



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

Berilo Costa de Matos Junior

NFPR - UM COLETOR AUTOMÁTICO DE AMOSTRAS DE BAIXO CUSTO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPGEQ), da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Orientadores: Emanuel Negrão Macêdo.

Nielson Fernando da Paixão Ribeiro
(*in memoriam*).

Belém

Julho de 2021

NFPR - UM COLETOR AUTOMÁTICO DE AMOSTRAS DE BAIXO CUSTO

Berilo Costa de Matos Junior

Membros da Banca Examinadora para a Avaliação da Defesa da Dissertação de Mestrado do candidato *Berilo Costa de Matos Junior* junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Pará.

DATA DA AVALIAÇÃO: ____/____/____

CONCEITO: _____

Examinada por:

Prof. Dr. Emanuel Negrão Macêdo
(PPGEQ-ITEC/UFPA - Orientador)

Prof. Dr. Nielson Fernando da Paixão Ribeiro
(PPGEQ-ITEC/UFPA – Orientador – In Memoriam)

Prof. Dr. Diego Cardoso Estumano
(ICB/UFPA - Membro)

Prof. Dr. Raul Nunes de Carvalho Junior
(PPGEQ-ITEC/UFPA - Membro)

Prof. Dr^a. Carla Carolina Ferreira Meneses
(DCNA-CCSE/UEPA - Membro)

Prof. Dr. Alan Marcel Fernandes de Souza
(CCET/UNAMA - Membro)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA QUÍMICA, NA ÁREA DE DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS – ENGENHARIA DE PROCESSOS INORGÂNICOS, REALIZADA EM 23 DE JULHO DE 2021, TENDO INÍCIO ÀS 09:00h, APRESENTADA PELO CANDIDATO BERILO COSTA DE MATOS JUNIOR DIANTE DA BANCA EXAMINADORA CONSTITUÍDA PELO PRESIDENTE: **Prof. Dr. EMANUEL NEGRÃO MACÊDO** - ORIENTADOR; E OS MEMBROS: **Prof. Dr. RAUL NUNES DE CARVALHO JUNIOR** – MEMBRO INTERNO, **Prof. Dr. ALAN MARCEL FERNANDES DE SOUZA** – MEMBRO EXTERNO, **Profa. Dra. CARLA CAROLINA FERREIRA MENESES** – MEMBRO EXTERNO E **Prof. Dr. DIEGO CARDOSO ESTUMANO** – MEMBRO EXTERNO. A DISSERTAÇÃO INTITULADA “**NFPR - UM COLETOR AUTOMÁTICO DE AMOSTRAS DE BAIXO CUSTO**”. RESSALTOU-SE A CONTRIBUIÇÃO DO **Prof. Dr. NIELSON FERNANDO DA PAIXÃO RIBEIRO (Orientador In Memoriam)** NA ORIENTAÇÃO DESTE TRABALHO. FOI EXPOSTA EM SESSÃO PÚBLICA NO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA – PPGEQ/UFPA, POR VIDEOCONFERÊNCIA VIA “GOOGLE MEET”, PELO CANDIDATO DURANTE 48 MINUTOS. EM SEGUIDA FOI ARGÜIDO ORALMENTE PELOS MEMBROS DA BANCA, DEMONSTRANDO SUFICIÊNCIA DE CONHECIMENTO NO TEMA ABORDADO. A BANCA EXAMINADORA OPINOU DE FORMA FAVORÁVEL À APROVAÇÃO DA DISSERTAÇÃO COM AS RECOMENDAÇÕES SUGERIDAS POR CADA MEMBRO DA BANCA. NA FORMA REGULAMENTAR FOI LAVRADA A PRESENTE ATA, ASSINADA PELOS MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA E PELO CANDIDATO.

Belém, 23 de julho de 2021.

BANCA EXAMINADORA:

PRESIDENTE:

Emanuel Negrão Macêdo

MEMBROS:

Raul Nunes de Carvalho Junior

Carla Carolina F. Meneses

Diego Cardoso Estumano

CANDIDATO:

Berilo Costa de Matos Junior

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

C837n COSTA DE MATOS JUNIOR, BERILO.
NFPR - UM COLETOR AUTOMÁTICO DE AMOSTRAS DE
BAIXO CUSTO / BERILO COSTA DE MATOS JUNIOR. —
2021.

93 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Emanuel Negrão Macêdo
Coorientador(a): Prof. Dr. Nielson Fernando da Paixão Ribeiro
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Química, Belém, 2021.

1. Automação. 2. Baixo Custo. 3. Controle do fluido. 4.
Microcontrolador. 5. Motor de Passo. I. Título.

CDD 660.2815

Dedico este trabalho aos meus pais Berilo Matos (*in memoriam*) e Norma Gurjão que sempre estiveram ao meu lado.

“O compartilhar é o ensinamento mais valioso.” Nielson Ribeiro (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por tudo que ele me proporcionou, sempre iluminando o meu caminho, com saúde, sabedoria e determinação.

Ao meu pai, Berilo Matos por todo ensinamento e formação moral, grande exemplo, sempre presente me incentivando até o seu último dia de vida. A minha mãe Norma Gurjão, mulher batalhadora e guerreira, que sempre me apoiou nos momentos difíceis e nas decisões tomadas. Muito obrigado por tudo, essa vitória também é de vocês.

A toda a minha família, pelo carinho e dedicação que tiveram comigo ao longo dessa jornada. Especialmente ao meu irmão Laércio Gurjão, minhas tias Hilma Gurjão e Maria Gurjão, meu tio Paulo Gurjão, e ao meu primo Robson Gurjão, que me incentivaram e apoiaram, tanto na vida pessoal quanto acadêmica.

A Luciana Melo, por todo o seu afeto e dedicação me apoiando e me encorajando nos momentos difíceis dessa caminhada. Vânia Melo, pelo seu apoio e receptividade.

Aos meus orientadores Emanuel Negrão Macêdo, Nielson Fernando da Paixão Ribeiro e Diego Cardoso Estumano, pelos ensinamentos, conselhos, auxiliando muito na elaboração deste projeto, e por acreditar na minha capacidade.

À professora Cristiane Leal Costa, que me apresentou ao programa de pós-graduação em engenharia química (PPGEQ-UFPA). Aos professores Bruno Viegas, João Nazareno e Rui Magno pela força, simplicidade e amizade. Ao professor Tarcio Cabral, que me auxiliou muito na elaboração mecânica desse projeto.

Aos meus amigos do Matcam, Camila Dias, Jackline Rodrigues, Miriane Pinheiro, Augusto Jardim, Carlos Henrique, Diego Lopes, Igor Coimbra, Leandro Monteiro, Mailson Vilhena, que sempre me ajudaram compartilhando conhecimentos, aprendizados e risadas nessa trajetória.

Aos meus amigos Lídia, Larissa, Adailson, Auzier, Carlos, Cezar, Galeno, Queiroga, Pedro, Pedro Lima, Ricardo, Romário, Santos, Thales, Victor, Vieira, Vinicius e Yan pelo companheirismo e apoio nesta jornada árdua.

À todas as pessoas que me ajudaram e torceram pelo meu sucesso.

À CAPES, pelo apoio financeiro que permitiu a realização deste trabalho.

Resumo da Dissertação de Mestrado apresentada ao PPGEQ/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Química.

NFPR - UM COLETOR AUTOMÁTICO DE AMOSTRAS DE BAIXO CUSTO

Berilo Costa de Matos Junior

Julho/2021

RESUMO

A evolução da automação em processos industriais trouxe diversos benefícios à humanidade. A utilização de sistemas automáticos vem crescendo e se tornando cada vez mais frequentes nas máquinas e nos projetos, objetivando uma maior produção, confiabilidade e redução de custos. Devido ao alto valor de equipamentos tecnológicos, é necessário buscar alternativas mais viáveis financeiramente para obter resultados eficientes e precisos. Uma questão comumente encontrada em laboratórios de engenharia química é a dificuldade de coleta de amostras por um período longo, por exemplo, experimentos para determinar curva de ruptura em adsorção. Com isso, este trabalho propõe desenvolver um equipamento de baixo custo, no qual, realize a coleta de um líquido automaticamente. A partir de um microcontrolador, o Arduino Mega, é possível interligar a técnica de programação com linguagem de código aberto (*open-source*) baseado em C++. Elaborando um algoritmo de comando para o controle e operação dos motores de passo e da válvula solenoide. Foram realizados diversos testes de precisão de posicionamento e coleta de volume para: 5, 10 e 15 ml. O protótipo apresentou bons resultados definidos pela média e desvio padrão das amostras coletadas. A implantação deste equipamento tende a melhorar a condição de trabalho dos usuários, garantindo uma melhor precisão, evitando desperdícios pela coleta manual e trazendo comodidade. Observa-se que o protótipo apresenta um valor monetário até dez vezes inferior aos equipamentos consolidados no mercado. Demonstrando que é uma proposta viável e promissora para laboratórios que necessitam de coleta automática de volume.

Palavras chaves: Automação, Baixo custo, Controle do fluido, Microcontrolador, Motor de passo e Válvula.

Abstract of Master's Dissertation presented to PPGEQ/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Chemical Engineering

NFPR - A LOW-COST AUTOMATIC COLLECTOR SAMPLER

Berilo Costa de Matos Junior

July/2021

ABSTRACT

The evolution of automation in industrial processes has brought many benefits to humanity. The use of automatic systems has been growing and becoming more and more frequent in machines and projects. Aiming at greater production, reliability and cost reduction. Due to the high value of technological equipment, it is necessary to seek more financially viable alternatives to obtain efficient and accurate results. An issue commonly encountered in chemical engineering laboratories is the difficulty of collecting samples over a long period, eg experiments to determine adsorption breakthrough curve. Thus, this work proposes to develop a low-cost equipment, in which a liquid can be collected automatically. From a microcontroller, the Arduino Mega, it is possible to interconnect the programming technique with an open source language based on C++. Developing a command algorithm for the control and operation of stepper motors and solenoid valve. Several tests were performed for accuracy of positioning and volume collection for: 5, 10 and 15 ml. In which, the prototype presented good results defined by the mean and standard deviation of the collected samples. The implementation of this equipment tends to improve the working conditions of users, ensuring better accuracy, avoiding waste by manual collection and bringing convenience. It is observed that the prototype has a monetary value up to ten times lower than the equipment consolidated in the market. Demonstrating that it is a viable and promising proposal for laboratories that need automatic volume collection.

Keywords: Automation, Low cost, Fluid control, Microcontroller, Stepper motor and Valve.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Justificativa	19
1.2 Objetivo Geral	20
1.3 Objetivo Específicos	20
1.4 Organização do trabalho.....	21
CAPÍTULO II - REFERENCIAL TEÓRICO.....	23
2.1 Controle de processos industriais.....	23
2.1.1 Sistemas de controle.....	24
2.1.1.1 Sistemas de controle de malha aberta.....	25
2.1.1.2 Sistemas de controle de malha fechada.....	25
2.2 Automação.....	27
2.2.1 Microcontroladores.....	27
2.2.2 Sensores	29
2.2.3 Válvulas	30
2.3 Atuadores	30
2.4 Motor de passo	32
2.4.1 Motor de passo de relutância variável.....	34
2.4.2 Motor de passo de ímã permanente.....	35
2.4.3 Motor de passo híbrido.....	36
2.4.4 Modos de acionamento do motor de passo.....	37
2.4.4.1 Passo completo	37
2.4.4.2 Meio passo	38
2.4.4.3 Micropasso.....	38
2.4.5 Modos de ligações dos motores de passo.....	39
2.5 Máquinas ferramentas	40
2.5.1 Driver.....	41
2.5.2 Guias de movimento e fusos.....	42

2.6 Desenvolvimento de um projeto.....	44
2.6.1 Viabilidade econômica.....	44
CAPÍTULO III - METODOLOGIA	46
3.1 Elaboração do protótipo.....	46
3.2 Arduino.....	46
3.3 Motor de passo híbrido NEMA 23.....	47
3.4 Driver Microstep TB6600.....	49
3.5 Fuso de esfera SFU1605-4.....	51
3.6 Fonte de alimentação.....	51
3.7 Válvula Solenoide.....	52
CAPÍTULO IV – MONTAGEM.....	54
4.1 Estrutura mecânica da máquina.....	54
4.1.1 Base.....	54
4.1.2 Construção.....	55
4.2 Diagrama elétrico.....	60
4.3 Desenvolvimento da programação.....	61
4.4 Calibração.....	63
4.5 Funcionamento da máquina.....	64
CAPÍTULO V - ANÁLISE DOS RESULTADOS	67
5.1 Testes de velocidade do motor de passo	67
5.2 Testes de precisão da máquina	68
5.3 Testes de volume e tempo	70
5.3 Custos do protótipo.....	78
CAPÍTULO VI – CONCLUSÃO E SUGESTÕES	81
6.1 Sugestões de trabalhos futuros.....	82
CAPÍTULO VII – REFERÊNCIAS.....	83
ANEXO I	87
ANEXO II	89
ANEXO III	90

ANEXO IV	91
ANEXO V	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de controle em malha aberta simplificado.....	25
Figura 2. Sistema de controle em malha fechado simplificado.....	26
Figura 3. Microcontrolador Atmega2560	28
Figura 4. Motor de passo Nema 17.....	33
Figura 5. Motor de passo com relutância variável	34
Figura 6. Motor de passo de imã permanente	35
Figura 7. Motor de passo híbrido	36
Figura 8. Movimentação do motor de passo com “passo completo”	37
Figura 9. Controle de corrente para aplicação de micropassos.....	39
Figura 10. Tipo de ligações e número de terminais do motor de passo	40
Figura 11. Osmar, amostrador automático	41
Figura 12. Driver de motor de passo	42
Figura 13. Fuso de esferas	43
Figura 14. Arduino mega 2560 Rev3	47
Figura 15. Motor de passo bipolar com quatro terminais identificados.....	48
Figura 16. Configuração de chaveamento do driver microstep TB6600.....	49
Figura 17. Fuso de esferas SFU1605-4	51
Figura 18. Fonte de alimentação chaveada	52
Figura 19. Válvula Solenoide de três vias	53
Figura 20. Suporte metálico.....	55
Figura 21. Idealização do protótipo.....	56
Figura 22. Motor de passo acoplado ao fuso de esferas	56
Figura 23 – Peça de conexão dos eixos	57
Figura 24 – Peça de conexão do eixo com rodizio.....	58
Figura 25 – Rodizio giratório	58
Figura 26 – Estrutura da máquina com vista superior	59
Figura 27 – Diagrama de ligações completo do protótipo	61

Figura 28 - Ambiente do Arduino IDE.....	62
Figura 29 - Fluxograma do sistema em malha aberta.....	63
Figura 30 – Calibração dos eixos da máquina.....	64
Figura 31 – Suporte plástico com 30 furos para tubos de ensaios.....	65
Figura 32 – Diagrama da máquina com todos os equipamentos.....	66
Figura 33 – Distância entre os centros dos tubos de ensaio.....	69
Figura 34 – Becker de plástico graduado J. Prolab	71
Figura 35 – Análise do diagrama de caixa (boxplot) para o volume de 5 ml	76
Figura 36 – Análise do diagrama de caixa (boxplot) para o volume de 10 ml	77
Figura 37 – Análise do diagrama de caixa (boxplot) para o volume de 15 ml	78
Figura A.1 – Diagrama eletrônico da plataforma Arduino.....	87
Figura A.2 – Diagrama de Pinagem do Arduino.....	88
Figura A.3 – Dimensões técnicas do Fuso SFU 1605.....	90
Figura A.4 – Dimensões da válvula.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Especificação do motor de passo NEMA 23.....	48
Tabela 2. Configuração das chaves do Driver para micro etapas	50
Tabela 3. Configuração da corrente de saída do Driver.....	50
Tabela 4. Teste de velocidade da máquina.....	67
Tabela 5. Teste de coleta de amostras para um volume igual a 5 ml	72
Tabela 6. Teste de coleta de amostras para um volume igual a 10 ml.....	73
Tabela 7. Teste de coleta de amostras para um volume igual a 15 ml.....	74
Tabela 8. Média e desvio padrão das amostras	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Componentes do protótipo e seus valores.....	79
Quadro 2. Valores dos equipamentos no mercado.....	80
Quadro A.1 – Características específicas do TB6600	89

NOMENCLATURA

MP	Motor de passo
CNC	<i>Computer Numeric Control</i>
IHM	Interface Homem Máquina
RAM	<i>Random Access Memory</i>
ROM	<i>Read-Only Memory</i>
A/D	Analógico-Digitais
D/A	Digital-Analógicos
NEMA	<i>National Electrical Manufacturers Association</i>
θ_s	número de dentes do rotor
F_e	fases do estator
RISC	<i>Reduced Instruction Set Computer</i>
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternda
MP	Motor de Passo
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RPM	Rotação por minuto
A	Ampere
V	Volts

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão demonstradas e estabelecidas as questões iniciais deste trabalho, assim como a justificativa de elaboração, a finalidade que o protótipo pretende alcançar e a organização deste trabalho, do mesmo modo que, dos demais capítulos de maneira detalhada.

Segundo Wickert & Lewis (2015), os engenheiros projetam máquinas e estruturas, seguindo diversas etapas de desenvolvimento, e que possam servir a um objetivo útil e solucionar um problema. O projeto teórico original e o problema prático de fazer algo que funcione são temas por trás de qualquer empenho e desenvolvimento da engenharia. Um engenheiro cria uma máquina ou um produto para ajudar alguém a resolver um problema técnico. O engenheiro pode começar de uma página em branco, conceber algo novo, desenvolvê-lo e refiná-lo para que funcione confiavelmente, satisfazendo as restrições de segurança, custo-benefício e condições de manufatura.

O surgimento do computador provocou uma verdadeira revolução no projeto e na análise de engenharia. Problemas cujos métodos de solução eram conhecidos literalmente por séculos, e que continuavam sendo praticamente insolúveis devido à alta demanda computacional, agora podem ser resolvidos em minutos em microcomputadores de baixo custo (NORTON, 2013).

Em muitos sistemas modernos, o controlador (ou compensador) é um computador digital. A vantagem da utilização de um computador é que muitas malhas podem ser controladas ou compensadas pela mesma máquina através do compartilhamento de tempo. Além disso, quaisquer ajustes nos parâmetros do compensador necessários para fornecer uma resposta desejada podem ser realizados através de alterações no programa em vez de mudanças no equipamento (NISE, 2017).

O controle automático é essencial em qualquer campo da engenharia e da ciência. É um componente importante e intrínseco, por exemplo, em sistemas de veículos espaciais, sistemas robóticos, modernos sistemas de manufatura e quaisquer operações industriais que envolvam o controle de temperatura, pressão, umidade, viscosidade, vazão etc. Sendo assim, é desejável que a maioria dos engenheiros e cientistas estejam familiarizados com a teoria e a prática do controle automático (OGATA, 2010).

Encontramos estruturas de controle por toda a indústria de controle de processos, regulando o nível de líquidos em reservatórios, concentrações químicas em tanques, a espessura do material fabricado entre outros experimentos (NISE, 2017). Voltado para o controle de processos químicos, Urban (2018), afirma que, não são necessárias ferramentas caras para criar protótipos de instrumentação eletrônica para experimentos químicos. A prototipagem e personalização de instrumentos científicos são atualmente facilitadas por módulos eletrônicos populares: placas de microcontroladores e computadores de placa única.

Conforme Olsen (2012), a primeira menção de qualquer dispositivo automatizado na literatura química Norte-americana foi no ano de 1875 por Stevens, M.D., professor de química analítica no *College of Physicians and Surgeons of Indiana*. Seu dispositivo foi projetado para pingar água através de um pedaço de papel de filtro em uma taxa controlada para lavar um filtrado. Tratava-se de um reservatório de solução de lavagem selado, no qual, o ar era admitido através de uma abertura controlada. Quanto maior a abertura, mais rápido o líquido de lavagem gotejava do fundo e passava pelo papel de filtro. (OLSEN, 2012).

Com o avanço do controle ao longo dos anos, a automação está cada vez mais presente nos processos químicos, através de máquinas e equipamentos modernos para uma maior produção, confiabilidade e redução de tempo. Porém, esses sistemas automáticos requerem um maior valor monetário, de acordo com Towler & Sinnot (2013), muitos experimentos e processos químicos dependem da boa funcionalidade das máquinas e de materiais para que os trabalhos alcancem os resultados esperados. Contudo os custos desses equipamentos são elevados e há uma grande necessidade de investimentos financeiros para a compra de máquinas de boa qualidade.

Com isso, cria-se a necessidade de elaborar máquinas similares de baixo custo, aliando boa funcionalidade com opções flexíveis financeiramente. Projetos de baixo custo são muito utilizados para equipamentos de laboratório, principalmente na preparação de amostras antes da análise química. Esses dispositivos são alguns dos itens mais comumente encontrados na comunidade de hardware e software de código aberto. (COAKLEY, 2016).

Com o intuito de desenvolver uma solução para a problemática de coletas de amostras manuais em laboratórios de engenharia química, esse trabalho apresenta um

equipamento que possa realizar coletas de amostras de maneira automática, com um baixo custo. Segundo Carvalho & Murray (2018), uma ferramenta comum para obter automação em laboratórios é o amostrador automático. Amostradores automáticos são dispositivos robóticos que funcionam em conjunto com analisadores, permitindo que as medições sejam feitas sem a presença de um operador. Os amostradores automáticos são comumente adquiridos como parte integrante da configuração analítica e costumam ser responsáveis por uma parte substancial de seu custo total.

Em algumas literaturas são chamados também de coletores de frações, como no trabalho do Booeshghi *et al.* (2021), os coletores de frações realizam coletas de um determinado fluido e são preferíveis à coleta manual de amostras, que podem ser entediadas e com risco de introduzir erro humano. Esses equipamentos consistem em um rack carregado com recipientes para amostras e um braço distribuidor para coletar volumes fixos de um fluido. A maioria dos laboratórios atualmente depende de coletores de frações comerciais, que apresentam alto valor financeiro.

1.1. Justificativa.

A realização de diversos experimentos é uma temática importante e recorrente na engenharia química. Bem como a importância de desenvolver considerável habilidade por parte dos profissionais que executarão os experimentos práticos. Somando-se a isso, há ainda as implicações de custo para novos fornecedores são óbvias: os laboratórios são caros para construir e equipar, além de que, a supervisão adequada requer uma proporção muito maior de funcionários (BROWN, et. al. 2019).

Normalmente, a maioria dos experimentos são em escala de bancada, embora seja importante que os alunos façam algum estágio, para adquirir esse conhecimento, para operar em larga escala usando componentes padrão da indústria atual. Evitando assim, dificuldades para novos provedores que têm poucos fundos ou espaços nos laboratórios de grande proporcionalidade (BROWN, et. al. 2019).

Um problema comum em laboratórios de engenharia química é a dificuldade de coletar amostras, com uma frequência de aquisição constante e por um longo período de tempo, pois, normalmente, trata-se de um processo manual, em que necessita da presença do experimentalista no local. Um exemplo é o trabalho de Costa (2020), no qual, foram

realizados diversos ensaios da adsorção de diclofenaco de sódio em leito fixo, num significativo intervalo de tempo, para obter bons resultados.

O intuito desta dissertação é elaborar um equipamento que venha minimizar o erro da coleta manual e com pouca precisão do volume, para uma máquina automática. Efetuando uma coleta padronizada de volume da amostra, através do controle de vazão uma mini válvula ligada diretamente ao microcontrolador.

Um grande diferencial deste sistema é a plataforma Arduino, que possui ferramentas bem pertinentes para interligar os sistemas de componentes eletrônicos de fácil manuseio, largamente utilizados no mercado, permitindo a implementação de atuação automática e para auxílio na tomada de decisões. Possibilitando programar em uma interface e ambiente de código aberto (*open source*), onde há uma grande comunidade no mundo inteiro que publicam bibliotecas e funções específicas. (MCROBERTS, 2015).

Este equipamento foi criado para trazer comodidade ao usuário, principalmente aos discentes de engenharia química e áreas correlatas, que realizam experimentos químicos, em que necessitam coletar amostras por um longo período de tempo. Além de ser uma alternativa viável financeiramente, visando impulsionar o desenvolvimento de sistemas tecnológicos e automatizados em processos químicos, com um baixo custo e fácil utilização.

1. 2. Objetivo Geral.

Este trabalho tem como objetivo principal desenvolver um protótipo eficiente e de baixo custo financeiro, capaz de realizar automaticamente diversas coletas de líquido, a partir de um processo ou experimento químico. Apresentando muita precisão, tem a capacidade de coletar as amostras em frascos ou tubos de ensaios, com um volume padronizado e no intervalo de tempo determinado, através de uma válvula solenoide.

1. 3. Objetivos Específicos.

- Trazer comodidade ao usuário deste equipamento, reduzindo o tempo de coleta utilizado nesta tarefa.

- Desenvolver um sistema de automação para substituir um processo totalmente manual.
- Minimizar o erro de coleta. Assim como, padronizar o volume da amostra coletada, aumentando sua precisão.
- Buscar alternativas viáveis financeiramente para otimizar experimentos químicos e controle de processos químicos.
- Elaborar um algoritmo de controle, a partir de uma linha de programação padrão do microcontrolador. Para o controle da movimentação dos eixos do protótipo, da válvula solenoide e do tempo de coleta.

1.4 Organização do trabalho.

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

- Capítulo II (Referencial teórico), neste capítulo é apresentado os conceitos teóricos dos ensinamentos, métodos e contextos utilizados, para um melhor embasamento e compreensão do projeto. Embora alguns conceitos sejam mais complexos as informações citadas têm como foco principal o desenvolvimento do projeto.
- Capítulo III (Metodologia e equipamentos utilizados), neste capítulo está demonstrada a configuração do protótipo, detalhando cada elemento utilizado no processo e qual a sua função, assim como, a maneira que está sendo configurado. É demonstrado também as interações realizadas entre as ferramentas utilizadas neste equipamento.
- Capítulo IV (Montagem e desenvolvimento do protótipo), este capítulo aborda passo a passo a montagem do protótipo. O dimensionamento do equipamento e o seu desenvolvimento. São elaborados os procedimentos necessários para sua fase final de desempenho, nivelamento e calibração da máquina.
- Capítulo V (Análise dos resultados e discussões), neste capítulo são relatados e analisados os resultados obtidos do protótipo, qual sua eficiência, melhor aproveitamento, se apresenta alguma falha ou algo que pode prejudicar a execução do sistema. São discutidos seus resultados e os dados coletados durante um período de tempo determinado.

- Capítulo VI (Conclusões e trabalhos futuros), neste capítulo são apresentados os conceitos dos resultados sobre o funcionamento da máquina, o custo total do projeto e suas propostas de melhorias para o futuro.
- Capítulo VII (Referências Bibliográficas), todas as referências utilizadas e citadas neste trabalho.

CAPÍTULO II.

2. REFERENCIAL TEÓRICO.

Neste capítulo serão apresentados os principais tópicos que baseiam e direcionam o desenvolvimento deste trabalho. Os métodos e contextos utilizados, assim como, exemplos de aplicações similares encontrados na literatura. Dividindo-se em seis subseções, iniciando com o controle de processos industriais e finalizando com o desenvolvimento do projeto.

2.1 Controle de processos industriais.

Uma planta química é composta por um grande número de processos unitários e reacionais tais como: vasos de reatores, colunas de destilação, tanques de armazenagem, entre outros equipamentos, interconectados por uma rede complexa de correntes. Medições de vazões mássicas, temperaturas, ou de concentrações de componentes chaves, são rotineiramente feitas com o propósito de avaliar o desempenho (performance), segurança e controlabilidade do processo (VAZZOLER 2017).

Segundo Campos *et. al.* (2010), o termo “controle de processos” costuma ser utilizado para se referir a sistemas que têm por objetivo manter certas variáveis de uma planta industrial entre os seus limites operacionais desejáveis. Esses sistemas de controle podem necessitar constantemente da intervenção humana, ou serem automáticos, como, por exemplo, o controle de temperatura de um forno.

Na indústria tem sido cada vez mais necessária a busca por técnicas que permitam o controle dos sistemas complexos e processos industriais. Por exemplo, computadores, são utilizados em sistemas de controle de robôs industriais, veículos espaciais e principalmente na indústria de controle de processos. (NISE, 2017). Tal necessidade alavancou o desenvolvimento de diversos métodos de controladores que possam vir a solucionar alguns problemas que ocorriam nesses sistemas. Com o avanço da tecnologia, diversos processos industriais puderam ser automatizados e controlados sem a necessidade de um controlador manual.

Uma planta química ou processo químico é um conjunto de elementos em processamento de forma organizado, que cada parte do processo trabalhe de maneira plausível. Com um propósito de que o sistema consiga realizar suas referências em saídas

desejadas, de um modo eficiente e mais econômico. Podendo ser um processo simples ou altamente complexo (TOWLER & SINNOT, 2013).

Conforme Towler & Sinnot (2013), quando o projeto apresenta fundamentação em um processo ou produto já estabelecido, uma formulação mais complexa pode ser desenvolvida no início do protótipo. Como uma avaliação econômica de diversos processos de elaboração do projeto, embasados em pesquisas científicas, testes de planta piloto, assim como também consultas de mercado com fundamento em outros produtos.

2.1.1. Sistemas de controle.

Geralmente os problemas computacionais são complexos, no qual o operador precisa desenvolver técnicas que demandam tempo para solucionar certos problemas. Alguns casos são possíveis resolver por meio de comandos de controle sequenciais, porém são bem poucos. Na maioria das vezes é necessário associar os comandos de operação para que ocorram quando uma condição for alcançada ou por base de repetições (OGATA, 2010). Por isso, utilizam-se estruturas de controle, podendo ser de maneira de tomada de decisão, ação de controle direto, ou de forma cíclica, por repetições. Esse processo elabora a melhor técnica de controle a ser utilizada para o sistema.

Um sistema de controle consiste em subsistemas e processos (ou plantas) construídos com o objetivo de se obter uma saída desejada com um desempenho desejado, dada uma entrada especificada (NISE, 2017).

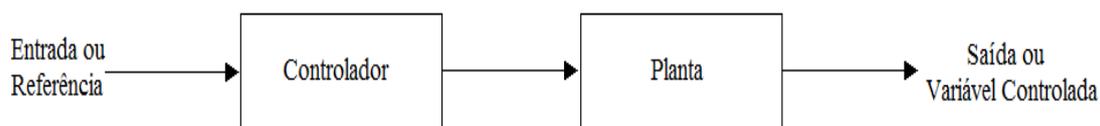
Os sistemas de controle são utilizados para manter uma relação viável entre uma entrada determinada ou uma referência e uma saída ou variável controlada. É necessário medir a quantidade de saída (variável de controle) para determinar a diferença entre o valor da variável de saída e um valor desejável, aplicando uma correção para minimizar essa diferença. Há diversas configurações dos sistemas de controle. Dentre as mais utilizadas é importante citar, malha aberta e malha fechada, que são descritas nas próximas seções (NISE, 2017).

2.1.1.1 Sistemas de controle de malha aberta.

Em qualquer sistema de controle de malha aberta, a saída não é comparada com a entrada de referência. Assim, o controle é implementado direto na planta ou variável a ser controlada. Dessa maneira, a precisão do sistema depende de uma calibração. Na presença de distúrbios, um sistema de controle de malha aberta não vai executar a tarefa desejada. Na prática, o sistema de controle de malha aberta somente poderá ser utilizado se a relação entre a entrada e a saída for conhecida e se não houver nenhum distúrbio interno ou externo (OGATA, 2010).

Nessa configuração a saída do sistema não influencia na entrada, esse tipo de sistema de controle, geralmente, é simples e economicamente viável, porém não compensa as possíveis variações dos parâmetros internos da planta, nem as perturbações externas inerentes a um controle de processo industrial. Na figura 1 é demonstrado uma definição simplificada de sistema de controle de malha aberta.

Figura 1. Sistema de controle de malha aberta simplificado.



Fonte: Autor.

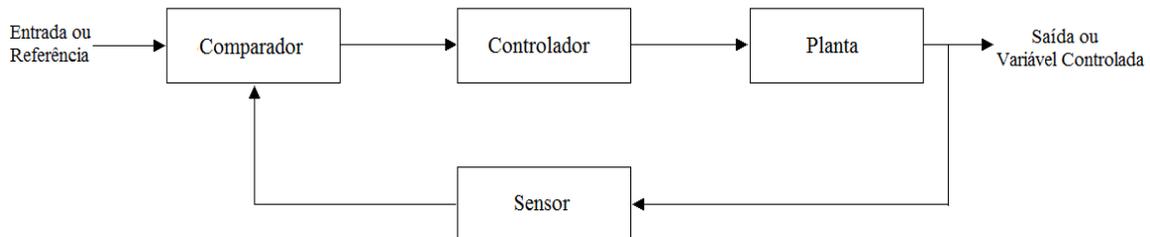
Um exemplo de controle em malha aberta, em processos químicos, foi o realizado por Olsen (2012), já citado neste trabalho, desenvolvido pelo professor de química analítica Thaddeus M. Stevens, MD, do *College of Physicians and Surgeons of Indiana*. No qual, elaborou um lavador de filtros.

2.1.1.2. Sistemas de controle de malha fechada.

Sistemas de controle de malha fechada são aqueles que utilizam o sinal de entrada e uma realimentação do sinal de saída da planta para alcançar um valor de saída desejado. Nessa configuração o controlador tem uma importante função, comparar o valor

desejado com o valor medido, se houver diferença entre eles, altera-se o sinal de controle de forma a minimizar esta diferença ou erro, para que a variável controlada alcance o seu valor desejado, compensando as perturbações externas. Um sistema de controle de malha fechada simplificado é representado pela figura 2.

Figura 2. Sistema de controle de malha fechada simplificado.



Fonte: Autor.

Assim, os sistemas em malha fechada possuem a vantagem óbvia de apresentar uma exatidão maior que os sistemas em malha aberta. Eles são menos sensíveis a ruídos, perturbações e alterações do ambiente. A resposta transitória e os erros em regime permanente podem ser controlados de modo mais conveniente e com maior flexibilidade nos sistemas em malha fechada, frequentemente pelo simples ajuste de um ganho (amplificação) na malha e, algumas vezes, ajustando-se o projeto do controlador (NISE, 2017).

Um exemplo desse tipo de controle, é uma aplicação de regulação da temperatura de um processo químico. A vazão de um reagente químico para um processo é controlada por um atuador e uma válvula. O reagente faz com que a temperatura na cuba se modifique. Essa temperatura é medida e comparada a uma temperatura de referência desejada em uma malha fechada, onde a vazão do reagente é ajustada para resultar na temperatura desejada. (NISE, 2017).

2.2 Automação.

O termo automação foi criado na década de 1940 por um engenheiro da Ford Motor Company, que descreveu vários sistemas nos quais ações e controles automáticos substituíam o esforço e a inteligência humanos. Nessa época, os dispositivos de controles eram eletromecânicos por natureza. A parte lógica era realizada por meio de relés (dispositivos eletromecânicos que são acionados por corrente elétrica) e temporizadores intertravados, e a intervenção humana acontecia em alguns pontos de decisão. Por meios de relés, temporizadores, botões, posicionadores mecânicos e sensores, podiam ser realizadas sequências simples de movimento lógico ao ligar e desligar motores e atuadores (LAMB, 2015).

Conforme Lamb (2015), a automação é definida como a aplicação de comandos lógicos e de equipamentos mecanizados para substituir as atividades manuais que envolvam tomada de decisão, otimizando a produtividade e reduzindo a necessidade de requisitos e atuação humana.

Em qualquer outro lugar que demande produção de algum bem, os benefícios da automação industrial podem ser considerados ilimitados, pois ao automatizar um processo, é possível aumentar significativamente o seu desempenho em todos os seus aspectos. Este motivo, por si só, já é um grande responsável por fazer com que a automação industrial seja cada vez mais popular em todo o mundo (SILVEIRA, 2014).

O aumento na complexidade dos sistemas automatizados nas fábricas cresce com o lançamento de novas tecnologias, em busca por sustentabilidade e eficiência dos equipamentos eletrônicos. A modernização do parque industrial das fabricas tem exigido uma evolução constante dos dispositivos de controle, objetivando uma maior qualidade nas respostas dos sistemas e custos reduzidos de produção.

Para a elaboração deste projeto, foi adotado como base a eficiência da automação aliado ao controle de processos industriais. Neste caso utiliza-se métodos de controle por microcontroladores juntos com dispositivos eletrônicos, essa combinação visa gerar confiabilidade e precisão para o sistema, além de apresentar uma dinâmica maior.

2.2.1 Microcontroladores.

O microcontrolador é um dispositivo semicondutor em forma de circuito integrado, que integra as partes básicas de um microcomputador - microprocessador,

memórias não-voláteis e voláteis e portas de entrada e saída. Geralmente, é limitado em termos de quantidade de memória, principalmente no que diz respeito à memória de dados, é utilizada em aplicações específicas, ou seja, naquelas que não necessitam armazenar grandes quantidades de dados, como automação residencial, automação predial, automação industrial e automação embarcada (GIMENEZ, 2018).

A automação com a utilização de microcontroladores e sistemas embarcados vêm se tornando algo muito atrativo nos últimos anos tanto na área comercial quanto na área de ensino, pois atualmente dispõe-se de sistemas com alto grau de integração de componentes e uma linha de processadores com um conjunto simples e pequeno de instruções (ARDUINO, 2020). Um exemplo desse dispositivo é o Atmega2560, utilizado nas plataformas Arduino Mega e demonstrado na Figura 3.

Figura 3. Microcontrolador Atmega2560.



Fonte: ATMEL, 2021.

Em um passado recente os microcontroladores eram pouco utilizados, devido ao seu alto custo de aquisição. Começou então, a existir a necessidade de ter um avanço da tecnologia na área dos microcontroladores que são versáteis e possuem vários elementos necessários para executar um projeto: Memórias RAM (*Random Access Memory*) e ROM (*Ready-only Memory*), contadores, canais de comunicação e conversores de sinais analógico-digitais A/D e digital-analógicos D/A. Essa nova capacidade generalizou o seu uso como base para plataformas de computação dinamicamente reconfiguráveis, onde múltiplas funções partilham o espaço de configuração, sendo implementadas quando necessário e substituídas por outras, quando dispensáveis. (GIMENEZ, 2018).

Com a constante queda de preço dos dispositivos eletrônicos e de instrumentação, o mercado entrou em expansão e seu alcance se tornou cada vez maior, com grande atuação principalmente na área de automação residencial, automação predial, nas indústrias automobilísticas e nas indústrias de telecomunicações.

O microcontrolador nada mais é que um microcomputador implementado em um único circuito integrado, no qual estão integradas todas as unidades básicas de um computador (GIMENEZ, 2018). Outro fator importante é a comodidade que esses sistemas promovem ao usuário, podendo estar interagindo com vários outros dispositivos num período curto de tempo.

Deve-se ressaltar algumas vantagens dos microcontroladores que são: baixo custo, baixo consumo de energia, tamanho reduzido e contém dispositivos internamente que facilitam seu funcionamento de uma forma independente, porém sem perder sua eficácia. Com essas vantagens as pesquisas por técnicas de qualidade e de bom desempenho em sistemas de automação vêm crescendo de maneira surpreendente. Com isso, as oportunidades que surgem no mercado atual vêm ampliando as ideias e aplicações de automação nos processos (GIMENEZ, 2018).

2.2.2. Sensores.

Os sensores são usados para converter variáveis físicas em uma forma de energia mensurável. Esta forma de energia é usada para fornecer direta ou indiretamente uma indicação visual, como um sinal de controle do indicador ou como um sinal para um controlador. O condicionamento de sinal se refere a modificações ou mudanças necessárias para corrigir variações nas características de entrada e saída de um sensor (DUNN, 2005).

O desenvolvimento de sensores e a sua aplicação trouxe como consequência inúmeras vantagens ou comodidades para a vida moderna. Desde a possibilidade de aumentar a eficiência no funcionamento de um motor ou de uma linha de produção, realizar uma pesquisa científica com maior precisão e em menor tempo, até o fato de poder estacionar o carro sem o perigo de batê-lo ou de ter a segurança de que qualquer tentativa de furto de sua casa poderá ser frustrada, tais são as vantagens oferecidas pelo uso de sensores (PATSKO, 2006).

Os instrumentos para medição são desenvolvidos para avaliar as variáveis do sistema durante sua funcionalidade. Podendo ser implementados em diversos processos de controle moderno ou para apenas medições constantes de sistemas com simples repetitividade de operação. Geralmente, nas plantas industriais os instrumentos para medição são acoplados a servidores com banco de dados, para guardar as informações coletadas periodicamente. Dentre uma vasta variedade, os sensores digitais que fornecem um sinal liga ou desliga (*on-off*), estão entre os mais utilizados em sistemas de controle. (LAMB, 2015).

2.2.3. Válvulas.

As válvulas são o elemento final em uma malha de controle e são essenciais para fornecer o fluxo correto para o controle do processo. A válvula está sujeita a operação em condições muito adversas, é um dos elementos mais caros no sistema de controle de processo. A escolha e instalação correta requer conhecimento e experiência. Deve-se prestar muita atenção aos requisitos do sistema e às especificações dos fabricantes, só então uma seleção cuidadosa da válvula pode ser feita (DUNN, 2005).

Outros fatores que determinam a escolha do tipo de válvula são a resistência à corrosão, faixas de temperatura de operação, altas e baixas pressões, velocidades e fluidos contendo sólidos. A instalação correta da válvula é essencial; as recomendações do fornecedor devem ser seguidas cuidadosamente (DUNN, 2005).

Válvulas são dispositivos capazes de determinar a direção de um fluido de um sistema. São muito utilizados em controle de processos industriais, onde apresentam solução eficaz se selecionadas corretamente. Dentre algumas válvulas, é importante destacar as válvulas pneumáticas solenoides, que operam eletricamente, movendo uma bobina dentro deste dispositivo (LAMB, 2015).

2.3. Atuadores.

Entende-se por acionamento o conjunto composto pelo motor e seu sistema de partida, mais aparelho eletrônico de controle envolvido e dispositivo de movimentação, sendo que um acionamento elétrico é um sistema capaz de converter de forma controlada energia elétrica em energia mecânica. (GOELLNER, 2006).

Entende-se que esses dispositivos responsáveis pelo acionamento de sistemas de automação são determinados de atuadores. No qual, esses componentes são capazes de converter ou modificar um tipo de energia fornecida, por outra diferente. Geralmente a fim de controlar o movimento ou posição de uma peça ou dispositivo (LAMB, 2015).

Existem diversas classificações de atuadores, sendo a mais usual aquela que os distingue segundo a fonte de energia consumida. Assim, os atuadores mais utilizados em robótica se dividem em hidráulicos, pneumáticos e elétricos. Os atuadores hidráulicos se caracterizam por ter como fonte de energia um líquido que se desloca por um duto de entrada com uma pressão adequada; esse líquido, em geral, é algum tipo de óleo ou simplesmente água. Os atuadores pneumáticos têm como fonte de energia um gás pressurizado, geralmente ar comprimido. Os atuadores elétricos utilizam energia elétrica para seu funcionamento (PAZOS, 2002).

As máquinas elétricas rotativas são destinadas a realizar a conversão de energia elétrica em energia mecânica. Esse tipo de transformação ocorre pela interação entre as correntes elétricas e os campos magnéticos da mesma. Inicialmente o desempenho das máquinas elétricas se dá a partir das forças eletromagnéticas, produzidas pela relação dos campos magnéticos, estimulado pelas bobinas. Geralmente uma bobina é fixada representando o estator da máquina, e a outra de movimentação ao eixo da máquina, parte móvel (UMANS, 2014).

Os motores elétricos são peças fundamentais nos acionamentos de sistemas de automação, que necessitam de movimentação de carga e que precise de uma precisão controlada de posicionamento. Dentre as variações dos motores elétricos a opção de escolha do motor adequado, é determinado pelo projetista. Qual o mais viável a ser utilizado em um protótipo.

Conforme Pazos (2002), os motores de corrente alternada, são mais utilizados no meio industrial por apresentarem atrativos na questão econômica e mais robustez, com torque elevado, nas operações. Porém não são muito empregados em robótica, quando comparados aos motores de corrente contínua, devido ao seu elevado dimensionamento e a sua dificuldade no controle de velocidade e torque eficaz.

Os motores de corrente contínua, muito utilizados em robótica, possuem um par de terminais que devem ser ligados numa fonte de alimentação; a polaridade da fonte determina o sentido de rotação do eixo do motor. Seu movimento é suave e contínuo, e,

com uma redução mecânica apropriada, são capazes de desenvolver um alto torque em volumes reduzidos. A principal desvantagem consiste na dificuldade para o controlador de conhecer exatamente a posição do eixo e a velocidade de rotação, devido a que esta última é fortemente dependente da carga. Por esse motivo, não é possível controlar o funcionamento desses motores em malha aberta, sendo, portanto, necessário para a maioria das aplicações, colocá-los dentro de um sistema de controle em malha fechada, com um sensor de posição e/ou de velocidade para poder determinar essas grandezas em forma precisa (PAZOS, 2002).

Dentre os motores de corrente contínua (CC), os motores de passo destacam-se para aplicações de automação e controle que não exigem torque elevado. A questão de custo benefício também é uma vantagem já que ao longo dos anos os valores desses motores vêm diminuindo gradativamente. (TOEBE, 2015).

2.4. Motor de passo.

Segundo Overby (2011), uma grande quantia de máquinas CNC baseadas em oficinas disponíveis no mercado atual, utilizam os motores de passo. Esse tipo de motor possui um número considerável de polos magnéticos inclusos no enrolamento do estator. Com essa grande quantidade de polos possibilita que a parte rotativa da máquina tenha movimento gradativamente rotacional. Essa capacidade é intrínseca a todos os motores de passo, no qual para um motor de passo de 200 divisões de rotação, cada rotação é equivalente a 1,8 graus. Onde é derivado de 360 graus de uma rotação que é dividida em 200 partes.

Os motores de passo estão disponíveis em vários tamanhos físicos e seguem uma especificação do setor para padrões conhecidos como *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA). Os tamanhos específicos normalmente usados em dispositivos CNC, como máquinas de gravação, roteadores e moinhos são NEMA 17, NEMA 23, NEMA 34 e NEMA 42. É importante observar que quanto menor o número, menor o tamanho do quadro para montar o motor. Por exemplo, um motor NEMA 23 é de 2,3 polegadas (OVERBY, 2011).

Uma característica importante do motor de passo é sua compatibilidade com os sistemas eletrônicos digitais. Esses sistemas são comuns em uma ampla variedade de

aplicações e continuam tornando-se mais potentes e menos dispendiosos. Por exemplo, o motor de passo é usado com frequência em sistemas de controle digital em que o motor recebe comandos a laço aberto na forma de um trem de pulsos para girar um eixo ou mover um objeto por uma distância específica (UMANS, 2014).

Motor de passo é um equipamento eletromecânico bastante aplicado em protótipos, no qual necessitam de movimento controlado, sincronismo e técnicas de precisão no ângulo de rotação. Com o alto desenvolvimento das tecnologias são utilizados em diversos ramos como em elaborações de routers, máquinas CNC, braço robótico, impressora 3D, scanners e etc.. Na Figura 4, é demonstrado um motor de passo NEMA 17.

Figura 4. Motor de passo Nema 17.



Fonte: WOTIOM 2020.

Pelo fato dos motores de passo não possuírem escovas ou comutadores, aumentam a vida útil do mesmo. Apresentam um valor financeiro menor, comparados a outros sistemas de acionamento, são de custo mais baixo. Aliados a obtenção da precisão posicional em situações normais. Fácil implementação em sistemas de posicionamento em malha aberta, desde que o motor de passo opere com um torque especificado, pois o posicionamento do seu eixo é identificado mesmo sem a necessidade de um mecanismo de realimentação.

Os motores de passo também apresentam certas desvantagens em sua utilização. Quanto ao seu funcionamento, necessitam de um sistema de acionamento mais complexo,

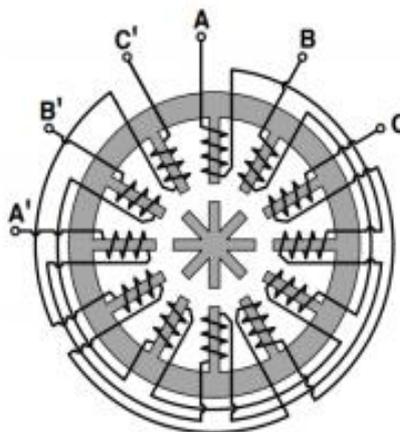
para controlar a faixa de tensão e a corrente contínua de operação. O seu custo computacional aumenta se o sistema de controle exigir bastante precisão, tornando-o um processo mais dificultoso. Além de apresentar baixo desempenho em altas velocidades de operação (UMANS, 2014).

Os motores de passo estão no mercado disponíveis em uma ampla diversidade de modelos e configurações. Essas configurações são apresentadas como, de relutância variável, ímã permanente e híbrida, que são descritos nas próximas seções.

2.4.1. Motor de passo de relutância variável.

Os motores de passo de relutância variável são utilizados em processo que não necessitam de um torque elevado e uma precisão mais apurada. Em que o campo magnético é gerado pela energização das bobinas para alinhar o seu eixo. Demonstrado pela Figura 5.

Figura 5 – Motor de passo relutância variável.



Fonte: CONSTANDINOU, 2003.

De acordo com Toebe (2015), quando uma das fases do motor de passo é excitada, um fluxo magnético parte de um dos seus polos em direção ao rotor, onde transitam até entrarem no outro polo complementar. Dessa forma o movimento não depende do sentido da corrente, somente do fluxo magnético criado pelas bobinas acionadas. Neste caso tanto o rotor como o estator possuem dentes e quando estão alinhados o motor

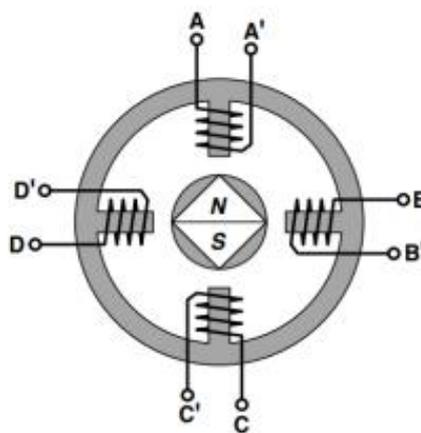
apresenta a menor relutância magnética. Com isso, ao dar início ao funcionamento do motor de passo, os polos que se encontram desalinhados tendem a se alinhar quando gerado o novo fluxo magnético, produzindo um torque tangencial que resultará na rotação do eixo do motor.

2.4.2. Motor de passo de ímã permanente.

Como no próprio nome é ressaltado, sua maior característica é apresentar no rotor um ímã permanente, e não possui dentes. Quando não tem corrente nas bobinas, este motor de passo apresenta posição fixa pelo fluxo magnético criado pelo ímã do rotor. Devido a sua facilidade de construção, apresentam um baixo custo financeiro se tornando assim mais acessíveis no mercado (HUGHES, 2006).

Segundo Constandinou (2003), a vantagem desse tipo de motor é apresentar um campo magnético permanente adicionando ao campo magnético das bobinas, gerando maior potência em sua partida inicial. Porém por apresentarem um passo maior, existe uma desvantagem que é a menor precisão, o que para sistemas complexos não são aconselhados. Este motor é mostrado pela Figura 6.

Figura 6 – Motor de passo de ímã permanente.

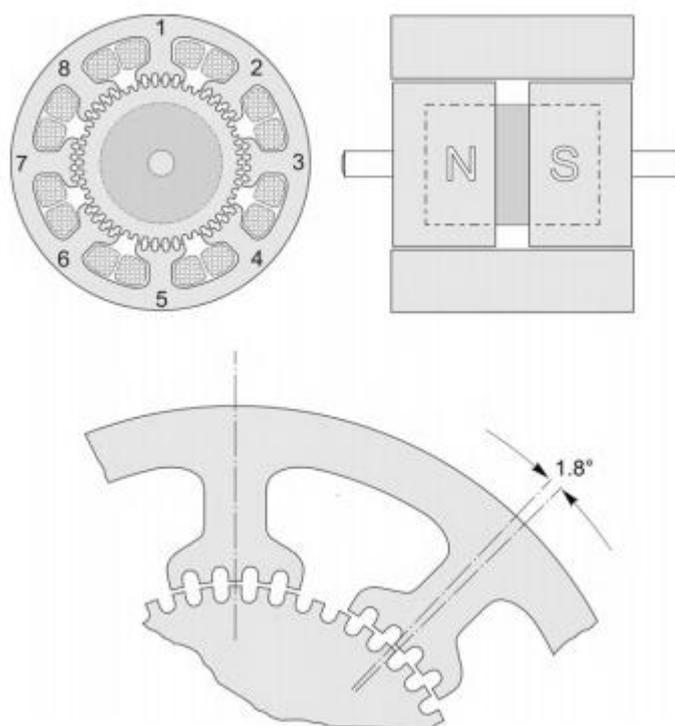


Fonte: CONSTANDINOU, 2003.

2.4.3. Motor de passo híbrido.

Conforme Hughes (2006), o motor de passo híbrido é uma combinação dos motores de relutância variável e ímã permanente. Neste motor as bobinas de fases diferentes se aloca no mesmo polo. No qual, cada polo não pertence a uma só fase, produzindo assim, polaridades magnéticas diferentes quando energizadas. Muito utilizado em robótica e sistemas complexos, que exigem grande precisão na movimentação dos ângulos de passos. O desenho do motor de passo híbrido e os detalhes do seu alinhamento do rotor e do dente do estator são mostrados na Figura 7, assim como o ângulo de passo.

Figura 7 - Motor de passo híbrido.



Fonte: (HUGHES, 2006).

A construção do motor híbrido é feita de forma que haja dois polos magnéticos no rotor. A característica construtiva deste motor permite a alternância no alinhamento dos dentes do rotor e do estator, fazendo que quando uma fase é excitada, uma parcela dos dentes alinha-se a ela enquanto outras não, e este desalinhamento permite a reversão de sentido a qualquer momento (TOEBE, 2015).

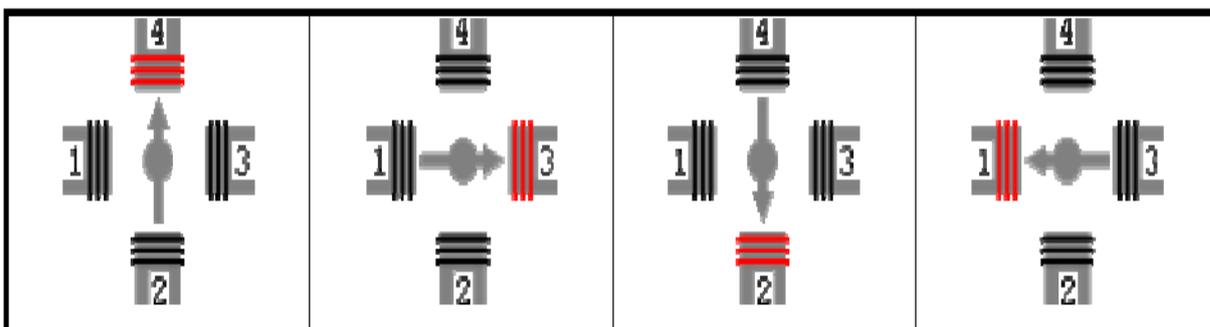
2.4.4. Modos de acionamento do motor de passo.

O motor de passo realiza movimentos como de passo completo, meio passo e micropasso. Cada movimentação deste motor é determinada pelo usuário dependendo da necessidade do seu problema. Entre os principais modos de acionar um motor de passo são descritos alguns métodos nas próximas seções deste trabalho.

2.4.4.1. Passo completo.

A determinação sequencial do número de passos é dado pelo número de alinhamentos viáveis entre o rotor e as bobinas. No caso da movimentação em “passo completo”, o motor pode ter excitação em uma ou duas fases. A Figura 8, demonstra a seqüência de acionamento do “passo completo” do motor de passo (GOELLNER, 2006).

Figura 8 – Movimentação do motor de passo com “passo completo”.



Fonte: GOELLNER, 2006.

Quando a excitação é feita acionando duas fases ao mesmo tempo, o movimento possui vibração menor e um torque mais elevado quando comparado ao gerado pelo acionamento alternado. Entretanto, há um aumento no consumo e no aquecimento devido ao fato de a corrente de referência ser aplicada sempre com o módulo máximo sobre os enrolamentos de ambas as fases (TOEBE, 2015).

2.4.4.2. Meio passo.

Neste caso, a movimentação em “meio passo”, também pode ter excitação de uma ou duas fases do motor. Esta redução pela metade no passo visa o aumento da precisão do motor, podendo com isso, reduzir a velocidade na movimentação.

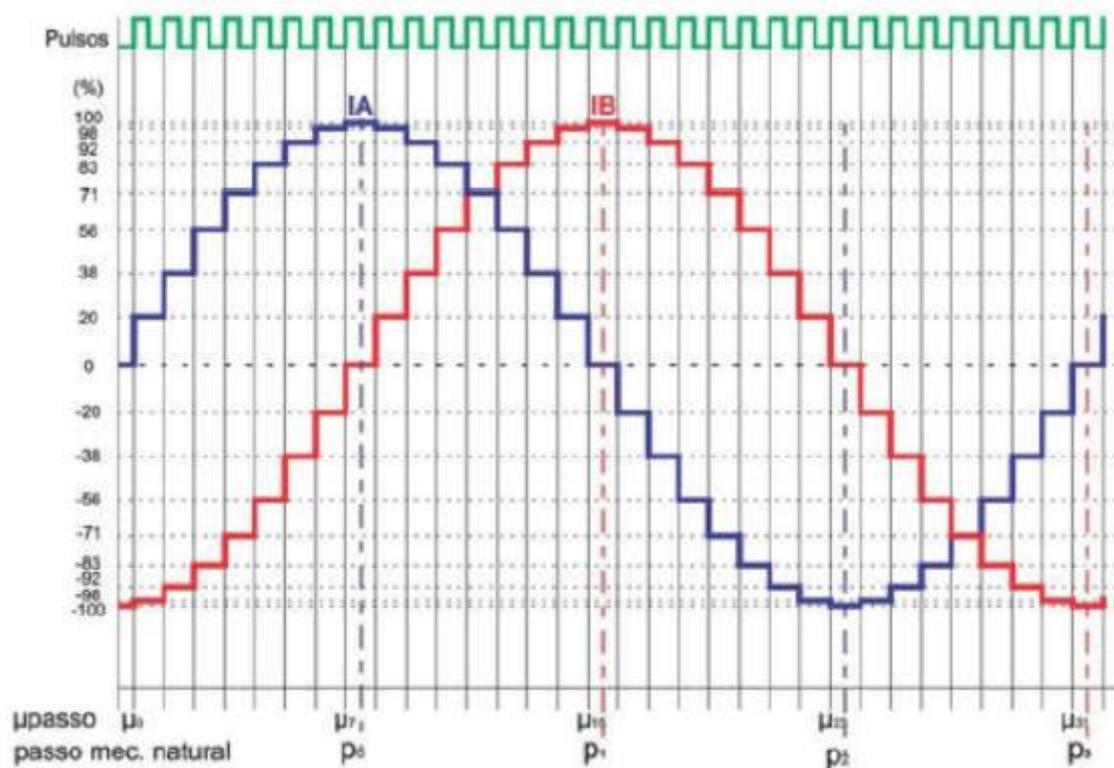
A de meio passo, magnetiza, entre um passo e outro, apenas uma bobina (ou um grupo de bobinas), com o qual consegue que o rotor se alinhe com seus pólos entre dois pólos do estator e não apontando para um deles, provocando uma rotação da metade do passo. A vantagem do meio passo é um movimento mais suave pois o ângulo de giro se reduz à metade, a desvantagem é um torque de retenção menor (PAZOS, 2002).

2.4.4.3. Micropasso.

De acordo com Toebe (2015), os micropassos ocorrem quando as correntes nas bobinas dos MP variam continuamente (geralmente controladas por um *driver* ou circuito integrado) para serem capazes de “quebrar” um passo completo em diversos passos discretos menores. Esses micropassos auxiliam muito na precisão do sistema que está sendo desenvolvido, em baixas velocidades.

Entretanto, se as amplitudes das correntes forem distintas, será possível manter o rotor posicionado de forma a se aproximar do polo no qual a corrente está com a amplitude maior. Controlando o sistema de alimentação das bobinas com vários níveis de corrente, é possível fazer a divisão dos passos mecânicos em muitos micropassos. Como exemplo, a Figura 9 apresenta o circuito de controle de corrente para realizar a divisão dos passos mecânicos em oito micropassos, e conforme são aumentados os números de degraus, o sinal de referência de corrente tende a seguir uma senoide (TOEBE, 2015).

Figura 9 – Controle de corrente para aplicação de micropassos.



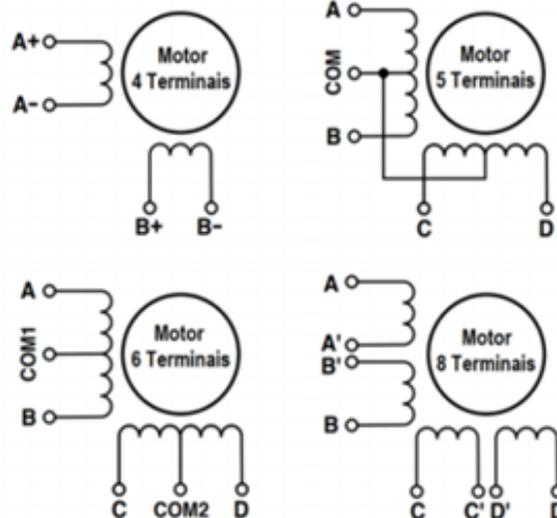
Fonte: TOEBE, 2015.

2.4.5. Modos de ligações dos motores de passo.

Conforme Constandinou (2003), os motores de passo podem ser acionados de diferentes modos. Os motores de passo podem apresentar as ligações unipolar ou bipolar, tanto no caso do motor unipolar, quanto o bipolar os motores podem apresentar quatro, cinco, seis ou oito terminais de ligação. Essa diferença de terminais é a opção do fabricante, já que as estruturas dos motores de passo não variam muito. Ficando a critério do usuário realizar de maneira adequada a seleção de acionamento. A Figura 10 ilustra a quantidade de terminais e os tipos de ligações dos motores de passo.

Figura 10 - Tipo de ligações e número de terminais do motor de passo.

Motor	Ligação
4 terminais	Bipolar
5 terminais	Unipolar
6 terminais	Unipolar Bipolar (ligação série)
8 terminais	Unipolar Bipolar (ligação série) Bipolar (ligação paralela)



Fonte: Adaptado de CONSTANDINOU (2003).

2.5. Máquinas ferramentas.

São capazes de interpretar e executar com precisão comandos contendo informações numéricas, nos últimos anos viram as máquinas ferramentas se tornarem plataformas para automatizar diversos processos, como impressão 3-D, corte a laser, usinagem, montagem de diversos equipamentos e muitas outras aplicações para solucionar um determinado problema. (CORREA, 2017).

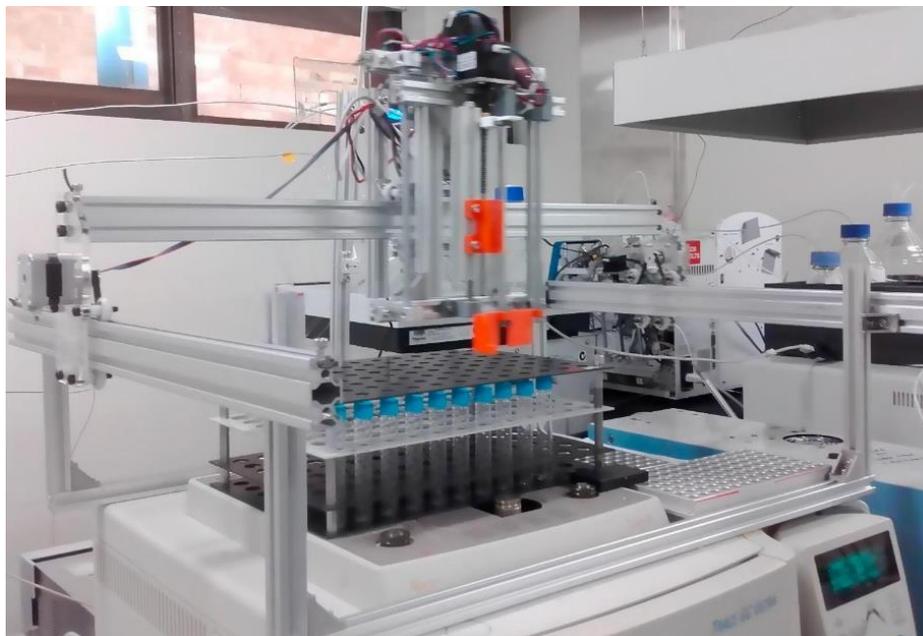
Por contar com um nível tecnológico interessante, este tipo de equipamento opera atendendo os movimentos estabelecidos pelo projetista nos eixos determinados na elaboração deste sistema. Funcionando de uma forma que garanta a precisão, segurança e qualidade no processo (OVERBY, 2011).

O ecossistema de eletrônica para essas máquinas fornecem tecnologias de microprocessamento e detecção acessíveis que têm o potencial de liderar o caminho para ferramentas controladas inteligentes. Guiado pelo custo decrescente das plataformas de desenvolvimento baseadas em microprocessador (*Arduino, Ti LaunchPad, Teensy, Beaglebone*), alguns dos aplicativos de controle numérico computadorizado (roteadores CNC, cortadores a laser e impressoras 3D) migraram rapidamente de um hardware proprietário para sistemas de hardware de código aberto (CORREA, 2017).

De acordo com Carvalho & Murray (2018), um exemplo dessa máquina ferramenta é o Osmar, um amostrador automático de microsseringa de código aberto.

Esse protótipo é uma alternativa viável, de baixo custo e tecnicamente acessível para amostragem automatizada com microseringas, também podendo ser adaptado e expandido para tarefas mais gerais de manuseio de líquidos, representado pela Figura 11.

Figura 11 – Osmar, amostrador automático.



Fonte: CARVALHO & MURRAY (2018).

A elaboração de uma máquina ferramenta é de fundamental importância para o aprendizado em universidades e instituições de ensino, pois os alunos podem desenvolver e realizar projetos na prática o que se aprendem nas salas de aula. Porém nem sempre essas instituições possuem laboratórios sofisticados, devido ao alto custo financeiro dos equipamentos e produtos. Por isso, esse trabalho apresenta uma máquina ferramenta para solucionar a falta de equipamentos automatizados no laboratório de engenharia química da Universidade Federal do Pará (UFPA).

2.5.1. Driver.

São responsáveis pela comunicação dos controladores com os motores de passo. Eles são elementos lógicos que auxiliam no acionamento e no controle dos atuadores, sendo utilizado para determinar o sentido da corrente e a tensão que chega em um atuador. Esse circuito integrado é bastante utilizado, pois opera de uma forma simples e clara no

controle do sentido de rotação além da facilidade de implementação nos sistemas eletromecânicos (PAZOS, 2002). A Figura 12, ilustra um driver de motor de passo robusto.

Figura 12 – Driver de motor de passo.



Fonte: WOTIOM, 2020.

Drives são dispositivos que aceitam e amplificam a taxa de frequência de sinalização proveniente da placa de saída. É necessário um inversor para cada motor a ser usado. (OVERBY, 2011). Para que tenha uma facilidade na inversão de polaridade dos motores de passo, colaborando para a rotação em ambos os sentidos mesmo em funcionamento.

Os drivers de motores atuais são empregados em máquinas CNC para monitorar a velocidade dos motores em tempo real em malha aberta e direta ou por malha fechada com auxílios de dispositivos de medição. Outra vantagem é o método de ligação direta a fontes de alimentações e sistemas de eletrônica de potência. (OVERBY, 2011).

2.5.2. Guias de movimento e fusos.

Para a construção de uma máquina CNC, os eixos têm grande importância para o deslocamento de seus elementos. Guias lineares e barramentos são utilizados para as movimentações e deslizamentos.

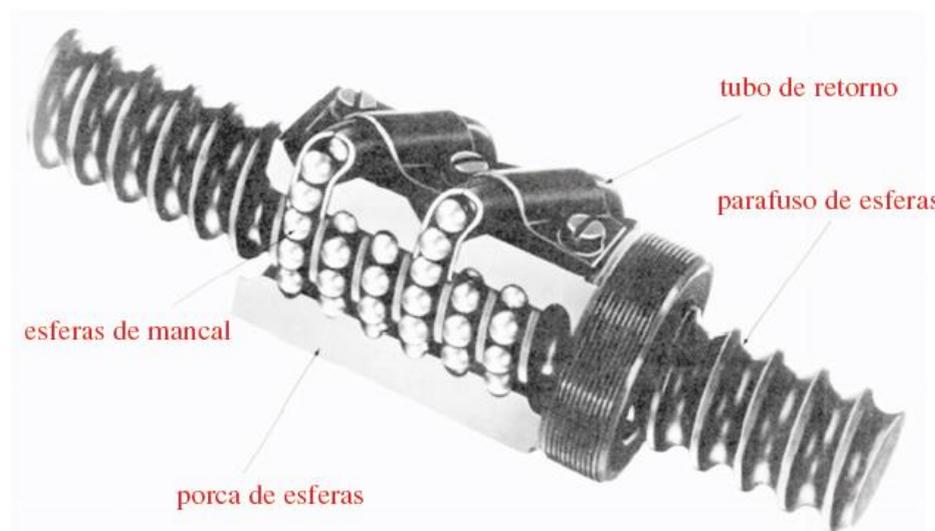
Conforme Nascimento (2011), as guias e os eixos com barramentos são componentes fundamentais em máquinas em geral, por apresentar grande responsabilidade sobre fatores como folgas excessivas e vibrações que diminuem a precisão da máquina. Os barramentos e guias tem a função de sustentar os eixos das máquinas e também responsável pela movimentação, para que aconteça de maneira suave e sem vibrações dispensáveis visando um bom funcionamento do equipamento.

Os fusos são componentes responsáveis por transformar movimentos circulares em movimento linear, geralmente em projetos de máquinas que são movidas a motores de passo para a rotação, esses fusos são utilizados para a converter em movimento linear. Existem alguns tipos de fusos, como os fusos trapezoidais, de esferas e outros. Cabe ao usuário escolher qual melhor encaixa no seu projeto (NORTON, 2013).

Segundo Norton (2013), o fuso de esferas é mais utilizado que o trapezoidal pelo fato de conseguir um desempenho maior nas máquinas, porém os fusos trapezoidais apresentam uma saída mais viável financeiramente para projetos de baixo custo e que não necessitam de uma precisão mais apurada.

Uma redução significativa no atrito de rosca pode ser obtida com o uso de parafusos de esferas, os quais utilizam um trem de esferas de rolamento na porca para criar condições aproximadas de contato de rolamento com os filetes de rosca do parafuso, como mostrado na Figura 13. A forma da rosca é moldada para encaixar as esferas e é usualmente endurecida e retificada para ter uma vida longa (NORTON, 2013).

Figura 13 – Fuso de esferas.



Fonte: NORTON, 2013.

2.6. Desenvolvimento de um projeto.

Durante a década de 1990, a Internet tornou-se muito popular e apresentou um novo meio de comunicação para trocar e visualizar informações. Da mesma forma, Intranets se tornaram uma ferramenta largamente utilizada pelas empresas para trabalharem juntos em projetos de seus próprios computadores. A tecnologia baseada em internet é aplicada para facilitar o intercâmbio de informação e compartilhamento de recursos entre as equipes de projeto, pois partes internas e externas podem se comunicar e compartilhar dados de forma mais rápida e eficaz. A maioria das ferramentas de aplicação para engenharia química foram desenvolvidas para fins específicos, chegando a um elevado nível de maturidade. (VAZZOLER, 2017).

Um projeto de engenharia para plantas de processo envolve uma série de atividades multidisciplinares e uma equipe de especialistas distribuídos em diversas disciplinas como processamento, mecânica, tubulações, arranjo e arquitetura, elétrica, instrumentação e automação, segurança, entre outros. A troca de informações entre os membros das equipes é intensa e um grande volume de informação é gerado na forma de documentos, que consolidam a confecção do projeto. (VAZZOLER, 2017).

2.6.1. Viabilidade Econômica.

Os aspectos financeiros de um projeto também devem ser considerados. Os projetistas de sistemas de controle não podem criar projetos sem considerar seus impactos econômicos. Essas considerações, como a alocação de orçamento e preços competitivos devem orientar o engenheiro. (NISE, 2017).

Quando engenheiros de pesquisa e desenvolvimento, desenvolvem produtos e processos, eles precisam verificar a sua viabilidade financeira, ou seja, garantir que o produto tenha um valor agregado suficientemente alto para pagar a sua produção em uma dada escala. Em outros termos, o retorno de ativos (capital da empresa) deve ser superior ao que os investidores definirem como seu critério de retorno investimento (CRI) dentro de um dado volume de fluxo de caixa. O engenheiro de desenvolvimento, para tal fim, deve ser capaz de estimar custos com matérias-primas, empacotamento de material, produção, tratamentos e custos de capital. (VAZZOLER, 2017).

Conforme Towler & Sinnott (2013), um dos principais critérios para o desenvolvimento de um projeto é a viabilidade econômica, assim como outros fatores como segurança, qualidade do projeto e impacto ambiental. A viabilidade econômica comumente está relacionada a outros fatores como análise de custos e pesquisas de retorno financeiro sobre o investimento inicial.

Essa análise financeira deve ser realizada com cautela pelo responsável, visando sempre a otimização do produto ou processo e a redução de custos na produção e manutenção do mesmo. Quando isso ocorre a empresa tem grandes chances de se consolidar no mercado com seu novo produto.

CAPÍTULO III.

3. METODOLOGIA.

Após a definição do conceito teórico do protótipo, agora segue para o atual capítulo. Iniciando com uma breve metodologia para o desenvolvimento e elaboração do equipamento. Este capítulo está dividido em alguns tópicos como: o tipo de microcontrolador, o driver, motor de passo e a válvula que foram utilizados neste protótipo, no qual, cada componente irá ser alocado e desempenhar uma função designada.

3.1. Elaboração do protótipo.

Conforme Kleiber (2016), os elementos específicos de um equipamento são elaborados primeiramente com um bom entendimento sobre o produto atual, objetivando mais clareza nas peças críticas do produto, sendo elas por seu dimensionamento ou por apresentar limitações na operação. Também, deve-se salientar se a planta pode operar com capacidade reduzida ou elevada, e por qual período de tempo essa funcionalidade poderá ocorrer.

Para a criação deste protótipo foram selecionados os principais elementos, no qual são relatados de uma maneira detalhada, que fazem parte da sua estrutura física e funcionalidade. Também é levado em conta a disponibilidade de recursos para a elaboração deste trabalho.

3.2. Arduino.

A plataforma de desenvolvimento utilizada para este projeto é o Arduino Mega 2560 Rev3, que utiliza um microcontrolador da Atmel, chamado de Atmega2560. Esse microcontrolador possui uma memória *flash* de 256 Kbytes, com 86 pinos para entrada e saída, 12 canais PWM com resolução de 16 bits e 16 canais analógicos, entre outras especificações. Além de possuir um baixo custo, ser de simples aprendizagem e usar uma linguagem de programação aproximada à C/C++ (ATMEL, 2015).

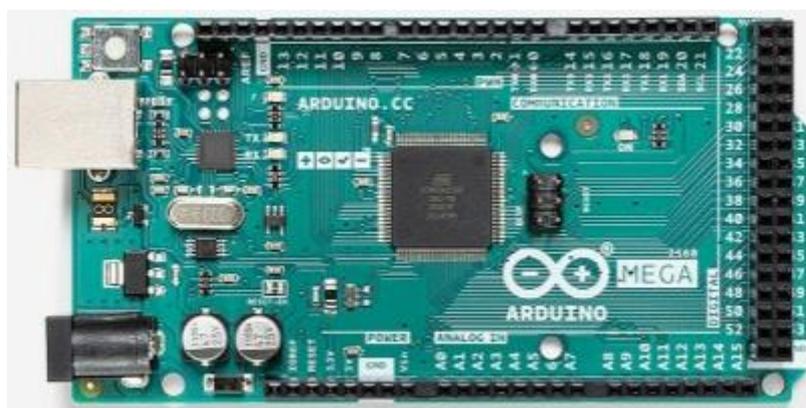
O Arduino também possui um grande acervo de projetos na internet e seu ambiente de desenvolvimento é fornecido pelo próprio site do Arduino, sendo importante

ressaltar que ele pode ser rodado em ambientes *Windows*, *GNU/Linux* e *Mac OS* (MCROBERTS, 2015).

O Arduino Mega é uma plataforma de computação física, que interage seu ambiente com *hardware* e *software*, apresentando uma linguagem de programação padrão própria de código aberto (*open-source*), o que facilita na criação e compartilhamento dos algoritmos. Utilizando o microcontrolador Atmega2560 que é fabricado pela ATMEL, com arquitetura RISC (*Reduced Instruction Set Computer* ou Computador com um Conjunto Reduzido de Instruções). Podendo interagir com inúmeros equipamentos tipo LED'S (diodo emissor de luz), botões, motores, sensores e etc. (ARDUINO, 2020).

Esse sistema pode ser utilizado para desenvolver diversos projetos e atuar independente quando programado pelo usuário. Possuindo oitenta entradas e saídas, sendo cinquenta e quatro digitais e dezesseis analógicas, como é ilustrado na Figura 14. Seu diagrama esquemático está no anexo I deste trabalho.

Figura 14. Arduino Mega 2560 Rev3.



Fonte: ARDUINO, 2020.

3.3. Motor de passo híbrido NEMA 23.

O motor de passo selecionado para este projeto foi o NEMA 23, um motor de passo híbrido de marca chinesa *TwoWin*, com torque de retenção de 10 kg.cm, o motor apresenta resistência entre bobinas de 1.3 Ohms, entre outras especificações detalhadas na tabela 1.

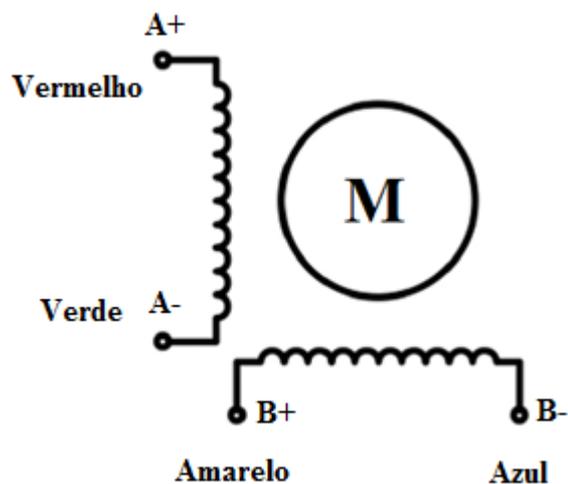
Tabela 1. Especificações do motor de passo NEMA 23.

Motor de passo híbrido NEMA 23.	
Fase	2
Ângulo de passo	$1.8^\circ \pm 0.09^\circ$
Corrente	3 (A / Fase)
Tensão Nominal	3.3 (V)
Resistência	$1.1 \pm 0.165 (\Omega / \text{Fase})$
Indutância	$3.5 \pm 0.7 (\text{mH} / \text{Fase})$
Torque de retenção	10 (kg.cm)
Massa	0.7 (kg)

Fonte: Autor.

Essencial neste protótipo devido o deslocamento nos eixos horizontal, chamado de eixo x, e vertical, denominado de eixo y. Este motor de passo é a principal forma de acionamento desta máquina ferramenta. Além de diversos atrativos já mencionados neste trabalho, a escolha deste motor de passo também foi feita pela análise econômica, visto que foi importado. A Figura 15 mostra o diagrama do motor de passo NEMA 23, com seus terminais identificados.

Figura 15 – Motor de passo bipolar com quatro terminais identificados.



Fonte: Autor.

3.4. Driver Microstep TB6600.

Este periférico tem como componente principal o TB6600HG, chip fabricado pela Toshiba que proporciona ao microcontrolador o comando de motores de passo com ligação bipolar com tensões de 9 a 42 V e corrente de aproximadamente 4 A. Outra vantagem é a proteção contra superaquecimento (fixa em 85 °C), a possibilidade de configuração de divisão de passos e ajuste de sobrecarga selecionáveis através da ligação de chaves posicionadas na lateral do dispositivo (TOSHIBA, 2016). Seu datasheet é apresentado pelo anexo II.

Este driver foi selecionado por ser robusto e muito resistente para evitar interferências magnéticas, e com sua capacidade de controlar motores de passo de até quatro Amperes de corrente por bobina. Este driver conta com a configuração de chaves seletoras para a determinação de micro passos que o motor de passo irá operar e a corrente que cada fase irá receber. A Figura 16 ilustra essa configuração do driver microstep TB6600.

Figura 16 – Configuração de chaveamento do driver microstep TB6600.



Fonte: Autor.

Nesta figura 16 o ON do inglês, ligado e o DIP, que são os interruptores eletrônicos que geralmente indicam duas posições. Como já mencionado, esse driver conta com a configuração de dividir os passos do motor durante a sua rotação. Essa configuração de micro etapas são realizadas através de três chaves (S1, S2, S3) que são ajustadas de acordo com a necessidade da precisão do sistema. Determinando se cada chave fica ligada ou desligada, a tabela 2 demonstra essa configuração das chaves do driver.

Tabela 2 – Configuração das chaves do driver para micro etapas.

Micro step	S1	S2	S3
NC	ON	ON	ON
1	ON	ON	OFF
2/A	ON	OFF	ON
2/B	OFF	ON	ON
4	ON	OFF	OFF
8	OFF	ON	OFF
16	OFF	OFF	ON
32	OFF	OFF	OFF

Fonte: Autor.

Outra configuração importante deste driver a relação das chaves seletoras (S4, S5, S6) com a corrente fornecida por fase ao motor de passo. O usuário precisa ter cuidado ao selecionar essa configuração de chaves, pois se o motor receber uma corrente de saída maior que o previsto em suas especificações de consumo pode danificá-lo ou alterar seu desempenho. A configuração da corrente de saída do driver é representada pela tabela 3.

Tabela 3 – Configuração da corrente de saída do driver.

Corrente (A)	Corrente de pico (A)	S4	S5	S6
0.5	0.7	ON	ON	ON
1.0	1.2	ON	OFF	ON
1.5	1.7	ON	ON	OFF
2.0	2.2	ON	OFF	OFF
2.5	2.7	OFF	ON	ON
2.8	2.9	OFF	OFF	ON
3.0	3.2	OFF	ON	OFF
3.5	4.0	OFF	OFF	OFF

Fonte: Autor.

3. 5. Fuso de esfera SFU1605-4.

Para o eixo de deslocamento é utilizado uma guia linear com um fuso de esferas para a movimentação dos eixos horizontal e vertical. Para a conversão dos movimentos rotacionais do motor de passo para movimentos lineares da máquina. Esse fuso de esferas do projeto é do modelo SFU1605-4, com porca de flange padrão.

Esse fuso é capaz de suportar temperatura de até 80 °C, é feito de alumínio. Além disso, ele apresenta alta precisão nas suas rotações, vida útil prolongada e baixo coeficiente de atrito. Esse componente foi adquirido pelo site da pt.aliexpress.com, de acordo com o seu anexo III deste trabalho. A Figura 17 representa o fuso de esferas.

Figura 17 – Fuso de esferas SFU1605-4.



Fonte: Aliexpress, 2020.

Esse equipamento é conectado ao motor de passo, por meio de um acoplamento, que vem junto com o fuso neste projeto. Esses acoplamentos são importantes, pois diminuem as vibrações vinda dos motores para o fuso de esferas, que possam causar possíveis falhas na precisão de movimento.

3.6. Fonte de alimentação.

Todas as máquinas ferramentas apresentam fontes de energia para a alimentação do seu sistema. As fontes de alimentação servem para fornecer energia elétrica, transformando à corrente alternada em corrente contínua. Estabilizam a tensão, ou seja,

mesmo que a tensão da rede sofra alteração, a tensão de saída é mantida aproximadamente constante.

Para a energização dos motores de passo foi utilizada uma fonte de alimentação da marca Luxe-P com tensão de entrada de 110/240 V de corrente alternada, com tensão de saída 12 V de corrente contínua e 5 A de corrente, visto que os motores não necessitam de uma corrente elevada por fase. A Figura 18 ilustra a fonte de alimentação utilizada. Suas características específicas são demonstradas no anexo IV.

Figura 18 – Fonte de alimentação chaveada.



Fonte: MERCADO LIVRE, 2019.

Frequentemente, utiliza-se mais de um estágio para ambas as fontes de alimentação, CC e CA, a fim de produzir saídas com determinadas especificações desejadas. As fontes de alimentação CC podem ser classificadas em três tipos: chaveada, ressonante e bidirecional. As chaveadas têm eficiência elevada e podem fornecer uma alta corrente de carga a uma tensão baixa. (RASHID, 2015).

3.7. Válvula Solenoide.

Essa Válvula Solenoide de 5 V é simples e bastante útil, no qual, uma tensão é aplicada, de acordo com o comando do controlador, causando a alteração do estado da

válvula. Atualmente existem diversas válvulas solenoides, atendendo uma ampla faixa de problemas como para controles de grandes, médias e pequenas vazões, e na elaboração de diversos equipamentos.

Possui internamente uma bobina em formato de cilíndrico. Seu funcionamento ocorre no momento que uma determinada corrente elétrica é conduzida pelos fios da bobina ela acaba gerando uma força no seu centro, a qual é responsável pelo acionamento do êmbolo que se encontra na parte interna responsável pela abertura e fechamento do sistema, alterando a direção do fluido. A Figura 19 representa a válvula solenoide de três vias.

Figura 19 – Válvula Solenoide de três vias.



Fonte: FILIPE, 2020.

Essa válvula solenoide tem uma função muito importante nesta máquina, pois é responsável pela coleta do fluido nos recipientes determinados. A seleção desta válvula é baseada em algumas vantagens para o sistema, como baixo custo de mercado, simples comunicação com o controlador e baixa tensão de operação. Com algumas características apresentadas no anexo V.

CAPÍTULO IV.

4. MONTAGEM.

A montagem do NFPR, foi dividida em três etapas:

- a) A etapa mecânica: em que foi realizado a montagem do maquinário, junção das peças e o restante da carenagem, assim como a determinação de alocação de cada equipamento utilizado.
- b) A etapa elétrica, fundamental para a alimentação do sistema e as ligações entre os dispositivos da máquina.
- c) A etapa de programação, com a criação do algoritmo para o controle dos dispositivos deste protótipo.

Cada etapa é descrita nas próximas seções deste trabalho.

4.1. Estrutura mecânica da máquina.

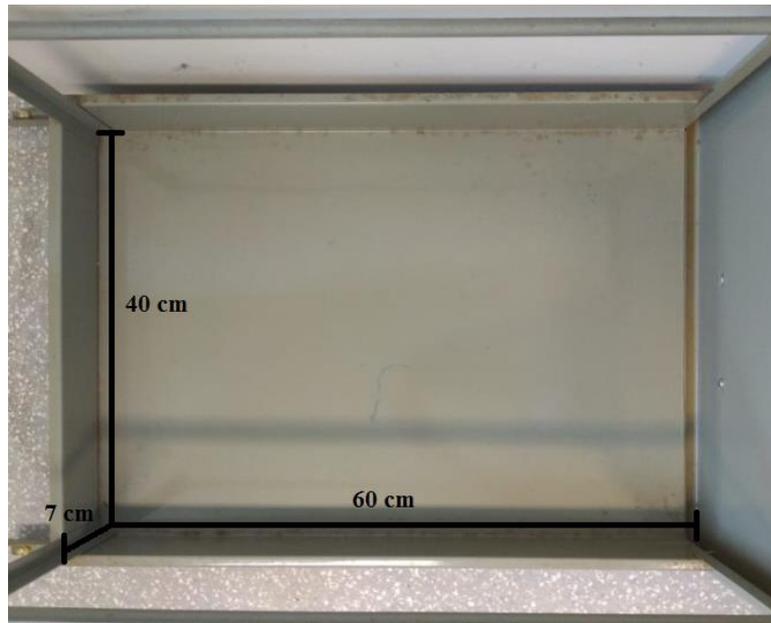
Para dar início a etapa mecânica, primeiramente foi realizado o dimensionamento da máquina. Nessa fase, os equipamentos devem ser alocados com cuidado em cada posição para que não ocorra limitação de local ou interferência de espaço para futuras operações no sistema, facilitando assim, tanto a etapa elétrica quanto a programação de controle do *software*.

4.1.1. Base.

A base estrutural do protótipo é um suporte metálico constituída por ferro. Demonstrado na Figura 20, trata-se de uma bandeja resistente, no qual serão distribuídos os elementos para a formação do equipamento final. Adquirido mediante a adoção, com as seguintes dimensões:

- a) Comprimento: 60 centímetros.
- b) Largura: 40 centímetros.
- c) Profundidade: 7 centímetros.

Figura 20 – Suporte metálico.

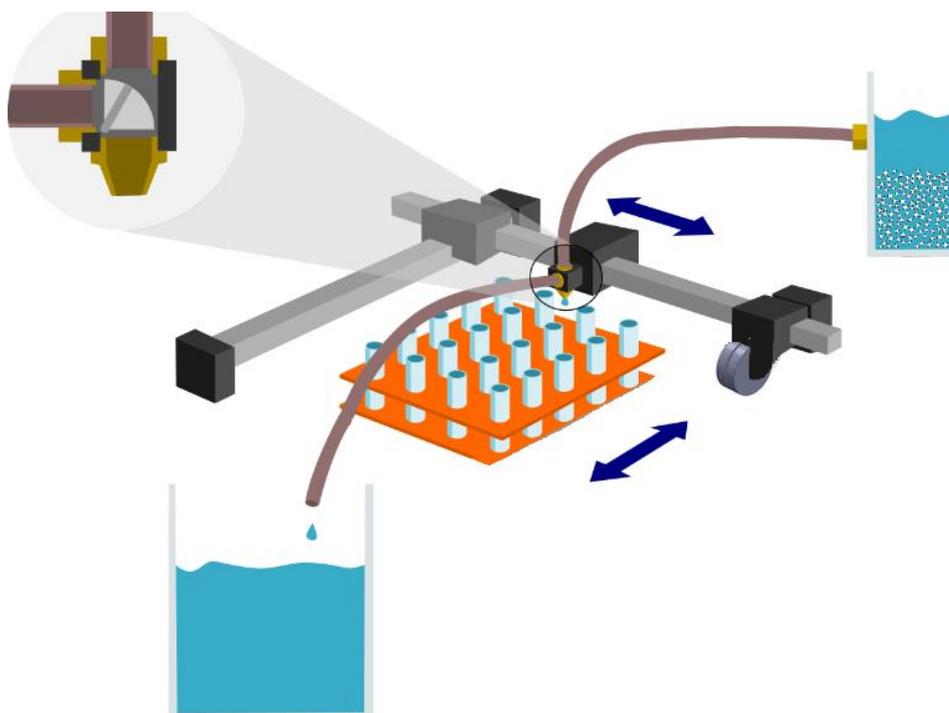


Fonte: Autor.

4.1.2. Construção.

Para a produção deste protótipo foram realizados alguns ajustes referente a montagem estrutural. A Figura 21 é uma demonstração geral de como o protótipo deve ser desenvolvido, essa ilustração foi criada no software AutoCad. Para alcançar essa etapa serão apresentados os avanços dessa montagem, até o seu acabamento final.

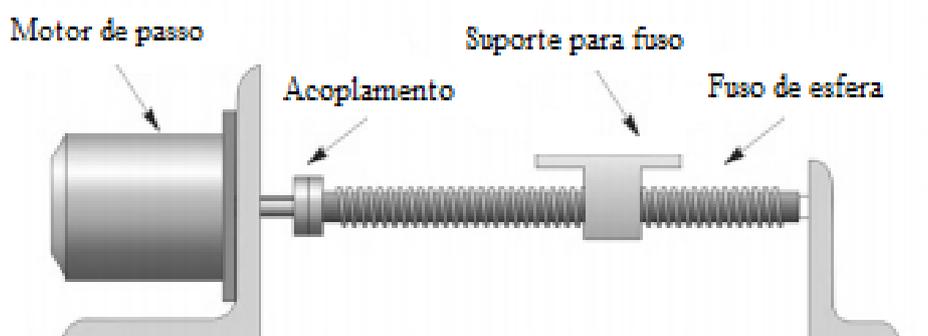
Figura 21. Idealização do Protótipo.



Fonte: Autor.

Primeiramente nesta construção da estrutura física da máquina, é preciso interligar o motor de passo ao fuso de esferas através de um acoplamento, já mencionado neste trabalho. Essa junção é muito importante para gerar a movimentação do fuso de esferas, no qual posteriormente irá movimentar um eixo da máquina. Realizando a interligação entre o motor de passo e o fuso de esferas, tem-se a seguinte estrutura montada demonstrada pela Figura 22.

Figura 22 – Motor de passo acoplado ao fuso de esferas.



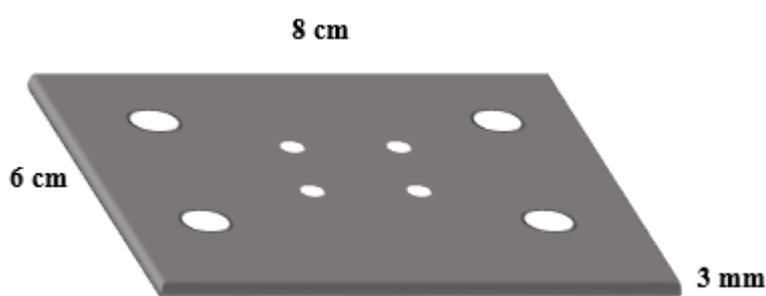
Fonte: Adaptado de Hughes, 2006.

Na figura 22, que faz uma simbologia de um eixo do protótipo apresenta-se um suporte de alumínio, chamado de suporte de castanha para fuso, utilizado para suportar uma certa quantidade de carga na sua movimentação sobre o fuso. Vale ressaltar que inicialmente o sistema interligado irá operar em malha aberta, ou seja, não há a presença de um *feedback*, então o controle deve ser bem implementado para não ocorrer qualquer tipo de dano físico na estrutura do equipamento ou prejuízo por falhas de dimensionamento.

Para a construção do protótipo, algumas junções mecânicas foram necessárias, principalmente para interligar os eixos horizontal e vertical da máquina. Como os fusos de esferas vieram com as guias lineares agregadas, tornando mais fácil realizar uma união entre as partes. As guias assim como os fusos são de alumínio, a grande vantagem é que as guias apresentam espaços propícios para utilização de parafusos e porcas para união de estruturas.

Algumas peças foram criadas especialmente para unir essas estruturas físicas e auxiliar a montagem deste projeto. Nesta elaboração duas peças foram desenvolvidas para suprir a necessidade desta máquina, sendo a primeira peça de alumínio, utilizada para a fixação do suporte de fuso do eixo horizontal e a guia linear do eixo vertical. Inicialmente chamada de peça de conexão dos eixos, apresenta 6 por 8 centímetros, além de possuir 3 milímetros de espessura, melhor representada pela Figura 23.

Figura 23 – Peça de conexão dos eixos.

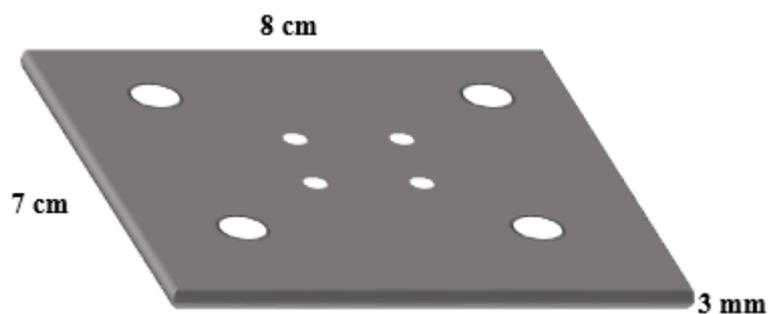


Fonte: Autor.

Essa peça é fixada com o auxílio de parafusos e porcas de inóx. Outra peça importante, que foi elaborada para este projeto também se assemelha a anterior, porém ela é fixada na guia linear do eixo vertical e no rodízio de movimentação da máquina.

Também formada com o material de alumínio esta peça é fixada com o auxílio de parafusos e porcas de inox, sendo chamada de peça de conexão do eixo com o rodízio, apresentando 7 por 8 centímetros e 3 milímetros de espessura, como mostra a Figura 24.

Figura 24 – Peça de conexão do eixo com rodízio.



Fonte: Autor.

A união dessa peça de conexão do eixo com o rodízio, oferece movimentação a máquina neste eixo, pois esse suporte possui um rolamento. Esse rodízio é da empresa Soprano adquirido no mercado regional por um valor acessível. Esse elemento é capaz de suportar uma carga de até 55 quilogramas sem danificar o rolamento, o que é suficiente para a mobilidade do protótipo. A Figura 25 representa o rodízio utilizado neste projeto e suas dimensões bem detalhadas.

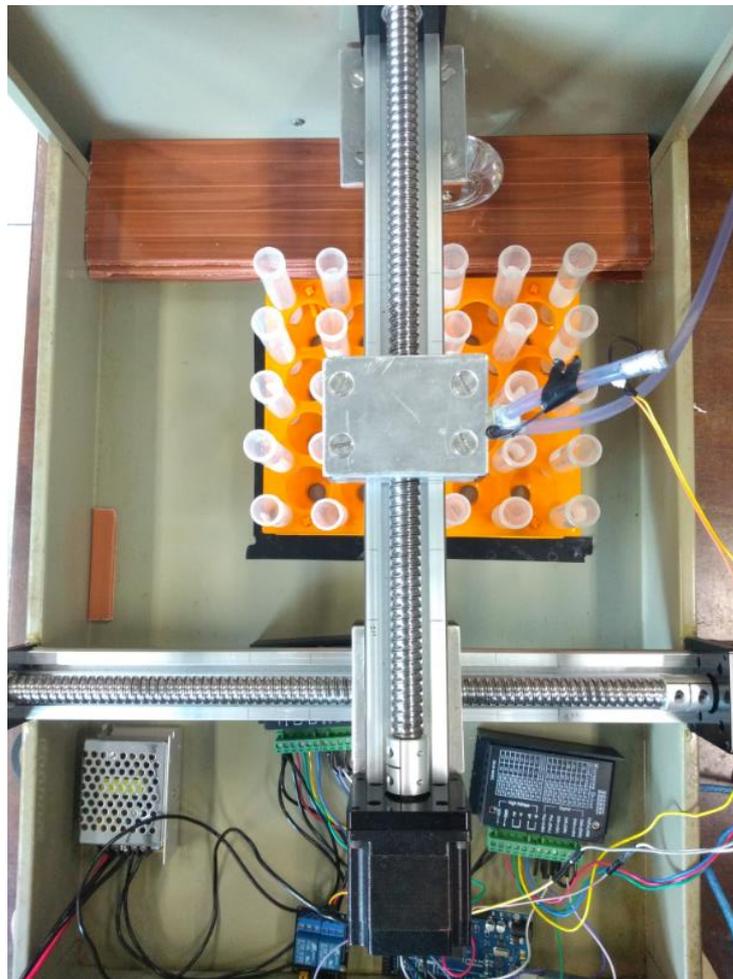
Figura 25 – Rodízio giratório.



Fonte: Mercado Livre, 2020.

Dando prosseguimento a construção do maquinário, como as guias lineares e seus fusos estão acoplados com seus respectivos motores de passo, agora o próximo item a ser implementado é a válvula solenoide, que irá ser responsável pelo controle de coleta do líquido. Essa válvula solenoide é fixada no suporte do fuso com auxílio de um material adesivo, a movimentação dessa válvula é determinada pelo acionamento e controle do motor de passo. Com todas as alterações realizadas de fixação e união dos elementos, tem-se a conclusão da montagem mecânica do protótipo, representado pela Figura 26.

Figura 26 – Estrutura da máquina com vista superior.



Fonte: Autor.

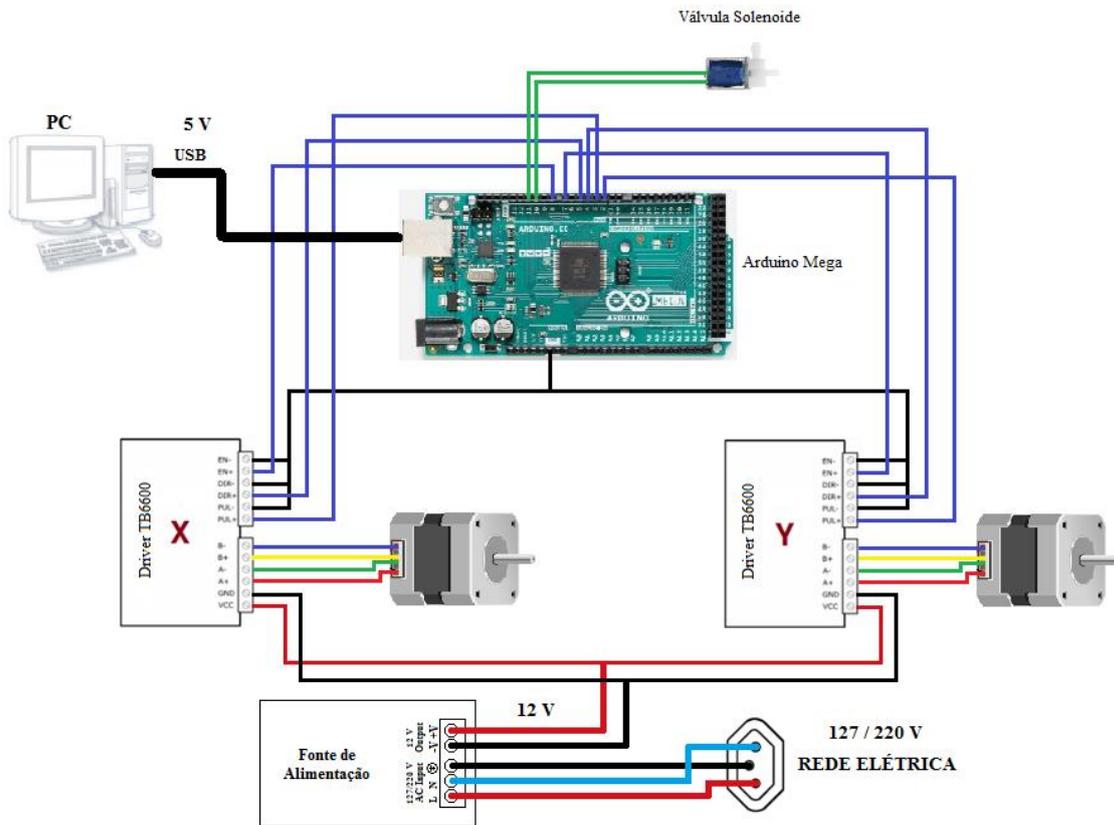
4.2. Diagrama elétrico.

Com a etapa estrutural finalizada, agora é realizada a etapa de alimentação elétrica do protótipo. O sistema de alimentação é dividido em duas partes. A primeira é feita pelo próprio computador do usuário, pois trata-se de uma tensão contínua baixa de aproximadamente 5 V, no qual é responsável por energizar o microcontrolador Arduino através de um cabo específico da placa, conectado a uma porta USB do computador.

O Arduino é conectado ao *driver* através de cabos chamados *jumpers*, que é uma ligação móvel entre dois pontos de um circuito eletrônico. Esse tipo de cabo isolante que contém uma peça metálica em seu interior, responsável pela condução de eletricidade entre os pontos auxiliam o microcontrolador, no qual irá enviar os pulsos elétricos para o *driver* relacionados a habilitação, direção e frequência de passos dos motores. Assim como a plataforma Arduino também é conectado a válvula solenoide que trabalha com essa mesma tensão de 5 V.

A segunda parte de alimentação é realizada pela tensão da rede elétrica externa, tensão alternada variando de 110 a 240 V. Essa tensão alternada é convertida em tensão contínua pela fonte de alimentação comutada. A tensão contínua é de aproximadamente de 12 V, propícia para energização dos *drivers* que estão aptos a receber de 9 a 42 V. Após alimentar os *drivers*, essa tensão contínua é repassada aos motores de passo, para seu acionamento quando solicitado. Com essas etapas realizadas temos o diagrama de ligações completo do trabalho, no qual é representado pela Figura 27.

Figura 27 – Diagrama de ligações completo do protótipo.



Fonte: Autor.

4.3. Desenvolvimento da programação.

Nesta etapa é desenvolvido toda a programação deste trabalho, na forma de algoritmo para a implementação de controle computacional. A linguagem própria que o *software* disponibiliza de programação é baseada em C++, que possui uma interface pratica chamada de Arduino IDE (*Integrated Development Environment*), um ambiente de desenvolvimento integrado que permite a criação de novos programas, chamados de *sketches*, ou traduzindo para esboços ou rascunhos. A Figura 28 representa o ambiente inicial de programação com algumas definições do algoritmo utilizado para este protótipo.

Figura 28 – Ambiente do Arduino IDE.

```

//Desenvolvido por: Berilo Costa de Matos Junior.
//Aluno: Pós Graduação PPGEQ
// Controle da válvula para um volume igual a 15 ml
// DEFINIÇÃO DO CANAL DE ENTRADA DA VÁLVULA SOLENOIDE.
int VS = 11;
// DEFINIÇÃO DOS CANAIS DE HABILITAÇÃO DOS MOTORES 1 E 2.
#define EN1      9;
#define EN2      8;
// DEFINIÇÃO DOS CANAIS DE DIREÇÃO DOS MOTORES 1 E 2.
#define X_DIR1   2;
#define X_DIR2   3;
// DEFINIÇÃO DOS CANAIS DE PULSOS PWM DOS MOTORES 1 E 2.
#define X_STP1   5;
#define X_STP2   6;
void setup() {
  pinMode(VS, OUTPUT); // Pino da Válvula definido como saída digital.
  pinMode(X_DIR1, OUTPUT); // Pino de Direção do Motor 1 definido como saída digital.
  pinMode(X_STP1, OUTPUT); // Pino de Pulsos do Motor 1 definido como saída digital.
  pinMode(X_DIR2, OUTPUT); // Pino de Direção do Motor 2 definido como saída digital.
  pinMode(X_STP2, OUTPUT); // Pino de Pulsos do Motor 2 definido como saída digital.
  digitalWrite(Be, LOW); // Iniciando desativado o pino digital 11.
  digitalWrite(EN1, LOW); // Iniciando desativado o pino de Habilidade do Motor 1.
}

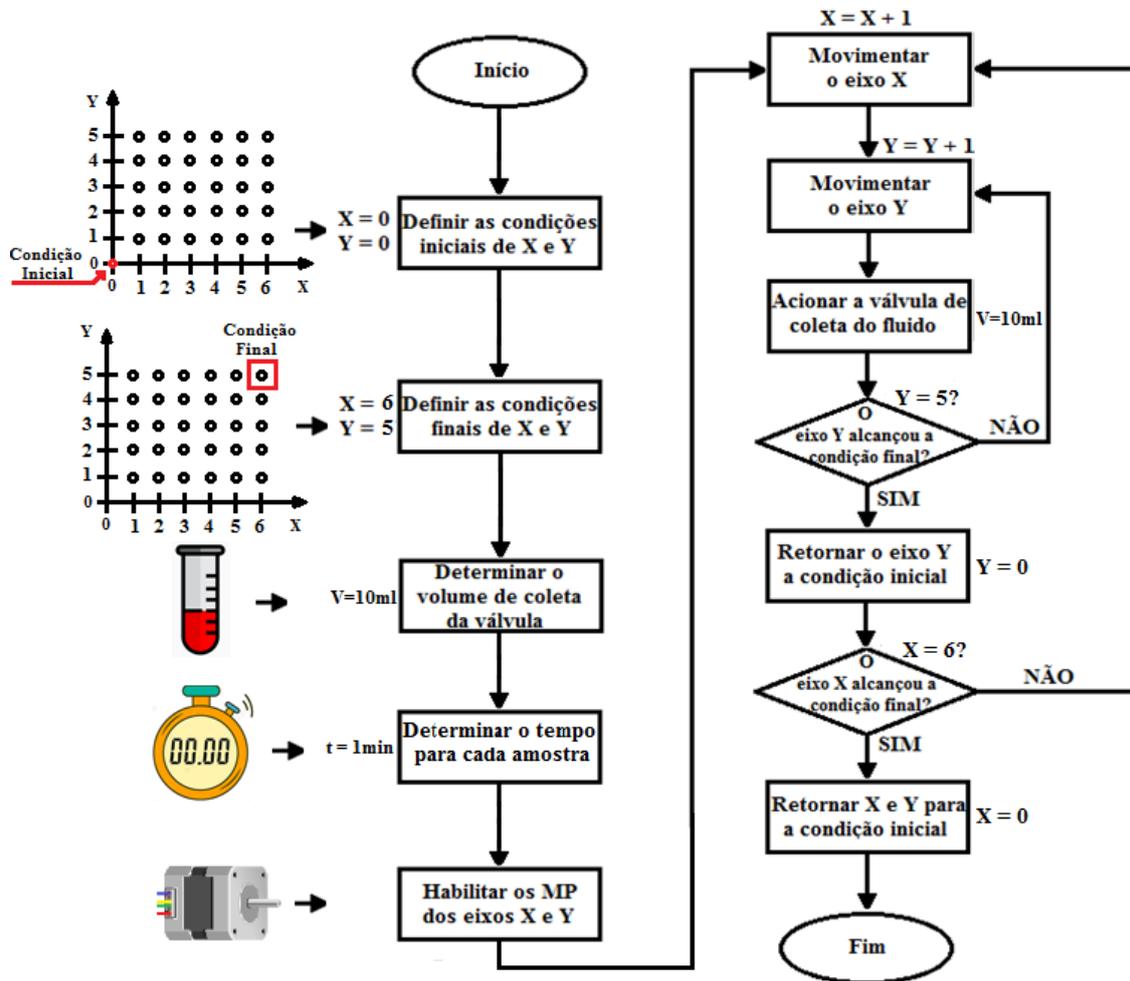
```

Fonte: Autor.

Em seguida é realizada o fluxograma de controle de movimentação dos motores de passo, posteriormente também o controle de fluxo de vazão da válvula até realizar a coleta do fluido determinado. É realizado de forma detalhado desde a habilitação do motor de passo, a direção e a frequência de passos que irá executar. Alinhando isso com o tempo que a válvula solenoide possa concluir o controle da vazão do fluido correta, para preenchimento do tubo de ensaio designado.

Inicialmente trata-se de um fluxograma em malha aberta onde o controle é elaborado pela repetitividade da movimentação e vazão dos equipamentos qualificados, partindo sempre de uma condição inicial já pré-estabelecida até uma condição final também já imposta pelo usuário. No qual, não ocorre uma realimentação do sistema com novas informações ou dados de novas medições. Esse fluxograma é representado pela Figura 29. É importante ressaltar que ele foi convertido na linguagem de programação C++ com o auxílio do Arduino, controlando todo o processo de coleta de fluidos.

Figura 29 - Fluxograma do sistema em malha aberta.



Fonte: Autor.

4.4. Calibração.

Como é um protótipo que irá desempenhar uma função com diversos movimentos lineares é essencial realizar a calibração e medições dos equipamentos em pequenos testes para que tudo fique alinhado e o sistema opere de forma eficiente. Garantindo assim, para que não advenha falhas técnicas em futuras operações.

Respeitando a norma ISO 14649-1: 2003, que refere-se à sistemas de automação industrial e integração aliados ao controle de dispositivo físico, assim como, o modelo de dados para máquinas ferramentas e controladores numéricos computadorizados. Essa norma estabelece que é fundamental realizar a calibração destes equipamentos para que não ocorra futuras falhas de operação e de dimensionamento. Como trata-se de um

sistema que busca o controle de precisão no processo produtivo, é muito importante garantir a calibração dos eixos que realizaram a movimentação deste protótipo.

Inicialmente, realiza-se a calibração dos “braços” mecânicos, que apresentam os fusos de esferas. Com a utilização de um nível comum e de base magnética é feito o nivelamento dos eixos x e y da máquina. Percebe-se pela Figura 30, que os “braços” apresentam nivelamento em dois pontos médios de cada eixo. Os ângulos horizontalmente apresentam 0° nos dois pontos em cada.

Figura 30 – Calibração dos eixos da máquina.



Fonte: Autor.

4.5. Funcionamento da máquina.

Após a realização das etapas de montagem física da máquina, do seu diagrama de ligações, energização e sua programação finalizado, o protótipo está pronto para operar. Para que ocorram as coletas do líquido selecionado, um recipiente com água é acoplado ao protótipo interligado por um tubo de vazão de plástico com diâmetro de 3 milímetros.

Para o funcionamento da máquina, é determinado o número de coletas do fluido escolhido para análise, e o tempo que cada fluido será coletado pelo usuário. Um suporte com tubos de ensaios é utilizado para acolher os resultados que serão injetados pela válvula solenoide. Esse suporte apresenta 30 furos para tubos Falcon de 15 ml e 20 furos para tubos Falcon de 50 ml, representado pela Figura 31, com as seguintes dimensões:

- a) Comprimento: 20,5 centímetros.
- b) Largura: 17 centímetros.
- c) Altura: 6 centímetros

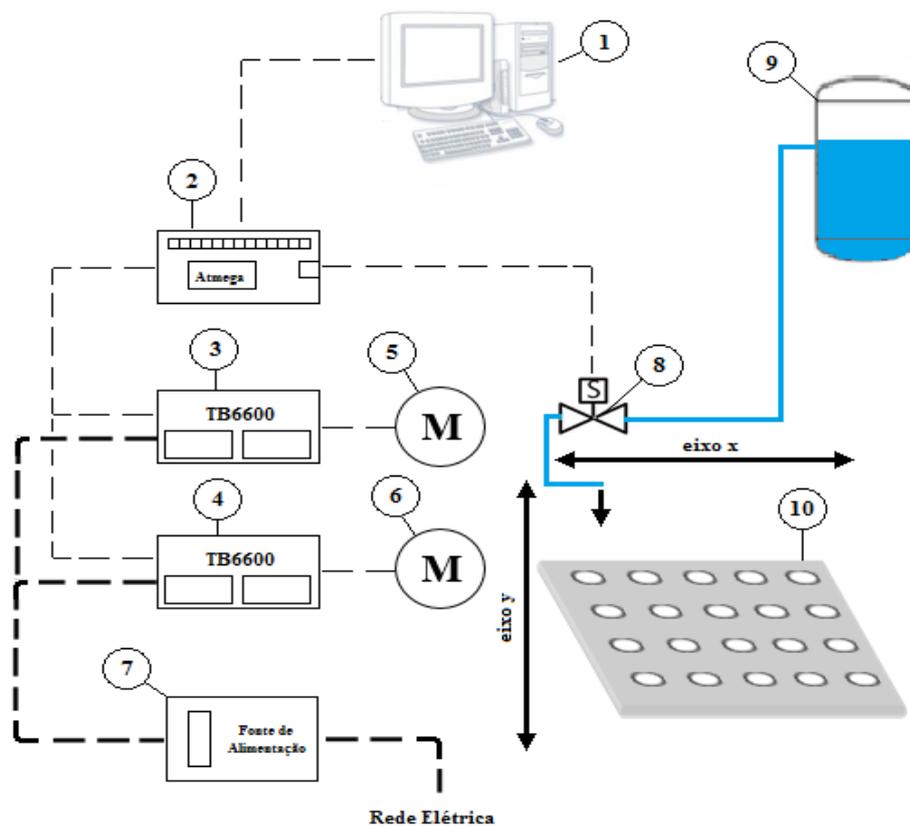
Figura 31 – Suporte de plástico com 30 furos para tubos de ensaios.



Fonte: Autor.

Com essa sustentação alinhada para receber os tubos, a máquina pode operar normalmente. Entretanto, deve-se levar em consideração alguns parâmetros para limitar o desenvolvimento deste produto. Entre essas limitações, destaca-se: o tamanho da máquina que não apresenta diversos suportes para líquidos, porém, esse protótipo se diferencia pois apresenta uma solução viável para esse processo de coleta de fluido, que possa ser adquirido pelos interessados com custos acessíveis. O diagrama completo da máquina é apresentado pela Figura 32 com seus principais componentes identificados.

Figura 32 – Diagrama da máquina com todos os equipamentos.



Fonte: Autor.

1. Computador com o software Arduino (IDE).
2. Arduino Mega.
3. Driver TB6600.
4. Driver TB6600.
5. Motor de Passo NEMA23 eixo x.
6. Motor de Passo NEMA23 eixo y.
7. Fonte de Alimentação.
8. Válvula Solenoide.
9. Tanque de armazenamento do líquido.
10. Suporte de plástico para coleta de amostras.

CAPÍTULO V.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS.

Com tudo finalizado, realiza-se a análise dos equipamentos e a funcionalidade do protótipo. Primeiramente, testes de velocidade que o sistema irá operar são descritos, seguido para os testes de precisão de posicionamento da máquina em relação aos tubos de ensaio. Sendo efetuado a compilação do código, em malha aberta. Foram realizados os testes de volume e tempo das coletas para verificar a eficiência nos resultados obtidos. Por fim, os preços dos dispositivos utilizados para o desenvolvimento deste protótipo são mostrados.

5.1. Testes de velocidade do motor de passo.

Inicialmente foram realizados testes de velocidade da máquina para analisar o seu desempenho. Variou-se a velocidade de acionamentos dos motores de passo. No qual, a velocidade varia tanto no eixo horizontal quanto no vertical. A tabela 4 sumariza os dados da velocidade em RPM, o tempo que a máquina leva para realizar um ciclo de operação e a velocidade medida em (cm/s) de funcionalidade da máquina.

Tabela 4 – Teste de velocidade da máquina.

Velocidade em RPM	Tempo (s)	Velocidade em cm/s
100	24	0,833
110	21,82	0,917
130	18,46	1,084
150	16	1,25
170	14,12	1,416
190	12,63	1,584
210	11,43	1,75
230	10,4	1,923
250	9,6	2,083
270	8,9	2,242

Fonte: Autor.

Verificou-se que a máquina não apresentou nenhum tipo de falha ou defeito técnico na sua funcionalidade, com velocidade variando de 100 a 270 RPM. Tendo essa velocidade máxima para não travar o motor de passo com tensão de 12 V, de acordo com a especificação da empresa fabricante *TwoWin*. Demonstrado na tabela que a velocidade em RPM está relacionada diretamente com a velocidade em cm/s que a máquina percorre internamente seu próprio eixo de locomoção, limitado a 20 centímetros no eixo x e y da máquina.

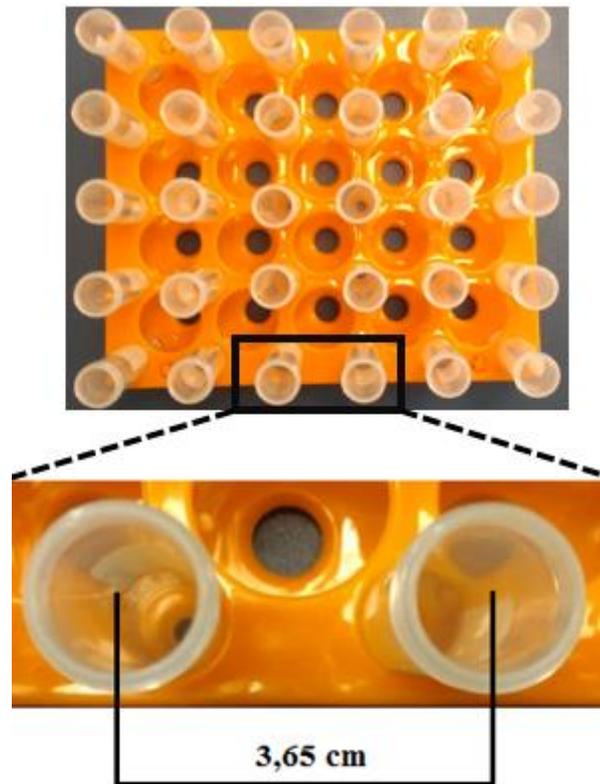
Representando assim que quanto maior a velocidade em RPM menor o tempo de operação da máquina, contudo o mais importante deste protótipo não é a velocidade linear da máquina, e sim a sua precisão e eficiência. A velocidade então escolhida para a funcionalidade da máquina é de 150 RPM, destacada em vermelho na tabela 4, porque alia velocidade e precisão.

5.2. Teste de precisão da máquina.

A eficiência de uma máquina está muito associada à sua precisão, principalmente quando são coletores de amostras para pequenos e médios volumes. Como já foi determinado a velocidade em RPM que a máquina irá funcionar, agora é preciso determinar o deslocamento para cada coleta amostral da máquina, ou seja, a distância de um tubo de ensaio para o outro. Os tubos de ensaios Falcon utilizados, apresentam 1,7 centímetros de diâmetro.

Como já foi mencionado neste trabalho, uma estrutura de plástico será utilizada para acolher os 30 tubos de ensaio Falcon de 15 mL, sendo que, se houver alteração dessa estrutura de plástico, é necessário reprogramar o protótipo, pois trata-se de um controle em malha aberta. Com isso, é necessário realizar a medição da distância entre o centro de um tubo de ensaio para o outro. Essa distância medida é de 3,65 centímetros, no qual é representada pela Figura 33. Ressaltando que a distância entre os centros dos tubos de ensaios, é igual horizontalmente quanto verticalmente.

Figura 33 – Distância entre os centros dos tubos de ensaio.



Fonte: Autor.

Com essa informação, pode-se realizar o cálculo do ângulo de passo do motor de passo em função da distância dos centros dos tubos de ensaio. Como o motor de passo híbrido NEMA 23 utilizado, tem ângulo de passo de $1,8^\circ$ demonstrado pela Tabela 1. Precisa-se de 200 passos para realizar uma volta completa do eixo do motor. Uma volta completa do eixo do motor de passo equivale a distância de 0,5 centímetros que o suporte para o fuso percorre na guia linear.

Então temos a seguinte relação determinada pela equação (5.1). Com essa relação podemos determinar o número de passos, que são necessários para realizar o deslocamento do suporte do fuso, junto com a válvula solenoide de um centro do tudo de ensaio para o outro, como na Figura 32, pela equação (5.2). Vale ressaltar que a calibração dos eixos da máquina já foi realizada.

$$200 \text{ passos} = 1 \text{ volta do eixo} = 0,5 \text{ cm deslocamento do suporte} \quad (5.1)$$

$$1460 \text{ passos} = 7,3 \text{ voltas do eixo} = 3,65 \text{ cm deslocamento do suporte} \quad (5.2)$$

Com a relação dada pela equação (5.2), foram realizados os testes de precisão do protótipo. Partindo de uma posição fixa devidamente ajustada, testou-se a precisão da válvula solenoide referente ao posicionamento dos tubos de ensaios para amostras. A partir de um recipiente de plástico com água, foi injetado esse líquido na válvula através de um tubo de 3 milímetros de diâmetro.

Dando início nos testes de precisão, a válvula é acionada num simples tempo de um segundo, apenas para despejar o líquido nos tubos de ensaios, representando uma amostra, sempre que os motores de passo realizam uma movimentação de acordo com a Figura 29 e a relação da equação (5.2). Notou-se que todos os tubos de ensaio foram preenchidos com o líquido, ou seja, não apresentou nenhum tipo de falha ou erro na coleta da amostra. Determinando uma alta precisão do protótipo.

5.3. Testes de volume e tempo.

Com os testes de velocidade e precisão do protótipo concluídos, foram realizados os testes para a verificação do volume em mL e o intervalo de tempo que cada coleta irá ser armazenada nos recipientes de amostras. É importante destacar que foi necessário um recipiente de plástico que armazenou o líquido para que pudesse realizar as coletas de volume. Trata-se de um *Becker* de plástico graduado da empresa J. Prolab, apresentado pela Figura 34. Sua parte inferior foi conectada em um tubo de plástico com 3 milímetros de diâmetro. Essa junção foi feita por uma massa adesiva impermeável.

Figura 34 – Becker de plástico graduado J. Prolab.



Fonte: Autor.

Esse receptáculo foi preenchido com água para representar um leito fixo num processo de adsorção, no qual um reservatório terá um volume constante durante o processo. Foram utilizados aproximadamente dois litros de água para realizar as coletas de volume, representando as amostras no processo. Variando o intervalo de tempo para cada coleta amostral.

Com isso foram determinados os testes de coleta do líquido, sendo que houve variação no volume da coleta da amostra para: cinco, dez e quinze mL. E também para cada volume selecionado houve variação do tempo de intervalo entre as coletas em: um, cinco, dez e trinta minutos. Totalizando doze testes de coleta de volume e intervalo de tempo. Em cada um desses testes serão coletadas trinta amostras, em tubos de ensaios Falcon. As tabelas 5, 6 e 7 demonstram os volumes coletados nos testes realizados.

Tabela 5 – Teste de coleta de amostras para um volume igual a 5 mL.

TESTE DE COLETA DE AMOSTRAS. VOLUME = 5 ml				
N°	Tempo = 1 minuto	Tempo = 5 minutos	Tempo = 10 minutos	Tempo = 30 minutos
1°	5,05	5,05	5	5,05
2°	5,1	5,05	5	5,05
3°	5,05	5	5	5
4°	5	5,05	5,05	5,05
5°	5,1	5	5	5,1
6°	5,1	5	5	5
7°	5,05	5	5	5
8°	5,05	5	4,95	5
9°	5,1	4,95	4,95	4,95
10°	5,1	5	5	4,9
11°	5,05	4,95	5	4,9
12°	5,05	5	5	4,65
13°	5	5	5	5
14°	5	4,95	5	4,85
15°	5,05	5	5	4,95
16°	5,05	4,95	4,95	4,95
17°	5,05	5	4,95	4,9
18°	5,05	5	4,9	5
19°	5	5	4,95	4,9
20°	5	5	4,95	4,9
21°	5	4,9	4,95	4,85
22°	5	4,95	4,9	4,85
23°	5	4,95	5	4,8
24°	5	4,9	4,9	4,75
25°	4,95	4,95	4,8	4,8
26°	5	4,95	4,95	4,85
27°	5	4,9	4,95	4,7
28°	4,95	4,95	4,95	4,8
29°	5	4,95	4,9	4,75
30°	4,95	4,9	4,9	4,75

Fonte: Autor.

Tabela 6 – Teste de coleta de amostras para um volume igual a 10 mL.

TESTE DE COLETA DE AMOSTRAS. VOLUME = 10 ml				
N°	Tempo = 1 minuto	Tempo = 5 minutos	Tempo = 10 minutos	Tempo = 30 minutos
1°	10,05	10,1	10,15	10,15
2°	10,05	10,1	10,2	10,2
3°	10,1	10,1	10,1	10,1
4°	10	10,05	10,05	10,1
5°	10,05	10,05	10,05	10,15
6°	10,05	10,1	10	10,05
7°	10,1	10,1	10,05	10
8°	10	10	10	10,05
9°	10	10,05	10,05	10,05
10°	10,05	10	10	10
11°	10	10	10,05	10,1
12°	10,05	10,05	10,05	10,05
13°	10	10	10	10,05
14°	10	10,05	10,05	10
15°	10	10	10,05	10
16°	10	10,05	10	10
17°	10	10	10,05	10
18°	10	10	10	9,95
19°	9,95	10	10	10,05
20°	9,95	10	10	10
21°	10	9,95	10	9,95
22°	9,95	10	10	9,95
23°	9,95	9,95	9,95	10
24°	9,9	10	9,9	9,9
25°	9,95	9,95	9,95	9,9
26°	9,9	10	10	9,85
27°	9,9	10	9,95	9,75
28°	9,85	9,95	9,9	9,7
29°	9,8	9,9	9,9	9,7
30°	9,8	9,9	9,6	9,8

Fonte: Autor.

Tabela 7 – Teste de coleta de amostras para um volume igual a 15 mL.

TESTE DE COLETA DE AMOSTRAS. VOLUME = 15 ml				
N°	Tempo = 1 minuto	Tempo = 5 minutos	Tempo = 10 minutos	Tempo = 30 minutos
1°	15,2	15,2	15,3	15,2
2°	15,1	15,2	15,2	15,15
3°	15,2	15,3	15,3	15,2
4°	15,2	15,15	15,1	15,1
5°	15,2	15,2	15,1	15,15
6°	15,1	15,1	15,15	15,1
7°	15,15	15,2	15,2	15,1
8°	15	15,1	15,1	15
9°	15,1	15,2	15,15	15,05
10°	15,1	15	15,05	15
11°	15,1	15,05	15,1	15,05
12°	15	15	15,05	15
13°	15,1	15	15	15
14°	15	15,1	15	15
15°	15	15	15,05	14,95
16°	15,05	15,05	15	14,95
17°	15	15,05	15	14,95
18°	15	15,05	15,05	15
19°	15	15,1	15	14,9
20°	15	15	15	14,7
21°	15	15	15	14,95
22°	14,95	15	15	14,85
23°	14,9	15	15	14,75
24°	14,85	14,95	14,95	14,7
25°	14,9	14,95	14,95	14,7
26°	14,9	14,9	14,8	14,6
27°	14,9	14,9	14,9	14,5
28°	14,85	14,9	14,85	14,7
29°	14,8	14,85	14,9	14,55
30°	14,8	14,9	14,85	14,5

Fonte: Autor.

Realizados os testes de coleta de amostras, foi elaborado uma análise estatística sobre a variação de volume do líquido nos determinados intervalos de tempo. A Tabela 8 representa as médias amostrais e desvio padrão das amostras, para os volumes de 5, 10 e 15 mL respectivamente, nos intervalos de tempo determinado.

Tabela 8 – Média e Desvio Padrão das amostras.

TESTE DE COLETA DE AMOSTRAS.				
	Tempo = 1 minuto	Tempo = 5 minutos	Tempo = 10 minutos	Tempo = 30 Minutos
VOLUME = 5 ml				
Média	5,0283	4,975	4,9617	4,9
Desvio Padrão	0,0449	0,0431	0,0503	0,1152
VOLUME = 10 ml				
Média	9,98	10,0133	10,0017	9,985
Desvio Padrão	0,0761	0,0556	0,1004	0,1254
VOLUME = 15 ml				
Média	15,015	15,0467	15,0367	14,9117
Desvio Padrão	0,1183	0,1121	0,121	0,2079

Fonte: Autor.

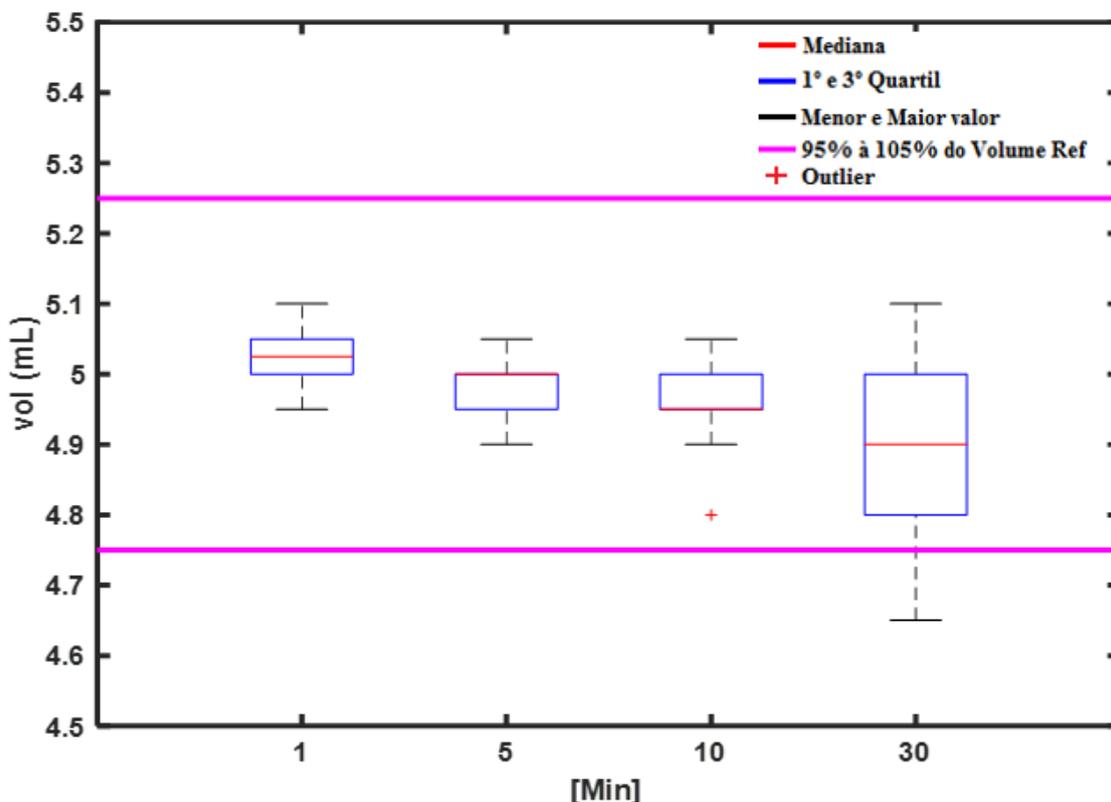
As médias amostrais confirmam que o protótipo apresentou valores bem próximos dos valores de referência. Nota-se que a diferença entre os valores de referência para as médias é relativamente baixa, principalmente para o volume igual a 10 mL, que demonstraram maior aproximação. Isso ressalta, que o controle de acionamento da válvula solenoide foi bem implementado para a coleta do líquido.

O desvio padrão das amostras apresentaram bons resultados nas análises realizadas, já que, quanto mais próximo de zero o desvio padrão, mais homogêneas são as amostras coletadas. Ou seja, havendo pouca dispersão do volume coletado para o volume de referência. O que foi observado na Tabela 8, principalmente para os volumes iguais a 5 mL.

Fazendo um estudo através dos diagramas de caixa (*box plot*) é possível realizar uma análise geral sobre o conjunto de amostras coletadas, com a finalidade de verificar quais amostras estavam dentro limite de mais ou menos 5% do valor de referência adotado. Assim como, aferir algumas características dessas amostras como: mediana, primeiro e terceiro quartil, maior e menor valor amostral e a identificação de *outliers*. A

Figura 35, ilustra a análise através do diagrama de caixa para o volume de referência igual a 5 mL.

Figura 35 – Análise do diagrama de caixa (*boxplot*) para o volume de 5 mL.

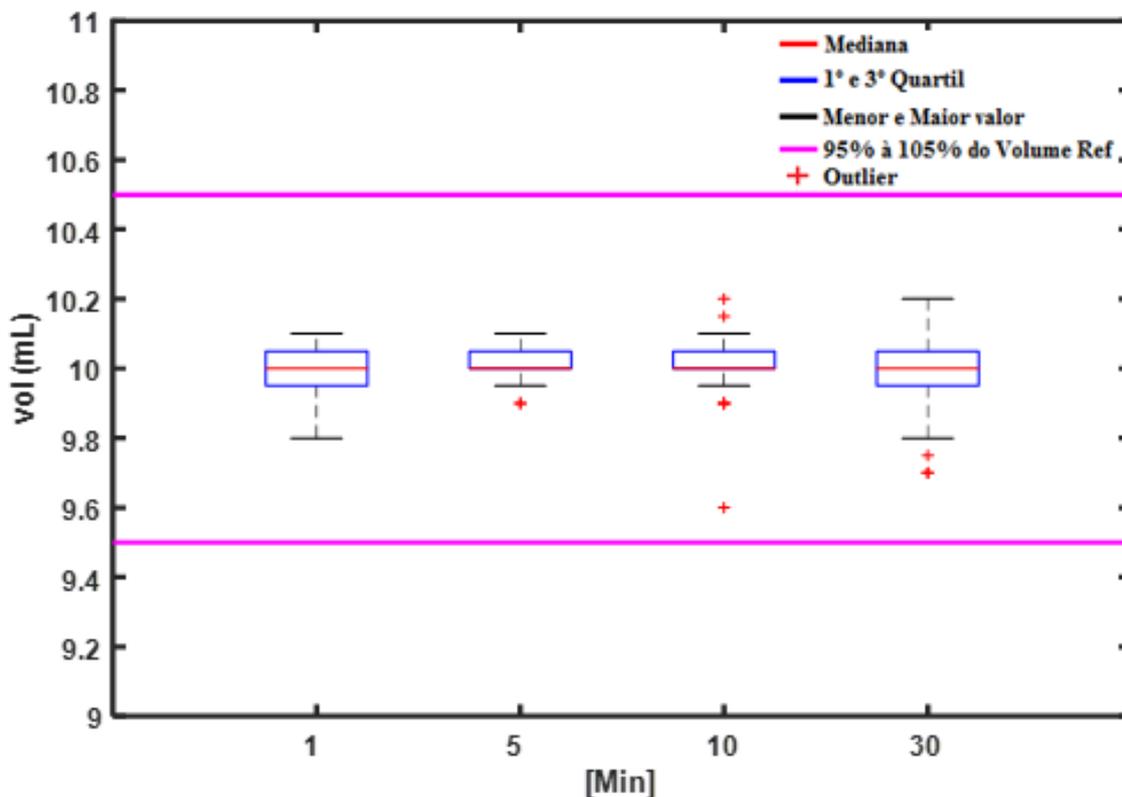


Fonte: Autor.

Por meio da Figura 35, pode-se observar que o conjunto de amostras coletadas para o volume igual a 5 mL, permaneceram dentro do intervalo desejado de mais ou menos 5%. Exceto para o tempo de coleta a cada 30 minutos, no qual, apresentou dois valores abaixo do intervalo aceitável, que foram 4,65 mL na 12ª amostra e 4,7 mL na 27ª amostra (Tabela 5). Isso é coerente com a Tabela 8, demonstrando a média aritmética menor dentre os outros tempos de coletas, e o maior desvio padrão. Apesar de apresentar valores abaixo dos 5% de volume de referência, as amostras apresentaram o primeiro quartil dentro desse intervalo, ou seja, mais de 75% das amostras foram satisfatórias. Nota-se que houve apenas um caso de *outliers* neste diagrama, para o tempo de coleta a cada 10 minutos, com o valor de 4,8 mL na amostra 25ª. Porém, mesmo tratando de uma dispersão, ela ainda está dentro do intervalo de aceitação do volume referente.

Dando continuidade à análise dos diagramas de caixa, a Figura 36 apresentada o *box plot* das coletas realizadas para o volume de referência igual a 10 mL, nos tempos selecionados, de acordo com a Tabela 6.

Figura 36 – Análise do diagrama de caixa (*boxplot*) para o volume de 10 mL.



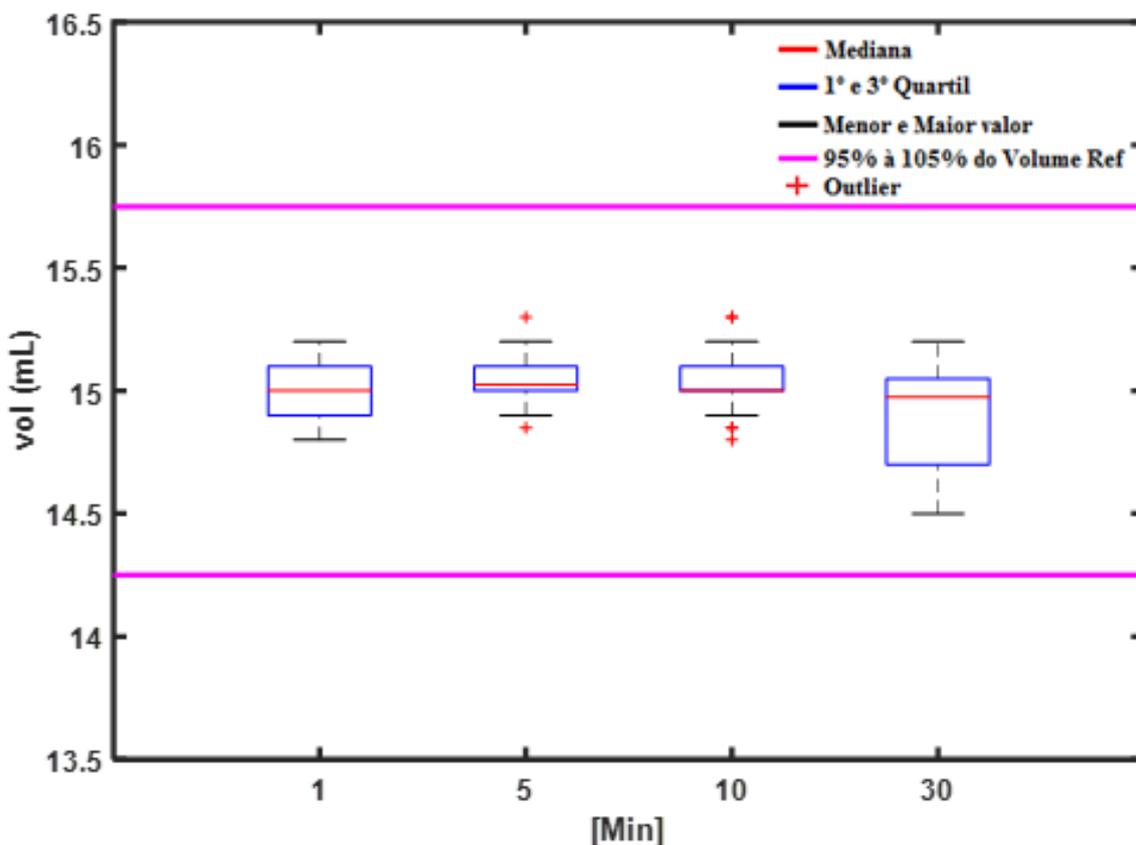
Fonte: Autor.

É possível verificar que na Figura 36, o conjunto de amostras coletadas em todos os períodos de tempo permaneceram dentro do intervalo desejado de mais ou menos 5% do volume de referência 10 mL. Porém, em três períodos apresentaram *outliers*, ou seja, valores que fogem da regularidade de amostras, causando bastante dispersão, associadas ao desvio padrão da Tabela 8. Apesar dessas anomalias nos diagramas de caixa, esse conjunto de dados exibiram as melhores médias amostrais, ou seja, uma menor diferença entre o valor desejado para os obtidos. O que é compreensível pois, demonstra um baixo diferencial entre seus valores maiores e menores obtidos.

A última análise do diagrama de caixa deste trabalho, é realizada através da Figura 37. No qual, vale ressaltar que os resultados obtidos ficaram dentro do intervalo desejado

de mais ou menos 5% do volume de referência, 15 mL. Esses dados obtidos exibiram algumas *outliers*, nos períodos de tempo para coletas a cada 5 e 10 minutos. Essas irregularidades são comprovadas na Tabela 8, pelo maior desvio padrão apresentado entre os resultados obtidos. Ainda que, existindo essas irregularidades os dados coletados apresentaram uma média satisfatória de acordo com a Tabela 8.

Figura 37 – Análise do diagrama de caixa (*boxplot*) para o volume de 15 mL.



Fonte: Autor.

É importante destacar, que as medições dessas amostras foram realizadas com o auxílio de uma pipeta de vidro graduada de 25 mL da marca Vidrolabor. Essas medições do volume das amostras foram feitas de maneira minuciosa para minimizar os erros.

5.4. Custos do Protótipo.

O custo deste protótipo é mostrado no quadro 1, com os valores de todos os equipamentos utilizados. Alguns equipamentos foram comprados fora do país então se

faz uma aproximação do valor, levando em consideração a taxa de variação de uma moeda para outra. Pois utiliza-se a moeda nacional como referência, mesmo para equipamentos comprados em outros países, sendo que o frete já está incluso no valor de cada componente. Ou seja, o valor em reais determinado no Quadro 1, é equivalente a sua quantidade determinada. Esses dispositivos foram adquiridos no período de janeiro do ano de 2020 a fevereiro de 2021.

Quadro 1 – Componentes do protótipo e seus valores.

Equipamento	Quantidade	Valor em Reais (R\$)
Mini Válvula Solenoide	1	R\$ 49,00
Relé da Válvula	1	R\$ 17,00
Driver TB6600	2	R\$ 178,00
Fonte de alimentação	1	R\$55,00
Arduino Mega	1	R\$ 85,00
Guia linear, Fuso e acoplador	2	R\$ 940,00
Motor de Passo NEMA 23	2	R\$ 172,00
Rodizio Soprano	1	R\$ 25,00
Cabos de ligações	10 (metros)	R\$ 25,00
Cabos Jumpers	20	R\$ 10,00
Parafusos e porcas de inox	40	R\$ 25,00
Botão <i>On-Off</i>	1	R\$ 15,00
Becker Graduado	1	R\$ 23,00
Tubo plástico 3mm	2 (metros)	R\$ 10,00
Tubos Falcon 15 ml	100	R\$ 42,00
Estante para Tubos Falcon	1	R\$ 21,00
Taxas e impostos de exportação	-	R\$ 375,00
Total aproximado	-	R\$ 2067,00

Fonte: Autor.

Para uma melhor análise e entendimento do valor gasto neste projeto, foi realizado uma pesquisa no mercado atual, sobre máquinas que desempenham a mesma função ou semelhante a este protótipo. Elas são demonstradas no Quadro 2. São equipamentos de marcas consolidadas no mercado que apresentam ótimo desempenho e alta tecnologia.

Quadro 2 – Valores dos equipamentos no mercado.

Equipamento	Marca	Valor em Reais (R\$)
Coletor de Fração	Analítica	R\$ 27000,00
Coletor de Fração	Sykam	R\$ 33000,00
Coletor de Fração R1	Teledyne Technologies.	R\$ 30000,00
Coletor de Fração R2	Teledyne Technologies.	R\$ 41000,00
Coletor de Fração R2 de alto fluxo.	Teledyne Technologies.	R\$ 46500,00

Fonte: Autor.

Estabelecendo uma comparação entre o valor investido na construção do protótipo apresentado neste trabalho e o equipamento mais barato do mercado, verifica-se uma economia de aproximadamente R\$ 25.000,00, sendo o equipamento proposto 13 vezes mais barato. Quando a mesma comparação é feita considerando o equipamento mais caro, há economia aproximada de R\$ 44.500,00, sendo 22 vezes mais barato. O que demonstra que essa máquina pode gerar uma grande economia ao usuário.

CAPÍTULO VI.

6. CONCLUSÃO E SUGESTÕES.

Neste trabalho foram desenvolvidos um protótipo, coletor automático de amostras, e o algoritmo de controle, em código aberto, desse equipamento. Apesar da ação de controle ser executada de maneira simples, malha aberta, os testes de precisão de posicionamento da válvula solenoide e de coletas amostrais de volume demonstraram bons resultados e um bom desempenho da máquina. Não houve vibrações ou danos causados ao sistema, enfatizando que a calibração dos eixos foi realizada de maneira eficaz.

Nos testes de velocidades realizados, conclui-se que os motores de passo são ótimas opções para acionamento de máquinas ferramentas de pequeno porte. Que não necessitam de uma alta velocidade de operação. Os testes de precisão de posicionamento complementaram a alta precisão dos atuadores e dimensionamento do equipamento. Enfatizando que algoritmo de controle do sistema foi bem implementado.

As análises dos diagramas de caixa (*box plot*) demonstraram que os resultados obtidos para volume de referência igual a 5 mL apresentaram dois valores abaixo do intervalo aceitável de exatidão do volume, que foi adotado de mais ou menos 5% do volume de referência. Apesar dessas duas amostras, elas representam apenas aproximadamente 1,7% do total das 120 amostras coletadas para o volume igual a 5 mL. Nos casos de volume igual a 10 mL os resultados obtidos foram os mais satisfatórios, em que todas as amostras apresentaram valores dentro do intervalo estabelecido. Para os casos de volume igual a 15 mL, constatou-se que houve uma maior dispersão nos resultados obtidos comparados aos de 10 mL. Porém esses dados também foram satisfatórios já que demonstraram valores incluídos nos intervalos desejados.

A máquina cumpriu seu objetivo que foi realizar as coletas de líquidos de forma automaticamente nos períodos determinados. Comprovando que esse protótipo é capaz de substituir o processo de coleta manual. O que garantiria mais comodidade ao usuário, assim como, reduzir o erro de coleta e o tempo desperdiçado utilizado (MATOS JR, 2021).

O grande diferencial desse protótipo, além da sua eficiência nas coletas das amostras, a partir de um processo ou experimento químico, para um determinado líquido

é o seu baixo custo financeiro e a utilização de dispositivos acessíveis economicamente, como foi demonstrado pelos Quadros 1 e 2 deste trabalho. Destaca-se ainda que o protótipo apresenta um valor monetário de 10 a 20 vezes inferior que o valor dos equipamentos consolidados no mercado, demonstrando que o equipamento é uma proposta viável e promissora para laboratórios que necessitam de coleta automática de volume.

6.1. Sugestões de trabalhos futuros.

Com o alto crescimento do mercado na área de controle de processos e automação industrial são previstas melhorias neste projeto, aperfeiçoando cada vez mais o sistema com desenvolvimentos tecnológicos. Por fim para projetos futuros são apresentados:

- Implementar sensores de presença para caracterizar o fim de curso da máquina, realizando assim um feedback no sistema. Tornando assim o protótipo em malha fechada.
- Substituir a válvula solenoide por uma mais robusta que tenha uma vazão maior o que levaria menos tempo para coleta do fluido, tornado o sistema mais ágil e eficaz.
- Implementar uma interface IHM para que o usuário tenha mais acesso quando não tiver habilidades com programação em Arduino.
- Implementar a tecnologia IoT (*Internet of Things*), ou seja, interconexão com aparelhos móveis pela rede internet ou aplicativos.
- Medir a satisfação do usuário em relação ao equipamento, entrevistando uma equipe de alunos ou profissionais que usariam o prot por um determinado período.

CAPÍTULO VII.

7. REFERÊNCIAS.

ARDUINO. **Mega Intro**. 2020. Disponível em: <<https://www.instructables.com/id/Arduino-Mega-Intro/>>. Acesso em: 07 jan. 2020.

ALIEXPRESS.

ATMEL. **Microchip, Atmega2560**. 2015. Disponível em: https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-2549-8-bit-avr-microcontroller-atmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf

BOOESHAGHI, A. S., KIL, Y. A., MIN, K. H. J., GEHRING, J., PACHTER, L. **Low-cost, scalable, and automated fluid sampling for fluidics applications** Elsevier HardwareX 10, (2021), doi 10.1016/j.ohx.2021.e00201

BROWN, D. J., CAMPBELL, G. M., BELTON, D. J., COX, P. W., GARCIA-TRINANES, P., TIZAOUI, C. **New chemical engineering provision: Quality in diversity** Elsevier Education for Chemical Engineers. Volume 28, 2019, Pg. 30-44.

CAMPOS, M. C. M.M.; TEIXEIRA, H. C. G. **Controles Típicos de Equipamentos e Processos Industriais**, Editora Blucher, 2^a ed. São Paulo, 2010.

CARVALHO, M. C., MURRAY, R.H., **Osmar, the open-source microsyringe autosampler** Elsevier HardwareX v.3, p 10-38 (2018), doi 10.1016/j.ohx.2018.01.001

COAKLEY, M., HURT, D.E., **3D Printing in the Laboratory: Maximize Time and Funds with Customized and Open-Source Labware** J. Lab. Autom. 21 (2016), pg 489 – 495, doi, 10,1177 / 2211068216649578.

CONSTANDINOU, T. G., **Stepper Motors Uncovered (I)**. Part 1: stepper motor fundamentals v.11, p 36-40, 2003. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/43bf/3c37cc19958a5b32e9aa011fab6b2881d7da.pdf>>. Acesso em: 16 de agosto de 2020.

CORREA, J. E., TOOMBS, N., FERREIRA, P. M. **A modular-architecture controller for CNC systems based on open-source electronics**. Journal of Manufacturing Systems V. 44,2017, p 317-323. doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.04.013

COSTA, W. J. P., **Adsorção de diclofenaco de sódio em carvão ativado de caroço de tucumã: sistema batelada e coluna de leito fixo** 2020. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará 2020.

DUNN, W. C. **Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control**. McGraw-Hill, p.197. 2005.

FONTE DE ALIMENTAÇÃO COMUTADA. **Mercado Livre**. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-679935027-fonte-chaveada-12v-5>. Acesso em 30 de novembro de 2019.

FUSO DE ESFERAS SFU1605-4. **AliExpress**. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/item/32843623111>. Acesso em 25 de outubro de 2020.

GIMENEZ, S. P. **8051 Microcontrollers Fundamental Concepts, Hardware, Software and Applications in Electronics**. 2ª Ed. São Paulo: Springer, p 4-191. 2018.

GOELLNER, E. **Ferramenta Computacional para Acionamento de Motores de Passo Aplicados ao Projeto de Equipamentos CNC**. 2006. p. 41-54. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

HUGHES, A. **Electric Motors and Drives Fundamentals**, Types and Applications. 3º Ed. P 305-325. 2006.

ISO14649-1, 2003. International Organization for Standardization – ISO/FDIS 14649-1 Industrial automation systems and integration – Physical device control – Data model for computerized numerical controllers – Part 1: Overview and fundamental principles. Geneva.

KLEIBER, M. **Process Engineering** addressing the gap between study and chemical industry. Deutsche Nationalbibliothek, p. 1-5. 2016.

KOYANAGI, F. **Motor de passo com aceleração e fim de curso**. 2018. Disponível em: <https://www.fernandok.com/2018/02/motor-de-passo-com-aceleracao-e-fim-de.html>
Acesso em: 21 de janeiro de 2020.

LAMB, F., **Automação Industrial na prática**. Bookman, p.2. 2015.

MATOS JR, B. C. **NFPR – Coletor automático de amostras de baixo custo**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=lUPR69CF01M>

- MCROBERTS, M. **Arduino básico**. 2. ed. São Paulo: Novatec, 2015. p.
- NASCIMENTO, T. E. Do. **Estudo De Máquinas CNC**. UFSJ. São João Del-Rei – MG: Julho, 2011.
- NISE, N. S., **Engenharia de Sistemas de Controle**. 7º Ed, LTC, p.2-25, 2017.
- NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas uma abordagem integrada**. 4º Ed. – Porto Alegre: Bookman, p. 11-871, 2013.
- OGATA, K., **Engenharia de Controle Moderno**. 5º Ed, p.1-7, 2010.
- OLSEN, K. **The first 110 years of laboratory automation: technologies, applications, and the creative scientist** J. Lab. Autom., 17 (2012), pp. 469-480, 10.1177/2211068212455631.
- OVERBY A. **CNC Machining Handbook** building, programming, and implementation, 1º Ed, p 57-76. 2011.
- PAZOS, F., **Automação de Sistemas & Robótica**. Axcel Books, p 119-133. 2002.
- PATSKO, L. F. **Tutorial Aplicações, Funcionamento e Utilização de Sensores**. 2006. Disponível em: https://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000_kdr5000/tutorial_eletronica_-_aplicacoes_e_funcionamento_de_sensores.pdf Acesso em 12/02/2020.
- RASHID, M. H. **Eletrônica de Potência, dispositivos circuitos e aplicações**. 4º Ed. Pearson, p. 541-563. 2015.
- RODIZIO GIRATÓRIO. **Mercado Livre**. Disponível em: [mercadolivre.com/ MLB-1495961289-rodizio-giratorio-silicone-gel-transp-75mm-sem-trava](https://www.mercadolivre.com.br/mlb-1495961289-rodizio-giratorio-silicone-gel-transp-75mm-sem-trava), acesso em: 13 de outubro de 2020.
- SILVEIRA, Cristiano Bertulicci. **Automação Industrial, Conceitos de Automação**. 2014. Disponível em: < <https://www.citisystems.com.br/sete-beneficios-automacao-industrial> >. Acessado em: 12 de março de 2020.
- TOEBE, A. **Desenvolvimento de driver para motor de passo com técnica de micropasso** - Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

TOSHIBA. **Tb6600hg.** 2016. Disponível em: <https://datasheet.octopart.com/TB6600HG-Toshiba-datasheet-103127618.pdf>. Acesso em: 12 de agosto de 2020.

TOWLER. G., SINNOTT. R., **Chemical Engineering Desing principles, practice and economics of plant and process desing.** 2º Ed, Elsevier, p.1-11, 2013.

UMANS, S. D., **Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley.** - 7ª Ed, p 495. 2014.

URBAN, P. L., **Prototyping Instruments for the Chemical Laboratory Using Inexpensive Electronic Modules** Angew. Chem. – Int. Ed. , 57 (2018) , pp. 11074 - 11077 , 10.1002 / anie.201803878 .

VÁLVULA SOLENOIDE DE TRÊS VIAS. **FILIPE.** Disponível em: filipeflop.com/produto/valvula-solenoides-5v-3-vias. Acesso em: 5 de abril de 2020.

VAZZOLER A. **Introdução ao estudo das viabilidades técnica e econômica de processos químicos:** Estimativas de custos para projetos conceituais e anteprojetos – Campinas, SP., p.63-333, 2017.

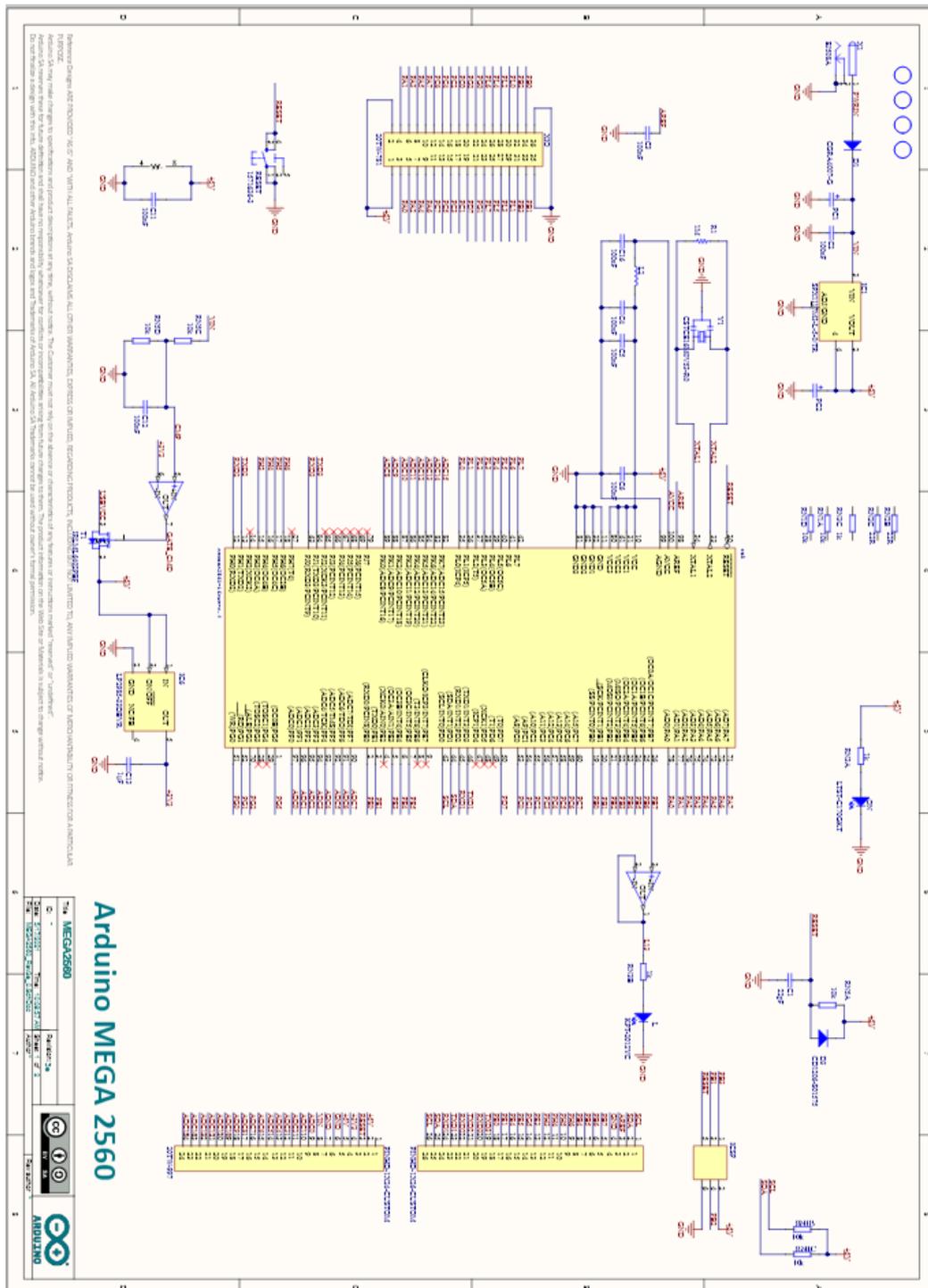
WICKERT, J., LEWIS, K., **An Introduction to Mechanical Engineering.** 3. ed, norte-americana, p.1 , 2015.

WOTIOM, Disponível em: <https://www.wotiom.com/motor-de-passo/>. Acesso em: 07 de agosto de 2020.

ANEXO I.

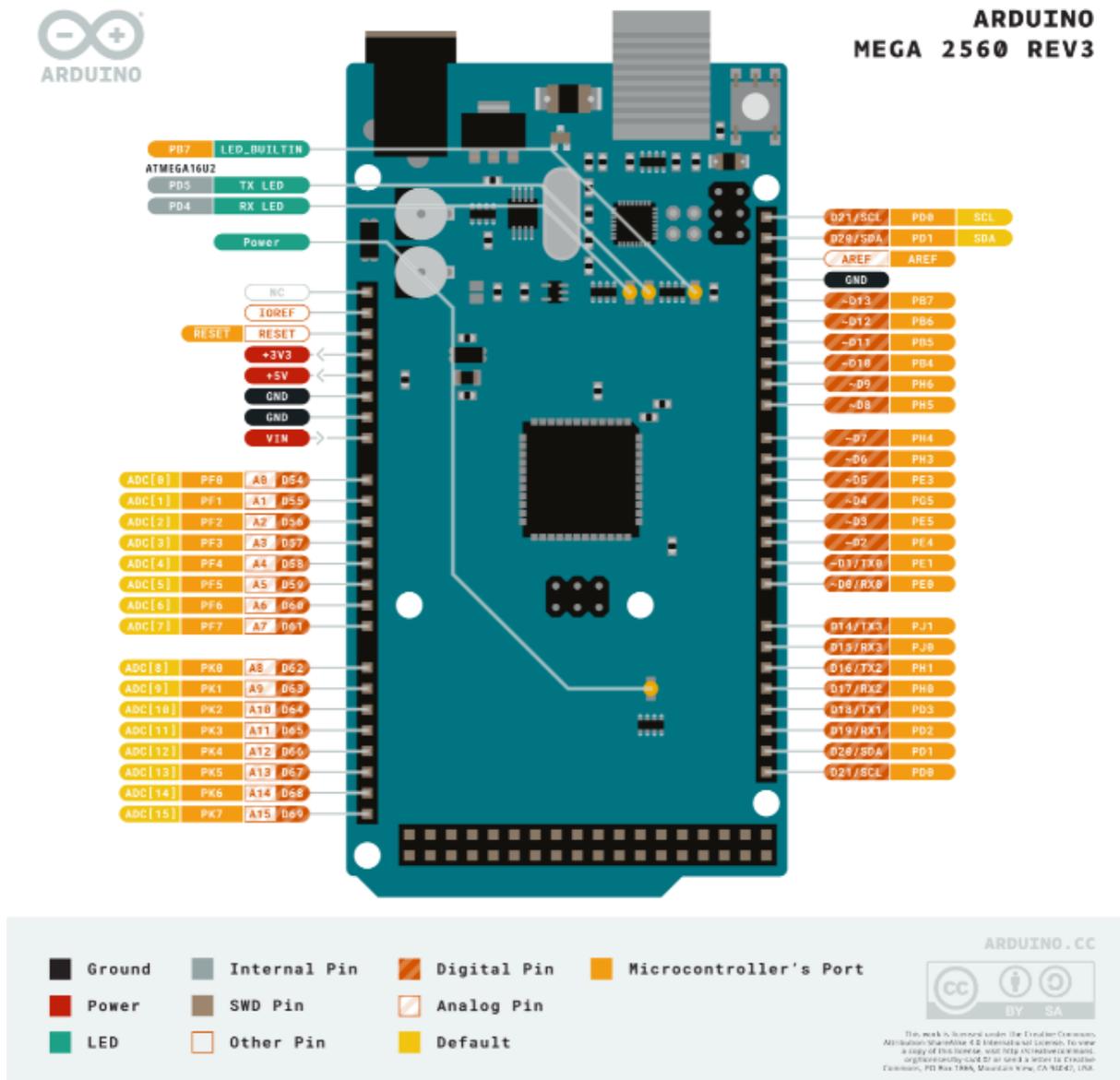
São apresentados os anexos dos dispositivos utilizados neste projeto, assim como, as características específicas de cada um. Segue em anexo o diagrama eletrônico da plataforma Arduino representada pela Figura A.1 e o seu diagrama de pinagem demonstrado pela Figura A.2.

Figura A.1 – Diagrama eletrônico da plataforma Arduino.



Fonte: ARDUINO 2020.

Figura A.2 – Diagrama de Pinagem do Arduino.



Fonte: ARDUINO 2020.

O datasheet do microcontrolador Atmega2560 utilizado está disponível no site:
<https://content.arduino.cc/assets/ATmega640-1280-1281-2560-2561-Datasheet-DS40002211A.pdf>

ANEXO II.

São demonstrados as características e especificações deste Driver TB6600 pelo Quadro A.1. Que é um driver de motor de passo bifásico profissional. Ele suporta controle de velocidade e direção. Podendo definir a corrente de saída com 6 chaves DIP. Existem 7 tipos de micro etapas (1, 2 / A, 2 / B, 4, 8, 16, 32) e 8 tipos de controle de corrente (0,5A, 1A, 1,5A, 2A, 2,5A, 2,8A, 3,0A, 3,5A) ao todo. E todos os terminais de sinal adotam isolamento de acoplador óptico de alta velocidade, aprimorando sua capacidade de interferência de alta frequência. Quadro A.1.

Quadro A.1 – Características específicas do TB6600.

Input Current	0~5.0A
Output Current	0.5-4.0A
Power (MAX)	160W
Micro Step	1, 2/A, 2/B, 4, 8, 16, 32
Temperature	-10 ~ 45°C
Humidity	No Condensation
Weight	0.2 kg
Dimension	96*56*33 mm

Fonte: TOSHIBA.

Outras características:

- Alimentação de VCC (DC 9 – 42 Volts).
- Suporte 8 tipos de controle atual
- Suporte 7 tipos de micro etapas ajustáveis
- As interfaces adotam isolamento óptico de alta velocidade
- Semi-fluxo automático para reduzir o calor
- Dissipador de calor de área grande
- Capacidade de interferência anti-alta frequência
- Proteção anti-reversa de entrada
- Superaquecimento, proteção contra sobrecorrente e curto-circuito.

ANEXO III.

Neste anexo é apresentado as características específicas do Fuso SFU 1605 – Porca simples com flange - DIN 69051 Forma B – Esquerda. A Série SFU do parafuso de esferas é uma porca de flange padrão DIN esquerda, com diâmetro de 16 a 32 mm. Feito na categoria C7. As dimensões são apresentadas pela Figura A.3.

Figura A.3 – Dimensões técnicas do Fuso SFU 1605.

TECHNICAL DIMENSIONS

Model No.	Dimension																
	d	l	Da	D	A	B	L	W	H	X	Q	n	Ca	Coa	K	Max. Length	Max Rec. Load
SFU1605-4	16	5	3.175	28	48	10	50	38	40	5.5	M6	1x4	13800	30520	320	3000	1526
SFU2005-4	20	5	3.175	36	58	10	51	47	44	6.6	M6	1x4	15510	38750	390	3000	1938
SFU3205-4	32	5	3.175	50	80	12	52	65	62	9	M6	1x4	19220	63430	540	6000	8880

Fonte: Aluflex.

Descrição técnica

- d: Diâmetro do parafuso da esfera
- n: número de circuitos
- Ca: Carga dinâmica básica de classificação (N)
- l: chumbo no parafuso da esfera
- K: Rigidez (N / um)
- Coa: Carga estática de classificação básica (N)
- Da: diâmetro da bola
- Comprimento máximo: Comprimento máximo no eixo do parafuso de esferas (mm)
- Rec máx. carga: máx. dyn recomendado. carga (N)

Especificação técnica do produto

- Jogo axial com qualidade de castanha P0: Varia de não jogo ao max. 0,08 mm de jogo
- Jogo axial na qualidade de castanha P1: Sem jogo (custo adicional)
- Precisão na classe de eixo C7: 50µm / 300mm
- Velocidade máxima: consulte velocidade crítica da volta, página 21
- Aceleração máxima: 10 m/s²
- Temperatura máxima: 80 ° Celsius
- Carga máxima recomendada: consulte no máx. Coluna de carga recomendada abaixo.

ANEXO IV

As especificações da fonte de alimentação comutada e suas características físicas são demonstradas abaixo. Disponível também no site:

https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-688072252-fonte-alimentaco-estabilizada-colmeia-60w-12v-5a-biv-cftv-JM?quantity=1#position=1&type=item&tracking_id=f47d09c2-b122-47eb-8685-16f0c01f7be4

Especificações do produto:

- - Corrente máxima saída 5A;
- - Frequência 50/60Hz;
- - Potência saída 60W;
- - Bivolt Automática;
- - Entrada 96 - 264v 2,2A;
- - Tensão máxima de saída 12V;
- - Sistema de conexão por borne.
- - Proteção contra curto circuito na saída e sobrecarga;
- - Proteção contra aquecimento;

Características físicas:

- Dimensões:35,5x81,5x110,5(mm);
- Filtros EMI e EFI Filtros contra interferência;
- Saída de tensão totalmente estabilizada;
- Acabamento metálico de alta resistência.

ANEXO V

Neste anexo é demonstrado as características específicas da Mini válvula solenoide 2 posições 3 vias. A Figura A.4, ilustra as dimensões da válvula.

Figura A.4 – Dimensões da válvula.



Características:

- Uma entrada comum;
- Duas saídas (Uma NA e uma NF);
- Indicada para mudar o fluxo do líquido;
- Pode ser utilizada com ar e água;
- Curvatura entre a entrada e a saída de 90°;
- Aplicado em projetos eletrônicos para controle de líquidos;
- Ideal para utilização em projetos;
- Compatível com Arduino, Raspberry Pi, entre outros;
- Excelente relação custo x benefício.

Especificações:

- Modelo: ZHV-0519;
- Tensão nominal: 5 a 6 VDC;
- Corrente: 190 a 220mA;
- Potência: 1,5W;
- Faixa de pressão: 0 a 350 mmhg;

- Diâmetro interno: Entrada: 1,7mm / Saída Plástica: 1,1mm / Saída Metálica: 1,7mm;
- Diâmetro externo: Entrada: 4,3mm / Saída Plástica: 3,1mm / Saída Metálica: 2,9mm;
- Dimensões ~36,4mm x 20,5mm x 12mm;
- Comprimento do cabo: 15 cm;
- Peso: 16g.