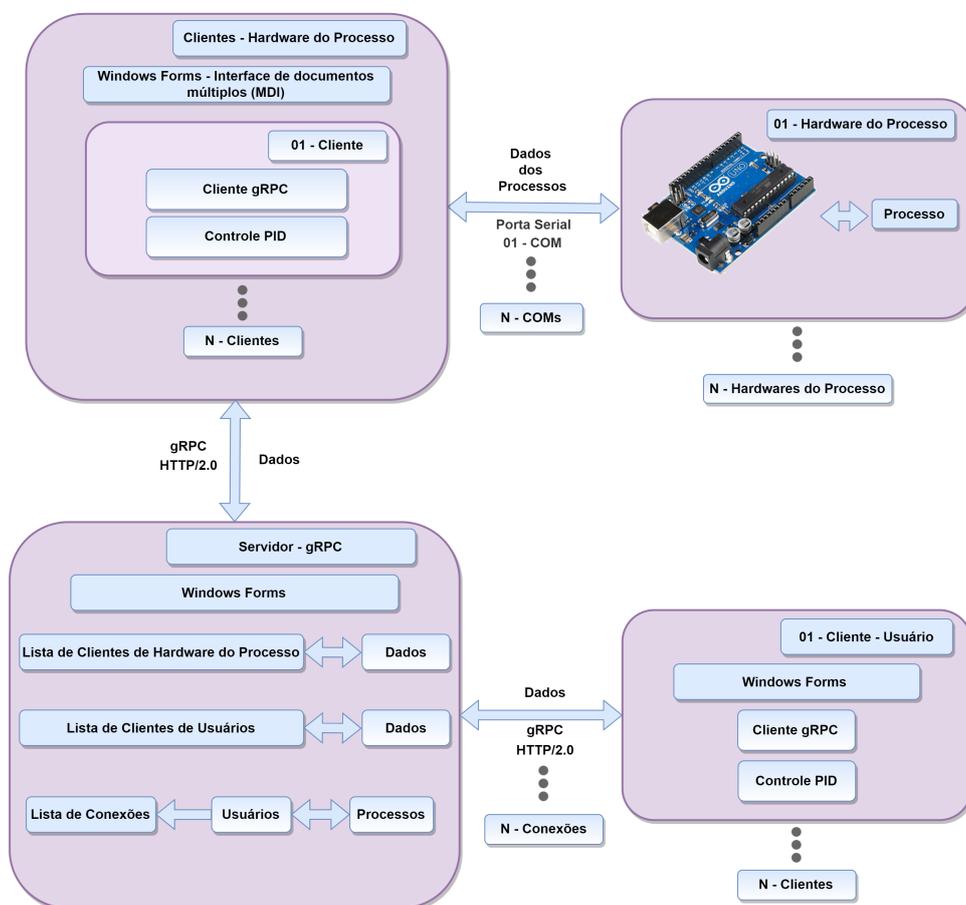
- **dos usuários;**
- **dos dispositivos de processos;**
- **servidor.**

Na figura 2, o software dos usuários é representado pelo "01-Cliente-Usuário". Esse software disponibiliza uma interface gráfica para realização de testes e experimentos em processos reais, principalmente para os alunos do LIEC. Assim, por meio dessa interface, é possível realizar a conexão remota com os servidores que possuem os dados dos processos reais, e, mediante a conexão, escolher os processos disponíveis a serem analisados e controlados.

O "Clientes - Hardware do Processo", na figura 2, representa o software dos dispositivos. Esse software é o responsável pela comunicação direta e física com os hardwares dos processos (ou seja, com os processos físicos). Assim, ele é implementado de forma a servir como uma Interface Humano-Máquina (IHM) para cada um dos diversos processos e a possibilitar a comunicação entre os processos e o servidor do sistema LIEC Remote.

O software servidor é representado pelo "Servidor - gRPC" na figura 2. Esse software é o responsável pelo gerenciamento e monitoramento dos dados remotos do sistema. Assim, de forma geral, ele efetua um controle de acesso dos software (dos dispositivos de processos e dos usuários) aos dados dos outros software, aos dados dos processos e ao controle dos processos. A partir disso, ele disponibiliza uma interface gráfica para análise e gerenciamento desses acessos.

Figura 2 – Arquitetura geral do sistema LIEC Remote



Fonte: Elaboração própria

2.2 Algoritmo de Controle Preditivo - *Dynamic Matrix Control*(DMC)

O controlador preditivo com algoritmo *Dynamic Matrix Control* (DMC) utiliza um modelo de comportamento dinâmico para definir as suas ações de controle. Nesse sentido, os processos para esse controlador devem ser representados por modelos baseados na resposta ao impulso (FIR) ou ao degrau (CAMPOS; GOMES; PEREZ, 2013). Desse modo, o objetivo principal do controlador preditivo DMC é calcular as futuras ações de controle a serem aplicadas ao processo que levem a variável controlada para um valor de referência.

2.2.1 Predição das Saídas

Será apresentado a seguir o cálculo de predição das saídas. A predição da saída no instante de amostragem " k ", de posse do modelo (coeficientes da resposta ao impulso - h_i) e da história passada das ações de controle ($u(k - i)$), é dada pela equação 2.1.

$$y(k) = \sum_{j=1}^N h_j \cdot u(k - j) \quad (2.1)$$

Na equação 2.1, N é o tempo de estabilização da variável controlada $y(k)$, ou seja, o tempo que o processo necessita para estabilizar após uma perturbação em degrau aplicada à entrada. Na teoria de controle preditivo, o tempo de estabilização N é substituído pelo horizonte de predição (explicado na seção 2.2.2).

Supondo que o processo esteja no instante de amostragem " k ", para se ter a previsão da próxima saída do processo, no instante " $k + 1$ ", pode-se modificar a equação 2.1 para:

$$\hat{y}(k + 1) = \sum_{j=1}^N h_j \cdot u(k + 1 - j). \quad (2.2)$$

De forma paralela, é possível calcular o erro de predição cometido no instante " k ", considerando a predição feita no instante anterior " $k - 1$ " ($\hat{y}(k)$) e a medição atual (instrumento de medição) da saída do processo $y(k)$. Assim, o erro de predição cometido para o instante " k " é $(y(k) - \hat{y}(k))$. Nesse sentido, esse erro pode afetar as próximas predições e, portanto, ele é utilizado para corrigir as predições, diminuindo a sensibilidade do controlador preditivo aos erros de modelagem e às perturbações. Esse erro de predição é adicionado ao lado direito da equação 2.2, resultando na equação 2.3:

$$\hat{y}(k + 1) = \sum_{j=1}^N h_j \cdot u(k + 1 - j) + (y(k) - \hat{y}(k)). \quad (2.3)$$

A partir disso, deve-se observar na equação 2.3 que a predição no intervalo " k " ($\hat{y}(k)$) é dada pela equação 2.4:

$$\hat{y}(k) = \sum_{j=1}^N h_j \cdot u(k - j). \quad (2.4)$$

Portanto, substituindo $\hat{y}(k)$ na equação 2.3 e rearranjando:

$$\begin{aligned}
\hat{y}(k+1) &= y(k) + \left(\sum_{j=1}^N h_j \cdot u(k+1-j) - \sum_{j=1}^N h_j \cdot u(k-j) \right) \\
\hat{y}(k+1) &= y(k) + \left(\sum_{j=1}^N h_j \cdot (u(k+1-j) - u(k-j)) \right) \\
\hat{y}(k+1) &= y(k) + \left(\sum_{j=1}^N h_j \cdot \Delta u(k+1-j) \right),
\end{aligned} \tag{2.5}$$

em que $\Delta u(k+1-j) = (u(k+1-j) - u(k-j))$.

Assim, separando na equação 2.5 as ações de controle conhecidas ($u(k-1), u(k-2), \dots$) das ações de controle futuras ($u(k), \dots$) que o controlador preditivo DMC deseja calcular, obtêm-se:

$$\begin{aligned}
\hat{y}(k+1) &= y(k) + h_1 \cdot \Delta u(k) + \left(\sum_{j=2}^N h_j \cdot \Delta u(k+1-j) \right) \\
\hat{y}(k+1) &= h_1 \cdot \Delta u(k) + y(k) + P(1).
\end{aligned} \tag{2.6}$$

Na equação, o termo $P(1)$ pode ser obtido em função do histórico das ações de controle passadas ($u(k-1), u(k-2), \dots$).

Após isso, para prever outras saídas futuras, como exemplo, o próximo instante (" $k+2$ "), deve-se substituir o valor medido $y(k)$ da equação 2.5 pela previsão do instante " $k+1$ " (equação 2.7), e efetuar um procedimento análogo ao anterior.

$$\hat{y}(k+2) = \hat{y}(k+1) + \left(\sum_{j=1}^N h_j \cdot \Delta u(k+2-j) \right). \tag{2.7}$$

Assim, para um instante qualquer " $k+j$ ", a equação de predição será:

$$\begin{aligned}
\hat{y}(k+j) &= (h_1 + h_2 + \dots + h_j) \cdot \Delta u(k) + (h_1 + h_2 + \dots + h_{j-1}) \cdot \Delta u(k+1) \\
&+ \dots + h_1 \Delta u(k+j-1) + (y(k) + P(1) + \dots + P(j)).
\end{aligned} \tag{2.8}$$

Colocando na forma matricial:

$$\begin{bmatrix} \hat{y}(k+1) \\ \hat{y}(k+2) \\ \vdots \\ \hat{y}(k+N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & 0 & 0 & 0 \\ \sum_{i=1}^2 h_i & h_1 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \sum_{i=1}^N h_i & \sum_{i=1}^N h_i & \dots & h_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u(k) \\ \Delta u(k+1) \\ \vdots \\ \Delta u(k+N-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y(k) + P(1) \\ y(k) + \sum_{i=1}^2 P(i) \\ \vdots \\ y(k) + \sum_{i=1}^N P(i) \end{bmatrix}. \tag{2.9}$$

2.2.2 Controlador Preditivo DMC

A matriz dinâmica S , que deu nome ao algoritmo *Dynamic Matrix Control* (DMC), é representada por:

$$S = \begin{bmatrix} S_1 & 0 & 0 & 0 \\ S_2 & S_1 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_N & S_{N-1} & \cdots & S_1 \end{bmatrix}, \quad (2.10)$$

em que os coeficientes " S_N " (coeficientes de resposta ao degrau do processo) da matriz dinâmica (S) podem ser obtidos a partir dos coeficientes da resposta ao impulso, como pode ser visto na equação 2.11.

$$S_Z = \sum_{i=1}^Z h_i. \quad (2.11)$$

Assim, substituindo na equação 2.9 a matriz de coeficientes da resposta ao impulso pela matriz dinâmica S , têm-se:

$$\begin{bmatrix} \hat{y}(k+1) \\ \hat{y}(k+2) \\ \vdots \\ \hat{y}(k+N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 & 0 & 0 & 0 \\ S_2 & S_1 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_N & S_{N-1} & \cdots & S_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u(k) \\ \Delta u(k+1) \\ \vdots \\ \Delta u(k+N-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y(k) + P(1) \\ y(k) + \sum_{i=1}^2 P(i) \\ \vdots \\ y(k) + \sum_{i=1}^N P(i) \end{bmatrix}. \quad (2.12)$$

Desse modo, é possível observar que a predição da resposta futura do processo possui uma parte que depende das ações de controle futuras ($\Delta u(k), \Delta u(k+1), \dots$) e outra que é função das ações de controle passadas, já enviadas para o sistema de controle do processo (CAMPOS; GOMES; PEREZ, 2013).

Para o controlador preditivo DMC, a equação matricial 2.12 se resume à predição em um horizonte " N_p ", e é escrita na forma:

$$\begin{bmatrix} \hat{y}(k+1) \\ \hat{y}(k+2) \\ \vdots \\ \hat{y}(k+N_p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 & 0 & 0 & 0 \\ S_2 & S_1 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{N_p} & S_{N_p-1} & \cdots & S_{N_p-M+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u(k) \\ \Delta u(k+1) \\ \vdots \\ \Delta u(k+M-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y(k) + P(1) \\ y(k) + P(2) \\ \vdots \\ y(k) + P(N_p) \end{bmatrix}. \quad (2.13)$$

Os parâmetros N_p e M são o horizonte de predição e o horizonte de controle, respectivamente. O horizonte de predição (N_p) é o intervalo de tempo que as variáveis

são previstas pelo controlador. O horizonte de controle (M) é o horizonte de cálculo das variáveis de entrada do processo (ações de controle).

Portanto, o controlador preditivo DMC não calcula " Np " ações de controle, mas apenas " M " ações de controle. Além disso, o horizonte de controle deve ser menor que o horizonte de predição.

A equação matricial 2.13 do controlador preditivo DMC pode ser escrita na forma:

$$\hat{Y} = S \cdot \Delta U + \Upsilon(k) + P, \quad (2.14)$$

em que:

- \hat{Y} : são os valores preditos e corrigidos da variável controlada " y " do instante " $k + 1$ " até o horizonte de predição Np ;
- ΔU : ações futuras de controle (variável manipulada);
- $\Upsilon(k)$: leitura do sensor da planta no instante atual " k ";
- P : efeito das ações de controle passadas sobre o comportamento futuro do processo.
- S : matriz que mostra a dinâmica do processo, pois contém os coeficientes de resposta ao degrau deste processo. Chamada, portanto, de matriz dinâmica do sistema.

A partir da equação 2.14, é possível encontrar o vetor "*erro*". Nesse sentido, o vetor "*erro*" é obtido pela diferença entre um vetor com os valores de referência desejados y^{sp} no horizonte de predição (Np) para a variável controlada e o vetor de predição \hat{Y} ($E = SP - \hat{Y}$). Essa subtração, por meio da equação 2.14, resulta a equação:

$$\hat{E} = -S \cdot \Delta U + e_k - P. \quad (2.15)$$

E, na forma matricial:

$$\begin{bmatrix} \hat{e}(k+1) \\ \hat{e}(k+2) \\ \vdots \\ \hat{e}(k+N_p) \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} S_1 & 0 & 0 & 0 \\ S_2 & S_1 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{N_p} & S_{N_p-1} & \cdots & S_{N_p-M+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u(k) \\ \Delta u(k+1) \\ \vdots \\ \Delta u(k+M-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e(k) - P(1) \\ e(k) - P(2) \\ \vdots \\ e(k) - P(N_p) \end{bmatrix}. \quad (2.16)$$

Definindo $e = e_k - P$:

$$\hat{E} = -S \cdot \Delta U + e, \quad (2.17)$$

em que:

- \hat{E} : Vetor de erros entre o valor desejado e os valores previstos
- e : Vetor de erros sem ações de controle futuras.

2.2.2.1 Função Objetivo

Um possível objetivo do controlador preditivo é o de levar a variável controlada do processo para um valor de referência (SP). Assim, as ações de controle (U) poderiam ser calculadas de forma a minimizar o erro (E) entre os valores de SP e a predição para a saída da planta \hat{Y} , em certo horizonte de predição Np .

Para atingir esse objetivo, uma possível função objetivo seria minimizar o somatório dos erros preditos, por meio da função de custo " J ":

$$J = E^T E + \Delta U^T R \Delta U, \quad (2.18)$$

em que $E^T \cdot E = \sum_{j=1}^N e^2$, e a matriz R ($M \times M$) é chamada de fator de supressão. Nesse sentido, a matriz R define um peso sobre os movimentos da variável manipulada para cada instante do horizonte de controle, possibilitando a atenuação da ação do controlador sobre a variável manipulada. Caso seja uma matriz nula, o controle pode ser mais "agressivo". A matriz R é apresentada a seguir:

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} R_1 & \cdots & 0 \\ 0 & R_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & R_M \end{bmatrix}. \quad (2.19)$$

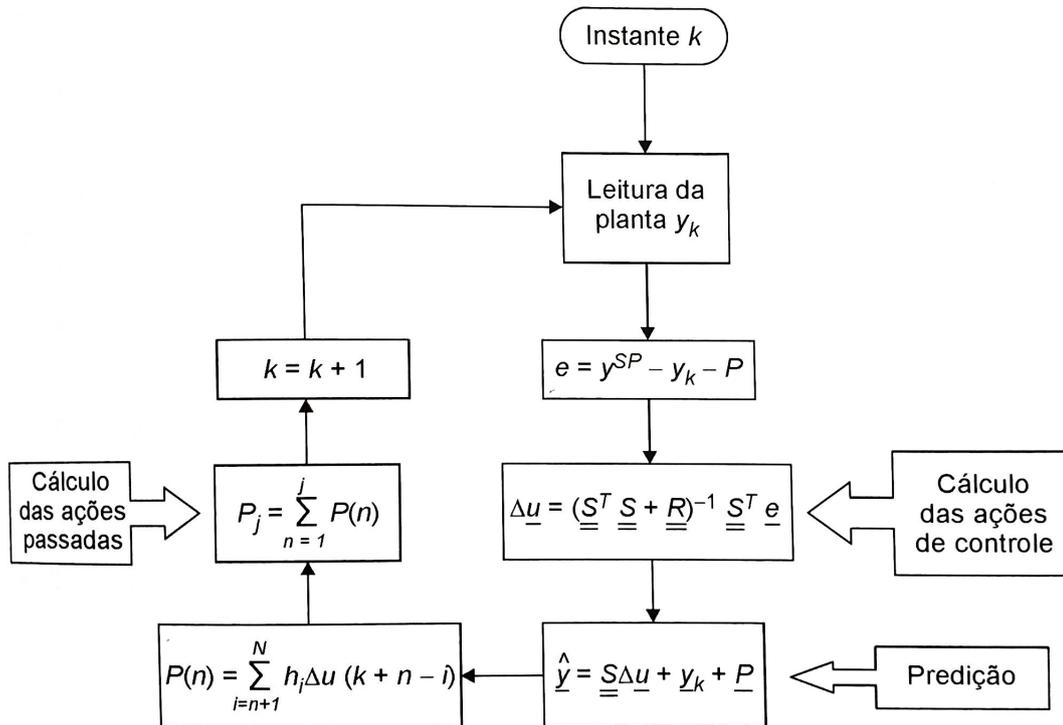
Assim, pode-se obter uma solução analítica para as ações ótimas de controle por meio da determinação do ponto de derivada nula da função de custo " J ". Portanto, substituindo a equação 2.17 na equação 2.18, e desenvolvendo a equação e a derivada, têm-se:

$$\begin{aligned} \frac{\partial J}{\partial \Delta U} &= 2S^T S \Delta U - S^T e - e^T S + 2R \Delta U = 0 \\ \Delta U &= (S^T S + R)^{-1} S^T e. \end{aligned} \quad (2.20)$$

Desse modo, a equação 2.20 é a lei de controle desse controlador preditivo sem restrições, aplicada a um problema monovariável (CAMPOS; GOMES; PEREZ, 2013).

Por fim, de posse de todas as informações, o algoritmo do controlador preditivo DMC é apresentado na figura 3.

Figura 3 – Algoritmo do Controlador Preditivo DMC - caso monovariável



Fonte: (CAMPOS; GOMES; PEREZ, 2013)

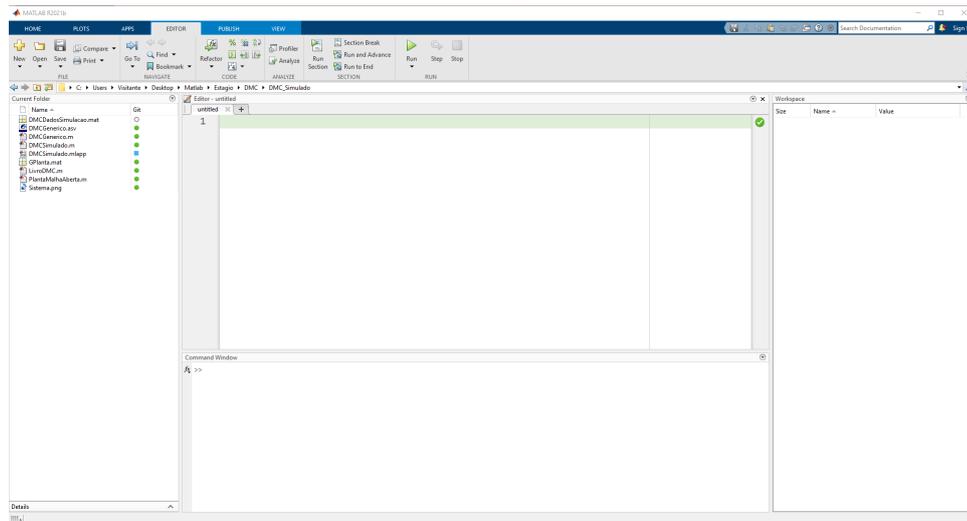
2.3 MATLAB

O MATLAB é uma plataforma de programação e de computação numérica voltada para a análise de dados, desenvolvimento de algoritmos e a criação de modelos, utilizada por milhões de engenheiros e cientistas (MATHWORKS, 1994-2022). A interface do MATLAB é apresentada na figura 4.

Algumas das áreas em que a plataforma pode ser utilizada são robótica, sistemas de controle, aprendizado de máquina, processamento de sinais e de imagens, testes e medições. Essa vasta quantidade de aplicações é justificada pelas capacidades e ferramentas disponíveis.

Os algoritmos são desenvolvidos no software por meio da linguagem MATLAB. Ao executar um código, o MATLAB possui um intérprete que "lê" o código linha por linha. Dentre as suas capacidades, o desenvolvimento de aplicativos para web e para a área de trabalho se dá por meio da ferramenta *App Designer*.

Figura 4 – Interface do MATLAB



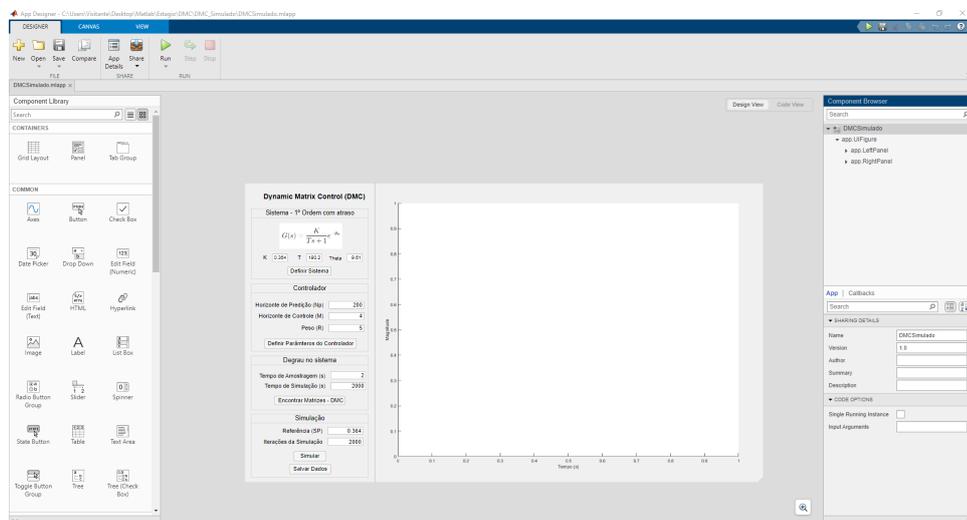
Fonte: Elaboração própria

2.3.1 App Designer

Dentre as capacidades do MATLAB, o desenvolvimento de aplicativos para web e para a área de trabalho se dá por meio do *App Designer*. Esse ambiente integrado permite com que o usuário construa simultaneamente a Interface Gráfica do Usuário (*Graphical User Interface - GUI*) e o seu código por trás.

A figura 5 apresenta a interface do *App designer* que possibilita a construção da GUI. Nesse sentido, ao arrastar e soltar componentes visuais para definir a interface gráfica, o *App Designer* gera automaticamente o código orientado a objetos que especifica o esquema (*layout*) e a GUI.

Figura 5 – Interface do *App Designer* - Desenvolvimento da Interface do Aplicativo



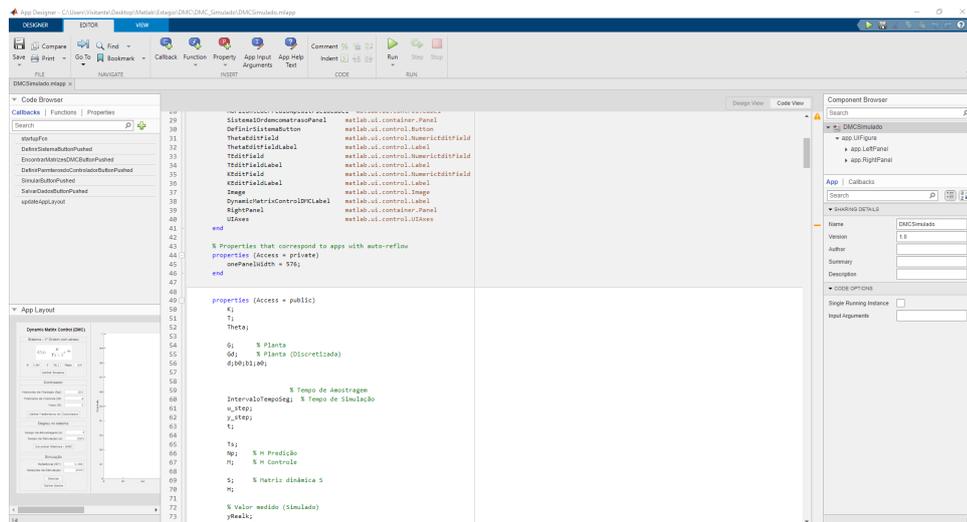
Fonte: Elaboração própria

Além da GUI, é possível programar o comportamento do aplicativo. A figura 6 apresenta a interface do *App Designer* que possibilita a construção do código em MATLAB associado à interface gráfica.

Assim, o editor separa o código nas seguintes partes:

- códigos predefinidos do sistema, com configurações padrões dos aplicativos, e que não podem ser alterados (fundo fica cinza);
- códigos gerados automaticamente quando são inseridos componentes na GUI e que não podem ser alterados (fundo fica cinza);
- códigos contendo *Callbacks*, funções e propriedades desenvolvidas pelo programador (fundo fica branco).

Figura 6 – Interface do *App Designer* - Desenvolvimento do Código do Aplicativo



Fonte: Elaboração própria

3 Atividades Desenvolvidas

3.1 Atividades de Estudo

De modo a viabilizar a realização do estágio, os objetivos das atividades de estudo foram a fixação de assuntos adquiridos durante o curso e o aprendizado de novos conceitos e ferramentas. Nesse sentido, definiu-se os seguintes tópicos de estudo foram:

1. o estudo da arquitetura do sistema LIEC Remote, por meio do estudo dos programas dos usuários, dos dispositivos de processos e servidor, viabilizando as suas documentações. Esse estudo abrangeu uma análise intrínseca da programação e o funcionamento desses software;
2. o estudo introdutório sobre controle preditivo, com uma introdução sobre os algoritmos de controle preditivo e o algoritmo *Dynamic Matrix Control* (DMC), viabilizando o desenvolvimento do software DMCSimulado;
3. o estudo sobre o software MATLAB e a sua ferramenta de criação de aplicativos *App Designer*, viabilizando o desenvolvimento do software DMCSimulado.

3.2 Atividades de Documentação

Tendo em vista que o intuito principal do sistema LIEC Remote é a disponibilização de experimentos para o estudo e o ensino, o seu uso estava prejudicado devido à falta de documentações. Nesse sentido, a existência de guias de uso facilita aos usuários e estudantes a utilização e o conhecimento de todas as ferramentas disponibilizadas pelos programas. Desse modo, se tornou importante para o LIEC e para o estágio a realização da atividade de documentação desse sistema.

Assim, a documentação do programa que é direcionado aos estudantes (software dos usuários) foi realizada e é apresentada no apêndice [A.1](#). Além desse programa, a fim de facilitar o monitoramento e o gerenciamento do sistema, as documentações dos programas que permitem o funcionamento do sistema (software dos dispositivos de processos e do servidor) também foram realizadas e estão apresentadas nos apêndices [A.2](#) e [A.3](#).

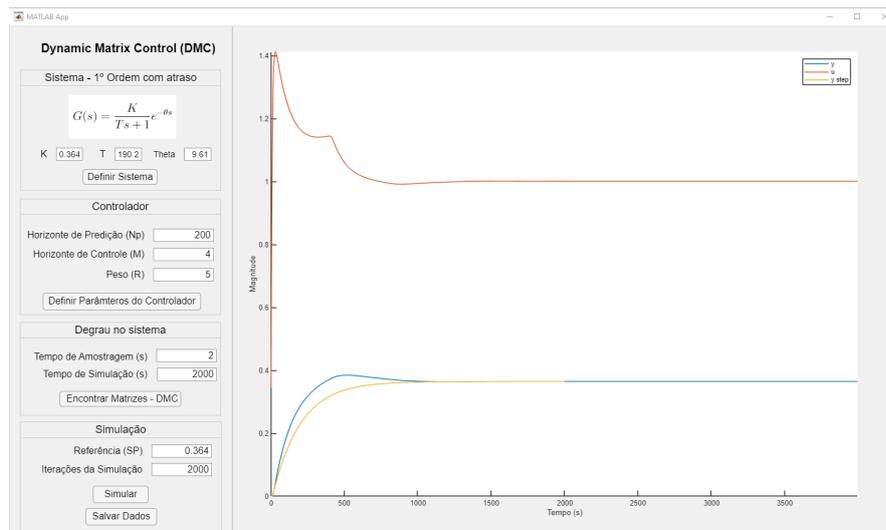
3.3 Atividades de Desenvolvimento de Software (DMCSimulado)

O desenvolvimento do software DMCSimulado foi motivado pela larga presença de aplicação do DMC na indústria de petróleo ([CAMPOS; GOMES; PEREZ, 2013](#)).

Dessa forma, visando as atividades de pesquisa e desenvolvimento do Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle, implementou-se a aplicação que auxilia os estudantes do LIEC nos estudos sobre controle preditivo.

O aplicativo DMCSimulado foi desenvolvido utilizando a ferramenta *App Designer* do software MATLAB. É um aplicativo para a área de trabalho (*desktop*) e é apresentado na figura 7.

Figura 7 – Interface do Software DMCSimulado



Fonte: Elaboração própria

É comum nas indústrias de processos que uma simples modelagem baseada em dados experimentais da resposta ao degrau se tornem um exercício de ajuste de modelo com as respostas de sistemas de primeira ordem (JOHNSON; MORADI, 2005). Dessa maneira, um modelo de sistema utilizado na aproximação da resposta ao degrau de diversos processos reais é o modelo de 1º ordem com atraso, apresentado na equação 3.1. Nesse modelo, K é o ganho de estado estacionário da planta, T é a constante de tempo da planta e θ é o tempo de atraso do processo. Devido a esse uso comum, foi escolhido como o modelo a ser utilizado no software DMCSimulado.

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-\theta s}. \quad (3.1)$$

Os controladores do tipo *Dynamic Matrix Control* (DMC) são os mais utilizados atualmente na indústria de petróleo (CAMPOS; GOMES; PEREZ, 2013). Devido a essa ampla utilização, foi o tipo de controlador preditivo utilizado no software DMCSimulado.

Assim, a ideia geral do software é que o estudante ou o usuário possa, a partir de um sistema de 1º ordem com atraso, simular a resposta do sistema com um controlador preditivo do tipo *Dynamic Matrix Control* (DMC), projetado de modo a seguir uma referência desejada.

Do ponto de vista dos estudantes, a interface gráfica do usuário (*Graphical user interface* - GUI) do software DMCSimulado foi desenvolvida de forma que o usuário siga uma sequência de definição de valores e parâmetros similar ao que acontece no algoritmo de controle preditivo do tipo DMC. Portanto, o estudante pode seguir a linha de raciocínio do algoritmo do controlador preditivo DMC e, ao mesmo tempo, simular o sistema. Nesse sentido, o usuário deve definir o modelo do sistema (1º ordem com atraso), definir os parâmetros do controlador preditivo, aplicar o degrau no sistema a fim de encontrar as matrizes do algoritmo DMC, definir os parâmetros para a simulação e simular o sistema. Além da sequência, caso o usuário deseje, é possível salvar os dados da simulação e das matrizes do controlador preditivo DMC. Os tópicos a seguir apresentam essas etapas no software DMCSimulado.

3.3.1 Definição do Sistema

Em primeira instância, para realizar a simulação de um sistema com um controlador preditivo do tipo DMC, o usuário deve fornecer um sistema ao software DMCSimulado. Com a definição do sistema, o software poderá simular a resposta ao degrau desse sistema e, a partir disso, utilizar os coeficientes da resposta ao degrau para encontrar as matrizes do controlador preditivo DMC.

A parte de definição do sistema no software DMCSimulado é apresentada na figura 8. Assim, para o usuário definir os parâmetros do sistema de 1º ordem com atraso, ele deve digitar os valores nos campos numéricos ao lado das letras K, T e da palavra Theta (θ), e em seguida clicar no botão "Definir Sistema".

Figura 8 – Definir Sistema de 1º Ordem com Atraso

Sistema - 1º Ordem com atraso

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-\theta s}$$

K 0.364 T 190.2 Theta 9.61

Definir Sistema

Fonte: Elaboração própria

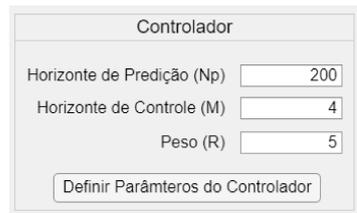
Somente após a definição do sistema é que o usuário deve prosseguir para as outras operações.

3.3.2 Definição dos parâmetros do Controlador

Após a definição do sistema, o usuário deve definir os valores dos parâmetros controlador DMC. A parte de definição dos parâmetros controlador DMC no software DMCSimulado é apresentada na figura 9. Assim, para o usuário definir os parâmetros do

controlador DMC, ele deve digitar os valores nos campos numéricos ao lado das siglas (Np), (M) e (R), que significam o horizonte de predição, o horizonte de controle e o fator de supressão do controlador DMC, respectivamente. Por fim, deve-se clicar no botão "Definir Parâmetros do Controlador". Após a simulação, o usuário poderá salvar os valores de Np, M, e da matriz R.

Figura 9 – Definir Parâmetros do Controlador DMC



Fonte: Elaboração própria

Esses três parâmetros são importantes para o estudo de controle preditivo, uma vez que a alteração deles modifica a dinâmica de resposta do sistema com o controlador preditivo. Nesse sentido, esses parâmetros são sintonizáveis. Quanto maior o horizonte de predição, maior poderá ser a suavidade no controle. Quanto maior o horizonte de controle, mais agressiva pode ser a consequência das ações do controlador sobre as variáveis controladas. Quanto maior o fator de supressão, mais suave é o controle, tendo em vista que é utilizado como um peso para diminuir as variações nas variáveis manipuladas (CAMPOS; GOMES; PEREZ, 2013).

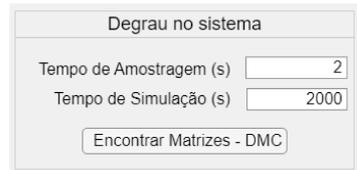
Desse modo, com a simulação e a possibilidade de modificação desses parâmetros, o software auxilia os estudantes a entenderem de forma prática o significado e a importância de cada um dos parâmetros no controle preditivo.

3.3.3 Encontrando matrizes - DMC

Após a definição dos parâmetros do controlador DMC, o usuário deve definir os parâmetros de simulação da resposta ao degrau que será aplicada ao sistema de 1º ordem com atraso sem o controlador preditivo. Por meio dessa resposta ao degrau, o software DMCSimulado calcula as matrizes do controlador preditivo DMC que serão utilizadas na simulação.

A parte de definição dos parâmetros de simulação da resposta ao degrau é apresentada na figura 10. Assim, digitando os valores nos respectivos campos numéricos, é possível definir o tempo de amostragem (segundos) de todas as simulações do sistema e o tempo de simulação da resposta ao degrau. Após isso, o usuário deve clicar no botão "Encontrar Matrizes - DMC".

Figura 10 – Resposta ao Degrau do Sistema - Encontrar Matrizes DMC



Degrau no sistema

Tempo de Amostragem (s)

Tempo de Simulação (s)

Encontrar Matrizes - DMC

Fonte: Elaboração própria

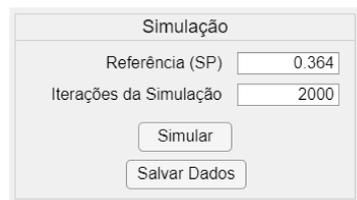
O software irá simular internamente a resposta ao degrau do sistema de 1º ordem com atraso e calcular a matriz dinâmica (os coeficientes da resposta ao degrau unitário) e os coeficientes da resposta ao impulso, utilizados no algoritmo DMC do controlador preditivo. Após a simulação, o usuário poderá salvar e visualizar a matriz dinâmica, o tempo de amostragem, o vetor do tempo de simulação da resposta ao degrau e a o vetor da resposta ao degrau.

3.3.4 Simulação

A parte da definição dos parâmetros de simulação é apresentada na figura 11. Assim, digitando os valores nos respectivos campos numéricos, é possível definir a referência (SP) a ser rastreada na resposta do sistema com o controlador preditivo e as iterações da simulação. Após isso, para realizar a simulação, o usuário deve clicar no botão "Simular".

Nesse sentido, deve-se observar que o tempo da simulação será calculado de acordo com o tempo de amostragem e o número de iterações da simulação. Após a simulação, o usuário poderá salvar os vetores de entrada e de saída do sistema de 1º ordem com atraso.

Figura 11 – Parâmetros da Simulação



Simulação

Referência (SP)

Iterações da Simulação

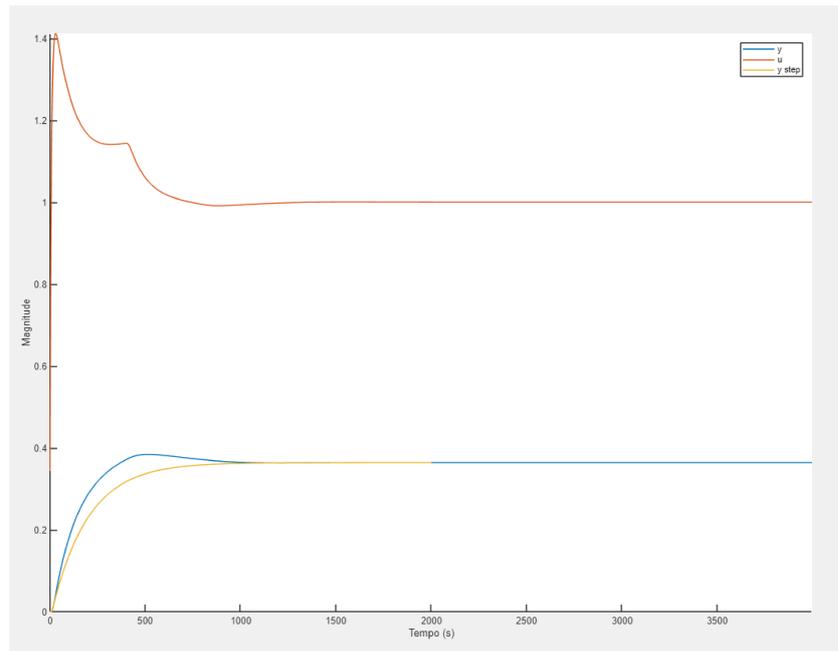
Simular

Salvar Dados

Fonte: Elaboração própria

No momento que o sistema é simulado, o software apresenta em um gráfico os valores da resposta ao degrau do sistema de 1º ordem com atraso e os valores da entrada e da saída desse sistema com o controlador preditivo. A figura 12 apresenta o gráfico integrado no software DMCSimulado.

Figura 12 – Gráfico - Simulação



Fonte: Elaboração própria

3.3.5 Salvar Dados

Por fim, para salvar os dados os valores do horizonte de predição (N_p), do horizonte de controle (M), da matriz R , da matriz dinâmica, o tempo de amostragem, o vetor do tempo de simulação da resposta ao degrau, o vetor da resposta ao degrau e os vetores de entrada e de saída do sistema de 1º ordem com atraso com o controlador preditivo, o usuário deve clicar no botão "Salvar Dados" indicado na figura 13.

Figura 13 – Salvar Dados da Simulação



Fonte: Elaboração própria

Os dados serão salvos na pasta em que o software está instalado, no formato ".mat", ou seja, no formato de armazenamento de dados que o software MATLAB utiliza.

4 Conclusão

O presente documento contempla as atividades realizadas durante o estágio supervisionado, componente curricular do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande. O estágio supervisionado possibilitou a aplicação prática de conhecimentos adquiridos durante a graduação, especialmente da ênfase Controle e Automação. Alcançando os objetivos específicos e principal propostos, o estágio têm como resultados as documentações dos programas do sistema LIEC Remote e o desenvolvimento de um software que auxilia os alunos do laboratório nos estudos de controle preditivo.

As documentações do sistema LIEC Remote, no formato de guias de uso, facilitam aos usuários e estudantes a utilização e o conhecimento de todas as ferramentas disponibilizadas pelos programas. O estudo da arquitetura desse sistema reforçou os conhecimentos práticos de projeto e de programação obtidos durante o curso de engenharia. Além disso, a documentação é um importante componente de qualquer projeto de engenharia, proporcionando uma experiência enriquecedora no desenvolvimento do caráter prático do aluno.

Os estudos sobre o controlador preditivo *Dynamic Matrix Control (DMC)* e sobre o desenvolvimento de software ampliaram os conhecimentos do discente sobre a área de controle. Assim, o desenvolvimento de um software voltado para a teoria de controle preditivo, com o intuito de auxiliar outros estudantes a construírem habilidades nessa área, consolidou as técnicas de desenvolvimento de software e forneceu o exercício de todas as etapas de um projeto de engenharia.

Como trabalhos futuros, uma opção interessante é a integração do algoritmo do controlador preditivo DMC no sistema LIEC Remote, de forma a controlar os processos físicos e verificar se a simulação do processo no software DMCSimulado se assemelha ao processo real.

Por fim, espera-se que o projeto motive novas implementações e contribua para o estudo nas áreas de Controle, Automação e desenvolvimento de software.

Referências

CAMPOS, M.; GOMES, M.; PEREZ, J. Controle avançado e otimização na indústria do petróleo. *Rio de Janeiro: Editora Interciência*, 2013. Citado 7 vezes nas páginas 11, 14, 16, 17, 20, 21 e 23.

JOHNSON, M. A.; MORADI, M. H. *PID control*. [S.l.]: Springer, 2005. Citado na página 21.

LIEC. *Site Oficial do Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle*. 2022. Acessado em: 23 de agosto de 2022. Disponível em: <<https://liec.dee.ufcg.edu.br/>>. Citado na página 9.

MATHWORKS. *Página principal do MATLAB no site MathWorks*. 1994–2022. Acessado em: 23 de agosto de 2022. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/products/matlab.html>>. Citado na página 17.

Apêndices

APÊNDICE A – Sistema LIEC Remote

A.1 Software - Usuários

O guia de uso do software dos usuários do sistema LIEC Remote é apresentado a partir próxima página.

Universidade Federal de Campina Grande
Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle

Guia do Usuário

LIEC Remote

Sumário

1	LIEC REMOTE	2
1.1	Software dos Usuários	2
2	SOFTWARE DO USUÁRIO	3
3	LOGIN	4
4	CONEXÃO COM SERVIDOR	5
5	CONECTAR À UM PROCESSO	6
6	OBSERVAR OS DADOS DE UM PROCESSO	7
6.1	Tabela	7
6.2	Gráficos	8
7	CONTROLAR UM PROCESSO	10
7.1	Controlador PID	10
7.2	Sinais	11
7.2.1	Ponto de Operação	12
7.2.2	Degrau	13
7.2.3	Onda Multi Degraus	13
7.2.4	Aleatório Binário	13
7.2.5	Aleatório	13
7.2.6	Onda Senoidal	13
7.2.7	Onda Quadrada	14
7.3	Relé	14

1 LIEC Remote

O sistema LIEC Remote é um sistema de laboratório remoto utilizado no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC). Esse sistema é composto por software e hardware que, em conjunto, permitem o acesso remoto de usuários à processos reais.

1.1 Software dos Usuários

Dentre os módulos do sistema LIEC Remote, o guia tem como objetivo apresentar o software dos usuários e suas funcionalidades.

O software dos usuários é um software que disponibiliza para os usuários (por exemplo, alunos dos laboratórios da UFCG) uma interface gráfica para realização de testes e experimentos em processos reais. Assim, por meio dessa interface, é possível realizar a conexão remota com os servidores que possuem os processos reais, e, mediante a conexão, escolher os processos disponíveis a serem analisados e controlados.

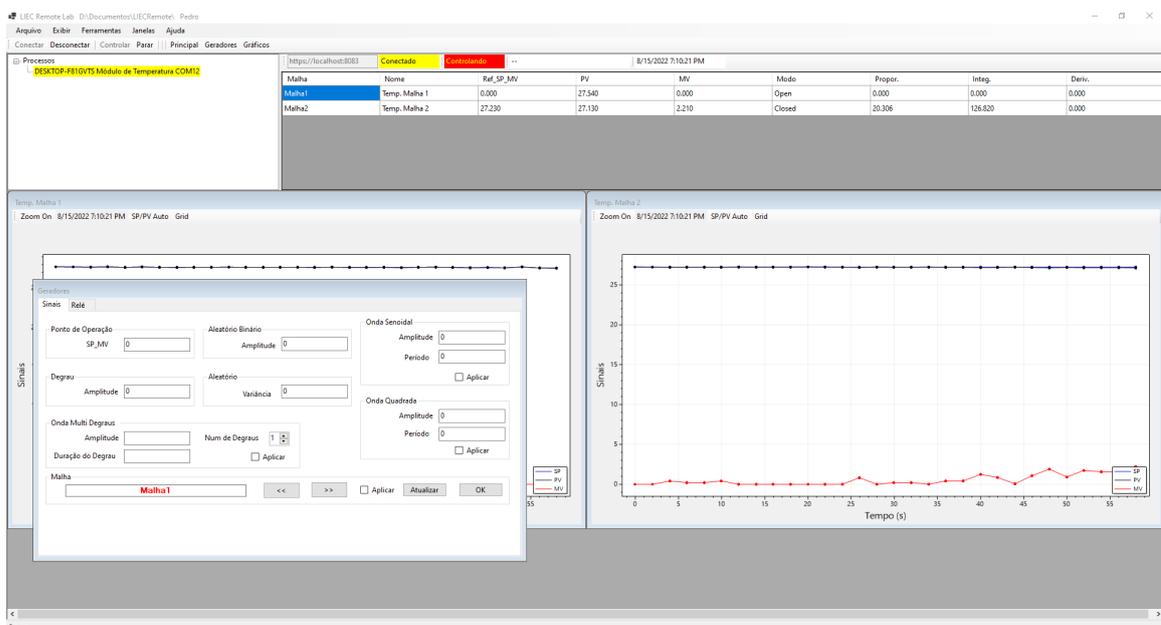
2 Software do Usuário

O software dos usuários permite o acesso remoto de usuários à processos reais. Desse modo, ele possui funcionalidades como o login; a conexão com o servidor; a conexão com os processos; apresentação dos dados dos processos e o controle dos processos. A interface completa do software dos usuários está presente na figura 1.

A versão atual do software possui suporte para o processo: módulo de temperatura. O módulo de temperatura é um processo de duas entradas e duas saídas (MIMO), divididas em duas malhas, com essas entradas e saídas disponíveis no software para controle. Nesse sentido, por meio software, pode-se definir o valor da referência (SP), o valor da variável manipulada (MV), e analisar do valor da variável do processo (PV) para cada malha. Além disso, é possível definir o modo de controle (Modo) de cada malha: malha aberta ou malha fechada (*Open* ou *Closed*, respectivamente), e os parâmetros do controlador PID paralelo com constantes de tempo (Equação 2.1): K_p (Proporcional), T_i (Integral) e T_d (Derivativo).

$$C = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2.1)$$

Figura 1 – Interface completa do software dos usuários



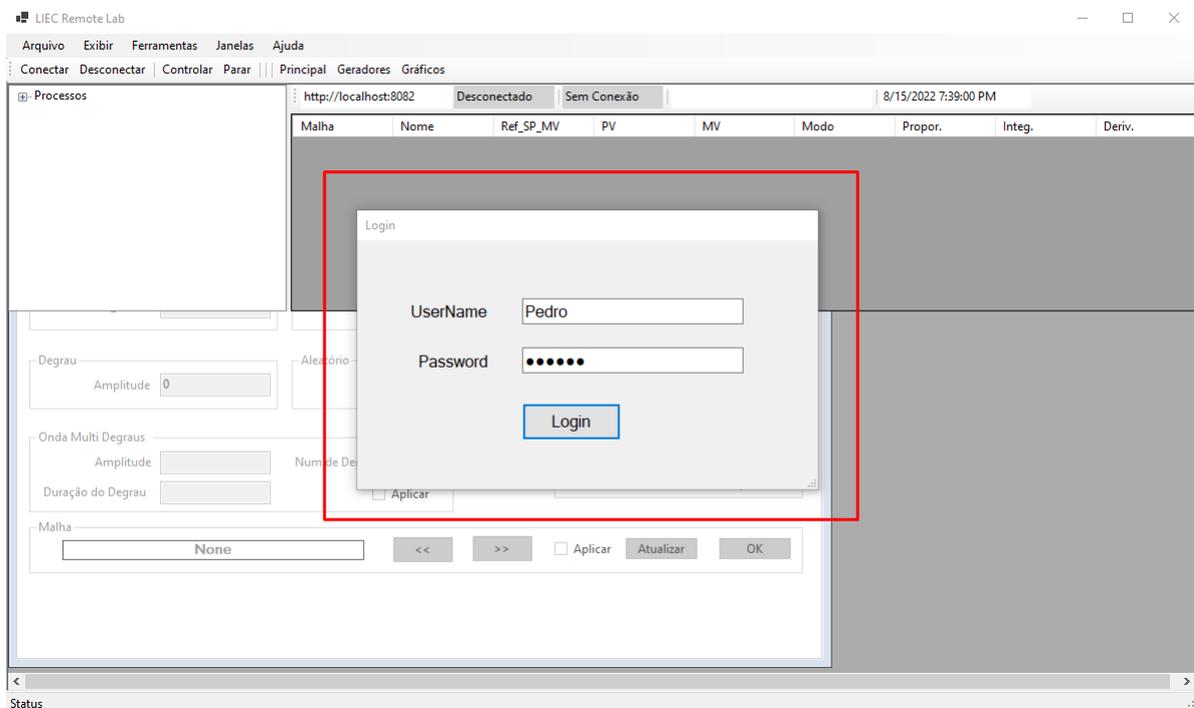
Fonte: Elaboração Própria

3 Login

Ao iniciar o software, deve-se realizar o *login*. O software atual não possui nenhum mecanismo de controle de acesso dos usuários, entretanto, deve-se colocar um nome de usuário para a identificação.

Assim, para realizar o login, deve-se digitar o nome no campo: *UserName*. Em sequência, deve-se digitar qualquer sequência de caracteres no campo *Password* (não existe controle de acesso). Ambos os campos **não** podem estar sem caracteres. Por fim, deve-se clicar no botão de *Login*.

Figura 2 – Login



Fonte: Elaboração Própria

4 Conexão com servidor

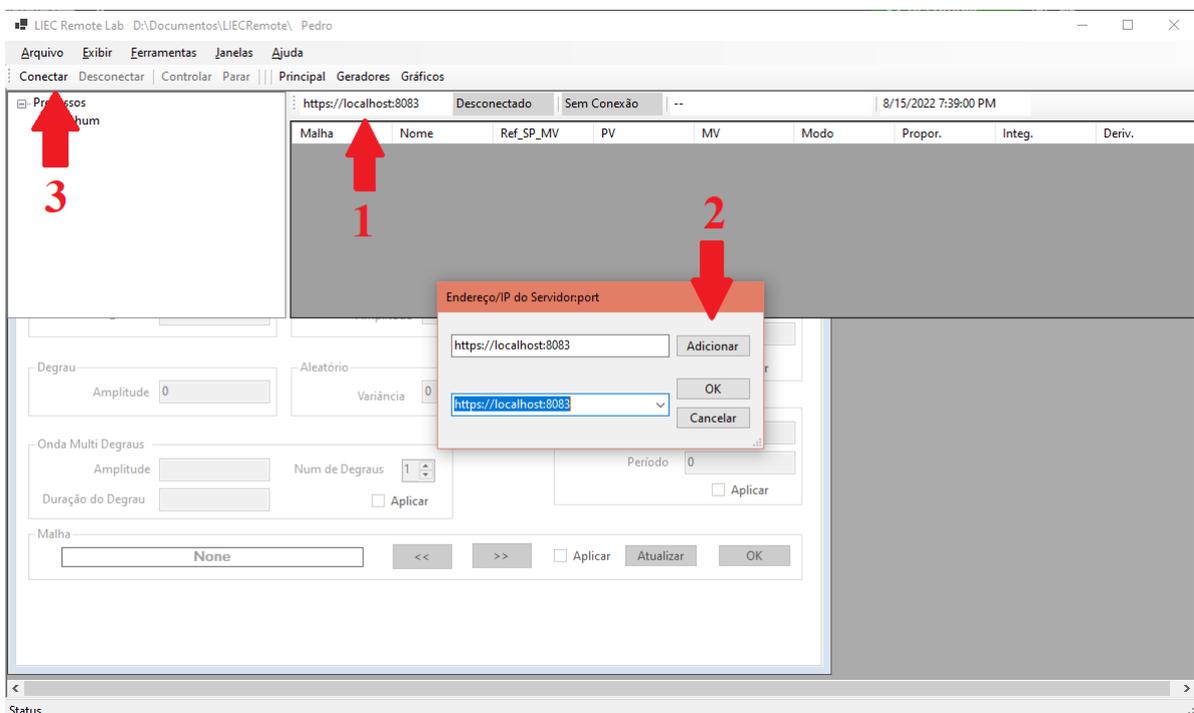
Após o *login*, o usuário deve iniciar a conexão com o servidor.

Para realizar a conexão com um servidor, o usuário deve inserir um endereço eletrônico (URL) ou um endereço de protocolo da internet (IP) do servidor. Para isso, o usuário deve verificar se a URL indicada no campo de texto do 1º passo (figura 3) está correta. Caso não esteja, o usuário deve clicar nesse campo para adicionar uma nova URL.

Ao clicar no campo de texto do 1º passo, uma nova janela é aberta. Nessa janela, por meio do 2º passo, deve-se digitar a URL no campo de texto (ao lado do botão Adicionar), clicar em Adicionar, e depois clicar no botão OK. Após isso, o usuário deve verificar novamente a URL no 1º passo. Deve-se atentar que a conexão com o servidor têm que ser por meio do protocolo **https**, e não com o protocolo **http**.

Por fim, caso a URL esteja correta, o usuário deve clicar no botão Conectar, do 3º passo. Caso a conexão seja bem sucedida, o software informa (ao lado do 1º passo) se está conectado, e os módulos de temperatura irão aparecer na lista de processos. Para desconectar do servidor, o usuário deve clicar no botão Desconectar (ao lado do 3º passo).

Figura 3 – Conexão com servidor



Fonte: Elaboração Própria

5 Conectar à um processo

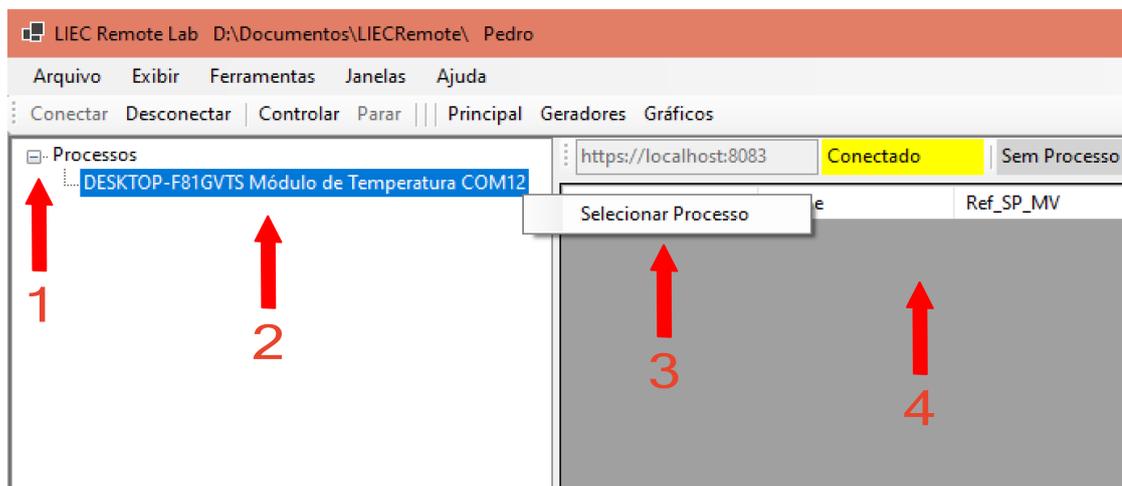
Após a conexão com o servidor, para realizar experimentos, analisar e controlar os processos reais, o usuário deve se conectar aos dispositivos de processos disponíveis.

Assim, para se conectar à um processo real, o usuário deve verificar se existem processos disponíveis na lista de processos, indicada pelo 1º passo na figura 4.

Caso existam processos na lista, para selecionar um processo, o usuário deve clicar com o botão esquerdo do mouse sobre o nome do processo, que ficará destacado na cor azul. Em sequência, o usuário deve clicar com o botão direito do mouse e, com isso, irá aparecer uma caixa de itens com o botão: "Selecionar Processo", como pode ser visto no 3º passo.

Portanto, ao clicar no botão do 3º passo, caso o cliente seja conectado ao dispositivo, os dados do processo irão aparecer em forma de tabela no 4º passo.

Figura 4 – Seleção de um processo

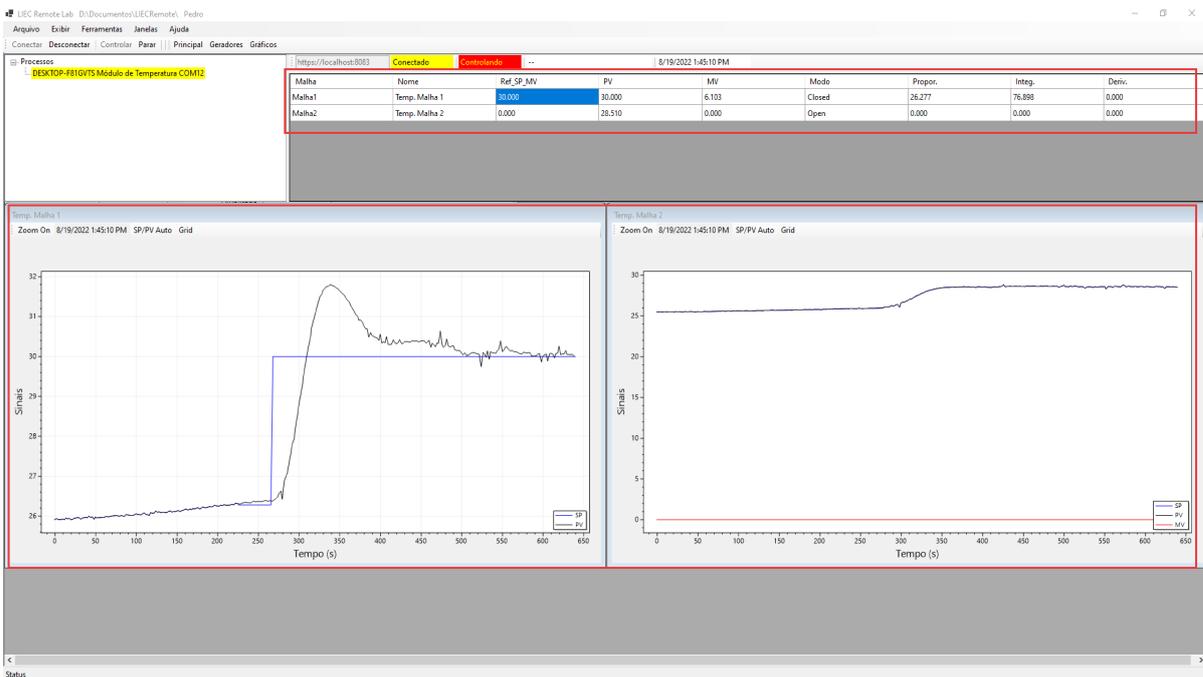


Fonte: Elaboração Própria

6 Observar os dados de um processo

Após a seleção do processo, o software disponibiliza ao usuário duas ferramentas visuais para análise de todas as variáveis do sistema: as tabelas e os gráficos. A figura 5 apresenta ambas as ferramentas no software.

Figura 5 – Ferramentas para análise de dados - Tabela e Gráfico



Fonte: Elaboração Própria

6.1 Tabela

Como apresentado na figura 6, por meio da tabela é possível observar, para cada malha do processo, os seguintes dados:

- Identificação da Malha (Malha)
- Nome associado à malha (Nome)
- Valor da referência (Ref_SP_MV)
- Valor da variável do processo (PV)
- Valor da variável manipulada (MV)
- O modo de controle (Modo)

- Os parâmetros do controlador PID paralelo com constantes de tempo:
 - K_p (Proporcional)
 - T_i (Integral)
 - T_d (Derivativo)

Figura 6 – Ferramentas para análise de dados - Tabela

Malha	Nome	Ref.SP_MV	PV	MV	Modo	Propor.	Integ.	Deriv.
Malha1	Temp. Malha 1	31,000	31,130	5,920	Closed	26,277	76,698	0,000
Malha2	Temp. Malha 2	0,000	29,300	0,000	Open	0,000	0,000	0,000

Fonte: Elaboração Própria

6.2 Gráficos

Para que seja possível uma análise visual dos processos, o software possui gráficos. Esses gráficos são apresentados na figura 7 e possuem os seguintes dados:

- Valor da referência (SP)
- Valor da variável do processo (PV)
- Valor da variável manipulada (MV)

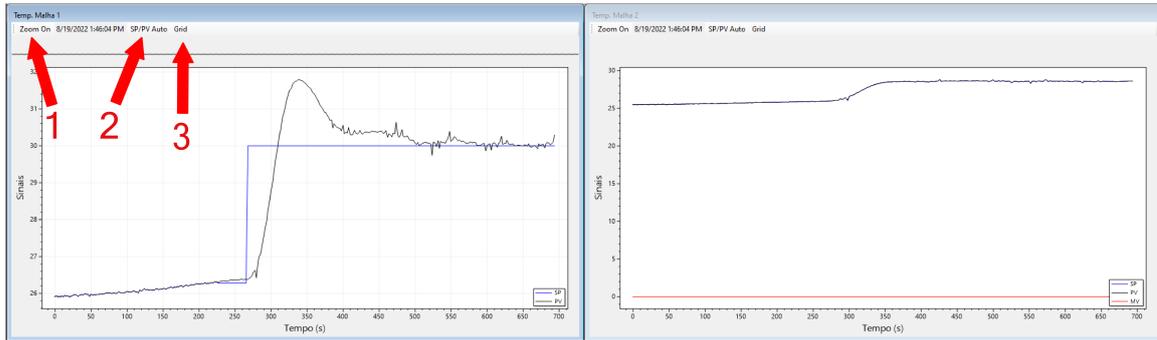
Os gráficos possuem configurações que possibilitam uma melhor visualização dos dados desejados. Nesse sentido, essas configurações estão indicadas na figura 7 pelos números 1,2 e 3. Na figura, o gráfico da esquerda está com todas as configurações acionadas e o da esquerda com nenhuma. Além disso, cada gráfico corresponde a uma malha do processo.

A configuração indicada pelo número 1 serve para impedir ou liberar a ampliação do gráfico, e é um botão com os nomes: "Zoom On" ou "Zoom Off".

A configuração indicada pelo número 2, com o botão de nome "SP/PV Auto", faz com que o gráfico apresente somente as variáveis SP e PV, ou apresente todas as variáveis, SP, PV e MV. O principal intuito dessa configuração é a possibilidade de uma análise mais detalhada da relação entre SP e PV.

Por fim, a configuração indicada pelo número 3, com botão de nome "Grid", faz com que o gráfico mostre uma grade, facilitando a identificação do valor das variáveis no gráfico.

Figura 7 – Ferramentas para análise de dados - Gráficos



Fonte: Elaboração Própria

Além das configurações nos gráficos, a interface do software permite que janelas sobreponham outras janelas. Nesse sentido, para trazer os gráficos para frente quando outras janelas estiverem sobrepondo, o usuário deve clicar no botão "Gráficos", indicado na figura 8.

Figura 8 – Botão para exibição dos gráficos



Fonte: Elaboração Própria

7 Controlar um processo

Além da visualização dos dados dos processos, o software permite o usuário controlar o sistema. Para isso, ele deve clicar no botão "Controlar", apresentado na figura 9. Caso deseje parar de controlar, deve-se apertar o botão "Parar".

Figura 9 – Botão para controlar o processo



Fonte: Elaboração Própria

A partir disso, o usuário pode definir o ponto de operação do sistema e utilizar o controlador PID. Além disso, é possível aplicar sinais nas variáveis manipuladas, dentre eles: o degrau; uma onda multi Degraus; um aleatório binário; aleatório; uma onda senoidal e uma onda quadrada. Esses sinais podem ser aplicados às diferentes malhas do processo.

7.1 Controlador PID

A tabela da seção 6.1 disponibiliza uma visualização dos parâmetros do controlador PID e o modo da malha do processo. Entretanto, além da visualização, é possível definir todos esses parâmetros por meio dela. Desse modo, a figura 10 apresenta todos esses valores na tabela. O usuário pode definir esses valores para cada malha do processo.

Figura 10 – Definição dos parâmetros do controlador PID

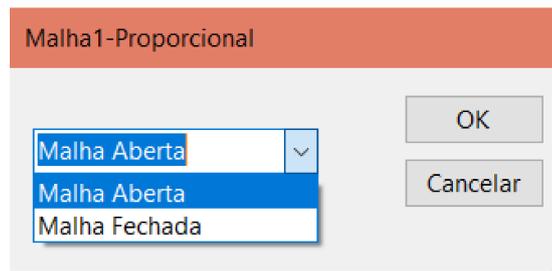
Modo	Propor.	Integ.	Deriv.
Closed	26.277	76.898	0.000
Open	0.000	0.000	0.000

1 2 3 4

Fonte: Elaboração Própria

Assim, a partir do número 1 indicado na figura 10, é possível alterar o modo da malha, ou seja, definir se o sistema irá funcionar em malha aberta ou fechada. Para modificar o modo, o usuário deve clicar com o botão esquerdo do mouse no nome *Closed* ou *Open*. Em seguida, como apresentado na figura 11, o usuário deve escolher o modo e clicar no botão "OK". É importante observar que, ao definir a malha como aberta, o valor da referência (SP) será o mesmo de MV. Além disso, caso seja selecionada a malha no modo fechada, o valor da referência SP será definido como o valor que estiver em PV.

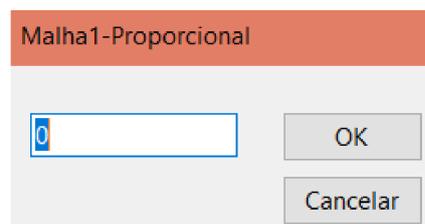
Figura 11 – Definição do modo da malha



Fonte: Elaboração Própria

Para definir os parâmetros do controlador PID, o usuário deve clicar nos campos numéricos da tabela dos itens 2, 3 e 4 da figura 10. Após isso, como apresentado na figura 12 para o parâmetro K_p , o usuário deve digitar o valor desejado e clicar no botão "OK". De forma análoga acontece para os parâmetros T_i e T_d . Os parâmetros do controlador correspondem aos do controlador PID paralelo com constantes de tempo (Equação 2.1): K_p (Proporcional), T_i (Integral) e T_d (Derivativo).

Figura 12 – Definição do parâmetro K_p - Proporcional

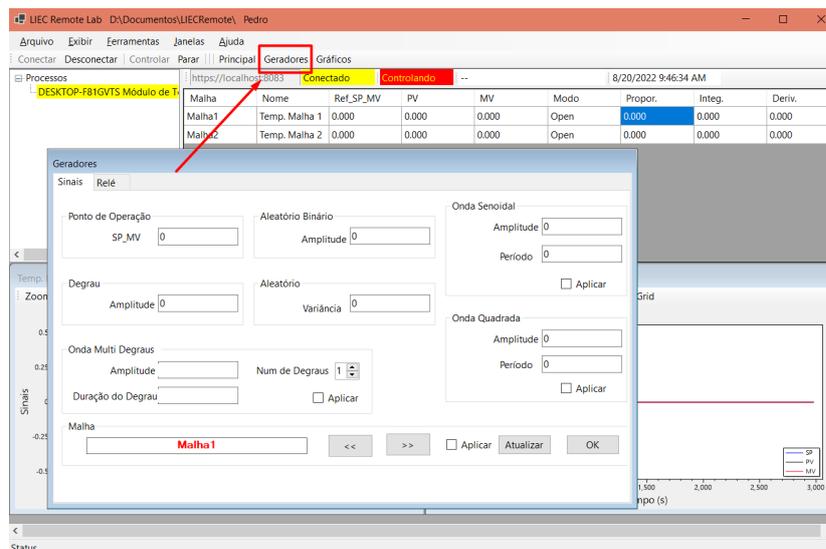


Fonte: Elaboração Própria

7.2 Sinais

Para aplicar sinais nas malhas do processo, o usuário deve clicar no botão "Geradores" (figura 13), de forma a trazer para frente a janela que possibilita configurar a geração de sinais para as variáveis manipuladas.

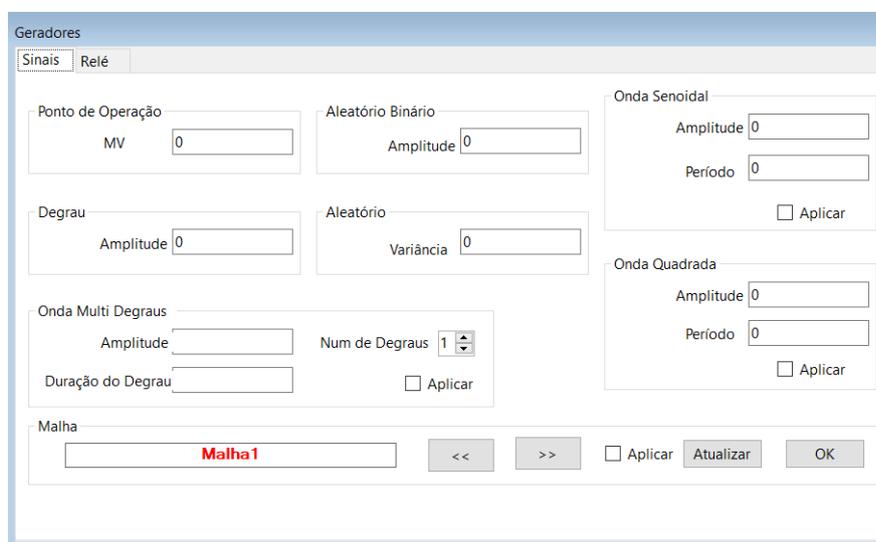
Figura 13 – Botão Geradores



Fonte: Elaboração Própria

A partir disso, foi selecionada a opção de sinais na janela "Geradores" (figura 14). Para o usuário selecionar a malha desejada, ele deve clicar nos botões: « e » da seção Malha.

Figura 14 – Janela Geradores - Sinais



Fonte: Elaboração Própria

7.2.1 Ponto de Operação

Para aplicar o ponto de operação, ou seja, o valor da variável MV para a malha aberta e o valor da referência SP para a malha fechada, o usuário deve clicar no campo da seção: "Ponto de Operação" da figura 14. Em seguida, uma janela irá abrir, e o usuário

deve digitar o valor desejado e clicar no botão "OK". Por fim, para aplicar a operação, o usuário deve clicar na caixa de seleção "Aplicar" e no botão Atualizar (canto inferior direito da janela).

7.2.2 Degrau

Para aplicar um sinal de degrau, o usuário deve clicar no campo da seção: "Degrau" da figura 14. Em seguida, o usuário deve digitar o valor desejado e, para aplicar a operação, o usuário deve clicar na caixa de seleção "Aplicar" e no botão Atualizar (canto inferior direito da janela).

7.2.3 Onda Multi Degraus

Para aplicar um sinal de Onda Multi Degraus, o usuário deve clicar no campo da seção: "Onda Multi Degraus" da figura 14. Em seguida, o usuário deve digitar os valores desejados e, para aplicar a operação, o usuário deve clicar na caixa de seleção "Aplicar" da seção "Onda Multi Degraus" e da seção "Malha", além de clicar no botão Atualizar.

7.2.4 Aleatório Binário

Para aplicar um sinal Aleatório Binário, o usuário deve clicar no campo da seção: "Aleatório Binário" da figura 14. Em seguida, o usuário deve digitar o valor desejado e, para aplicar a operação, o usuário deve clicar na caixa de seleção "Aplicar" e no botão Atualizar (canto inferior direito da janela). O valor da variável MV irá variar aleatoriamente entre o valor positivo da amplitude e o valor negativo.

7.2.5 Aleatório

Para aplicar um sinal Aleatório, o usuário deve clicar no campo da seção: "Aleatório" da figura 14. Em seguida, o usuário deve digitar o valor desejado e, para aplicar a operação, o usuário deve clicar na caixa de seleção "Aplicar" e no botão Atualizar (canto inferior direito da janela). O valor da variável MV irá variar aleatoriamente entre valores positivo e negativos dentro da amplitude definida no campo variância.

7.2.6 Onda Senoidal

Para aplicar um sinal de Onda Senoidal, o usuário deve clicar no campo da seção: "Onda Senoidal" da figura 14. Em seguida, o usuário deve digitar os valores desejados e, para aplicar a operação, o usuário deve clicar na caixa de seleção "Aplicar" da seção "Onda Senoidal" e da seção "Malha", além de clicar no botão Atualizar.

7.2.7 Onda Quadrada

Para aplicar um sinal de Onda Quadrada, o usuário deve clicar nos campo da seção: "Onda Quadrada" da figura 14. Em seguida, o usuário deve digitar os valores desejados e, para aplicar a operação, o usuário deve clicar na caixa de seleção "Aplicar" da seção "Onda Quadrada" e da seção "Malha", além de clicar no botão Atualizar.

7.3 Relé

A partir da janela "Geradores" (figura 13), foi selecionada a opção do Relé.

O software também disponibiliza os métodos do relé, possibilitando a modificação dos valores da amplitude, da histerese, do tipo do método e dos períodos. Além disso, apresenta dados para visualização e análise do método. Para aplicar e iniciar a operação dos métodos, o usuário deve clicar na caixa de seleção "Aplicar" no canto inferior direito da janela. Por fim, o usuário pode selecionar a malha desejada para aplicação do método por meio dos botões « e ».

Figura 15 – Janela Geradores - Relé

A imagem mostra a interface de usuário da janela "Geradores" com a aba "Relé" selecionada. O formulário contém os seguintes elementos:

- Ponto de Operação:** Um campo "SP" com o valor "0". Abaixo dele, os valores "MV 0", "PV 0" e "PV Ref 0" são exibidos.
- Amplitude:** Um campo de entrada com o valor "0".
- Histeresis:** Um campo de entrada com o valor "0".
- Tipo:** Um menu suspenso com o valor "Relé 180".
- Períodos:** Um campo de entrada com o valor "4" e setas de navegação.
- Estado:** Um botão "Estado" com o texto "Desligado" em fundo amarelo.
- Malha Fechada:** Um campo de entrada vazio.
- Integrador:** Um campo de entrada com o valor "0".
- Malha:** Um campo de entrada com o texto "Malha 1" em vermelho. Abaixo dele, há dois botões de navegação "<<" e ">>".
- Aplicar:** Um botão "Aplicar" com uma caixa de seleção desativada.

Fonte: Elaboração Própria

A.2 Software - Processos

O guia de uso do software dos dispositivos de processos do sistema LIEC Remote é apresentado a partir próxima página.

Universidade Federal de Campina Grande
Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle

Guia dos Dispositivos de Processos

LIEC Remote

Sumário

1	LIEC REMOTE	2
1.1	Software dos Dispositivos de Processos	2
2	SELECIONAR PROCESSOS	4
3	CONEXÃO DIRETA - PORTA SERIAL	5
4	CONEXÃO REMOTA - SERVIDOR	7
5	VISUALIZAR E CONTROLAR DADOS DOS PROCESSOS	9
5.1	Controle PID e Feed Forward	9

1 LIEC Remote

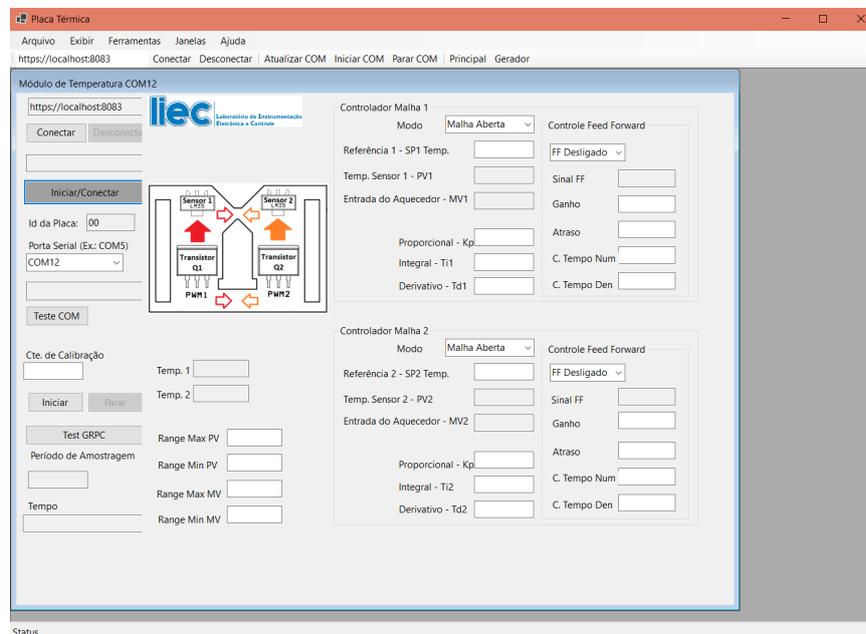
O sistema LIEC Remote é um sistema de laboratório remoto utilizado no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC). Esse sistema é composto por software e hardware que, em conjunto, permitem o acesso remoto de usuários à processos reais.

1.1 Software dos Dispositivos de Processos

Dentre os módulos do sistema LIEC Remote, o guia tem como objetivo apresentar o software dos dispositivos de processos e suas funcionalidades.

O software dos dispositivos de processos é o responsável pela comunicação direta e física com os hardwares dos processos (ou seja, com os processos). Assim, ele é implementado de forma a servir como uma interface humano-máquina (IHM) para cada um dos diversos processos e a possibilitar a comunicação entre os processos e o servidor do sistema LIEC Remote. A interface completa do software é apresentada na figura 1.

Figura 1 – Software dos Dispositivos de Processos



Fonte: Elaboração Própria

A comunicação com os diversos hardwares dos processos, ou seja, com os processos, é realizada por meio das portas seriais da máquina que está com esse software. Portanto, o hardware do processo é qualquer dispositivo que disponibiliza a conexão por meio da

porta serial, que implementa um protocolo de comunicação pré-definido entre o software e o hardware, que é acoplado a um processo real e realiza seu controle.

Com ênfase no protocolo de comunicação, ele possibilita o software a receber e enviar dados para o dispositivo. Exemplo desses dados são as variáveis do processo, variáveis manipuladas, informações de sinalização da conexão, entre outros.

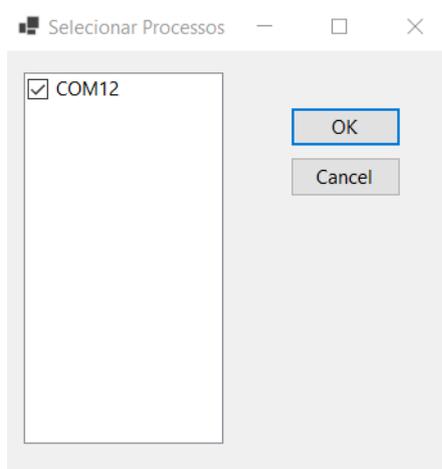
Atualmente, o hardware compatível com o software é o Módulo de Temperatura.

2 Selecionar Processos

De modo a permitir com que uma única máquina gerencie diversos dispositivos, o software dos dispositivos de processos pode se conectar a diversos processos. Nesse sentido, uma única máquina tem a possibilidade de tornar vários processos disponíveis ao servidor do sistema.

Ao iniciar o software, será apresentada uma janela de seleção dos processos (figura 2). Desse modo, os dispositivos que estão conectados à máquina por meio da porta serial podem ser selecionados. Para selecionar os dispositivos, deve-se clicar na caixa de seleção ao lado do nome da porta serial correspondente e, em seguida, clicar no botão "OK". Após isso, o software irá abrir a interface geral (figura 1). Assim, cada dispositivo irá possuir uma janela de Módulo de Temperatura correspondente (Módulo de Temperatura COM12).

Figura 2 – Selecionar Processos



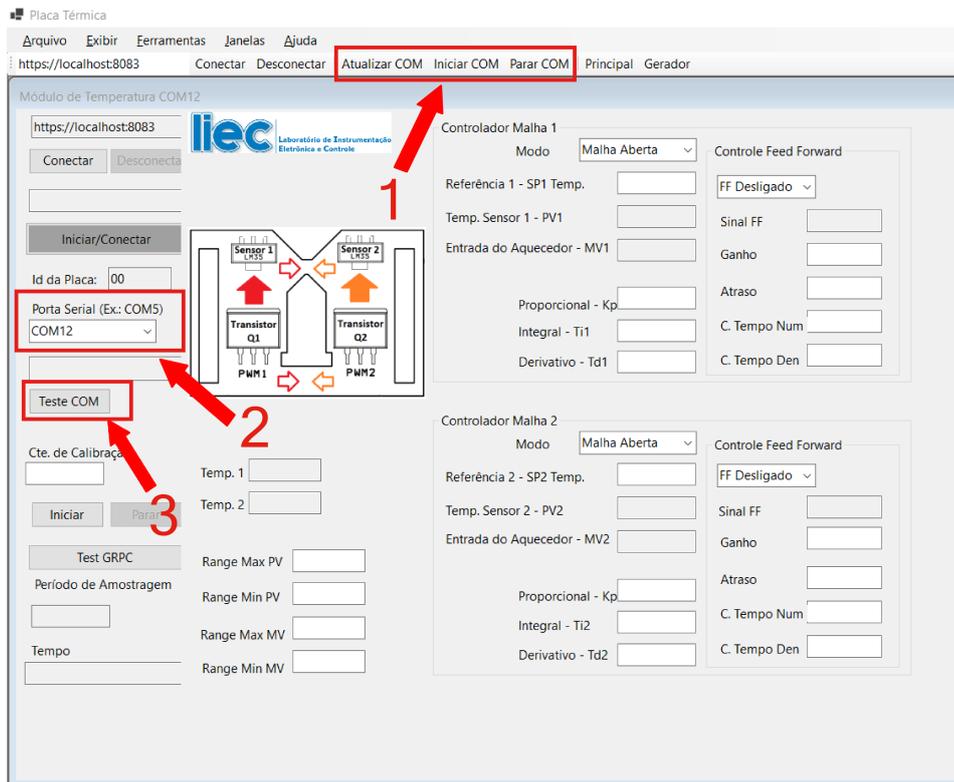
Fonte: Elaboração Própria

3 Conexão Direta - Porta Serial

Após a seleção dos dispositivos, o software disponibiliza a conexão com os hardwares por meio das portas seriais. É possível se conectar aos dispositivos, selecionar a porta serial e testar a conexão.

De acordo com os índices 1 presente na figura 3, o usuário pode iniciar a conexão serial de todos os dispositivos selecionados por meio do botão "Iniciar COM". Para parar, deve-se clicar no botão "Parar COM". Quando conectado por meio da conexão serial, o usuário pode controlar os dispositivos. Ademais, os processos ainda não estão conectados ao servidor remoto.

Figura 3 – Comunicação Serial



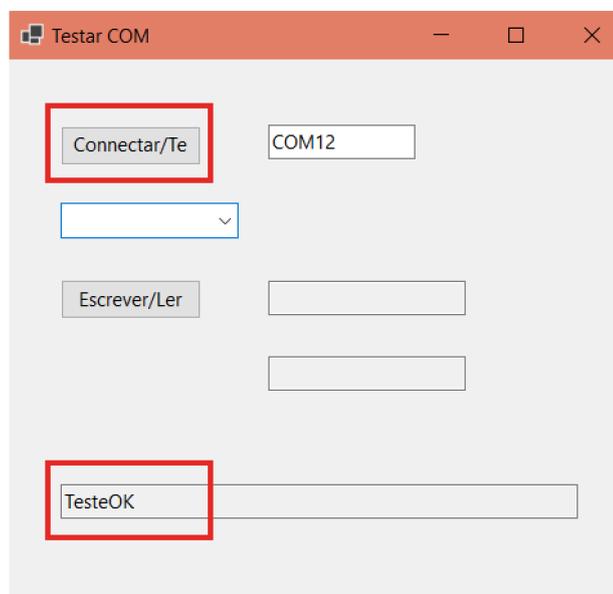
Fonte: Elaboração Própria

Além disso, caso a configuração da porta serial de determinado dispositivo esteja incorreta, o usuário pode modificá-la por meio do índice 2 da figura, selecionando a porta correta na lista.

Por fim, por meio do índice 3, ao clicar no botão "Teste COM", a janela da figura 4 é aberta. Por meio dela, é possível testar a comunicação serial cada dispositivo e escrever/ler valores aleatórios para testar a comunicação.

Assim, como apresentado na figura 4, ao apertar o botão "Conectar/Te", é possível testar a conexão serial. Se for sucedida, a mensagem "TesteOK" aparecerá na caixa de texto na parte de baixo na janela.

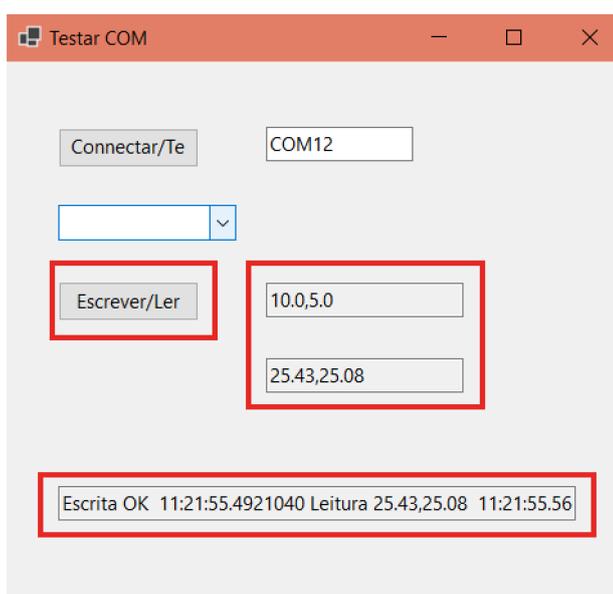
Figura 4 – Testar Comunicação Serial



Fonte: Elaboração Própria

Além do teste, ao clicar no botão "Escrever/Ler", presentes na figura 5, valores aleatórios de escrita são enviados aos processos, e as respostas recebidas são apresentadas nas caixas de textos.

Figura 5 – Testar Comunicação Serial - Escrita e Leitura

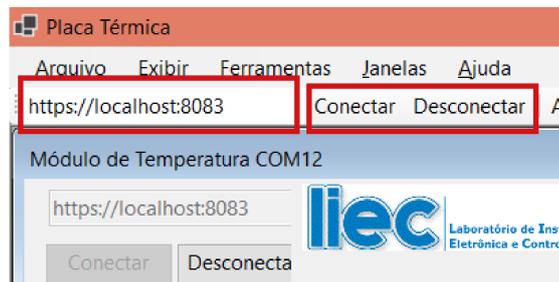


Fonte: Elaboração Própria

4 Conexão Remota - Servidor

Para realizar a conexão com um servidor, o usuário deve inserir um endereço eletrônico (URL) ou um endereço de protocolo da internet (IP) do servidor. Para isso, o usuário deve verificar se a URL indicada no campo de texto da figura 6 está correta. Caso não esteja, o usuário deve clicar nesse campo para adicionar uma nova URL.

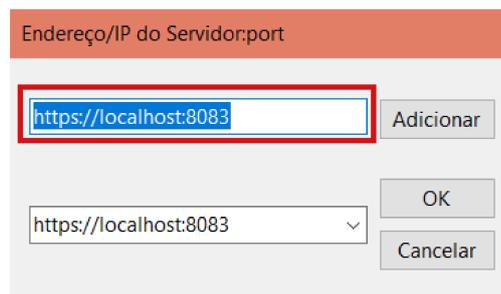
Figura 6 – Conectar com Servidor



Fonte: Elaboração Própria

Ao clicar no campo de texto, uma nova janela é aberta. Nessa janela (figura 7), deve-se digitar a URL no campo de texto (ao lado do botão Adicionar), clicar em Adicionar, e depois clicar no botão OK. Após isso, o usuário deve verificar novamente a URL no campo de texto da figura 6. Deve-se atentar que a conexão com o servidor têm que ser por meio do protocolo **https**, e não com o protocolo **http**.

Figura 7 – Adicionar URL

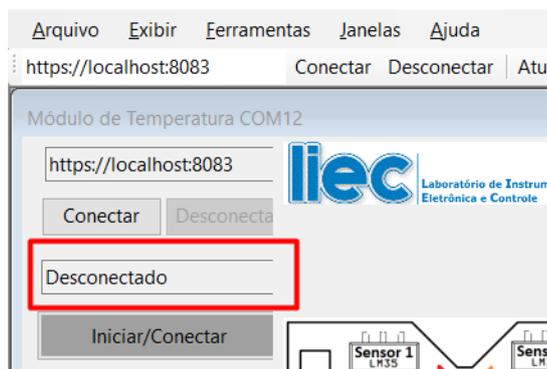


Fonte: Elaboração Própria

Por fim, caso a URL esteja correta, o usuário deve clicar no botão Conectar (figura 6). Caso a conexão seja bem sucedida, o software informa se está conectado por meio da caixa de texto da figura 8 e os módulos de temperatura estarão disponíveis para o servidor. Para desconectar do servidor, o usuário deve clicar no botão Desconectar (figura 6).

É importante observar que, ao clicar no botão para conectar ao servidor, a conexão serial de todos os dispositivos também é realizada. Portanto, ao iniciar o software e

Figura 8 – Status da Conexão com Servidor



Fonte: Elaboração Própria

selecionar todos os dispositivos, a única ação necessária para conectar os dispositivos diretamente e disponibilizá-los remotamente é a de clicar no botão de conexão (figura 6).

5 Visualizar e Controlar Dados dos Processos

Após realizar a conexão por meio da porta serial, as variáveis do processo se tornam disponíveis para visualização e controle. Entretanto, caso o dispositivo esteja sendo controlado remotamente por um usuário, as variáveis não ficarão disponíveis para controle (o usuário remoto ficará sobrescrevendo os dados).

Desse modo, para o Módulo de Temperatura, os dados dos processos disponíveis estão apresentados na figura 9. Pelos índices da figura, o índice 3 permite que o usuário defina o período de amostragem da conexão serial. Ademais, o índice 2 possibilita o usuário verificar os limites máximos e mínimos das variáveis manipuladas (MV) e das variáveis do processo (PV). Por fim, o índice 1 possibilita o controle PID e o controle Feed Forward das malhas do processo.

Figura 9 – Dados dos Processos

The screenshot shows the 'Módulo de Temperatura COM12' interface. It includes a connection status section on the left, a central schematic of the temperature control system, and two control panels for 'Controlador Malha 1' and 'Controlador Malha 2'. The 'Controlador Malha 1' panel is highlighted with a red box and has a red '1' next to it, indicating the PID and Feed Forward controls. The 'Controlador Malha 2' panel is also highlighted with a red box. In the bottom left, there is a 'Período de Amostragem' field with the value '2000' and a red '3' next to it. In the bottom center, there are fields for 'Range Max PV', 'Range Min PV', 'Range Max MV', and 'Range Min MV' with values, and a red '2' next to them.

Fonte: Elaboração Própria

5.1 Controle PID e Feed Forward

A partir do índice 1 da figura 9, o usuário pode realizar o controle PID e Feed Forward de cada malha.

Assim, é possível alterar o modo da malha, ou seja, definir se o sistema irá funcionar em malha aberta ou fechada. É importante observar que, ao definir a malha como aberta,

o valor da referência (SP) será o mesmo de MV. Além disso, caso seja selecionada a malha no modo fechada, o valor da referência SP será definido como o valor que estiver em PV.

Além disso, para definir os parâmetros dos controladores, o usuário deve clicar nos campos numéricos ao lado dos nomes dos respectivos parâmetros. Após isso, uma janela irá abrir, e o usuário deve digitar o valor desejado e clicar no botão "OK".

Os parâmetros do controlador PID correspondem aos do controlador PID paralelo com constantes de tempo (Equação 5.1): K_p (Proporcional) , T_i (Integral) e T_d (Derivativo).

$$C = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (5.1)$$

A.3 Software - Servidor

O guia de uso do software servidor do sistema LIEC Remote é apresentado a partir da próxima página.

Universidade Federal de Campina Grande
Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle

Guia do Servidor

LIEC Remote

Sumário

1	LIEC REMOTE	2
1.1	Software do Servidor	2
2	INTERFACE DO SERVIDOR	3
2.1	Janela dos dispositivos de processos	3
2.2	Janela de dados dos processos	4
2.3	Janela de dados de processos controlados	5
2.4	Etiqueta de dispositivo	6
2.5	Janela de usuários e dispositivos de processos	6
2.6	Interface Completa - Botões	7
3	CASOS DE USO	8
3.1	Analisar os dados dos processos	8
3.2	Analisar dispositivos que estão sendo controlados	8
3.3	Impedir o acesso de usuários aos dispositivos	9

1 LIEC Remote

O sistema LIEC Remote é um sistema de laboratório remoto utilizado no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Controle (LIEC). Esse sistema é composto por software e hardware que, em conjunto, permitem o acesso remoto de usuários à processos reais.

1.1 Software do Servidor

Dentre os módulos do sistema LIEC Remote, o guia tem como objetivo apresentar a interface do software do servidor e suas funcionalidades.

O software servidor é o responsável pelo gerenciamento e monitoramento dos dados remotos do sistema. Assim, de forma geral, ele efetua um controle de acesso de softwares clientes (de processos e de usuários) aos dados de outros clientes, aos dados de processos e ao controle dos processos. A partir disso, ele disponibiliza uma interface gráfica para análise e gerenciamento desses acessos.

2 Interface do Servidor

A interface do servidor está presente na Figura 1. Essa interface permite ao usuário analisar, em tempo real, os acessos remotos existentes no sistema LIEC Remote e os dados dos processos. Ela é composta por 5 componentes principais:

1. Janela dos dispositivos de processos
2. Janela de dados dos processos
3. Janela de dados de processos controlados
4. Etiqueta de dispositivo
5. Janela de usuários e dispositivos de processos

Figura 1 – Interface completa do Servidor

The screenshot shows a software window titled 'Form1' with a menu bar (File, Edit, Tools, Help) and a status bar (28/07/2022 17:40:30, Reset Clientes, Reset Controladores). The main area is divided into several sections:

- Section 1 (Left):** A large empty rectangular area labeled 'DESKTOP-F81GVTS Módulo de Temperatura COM12'.
- Section 2 (Top Right):** A table with columns: Malha, Nome, SP, PV, MV, Modo, Propor., Integ., Deriv. It contains two rows of data for 'Temp. Malha 1' and 'Temp. Malha 2'.
- Section 3 (Middle Right):** A second table with the same columns as Section 2, also containing two rows of data for 'Temp. Malha 1' and 'Temp. Malha 2'.
- Section 4 (Bottom Middle):** A label 'DESKTOP-F81GVTS Módulo de Temperatura COM12'.
- Section 5 (Bottom Right):** A table with columns: Usuário, Cliente, Processo, Valor. It contains one row for the user 'admin'.

Fonte: Elaboração Própria

Além das janelas, na interface possui o horário do servidor e os botões de reiniciar os clientes e controladores.

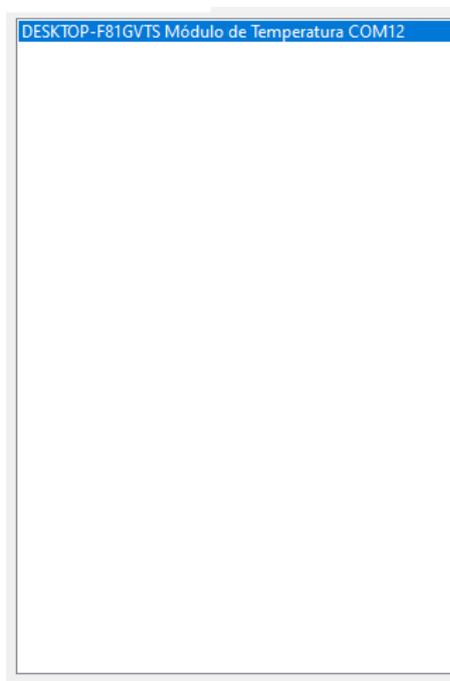
2.1 Janela dos dispositivos de processos

A janela dos dispositivos de processos está presente na Figura 2. Essa janela possui o objetivo de apresentar todos os dispositivos de processos conectados ao servidor.

No momento em que um software cliente de processo realiza a conexão com o servidor, o servidor adiciona o nome dos dispositivos desse cliente na janela. Caso esse cliente se desconecte, os nomes são retirados.

Na versão atual do sistema LIEC Remote, o software cliente de processos (executado em um computador com dispositivos conectado à ele) envia o seguinte formato de nome de dispositivo para o servidor: Nome do computador + Tipo de processo + Porta Serial do dispositivo. Dessa forma, o gerenciador do servidor têm condições de localizar e identificar um dispositivo de processo, mesmo se diversos dispositivos estejam no mesmo computador, por meio do nome do computador e da porta serial. Como exemplo (Figura 2), o dispositivo: DESKTOP-F81GVTS + Módulo de Temperatura + COM12. Esse dispositivo está na porta Serial COM12 do computador DESKTOP-F81GVTS.

Figura 2 – Janela dos dispositivos de processos



Fonte: Elaboração Própria

Conforme diversos dispositivos acessam o servidor por meio do software cliente de processos, o gerenciador do servidor (usuário do servidor) pode selecionar, nessa janela, o dispositivo que deseja analisar.

2.2 Janela de dados dos processos

A janela de dados dos processos está presente na Figura 3. Essa janela possui o objetivo de apresentar, por meio de uma tabela, todos os dados do processo de um dispositivo selecionado na janela 2.1 (Seção 2.1).

Assim, cada linha da tabela contém as informações de uma malha do processo, e cada malha possui um nome, um *setpoint* (SP), uma variável de processo (PV) e uma variável manipulada (MV). Além disso, é possível observar o modo de controle (Modo) de cada malha: malha aberta ou malha fechada (*Open* ou *Closed*, respectivamente), e os parâmetros do controlador PID paralelo com constantes de tempo (Equação 2.1): K_p (Proporcional), T_i (Integral) e T_d (Derivativo).

$$C = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2.1)$$

Por fim, um único dispositivo de processo pode conter mais de uma malha, que são apresentadas em sequência nas linhas da tabela.

Figura 3 – Janela de dados dos processos

	Malha	Nome	SP	PV	MV	Modo	Propor.	Integ.	Deriv.
▶	Malha1	Temp. Malha 1	35,000	36,710	0,000	Closed	26,277	76,898	0,000
	Malha2	Temp. Malha 2	35,000	36,460	0,000	Closed	20,306	126,820	0,000
*									

Fonte: Elaboração Própria

2.3 Janela de dados de processos controlados

A janela de dados de processos controlados está presente na Figura 4. Essa janela possui o objetivo de apresentar, por meio de uma tabela, todos os dados do processo do dispositivo selecionado na janela 2.1 que esteja sendo controlado remotamente por um usuário.

Portanto, quando um software cliente de usuários está realizando o controle de um processo, ou seja, alterando os dados e realizando testes no dispositivo de processo, os dados do processo irão aparecer nessa janela.

Figura 4 – Janela de dados de processos controlados

	Malha	Nome	SP	PV	MV	Modo	Propor.	Integ.	Deriv.
▶	Malha1	Temp. Malha 1	35,000	35,240	5,421	Closed	26,277	76,898	0,000
	Malha2	Temp. Malha 2	35,000	35,170	10,818	Closed	20,306	126,820	0,000
*									

Fonte: Elaboração Própria

Deve-se perceber, portanto, que os dados apresentados são os mesmos da janela 2.2, entretanto, só aparecem caso o dispositivo esteja sendo controlado ou caso tenha sido controlado anteriormente.

2.4 Etiqueta de dispositivo

A etiqueta de dispositivo está presente na Figura 5. Essa etiqueta possui o objetivo de apresentar o nome do dispositivo selecionado na janela 2.1.

Figura 5 – Etiqueta de dispositivo



Fonte: Elaboração Própria

2.5 Janela de usuários e dispositivos de processos

A janela de usuários e dispositivos de processos está presente na Figura 6. Essa janela possui o objetivo de apresentar, por meio de uma tabela, o nome dos usuários e o nome dos softwares clientes de usuários que estão conectados ao servidor, além do nome do dispositivo de processo que cada cliente está controlando.

A versão atual do sistema LIEC Remote não possui nenhum sistema de acesso de usuários. Entretanto, o nome do usuário foi inserido no contexto atual do software servidor para futuras implementações. Por enquanto, o usuário que estiver utilizando o software cliente de usuários é quem informa o nome do usuário. No caso da figura 6, o usuário informou o nome *admin*.

Figura 6 – Janela de usuários e dispositivos de processos

	Usuário	Cliente	Processo	Valor
▶	admin	RemoteLab V2 DESKTOP-F81GVTS	DESKTOP-F81GVTS Módulo de Temperatura COM12	
*				

Fonte: Elaboração Própria

Além disso, o software cliente de usuários (executado em um computador de um usuário) envia o seguinte formato de nome de cliente para o servidor: RemoteLab + Versão

do RemoteLab + Nome do Computador. Dessa forma, o gerenciador do servidor têm condições de localizar e identificar o usuário e qual a versão do software cliente de usuários do Liec Remote que ele está utilizando. Como exemplo (Figura 6), o usuário: RemoteLab + V2 + DESKTOP-F81GVTS. O usuário está no computador DESKTOP-F81GVTS com a versão 2 do software cliente de usuários.

No momento em que um software cliente de usuários se conecta ao servidor, o nome do usuário e o nome do cliente são apresentados na tabela. Quando o cliente se desconecta, os nomes são removidos.

Se o usuário não estiver controlando um dispositivo de processo, ele não está associado a nenhum processo, sendo apresentado o nome do dispositivo de processo: **Nenhum**. Ademais, quando um usuário estiver controlando um dispositivo, o servidor controla o acesso, associa o usuário com o dispositivo e apresenta o nome do dispositivo na tabela. Desse modo, o gerenciador do servidor têm condições de saber qual usuário está controlando qual dispositivo de processo.

2.6 Interface Completa - Botões

Na interface completa, além do horário do servidor, existem os botões de reiniciar os clientes e de reiniciar os controladores, apresentados na Figura 7.

Figura 7 – Interface completa do Servidor



Fonte: Elaboração Própria

A funcionalidade do botão de reiniciar controladores (*Reset Controladores*) é a de remover todos os dispositivos de processos do servidor. Entretanto, apesar de serem removidos da interface do servidor e não estarem disponíveis aos softwares clientes de usuários, os softwares clientes de processos (os dispositivos) permanecem conectados ao servidor. Para que esses dispositivos apareçam novamente no servidor, deve-se desconectar os dispositivos do servidor e conectá-los novamente por meio do software cliente de processos.

A funcionalidade do botão de reiniciar clientes (*Reset Clientes*) é a de remover todos os usuários do servidor. Entretanto, apesar de serem removidos da interface do servidor, os softwares clientes usuários (os usuários) permanecem conectados ao servidor. Para que esses usuários e clientes apareçam novamente no servidor, deve-se desconectar o cliente do servidor e conectar novamente por meio do software cliente de usuários.

3 Casos de uso

Nesse capítulo são apresentados os principais casos de uso da interface do servidor e seu passo a passo de utilização.

3.1 Analisar os dados dos processos

Com o intuito de analisar os dados dos processos, a fim de verificar o funcionamento dos dispositivos e o comportamento dos dados, o gerenciador do servidor deve:

1. Selecionar na janela dos dispositivos de processo (2.1) o dispositivo de processo desejado;
2. Observar os dados do processo na janela de dados dos processos (2.2).

3.2 Analisar dispositivos que estão sendo controlados

Com o intuito de analisar se algum usuário está controlando algum dispositivo de processo, o gerenciador do servidor deve:

1. Observar na janela de usuários e dispositivos de processos (2.5) qual usuário está conectado a qual processo.

ou, então:

1. Selecionar na janela dos dispositivos de processos (2.1) o dispositivo de processo desejado;
2. Observar se existem dados na janela 2.3 para saber se o dispositivo foi controlado em algum momento.

Nessa segunda opção, caso o processo tenha sido controlado anteriormente e não esteja mais sendo controlado, os dados permanecem sendo atualizados na janela de dados de processos controlados.

3.3 Impedir o acesso de usuários aos dispositivos

Com o intuito de impedir o acesso de usuários aos dispositivos de processos, de forma a não permitir mais o controle do processo por parte dos usuários, o gerenciador do servidor deve:

1. Clicar no botão: *Reset* Controladores.

Entretanto, caso o botão seja acionado e algum usuário ainda esteja conectado à um dispositivo, ele permanece conectado e com a possibilidade de controlar o dispositivo de processo.