

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO BERNARDO DO CAMPO
“ADIB MOISÉS DIB”**

**BRUNA TALISE DE OLIVEIRA
ESDRAS MIGUEL LIMA LOURA
JOSÉ VITOR BATISTA DE SOUZA
MARCUS VINICIUS CHRISTO**

**BANCADA DE TESTES PARA VÁLVULA PROPORCIONAL DIRECIONAL
HIDRÁULICA**

**São Bernardo do Campo - SP
Junho/2024**

**BRUNA TALISE DE OLIVEIRA
ESDRA MIGUEL LIMA LOURA
JOSÉ VITOR BATISTA DE SOUZA
MARCUS VINICIUS CHRISTO**

**BANCADA DE TESTES PARA VÁLVULA PROPORCIONAL DIRECIONAL
HIDRÁULICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Tecnologia de São Bernardo do Campo “Adib Moises Dib” como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo (a) em Automação Industrial.

Orientador: Prof^a.Me. Gedeane Gomes da Silva Kenshima

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em: ___/___/ 2024

Banca Examinadora:

Prof. Me. Gedeane Gomes da Silva Kenshima, FATEC SBC – Orientador

Prof. Esp. Gervasio das Neves Salvador, FATEC SBC – Avaliador

Prof. Dr. Vinicius Vono Peruzzi, FATEC SBC – Avaliador

São Bernardo do Campo - SP
Junho/2024

Dedico esse trabalho a minha mãe Maria Ivete, mulher batalhadora, guerreira e o meu maior símbolo de força feminina, a que nunca poupou esforços para que eu pudesse chegar aonde estou através dos estudos, aquela que sei que até o seu último suspiro irá vibrar e torcer por mim.

BRUNA TALISE

Dedico esse trabalho à minha família, especialmente minha mãe Juliana e minha noiva Karol, que me ajudam e me encorajaram. O apoio delas foi essencial na minha jornada até aqui.

ESDRAS MIGUEL

Dedico esse trabalho à minha família que me encorajou nesta jornada e incentivou-me a progredir, não medindo esforços para que chegasse até aqui.

JOSÉ VITOR

Dedico esse trabalho ao Prof. Ivan Christo (*in memoriam*), da Fatec de Cotia e Osasco, que transitou entre o direito e a hidráulica, inspirando 4 filhos, que herdaram suas paixões e deixa saudades.

MARCUS VINICIUS

Agradecemos a Professora Gedeane pela orientação e condução do nosso trabalho. Sua dedicação ao ensino fez a diferença e inspirou aspirantes a tecnólogos.

“Você nunca sabe que resultados virão da sua ação. Mas se você não fizer nada, não existirão resultados.

MAHATMA GANDHI

RESUMO

Este projeto propõe a qualidade e a eficiência da manutenção de válvulas hidráulicas, fornecidas diretamente por meio da criação de uma bancada de testes automatizada. A bancada permite a verificação precisa e confiável das configurações operacionais, conforme especificado pelo fabricante. O sistema afere valores de entrada como pressão, tensão e temperatura das válvulas. Após a coleta, os valores são comparados com os padrões definidos pelo fabricante. O dispositivo comunica todas as informações coletadas a um sistema supervisorio, possibilitando a geração de relatórios detalhados após a verificação. O projeto também inclui um banco de dados. A implementação desta bancada de testes permite uma avaliação precisa das válvulas, garantindo sua conformidade com as especificações do fabricante e resultando em uma manutenção mais confiável. O equipamento verifica rigorosamente os parâmetros, identificando e corrigindo erros antes da reinstalação, reduzindo desperdícios. A bancada também agiliza a manutenção com diagnósticos rápidos, reduzindo paradas de máquinas e aumentando a eficiência operacional.

Palavras-chave: Bancada, Parâmetros, Supervisorio, Válvula.

ABSTRACT

This project ensures the quality and efficiency of hydraulic valve maintenance, supplied directly through the creation of an automated test bench. The bench allows for accurate and reliable verification of operating settings as specified by the manufacturer. The system measures input values such as pressure, voltage and temperature of the valves. After collection, the values are compared with the standards set by the manufacturer. The device communicates all the information collected to a supervisory system, making it possible to generate detailed reports after verification. The project also includes a database. The implementation of this test bench allows for an accurate evaluation of the valves, ensuring their compliance with the manufacturer's specifications and resulting in more reliable maintenance. The equipment rigorously checks the parameters, identifying and correcting errors before reinstallation, reducing waste. The bench also streamlines maintenance with quick diagnostics, reducing machine downtime and increasing operational efficiency.

Keywords: Bench, Parameters, Supervisory, Valve.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Representação das grandezas físicas aplicadas	19
Figura 1.2 - Circuito hidráulico.....	20
Figura 1.3 - Aplicação do princípio de Pascal	21
Figura 1.4 - Representação esquemática de um carretel.....	23
Figura 1.5 - Representação esquemática de uma válvula	24
Figura 1.6 - Sistema eletro-hidráulico de controle de posição.....	25
Figura 1.7 - Estrutura básica de um circuito hidráulico.....	26
Figura 1.8 - Válvula proporcional direcional G761-3001B	28
Figura 1.9 - Placa Arduino UNO R3	32
Figura 1.10 - Placa Arduino UNO R4 WiFi	33
Figura 1.11 - Sensor de Tensão.....	36
Figura 1.12 - Sensor de temperatura DS18B20 a prova d'água.	38
Figura 1.13 - Pinagem do Sensor de temperatura DS18B20.	39
Figura 1.14 - Sensor de Corrente XY10.	40
Figura 1.15 - Ligação entre os Jumpers.....	41
Figura 1.16 - <i>Trimpots</i> para regulagem.....	42
Figura 1.17 - Visão Geral do sensor de corrente.....	43
Figura 1.18 - Exemplo de Bancada de Trabalho	44
Figura 1.19 - Diagrama esquemático (A) e funcional (B) do circuito hidráulico	45
Figura 2.1 - Válvula Proporcional Direcional Hidráulica	47
Figura 3.1 - Válvula Proporcional Direcional Hidráulica	48
Figura 3.2 - Válvula Proporcional Direcional Hidráulica	49
Figura 3.3 – Cartela conversora de tensão em corrente	50
Figura 3.4 - Montagem da válvula ligada no motor	51
Figura 3.5 - Ligação transdutor de pressão.....	52
Figura 3.6 - Transdutor de Pressão.....	53
Figura 3.7 - Sensor de Corrente XY10.	53
Figura 3.8 - Sensor de temperatura	54
Figura 3.9 - Montagem da Sub Placa na Válvula	55
Figura 3.10 - Montagem da Sub Placa na Válvula	56

Figura 3.11 - Tela de abertura do sistema supervisorio	57
Figura 3.12 - Válvulas cadastradas no supervisorio	58
Figura 3.13 - Escolha da válvula	59
Figura 3.14 - Tela de teste de bancada.....	60
Figura 3.15 - Conexões entre elementos	61

LISTA DE SIGLAS

DAC	Digital to Analog Converter
DC	Direct Current
ICSP	In-Circuit Serial Programmer
IDII	Interaction Design Institute Ivrea
LED	Light Emitting Diode
PC	Personal Computer
PTH	Pin Through Hole
PWM	Pulse Width Modulation
USB	Universal Serial Bus
UART	Universal Asynchronous Receiver /Transmitter

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Especificações da Válvula.....	30
Tabela 1.2 - Especificações técnicas do sensor de temperatura DS18B20	39

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
1.1 Hidráulica	16
1.2 História da hidráulica	16
1.3 Conceitos fundamentais de hidráulica	18
1.3.1 Medidas de pressão	18
1.3.2 Bombas hidráulicas	19
1.4 Válvulas.....	22
1.4.1 Válvula direcional hidráulica	22
1.4.2 Válvulas direcionais do tipo pistão ou esfera.....	23
1.4.3 Válvulas direcionais do tipo carretel deslizante	23
1.4.4 Válvulas direcionais do tipo carretel rotativo	23
1.4.5 Válvulas direcionais do tipo proporcional	24
1.4.6 Válvulas MOOG G761-3001B.....	27
1.5 Arduino.....	31
1.5.1 Arduino Uno R3.....	32
1.5.2 Arduino UNO R4 WiFi	33
1.5.3 Protocolo de comunicação	34
1.6 Sensores	35
1.6.1 Sensor para medição de tensão.....	36
1.6.2 Sensor para medição de temperatura	37
1.6.3 Sensor para medição de corrente	40
1.7 Bancada	44
2. METODOLOGIA	46
2.1 Justificativa e descrição	46
3. DESENVOLVIMENTO	48
3.1 Montagem Mecânica	48
3.2 Montagem da parte eletrônica.....	55
3.3 Sistema Supervisório.....	56
3.4 Programação.....	60
3.5 Obstáculos e Soluções	63

CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
REFERÊNCIAS.....	65
APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO ARDUINO	68
APÊNDICE B – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DAS PLACAS	70

INTRODUÇÃO

A hidráulica apresenta-se em várias aplicações comuns no dia a dia, de modo que, sua função é coordenar o fluxo de fluido, transformando energia hidráulica em energia mecânica. nesse contexto se faz necessário o uso de válvulas hidráulicas para controlá-las.

A válvula é uma ferramenta utilizada no campo da hidráulica para controlar fluxo, vazão e direcionar fluídos hidráulicos, de acordo com a necessidade do circuito hidráulico. Sua estabilidade e precisão são importantes, dependendo da aplicação. Para isso, fazer manutenções e calibrações, torna-se indispensável com o avanço tecnológico. Essas válvulas evoluíram e junto com elas, seu valor também se elevou assim como sua manutenção encareceu. Em uma determinada indústria, por exemplo, pode-se ter vários sistemas hidráulicos, principalmente em indústrias automotivas que possuem peças pesadas passando por esteiras. Nesses sistemas pode-se ter várias válvulas. Desse modo é de extrema necessidade fazer manutenção preventiva nesses componentes e executar a manutenção corretiva quando necessário, já que dependendo da válvula e de sua aplicação, o custo pode ser elevado. No projeto apresentado, a válvula em questão se trata de uma válvula proporcional direcional, uma válvula, não muito comum onde suas aplicações são bastante específicas.

Portanto, o objetivo do projeto é elaborar uma bancada de teste para válvulas proporcionais direcionais hidráulicas e verificar possíveis necessidades de manutenção nestas. Para isso a bancada precisará aferir valores de entrada e saída de uma válvula e comparar com os parâmetros de fábrica. Seu intuito é facilitar na manutenção preventiva e corretiva, existindo a possibilidade de fazer o controle de qualidade em uma indústria que fabrica válvulas. Para confecção da bancada, serão utilizados sensores de pressão e vazão, controlados por uma plataforma microprocessada.

O projeto tem a seguinte estrutura:

Capítulo 1 – Fundamentação teórica: onde se encontram as teorias que levam à sustentação do desenvolvimento do projeto.

Capítulo 2 – Metodologia: é o caminho necessário a ser percorrido para o desenvolvimento de uma pesquisa. Fornecendo técnica e métodos mediante o emprego de instrumentos e ferramentas utilizados.

Capítulo 3 – Desenvolvimento: Neste capítulo, será abordado o desenvolvimento da bancada de testes de forma prática. Ações realizadas para a concretizar o protótipo.

Considerações Finais: É a explanação dos resultados obtidos em relação as ideias iniciais. Destaca-se neste tópico, as relações dos testes e das teorias mostradas nos capítulos anteriores. Também são descritas possíveis melhorias futuras para continuação deste projeto.

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são abordados tópicos sobre hidráulica, plataforma Arduino e bancada de testes, a fim de embasar os conhecimentos para compreensão deste projeto.

1.1 Hidráulica

Hidráulica é uma palavra que vem do grego, sendo derivada da união de *hydra* (água) + *aulos* (condução/ aula/ tubo), (Fialho, 2019).

O conceito da hidráulica é o uso de um líquido em benefício humano e, para assim ser feito, foram necessários estudos da Física desses fluidos. Nesses constam muitos nomes conhecidos que serão citados nesse texto. A hidráulica é uma parte de estudo da física mecânica e é dividida em dois tópicos: a hidrostática e a hidrodinâmica, sendo a hidrostática o estudo dos fluidos em repouso e a hidrodinâmica o estudo dos fluidos em movimento (Fialho, 2019).

Os fluidos hidráulicos podem ser divididos em duas categorias: os minerais e os sintéticos. Os fluidos minerais podem ser óleos parafínicos, óleos naftênicos e óleos de base mista (mistura de óleos parafínicos e naftênicos). Os fluidos sintéticos podem ser compostos de hidrocarbonetos clorados, ésteres de fosfato ou uma mistura desses dois com algumas partes de petróleo e é um tipo de fluido hidráulico criado pela razão de os fluídos provenientes do petróleo possuírem características inflamáveis, por conta disso, além do sintético, também foram criados a emulsão de água em óleo (60% óleo), a emulsão de óleo em água (1 a 40% de óleo) e o fluido de água-glicol. Todos esses fluidos são resistentes ao fogo (Simões, p.150, 2016).

1.2 História da hidráulica

A ciência que compõem a hidráulica teve seu início na Grécia onde as primeiras teorias foram formadas por Aristóteles (384-322 a.C.), dando seguimento por

Arquimedes (287-212 a.C.), no qual, elaborou a imersão e flutuação de corpos, sua pesquisa foi extremamente importante para a hidrostática e após isso não houve avanços científicos nessa área de pesquisa durante dezoito séculos seguintes, além da invenção dos aquedutos, moinhos de vento e rodas d'água pelos romanos. O conhecimento até então sobre hidráulica foi adotado pela igreja, na época de São Tomás de Aquino (1225-74), com base nos estudos de Aristóteles e nesse mesmo período, as universidades de Oxford e Cambridge retomaram pesquisas sobre o tema e começaram a relacionar velocidade e aceleração (Cirilo, 2023).

Em 1586, houve nova pesquisa fundamental para a hidráulica, realizada pelo engenheiro Hidráulico Simon Stevin (1548-1620) demonstrando que a força exercida sobre a base de um corpo sobre a água é proporcional ao peso de uma coluna líquida estendida da base à superfície livre e que não depende da forma da superfície sobre a qual a força atua (Cirilo, 2023).

Dando continuidade aos estudos de Leonardo da Vinci, Galileu Galilei (1564-1642) emergiu os princípios da aceleração gravitacional, também criou uma escola, na qual um aluno, subseqüentemente, foi responsável por chegar nas equações da trajetória dos jatos líquidos em queda livre e do emprego dos barômetros líquidos, esse estudante era Evangelista Torricelli (1608- 47). Após Torricelli, Edme Mariotte (1620-84), cientista francês que realizou pesquisas e experiências, como a pressão do vento e da água e a elasticidade do ar (pesquisa na qual quase sempre está atribuída à Robert Boyle) mas as experiências de Mariotte eram em seu laboratório enquanto às do italiano Domenico Guglielmini (1655-1710) eram de campo, ambos contribuíram para a hidrodinâmica. Por volta da mesma época, o francês Blaise Pascal (1623-62) relacionou a transmissão da pressão de um ponto a outro e que a pressão barométrica possui variação em relação à altitude e que deve ter valor nulo no vácuo, isso revolucionou a hidráulica e hoje temos como uma das unidades de medidas de pressão, em sua homenagem, o Pa (Pascal) (Cirilo, 2023).

Na história da hidráulica se tem vários outros pesquisadores, como Isaac Newton (1642-1727) que estudou resistência ao movimento devida à viscosidade do fluido, elasticidade e inércia e juntamente com esses estudos, equacionou a

velocidade do som no ar, a base da tensão viscosa e do arraste. Outro contribuinte foi o alemão Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646- 1716) que concebeu o princípio da conservação da energia, mas de forma diferente do que Newton já que eliminou o coeficiente cinético e se tem na história da hidráulica Daniel Bernoulli (1667-1748) e seu colega Leonhard Euler (1707- 83). Bernoulli publicou em 1738 seu tratado original “*Hydrodynamica*” e seu pai Johann Bernoulli publicou seu livro “*Hydraulica*”. Daniel Bernoulli é conhecido pelo Teorema de Bernoulli, mas seu trabalho também se estende ao uso dos manômetros, a teoria cinética dos gases e a propulsão a jato e seu colega Euler é conhecido por várias equações da hidráulica e por inventar, de forma teórica, uma turbina hidráulica (Cirilo, 2023).

1.3 Conceitos fundamentais de hidráulica

Neste tópico são abordados conceitos básicos sobre unidades de medida e componentes de circuitos hidráulicos básicos, de grande importância para entendimento do trabalho.

1.3.1 Medidas de pressão

Medimos a pressão de um sistema hidráulico através da força exercida pelo fluido por unidade de área do recipiente. A unidade do SI é dada por N/m² ou Pa. Mesmo assim, temos unidades mais comuns utilizadas na indústria, como bar, atm, kgf/cm², lib/in², entre outros.

Segundo De Negri (2001), a pressão é exercida através da equação que relaciona duas grandezas, força e área. Podemos ilustrar essa relação seguindo a equação 1.1:

$$P = F.A$$

[1.1]

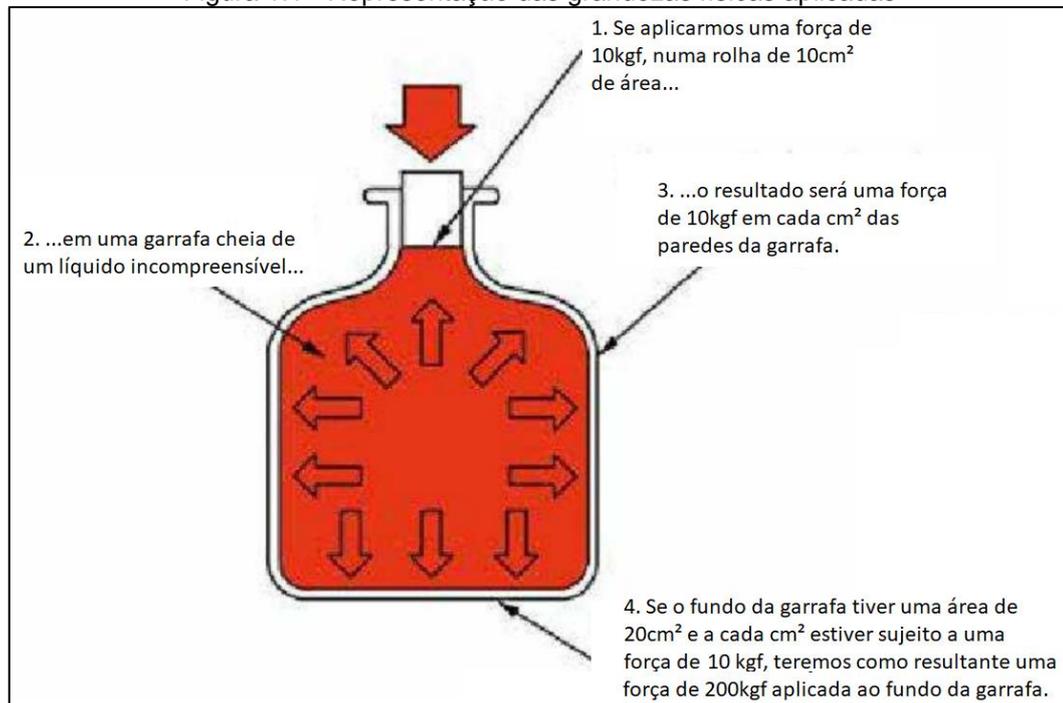
Sendo:

F = Força exercida, medida em N;

P = Pressão, medida em N/m^2 ;

A = Área do pistão, medida em m^2 .

Figura 1.1 - Representação das grandezas físicas aplicadas



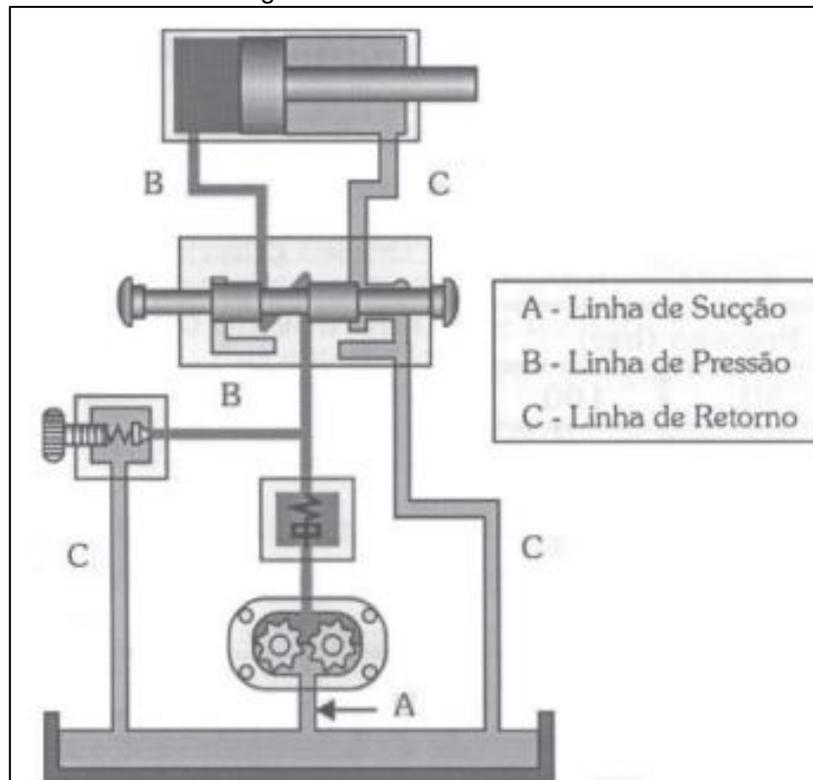
Fonte: adaptado de Moreira (2012, p. 12)

1.3.2 Bombas hidráulicas

Em circuitos hidráulicos é necessário aplicar pressão sobre um fluido para que haja o suprimento desse fluido para todo o sistema e para que assim seja feito, é essencial o uso de bombas, que são responsáveis por converter energia mecânica em hidráulica de pressão. Como observado na Figura 1.2, o fluido hidráulico localizado no reservatório entra no circuito devido a uma linha de sucção, passa pela bomba, a qual lhe fornece pressão, alimentando o circuito hidráulico por uma linha de pressão.

Após atravessar o circuito passando por todos os componentes, esse fluido retorna por uma linha de retorno (Simões, 2016, p.163).

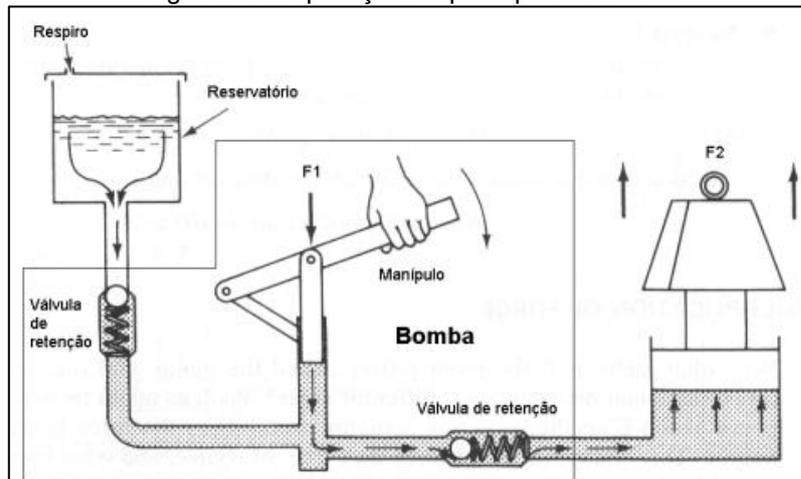
Figura 1.2 - Circuito hidráulico



Fonte: Simões (2016)

A Figura 1.3 ilustra o funcionamento de um sistema hidráulico real, utilizando os princípios de Pascal, ou seja, quando houver uma força F_1 agindo sobre o manípulo, no encanamento criará uma pressão que agirá sobre o fluido e ele irá graças à essa pressão, fazer o acionamento do cilindro empurrando-o. O manípulo pode ser dito que agirá como uma bomba hidráulica, na qual executa a mesma função em diversos circuitos hidráulicos (De Negri, 2001).

Figura 1.3 - Aplicação do princípio de Pascal



Fonte: De Negri (2001)

As bombas possuem sua característica devido ao deslocamento volumétrico, que representa o volume deslocado em uma rotação completa do rotor. As equações para representação do deslocamento volumétrico são dadas por meio das equações 1.2 e 1.3 (De Negri, 2001):

$$D = \frac{A\pi d}{rot} [m^3/rot] \quad [1.2]$$

$$D = \frac{A\pi d}{2\pi} [m^3/rad] \quad [1.3]$$

Sendo:

D = Deslocamento volumétrico;

A = Área;

d = Diâmetro;

rot = Rotações do rotor;

π = Constante equivalente à aproximadamente 3,14.

Segundo De Negri (2001), o volume corresponde à área multiplicada pelo perímetro (πd).

1.4 Válvulas

Em muitos casos na hidráulica, é necessário o uso de válvulas para fazer controle de atuadores, e dependendo do sistema em questão, existe tipos diversificados de válvulas par fazer diferentes tipos de controle desses atuadores. Com as válvulas pode-se controlar a direção dos fluidos, a pressão que esse fluido irá exercer em um atuador e a vazão dele. Para as válvulas, assim como para componentes elétricos, eletrônicos e pneumáticos, possuem simbologia para representações em circuitos desenhados. As válvulas podem ser de controle direcional, reguladoras de vazão e controladoras de pressão (Moreira, 2012).

1.4.1 Válvula direcional hidráulica

Em sistemas hidráulicos encontram-se elementos acionadores, de controle de fluxo, controladores de pressão, atuadores, entre outros. Como um elemento essencial desses sistemas é possível destacar as válvulas de controle, sendo elas de controle direcional, de fluxo, de pressão etc. Dentre esses elementos, o foco desse trabalho está na válvula proporcional direcional (Fialho, 2019).

As válvulas direcionais possuem o objetivo de controlar o percurso do óleo, fazendo com que o fluxo pare, troque de sentido, diminua ou aumente gradativamente (Moreira, 2012).

Essas válvulas podem ser de quatro tipos (Simões, 2016):

- Direcionais do tipo pistão ou esfera;
- Direcionais do tipo carretel deslizante;
- Direcionais do tipo carretel rotativo;
- Direcionais do tipo proporcional.

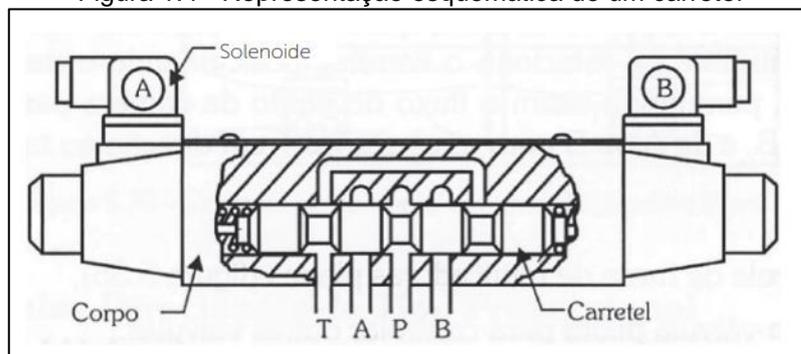
1.4.2 Válvulas direcionais do tipo pistão ou esfera

A válvula direcional do tipo pistão ou esfera possui sua aplicação por uma esfera ou pistão que serve como um bloqueador interno que impede o fluxo do óleo em um sentido liberando-o por outro contrário, sendo assim, a execução é dada devido à ação de uma mola. Para que a segurança do sistema e a para manter a função da válvula, é necessária uma boa vedação do interior dela. Essa válvula é utilizada para bloquear altas pressões, em torno de 700 bar (Simões, 2016).

1.4.3 Válvulas direcionais do tipo carretel deslizante

São válvulas direcionais do tipo carretel deslizante, aquelas que em seu interior possuem um cilindro que desliza sobre o corpo da válvula. Para definir o fluxo esse cilindro possui ranhuras, rebaxos e furos que serão usados como vias por onde o óleo irá entrar e sair. Como mostrado na Figura 1.4, temos o cilindro (carretel) da válvula e suas vias T (tanque), A, P (pressão) e B (Simões, 2016).

Figura 1.4 - Representação esquemática de um carretel

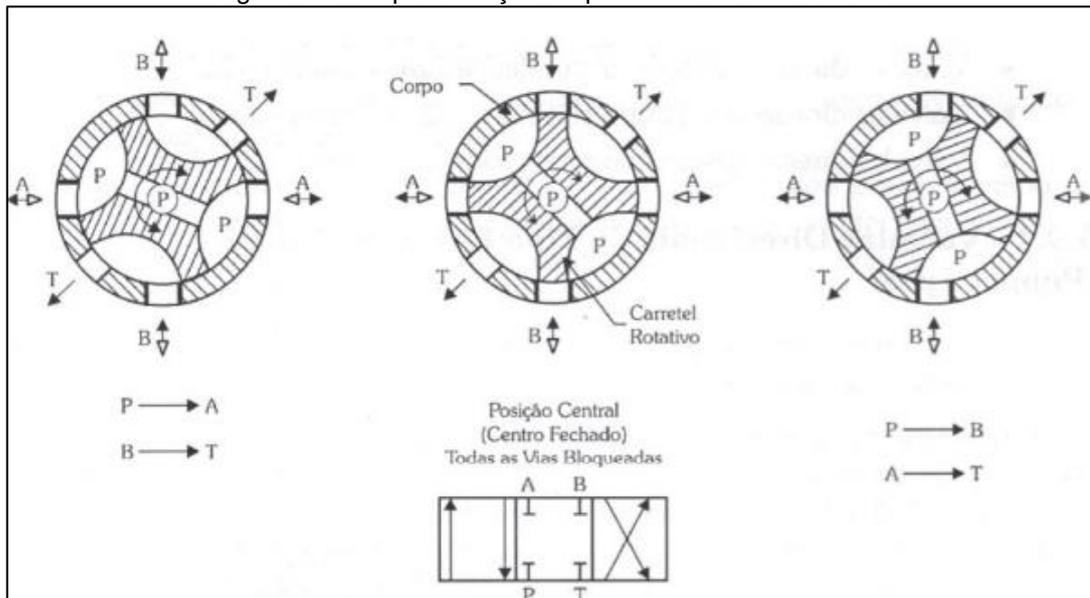


Fonte: Fialho (2014, p.132)

1.4.4 Válvulas direcionais do tipo carretel rotativo

A válvula direcional do tipo carretel rotativo, em oposição ao deslizante, possui um rotor (carretel) que gira no interior do corpo da válvula ao invés de deslizar, como visto na figura 1.5 (Simões, 2016).

Figura 1.5 - Representação esquemática de uma válvula



Fonte: Fialho (2014, p.133)

Segundo Simões (2016, p.211), as três ilustrações de posicionamento do carretel mostram, respectivamente, as três posições da válvula VD 4/3 vias CF. Observando a imagem, o fluido hidráulico é aplicado no carretel via conexão central P e se distribui nas câmaras P, localizadas de forma opostas entre si. Essas válvulas serão acionadas manualmente por uma alavanca ou mecanicamente. O uso das válvulas direcionais do tipo carretel rotativo é geralmente para controlar outras válvulas e para efetuar o controle de mesa de retificadoras planas.

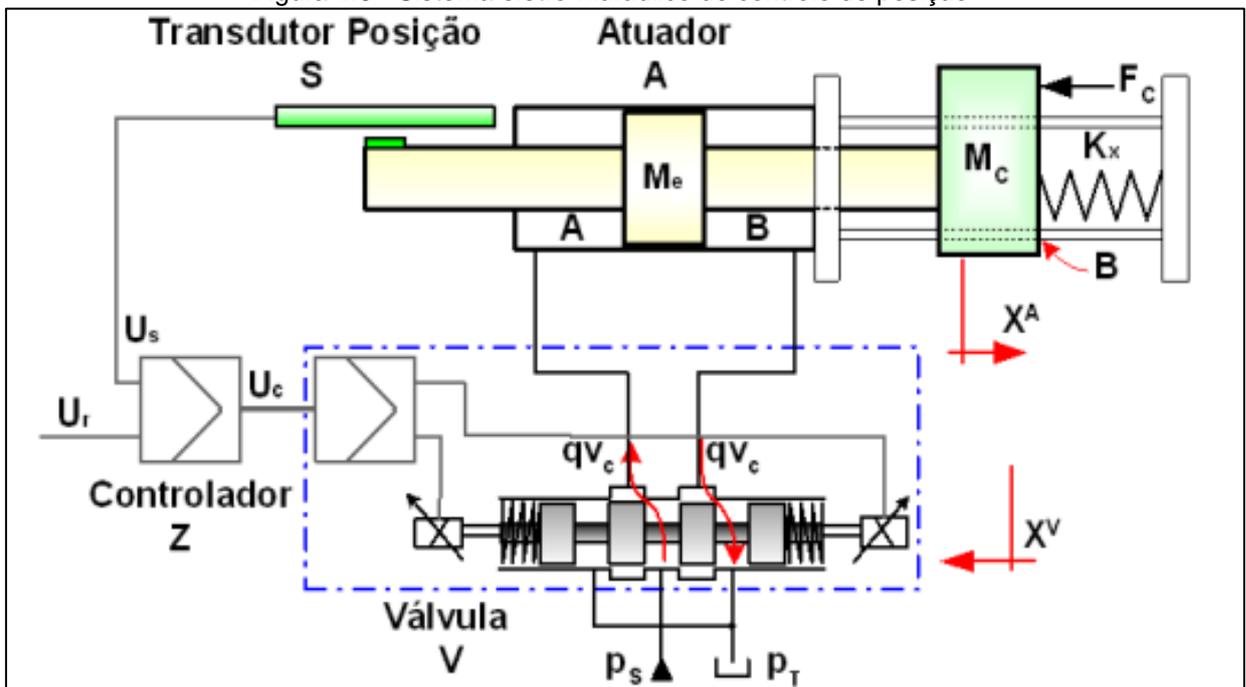
1.4.5 Válvulas direcionais do tipo proporcional

As válvulas direcionais do tipo proporcional são capazes também de controlar pressão e vazão do fluido, contraindo ou expandindo o canal de passagem do mesmo (Simões, 2016).

De acordo com Simões (2016), as válvulas direcionais proporcionais também podem ser controladas eletricamente, pois tem em seu corpo bobinas solenoides ou circuitos para o controle de posição do carretel, como assim já dito fazendo o controle da pressão e vazão.

Para controlar a posição do cilindro (atuador), é aplicada uma tensão de referência (U_r) em um controlador, gerando uma tensão de comando (U_c) na válvula direcional, que por sua vez executa um movimento do seu elemento de controle. Se a pressão que está suprindo a válvula for constante, o deslocamento do carretel da válvula (x^v) provocará uma vazão no sentido da via de suprimento para uma das câmaras do cilindro, enquanto isso na outra câmara da válvula acontecerá uma vazão na linha de retorno. A vazão que ocorre na válvula acarretará a variação da pressão nas câmaras do cilindro, fazendo a movimentação da massa (M_c), que sendo medida pelo sensor (S), produz uma tensão (U_s). A tensão (U_s) subtraída pela tensão de referência (U_r) resultará o valor da realimentação de posição. Quando o cilindro (x^A) estiver na posição desejada, a tensão de referência da válvula ou tensão de comando (U_c) será nula, dessa forma, impedindo o movimento do cilindro como mostra a Figura 1.6 (De Negri, 2001, Muraro, 2010, p.6).

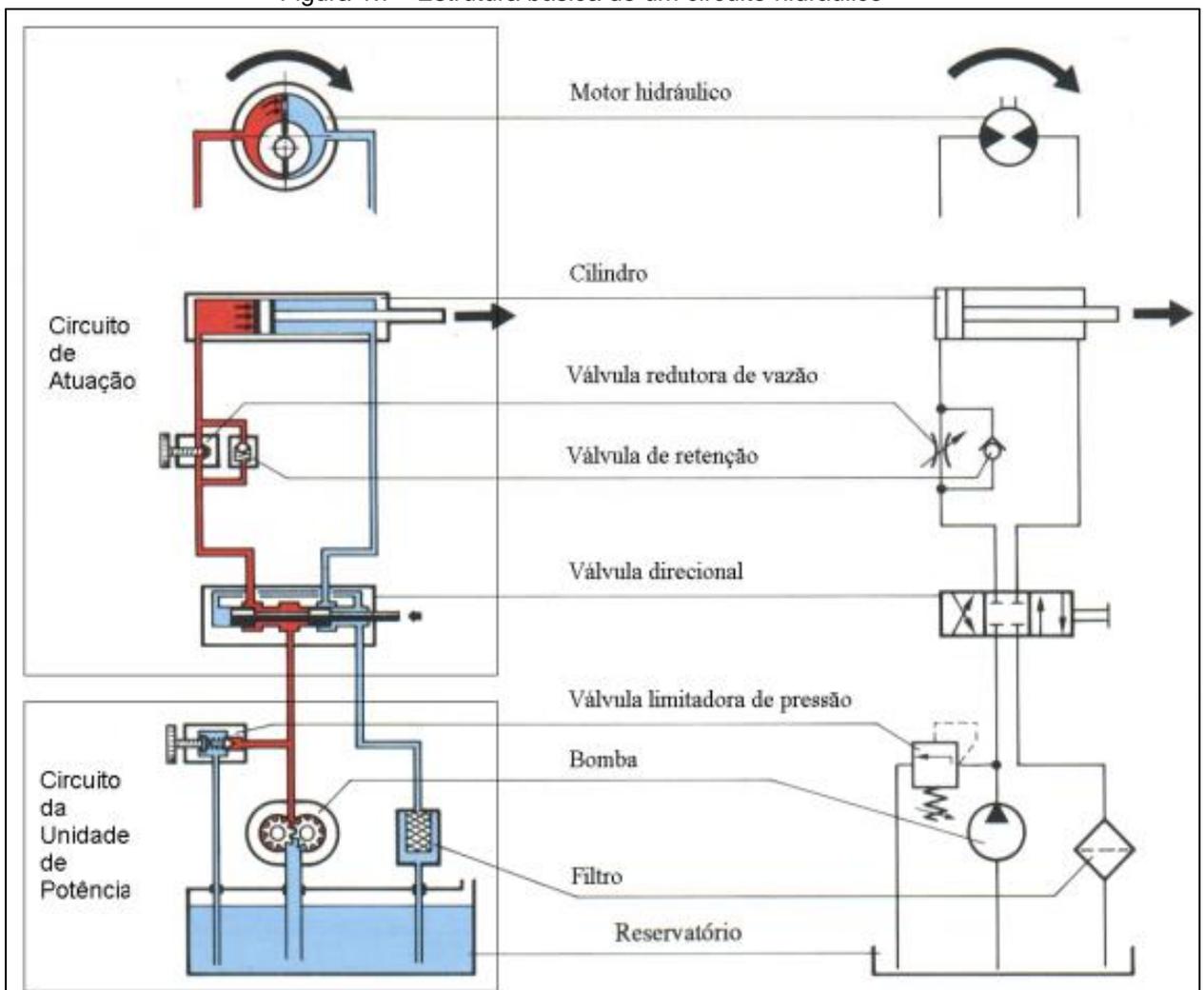
Figura 1.6 - Sistema eletro-hidráulico de controle de posição



Fonte: Muraro (2010, p.6)

É possível observar um circuito hidráulico básico de controle de um atuador, utilizando componentes básicos hidráulicos. A válvula limitadora de pressão irá definir a pressão de trabalho do sistema. A válvula de retenção irá definir o caminho e a vazão do fluido. O reservatório tem como objetivo armazenar o fluido. A bomba possui a função de suprir o circuito com o fluido do reservatório, empurrando-o para o circuito. O circuito também é composto de um filtro para evitar impurezas e assim proteger todas os componentes de se ter danos mecânicos por sujeiras e uma válvula direcional responsável por fazer o controle direcional do fluido, sendo responsável diretamente pelo avanço e recuo do atuador, como mostra a Figura 1.7 (De Negri, 2001).

Figura 1.7 - Estrutura básica de um circuito hidráulico



Fonte: MURARO (2001, p.5)

1.4.6 Válvulas MOOG G761-3001B

As servoválvulas de controle de fluxo da série G761 são dispositivos de estrangulamento projetados para aplicações de 3 vias e, preferencialmente, de 4 vias. Essas válvulas possuem um design de dois estágios de alto desempenho, cobrindo uma faixa de vazões nominais de 0,5 a 75 l/min (0,125 a 19,5 gpm), com uma queda de pressão de 35 bar (500 psi) por carretel. O projeto é simples e robusto, garantindo uma operação confiável e de longa duração (MOOG,2024).

De acordo com a fabricante MOOG, o estágio de saída consiste em um carretel deslizante central fechado de 4 direções, enquanto o estágio piloto é composto por um motor de torque seco de bico duplo simétrico. A posição do carretel do segundo estágio é controlada por um fio de realimentação com ponta de metal duro. A esfera de metal duro na extremidade do fio de realimentação é um componente essencial do projeto, assegurando alta precisão, operação confiável e longa vida útil (MOOG,2024).

As servoválvulas são renomadas pela alta precisão e operação confiável, mesmo nas aplicações industriais mais severas. Essas válvulas são adequadas para sistemas eletro-hidráulicos de controle de posição, velocidade, pressão ou força que exigem alta resposta dinâmica (MOOG,2024).

As válvulas servo e proporcionais fazem parte da categoria das válvulas contínuas. Essas válvulas são caracterizadas pelo fato de que sua variável de saída (posição do carretel, pressão, vazão volumétrica) é proporcional ao sinal de entrada. Essa proporcionalidade é alcançada através do feedback da posição do carretel em um circuito de controle, seja ele mecânico ou elétrico (MOOG,2024).

Na Figura 1.8 é possível observar o modelo utilizado no projeto:

Figura 1.8 - Válvula proporcional direcional G761-3001B



Fonte: <https://www.moog.com/> 2024

As válvulas proporcionais MOOG distinguem-se pelo design onde o carretel da válvula é montado diretamente na carcaça (carretel no corpo). Essa configuração torna as válvulas proporcionais especialmente adequadas para fluxos de volume nominais mais elevados. (MOOG,2024).

A servo válvula de Controle de Fluxo Série G761/761 é composta por um motor de torque elétrico polarizado e dois estágios de amplificação de potência hidráulica. A armadura do motor se estende até os entreferros do circuito de fluxo magnético e é mantida nessa posição por um membro de tubo de flexão. O tubo flexível funciona como uma vedação entre as seções eletromagnética e hidráulica da válvula. As duas bobinas do motor circundam a armadura, uma de cada lado do tubo de flexão (MOOG, 2024).

A aba do amplificador hidráulico do primeiro estágio é rigidamente fixada no ponto médio da armadura. Esta aba se estende através do tubo de flexão e passa entre dois bicos, criando dois orifícios variáveis entre as pontas dos bicos e a aba. A pressão controlada pela aba e pelos orifícios variáveis dos bicos é alimentada nas áreas finais do carretel do segundo estágio (MOOG, 2024).

O segundo estágio é um projeto convencional de carretel de quatro vias, no qual o fluxo de saída da válvula, com uma queda de pressão fixa, é proporcional ao deslocamento do carretel a partir da posição nula. Uma mola de realimentação em formato de *cantilever* é fixada na aba e encaixa em um furo no centro do carretel. O deslocamento do carretel deforma a mola de realimentação, criando uma força no conjunto armadura/aba (MOOG, 2024).

O sinal de entrada induz uma carga magnética na armadura, causando uma deflexão da armadura e da aba. Este conjunto gira em torno do tubo de flexão, aumentando o tamanho de um orifício do bocal e diminuindo o tamanho do outro. A pressão diferencial criada por essa ação provoca o movimento do carretel. O deslocamento resultante do carretel induz uma força linear no fio de realimentação, que se opõe ao torque do sinal de entrada original. O movimento do carretel continua até que a força do fio de realimentação seja igual à força do sinal de entrada (MOOG, 2024).

Tabela 1.1 - Especificações da Válvula

Dados hidráulicos	
Fluxo avaliado*	0,5 a 75 l/min (0,125 a 20 gpm)
Configurações padrão	4, 10, 19, 38, 63 l/min (1,1, 2,5, 5, 10, 16,5 gpm)
Máx. Pressão de operação	Corpo de alumínio: 315 bar (4.500 psi) Corpo de aço: 350 bar (500 psi)
Dados de desempenho	
100% de resposta ao passo**	< 4 a < 16ms
Dados elétricos	
Sinal avaliado***	8 a 200 mA
Dados físicos	
Tamanho (padrão de montagem)	Tamanho 04 (ISO 10372-04-04-0-92)
Peso	1,0 a 1,7 kg (2,2 a 3,8 libras)

Fonte: <https://www.moog.com/> 2024

1.5 Arduino

Neste tópico são abordados conceitos de grande importância para o entendimento da plataforma Arduino. Também são explicados como funcionam *hardware*, *software*, programação utilizada e comunicação com outros dispositivos.

De acordo com Kenshima (2020, p. 29-31), o Arduino representa uma plataforma que integra *hardware* e *software*. O *hardware* é constituído por uma placa de circuito impresso (PCI ou *PCB*, sigla em inglês), que utiliza um microcontrolador e outros componentes integrados. Essa configuração permite a realização da interface entre dispositivos externos de entrada e saída, englobando sensores, motores, LEDs, entre outros. Por outro lado, o *software* é delineado por meio de um ambiente de programação aberto e gratuito, onde códigos são desenvolvidos e gravados no microcontrolador da placa.

O microcontrolador em questão é um pequeno *chip* programável que abriga um microprocessador integrado à memória (volátil e não volátil) para aplicações de natureza simples. Geralmente, as placas Arduino empregam microcontroladores da família Atmel, notadamente o ATmega328P, presente nas versões Uno, Nano, entre outras. A gênese do Arduino remonta à Itália, originando-se a partir de uma tese elaborada por Hernando Barragán no IDII (*Interaction Design Institute Ivrea*), sob a orientação do professor Massimo Banzi. O projeto inicial, denominado Wiring e desenvolvido por Barragán em 2003, serviu como precursor do Arduino. A placa Wiring almejava apresentar programação e eletrônica a um público não especializado na área, abrangendo *designers*, artistas e demais interessados (Kenshima, 2020).

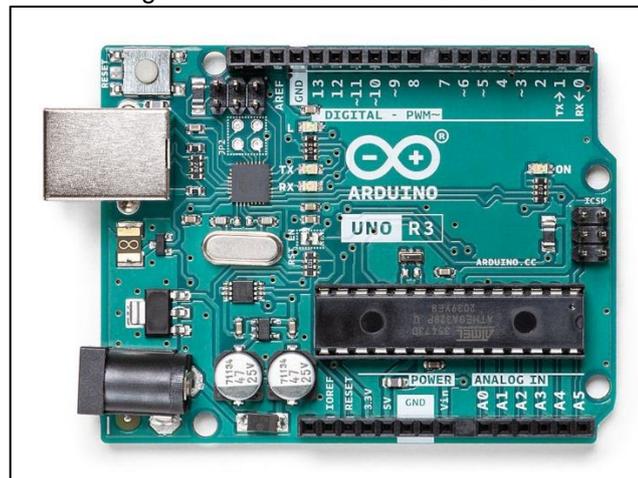
O Arduino, por sua vez, foi concebido com o propósito de instruir sobre computação física em um curso de *Design* de Interação no IDII, a partir do ano de 2005. A rápida popularização do Arduino decorre de sua intuitividade de uso, da variedade de possibilidades para projetos e da presença de uma comunidade global de usuários. Vale ressaltar que o Arduino é um projeto *Open source*, significando que todo o seu projeto é aberto e disponível para aqueles que desejam construir suas próprias versões compatíveis. Esta abordagem possibilitou a criação de diversas

variantes da placa. Importante notar que o Arduino é concebido como uma plataforma de prototipagem rápida, ideal para experimentação em projetos que envolvam eletrônica e programação. Para projetos em estágio final, sugere-se a criação de uma placa personalizada, adaptada às necessidades específicas do usuário.

1.5.1 Arduino Uno R3

De acordo com Arduino.cc (2024), o Arduino Uno R3 é uma placa microcontrolador com base no ATmega328P. Equipado com 14 pinos de entrada/saída digital, sendo 6 deles utilizáveis como saídas PWM, 6 entradas analógicas, um cristal de 16 MHz, conexão USB, conector de alimentação, ICSP e botão de *reset*. É autossuficiente para suportar o microcontrolador, podendo ser conectado a um computador via USB ou alimentado por adaptador CA (Corrente Alternada) para CC (Corrente Contínua) ou bateria. A versão PTH (*Pin Through Hole*) permite a experimentação sem grandes preocupações, sendo fácil de substituir o *chip* em caso de erro, por um custo baixo, reiniciando o processo. Na Figura 1.9 temos um exemplo do modelo.

Figura 1.9 - Placa Arduino UNO R3



Fonte: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>.

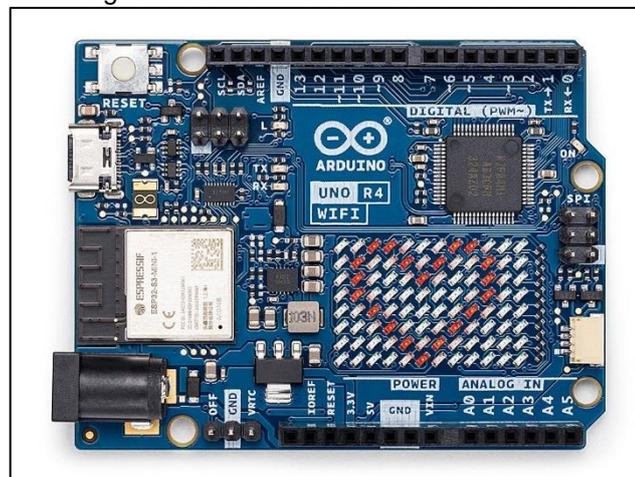
De acordo com Evans, Nobre e Hochenbaum (2013, p. 26), o Arduino é uma plataforma de *hardware* popular com várias versões, todas baseadas em microprocessadores Atmel AVR de 8 bits. Desde sua primeira placa, usando o ATmega8, até as mais recentes como a Duemilanove e Uno, que utilizam o

ATMega328P, houve uma evolução significativa. As capacidades de memória *flash* variam de 8 kB a 32 kB, dependendo da versão. Cada versão do Uno possui 14 pinos digitais, seis entradas analógicas e a capacidade de definir seis pinos para saída de modulação por largura de pulso (PWM). Diversos protocolos de comunicação, como SPI e I2C/TWI, estão disponíveis. Além disso, todas as placas possuem recursos padrão, como um conector ICSP (*In-Circuit Serial Programmer*) para programação serial *in-circuit* e um botão de reset.

1.5.2 Arduino UNO R4 WiFi

De acordo com [Arduino.docs](https://www.arduino.cc/), o Arduino UNO R4 WiFi combina o microcontrolador RA4M1 de 32 bits da Renesas com um módulo ESP32 para Wi-Fi e Bluetooth. Destaca-se pela matriz de LED (*Light Emitting Diode*) 12x8 para prototipagem visual e pelo conector Qwiic, facilitando projetos *plug-and-play*. Na Figura 1.10 temos um exemplar do Arduino UNO R4 WiFi.

Figura 1.10 - Placa Arduino UNO R4 WiFi



Fonte: <https://store.arduino.cc/products/uno-r4-wifi>, 2024

A versão Uno R4 WiFi oferece diversas melhorias e recursos avançados. Tabela comparativa localizada no Apêndice A:

- Compatibilidade com o formato Uno: Mantém o mesmo formato, pinagem e tensão operacional de 5 V do Uno R3, facilitando a transição para projetos existentes.
- Periféricos integrados adicionais: Apresenta DAC (*Digital to Analog Converter*) de 12 bits, CAN BUS e OP AMP para expandir recursos e flexibilidade de *design*.
- Tolerância estendida de 24 V: Suporta uma faixa de tensão de entrada mais ampla para integração com motores e outros dispositivos.
- Wi-Fi e *Bluetooth*: Hospeda um módulo ESP32-S3, permitindo adicionar conectividade sem fio aos projetos e controle remoto com Arduino IoT Cloud.
- Matriz LED: Incorpora uma matriz LED 12x8, ideal para projetos com animações ou plotagem de dados do sensor.

1.5.3 Protocolo de comunicação

Segundo Nicolosi e Bronzeri (2009), em microcontrolador é usada a comunicação serial, que pode ser síncrona ou assíncrona. Usada para comunicação entre uma placa Arduino, computador e outros dispositivos. Todas as placas Arduino possuem pelo menos uma porta serial (também conhecida como UART (*Universal Asynchronous Receiver /Transmitter*)), enquanto alguns possuem várias.

A comunicação serial no Arduino possibilita estabelecer comunicação com o microcontrolador por meio de portas USB (*Universal Serial Bus*), dispositivos *Bluetooth*, entre outros. O Arduino possui em sua IDE (*Integrated Development Environment*) o monitor serial, sendo uma ferramenta útil que exibe os dados seriais enviados e recebidos na comunicação serial.

Todo Arduino possui as portas TX – *Transmitter* e RX – *Receiver*, que são as portas digitais utilizadas para fazer a comunicação serial. Essa comunicação serial no Arduino é uma *Full Duplex*, já que são usados dois fios, um para enviar e outro para receber dados, simultaneamente. Essas portas trabalham com um sinal TTL (*Transistor-Transistor Logic*) de 5v, portanto, para fazer comunicação com um

dispositivo que trabalha com uma tensão diferente, será necessário um conversor de nível.

Junto com a IDE do Arduino, está o Terminal Serial ou Monitor Serial. Ele servirá para enviar e receber dados do Arduino, sem precisar de um outro aplicativo. Dentre as principais aplicações do serial, estão:

- Comunicar dois Arduino entre si – quando você quer, por exemplo, um Arduino desempenhando uma função, e assim ligar ele em outro Arduino desempenhando outra função ao mesmo tempo.
- Comunicar Arduino com PC, e além do Terminal Serial ter acesso a aplicações rodando no PC – limitado a um processo por vez.
- Conectar módulos, como por exemplo um módulo *Bluetooth*, e assim podemos fazer comunicação serial por meio de dois dispositivos ligados via *Bluetooth*.

1.6 Sensores

Segundo Thomazini e Albuquerque (2009, p17,18), sensores são dispositivos que detectam e respondem a diferentes formas de energia do ambiente, como luz, calor, movimento, medindo grandezas como temperatura, pressão, velocidade e posição.

Os sensores são classificados por dois tipos de sinais: Analógicos e Digitais. Os analógicos produzem sinais de saída que podem variar continuamente ao longo do tempo dentro da sua faixa de operação. Eles medem grandezas físicas como pressão, temperatura, velocidade, umidade, vazão, força, ângulo, distância, torque e luminosidade.

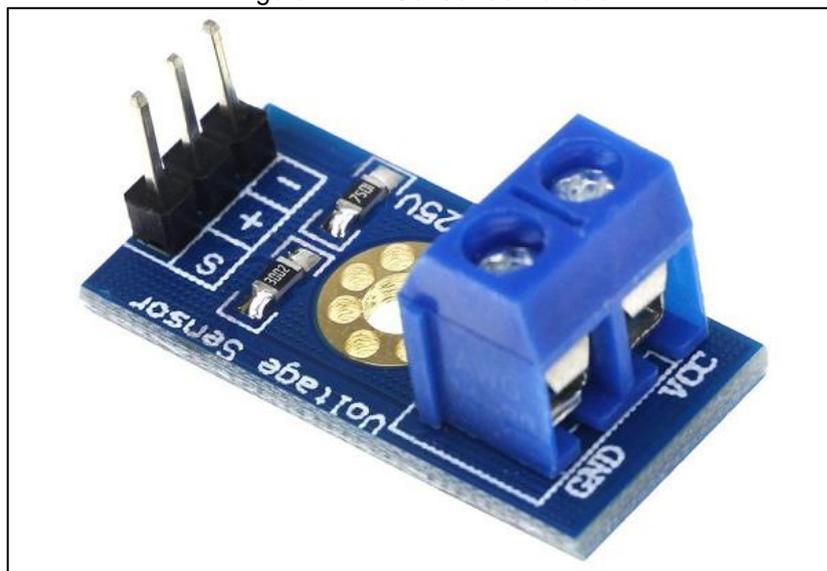
Já os sensores digitais geram sinais de saída que assumem apenas dois valores distintos ao longo do tempo, interpretados como zero ou um. Embora não

existam grandezas físicas que naturalmente adotem esses valores, o circuito eletrônico do transdutor converte as medições para um formato digital. São utilizados, por exemplo, na detecção de passagem de objetos e em *encoders* para determinação de distância ou velocidade.

1.6.1 Sensor para medição de tensão

Para efetuar as medições de tensão, será utilizado um sensor de tensão para Arduino. Esse sensor possui entrada de tensão entre 0 à 25 V em corrente contínua, saída de tensão de 0 à 5 V e alimentação de 5 V, de acordo com a Figura 1.11.

Figura 1.11 - Sensor de Tensão



Fonte: <https://blogmasterwalkershop.com.br>

O sensor em questão foi escolhido devido à utilização do Arduino que possui sua entrada de tensão máxima de 5 V por terminal. Suas características de construção são:

- Tensão de entrada: 0 a 25V
- Faixa de detecção: 0,02445 – 25VDC

- Resolução analógica: 0,00489VDC
- Valor dos resistores: R1 30K Ω e R2 7,5K Ω
- Proporção de divisão: 5:1
- Tolerância do resistor: 1%

A variação entre entrada e saída desse sensor são proporcionais de 0 à 25 V na entrada e 0 à 5 V na saída, ou seja, quando a tensão na entrada for 0 V a tensão na saída será 0 V e quando a tensão na entrada for 25 V, a tensão na saída será 5 V.

Quando o sinal de tensão de 0 a 5 V fornecido pela saída de sinal (S) do sensor de tensão chega na placa Arduino é lido pelo *software* Arduino como um sinal de 0 à 1023 *bits* que será usado na programação para fazer a leitura e escrita do sinal.

Para conseguir fazer a conversão da leitura do sinal em bits para um resultado em tensão, no programa é necessário fazer uma equação de conversão.

1.6.2 Sensor para medição de temperatura

Os sensores de temperatura são dispositivos que medem a temperatura utilizando características físicas como resistência elétrica, campo eletromagnético ou radiação térmica. Seu funcionamento depende da propriedade física do material do sensor. Na Figura 1.12 observamos o sensor de temperatura utilizado no projeto.

Figura 1.12 - Sensor de temperatura DS18B20 a prova d'água.



Fonte: <https://www.makehero.com/2024>

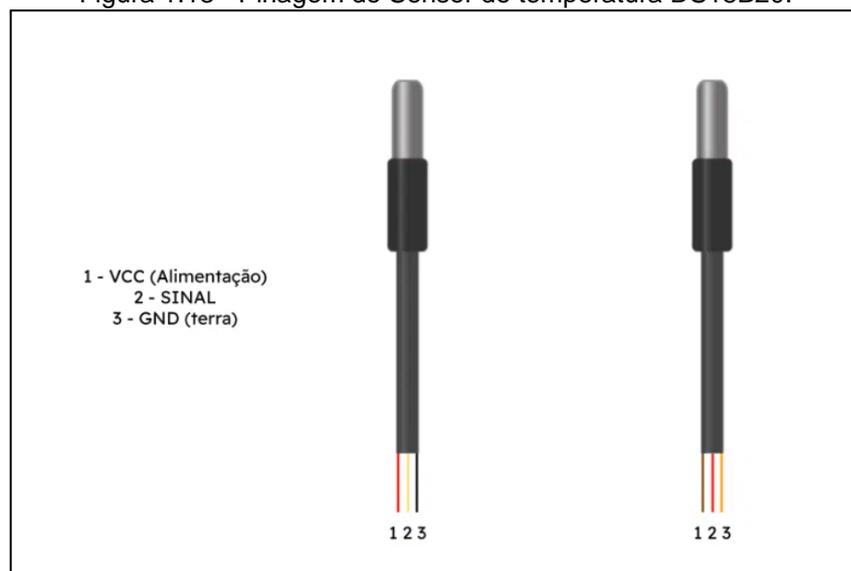
O Sensor de Temperatura DS18B20 é amplamente escolhido devido à sua excepcional precisão e versatilidade em diversas aplicações. Com uma precisão de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, pode operar em uma ampla faixa de temperatura de -55°C a $+125^{\circ}\text{C}$. Sua resistência à água o torna ideal para ambientes úmidos ou submersos, facilitando seu uso em sistemas de irrigação, aquários e outras aplicações similares. Com apenas três pinos para conexão, sua integração com microcontroladores é simplificada. Utilizando uma *interface* de comunicação digital de 1-Wire, proporciona leituras precisas mesmo em ambientes adversos. Essas características fazem do DS18B20 uma escolha confiável para uma variedade de projetos, desde controle de temperatura em ambientes industriais até monitoramento em projetos residenciais e externos, como mostrado na Tabela 1.2.

Tabela 1.2 - Especificações técnicas do sensor de temperatura DS18B20

Faixa de medição:	-55°C a +125°C
Precisão:	±0.5°C entre -10°C e +85°C
Resolução de temperatura:	9 a 12 bits
Tensão de operação:	3-5,5V
Consumo de corrente:	1 mA (máximo)
Interface:	1-Wire
Dimensão ponta de aço:	6 mm x 50 mm
Dimensão do cabo:	100 cm
<p>±0,5°C - 9 bits - tempo de leitura 93,75ms; ±0,25°C - 10bits - tempo de leitura 187ms; ±0,125°C - 11 bits - tempo de leitura 375ms; ±0,0625°C - 12 bits (Padrão) - tempo de leitura 750ms.</p>	

Na Figura 1.13 podemos verificar a pinagem padrão para o Sensor de Temperatura DS18B20 à Prova D'água.

Figura 1.13 - Pinagem do Sensor de temperatura DS18B20.



Fonte: <https://www.makehero.com/2024>

Como principal características, pode-se citar:

- VCC (Alimentação): Marrom
- GND (Terra): Vermelho
- SINAL (Saída de Dados): Laranja

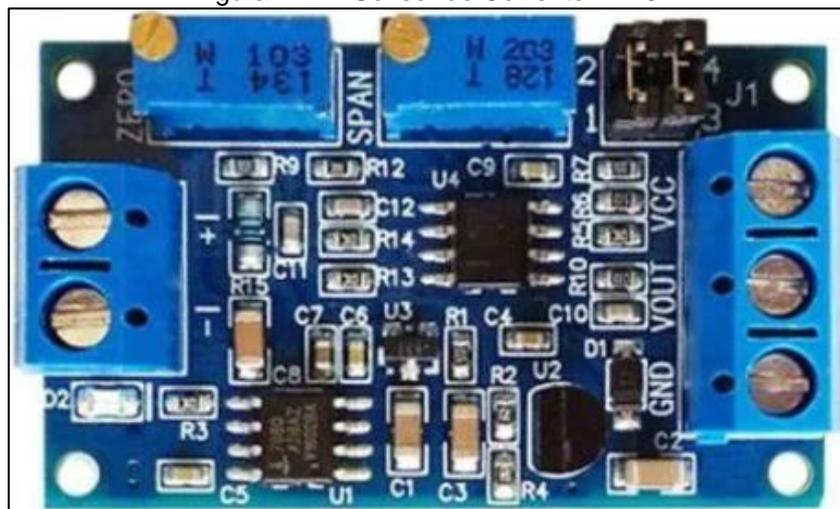
Para sensores com fios vermelho, preto e amarelo, a correspondência é:

- VCC: Vermelho
- GND: Preto
- SINAL: Amarelo

1.6.3 Sensor para medição de corrente

O módulo conversor de corrente XY10 é uma placa eletrônica capaz de converter a corrente de entrada de 4 a 20mA em sinal de tensão, podendo ser feito então uma comparação linear entre entrada de corrente e saída de tensão, por exemplo, de 4 a 20mA irá variar proporcionalmente entre 0 a 5V, isso é muito útil para conferir a corrente de saída de dispositivos ou se em caso de conectado em um circuito fechado pode até fazer uma aferição de corrente no circuito, possibilitando então a conferência de dispositivos que demandem um range de corrente de 4 a 20mA para seu pleno funcionamento, como mostra a Figura 1.14.

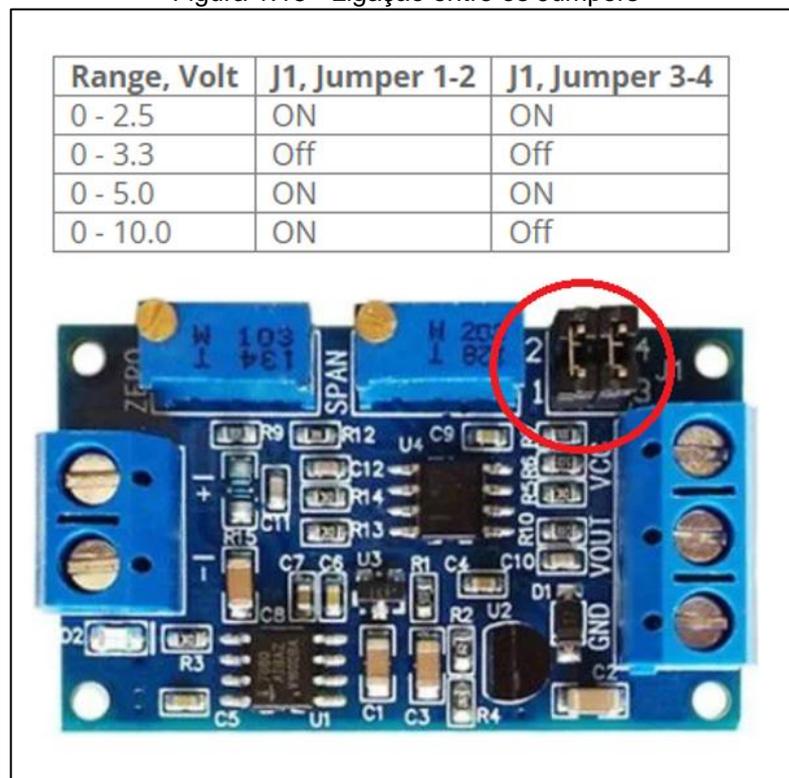
Figura 1.14 - Sensor de Corrente XY10.



Fonte: <https://www.eletrogate.com>

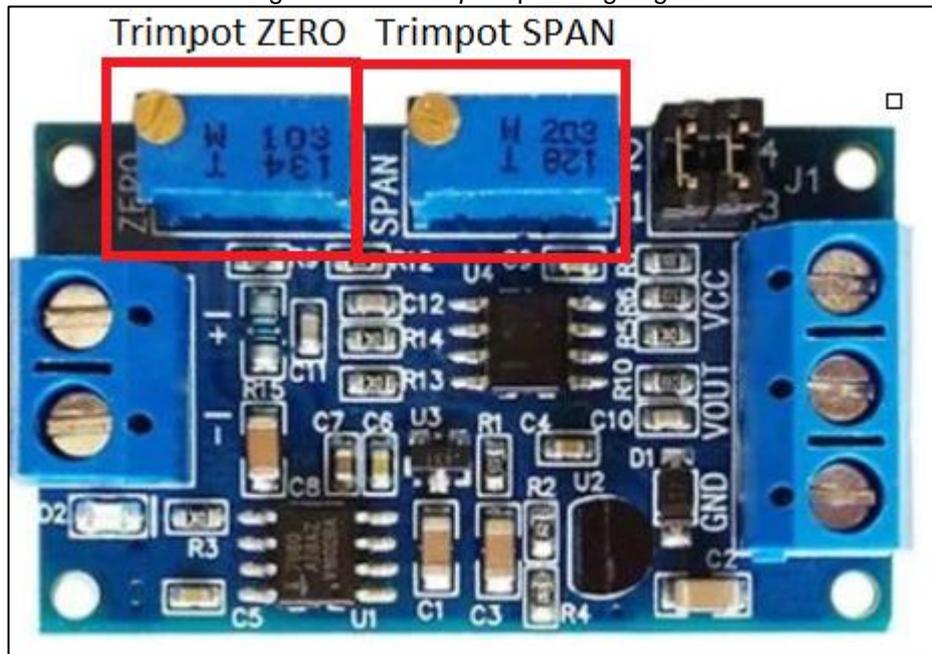
A placa do conversor possui quatro pontos de conexão para dois *jumpers*, pontos 1-2 e 3-4, viabilizando a mudança da escala do sinal tensão de saída, ou seja, para uma tensão de 2.5V, os pinos 1 e 2 devem estar abertos enquanto os pinos 3 e 4 devem estar conectados. Para uma tensão de 3.3V, todos os pinos devem estar abertos. Para 5V, os pinos 1-2 e 3-4 devem estar conectados. Para uma tensão de 10V, os pinos 1 e 2 devem estar conectados e os pinos 3 e 4 devem estar abertos, conforme ilustrado na Figura 1.15.

Figura 1.15 - Ligação entre os Jumpers



Adaptado de: <https://www.eletrogate.com>

Na placa do conversor, também para regulagem, há dois *trimpots*. O *trimpot* de nome “ZERO” é o ajuste da tensão quando o valor de corrente é o valor inicial de 4mA. O *trimpot* de nome “SPAN” é responsável por fazer o ajuste do sinal de tensão final, ou seja, quando o valor de corrente é o valor final de 24Ma, como visto na Figura 1.16.

Figura 1.16 - *Trim pots* para regulagem

Adaptado de: <https://www.eletrogate.com>

Para as conexões da placa:

+: Entrada do sinal de corrente.

-: Retorno do sinal de corrente.

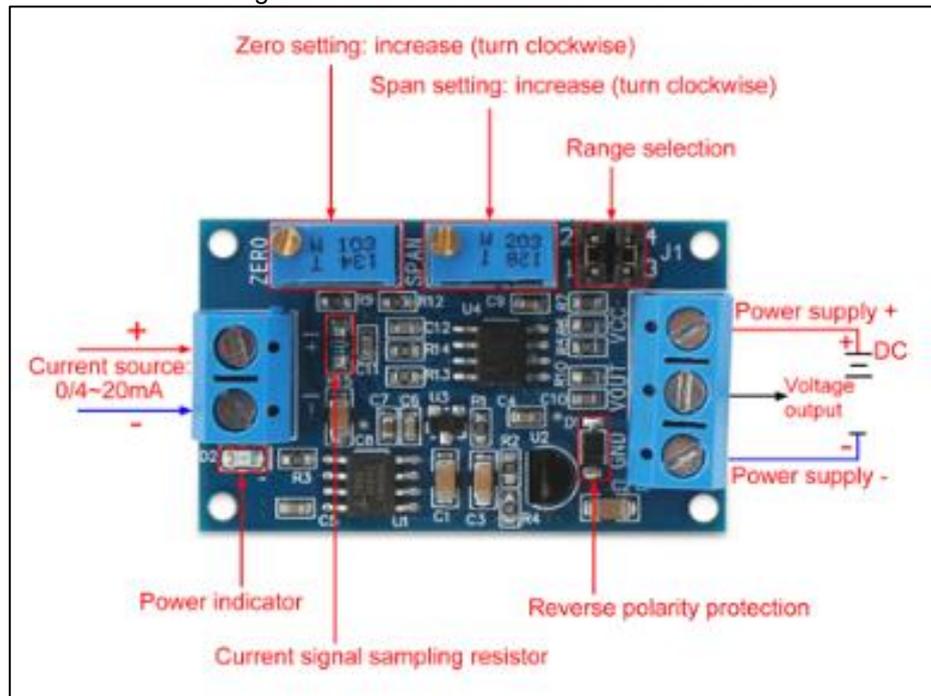
VCC: Alimentação positiva da placa (de 7 a 35Vdc).

GND: Alimentação negativa da placa.

VOUT: Saída do sinal de tensão da placa (varia conforme configuração dos *jumpers* e *trim pots*).

Como mostra a Figura 1.17.

Figura 1.17 - Visão Geral do sensor de corrente



Sobre as características gerais do conversor:

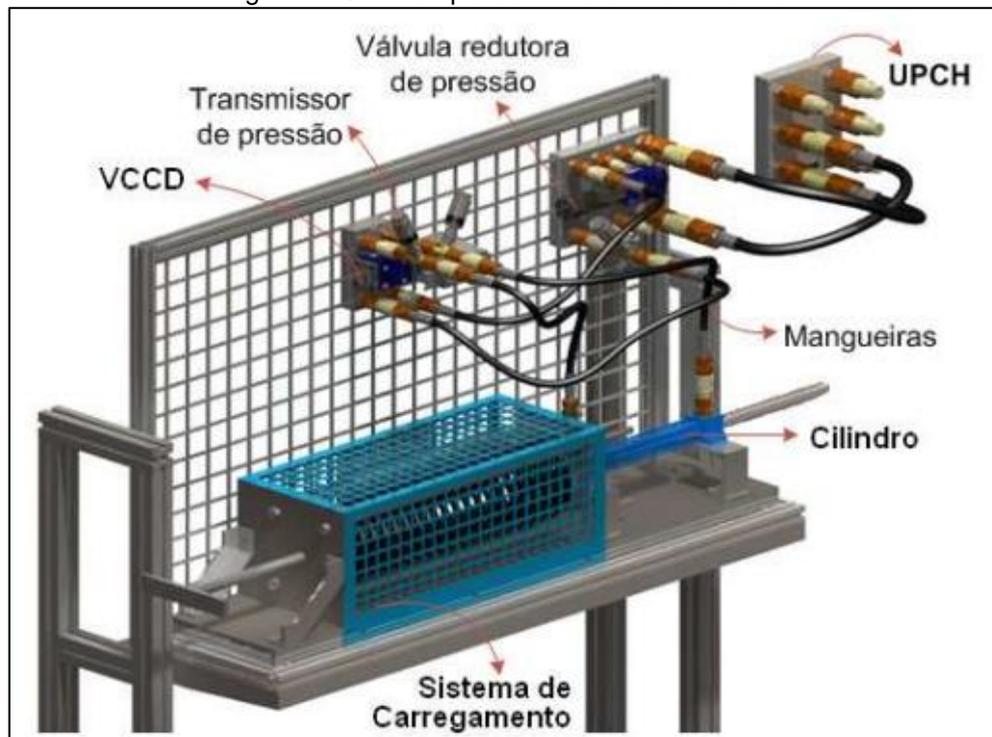
- Tensão de alimentação: DC 7V~35V (Tem que alimentar com tensão maior do que a tensão desejada na saída).
- Sinal de entrada: Corrente de 4 à 20 mA.
- Sinal de saída: Tensão 0~2.5 V, 3.3 V, 5 V, 10 V.
- Ajuste de zero via potenciômetro (*trimpot* multivolts).
- Dimensões (CXLXE): ~42x25x12mm.
- Peso: 10g.

1.7 Bancada

Segundo EPM Engenharia (2022), as bancadas de testes são utilizadas para a inspeção, aferição de testes, calibração de equipamentos e válvulas. Elas se tornam muito úteis quando somado ao conhecimento do profissional que a utiliza, ao conjunto normativo nacional e internacional, de modo a diagnosticar falhas com precisão e uma vez parametrizado certificá-los.

A seguir temos um modelo de bancada de teste PHP, a qual foi projetada pela empresa *Bosch Rexroth* na linha da *DS3 Sinergy*. No qual teste foram realizados e sua configuração original foi alterada, para que fosse adicionado um painel de controle UPCH (Unidade de Potência e Condicionamento hidráulico) e de painéis de controle para caixas instrumentação. VCCD representa uma Válvula de Controle Contínuo Direcional, como visto na Figura 1.18 (Murano, 2010).

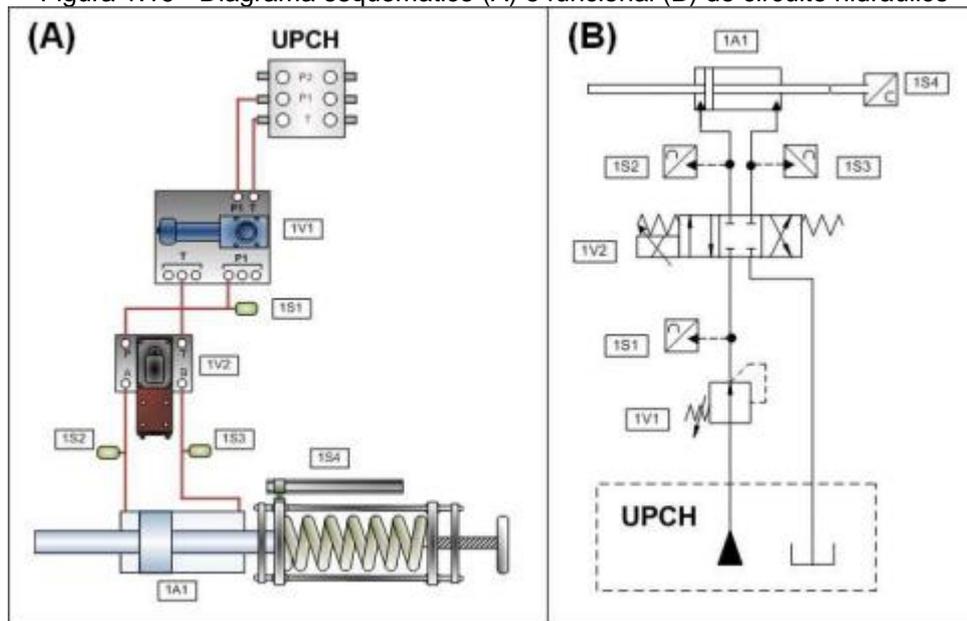
Figura 1.18 - Exemplo de Bancada de Trabalho



Fonte: MURARO (2010, p. 47)

Na Figura 1.19 há um diagrama esquemático onde a parte “A” representa o diagrama esquemático e funcional e a parte “B” representa a diagrama esquemático do circuito hidráulico.

Figura 1.19 - Diagrama esquemático (A) e funcional (B) do circuito hidráulico



Fonte: MURARO (2010, p. 47)

2. METODOLOGIA

Para a realização do protótipo, iniciou-se a montagem mecânica da parte hidráulica. Para isso, a unidade Hidráulica foi utilizada para alimentar o circuito hidráulico que estará conectado a válvula.

2.1 Justificativa e descrição

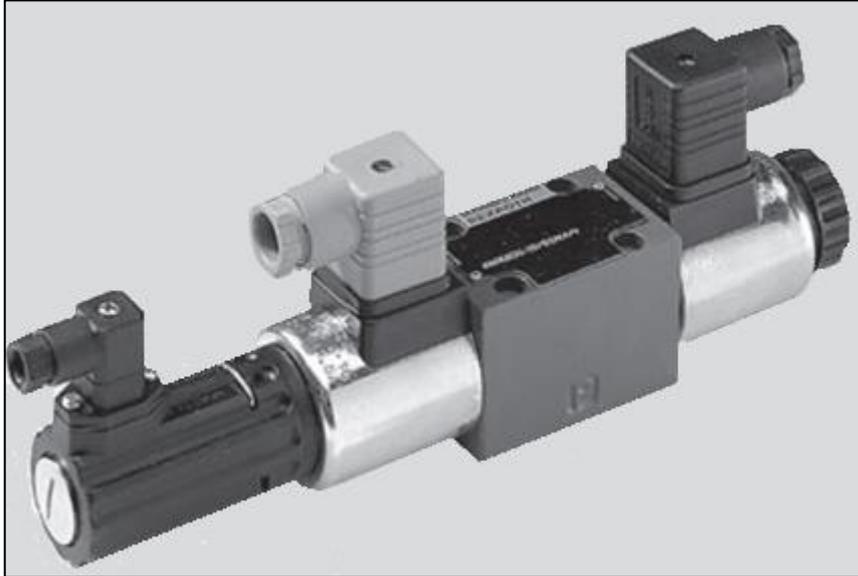
O tema selecionado tem base a observação de lacunas que existem comercialmente, em assegurar a qualidade da manutenção de válvulas hidráulicas proporcionais, que não são devidamente testadas quanto aos seus parâmetros, devido ao custo e tempo despendido para a correta análise desses dados. Existem bancadas prontas vendidas no mercado formal para válvulas hidráulicas, mas não é comum um dispositivo específico para válvulas proporcionais direcionais, que requerem monitoramento de variáveis específicas.

Por tanto, elaborar uma bancada de testes para verificar esses parâmetros, permitindo a comparação e a reflexão dos dados levantados seria, além de uma observância positiva para com o meio-ambiente, uma oportunidade de melhoria de processo, sendo passo inicial para desenvolvimento de uma inovação.

Utiliza-se da bancada de testes hidráulicos da Fatec de São Bernardo para realizar a ligação da válvula hidráulica.

Para a sua realização foram utilizados sensores de temperatura, pressão, voltímetro e amperímetro para monitorar os parâmetros da válvula, que serão mostrados no sistema supervisório feito no *software* Elipse E3, facilitando a comparação com os parâmetros originais do fabricante, concluindo se está aprovada ou não para aplicação em produção. Será necessário também a utilização do Arduino para coleta, controle de entradas e saídas e comunicação com o sistema supervisório. A Figura 2.1 representa um modelo de válvula abordado no projeto.

Figura 2.1 - Válvula Proporcional Direcional Hidráulica



Fonte: Adaptado de Automax Automação (2023, p.1).

3. DESENVOLVIMENTO

Explana-se o passo a passo para a realização do protótipo, todos os passos, programações e materiais utilizados para a consolidação da bancada de testes para válvulas proporcionais direcionais hidráulicas.

3.1 Montagem Mecânica

A válvula proporcional direcional que utilizamos para realizar os testes é da fabricante MOOG, de código G761-3001B, que tem por característica a regulagem de vazão enquanto não atinge o final do seu posicionamento, conforme a Figura 3.1.

Figura 3.1 - Válvula Proporcional Direcional Hidráulica



Fonte: Autoria Própria, 2024

Essa válvula trabalha com a variação de corrente entre 0 e 30 mA para realizar sua modulação, ou seja, 0 mA seria uma velocidade de 0% e 30 mA refere-se a condição de 100%.

Figura 3.2 - Válvula Proporcional Direcional Hidráulica

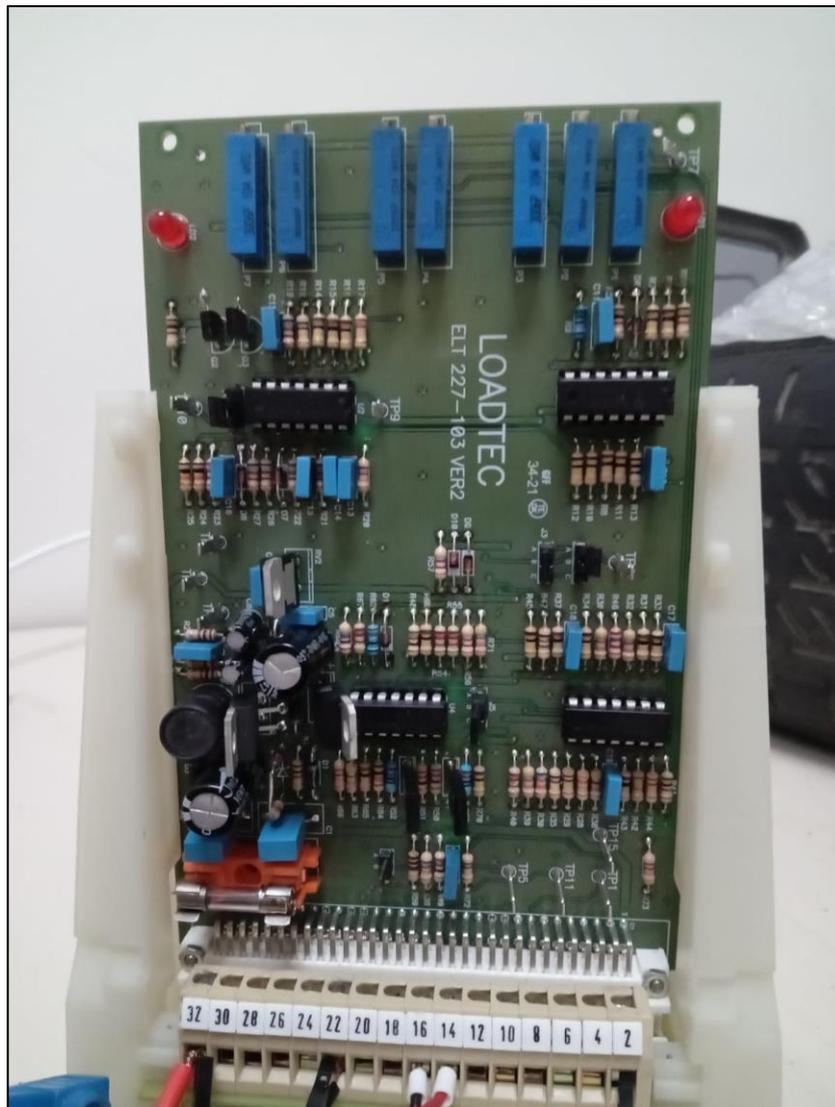


Fonte: Autorial Própria, 2024

Para realizar o controle de modulação de forma segura para o componente, utilizamos uma placa amplificadora, comumente chamada de “cartela”, que faz a transformação dos sinais emitidos pelos controladores em sinais que a válvula consiga entender e modular.

A cartela possui diversas regulagens, que são predefinidas de acordo com o teste que se deseja fazer, por exemplo, em nossa bancada, temos uma entrada de 0-5 V emitidos pelo Arduino, que conforme fazem a variação, alteram a saída da cartela entre 0 – 30 mA. Como visto na Figura 3.3.

Figura 3.3 – Cartela conversora de tensão em corrente



Fonte: Autoria Própria, 2024

Os *trimpots* de regulagem são responsáveis pela limitação de tensão/corrente de entrada e saída, onde foram ajustados especificamente para atender a esse experimento.

As informações de diagramas e detalhamento do funcionamento da cartela não estão disponíveis, pois consta como propriedade intelectual da empresa que nos cedeu gentilmente para realizarmos os testes.

O esquema de ligação da placa segue o seguinte padrão:

- +24Vdc (positivo de alimentação)
- 0Vdc (negativo da alimentação)
- Saída do Arduino +
- Saída do Arduino –
- Modulação da válvula +
- Modulação da válvula –

O esquema de ligação mecânico da válvula é comum para a maioria das válvulas direcionais hidráulicas:

- “P” para entrada de pressão
- “R” para retorno ou tanque
- “A” para avanço do atuador
- “B” para retorno do atuador

Conforme mostrado na Figura 3.4, utilizamos um motor hidráulico para exemplificar a variação de velocidade.

Figura 3.4 - Montagem da válvula ligada no motor



Fonte: Autorial Própria, 2024

Para medirmos a pressão gerada durante a atuação, utilizamos um transdutor de pressão, que fica ligado em série na linha “A”, transmitindo a variação de pressão para o Arduino (Figura 3.5).

Figura 3.5 - Ligação transdutor de pressão



Fonte: Aatoria Própria, 2024

O esquema de ligação do transdutor é o seguinte:

- +24 Vdc
- 0 Vdc
- Sinal de saída 0-5V
- Terra

Conforme há modulação na pressão entre 0-300bar, o transdutor emite um sinal analógico de tensão entre 0-5V, que pode ser recebido pelo Arduino, conforme a Figura 3.6.

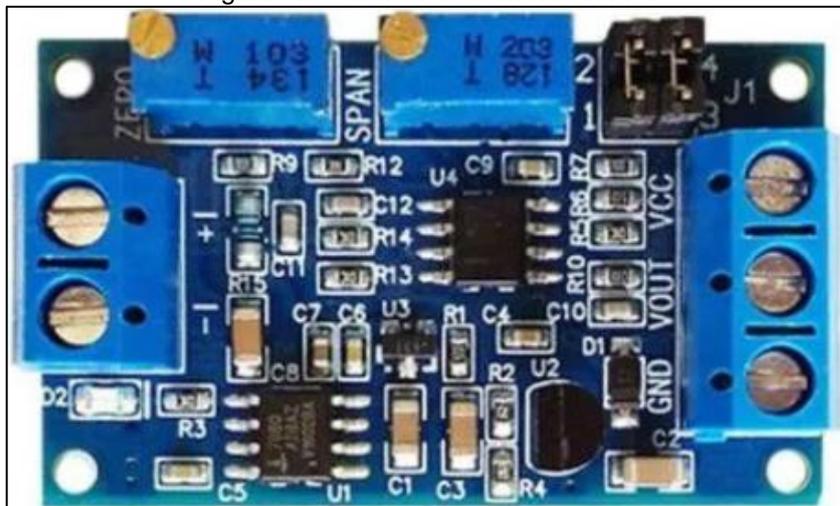
Figura 3.6 - Transdutor de Pressão



Fonte: Autoria Própria, 2024

O Arduino recebe apenas sinais de tensão analógica e para monitorarmos os níveis de modulação, optamos por utilizar um conversor de corrente (4-20mA) para tensão (0-5V), conforme a Figura 3.7.

Figura 3.7 - Sensor de Corrente XY10.



Fonte: <https://www.eletrogate.com>

Para monitorar a temperatura da válvula enquanto operada, utilizamos um sensor de temperatura, conforme figura 3.8.

Figura 3.8 - Sensor de temperatura



Fonte: <https://www.makerhero.com/2024>

O sistema supervisorio mostra os dados coletados pelo Arduino e faz comparações entre os valores, dizendo de acordo com os dados originais do fabricante, se a válvula está apta para operação ou deve voltar para a manutenção.

Em sua ligação os pontos da sub placa serão conectados na válvula, os pontos “A” e “B” foram ligados respectivamente nos pontos “A” e “B” na válvula. Já os pontos “P” e “T” formam ligados na unidade hidráulica, nos pontos “P” e “T” da bancada sendo “P” Pressão e “T” Tanque, como podemos ver na Figura 3.9. Uma vez que a ligação entre os componentes foi realizada, para acionar o atuador é necessário energizar a válvula proporcional direcional em um range de +10 V e -10 V, onde seu acionamento será proporcional a tensão aplicada nos terminais da válvula.

Figura 3.9 - Montagem da Sub Placa na Válvula



Fonte: Aatoria Própria, 2024

3.2 Montagem da parte eletrônica

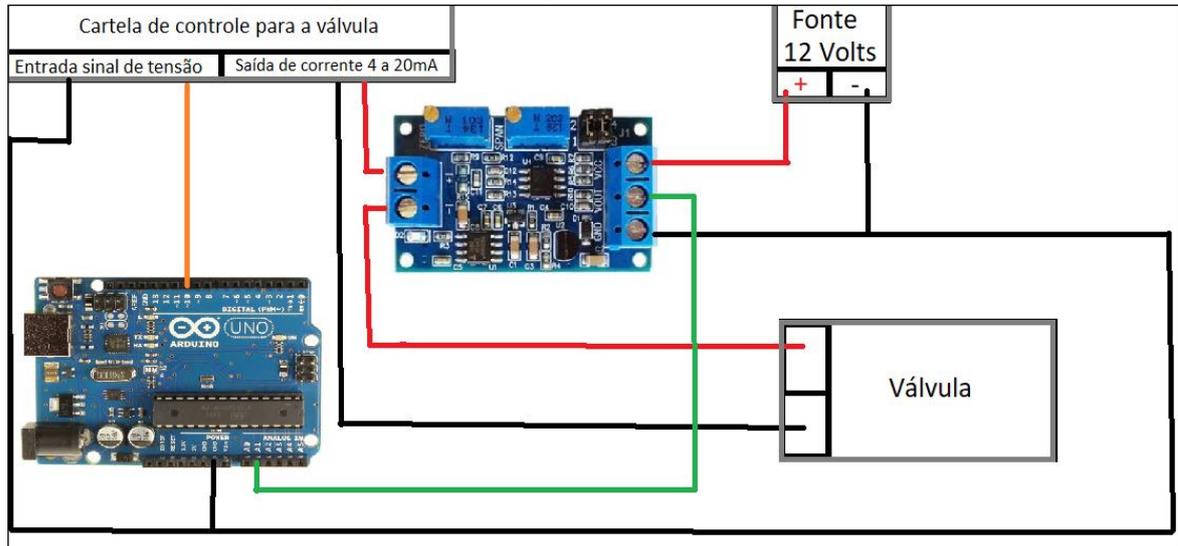
Para fazer a aferição da corrente que irá para a válvula e ver se ela está se comportando com as características elétricas adequadas, ou seja, verificar se a válvula está consumindo corrente proporcionalmente de acordo com a cartela fornece, foi necessário o uso do conversor de corrente XY10.

Com a placa conversora é configurada via *jumpers* para um sinal de tensão de 0 a 5V na saída (*Jumpers* nos terminais 1-2 e 3-4) e definido o 0V e o 5V respectivamente como sinal inicial e sinal final pelos *trimpots* ZERO e SPAN. Foi realizada a montagem em conjunto com a cartela, Arduino e a fonte para a alimentação da placa.

Observando a Figura 3.10, a ligação do conversor de corrente foi feita em série com a válvula e a saída de corrente da cartela, assim possibilitando a aferição de corrente entre ambos em um circuito fechado. O sinal de tensão proporcional à

corrente que passa pelo conversor é enviado para a placa Arduino no pino analógico A1 pela saída Vout do conversor.

Figura 3.10 - Montagem da Sub Placa na Válvula



Fonte: Autoria Própria, 2024

Pode-se reparar também que o pino digital 10 da placa Arduino é responsável por fornecer sinal para que a cartela faça o controle da saída de corrente para a válvula.

3.3 Sistema Supervisório

Para o projeto foi escolhido para fazer o sistema supervisório o Elipse E3. Seu gerenciamento é constituído de 4 telas sendo: tela inicial, tela principal, tela de edição e tela de teste.

Na tela inicial contém os dados básicos tais como: nome do orientador, tema, integrantes, *QR Code* para acesso ao banner e dois botões que redirecionam o usuário para outra tela e instituição de ensino.

Clicando no botão “tela principal”, o usuário é redirecionado a tela onde efetivamente é exibida as válvulas cadastradas e os valores coletados pelo Arduino. Ao lado esquerdo, clicar no botão voltar é possível retornar a tela inicial e selecionar uma válvula que já tenha sido cadastrada. Uma vez selecionada a válvula desejada seus valores cadastrados são carregados automaticamente, como mostra a ilustração da Figura 3.11.

Figura 3.11 - Tela de abertura do sistema supervisorio



Fonte: Autoria Própria, 2024

No centro temos a imagem da válvula selecionada um *set-point* para se definir o tempo do processo um *display* para visualização do estado em que se encontra o processo e dois botões onde podemos iniciar ou pausar o processo. Os valores exibidos nos *displays* são referentes aos valores coletados no Arduino e convertidos para o Supervisorio.

Nesta tela é onde o *script* da comparação entre valores é feita, uma vez que os valores de entrada são iguais ou dentro da tolerância estabelecida, a válvula se encontra em bom estado de uso, porém se estes valores forem diferentes, a válvula precisa voltar para a manutenção.

Um último recurso encontrado nesta tela é referente ao botão de criação e edição de válvulas já cadastradas, como mostra a Figura 3.12.

Figura 3.12 - Válvulas cadastradas no supervisório



Fonte: Autoria Própria, 2024

Uma vez clicado no botão “criar ou editar parâmetros”, a tela de criação e edição é aberta. Uma vez que não há válvulas cadastradas, é necessário preencher os campos de “novos parâmetros” e clicar em “criar receita”, isso fará com que estes dados sejam armazenados no banco de dados criados no próprio supervisório.

Se o usuário necessitar alterar alguma válvula já criada, ele precisa, primeiramente selecionar esta válvula, uma vez selecionada, os campos carregaram automaticamente, após isso, é necessário ir até o campo em que necessita de alteração e substituir o valor sobrepondo-o. Uma vez que as alterações necessárias foram feitas, é só salvar no botão “salvar alteração”, isso irá sobrepor as informações anteriores correspondente ao nome da válvula.

Como última possibilidade o usuário pode excluir do banco de dados uma válvula que já tenha sido criado, embora seja recomendado que mantenha as válvulas já aferidas para poder alimentar o banco de dados uma vez que existem possibilidades futuras de melhorias, como mostra a Figura 3.13.



Fonte: Autoria Própria, 2024

Para a realização de testes mais abrangentes foi criada a “tela de testes”, que pode ser acessada na tela inicial do supervisório. Os *displays* em vermelho se encontram em vermelho por que suas *tags* estão diretamente ligadas ao pino 10 do Arduino que envia um sinal de tensão que é exibido no supervisório, porém no momento em questão o supervisório se encontrava desconectado do Arduino.

Nesta tela é possível selecionar a tensão de trabalho onde é possível selecionar 3V ou 5V. Uma vez que a tensão de 3V é selecionado, todos os botões amarelos que correspondem a tensões acima de 3V somem, como um sistema de segurança para que acidentalmente não seja enviado uma tensão acima da suportada. Os nomes dos botões estão atrelados com o seu valor interno, uma vez selecionado, este valor é exibido nos *displays* onde o primeiro exibe seu valor

proporcional que varia de 0 até 255 e o segundo *display* tem uma variação de 0V até 5V.

Na parte esquerda da tela temos os botões que enviam a tensão proporcional referente a tensão de trabalho selecionada, mostrado na Figura 3.14.

Figura 3.14 - Tela de teste de bancada



Fonte: Autoria Própria, 2024

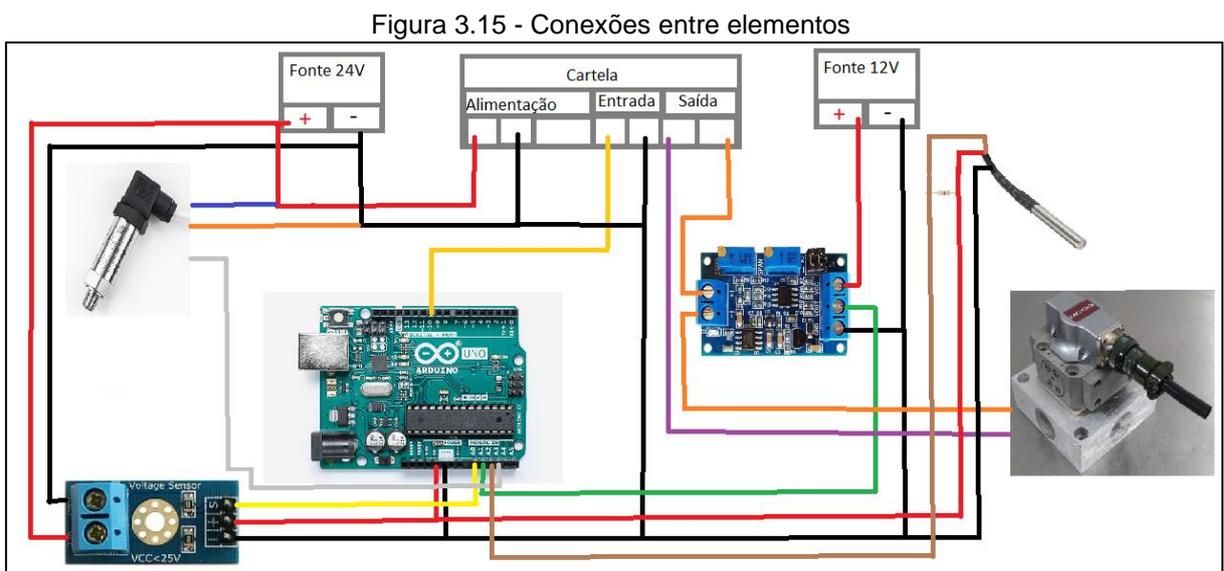
3.4 Programação

Para indicar as medidas dos sensores de pressão, vazão e temperatura, foi criado no *software* Arduino um programa em linguagem C++ responsável por mostrar os valores obtidos pelos sensores no monitor serial desse *software*. No programa inicialmente se inclui as bibliotecas *Dallastemperature* e *OneWire* e em seguida elas são inicializadas. A programação pode ser encontrada no Apêndice B.

A biblioteca *Dallastemperature* é responsável pelo sensor de temperatura, graças a ela pode-se usar comando para fazer a varredura de leitura no pino responsável por essa comunicação e comando para ler o sinal de tensão dado pelo sensor e fazer a conversão para temperatura em graus Celsius.

A biblioteca *OneWire* é responsável por inicializar o protocolo de comunicação *One Wire bus*, utilizado para fazer a comunicação com o sensor de temperatura, fazendo assim a transferência de dados entre Arduino e sensor por apenas um fio (conectado no terminal A2 do Arduino).

A programação se inicia com a inclusão das bibliotecas para comunicação modbus (Modbusino) com o supervisor, a biblioteca do protocolo de comunicação em apenas uma linha (*OneWire*) utilizado para o sensor de temperatura e a biblioteca que facilita a programação do sensor de temperatura (*DallasTemperature*). Na Figura 3.15 é possível ver a ligação entre os componentes.



Fonte: Autoria Própria, 2024

Após as inclusões das bibliotecas, foi definido que para a comunicação *modbus* pode ter até dez registros no programa e então foi definido quatro variáveis de comunicação para fazer leitura dos status dos pinos do Arduino, chamadas de *Status1*, *Status2*, *Status3*, *Status4* e uma variável de comunicação para fazer escrita, chamada de *Controle1*.

Depois das variáveis criadas os pinos A0 e A1 que ainda não tinham sido mencionados, foram configurados como entrada de sinal e após as comunicações referentes ao monitor serial e o sensor de temperatura foram inicializadas.

Em seguida foi realizado o ciclo de leitura dos sinais na entrada nos pinos da placa do Arduino e feito a escrita no monitor serial do programa.

Para converter os sinais de entrada em grandezas físicas é necessário fazer equações para essa conversão, já que de 0 a 5 volts na entrada equivale à 0 a 1024 bits no microcontrolador, logo foi feita essa conversão para cada sensor, exceto o sensor de temperatura que faz essa conversão automática graças ao comando `sensor.getTempCByIndex(0)` o qual já faz a conversão dos bits em graus Celsius.

Na parte de configuração do programa (*void setup*) foi inicializada a comunicação *modbus* entre Arduino e supervisor e a comunicação entre Arduino e sensor de temperatura.

Na parte do programa que será a executável em loop (*void loop*), ou seja, será lido e após o final da leitura retorna e refaz a leitura dentro desse bloco e continua com essa ciclicidade até que se interrompa o programa, foi atribuído para as variáveis `Status1`, `Status2`, `Status3`, `Status4`:

Status1: Leitura do pino atribuído para a variável de `AI_0`.

Status2: Leitura do pino atribuído para a variável de `AI_1`.

Status3: Leitura do pino `A2` pela comunicação *One Wire* declarada acima utilizada para o sensor de temperatura.

Status2: Leitura do pino atribuído para a variável `AI_3`.

Para a variável `Controle1` foi definida a escrita digital no pino atribuído para a variável `AO_0`. Depois de todas as variáveis definidas, foi realizada a comunicação dessas variáveis, atribuindo-as nas *tags* de registro do supervisor:

```
tab_reg[1] = Status1;  
tab_reg[2] = Status2;  
tab_reg[3] = Status3;  
tab_reg[4] = Status4;
```

```
Controle1 = tab_reg[6];
```

Após todas as variáveis atribuídas aos registros do supervisor, foi necessário criar um comando para a atualização desses registros pela comunicação Modbus.

```
modbusino_slave.loop(tab_reg, 10);
```

3.5 Obstáculos e Soluções

- Obstáculo 1: Conversão dos sinais recebidos e enviados no Arduino, uma vez que ora era 255 ora era 1023.
- Solução: Usar operações matemáticas que usam um fator de multiplicação que convertam os valores para as margens estabelecidas no projeto.
- Obstáculo 2: Alimentar a cartela de conversão de tensão, de modo que, na montagem do protótipo não influenciasse no resultado, uma vez que todas as vezes que foi usado 40% da tensão a comunicação *modbus* foi interrompida.
- Solução: Alimentar o Arduino com uma fonte de 12V – 1A para que a necessidade de corrente fosse suprida e não interrompesse a comunicação por falta de corrente.
- Obstáculo 3: A dificuldade de modelar a tensão enviada para a válvula.
- Solução: Foi adicionado uma cartela de conversão proporcional de tensão em corrente, para que fosse possível fazer a modulação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto Bancada de teste para válvulas proporcionais direcionais hidráulicas, tem por objetivo, a coleta dos parâmetros reais e comparação com os parâmetros estabelecido pelo fabricante. Tal objetivo foi concluído com êxito. Seu funcionamento atendeu as expectativas de realizar o monitoramento em tempo real e fazer a comparação no supervisório de modo a solidificar a ideia inicial, no protótipo apresentado.

Seu desenvolvimento se deu por meio do Arduino, que somado ao Supervisório, via comunicação *Modbus*.

O projeto agregou bastante ao grupo, solidificando o conhecimento adquirido ao longo do curso, somando aos projetos que contribuiu para o aprendizado de novos conhecimentos e possibilidades, sendo necessário o desenvolvimento de pesquisas e busca por tais assuntos.

Embora muito desafios tenham sido encontrados no decorrer desta jornada, todos foram contornados com êxito com auxílio de professores, pesquisas e testes. Este projeto abre possibilidades de estudos relacionados a hidráulica, com implementação de novas ideias baseadas neste projeto e para a detecção de falhas de forma preditivas. Tendo em vista o projeto final, conclui-se que o projeto foi concluído com êxito.

Também são descritas possíveis melhorias futuras para continuação deste projeto, tais como a utilização de sensores com foco industrial, a dedicação de um espaço próprio para a bancada, e relés para a inversão de polaridade nos terminais da válvula. No supervisório, a implementação de gráficos para melhor compreensão da análise feita e a implementação de um sistema de banco de dados em nuvens.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: informação e documentação: Apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

AUTOMAX AUTOMAÇÃO. **Válvula Proporcional Direcional 4/2 e 4/3, Diretamente Operada, com Feedback Elétrico de Posição Tipos 4WRE e 4WREE**. Disponível em:

<https://www.automaxautomacao.com.br/wp-content/uploads/2018/03/rp_29061.pdf>
Acesso em 15/11/2023.

BASTOS, Bruno. SAKURADA, Eduardo. HADDAD, Luiz. NEGRI, Victor “**Análise de Falhas de uma Válvula Direcional Proporcional**”. Instituto Politécnico, Nova Friburgo, 2004.

CIRILO, José. “**Hidráulica Ambiental**”. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, Pernambuco.
<https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/150/1b4aad2a2f901975af9e1c007>,
2023

DE NEGRI, Victor Juliano. Sistemas hidráulicos e pneumáticos para automação e controle – parte III – sistemas hidráulicos para controle. Apostila. Florianópolis: UFSC, 2001.

EPM ENGENHARIA. **Bancadas de teste e calibração: o que são e quais mais usadas?**. 2022 Disponível em: <https://epm Engenharia.com/2022/04/25/bancadas-teste-calibracao/>. Acesso em: 15 nov. 2023.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automação hidráulica - projetos, dimensionamento e análise de circuitos**. 7. ed. São Paulo: Érica, 2019.

GOMI, Edson Satoshi. **Gestão de Projetos**. Disponível em <<http://www.lps.usp.br/lps/arquivos/conteudo/grad/dwnld/ApostilaGestao.pdf>>
Acesso em 20/07/2012.

KENSHIMA, Gedeane. **Nas linhas do Arduino – Programação Wiring para não programadores**. São Paulo: Novatec, 2020.

MOREIRA, Ilo da Silva. **Sistemas hidráulicos industriais**. 2.ed, São Paulo: SENAI-SP editora, 2012.

MURANO, Irving. **Estudo das características comportamentais de válvulas proporcionais e seus efeitos nos posicionadores eletro-hidráulicos**. 2020. 47 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Unidade de Santa Catarina Florianópolis: UFSC, 2010.

MURARO, Irving. **Um estudo sobre o comportamento das válvulas proporcionais e seus efeitos nos posicionadores eletro-hidráulicos (Dissertação de Mestrado)**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2010.

NICOLOSI, Denys Emilio Campio; BRONZERI, Rodrigo Barbosa. **Microcontrolador 8051 com linguagem C**. 2ª ed. São Paulo: Érica, 2009.

OLIVEIRA, Cláudio Luis V.; ZANNETTI, Humberto A. P. **Arduino Descomplicando: Como elaborar Projetos de Eletrônica**. ed 1. Érica/ Saraiva, 2015.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos**. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2014.

RICCI, Delcínio et al. **Manual de normalização de TCC – Trabalho de conclusão de curso**. Faculdade de tecnologia de São Bernardo do Campo “Adib Moisés Dib”, São Bernardo do Campo, São Paulo, 2023.

SEVERINO, Antonio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

SILVEIRA, J. KINCELER, R. NEGRI, V.J. **Automação e controle experimental em hidráulica e pneumática**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 1998.

SIMÕES, Roberto Mac Intyer. **Sistemas hidráulicos e pneumáticos**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A, 2016.

SOUZA, Marco Polo M. de. **Curso Básico de Arduino**. 1 ed. Ji-Paraná, Rondônia, 2017

APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO ARDUINO

```

#include "Modbusino.h" //Inclui biblioteca para comunicação Modbus
ModbusinoSlave modbusino_slave(1);
#include <OneWire.h> //Inclui a biblioteca da comunicação One Wire
#include <DallasTemperature.h> //Inclui a biblioteca do sensor ds18b20 Dallas

#define ONE_WIRE_BUS 2 // Define o pino

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS); // Protocolo de comunicação de apenas uma
linha
DallasTemperature sensors(&oneWire); // Seta a comunicação One Wire para o
sensor

uint16_t tab_reg[10]; // Define 10 registros (Tags)

//Cria as variáveis de comunicação para fazer leitura dos status dos pinos
unsigned int Status1 = 0;
unsigned int Status2 = 0;
unsigned int Status3 = 0;
unsigned int Status4 = 0;

//Cria variável de comunicação para fazer escrita no pino
unsigned int Controle1 = 0;

//Entradas analógicas
unsigned int AI_0 = 0;
unsigned int AI_1 = 1;
unsigned int AI_2 = 2;
unsigned int AI_3 = 3;

//Saída para a cartela
unsigned int AO_0 = 10;

void setup() {

    modbusino_slave.setup(9600); //Inicia a comunicação do protocolo modbus
    sensors.begin(); //Inicia a comunicação do sensor

}

void loop() {

    while (1)
    {

        // Faz a leitura dos sinais nos pinos analógicos
        Status1 = analogRead(AI_0);
        Status2 = analogRead(AI_1);
        sensors.requestTemperatures(); //Comando da biblioteca Dallas usado para
obter temperaturas
    }
}

```

```
Status3 = (sensors.getTempCByIndex(0)); //Comando da biblioteca Dallas que
faz a leitura da temperatura em Celsius
Status4 =analogRead(AI_3);
analogWrite(AO_0, Controle1);

// FAZ ATUALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO PROGRAMA
// DO ARDUINO -> ELIPSE
tab_reg[1] = Status1;
tab_reg[2] = Status2;
tab_reg[3] = Status3;
tab_reg[4] = Status4;

// DO ELIPSE->ARDUINO
Controle1 = tab_reg[6];

//Atualizando o Modbus
modbusino_slave.loop(tab_reg, 10);
}
}
```

APÊNDICE B – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DAS PLACAS

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS ARDUINO R3 x ARDUINO R4 WI-FI		
ARDUINO UNO R3		ARDUINO UNO R4 WIFI
Microcontrolador	Atmega328P	Renesas RA4M1 (Arm Cortex- M4)
Tensão Operacional	5V	5V (ESP32-S3 é 3,3V)
Tensão de entrada (recomendado)	7-12V	6-24V
Pinos de E/S digitais	14 (dos quais 6 fornecem saída PWM)	14
Pinos de E/S digitais PWM	6	6
Pinos de entrada analógica	6	6
Comunicação	UART	UART Sim, 1x 12C Sim, 1x IPS Sim, 1x PODE Sim, 1barramento CAN
Corrente CC por pino de E/S	20mA	8mA
Corrente DC para pino de 3,3V	50mA	500mA
Memória flash	32 KB (ATmega328P) dos quais 0,5 KB usados pelo bootloader	RA4M1- 256KB, RAM de 32KB ESP32-S3 ROM de 384KB, SRAM de 512KB
SRAM	2KB (ATmega328P)	32KB
EEPROM	1KB (ATmega328P)	8KB
Velocidade do relógio	16MHz	Núcleo principal- 48MHz ESP32-S3- até 240MHz
Comprimento	68,6 milímetros	53,34 milímetros
Largura	53,4mm	68,85mm