

Prototipação de Controlador PID para Servo Válvula Eletro-Hidráulica usando Arduino e LabVIEW

David R. G. Ribeiro¹, Henrique Ramos², Mariana Gonzalez³, André Zangrandi⁴, Victor Manuel Almeida⁵, Tommy Zirnberger⁶ e Gilliver Santos⁷

^{1,2,3,4}Parque de Material Aeronáutico de São Paulo (PAMA-SP); ^{5,6,7}Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP)

Resumo — A servo válvula eletro-hidráulica é um dispositivo encontrado em aplicações que requerem controle preciso de posição e torque elevado. O seu comando se dá por sinal PWM (*Pulse Width Modulation*) e sua atuação pelo suprimento progressivo e proporcional de um fluido hidráulico sob pressão a um elemento final de controle do tipo cilindro ou motor hidráulico. Neste caso um cilindro conectado a uma válvula corpo de borboleta. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de controlador PID usando microcontrolador Arduino e programação LabVIEW para comando e controle da servo válvula eletro-hidráulica usada em dinamômetro de teste de motores PT-6 Pratt Whitney da Força Aérea Brasileira (FAB). Neste desenvolvimento, o protótipo desenvolvido como prova de conceito para controlar a servo válvula eletro-hidráulica composto por dois microcontroladores Arduino (modelos Mega e Uno) conectados a um PC padrão foi capaz de controlar em malha fechada a posição do referido dispositivo. Após sucessivos ensaios e ajustes no controlador foram obtidos os seguintes resultados considerados aceitáveis para a aplicação considerando apenas a entrada degrau (*Set Point* de posição a 50%) no sistema: 1 - Sobressinal $M_p = 11,48\%$ para ganho $K_p = 1,5$ e tempo de acomodação T_s (critério 2%) = 17s para a válvula de entrada, e; 2 - sobressinal $M_p = 10,5\%$ para ganho $K_p = 2$ e tempo de acomodação T_s (critério 2%) = 27s para a válvula de saída.

I. INTRODUÇÃO

Em uma célula de teste de motores aeronáuticos da FAB, um dinamômetro desenvolvido para motores turboélices (Figura 1) foi instalado para capacitá-la a testar motores PT-6 Pratt & Whitney “traços” 25, 34 e 114. Esse equipamento que corresponde a um dinamômetro hidráulico fabricado pela empresa Froude Consine [1], teve sua operação interrompida por cerca de 10 anos devido a falhas no seu controlador Texcel VX100 [2]. Esse sistema de controle, além de realizar a aquisição de dados dos parâmetros do dinamômetro, comanda duas servo válvulas eletro-hidráulicas (Figuras 2a e 2b) com o intuito de modular o fluxo de água dentro do dinamômetro (carga hidráulica), possibilitando o controle de torque e rotação do motor em teste.

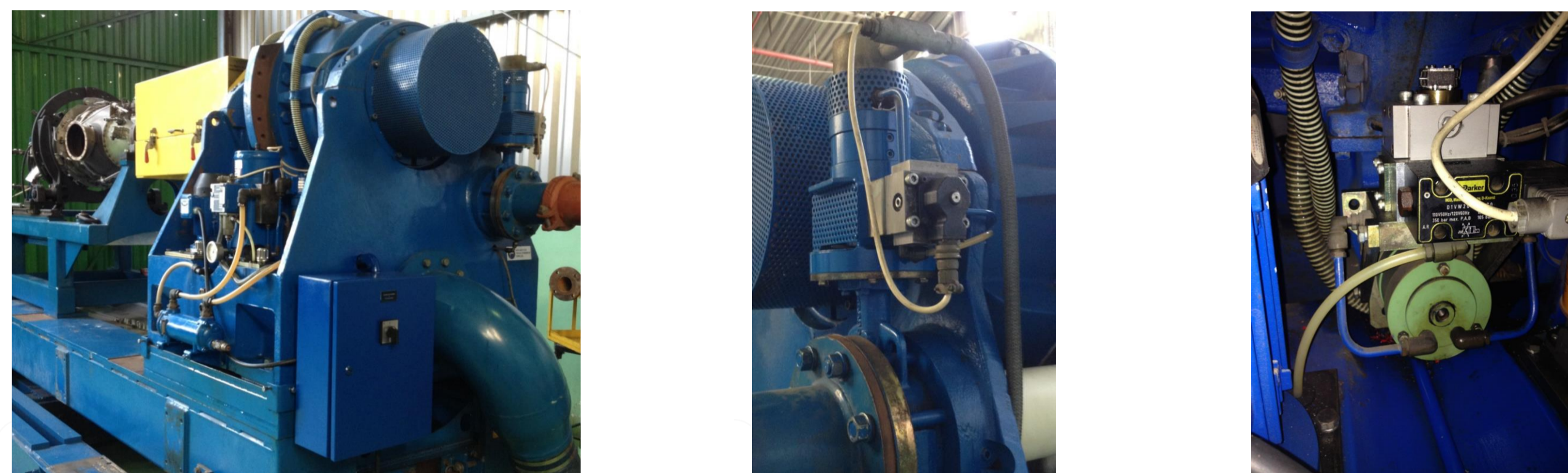


Figura 1 – Dinamômetro Froude. Figura 2a – Válvula de entrada. Figura 2b – Válvula de saída.

Devido às restrições orçamentárias para a aquisição de soluções de prateleira usualmente mais caras, foi iniciado o desenvolvimento de um sistema de controle próprio para o dinamômetro. Como parte deste processo, este trabalho traz o desenvolvimento de um controlador PID para a servo válvula usando a plataforma de *hardware* Arduino e a linguagem de programação gráfica LabVIEW. Através do esforço para desenvolver um protótipo de baixo custo, pretende-se validar a abordagem adotada na prova de conceito a fim de justificar maiores investimentos futuros no projeto.

II. DESENVOLVIMENTO

A composição do sistema é feita por um par de microcontroladores Arduino (modelos Uno e Mega), uma placa ponte H, um módulo relê de dois canais e um notebook pessoal. Há vantagens consolidadas na utilização desse tipo de equipamento [3]. Outros trabalhos empregaram ferramentas equivalentes no mesmo contexto e corroboram para a robustez do método, dentre eles pode se citar a utilização de LabVIEW com microcontroladores baseados em FPGA [4], controladores *real-time* moduláveis [5] e lógica Fuzzy [6] e [7].

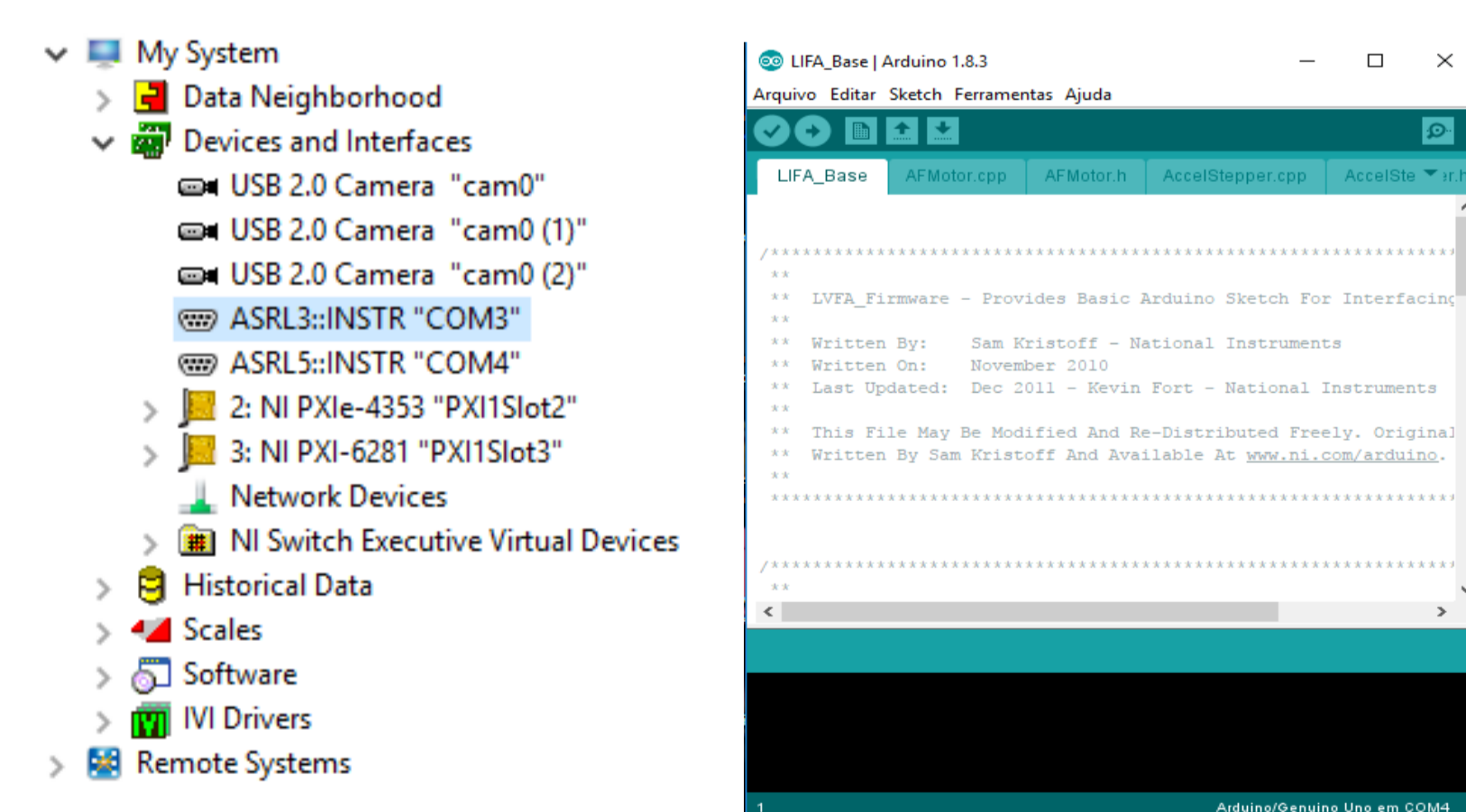


Figura 3a – Interface MAX e 3b – Interface Arduino.

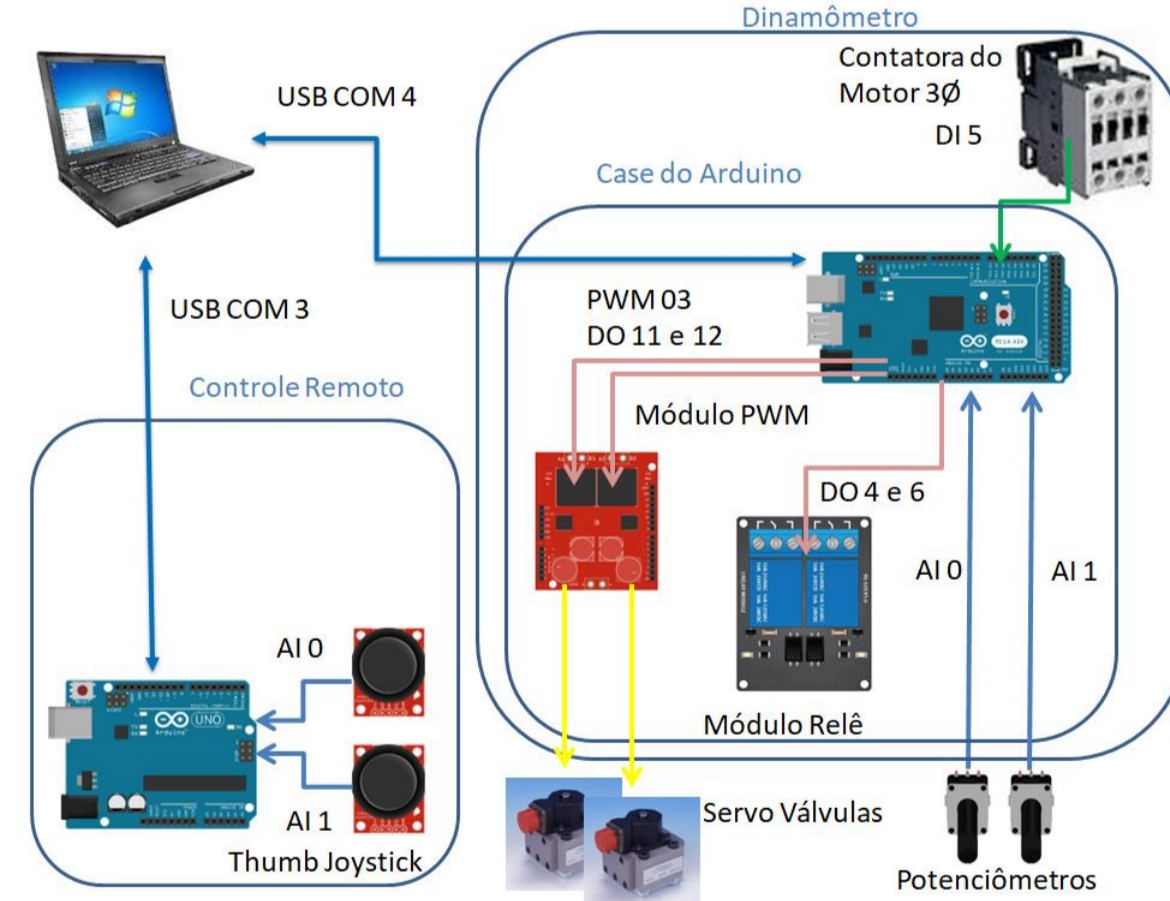


Figura 4 – Sistema de aquisição e controle baseado em Arduino.

No projeto, os elementos de *hardware* são classificáveis de maneira análoga a um Sistema de Controle. Em outras palavras, estes podem integrar estruturas de entrada, controle ou saída, conforme ilustrado através da Figura 4. Sendo assim, o Arduino Uno é o protagonista no que tange os elementos de entrada. A ele é conectado um par de controles para polegar do tipo “thumb joystick”, responsável por capturar os movimentos do operador e transformá-los em um sinal elétrico a ser interpretado pelo sistema.

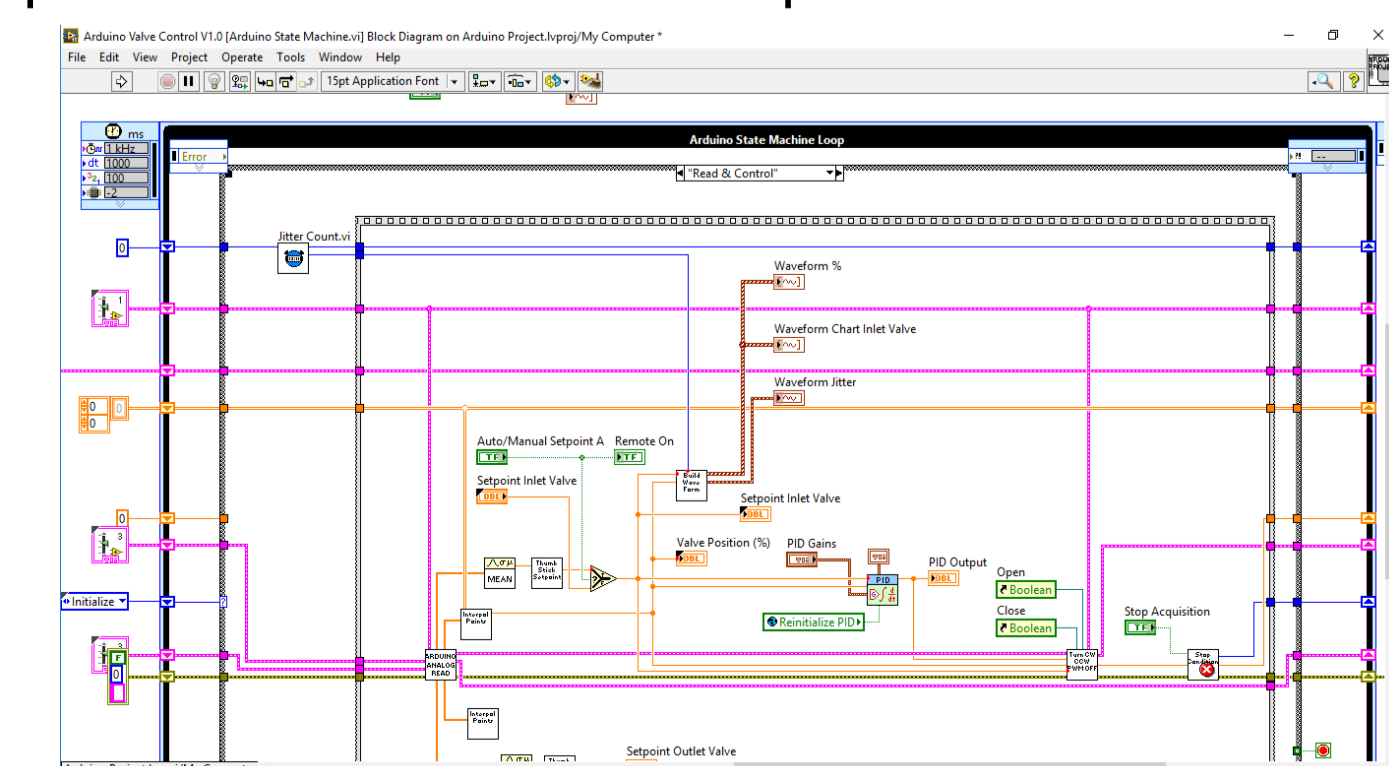


Figura 5 – Máquina de estados principal

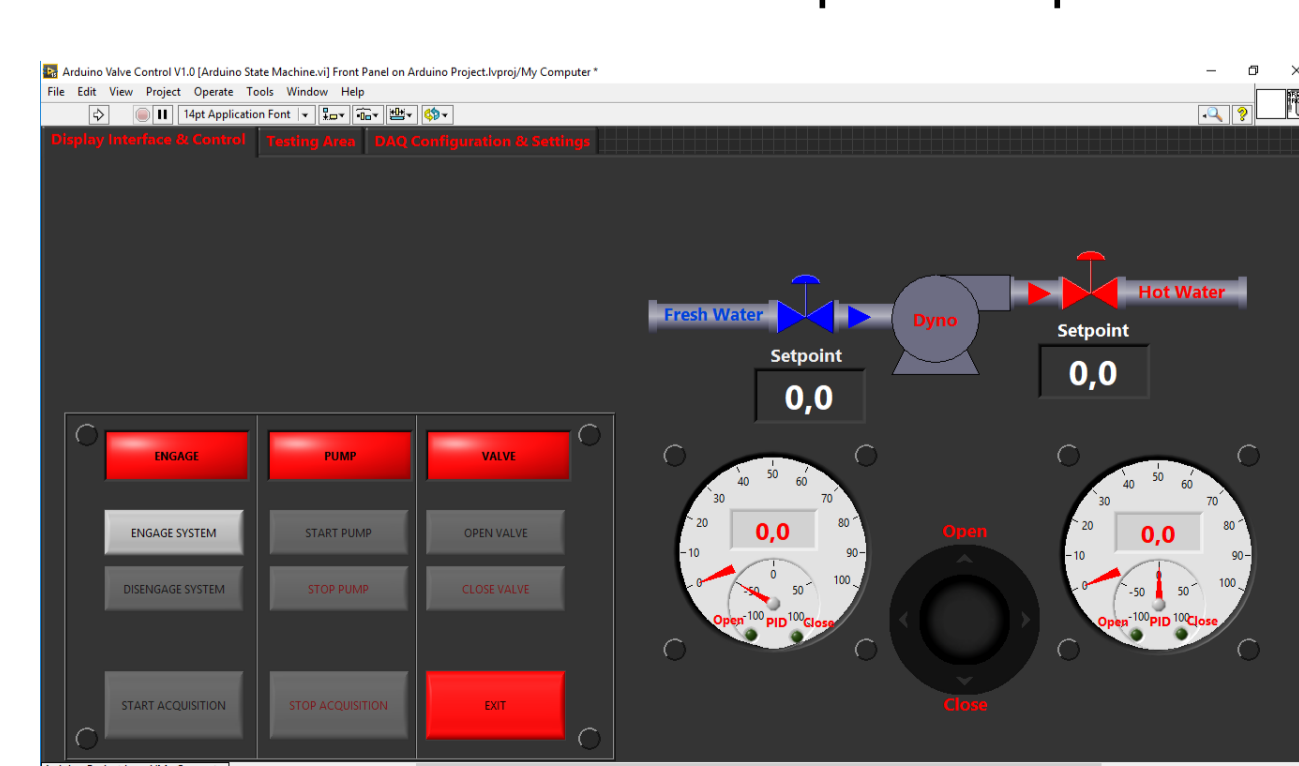


Figura 6 – IHM de operação

A função de traduzir a entrada dos *joysticks* para a atuação no dinamômetro é de responsabilidade do computador pessoal, conectado ao Arduino Uno encapsulado em um controlador remoto. O PC é incumbido de rodar o sistema de controle, estruturado em uma máquina de estados a ser posteriormente discutida, e providenciar a interface homem-máquina ao operador, conforme Figura 6.

Finalmente, a maior complexidade do sistema reside nos componentes ligados à estrutura de saída. O cerne desta é o microcontrolador Arduino Mega, que rege uma série de componentes. A sua lista de subordinados possui dois potenciômetros e a contactora do motor trifásico como entradas e dois módulos como saídas, sendo estes um módulo relê e o outro um PWM que atua na servo válvula. A conexão entre os controladores e o PC ocorre por comunicação serial USB estruturada no MAX (conforme Figura 3a), *software* esse de propriedade da National Instruments.

Os Arduinos e a linguagem de programação gráfica LabVIEW possuem plena integração sistêmica. Para preparar os microcontroladores, cabe conectá-los ao LABVIEW por meio do *toolkit* LabVIEW Interface for Arduino (LIFA) e embarcar neles os projetos na linguagem de programação adequada, também conhecidos como “*sketches*”, os quais podem ser explorados na Figura 3b.

O algoritmo de operação é baseado em uma máquina de estados (Figura 5). Em termos simples, ele executa uma tarefa (“estado”) até que as condições para o próximo estado ocorram. Isso permitiu obter uma transição controlada entre estados a uma taxa estável de aquisição de dados de 1 Hz.

III. TESTES

Para implementar a malha de controle em ambas as válvulas, foram realizados ensaios com entrada degrau de 50% a diferentes ganhos para determinar os valores apropriados para cada aplicação. Para a válvula de entrada, a curva almejada é sub amortecida. Para a válvula de saída, a curva deve ser criticamente amortecida [8].

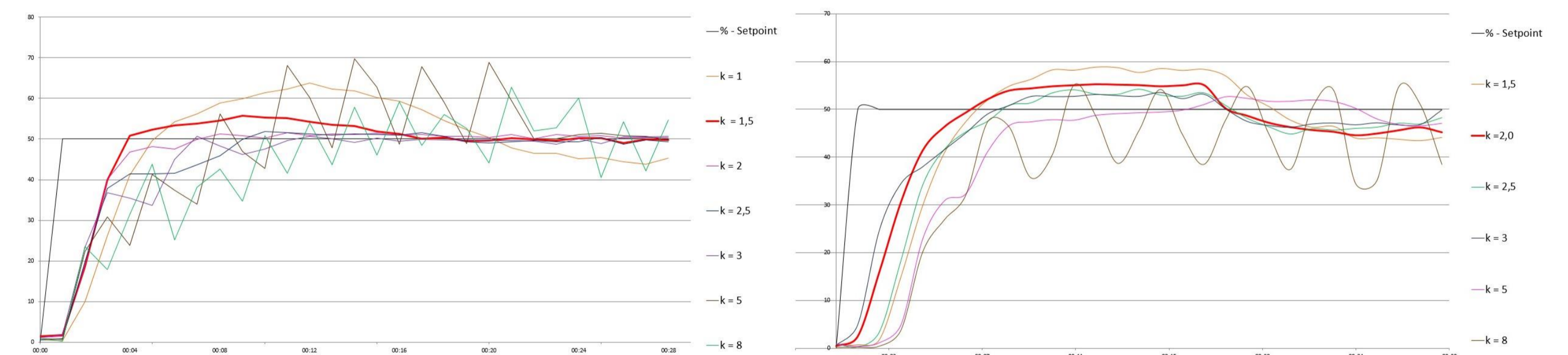


Figura 7 – Curvas obtidas nos ensaios para as válvulas de entrada e saída, respectivamente. Em vermelho estão destacadas as curvas dos ganhos escolhidos.

Para a válvula de entrada, um ganho de 1,5 foi escolhido por ter um tempo de subida inferior a 4 segundos, com um sobressinal de 11,48%. Para um $k_p \geq 5$, o sistema se torna instável. Para a válvula de saída, foi importante minimizar o sobressinal, sem aumentar de forma significativa o tempo de subida. Para $k_p = 5$ não há sobressinal, mas o tempo de subida foi de 16 segundos. Por isso, foi escolhido o $k_p = 2$, com tempo de subida de 6 segundos e sobressinal de 10,5%. Para um $k_p \geq 8$, o sistema se torna instável. Os ganhos T_i (integral) e T_d (derivativo) foram mantidos em 0 para determinar o ganho crítico nesta etapa de teste.

IV. CONCLUSÃO

A premissa de se desenvolver um protótipo de controlador PID para a servo válvula eletro-hidráulica mostrou-se viável com a metodologia adotada. Ainda na prova de conceito, este sistema de baixo custo revelou características da malha de controle que encorajam a continuidade desta iniciativa. Os resultados aceitáveis para a aplicação considerando apenas a entrada degrau (50%) no sistema foram os seguintes: 1 - Sobressinal $M_p = 11,48\%$ para ganho $K_p = 1,5$ e tempo de acomodação T_s (critério 2%) = 17s para a válvula de entrada, e; 2 - sobressinal $M_p = 10,5\%$ para ganho $K_p = 2$ e tempo de acomodação T_s (critério 2%) = 27s para a válvula de saída.

REFERÊNCIAS

1. THE Industry Standard Dynamometer. Froude, 2020. Disponível em: <https://froudedyno.com/about-us/corporate-info>. Acesso em: 15 junho 2020.
2. TEXCEL VX100 PRO Data Acquisition and Controller. Froude, 2020. Disponível em: <https://froudedyno.com/products/controlsystems/texcel-vx100-controller>. Acesso em: 15 junho 2020.
3. GONZALEZ, Mariana R. et al. Impactos de um Equipamento Portátil para Ensaios de Motores na FAB. XXI SIGE, 2019.
4. RAMOS, Henrique KM et al. Portable test system for jet engines through FPGA technology. In: 2018 IEEE AUTOTESTCON. IEEE, 2018. p. 1-8.
5. RIBEIRO, David R. et al. Prototipação de Controlador PID+Fuzzy para Controle de Servoválvula Eletro-Hidráulica usando LabVIEW e Arduino. XXI SIGE, 2019.
6. RIBEIRO, David R. et al. Data acquisition system for turbojet engine using LabVIEW programming and PCI extensions for instrumentation. In: 33rd AIAA Aerodynamic Measurement Technology and Ground Testing Conference. 2017. p. 3323.
7. National Instruments LabVIEW PID and Fuzzy Logic, June 2009
8. K. Ogata, Engenharia de Controle Moderno, for jet engines through FPGA technology. In: Prentice Hall, 3ª Edição, 2003.