

SISTEMA DE MONITORAMENTO E AQUISIÇÃO DE DADOS PARA VALIDAÇÃO DE POSIÇÃO DE VÁLVULA DE CONTROLE

MONITORING AND DATA ACQUISITION SYSTEM FOR CONTROL VALVE POSITION VALIDATION

Anderson Manzini¹
Michel de Moura Chaparro²
Tatiana Aparecida de Almeida³
José Neves Bezerra Junior⁴
Hugo Sakai Idagawa⁵

RESUMO

Válvulas de controle são dispositivos essenciais para o gerenciamento de processos industriais, pois regulam a vazão de diversos fluidos no sistema (BEGA et al., 2011). Esses componentes exigem alta precisão em suas operações de abertura e fechamento, sendo equipados com sistemas de posicionamento que necessitam de transdutores para indicar a posição atual dos elementos internos ou o percentual de abertura da válvula. Devido às condições adversas de operação (pressão, umidade, temperaturas extremas, vibração, etc.), as válvulas de controle requerem manutenções periódicas (FLOGIATTO; DUARTE, 2011). Durante a manutenção, as válvulas são desmontadas, suas peças internas são inspecionadas e substituídas, se necessário, e depois remontadas e ajustadas.

No ajuste do curso da válvula, é crucial que o transdutor de posição seja instalado corretamente para fornecer dados de posição precisos (GOETTSCHE, 2005). Para isso, medições manuais do sinal de saída do transdutor são realizadas em pontos específicos do curso. Embora essas medições sejam eficazes para ajuste, elas não conseguem demonstrar a resposta completa do transdutor ao longo de todo o curso da válvula e estão sujeitas a erros de transcrição, já que os dados são anotados manualmente e inseridos posteriormente no relatório de manutenção.

Este trabalho propõe desenvolver um dispositivo microcontrolado, integrado a um sistema SCADA, para a aquisição *online* de dados do transdutor de posição. Esse sistema criará um gráfico com os dados coletados durante os testes funcionais da válvula, permitindo a análise da dinâmica e linearidade do curso da válvula comprovando a eficácia do ajuste e das ações realizadas durante a manutenção. Além disso, o sistema visa garantir a integridade dos dados coletados e a geração de um relatório detalhado de manutenção para o cliente.

Palavras-chave: válvulas de controle; transdutor de posição; microcontrolador; condicionamento de sinal; sistema supervisório; manutenção.

ABSTRACT

Control valves are essential devices for the management of industrial processes, as they regulate the flow of various fluids within the system. These components require high precision in their opening and closing operations, being equipped with positioning systems that need position transducers to indicate the current position of internal elements or the valve's opening percentage.

Due to adverse operating conditions (pressure, humidity, extreme

temperatures, vibration, etc.), control valves require periodic maintenance. During maintenance, the valves are disassembled, their internal parts are inspected and replaced if necessary, and then reassembled and adjusted.

When adjusting the valve stroke, it is crucial that the position transducer is correctly installed to provide accurate position data. For this purpose, manual measurements of the transducer's output signal are taken at specific points along the stroke. Although these measurements are effective for adjustment, they cannot demonstrate the transducer's complete response throughout the entire valve stroke and are subject to transcription errors since the data is manually recorded and later entered into the maintenance report.

This work proposes the development of a microcontroller-based device integrated with a SCADA system for the online acquisition of position transducer data. This system will create a graph with the data collected during the valve's functional tests, allowing the analysis of the valve stroke's dynamics and linearity, and confirming the effectiveness of the adjustments and actions taken during maintenance. Additionally, the system aims to ensure the integrity of the collected data and generate a detailed maintenance report for the client.

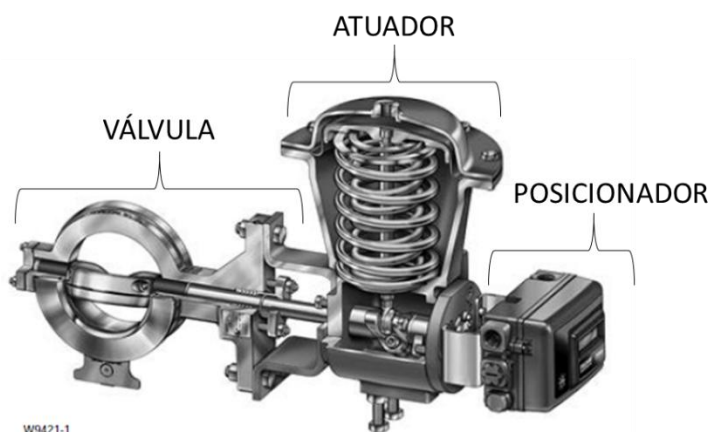
Keywords: control valves; position transducer; microcontroller; signal conditioning; supervisory system; maintenance.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Problema de pesquisa

Na área de processos industriais, válvulas de controle são amplamente utilizadas para o controle de vazão de fluidos nos mais diversos setores como petroquímicos, energia, mineração, alimentício, estações de tratamento e distribuição de água e esgoto, entre outros mais. Essas válvulas requerem o uso de atuadores que podem ser pneumáticos, hidráulicos ou elétricos em conjunto com o uso de posicionadores (figura 1).

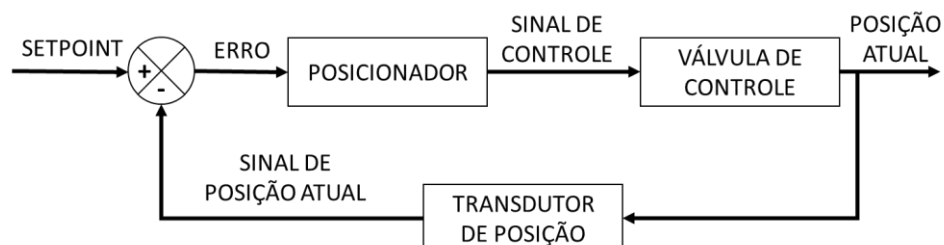
Figura 1 - conjunto válvula / atuador / posicionador pneumático



fonte: (Control valve source book - Fisher Controls International LLC., 2013)

Os posicionadores são responsáveis por controlar o atuador da válvula de forma que um comando de abertura desejado seja executado de forma exata, independente de variações de pressão do fluido controlado. Para isso, os posicionadores recebem a indicação de posição atual da válvula, através de um transdutor de posição, para realimentar sua malha de controle (figura 2).

Figura 2- malha de controle de posição de válvula



fonte: elaborado pelo autor

Ao se analisar a malha de controle verifica-se que a posição atual é comparada ao *setpoint* (posição desejada) gerando um erro, que o posicionador será responsável por corrigir, alterando assim, a posição da válvula até que ela se iguale ao *setpoint*, estabilizando a válvula na posição desejada. Portanto a informação de posição atual é fundamental para o correto funcionamento do sistema.

As válvulas de controle lidam com variações de pressão e temperatura, vibração, humidade, entre outras intempéries no ambiente industrial. Assim sendo, essas válvulas devem passar por manutenções preventivas e/ou corretivas, processo onde as mesmas devem ser desmontadas para a verificação de seus internos e substituição de peças e vedações danificadas e/ou desgastadas. Ao se remontar uma válvula, é necessário que a mesma seja ajustada para que ela apresente curso total (de fechada a aberta) e que seu transdutor de posição apresente leituras coerentes em relação ao curso da válvula. Esse ajuste é realizado pela equipe de manutenção e, em caso de manutenção preventiva programada, comumente uma empresa terceirizada é contratada para executar a manutenção, devendo apresentar um relatório sobre o serviço realizado na válvula contendo dados de ensaios realizados.

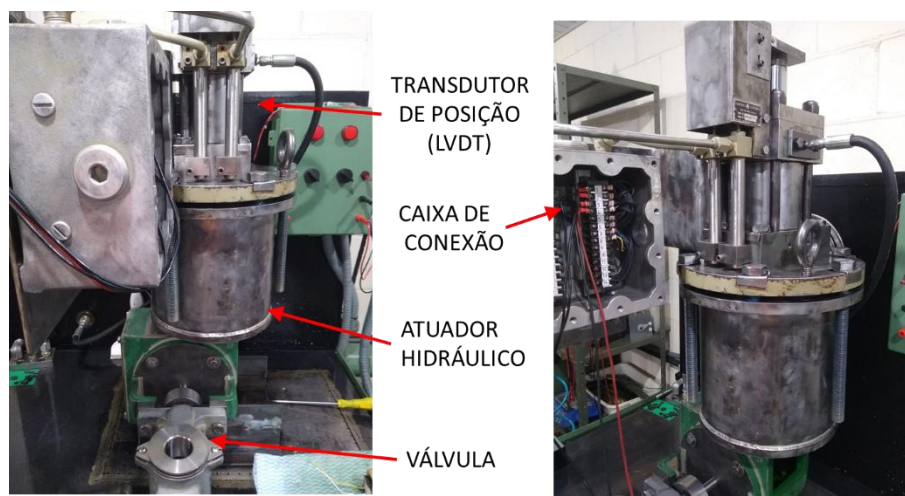
É comum que empresas de manutenção façam o levantamento de dados através de medições pontuais com instrumentos discretos e posteriormente façam a transcrição dos dados manualmente. Esse tipo de processo, além de demorado, pode acrescentar erros aos dados coletados e não é capaz de demonstrar o comportamento dinâmico da posição ao longo do curso da válvula.

No presente artigo, será abordado o caso de válvulas servoacionadas hidráulicamente que são enviadas a uma empresa prestadora de serviços de manutenção (figura3). Tais válvulas podem utilizar transdutores de posição do tipo *resolver* ou *LVDT* (transformador diferencial variável linear) que geram sinais em tensão alternada. Esse tipo de válvula possui um sistema eletrônico de posicionamento, que recebe o sinal do transdutor de posição tratando e convertendo para um formato adequado para o circuito eletrônico processá-lo. O sistema eletrônico faz a comparação e envia sinal de controle para o atuador. Esse sistema eletrônico é instalado em painéis elétricos, e interconectado às válvulas via cabeamento.

Foi relatado que a empresa solicitante envia somente a válvula para a empresa terceira (conforme figura 3). Com a ausência do sistema de controle eletrônico, a empresa terceira deve lidar com o sinal bruto gerado pelo transdutor de posição e atuar

a válvula em malha aberta, alterando manualmente a pressão hidráulica fornecida ao

Figura 3- válvula com atuador hidráulico e transdutor de posição



fonte: elaborado pelo autor

posicionador.

Como os transdutores do tipo *LVDT* e *resolver* devem ter suas bobinas primárias alimentadas com tensão alternada em alta frequência, é utilizado um equipamento gerador de funções. Com a aplicação de sinal no primário, nas saídas das bobinas secundárias dos transdutores é gerado um sinal em tensão alternada.

Para a leitura desses sinais, atualmente são utilizados multímetros do tipo *true rms* na escala de tensão alternada, cada um ligado a uma bobina (figura 4). Nos transdutores *LVDT*, as bobinas são nomeadas como 1 e 2, e no transdutor *resolver* as bobinas são chamadas de seno e cosseno. A válvula é modulada via aplicação de pressão hidráulica, de acordo com a faixa de pressão indicada pelo fabricante. Essa faixa de pressão é dividida em 5 pontos: 0, 25%, 50%, 75% e 100% da pressão da faixa. Sendo o atuador proporcional, em uma válvula do tipo normal fechada, 0 corresponde a válvula fechada e 100% corresponde a válvula totalmente aberta. O técnico anota os valores de tensão medidos nos multímetros para cada um dos 5 níveis, antes de desmontar e após a montagem e ajuste da válvula, transcrevendo os dados em um relatório digital.

Figura 4- aquisição pontual de dados com multímetros



fonte: elaborado pelo autor

Esse procedimento é suficiente para a verificação e ajuste do sensor de posição, porém não é válido para se analisar a resposta do transdutor ao longo de todo o curso da válvula e também, pela forma de aquisição de dados, gera a possibilidade de haver erros de transcrição ao se anotar manualmente os valores medidos e posteriormente inserir os dados em arquivo digital, gerando um relatório divergente do que foi verificado em teste.

1.2. Objetivos

A proposta deste trabalho é desenvolver um sistema de coleta de dados que atue de forma contínua, aumentando a quantidade de pontos de verificação de modo a possibilitar a geração de um gráfico que represente a resposta dinâmica durante as manobras de abertura e fechamento da válvula.

A coleta de dados será efetuada por um sistema microcontrolado dotado de circuito eletrônico para o tratamento do sinal advindo do sensor. Para a geração e exibição de gráficos, o sistema será associado a um sistema supervisorio que também terá a função de armazenar os dados na forma de gráficos e tabelas para serem inseridos no relatório de manutenção.

1.3. Justificativa

A análise da dinâmica de manobra de uma válvula é importante para verificar se sua haste apresenta movimentação linear e suave ao longo de todo seu curso, comprovando a efetividade das ações de manutenção e de ajuste da válvula.

Os dados coletados também serão incluídos no relatório de manutenção da válvula, que é um documento que atesta os resultados obtidos no processo de manutenção e, quando dotado de dados relevantes e de fácil interpretação, aumenta a confiança, transparência e a percepção de qualidade do cliente a respeito do serviço prestado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 VÁLVULA DE CONTROLES

Segundo Goettsche, válvula de controle é um elemento final de controle em um processo, sendo seu músculo ou parte atuante de uma malha de controle (Goettsche, 2005, p.277, tradução nossa)¹ e ainda afirma que a válvula de controle é uma das partes mais importantes da malha de controle pois é o dispositivo localizado no campo cuja função é regular o fornecimento de massa ou energia ao processo (Goettsche, 2005, p.277, tradução nossa)².

Goettsche ainda ressalta que o procedimento envolvido na verificação da operação de uma válvula de controle é chamado de *stroking* (movimento) da válvula. Isto proporciona uma verificação operacional dos componentes da válvula (Goettsche, 2005, p.279, tradução nossa)³.

¹ No original: A control valve is the final control element in a process and is the muscle, or action part of the loop.

² No original: One of the most important parts of a control loop is the device located in the field whose function is to regulate the supply of mass or energy to the process.

³ No original: The procedure involved in checking out the operation of a control valve is called stroking the valve. This provides for an operational check of the valve components.

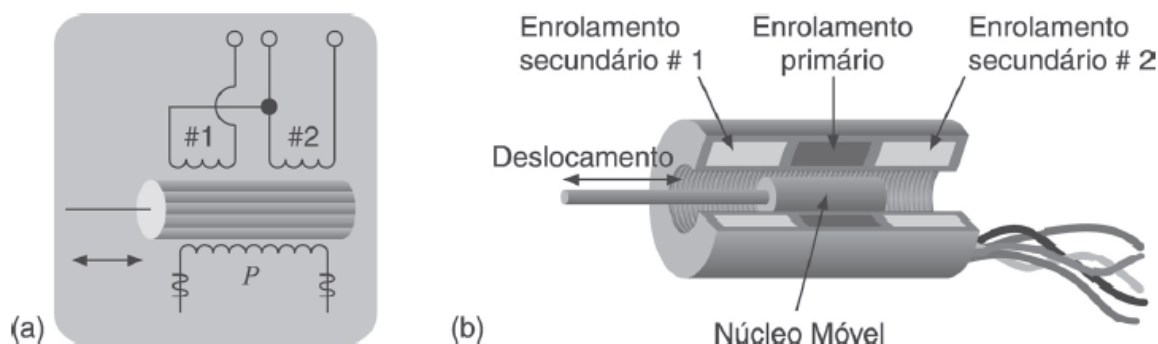
Válvulas de controle são aplicadas em conjunto a posicionadores pois, segundo Bega, “posicionador é um servo-amplificador cuja função é assegurar o correto posicionamento da haste da válvula, de acordo com o sinal de comando correspondente, enviado pelo controlador” (BEGA et al., 2011, p.472). Há ainda os posicionadores inteligentes que possibilitam “monitoração da posição da válvula a cada instante, verificação da correspondência da real posição da haste em relação ao sinal proveniente do controlador, [...]” (BEGA et al., 2011, p.473).

2.2 TRANSDUTOR DE POSIÇÃO

Transdutor é um dispositivo que “[...]fornece uma grandeza de saída, a qual tem uma relação com uma grandeza de entrada. ” (VIM, 2012, p.35). “O transformador diferencial linear variável ou *LVDT* [...] é um transdutor analógico usado para medir deslocamento linear. ” (Aguire, 2013, p.202).

A construção básica de um *LVDT* inclui um enrolamento primário e dois secundários idênticos e simetricamente posicionados em relação ao primário, com acoplamento magnético facilitado por um núcleo ferromagnético móvel. O primário deve ser alimentado com tensão alternada e o sinal de saída do *LVDT* será também em tensão alternada. (Aguire, 2013). O diagrama elétrico é mostrado na figura 5(a) e o diagrama de sua construção mecânica é mostrado na figura 5(b).

Figura 5 - Transformador diferencial variável linear - *LVDT*



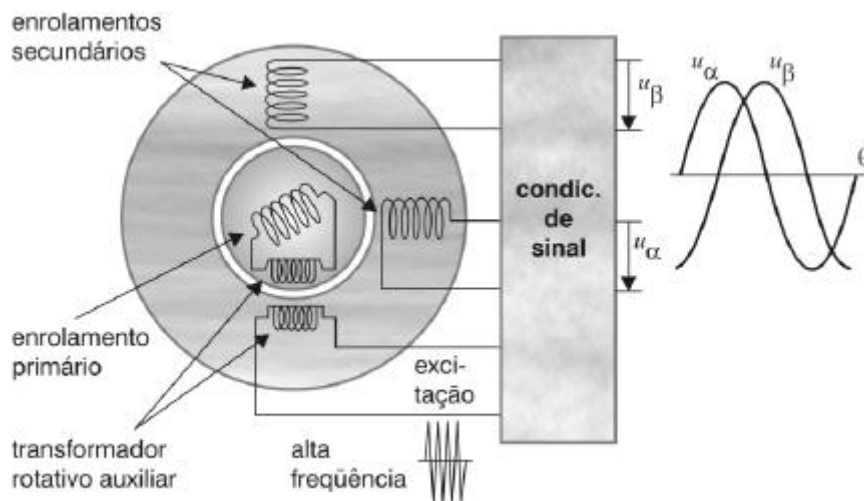
fonte: (Aguire, 2013, p203)

A variação do acoplamento magnético entre o primário e os secundários, de acordo com a posição do núcleo, permite a medição de deslocamentos lineares. Quando o núcleo se desloca em uma direção, o acoplamento magnético entre o enrolamento primário e um dos secundários aumenta, enquanto diminui no outro secundário. Assim, a tensão induzida aumenta em um enrolamento secundário e diminui no outro, de forma proporcional ao deslocamento a ser medido. (Aguire, 2013).

Os *resolvers* são transformadores de alta frequência (5 a 10kHz) [...]. O primário está situado no rotor e existem dois secundários em quadratura no estator. As amplitudes e fases das tensões induzidas nos secundários são função da posição do rotor. Um circuito condicionador processa as tensões induzidas nos secundários fornecendo uma tensão proporcional à posição. (WEG, [s.d.] p.23)

O diagrama construtivo do *resolver* e os sinais de saída alternados e defasados entre si devido à posição dos secundários são mostrados na figura 6.

Figura 6 - Resolver - construção e sinais.



fonte: (WEG ,[s.d.] p23)

2.3 MICROCONTROLADOR

Para a criação do protótipo será empregado um microcontrolador que, segundo Horowitz [et al.] (2017, p.1095) “[...] são processadores independentes com um conjunto completo de periféricos integrados em um único chip[...]”. Dentre as opções disponíveis no mercado, foi escolhido a plataforma Arduino que segundo Stevan e Silva (2015, p.15) “[...] é uma plataforma *open-source* de prototipagem eletrônica baseada em flexibilidade, na qual o hardware e software são fáceis de serem usados e adaptados aos mais diferentes cenários e aplicações. ”

Para o desenvolvimento de um sistema microcontrolado Stevan e Silva (2015, p.15) ressaltam que “[...] um sistema microcontrolado baseia-se em um sistema eletrônico que precisa de eletrônica a sua volta, para o condicionamento de sinais e adaptações específicas. ” Assim, é visível a necessidade de um projeto eletrônico associado a programação do microcontrolador para que o projeto seja desenvolvido.

A plataforma escolhida para a confecção do protótipo foi o Arduino Nano que, segundo sua folha de dados oficial, é uma placa de desenvolvimento inteligente projetada para construir protótipos rápidos com pequenas dimensões e possui um microcontrolador Atmega328 com frequência de trabalho de 16MHz, 20 pinos de entrada/saída digitais configuráveis, 8 pinos de entrada analógica e um conector mini-USB. (Arduino Nano - *Product Reference Manual*, 2023, p.1, tradução nossa)⁴

2.4 CONDICIONAMENTO DE SINAIS

Sensores e transdutores “[...]necessitam de condicionamento de sinal para que o dispositivo de aquisição de dados e controle efetue a medição de forma eficaz e exata. ” (Stevan e Silva 2015, p.94).

⁴ No original: Arduino® Nano is an intelligent development board designed for building faster prototypes with the smallest dimension[...]. At the heart of the board is ATmega328 microcontroller clocked at a frequency of 16 MHz featuring [...]. The board offers 20 digital input/output pins, 8 analog pins, and a mini-USB port.

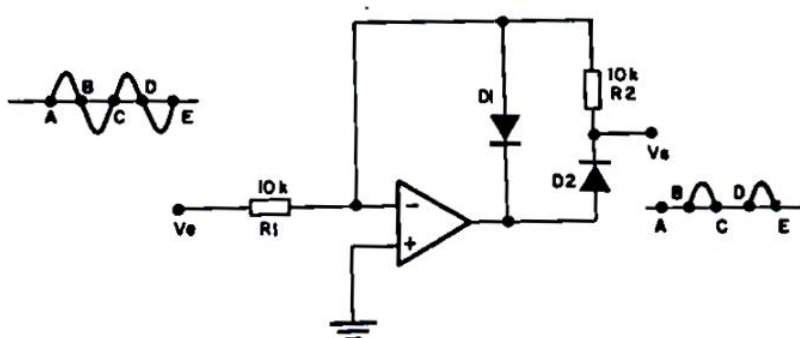
A plataforma Arduino “[...]tem-se presente um conversor analógico digital de aproximações sucessivas de 10 bits ($2^{10} = 1024$ níveis). [...] a resolução padrão para $V_{cc} = 5$ V é de: $(5-0)/1023 = 4,88\text{m V}$ ” (Stevan e Silva 2015, p.94).

Para o condicionamento do sinal em V_{ca} dos transdutores de posição para um sinal em V_{cc} compatível com o Arduino, foi escolhida a técnica de retificação de sinal.

Porém, segundo Berlin, devido à queda de tensão característica de 0,7 V, os diodos não são aconselháveis para retificar sinais de baixa amplitude e, portanto, deve-se utilizar um circuito retificador de precisão, implementado com amplificadores operacionais (Berlin, 1983), conforme exemplo da figura 7.

Amp-ops podem melhorar o desempenho de circuitos com diodo. [...], um amp-op com realimentação negativa reduz o efeito da tensão de joelho, nos permitido implementar retificador, [...] de sinais de pequena amplitude. [...] E devido a sua ação buffer, os amp-ops podem eliminar os efeitos da fonte e da carga nos circuitos com diodo. (Malvino, 2016, p.881)

Figura 7 - retificador de precisão de meia onda



fonte: (Berlin, 1983, p119)

2.5 SISTEMA SUPERVISÓRIO

"[...] comumente denominados sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). [...] Sistemas supervisórios são sistemas digitais de monitoração e operação da planta que gerenciam variáveis de processo de forma remota." (Branquinho [et al.], 2014, p.1)

O supervisório “[...] automatiza o processo de monitoração, aquisição e coleta de informação [...], a disponibiliza em monitores [...] e a exibe de forma concisa, clara, podendo usar gráficos, botões, controles, animações ou diagramas (Branquinho et al., 2014, p.10)

O uso de sistemas supervisórios “aumenta a confiança e melhora o desempenho dos processos supervisionados, tendo em vista que a coleta de informações não mais requer uma pessoa, [...]” (Branquinho et al., 2014, p.2).

Para a comunicação de dados entre o hardware e o supervisório, optou-se pela utilização do protocolo Modbus que “[...] é um dos (protocolos) mais antigos e, até hoje, um dos mais utilizados[...]” (Fonseca; Santos; Coelho, 2016, p.90) e tem como vantagem o fato de “[...] a utilização desse protocolo é livre. [...] (sendo) uma das soluções de rede mais baratas a serem utilizadas em automação industrial.” (Fonseca; Santos; Coelho, 2016, p.90)

No projeto será empregado o Modbus RTU (*Remote Terminal Unit*) “[...] RTU refere-se ao modo de transmissão em que endereço e dados são representados em formato binário. O tamanho da palavra [...] é de 8 bits.” (Fonseca; Santos; Coelho, 2016, p.95)

2.6 MANUTENÇÃO

Manutenção é um procedimento que tem o objetivo de “[...] prevenir falhas ou de restaurar o sistema a seu estado operante, no caso de ocorrência de uma falha.” (Flogiatto; Duarte, 2011, p.4). Assim a manutenção deve “manter e melhorar a confiabilidade e regularidade de operação do sistema produtivo.” (Flogiatto; Duarte, 2011, p.4)

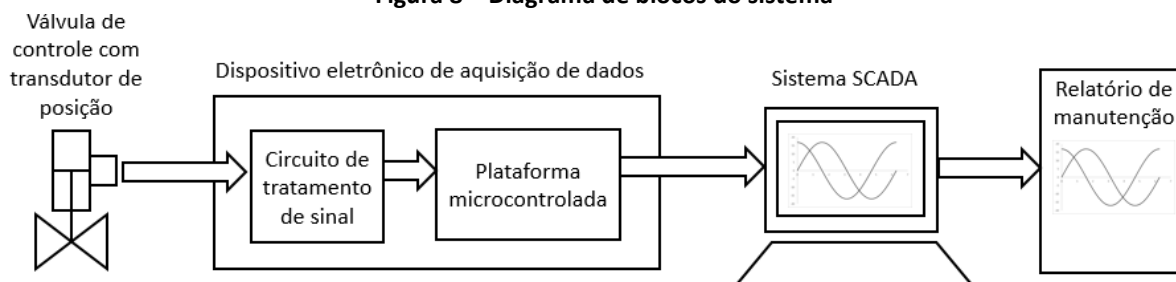
Para que a manutenção seja efetiva, é necessário que o equipamento em processo de manutenção possua manutenibilidade que é “[...] a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, [...], quando submetido à manutenção sob condições predeterminadas e usando recursos e procedimentos padrão.” (Flogiatto; Duarte, 2011, p.7)

3. METODOLOGIA

O projeto tem a seguinte estrutura:

- A válvula de controle com transdutor de posição que gera o sinal bruto para um dispositivo eletrônico;
- No dispositivo eletrônico, o sinal será primeiramente tratado por um circuito eletrônico analógico e depois encaminhado ao microcontrolador;
- Microcontrolador tratará o sinal por meios digitais, colocando-o na escala adequada ao teste da válvula;
- Microcontrolador enviará os dados gerados via comunicação MODBUS RTU, utilizando o conversor TTL/USB presente na plataforma Arduino, para um computador via conexão USB;
- Computador terá instalado um sistema supervisor, no caso o SCADA BR, que será responsável por exibir os dados recebidos e armazená-los;
- Próprio software SCADA BR possui a função exibir gráficos dinâmicos e geração de relatórios em formato PDF e CSV.
- A visão geral e simplificada do sistema proposto é exibida na figura 8.

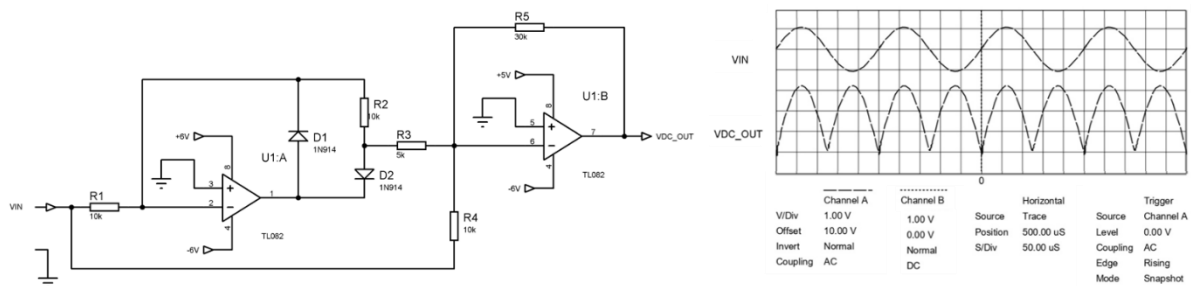
Figura 8 – Diagrama de blocos do sistema



fonte: elaborado pelo autor

Para o tratamento do sinal de entrada, que é recebido em tensão alternada, foi montado um retificador de precisão de onda completa com utilização de amplificador operacional, para que a queda de tensão característica de 0,7 V do diodo retificador seja compensada e o semiciclo seja reproduzido integralmente, sem perdas, na saída do retificador. O circuito ainda tem a função de amplificar o sinal de entrada para que a tensão de pico na saída tenha um valor mais elevado, com uma amplitude máxima de até 5 Vdc. O circuito é ilustrado na figura 9, juntamente com as formas de onda do sinal de entrada e de saída obtidas via simulação, onde é mostrado um sinal de entrada de 1,1 Vp e na saída o sinal com 3,25 Vp, demonstrando o ganho de 2,955. Esse circuito foi reproduzido em cada uma das duas entradas do sistema eletrônico de aquisição de dados.

Figura 9 - retificador de precisão de onda completa



fonte: elaborado pelo autor

Após o retificador foi utilizado um filtro capacitivo simples para aumentar o nível de tensão contínua, o que otimiza o tratamento digital desse sinal, pois os conversores A/D (analógico para digital) do microcontrolador Atmega328 é desenvolvido para lidar com valores positivos de tensão contínua com até 5 Vcc.

No software do microcontrolador, os valores dos conversores A/D serão interpolados para que sejam exibidos dentro da faixa de tensão do sensor em teste no sistema supervisor, através da fórmula 1.

$$V_{atual} = \frac{V_{MAX} \cdot A I_x}{1023} \quad (1)$$

V_{atual} é a tensão calculada referente à posição do sensor

V_{MAX} é a tensão máxima da faixa de tensão do sensor

$A I_x$ é o valor bruto gerado pelo conversor A/D

1023 é o valor máximo gerado pelo conversor A/D do arduino, que possui resolução de 10 bits (210 – 1). Esse valor pode ser menor caso a tensão entregue pelo circuito de tratamento de sinal seja inferior a 5 Vcc, devido ao tipo de sensor utilizado.

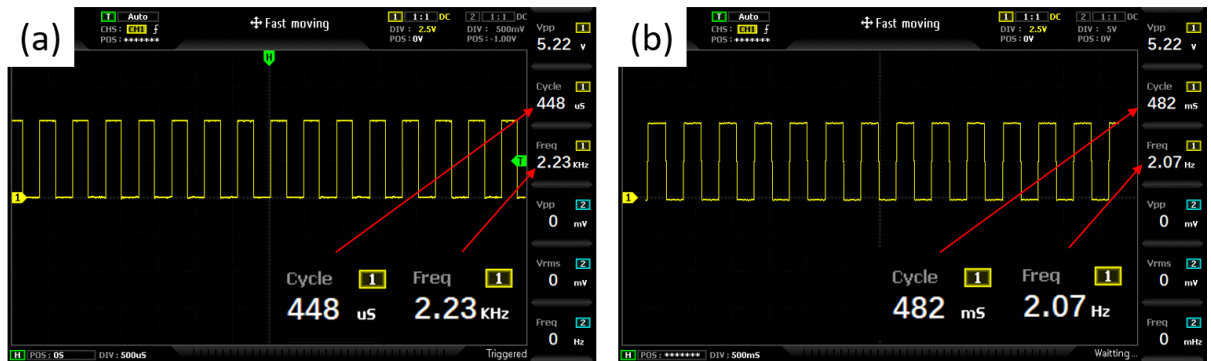
Além do tratamento de conversão de valores, foi implementado um filtro digital que coleta amostras de valores e calcula a média simples desses valores. A média será adotada como leitura final de um ponto. Esse processo visa atenuar a influência de sinais espúrios de alta frequência.

As amostras dos valores de entrada são coletadas em cada ciclo de máquina, de forma a dispensar a implementação de uma rotina de contagem de tempo no programa. Para se definir a duração do ciclo de máquina e, conseqüentemente, quantas amostras serão coletadas em um intervalo de tempo, foi criado um programa com a aquisição de uma amostra por entrada com sua respectiva conversão de faixa e a inserção de uma linha onde uma saída digital tinha seu estado invertido todo ciclo de

máquina. Essa saída foi ligada a um osciloscópio, e foi obtido uma onda quadrada onde cada semiciclo tem a duração de um ciclo de máquina. A onda apresentou uma frequência de 2,23kHz, com período (T) de 448µs e, portanto, o ciclo de máquina tem duração de 224µs (T/2) (figura 10a).

Para a comunicação com o supervisor, foi definido que 4 medições por segundo (uma medição a cada 250ms) atende às necessidades do teste e características do hardware e software empregados. Como o tempo para 2 medições é de 224µs, verificou-se que, teoricamente, em 250ms é possível efetuar 2232,1 medições $[(250ms/224µs)*2]$. Em testes, foi verificado que 1000 amostras por entrada mais o cálculo para traçar a curva dinâmica de posição, apresentou um tempo de ciclo de 241ms (482/2) conforme figura 10(b). Esse tempo se mostrou adequado ao sistema proposto, sendo adotado o valor de 1000 amostras para cada entrada.

Figura 10 - formas de onda - ciclo de máquina

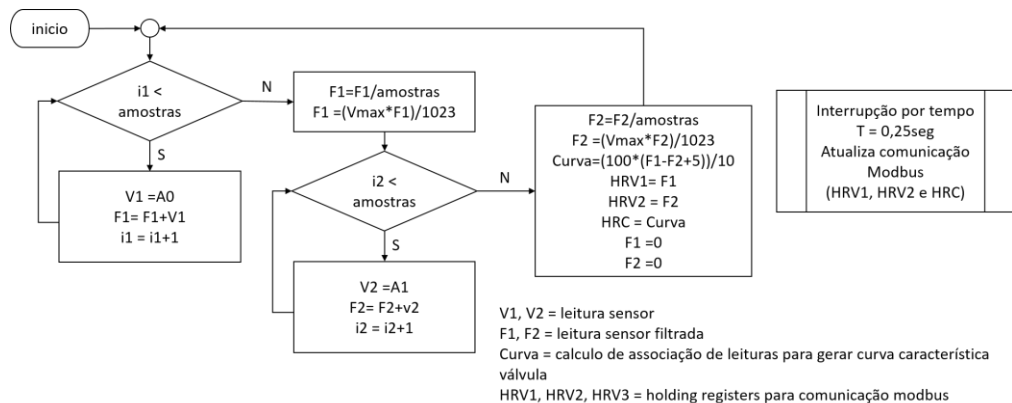


fonte: elaborado pelo autor

Para a comunicação Modbus foi implementado no software do microcontrolador uma rotina de interrupções baseadas em tempo, onde os dados são atualizados e enviados para o supervisor em intervalos determinados (250ms) para que a amostragem da variação de sinal seja regular. Os valores, já convertidos e filtrados para a faixa de tensão do sensor, serão escritos em variáveis do tipo *holding registers*, para que os mesmos possam ser acessados pelo supervisor via comunicação Modbus RTU.

O algoritmo do programa é exibido na figura 11.

Figura 11 - algoritmo implementado no microcontrolador

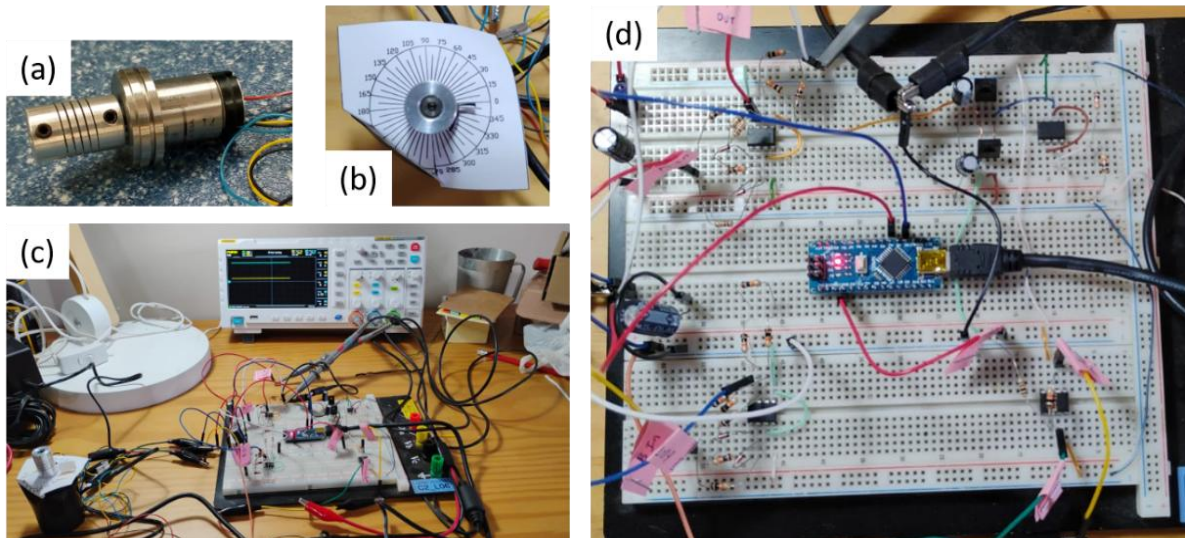


fonte: elaborado pelo autor

Para efetuar a validação da proposta, os circuitos de tratamento de sinal foram montados

em *protoboard*, juntamente com um Arduino Nano e uma fonte 12V/2A externa. Durante teste e ensaios, foi utilizado um sensor do tipo *resolver* (figura 12a) desacoplado da válvula devido a não disponibilidade de uma válvula para os ensaios (essas válvulas são enviadas para manutenção preventiva anualmente e devem retornar ao cliente em 15 dias). Assim, os testes foram executados girando o eixo do sensor manualmente para simular a movimentação da válvula. Para referência de posição, foram fixados um disco graduado e um ponteiro ao sensor (figura 12b). Para alimentação do sensor e leitura dos sinais e respectivas formas de onda, foi utilizado um osciloscópio digital com gerador de funções integrado (figura 12c). Os circuitos montados em *protoboard* são mostrados na figura 12d.

Figura 12 – Sensor, arranjo e circuitos para validação



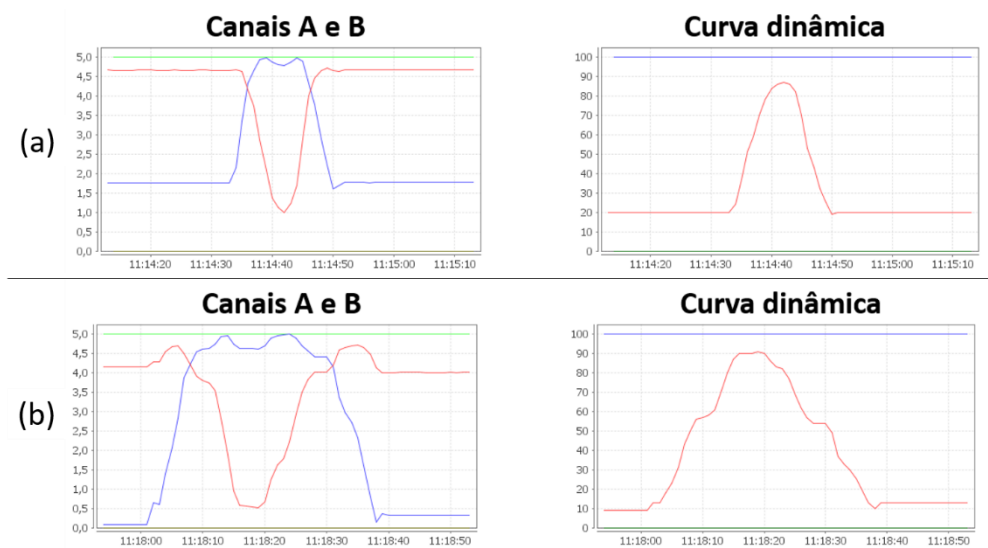
fonte: elaborado pelo autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O sistema proposto permitiu a reprodução contínua dos sinais provenientes do sensor, exibindo seus valores de tensão RMS, que anteriormente eram obtidos de forma pontual através de um multímetro. Com isso, foi possível adquirir a curva característica de cada sinal gerado pelo sensor de maneira contínua e precisa. O sistema ainda foi utilizado para criar uma curva relacionando os dois sinais, por meio de tratamento matemático, que evidencia a variação dinâmica da posição indicada pelo sensor.

Realizando a excursão entre os pontos extremos do sensor com movimentação contínua, verificou-se sua linearidade tanto no sentido crescente quanto no decrescente, correspondendo à abertura e ao fechamento da válvula respectivamente (Figura 13a). Ao se realizar a excursão de forma descontínua, foi possível simular uma não linearidade no curso do sensor (figura 13b) que se torna muito evidente quando se compara com a curva linear esperada. Durante os testes de uma válvula, qualquer desvio de linearidade ao longo da curva indicará uma anomalia no deslocamento da haste da válvula, sinalizando um possível travamento no mecanismo. Esses pontos de inconsistência devem ser inspecionados, suas causas identificadas, e corrigidas, para que a válvula retome seu funcionamento normal.

Figura 13 - comparação de curvas dinâmicas obtidas pelo sistema supervisório



fonte: elaborado pelo autor

A obtenção da curva de resposta da válvula antes da manutenção gera um diagnóstico detalhado do estado da válvula no momento do recebimento, destacando problemas e pontos críticos que direcionam as ações de manutenção. Após a intervenção, uma nova curva é gerada, e a comparação com a curva anterior, agora apresentando linearidade, atesta a efetividade das ações realizadas. Ao apresentar essas duas curvas em um relatório final, evidencia-se os erros corrigidos e os benefícios alcançados com a manutenção, fornecendo um resultado objetivo para o cliente e comprovando que a válvula está ajustada corretamente, apresentando curso total de trabalho e sinais de posição coerentes. Um exemplo seria considerar as curvas da figura 13(b) como sendo as curvas obtidas antes de se realizar ações de manutenção e as curvas da figura 13(a) como sendo as curvas obtidas após as ações de manutenção.

A apresentação das curvas de resposta da válvula antes e depois da manutenção torna o processo mais transparente e mensurável, facilitando a justificativa técnica para o cliente quanto à necessidade dos serviços. Isso também favorece a negociação de valores e o planejamento de futuras manutenções em outras válvulas, promovendo a fidelização do cliente.

Assim, é possível enumerar os seguintes benefícios proporcionados pelo sistema proposto:

- Diagnóstico preciso: Identificação de falhas ou pontos de travamento no mecanismo da válvula.
- Monitoramento contínuo: Geração de dados contínuos para análise detalhada, em vez de medições pontuais.
- Eficiência na manutenção: Direcionamento claro das ações corretivas a partir de dados técnicos.
- Validação dos resultados: Comprovação objetiva da eficiência da manutenção por meio da comparação de curvas.
- Fidelização do cliente: Transparência e objetividade que facilitam a negociação e aumentam a confiança do cliente.

5. CONCLUSÃO

O sistema proposto apresentou resultados satisfatórios ao utilizar softwares de código aberto gratuitos e componentes eletrônicos convencionais, de fácil acesso no mercado nacional, resultando em um protótipo de baixo custo. Para transformar o circuito em um produto final, é necessário o desenvolvimento de uma placa de circuito impresso (PCI) e a substituição dos componentes eletrônicos do tipo PTH (*Pin Through Hole* – montagem com terminais passantes) por componentes SMD (*Surface Mounted Device* – dispositivos de montagem em superfície). Além disso, para o aprimoramento do projeto, deve-se implementar um sistema mais eficiente de filtragem de ruídos EMI (*Electromagnetic Interference* – Interferência Eletromagnética) para garantir maior estabilidade e precisão nos sinais adquiridos diminuindo a quantidade de amostras para o filtro digital, o que possibilitaria um maior número de leituras por segundo.

No mercado de equipamentos industriais, é comum encontrar válvulas de controle com diferentes tipos de transdutores de posição, como os resistivos (potenciômetros lineares ou rotativos), magnéticos (sensores de efeito Hall), e sistemas que já fornecem saídas padronizadas em corrente ou tensão. A metodologia descrita pode ser expandida para esses diferentes tipos de sinais com a adição de hardware e software específicos, permitindo a adaptação para uma variedade maior de equipamentos oferecendo a mesma qualidade e confiabilidade alcançadas pelo sistema apresentado.

Esse sistema e suas possíveis adaptações para diferentes sensores, pode se tornar uma ferramenta para otimizar a manutenção de válvulas industriais, reduzindo o tempo de inatividade e garantindo um desempenho confiável após as intervenções de manutenção.

6. REFERÊNCIAS

AGUIRE, LUIS A. **Fundamentos de instrumentação**. São Paulo: Pearson, 2013.

ARDUINO® - **Arduino Nano - Product Reference Manual - SKU: A000005**. 2023. Italy. Disponível em <<https://docs.arduino.cc/hardware/nano/>> Acesso em: 21 junho de 2024

BEGA, EGIDIO A. [et al]. **Instrumentação industrial**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência: IBP, 2011.

BERLIN, HOWARD M. **Projetos com amplificadores operacionais com experiências**. São Paulo: Editele, 1983.

BRANQUINHO, MARCELO A. [et al] **Segurança da automação e SCADA**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

FISHER CONTROLS INTERNATIONAL LLC. **Control valve source book – oil & gás**. United States of America: Fisher Controls International LLC., 2013

FLOGIATTO, FLÁVIO S.; DUARTE, JOSÉ L. R. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011.

FONSECA, FABRÍCIO R. DA; SANTOS, FÁBIO L. DOS; COELHO, MARCELO S. **Sistemas digitais de controle industrial**. São Paulo: SENAI-SP Editora, 2016.

GOETTSCHE, LAWRENCE D. **Maintenance of instruments and systems**. United States of America: ISA – The Instrumentation, Systems and Automation

Society, 2005.

HOROWITZ, PAUL E HILL, WINFIELD. **A arte da eletrônica**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2017

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos fundamentais e gerais e termos Associados (VIM 2012)**. Duque de Caxias - RJ: INMETRO, 2012.

MALVINO, ALBERT. **Eletrônica vol 2**. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

STEVAN, S. L.; SILVA, R. A. **Automação e instrumentação industrial com arduino**. São Paulo: Érica, 2015.

WEG. **Guia de aplicação de servo acionamentos**. Jaraguá do Sul – SC: WEG, [s.d.]

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Michel de Moura Chaparro pelas valiosas orientações e pelos conhecimentos compartilhados ao longo desta jornada. Sua dedicação e disponibilidade foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho e para meu crescimento acadêmico e profissional.

Expresso também minha gratidão à minha esposa, Marília, pelo apoio constante e pelo incentivo diário que me motivaram a seguir em frente, mesmo diante dos desafios. Sua presença foi essencial para a realização deste curso.

SOBRE O AUTOR

Anderson Manzini



Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Faculdade Unip (2013) e Pós-Graduação em Automação e Controle pela Faculdade SENAI de Tecnologia Roberto Mange (2025). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, Eletrônica e Automação. Atualmente é professor do curso Técnico de Instrumentação, nas disciplinas Fundamentos de Instrumentação, Fundamentos de Eletroeletrônica e Arquitetura de Sistemas de Instrumentação.



2. Michel de Moura Chaparro

Possui graduação em Instrumentação e Controle de Processos pelo Centro Universitário Salesiano São Paulo (1992). Eng. de Computação (Cursando). Especialização em Engenharia de Automação e Controle e Especialização em Mecatrônica. Mestrando em Engenharia Mecânica. Atualmente é professor - SENAI - Departamento Regional de São Paulo. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Controle de Processos Eletrônicos, Eletrônica Embarcada e Programação.



3. Tatiana Aparecida de Almeida

Doutoranda em Tecnologia pela Faculdade de Tecnologia Unicamp na área e linha de pesquisa em Sistema de Informação e Comunicação, com foco no desenvolvimento de modelos para segmentação de imagens médicas. Mestra em Ciência da Computação e Graduada em Bacharel em Sistemas de Informação.



4. José Neves Bezerra Junior

Mestrando em Engenharia Mecânica pela Universidade de Taubaté (UNITAU), com ênfase em Automação e Controle (previsão de conclusão em 2025). Possui especialização em Automação Industrial e Controle de Processos Industriais pelo SENAI-SP (2019) e graduação em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Salesiano de São Paulo (2006). Atualmente, atua como Professor de Educação Superior na Faculdade de Tecnologia SENAI "Roberto Mange", lecionando nos cursos de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, Fabricação Mecânica e Análise e Desenvolvimento de Sistemas. Ministra disciplinas nas áreas de Máquinas Elétricas, Acionamentos Eletroeletrônicos para Máquinas Elétricas, Física Aplicada e Automação Industrial. Além da atividade docente, colabora como avaliador na Banca de Mecatrônica da Câmara de Comércio e Indústria Brasil-Alemanha (AHK São Paulo), contribuindo

para a qualificação e certificação de profissionais do setor industrial.



5. Hugo Sakai Idagawa

Possui graduação em Engenharia de Controle e Automação pela Universidade Estadual de Campinas (2009) e mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (2017).