

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* BETIM

BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

JOÃO PEDRO TABELINI DOMINGUES

**IMPLANTAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE APARAFUSAMENTO AUTOMÁTICA
EM LINHA DE PRODUÇÃO DE MEDIDORES DE ENERGIA**

BETIM

2022

JOÃO PEDRO TABELINI DOMINGUES

**IMPLANTAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE APARAFUSAMENTO AUTOMÁTICA
EM LINHA DE PRODUÇÃO DE MEDIDORES DE ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais Campus Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientadora: Michelle Mendes Santos – Mestre em Engenharia Elétrica (UFMG)

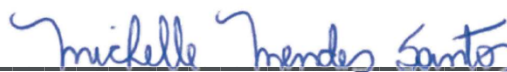
BETIM
2022

JOÃO PEDRO TABELINI DOMINGUES

**IMPLANTAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE APARAFUSAMENTO AUTOMÁTICA
EM LINHA DE PRODUÇÃO DE MEDIDORES DE ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais Campus Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

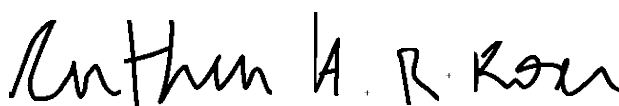
Aprovado em: 04 / 07 / 2022 pela banca examinadora:



Prof^ª. Ma. Michelle Mendes Santos (●orientadora) – IFMG Campus Betim



Prof. Dr. Leandro Freitas de Abreu – IFMG Campus Betim



Prof. Dr. Arthur Hermanno Rezende Rosa – IFMG Campus Betim

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pelo apoio e amor incondicional, mostrando-se fiel escudeira durante a minha trajetória acadêmica e de vida. Às mulheres da minha vida pela paciência e compreensão nos momentos de desânimo, trazendo acalento e coragem para que pudesse seguir em frente e ao meu pai por todo o suporte e direcionamento. Obrigado por não desistirem de mim! A minha orientadora pela sabedoria e incentivo, que me guiou, sustentando e dando asas às minhas ideias de projeto. Ao IFMG que foi minha segunda casa e família, e possibilitou o meu amadurecimento e a minha formação universitária de excelência. A vocês, toda a minha gratidão e respeito.

RESUMO

É de característica das máquinas de aparafusamento automático um alto nível de precisão e repetibilidade, atributos que são garantidos se o sistema for preparado para o aparafusamento de produtos definidos previamente no projeto do equipamento. Uma máquina de aparafusamento automático adquirida sem levar em consideração todas as variações do produto e processo em que será aplicada, dificilmente atingirá o objetivo do processo, a não ser que sejam feitas modificações.

Neste trabalho é apresentado o processo de implantação de um equipamento de aparafusamento de medidores de energia, de forma a expor todas as modificações e melhorias realizadas para que o sistema funcione de forma otimizada e eficaz.

A implementação das melhorias propostas nesse trabalho permitiu que o ciclo de operação fosse reduzido de 20 para 15s, além de aumentar a assertividade e facilitar a manutenção do equipamento. Como proposta de trabalho futuro, espera-se que após a implantação do dispenser extra apresentado como protótipo neste trabalho, a frequência de abastecimento do equipamento reduza de 26 para 2 vezes ao turno.

Palavras-chave: máquina de aparafusamento, manufatura, melhoria de processo, dispenser de parafuso, otimização de recursos.

ABSTRACT

A high level of precision and repeatability are characteristics of automatic screwing machines, attributes that are guaranteed if the system is prepared for screwing products previously defined in the equipment project. An automatic screwing machine acquired without taking into account all the variations of the product and process in which it will be applied, will hardly achieve the objective of the process, unless modifications are made.

This work presents the process of implementing an energy meter bolting equipment is presented to expose all the modifications and improvements made so that the system works optimally and effectively.

The implementation of the improvements proposed in this work allowed the operating cycle to be reduced from 20 to 15s, in addition to increasing assertiveness and facilitating equipment maintenance. As a proposal for future work, it is expected that after the implementation of the extra dispenser presented as a prototype in this work, the frequency of supplying the equipment will reduce from 26 to 2 times per shift.

Keywords: screwing machine, manufacturing, process improvement, screw dispenser, resource optimization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação de uma Máquina de Aparafusamento	13
Figura 2: Representação de uma Estrutura Cinemática Cartesiana	17
Figura 3: Servo drive utilizado no equipamento - SL57D	19
Figura 4: Motor CC com redução	20
Figura 5: Válvula Controladora de Fluxo Unidirecional	21
Figura 6: Arduino Uno	22
Figura 7: Circuito do strain gage (Rx) com ponte de Wheatstone	24
Figura 8: Medidor de energia elétrica	25
Figura 9: (a) e (b) Reservatório do dispenser; (c) Reservatório extra automático	28
Figura 10: Sistema de controle em malha fechada	29
Figura 11: Circuito do protótipo	29
Figura 12: (a) Peça acoplada aos eixos; (b) Ponteiras de referência	32
Figura 13: Gabaritos para aparafusamento	33
Figura 14: Pino trava para gabaritos utilizados para aparafusamento	34
Figura 15: Circuito pneumático – FluidSIM	34
Figura 16: (a) Página 1 de configuração; (b) Página 2 de configuração	36
Figura 17: Montagem final do circuito para controle e acionamento do dispenser extra	39
Figura 18: Montagem do protótipo do dispenser extra de parafusos	42
Figura 19: Protótipo final do dispenser extra de parafusos	42
Figura 20: (a) Pinos guias; (b) Programa de conferência	43
Figura 21: Pinos de pressão	44
Figura 22: Trava dos gabaritos de aparafusamento	45
Figura 23: Circuito pneumático para trava dos gabaritos	46
Figura 24: (a) Parâmetro “WorkSpeed” antigo; (b) Parâmetro “WorkSpeed” atual	47

Figura 25: (a) Parâmetro “CloseDTm” antigo; (b) Parâmetro “CloseDTm” atual

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1: Dados para Cálculos	27
Tabela 2: Lista de preço dos componentes eletrônicos do protótipo	29
Tabela 3: Lista de preço das peças usinadas	32
Tabela 4: Lista de preço das peças pneumáticas	35
Tabela 5: Esquema de ligação Célula de carga e Módulo HX711	37
Tabela 6: Esquema de ligação Módulo HX711 e Arduino	37
Tabela 7: Esquema de ligação Display e Arduino	38
Tabela 8: Esquema de ligação Motor cc, Módulo Relé e Arduino	38
Tabela 9: Valores lidos para etapa de calibração	39
Gráfico 1: Gráfico Média de leituras x Peso	40
Tabela 10: Medição após calibração	40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Justificativa	14
1.2. Objetivo geral e objetivos específicos do trabalho	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Circuito de comando	18
2.2 Servo motor e servo drive	18
2.3 Motor cc com redução	19
2.4 Válvula pneumática	20
2.5 Parafusadeira	21
2.6 Arduino	22
2.7 Balança controlada por arduino	23
2.7.1 Célula de carga	23
2.7.2 Conversor HX711	24
2.8 Medidor de energia	24
3. METODOLOGIA	26
3.1 Reservatório para abastecimento automático	26
3.2 Melhoria na estabilidade do eixo	31
3.3 Melhoria dos gabaritos de aparafusamento	33
3.4 Otimização dos parâmetros de configuração	35
4. RESULTADOS	37
4.1 Reservatório para abastecimento automático	37
4.2 Melhoria na estabilidade do eixo	43
4.3 Melhoria dos gabaritos de aparafusamento	43
4.4 Otimização dos parâmetros de configuração	46

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	48
REFERÊNCIAS	49
APÊNDICE A	51

1. INTRODUÇÃO

Um dos objetivos da automação industrial é criar mecanismos que sejam capazes de produzir o melhor produto com o menor custo. O segmento de manufatura está passando pelo processo de substituição do aparafusamento manual, para o processo robotizado, realizado por máquinas automáticas, que permitem o ajuste do torque e preservam a integridade da peça e dos operadores, que deixam de fazer movimentos repetitivos para realização da tarefa.

A automatização de tarefas ocorre diante das pressões competitivas do mercado. As empresas frequentemente precisam introduzir novos produtos no tempo mais curto possível. Então, a maneira mais fácil e econômica de alcançar esse objetivo é projetar um método de trabalho que faça uso de uma sequência de estações operando de forma independente (GROOVER,2011).

Parte das indústrias de manufatura, que utilizam arranjo físico linear para produção, em que o objetivo é a produção em alto volume, ainda utiliza o aparafusamento manual (MATOS, 2011; ZILCH, 2016; RODRIGUES et al., 2015). A natureza do trabalho nas linhas origina repetição de tarefas que, por sua vez, conduz a rotinas diárias. Estas, apesar de permitirem curvas de aprendizagem, também originam desgaste e estresse. Tem-se como exemplo o Grupo Preh, que utiliza parafusadeiras pneumáticas e elétricas em seu processo e buscaram, por meio de equipamentos a automação desses postos de aparafusamento com objetivo de minimizar os impactos ergonômicos que este tipo de posto gera (MATOS, 2011).

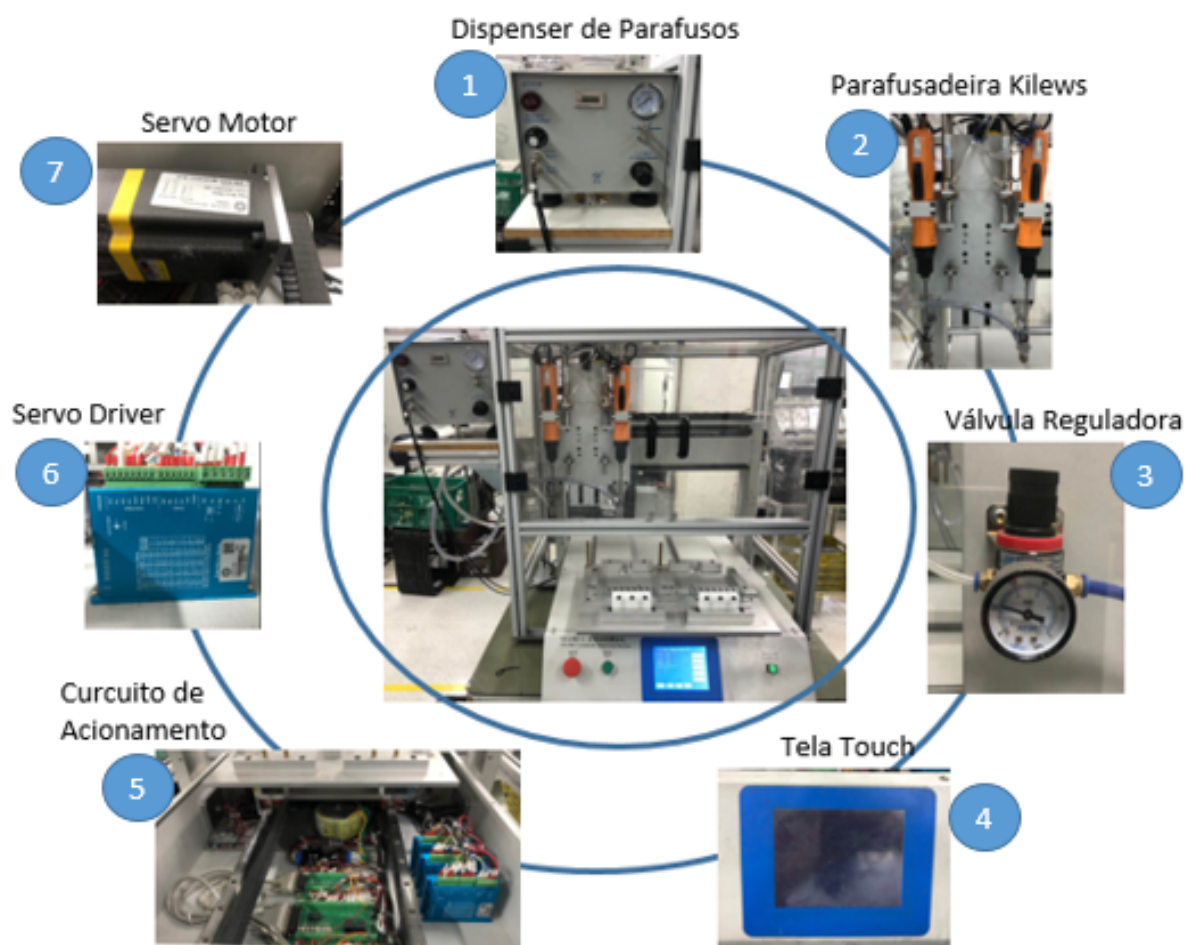
Assim como o Grupo Preh, a Nansen Instrumentos de Precisão Ltda, empresa em que foi implementado este projeto, também buscou, por meio do uso de máquinas, a automação dos postos de aparafusamento. A Nansen é uma empresa de nacionalidade brasileira que surgiu em 1930 e em 2019 iniciou uma sociedade com a maior fabricante de medidores da China, a Sanxing Electric Co. Após a parceria, a Nansen se tornou referência na produção de medidores de energia na América Latina, caracterizando-se também por ser inovadora, com produtos de alta performance, precisão e confiabilidade (NANSEN, 2020).

Apesar da grandiosidade dessa empresa, não se utilizava o aparafusamento automático em seu processo de produção. Como grande parte dos projetos de automação em processos industriais, existiram problemas na implantação, de maneira que estes impediam

que o aparafusamento automático superasse o desempenho do processo manual em termos de produção diária.

A Figura 1 apresenta os principais elementos da máquina de aparafusamento automático adquirida pela empresa.

Figura 1: Representação de uma Máquina de Aparafusamento.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A seguir, são apresentadas as principais funções desses elementos:

- 1) Dispenser de parafusos:** responsável por armazenar e enviar os parafusos de acordo com os comandos do equipamento.
- 2) Parafusadeiras Kilews:** responsável por apertar os parafusos enviados pelo dispenser.

- 3) **Válvula reguladora:** elemento pneumático utilizado para controlar o fluxo de ar comprimido no sistema.
- 4) **Tela touchscreen:** além de ser um dispositivo para apresentação visual das informações, permite a configuração local através de simples toque na tela.
- 5) **Circuito de acionamento:** responsável pelo acionamento de todos os equipamentos elétricos do sistema a partir da lógica de programação.
- 6) **Servo drives:** são dispositivos eletrônicos que têm a função de controlar a rotação e torque dos servo motores de acordo com os comandos enviados pelo circuito de acionamento.
- 7) **Servo motores:** responsáveis pela movimentação dos eixos.

Esses elementos fazem parte desse único sistema que tem por objetivo realizar o aparafusamento dos medidores de energia. Dessa forma, o processo se inicia quando o programa referente ao produto a ser parafusado é construído através de uma interface de programação de aplicações (API) que tem como objetivo transformar os comandos realizados em uma lógica CNC. Após feito o programa e realizadas as configurações de trabalho, o dispenser de parafusos deve ser abastecido e, assim, a máquina já pode ser operada.

1.1. JUSTIFICATIVA

Cada vez mais a automação vem ganhando espaço nos processos industriais. Pode-se destacar vantagens no uso de equipamentos que visam a automatização de tarefas em linhas de produção (PAZOS, 2002):

- 1) **Redução de Custo:** Além de aumentar a produtividade, a automação (consequentemente) reduz os custos. Isso porque a máquina consegue trabalhar de modo mais ágil, controlado e seguro. As empresas precisam diminuir seus custos de produção e, para isso, é preciso aumentar a produtividade da instalação com a automação industrial.
- 2) **Qualidade e Padronização:** Um trabalho feito de modo automatizado tende a ter um padrão, pois as máquinas devidamente calibradas e ajustadas

conseguem repetir processos sem desvio na qualidade. Assim, há um ganho direto na padronização nos produtos.

3) Segurança e Ergonomia: A substituição do homem pela máquina deixa de expor o funcionário a situações que podem ocasionar problemas de saúde.

Em (CARVALHO et al., 2018), confirma-se que a implantação de uma estação robotizada para aparafusamento, contém todas as vantagens mencionadas anteriormente. Os postos de aparafusamento manual da Nansen contam com três operadores que executam o processo manual de aparafusamento. Nesses postos se exige ritmo intenso de trabalho e mecanismos de avaliação de desempenho baseados em produtividade. A médio prazo, o processo de aparafusamento manual pode lhes causar lesões musculares (RODRIGUES, 2015). A utilização de um equipamento robotizado para essa operação diminui o risco dessas lesões ao operador. Outra vantagem em utilizar esse equipamento, é a garantia de aperto e fixação de todos os parafusos na mesma proporção, levando em conta que é um dispositivo que apresenta alta repetibilidade e, por isso, irá aos mesmos pontos de aparafusamento com o mesmo torque. Outro benefício da implantação desse sistema é a redução do número de operadores na linha de produção, o que traz redução de custos de operação por célula de produção e maior segurança ao operador. Dessa forma, a automação do processo de aparafusamento torna-se imprescindível por trazer incrementos à qualidade do processo e do produto, além de proporcionar maior conforto aos operadores, diminuindo o risco de lesões por esforço repetitivo.

Para concretizar a implantação de uma máquina de aparafusamento em linha de produção de medidores e obter todos os benefícios mencionados anteriormente, é necessário solucionar problemas deste processo, como a alta frequência de abastecimento do alimentador de parafusos, a falta de estabilidade dos eixos e a ausência de um bom dispositivo para guiar os parafusos.

1.2. OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS DO TRABALHO

O objetivo geral deste trabalho é apresentar a implantação de uma máquina de aparafusamento automático em linha de produção de medidores de energia. Para fazer com que a máquina atinja as expectativas para as quais foi adquirida, torna-se necessária a

realização de melhorias nesse processo. Dessa maneira, tem-se os seguintes objetivos específicos:

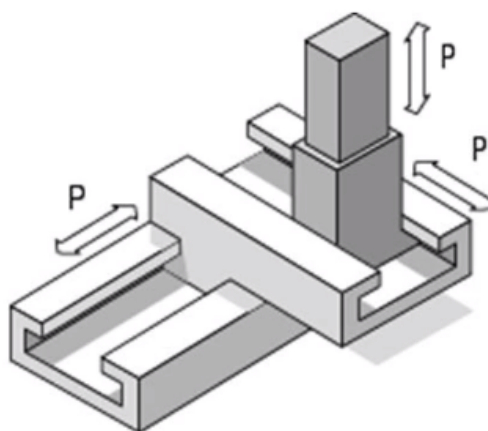
- Garantir estabilidade mecânica dos Eixos X, Y e Z da máquina com finalidade de atenuar a quantidade de falhas;
- Realizar melhorias nos dispositivos responsáveis por guiar os parafusos durante a operação, com intuito de diminuir as falhas no processo;
- Otimizar o tempo de operação por meio da manipulação de parâmetros de configuração de maneira que os parâmetros se adequem a qualquer um dos três modelos produzidos pela empresa;
- Implementar um sistema de abastecimento de parafusos automático com intuito de minimizar a frequência de alimentação do dispositivo pelo operador;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A máquina de aparafusamento automático, alvo deste TCC, produz movimentos em três eixos pela utilização de motores elétricos. Essa configuração se assemelha a um robô manipulador cartesiano. Um manipulador é um dispositivo, em geral eletro-mecânico, que pode ser uma garra, um braço mecânico, que reproduz os movimentos indicados pelo controlador (PAZOS, 2002). A Robotic Industries Association (RIA) define robô da seguinte forma: "Um robô é um manipulador multifuncional reprogramável projetado para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especializados por meio de movimentos programados variáveis para a execução de uma variedade de tarefas"(INC, 2020).

Existem diferentes configurações físicas, ou diferentes anatomias, nos robôs manipuladores, sendo que cada uma delas encontrará utilidade em alguma aplicação específica no campo industrial. Essas configurações são caracterizadas pelas coordenadas de movimento das três primeiras juntas, ou pelas três primeiras coordenadas generalizadas, que são as variáveis que representam o movimento delas (PAZOS, 2002). No equipamento tratado neste trabalho, o robô utilizado é composto por três eixos, sendo que cada um deles tem um movimento de deslocamento linear e perpendicular com respeito ao anterior, caracterizando-se, então, como “robô de coordenada cartesiana”. Na Figura 2 pode-se observar a estrutura de um robô com esse modelo de configuração física.

Figura 2: Representação de uma Estrutura Cinemática Cartesiana.



Fonte: (ROSÁRIO, 2015) - Princípios da Mecatrônica.

Compreendendo a configuração base desse equipamento, faz-se necessária também, como parte do entendimento do funcionamento da máquina de aparafusamento automático e das soluções propostas para este trabalho, uma introdução dos principais elementos deste sistema, que são listados nas subseções a seguir.

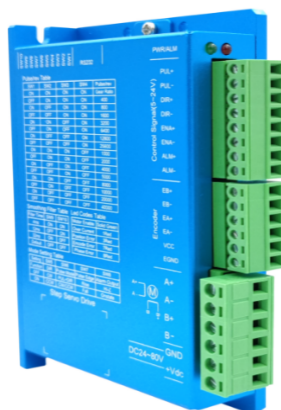
2.1. Circuito de comando

O circuito de comando é o alicerce de funcionamento de máquinas e equipamentos eletrônicos, presentes na indústria, automação e construção civil. Os comandos elétricos são compostos por um circuito de força, onde ficam suas cargas, e por um circuito de comando, em que estão presentes as lógicas de acionamento dos dispositivos de sinalização e acionamento dessas cargas. A partir da lógica presente neste tipo de circuito é possível realizar uma sequência de operações com objetivo único, no caso do equipamento base deste projeto, é realizar o aparafusamento de medidores de energia.

2.2. Servo motor e servo drive

Os servo motores são amplamente utilizados em robótica, sistemas de fabricação automatizados, máquinas CNC, entre outros, sendo responsáveis pelos movimentos dos eixos em seus sistemas. A principal diferença entre um servo motor e os demais motores (seja de corrente alternada ou contínua) é que os servos possuem incorporado um encoder e um controlador. O encoder é utilizado para fornecer informações de velocidade e posição, que por sua vez trabalha junto a um controlador em malha fechada para manter a velocidade e movimentar-se para o local desejado. Esse controlador também pode ser chamado de servo drive. Além de controlar em campo alguns parâmetros industriais como posição e velocidade, também pode controlar o torque, potência ou outros parâmetros, sendo portanto de suma importância dentro do controle de processos. Pode-se ver na Figura 3, a imagem do servo drive utilizado no equipamento referente a este trabalho. Nesse caso foram utilizados três drives, um para cada servo motor.

Figura 3: Servo drive utilizado no equipamento - SL57D.



Fonte: (FORYOU-TEC, 2021).

2.3. Motor CC com redução

A principal forma de propulsão de muitos dispositivos que tenham partes mecânicas como robôs, braços mecânicos, entre outros, é o motor elétrico. O tipo mais comum, que pode ser encontrado numa enorme faixa de tamanhos e tensões de trabalho, é o motor CC escovado, que é um motor alimentado por corrente contínua (CC) de uma bateria ou outra fonte CC.

Os motores CC encontrados à disposição dos projetistas são normalmente de alta rotação e pequeno torque. Para empregar um motor CC em algumas aplicações é preciso reduzir sua velocidade e, ao mesmo tempo, aumentar seu torque, dessa forma, a chamada caixa de redução é introduzida neste sistema. Uma caixa de redução é composta, basicamente, de um conjunto de engrenagens conectadas de maneira a proporcionar uma velocidade menor e torque maior em seu eixo de saída que o que é fornecido pelo eixo do motor. Pode-se ver na Fig. 4 um motor de corrente contínua e, acoplada a ele, uma caixa de redução.

Figura 4: Motor CC com redução.



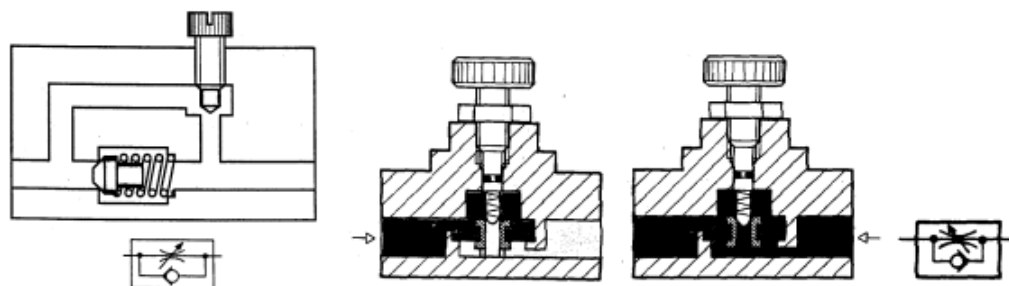
Fonte: (CASA DA ROBÓTICA, 2021).

2.4. Válvula pneumática

As válvulas pneumáticas são componentes de um circuito pneumático designados para controlar a direção, a pressão, a vazão ou o bloqueio do ar comprimido. Podem ser de controle direcional, reguladora de fluxo, reguladora de pressão e de bloqueio:

- Válvula direcional: controla a parada, partida e sentido do movimento de um atuador. Este tipo necessita de um agente para deslocar as suas partes internas de uma posição para outra, seja ele, mecânico, pneumático ou elétrico. Estes acionamentos e comandos são identificados por símbolos normalizados em suas representações.
- Válvula reguladora de fluxo: é empregada em diversas máquinas industriais, com o objetivo de controlar o fluxo de um fluido para determinada direção. Uma das aplicações mais utilizadas é o controle de velocidade de atuação de um cilindro pneumático. Pode-se ver na Fig. 5, em uma vista lateral de como é internamente uma válvula deste tipo. Na parte superior da válvula tem-se o que se chama “alça de ajuste”, este é responsável por comprimir a mola presente internamente neste dispositivo, fazendo com que aumente o fluxo de ar.

Figura 5: Válvula Controladora de Fluxo Unidirecional.



Fonte: (CITISYSTEMS, 2021).

- Válvula reguladora de Pressão: no instante que o compressor injeta o ar comprimido no sistema pneumático, a válvula reguladora de pressão recebe esta pressão integral do sistema e então, o afunilamento que pode ser ajustado manualmente ou eletronicamente, permitirá a passagem do ar comprimido em sua pressão total ou parcial a partir deste ponto do sistema.
- Válvula de bloqueio: bloqueia o sentido de ar comprimido, podendo ou não liberar o ar para o sentido oposto.

Equipamentos que utilizam componentes pneumáticos em etapas de seu processo, em sua maioria utilizam tipos de válvula como estas apresentadas anteriormente, como é o caso da máquina de aparafusamento automático.

2.5. Parafusadeira

Uma parafusadeira é um equipamento similar a uma furadeira e é destinada a apertar ou retirar parafusos. Esse tipo de equipamento é utilizado muitas vezes em substituição às chaves de fenda, boca, torx, etc. As características a serem observadas neste equipamento se dividem da seguinte forma:

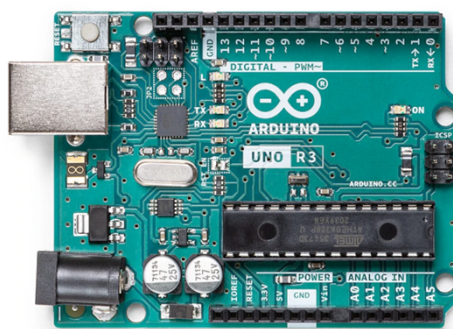
- Torque: capacidade de força empregada na ação de rotação sobre o eixo.
- Potência: a potência da ferramenta é medida em Watts (W), desse modo, quanto maior a potência, maior a força aplicada.
- Giro reverso: essa característica dá à parafusadeira a possibilidade de retirada de parafusos.

2.6. Arduino

O Arduino é uma plataforma open source feita para prototipagem eletrônica. O dispositivo foi criado em 2005 na Itália por um grupo de 5 pesquisadores. O objetivo de sua criação era elaborar um dispositivo que fosse ao mesmo tempo barato e fácil de programar, sendo, dessa forma, acessível aos estudantes e projetistas amadores.

O Arduino Uno (Figura 6), modelo utilizado neste trabalho, é uma placa de Arduino que tem como microcontrolador principal o ATmega328P da fabricante Atmel. Possui 14 pinos de entrada/saída digital (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM), 6 entradas analógicas, um ressonador cerâmico de 16 MHz, uma conexão USB, um conector de alimentação, um conector ICSP e um botão de reset.

Figura 6: Arduino Uno.



Fonte: (ARDUINO.CC, 2021).

Para se utilizar o Arduino precisa-se da placa do Arduino, um cabo USB, uma fonte de tensão e um computador para programação. A programação do Arduino é feita por meio da comunicação serial com um computador, através de um cabo de alimentação USB tipo B. O algoritmo do Arduino é escrito no software Arduino IDE, ambiente de desenvolvimento integrado da lógica do Arduino, disponibilizado gratuitamente no site do fabricante. Ao estabelecer a conexão com o Arduino, o programa deve ser compilado, em seguida carregado e então a plataforma começa a executar a lógica programada. A linguagem utilizada para a programação do Arduino é semelhante ao C++ (Filipeflop, 2014).

Dessa forma, o Arduino será utilizado neste projeto como parte dos componentes necessários para automação de um dos processos correspondente a uma solução proposta.

2.7. Balança controlada por Arduino

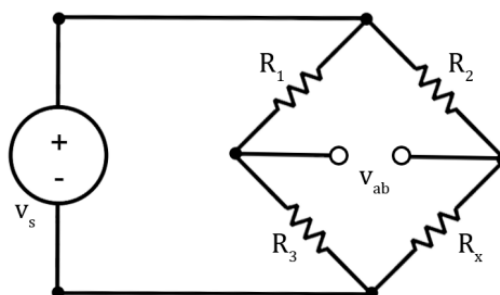
A balança é muito utilizada para fins comerciais, em que a grandeza exibida em seu display corresponde à massa, geralmente dada em quilogramas, obtida quando um determinado material é posto sobre esta balança, fazendo com que uma força peso seja aplicada, causando então uma perturbação neste sistema. Dentre os componentes de uma balança controlada pelo arduino, pode-se destacar dois elementos responsáveis pelo resultado desta medição: célula de carga e módulo de conversão HX711.

2.7.1. Célula de carga

A célula de carga é o componente eletrônico mais utilizado para medição de uma força, sendo caracterizado como um transdutor de força, ou seja, é capaz de medir força convertendo as deformações mecânicas de um sensor do tipo *strain gauge* em um sinal elétrico. O *strain gauge*, ou extensômetro, é um elemento que possui sua resistência elétrica alterada conforme ele sofre uma pequena deformação mecânica. Para converter a variação de resistência em um sinal elétrico, uma ponte de Wheatstone é implementada, tornando o sinal de tensão em sua saída proporcional à força aplicada sobre o sensor.

Pode-se visualizar na Figura 7 a ponte de Wheatstone que detecta essa variação quando conectado ao *strain gage*. Nela, a tensão medida V_{ab} será diferente para cada valor de força ou peso sobre o *strain gage*.

Figura 7: Circuito do strain gage (R_x) com ponte de Wheatstone.



Fonte: (AMORIM, 2017).

2.7.2. Conversor Hx711

Para a utilização da célula de carga em um Arduino, é necessário um módulo para converter o sinal analógico em digital e amplificar o sinal enviado pelas células de carga, pois estas geram uma diferença de potencial muito baixa, inviabilizando a detecção do Arduino. Para isso, o módulo HX711 de 24 bits, possui terminais de entrada que podem conectar mais de uma célula, sendo possível a utilização de duas células em conjunto, além de ser barato e de fácil acesso. O módulo foi projetado para trabalhar diretamente com sensores em ponte de Wheatstone, ou seja, qualquer sensor que tenha princípio de funcionamento na variação da resistência elétrica.

2.8. Medidores de energia

Os medidores de energia são dispositivos eletrônicos utilizados para medir grandezas como tensão, potência e corrente elétrica da rede de energia. Uma das funções mais usadas é a medição de energia consumida, ou seja, de potência acumulada ao longo de um determinado período. Então, a partir do que for aferido, o medidor faz um cálculo, considerando o tempo de uso e a potência acumulada, e traduz esse consumo em quilowatt-hora (kWh), que é o valor registrado na fatura de energia elétrica. Na Figura 8 pode-se ver um exemplo de um medidor de energia trifásico. Os terminais utilizados para fixação dos cabos de energia conectados ao medidor de energia são o objeto a ser aparafusado neste projeto.

Figura 8: Medidor de energia elétrica.



Fonte: (NANSEN, 2021).

3. METODOLOGIA

A primeira etapa para realização deste projeto foi a identificação dos principais gargalos para a implantação da máquina de aparafusamento automático na linha de produção de medidores. Dessa forma, foi possível definir o escopo do projeto, resultando nos objetivos listados na Seção 1.2. Após a definição dos objetivos, iniciou-se um estudo aprofundado da máquina, por meio da leitura do manual de instruções do equipamento e de testes experimentais de parâmetros, permitindo que se chegasse a uma parametrização inicial para testes envolvendo o produto a ser parafusado.

Para implantação da máquina de aparafusamento automático na linha de produção, foi escolhido o produto Vector G2¹ como primeiro medidor a ser testado nesse sistema. Esse produto possui um formato físico que favorece o processo de aparafusamento automático. Diante disso, foi realizado o *setup* mecânico e em seguida foi feito o programa para este produto. Após alguns ajustes de parâmetros e mecânicos, chegou-se a uma condição aceitável para validar o equipamento em linha de produção.

Após a realização desses testes, percebeu-se algumas limitações do equipamento para o processo desejado, uma delas é a limitação da capacidade do dispenser de parafusos, que faz com que o operador abasteça o reservatório com alta frequência. Outra limitação é a movimentação dos eixos X e Z e peças acopladas a eles, que se deslocam devido ao impacto mecânico gerado, resultando no aumento de retrabalho após o processo automatizado.

Dessa maneira, este trabalho visa propor e implementar soluções para os problemas levantados anteriormente e realizar a reconfiguração de parâmetros da máquina para otimização de tempo do processo. As seções a seguir descrevem a metodologia e os materiais necessários para solucionar essas demandas.

3.1. Reservatório para abastecimento automático

A capacidade nominal de parafusos informada pelo fornecedor e validada na prática é de 350 parafusos. Isso faz com que o operador precise realizar 26 abastecimentos do dispenser por turno. Dessa forma, baseado em dispenser de cereais utilizados em

¹ Vector G2 é a segunda geração de medidores polifásicos para faturamento de energia ativa e reativa em consumidores residenciais de baixa tensão.

estabelecimentos comerciais, como sorveterias e lojas especializadas em alimentos a granel, propõe-se o desenvolvimento de um reservatório extra com capacidade para 8500 parafusos, de forma que o dispenser seja alimentado automaticamente a partir de uma medição do peso dos parafusos presentes no dispenser da máquina utilizando uma balança controlada por Arduino. O objetivo é diminuir a frequência de abastecimento de 26 vezes para 2 vezes ao turno.

Para avaliar a influência da frequência de abastecimento do dispenser na produtividade, um cálculo é proposto como métrica. Esse cálculo leva em consideração a quantidade de parafusos utilizados por hora, a capacidade atual do dispenser, o tempo gasto para seu abastecimento e o tempo de ciclo por medidor. Esses dados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Dados para Cálculos.

Meta horária	150 medidores/hora
Ciclo Máquina + Ciclo Movimentação	20s/medidor
Quantidade de Parafusos / Hora	2400 parafusos
Capacidade do Dispenser	350 parafusos
Ciclo de abastecimento	17s

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2020).

Para perceber o impacto dos abastecimentos é necessário determinar, inicialmente, a quantidade média de abastecimentos que ocorrem por hora (M_{ah}). Em seguida, é necessário determinar o tempo gasto com os abastecimentos por hora (T_{ah}). Por último, pode-se calcular a quantidade de medidores que poderiam ser produzidos durante o tempo que foi gasto com os abastecimentos (Medidores não produzidos - M_{np}).

$$M_{ah} = \frac{\text{Quantidade parafusada/hora}}{\text{Capacidade do dispenser}} = \frac{2400}{350} \approx 7 \text{ abastecimentos/hora,}$$

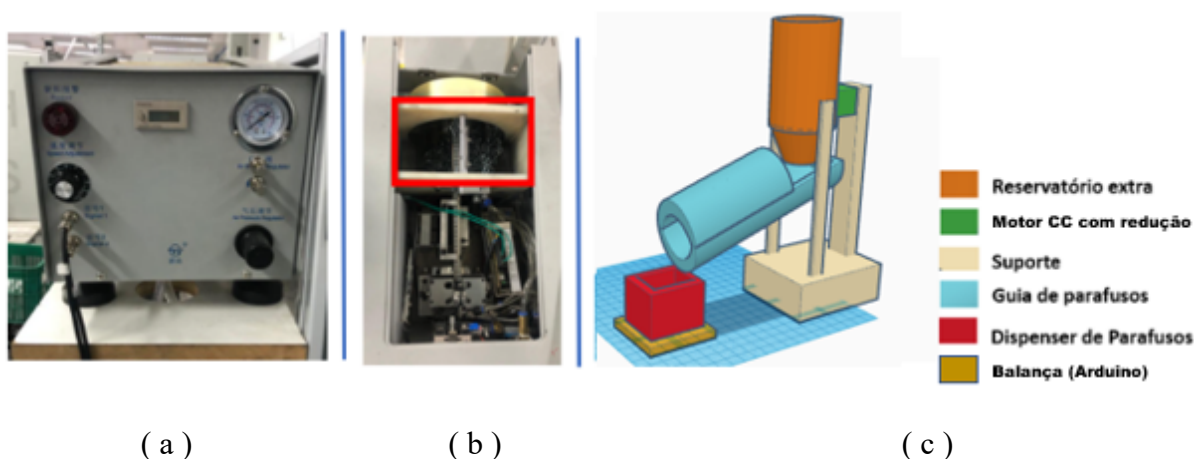
$$T_{ah} = M_{ah} \times \text{Ciclo de Abastecimento} \approx 17 \text{ segundos} \times 7 = 119 \text{ segundos,}$$

$$M_{np} = \frac{\text{Tempo Gasto com abastecimento Hora}}{\text{Ciclo Máquina} + \text{Ciclo Movimentação}} = \frac{119}{20} \approx 6 \text{ medidores.}$$

Conforme apresentado nos cálculos, atualmente, o tempo que é gasto com o abastecimento do dispenser poderia ser utilizado para a produção de 6 medidores a mais por hora. Isso corresponde a uma média de 42 medidores por turno, podendo chegar a 126 medidores por dia.

A Figura 9(a) apresenta o dispenser existente visto de frente, a Figura 9(b) apresenta a parte interna, em que é destacado o reservatório deste dispositivo e por fim, pode-se visualizar na Figura 9(c) a representação da proposta do reservatório extra.

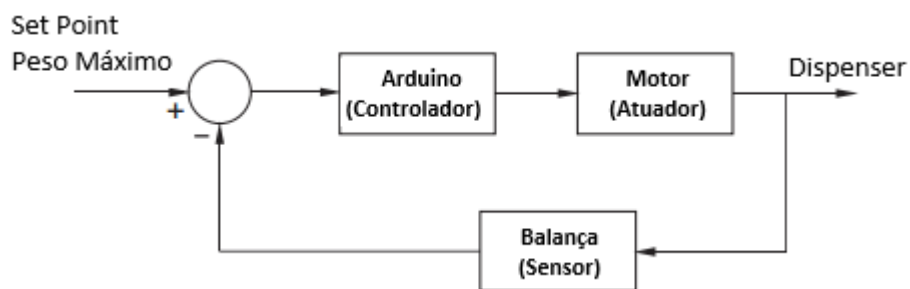
Figura 9: (a) e (b) Reservatório do dispenser; (c) Reservatório extra automático.



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2022).

Para implantação deste sistema, foi utilizada uma técnica de controle em malha fechada com controlador *ON-OFF* com intervalo diferencial (histerese), de forma que a balança faz a leitura instantânea da massa de parafusos no dispenser, transmite esse dado para o Arduino e, se este valor for menor que o valor mínimo desejado, o motor é acionado até que o valor medido seja igual ao valor desejado configurado na lógica de programação do arduino (Apêndice A). Pode-se ver na Fig.10, o diagrama de controle aplicado a este sistema.

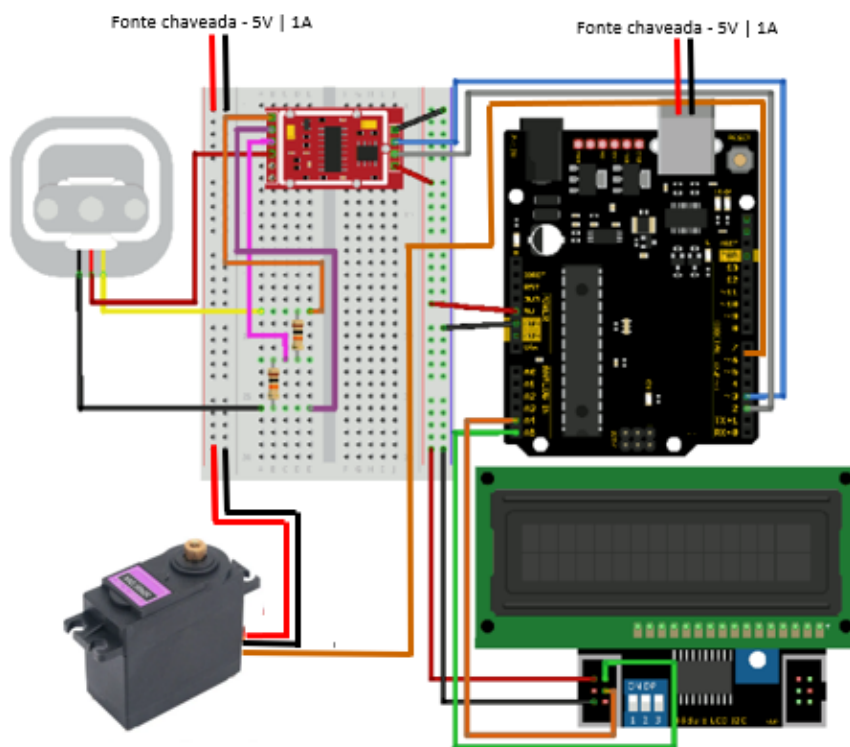
Figura 10: Sistema de controle em malha fechada.



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2022).

O circuito do protótipo está apresentado na Fig. 11. Nele, pode-se ver a representação dos três componentes principais para realizar o controle desejado: Arduino, célula de carga e motor CC.

Figura 11: Circuito do protótipo.



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2022).

Pode-se ver na Tabela 2 a lista de itens necessários para implementar essa solução e seus respectivos preços.

Tabela 2: Lista de preço dos componentes eletrônicos do protótipo.

Componente	Preço Unitário	Quant	Fornecedor
Arduino Uno	R\$ 119,00	1	Eletrogate
Motor CC com redução	R\$ 45,90	1	Eletrogate
Módulo Conversor Amplificador HX711	R\$ 12,26	1	Eletrogate
Display 16×2 com adaptador I2C	R\$ 40,76	1	Eletrogate
Fonte de alimentação 5V-1A	R\$ 15,50	2	Robo Core
Jumpers (Pacote 20 unidade)	R\$ 11,96	1	Eletrogate
Base em MDF para Balança + Célula de Carga 0 a 5kg;	R\$ 64,25	1	Usinainfo
Recipiente de plástico	R\$ 68,90	1	Magazine Luiza
Tubulação PVC	R\$ 18,90	1	Leroy Merlin
Módulo Relé 1 Canal 5v 10A	14,90	1	Eletrogate
Base de madeira	R\$ 25,00	1	Madeira Madeira
Total		R\$ 452,83	

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2022).

Após a construção da lógica no software Arduino IDE e criação do protótipo do reservatório extra, foi necessário realizar a calibração estática e efetuar uma calibração inicial do sistema de medição. O fator de calibração, constante responsável por adequar a medição a um valor real, consiste na utilização de um número correspondente à proporção entre a diferença de potencial medida no Arduino e o peso que está sob a célula de carga. Com este fator de calibração é possível obter o valor inicial para certo peso padrão, para que posteriormente seja utilizado como base para as demais medidas.

Em (STRAUB, 2019), o autor retrata uma metodologia para encontrar o fator de calibração. Ela consiste em seis passos:

- Montar o protótipo de medição com arduino utilizando célula de carga.

- Compilar no arduino o código de programação disponibilizado pelo autor para coleta da constante de medição.
- Inserir um peso padrão e coletar vinte valores sequenciais de medição através do *serial read* da plataforma de programação do arduino.
- Realizar uma média dos valores encontrados.
- Dividir a média encontrada pelo valor do peso do objeto utilizado para teste. Nesta etapa encontra-se a escala.
- No código de programação, utilizar na função “*set_scale*”, o valor de escala encontrado anteriormente. Essa função é responsável por ajustar a escala para o fator de calibração.

Com o objetivo de diminuir o erro ao se pesar objetos com pesos distintos, o processo descrito acima foi realizado para 7 cargas diferentes. Após encontrar a escala, foi realizada uma média de todas elas.

De forma a garantir que o método descrito irá atender à necessidade do projeto, foi utilizado o método de regressão linear para encontrar a equação da reta que melhor se adequa aos valores medidos pelo arduino e peso dos objetos utilizados no procedimento de calibração. A equação obtida foi comparada ao valor da média para verificar se o procedimento poderia ser aplicado em sua integralidade. Os resultados desses procedimentos estão descritos no Capítulo 4.

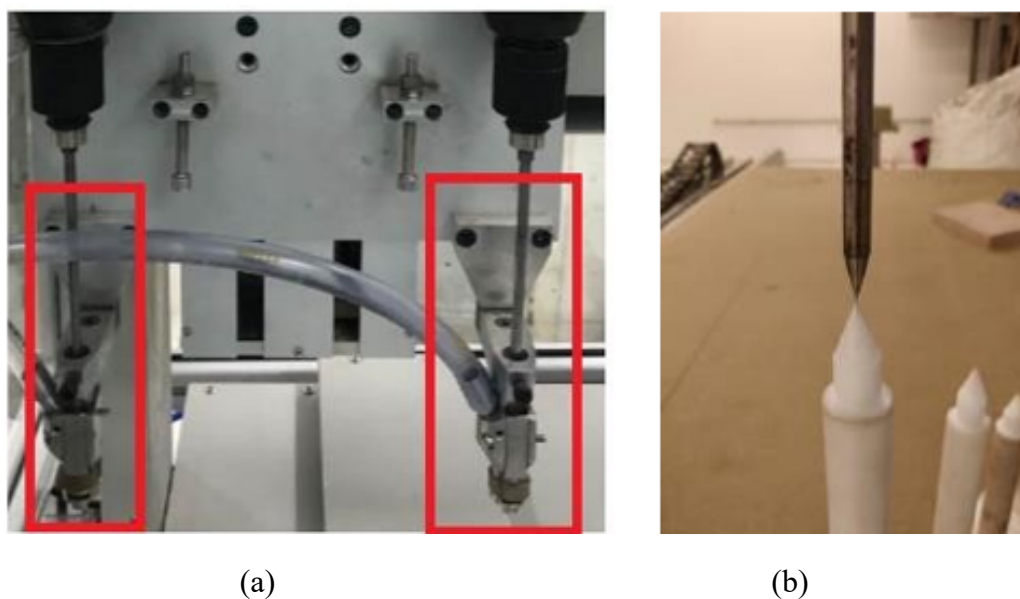
3.2. Melhoria na estabilidade dos eixos

É de suma importância em equipamentos como a máquina de aparafusamento automático, em que é necessária programação dos pontos de percurso, a garantia de estabilidade dos eixos. Essa importância se dá pelo fato de que o equipamento segue o trajeto que foi programado e, se houver alguma variação de posição desses eixos, o trabalho esperado não será executado, podendo até danificar o equipamento.

Diante disso, após testes, percebeu-se que os parafusos para fixação das bases dos eixos de movimentação da máquina de aparafusamento não são suficientes para estabilizá-los. Dessa forma, propõem-se a instalação de pinos usinados em sua base para melhorar a sustentação e, com isso, tornar o movimento dos eixos mais estável. Para garantir essa estabilidade e aumentar a confiabilidade do sistema, baseado no estudo sobre calibração de

robôs apresentado em (RAMOS, 2020), este projeto propõe instalar ponteiras de referência na mesa e nas peças, pois elas podem vir a sofrer variação. Dessa maneira, é possível criar um programa de conferência, responsável por fazer o casamento entre essas peças. Caso haja variação na conferência, será preciso realizar ajustes mecânicos. A Fig. 12(a) demonstra as peças acopladas ao eixo do equipamento e na Fig. 12(b), pode-se visualizar a proposta de solução das ponteiras de referência que se fez necessário acoplar a esta peça já existente.

Figura 12: (a) Peça acoplada aos eixos; (b) Ponteiras de referência.



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2020); (b) Ramos - Metodologia de Calibração.

Pode-se ver na Tabela 3 a lista de itens adquiridos para implementar essa solução e seus respectivos preços.

Tabela 3: Lista de preço das peças usinadas.

Componente	Preço por unidade	Quant	Fornecedor
Ponteira usinada cilíndrica 80x10mm	R\$ 40,00	4	Viana SI
Pino cônico aço carbono	R\$ 15,00	2	Viana SI
Total	RS 190,00		

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2022).

3.3. Melhoria dos gabaritos de aparafusamento

O aparafusamento de todos os modelos de medidores fabricados pela Nansen exige a utilização de gabaritos em linha de produção. Essa necessidade se dá pela formação mecânica dos terminais e blocos utilizados nesses medidores. Pode-se ver na Fig. 13 o modelo de gabarito utilizado na linha de produção.

Figura 13: Gabaritos para aparafusamento.

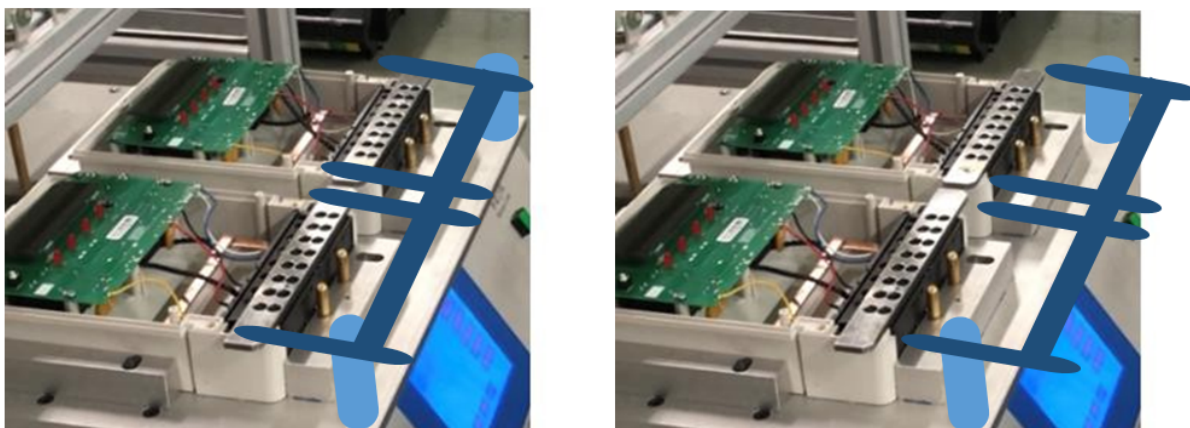


Fonte: (Elaborado pelo autor, 2020).

De forma a manter a solução prevista para o aparafusamento dos medidores fabricados pela Nansen, utilizou-se nos primeiros testes os gabaritos de aparafusamento. O resultado não foi como o esperado, pois diferentemente do aparafusamento manual em que os operadores utilizam as mãos como forma de imobilizar o gabarito durante a operação, no aparafusamento automático foi necessário pensar em uma solução para cumprir este papel.

Dessa forma, com objetivo de garantir a imobilização do gabarito de aparafusamento, propõe-se a fixação de uma peça usinada com pinos que travassem as laterais deste dispositivo. Pode-se ver na Fig. 14 um esboço dessa solução.

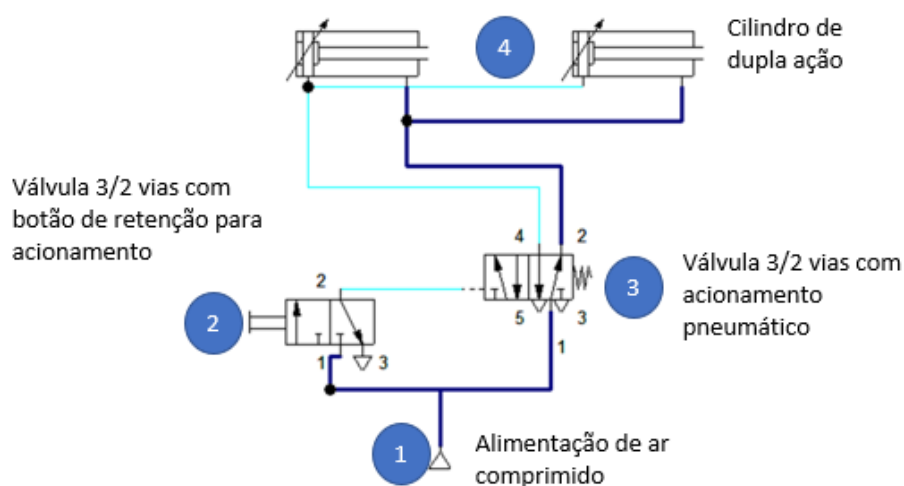
Figura 14: Pino trava para gabaritos utilizados para aparafusamento.



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2022).

O acionamento manual dos quatro pinos individualmente não seria viável para uma linha de produção devido ao tempo gasto para esta atividade. Assim, propõe-se uma solução automatizada utilizando um circuito pneumático para acionamento simultâneo de todas as travas. A Fig. 15 apresenta uma simulação do circuito no software FluidSIM.

Figura 15: Circuito pneumático - FluidSIM.



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2021).

Este circuito pneumático é composto por uma alimentação de ar comprimido (1), de forma que no instante em que o operador pressionar o botão de acionamento da válvula

(2), a válvula de acionamento pneumático (3) acionará o cilindro (4), realizando então a trava no medidor.

Pode-se ver na Tabela 4 a lista de itens necessários para implementar essa solução e seus respectivos preços.

Tabela 4: Lista de preço das peças pneumáticas.

Componente	Preço por unidade	Quant	Fornecedor
Alimentação de ar comprimido	-	1	-
Cilindros de dupla ação	R\$ 327,80	2	Trimantec
Válvula de 5/2 vias, acionamento pneumático	R\$ 115,17	1	Mercado Livre
Válvula de 3/2 vias com botão de acionamento	R\$ 78,00	1	Mercado Livre
Conexão rápida união T tubo 6mm	R\$ 4,16	2	Eletrotrafo
Mangueira Pneumática Tubo 6mm (3 metros)	R\$ 22,80	1	Riberpack
Peça usinada com pinos para fixação do gabarito	R\$ 500,00	2	Viana SI
Total	R\$ 2507,81		

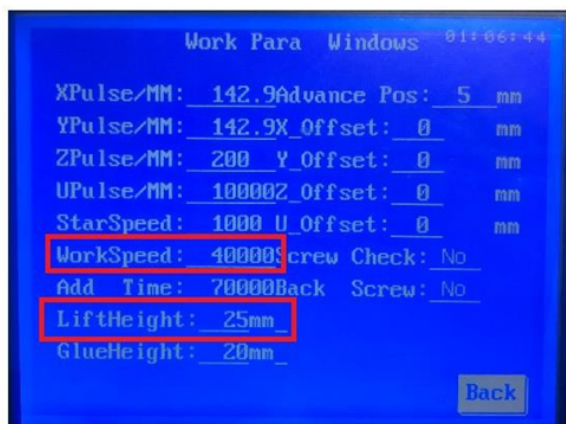
Fonte: (Elaborado pelo autor, 2022).

3.4. Otimização dos parâmetros de configuração

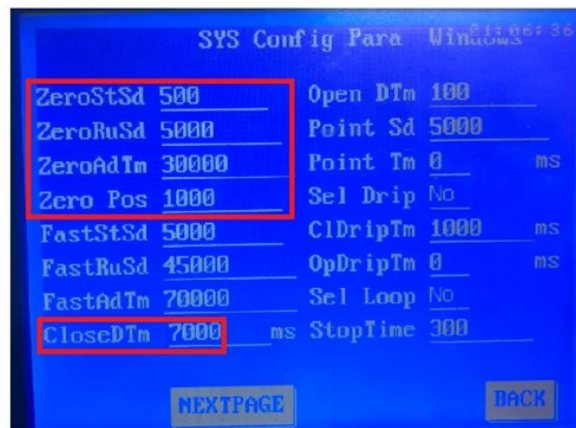
No período de testes iniciais em linha de produção até a replicação da automatização para os demais medidores, foram utilizados parâmetros que preservam a máquina, mas que atendem aos requisitos de tempo do ciclo de operação. Para obter o melhor desempenho possível, preservando a integridade física do equipamento, foi necessário ajustar e testar alguns parâmetros a fim de encontrar uma boa relação entre tempo de ciclo, qualidade do aparafusamento e preservação do equipamento. A Figura 16 apresenta alguns parâmetros com possibilidade de serem alterados, como exemplo, o parâmetro “CloseDTm” que é responsável por definir o tempo de tentativas para efetivar o aparafusamento de cada posição. Dessa forma, as melhorias previstas fazem com que a assertividade do processo de aparafusamento seja maior, fazendo com que seja possível diminuir este tempo. Além desse

parâmetro, tem-se o “WorkSpeed”, essa variável representa a velocidade de trabalho dos eixos e também pode ser alterada com a melhoria da eficácia do equipamento.

Figura 16: (a) Página 1 de configuração; (b) Página 2 de configuração.



(a)



(b)

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2020).

4. RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos após a implementação das melhorias propostas no Capítulo 3.

4.1. Reservatório para abastecimento automático

A primeira etapa para iniciar a validação desta proposta de melhoria é realizar a montagem do circuito de controle com arduino em conjunto com seus respectivos dispositivos projetados para essa solução.

A montagem do circuito se inicia com a ligação da célula de carga no módulo HX711. Como este módulo não possui *jumper*, foi necessário realizar uma solda de fios interligando as duas partes, seguindo o esquema de ligação, conforme apresentado na Tabela 5:

Tabela 5: Esquema de ligação Célula de carga e Módulo HX711.

Célula de carga	Módulo HX711
Fio Vermelho	Pino E+
Fio Preto	Pino E-
Fio Verde	Pino A-
Fio Branco	Pino A+

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2022).

Após o módulo HX711 ser conectado à célula de carga, este deve ser conectado ao arduino seguindo o esquema de ligação demonstrado na Tabela 6:

Tabela 6: Esquema de ligação Módulo HX711 e Arduino

Módulo HX711	Arduino
Pino GND	Pino GND
Pino DT	Pino A1
Pino SCK	Pino A0

Pino VCC	+5V (Fonte externa)
----------	---------------------

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2022).

Finalizada a ligação do conjunto célula de carga e módulo HX711 no arduino, o passo seguinte é a ligação do display com adaptador I2C. O esquema dessa ligação pode ser visualizado na Tabela 7:

Tabela 7: Esquema de ligação Display e Arduino.

Display	Arduino
Pino GND	Pino GND
Pino SDA	Pino A4
Pino SCL	Pino A5
Pino VCC	+5V (Fonte externa)

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2022).

E por último temos a alimentação do motor cc com redução, este é alimentado pelo módulo relé e controlado pelo porta digital PWM do arduino. Seu esquema de ligação está representado na Tabela 8.

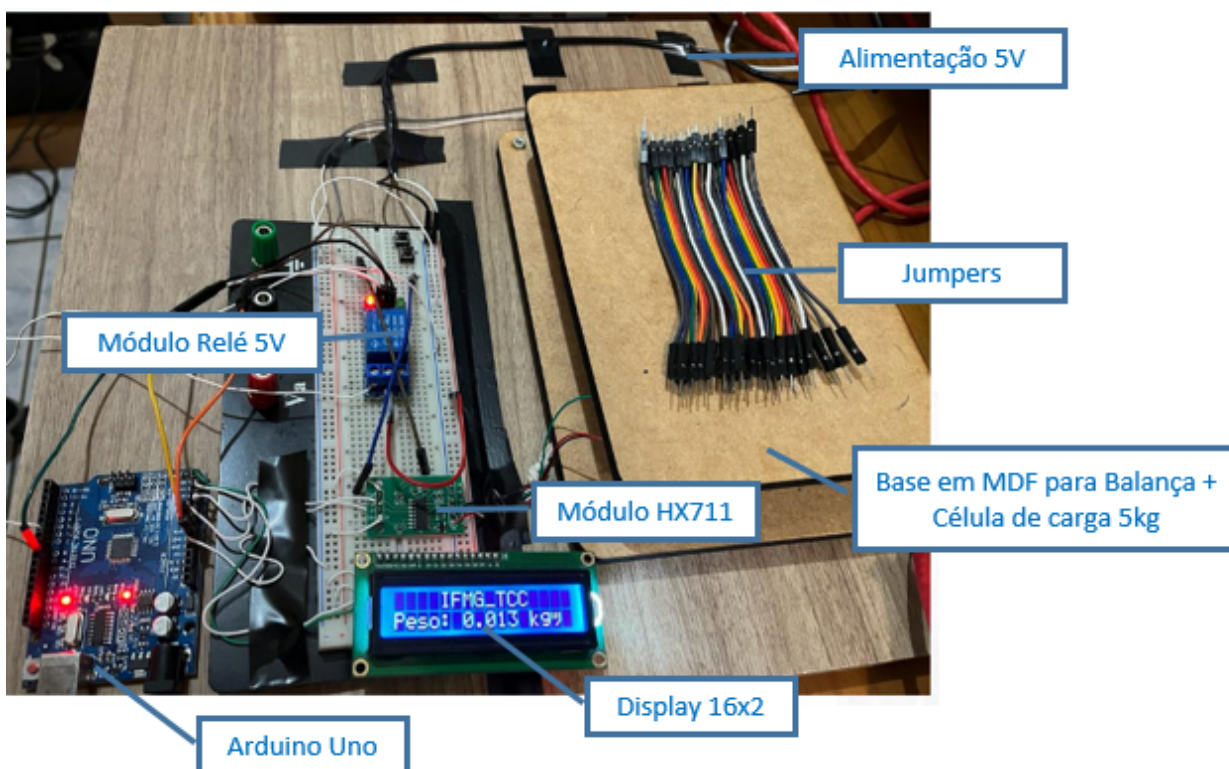
Tabela 8: Esquema de ligação Motor cc, Módulo Relé e Arduino.

Motor CC - MG996R	Arduino
Pino GND	Pino GND (Fonte Externa)
Pino PWM	Pino 8
Pino VCC	Módulo Relé +5V (Fonte externa)

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2022).

Pode-se ver em detalhes na Figura 17, a montagem final do circuito com todos os elementos necessários para controle e acionamento do dispenser extra de parafusos.

Figura 17: Montagem final do circuito para controle e acionamento do dispenser extra de parafusos.



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2022).

Após a construção do circuito e programação do Arduino, foi realizado o procedimento de calibração descrito na seção 3.1. Pode-se ver na tabela 9, a média dos valores lidos pelo arduino e seu respectivo fator de escala encontradas para cada objeto.

Tabela 9: Valores lidos para etapa de calibração.

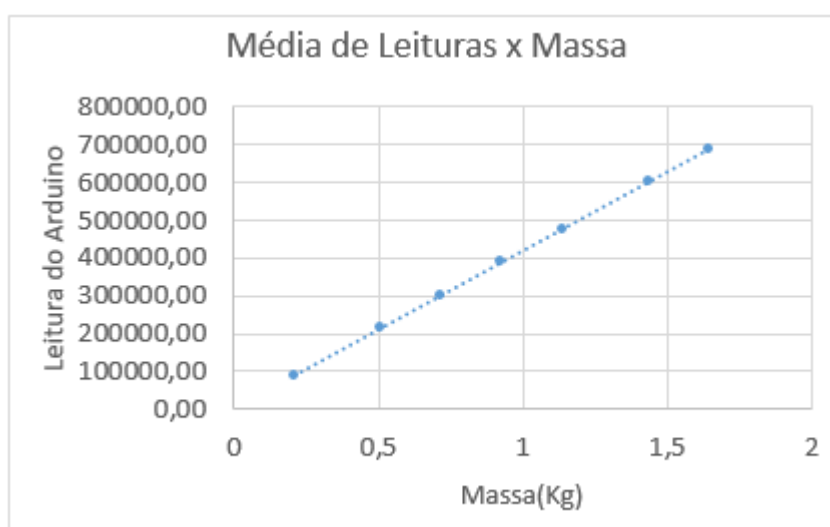
	Objeto 1 0,21kg	Objeto 2 0,508kg	Objeto 3 0,718kg	Objeto 4 0,928kg	Objeto 5 1,138kg	Objeto 6 1,436kg	Objeto 7 1,646kg
Média	87612,65	212089,30	299776,20	387163,05	474922,50	599481,75	687261,15
Escala	417203,10	417498,62	417515,60	417201,56	417330,84	417466,40	417534,11

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2022).

O fator de escala encontrado pela média das escalas foi 417.392,89. Para comparar o valor encontrado com a equação que melhor descreve a curva de calibração do instrumento, foi realizada uma regressão linear com os valores de peso padrão e médias dos

pesos demonstrados na Tabela 9. O resultado desse procedimento foi a equação $y = 417516x - 88,211$. Essa curva pode ser visualizada no Gráfico 1:

Gráfico 1: Gráfico Média de leituras x Massa.



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2022).

Visto que os valores encontrados seguindo o procedimento demonstrado em (STRAUB, 2019) e pelo método tradicional de regressão linear são similares e que a função no código utilizada para realizar o ajuste da escala para o fator de calibração não tem um ajuste de offset e que utiliza somente o ajuste de span, decidiu-se utilizar o primeiro método. Dessa forma, esse valor foi implementado no código (Apêndice A) através da função “*set_scale*”. Em seguida, para validar o procedimento de calibração, foram utilizados quatro objetos com pesos diferentes dos utilizados na calibração. Pode-se ver na Tabela 10, os resultados encontrados.

Tabela 10: Medição após calibração.

	Referência (kg)	Média (kg)	Erro (kg)
Objeto 1 (kg)	0,106	0,106	0,000
Objeto 2 (kg)	0,534	0,533	-0,001
Objeto 3 (kg)	1,072	1,072	0,000

Objeto 4 (kg)	1,396	1,395	-0,001
----------------------	-------	-------	--------

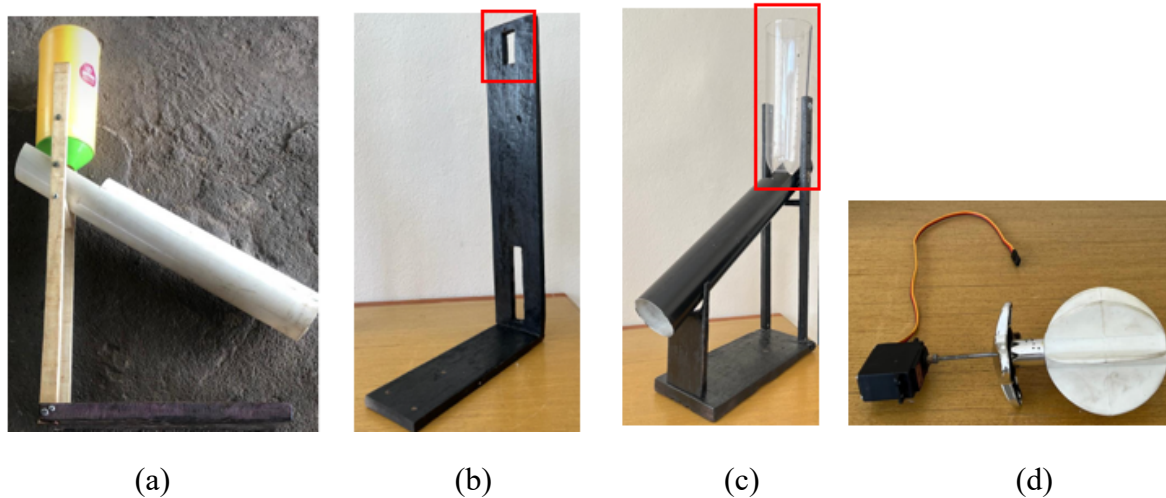
Fonte: (Elaborado pelo autor, 2022).

Visto que os erros não ultrapassam 0,001kg, valor que não corresponde ao peso de 1 unidade do parafuso (0,003kg) utilizado no equipamento, considera-se satisfatório a calibração realizada para este instrumento.

Após a montagem e calibração do sistema responsável pelo controle do alimentador extra de parafusos, iniciou-se a etapa de construção dessa estrutura. Pode-se dividir em cinco passos de montagem:

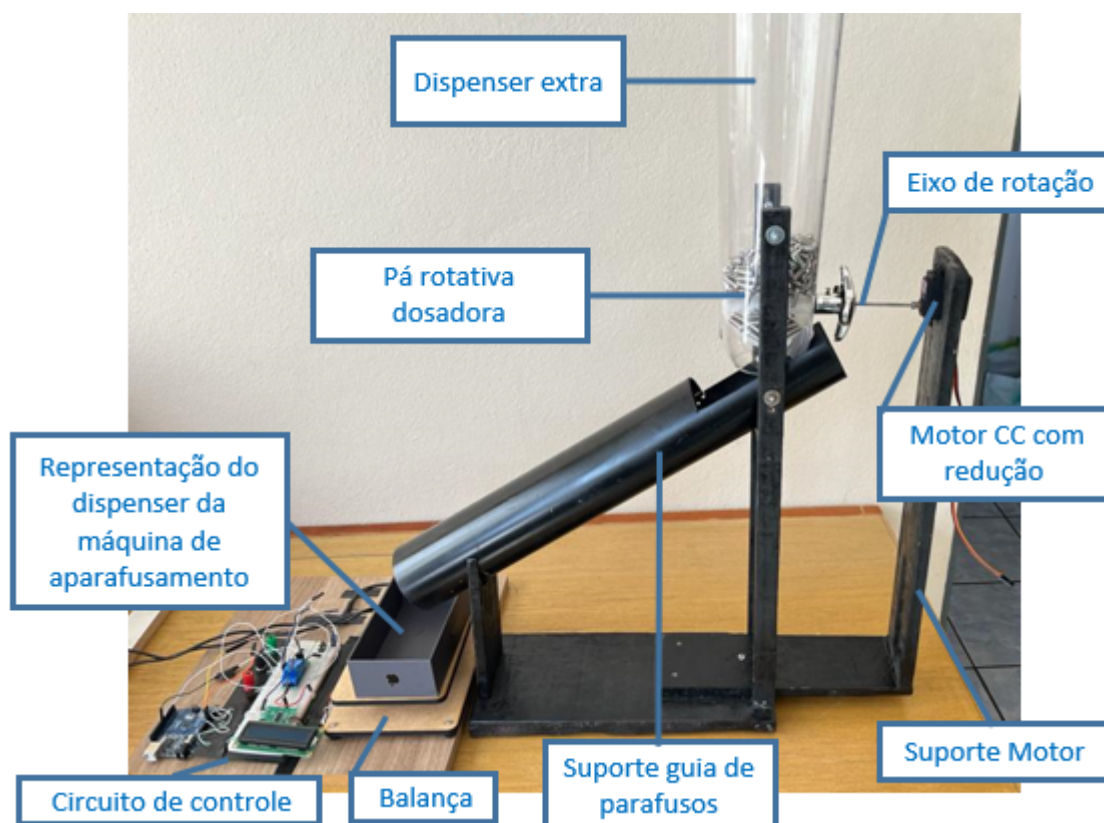
1. Construção do dispenser extra de parafusos: conforme apresentado na Figura 18 (a), essa estrutura consiste na fixação de uma tubulação adaptada de PVC e de um recipiente plástico em uma base de madeira.
2. Criação do suporte do motor cc com redução: essa estrutura compõe um local para fixação do motor, para que este fique na altura ideal para rotacionar o eixo da pá rotativa instalada no reservatório. Pode-se visualizar essa construção na Figura 18 (b).
3. Pintura da estrutura e substituição do recipiente plástico: conforme apresentado na Figura 18 (c), foi alterado para um recipiente transparente com intuito de ter uma melhor visualização da quantidade de parafusos.
4. Fixação do eixo da pá rotativa junto ao motor cc com redução, essa etapa pode ser visualizada na Figura 18 (d).
5. Agrupar todas as peças construídas anteriormente de forma a chegar na solução final. Esse resultado pode ser visualizado na Figura 19.

Figura 18: Montagem do protótipo do dispenser extra de parafusos.



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2022).

Figura 19: Protótipo final do dispenser extra de parafusos.



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2022).

Dessa forma, pode-se visualizar na Figura 19 todos os elementos responsáveis por fazer com que o dispenser da máquina de aparafusamento não fique vazio. Após a adaptação

deste dispenser extra em linha de produção, espera-se que a frequência de abastecimento reduza de 26 para 2 vezes ao turno.

4.2. Melhoria na estabilidade dos eixos

A primeira etapa para garantir a estabilidade dos eixos da máquina, foi a inserção dos pinos-guia. Pode-se ver na Fig. 20(a) a instalação dos 4 pinos-guia para conferência, sendo 2 instalados nos Eixos X e Z e 2 no Eixo Y. Para assegurar este processo, conforme apresentado na Fig. 20(b), foi criado um programa para essa confirmação, que será realizada no plano de manutenção preventiva do equipamento. Em caso de divergências nesse procedimento, ajustes mecânicos deverão ser realizados, de forma a não precisar refazer os programas devido à variações mecânicas dos eixos.

Figura 20: (a) Pinos guias; (b) Programa de conferência.



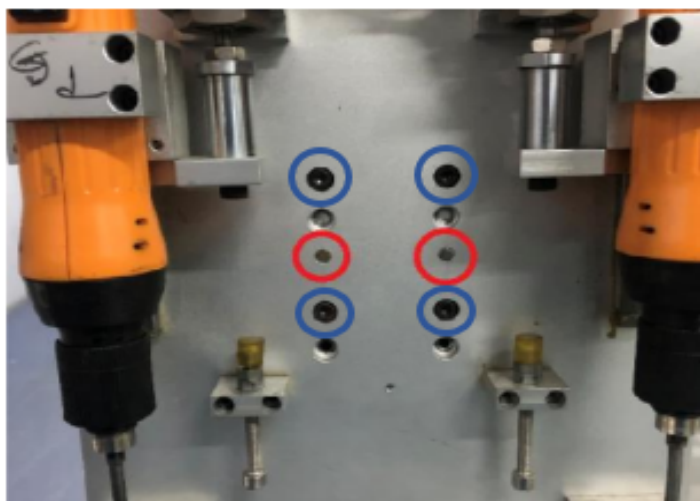
(a)

(b)

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2020).

A segunda etapa foi a inserção de 2 pinos de pressão nos Eixos X e Z, conforme destacado em vermelho na Fig 21. O intuito dessa ação é fazer com que o impacto gerado durante o processo de aparafusamento seja menor nestes eixos, diminuindo, então, a frequência de afrouxamentos dos parafusos de fixação destacados em azul nesta mesma figura.

Figura 21: Pinos de pressão.

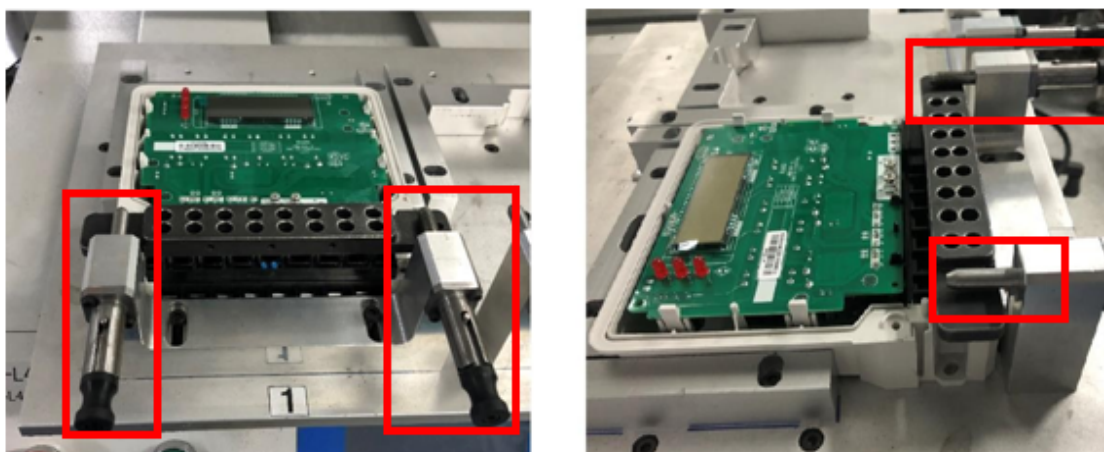


Fonte: (Elaborado pelo autor, 2020).

4.3. Melhoria dos gabaritos de aparafusamento

Conforme apresentado nos capítulos anteriores, a utilização do gabarito é de extrema importância para a eficácia do processo de aparafusamento. Porém, após alguns testes, percebeu-se que somente os gabaritos não eram suficientes e viu-se a necessidade de imobilizá-los durante o processo de fixação dos parafusos. Diante disso foi projetado uma peça que posteriormente foi usinada para garantir a imobilização do gabarito de aparafusamento. Pode-se visualizar na Figura 22 a presença dessa peça usinada com pinos que travam as laterais deste dispositivo.

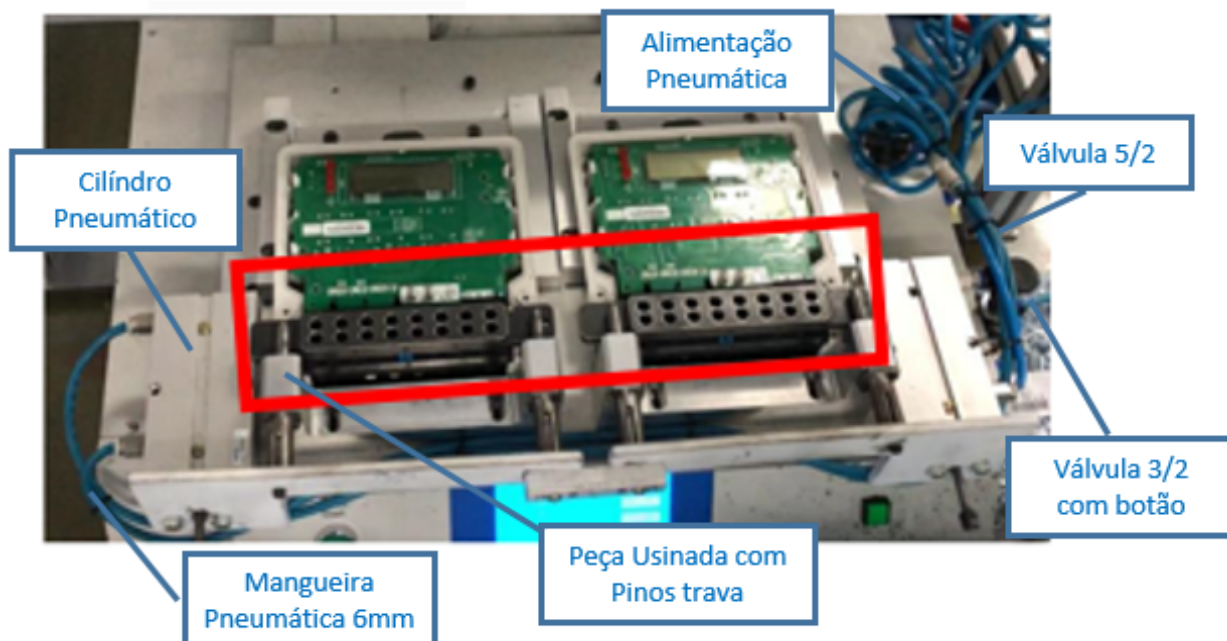
Figura 22: Trava dos gabaritos para aparafusamento.



Fonte: (Elaborado pelo autor, 2020).

Após a validação da solução, foi realizada uma melhoria neste processo, de forma que o acionamento desses pinos seria pneumático. Pode-se ver na Fig. 23 os elementos que em conjunto funcionamento geraram 3 segundos de ganho no ciclo do processo, fazendo com que passasse a ser em média 17s. Este processo de travamento dos gabaritos ocorre quando o operador aciona a válvula 3/2 vias através de um botão, neste momento a válvula 5/2 vias, que tem seu acionamento pneumático, libera a passagem de ar fazendo com que o cilindro atue sobre os pinos de travamento, fazendo com que os pinos se movimentem para frente e para trás. Essa operação é realizada no início e final de cada ciclo de aparafusamento.

Figura 23: Circuito pneumático para trava dos gabaritos.

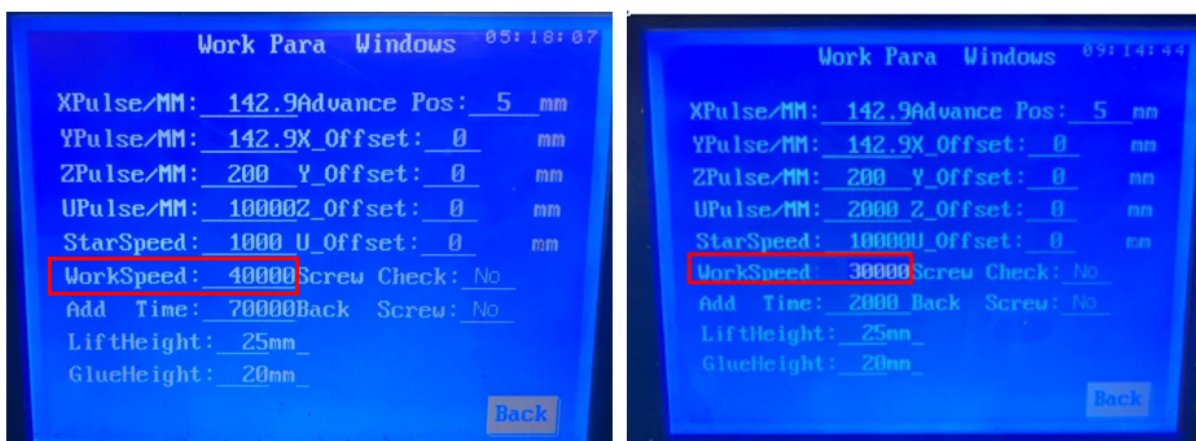


Fonte: (Elaborado pelo autor, 2020).

4.4. Otimização dos parâmetros de configuração

Após a implantação das soluções para melhorar a estabilidade dos eixos e garantia da imobilização dos gabaritos durante o processo de aparafusamento foi possível realizar testes para diminuir o tempo de ciclo do processo a partir da alteração de parâmetros. Pode-se ver na Fig 24(a) e (b) que a variável "WorkSpeed", parâmetro responsável pela velocidade de trabalho do equipamento e na Fig. 25(a) e (b) que o parâmetro "CloseDTm", parâmetro responsável pelo tempo que o equipamento fica sobre cada posição de aparafusamento foram alterados.

Figura 24: (a) Parâmetro “WorkSpeed” antigo; (b) Parâmetro “WorkSpeed” atual.

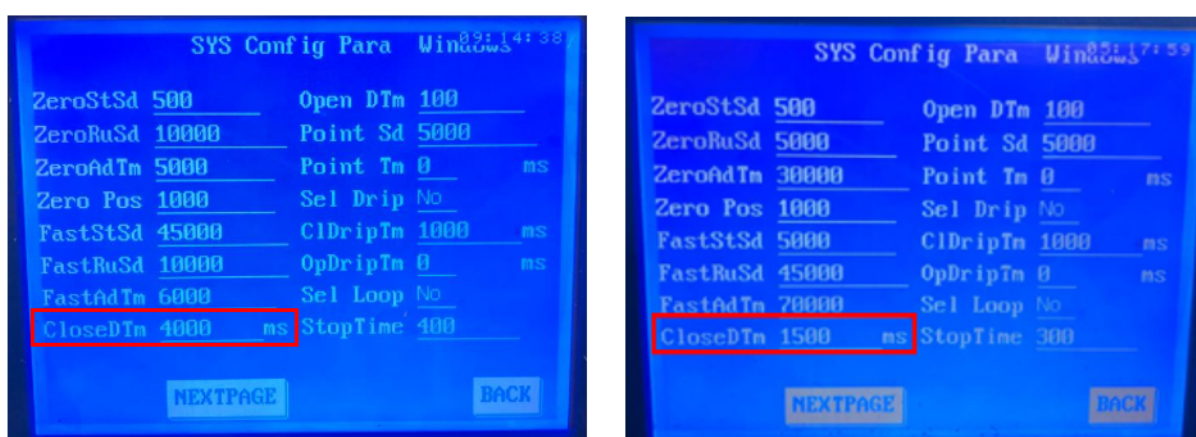


(a)

(b)

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2020).

Figura 25: (a) Parâmetro “CloseDTm” antigo; (b) Parâmetro “CloseDTm” atual.



(a)

(b)

Fonte: (Elaborado pelo autor, 2020).

Dessa forma, o tempo de ciclo que antes era 17 segundos, após a alteração passa a ser em média 15 segundos. O ganho de 2 segundos por ciclo, equivale a um aumento de produtividade de 4,17% ou 6 medidores em 1 hora de produção.

5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O avanço da tecnologia é um dos principais gatilhos para utilização da automação nas indústrias. Isso ocorre pois o conceito de otimização de processos é bem utilizado por gestores pelo fato de trazer mais qualidade, segurança e produtividade, além de reduzir o custo de manufatura do produto final.

O custo elevado em adquirir equipamentos totalmente customizados aos produtos e aos processos existentes e a complexibilidade de adquirir máquinas para, na sequência, adaptá-las a estes produtos e processos, são fatores que ainda impedem a expansão da automação com uma maior velocidade. Porém, estes mesmos fatores são temas que podem ser utilizados para continuação em trabalhos como este.

Neste trabalho foi possível observar que a melhoria na estabilidade dos eixos da máquina de aparafusamento implementada reduziu as folgas mecânicas, trazendo maior repetibilidade ao processo e garantindo menor desgaste do equipamento, além de aumentar o ciclo de manutenções preventivas e preditivas.

Além da solução apresentada para melhoria da estabilidade dos eixos, a automação da fixação dos gabaritos e otimização de parâmetros foram implementadas e validadas na linha de produção, reduzindo o tempo de ciclo por medidor. A solução proposta para o alimentador do dispenser foi implementada em um protótipo e não pôde ser testada em linha de produção, porém, nos testes realizados, se mostrou viável e adequada para a máquina em questão.

Dessa forma, pode-se concluir que os resultados apresentados atingiram as expectativas mencionadas na seção de objetivos específicos deste trabalho.

Visto que o dispenser extra de parafusos foi implementado como um protótipo, tem-se como trabalho futuro realizar a integração do dispositivo final junto à máquina de aparafusamento existente. Além dessa integração, no processo de travamento dos gabaritos de aparafusamento, registra-se a oportunidade em um trabalho futuro, a substituição da válvula 3/2 vias com botão para acionamento por uma válvula solenóide, de forma que, quando o operador iniciar o processo de aparafusamento, os pinos travem os gabaritos automaticamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arduino CC. *Arduino Uno Rev3..* Disponível em: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3/?_gl=1%2A1ndp2om%2A_ga%2AMTE0> Acesso em: 20 jan. 2022.

AMORIM, Henrique. Equipamentos de Medição II, Circuitos elétricos I. Apresentação do PowerPoint. Disponível em: https://amorim.eng.br/aulasCE1/pdf_aulas/Aula%208%20-Ohm%3%ADmetro%20e%20Ponte%20de%20Wheatstone.pdf. Acesso em: 21 jan. 2022.

CARVALHO, C. *et al. Sistema de Aparafusamento Linear em Série Automática de Baixo Custo*. 2018. Dissertação (Mestrado em Informática) – Universidade Federal do Amazonas, Amazonas.

Casa da robótica. *Motores DC*. Disponível em: <<https://www.casadarobotica.com/robotica/atuadores/motores-dc/mini-motor-dc-n20-com-caixa-de-reducao-e-encoder-12v-220-rpm>>. Acesso em: 20 jan. 2022.

Citisystems. *Válvula pneumática*. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/valvulas-pneumaticas/>>. Acesso em: 20 jan. 2022.

Foryou. *Driver de passo de loop fechado*. Disponível em: <<http://www.foryou-tec.com/plus/view.php?aid=97>>. Acesso em: 10 jan. 2022.

GROOVER, M. *Automação Industrial e Sistemas de Manufatura*. 3ªed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011

MATOS, P. *Aparafusamento de Peças Plásticas na Produção em Série na Preh*. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

NANSEN. *Linha do Tempo*. Disponível em: <<http://nansen.com.br/sobre/>>. Acesso em: 13 abr.2020.

NANSEN. *Medidores*. Disponível em: <<http://nansen.com.br/medidores/>>. Acesso em: 27 jan. 2022.

PAZOS, F. *Automação de Sistemas e Robótica*. Editora. Rio de Janeiro: Axcel Books do Brasil, 2002.

RAMOS, L. Metodologia para calibração de robôs antropomórficos de 6 ou mais eixos. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto

Robotics. INC, Nova Iorque, abr. 2020. Disponível em: <<https://www.inc.com/encyclopedia/robotics.html>>. Acesso em: 10 abr. 2020.

RODRIGUES, L. *et al.*. *Utilização do método tor-tom na gestão de riscos ergonômicos: o caso de uma empresa linha branca. ENEGEP*, Fortaleza, v.35 , n. 1, p. 1-4, 2015.

ROSÁRIO, J. *Princípios de Mecatrônica*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2015.

STRAUB, Matheus. Balança arduino com célula de carga e hx711 – tutorial calibrando e verificando peso . Usinainfo. Santo Ângelo, RS, 17/09/2019. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/blog/balanca-arduino-com-celula-de-peso-e-hx711-tutorial-calibrando-e-verificando-peso/>>. Acesso em: 27 jan. 2022.

ZILCH, L. *Sistemas de aperto em processo de montagem: avaliação e definição com base em critérios ergonômicos*. 2016. Dissertação (TCC em Engenharia Mecânica) – Faculdade Fahor, Horizontina.

APÊNDICE A

/* Programa para abastecimento automático de um dispenser de parafusos

TCC - IMPLANTAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE APARAFUSAMENTO
AUTOMÁTICA EM LINHA DE PRODUÇÃO DE MEDIDORES DE ENERGIA

Arduino UNO - IDE 1.8.19 - Modulo HX711 - Célula de Carga 5 Kg - Diplay - Módulo Relé
- Motor CC

João Pedro Tabelini Domingues 14/junho/2022

*/

```
#include "HX711.h"
```

```
#include "LiquidCrystal_I2C.h";
```

```
#include <Servo.h> //INCLUSÃO DA BIBLIOTECA NECESSÁRIA
```

```
#define DT A1
```

```
#define SCK A0
```

```
HX711 escala; // Relaciona a variável escala
```

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
```

```
int porta_rele = 8;
```

```
const int pinoServo = 6; //PINO DIGITAL UTILIZADO PELO SERVO
```

```
Servo s; //OBJETO DO TIPO SERVO
```

```
int pos; //POSIÇÃO DO SERVO
```

```
void setup() {
```

```
  pinMode(porta_rele, OUTPUT);
```

```
  delay(5000);
```

```
  s.attach(pinoServo); //ASSOCIAÇÃO DO PINO DIGITAL AO OBJETO DO TIPO SERVO
```

```
  escala.begin (DT, SCK);
```

```
  lcd.init();
```

```
  lcd.backlight();
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  Serial.print("Leitura do Valor ADC: ");
```

```
  Serial.println(escala.read()); // Aguada até o dispositivo estar pronto
```

```
  Serial.println("Nao coloque nada na balanca!");
```

```
  Serial.println("Iniciando...");
```

```
escala.set_scale (417276.702); // Substituir o valor encontrado para escala
escala.tare();// O peso é chamado de Tare.
Serial.println("Insira o item para Pesar");
digitalWrite(porta_rele, LOW);
}
void loop() {
  lcd.setCursor(4, 0);
  lcd.print("IFMG_TCC");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Peso: ");
  lcd.print(escala.get_units(20), 3);
  lcd.println(" kg ");
  delay(500);
  Serial.begin(9600);
  Serial.println(escala.get_units());
  if (escala.get_units() <= 0.250) {
    while(escala.get_units() <= 1){
      Serial.print("dentro do while");
      digitalWrite(porta_rele, LOW);
      s.write(90);
      lcd.setCursor(4, 0);
      lcd.print("IFMG_TCC");
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print("Peso: ");
      lcd.print(escala.get_units(20), 3);
      lcd.println(" kg ");
      delay(200);
    }
    digitalWrite(porta_rele, HIGH);
  }
}
```