



PROJETO, CONSTRUÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA CONTROLADOR ELETRÔNICO DE MÁQUINAS ENVASADORAS DE LÍQUIDOS DE PEQUENO PORTE

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica: Lucas Aparecido Galdino Pim
Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica: Gustavo Silva Lucas
Docente Orientador do Curso de Engenharia Elétrica: Marcelo Lucas

Universidade de Uberaba – Uniube, Uberaba – MG, Brasil
E-mail do autor correspondente: lucasgpim@edu.uniube.br ;
gustavolucas.silva29@gmail.com

RESUMO

O custo de aquisição de equipamentos como Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), Interfaces Homem-Máquina (IHMs), e controladores industriais, muitas vezes torna-se um grande obstáculo no projeto de máquinas. O presente trabalho descreve o desenvolvimento e a construção de um controlador digital aplicado à máquinas de envase com bico único de dosagem, utilizando recursos e componentes encontrados no mercado local, de baixo custo, e fácil implementação. O dispositivo projetado possibilita o controle da máquina em três modo: manual, semiautomático e automático. Composto por um display LCD, botões de comando e emergência, buzzer, e um sensor para detecção de frasco, o módulo eletrônico foi construído a partir de um Arduino. Foram utilizadas saídas analógicas de tensão e corrente, possibilitando referenciar a velocidade de operação da bomba. A configuração de tempo de envase é realizada pelo usuário de forma simples e flexível, possibilitando a memorização da receita. Depois de construído, o controlador foi testado e calibrado, e posteriormente aplicado à um protótipo de envase, se mostrando funcional, confiável e de fácil operação. Desta forma, percebe-se que através do uso de tecnologias de fácil acesso comercial e amplamente difundidas mercado, é possível desenvolver soluções que reduzam o custo de projeto de máquinas e equipamentos.

Palavras-chave: Máquina de envase, Controlador de envase, Controlador de dosagem, Arduino nano.

ABSTRACT

The cost of acquiring equipment such as Programmable Logic Controllers (PLCs), Human-Machine Interfaces (HMIs), and industrial controllers often becomes a significant obstacle in machine design. This work describes the development and construction of a digital controller applied to filling machines with a single dosing nozzle, using resources and components found in the local market, low cost, and easy implementation. The designed device allows the control of the machine in three modes: manual, semi-automatic and automatic. Composed of an LCD display, command and emergency buttons, buzzer, and a sensor for bottle detection, the electronic module was built from an Arduino. Analog voltage and current outputs were used, making it possible to reference the pump's operating speed. The configuration of filling time is carried out by the user in a simple and flexible way, allowing the memorization of the recipe. Once built, the controller was tested and calibrated, and subsequently applied to a filling prototype, proving to be functional, reliable and easy to operate. In this way, it is perceived that through the use of technologies of easy commercial access and widely spread market, it is possible to develop solutions that reduce the cost of designing machines and equipment.

Keywords: Filling Machine, Filling Controller, Dosing Controller, Arduino Nano.

1. INTRODUÇÃO

O início da Revolução Industrial por volta do século XVIII na Inglaterra causou uma grande mudança no sistema econômico, político e social. Esta revolução foi se espalhando por demais países europeus e do mundo marcando uma intensa fase de desenvolvimento e uso de máquinas, no qual causou grande detrimento do trabalho manual. Uma das causas da Revolução Industrial foi o desbravamento no campo científico onde máquinas e técnicas foram aperfeiçoadas com a descoberta de novas tecnologias, tornando o mercado industrial altamente competitivo. Segundo Karl Marx (1867) As revoluções são a locomotiva da história.

Essa competitividade se reflete até nos dias atuais onde a busca por inovações tecnológicas tem desencadeado uma verdadeira guerra entre o produto e o custo. De acordo com Shewhart (1931) para elevar a qualidade do produto, o método mais eficaz é investir no controle dos processos de produção.

Um dos processos que sofreu grande mudança com o encontro de novas tecnologias é o sistema de envase, no qual são máquinas industriais projetadas para acelerar e otimizar o processo de dosagem de líquidos, pastas e até mesmo materiais secos como granulados e pós. Comumente construído em aço inox, tem ganhado grande espaço nas indústrias dos mais variados nichos por sua durabilidade e grande repetibilidade, mantendo satisfatórios índices de precisão e velocidade. Esses equipamentos surgiram antes da necessidade de envasar

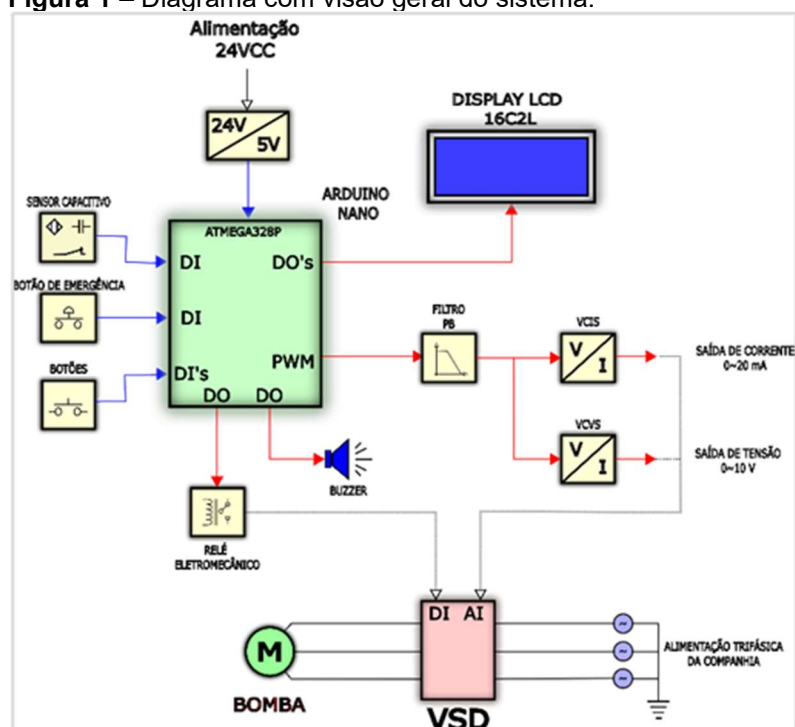
em grande escala, visto que esta operação era feita manualmente, onde apresentavam algumas preocupações como contaminação externa, precisão nas dosagens e velocidade de operação, além do custo operacional e encargos de mão de obra.

Com isso, o presente trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento e a construção de um controlador eletrônico microcontrolado aplicado a máquinas envasadoras de pequeno porte, oferecendo um de baixo custo de implementação e utilizando componentes acessíveis no mercado local. Além de operar em três modos distintos de funcionamento, o equipamento oferece uma interface com display alfanumérico, entradas e saídas digitais, saídas analógicas e seguindo os padrões industriais (tensão e corrente), e sinalização sonora

2. METODOLOGIA

As etapas de projeto e construção do equipamento proposto podem ser divididas em cinco partes: o desenvolvimento do código do microcontrolador, o projeto do circuito eletrônico, a elaboração de um protótipo eletrônico para testes, o desenvolvimento de uma placa eletrônica definitiva e a construção do protótipo mecânico. Na Figura 1 é apresentado o diagrama de blocos resumido do equipamento, possibilitando uma visão geral do projeto.

Figura 1 – Diagrama com visão geral do sistema.



Fonte: Acervo dos autores (2024).

A alimentação da placa é feita em 24VCC, seguindo o padrão de equipamentos industriais alimentados em extra-baixa tensão. Um regulador Buck

(Step-down) de 5VCC foi utilizado para alimentar o hardware, exceto o circuito com os amplificadores operacionais.

Quatro botões pulsadores foram utilizados para selecionar e operar o equipamento nos quatro modos de operação, sendo eles: manual 1, manual 2, semiautomático e automático. Um botão de emergência é ligado ao sistema e ao ser pressionado, imediatamente tira o equipamento de funcionamento e produz um alarme sonoro contínuo. Um sensor capacitivo é utilizado para detecção de frasco na área de envase e um relé eletromecânico estabelece a interface para a saída digital que aciona a bomba.

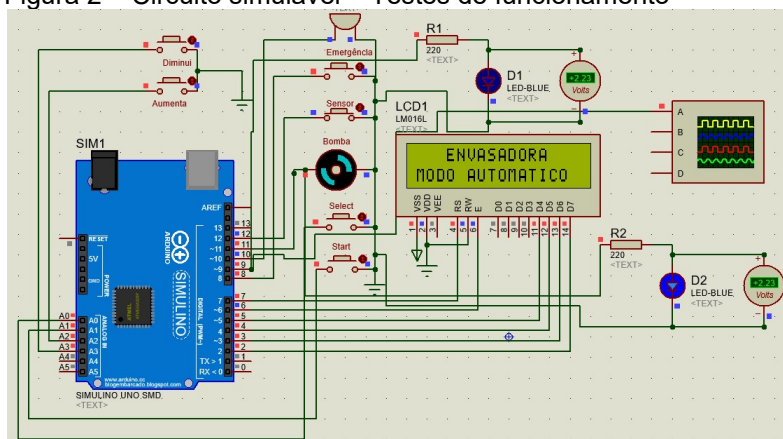
Uma saída digital do tipo PWM é utilizada para gerar referência de velocidade para a bomba, caso um drive variador de velocidade (VSD – Variable Speed Drive) seja utilizado no equipamento. Um filtro analógico passa baixa de segunda ordem é aplicado para filtrar o sinal PWM, produzindo um sinal de tensão quase contínuo, aplicado aos estágios de conversão tensão-tensão e tensão-corrente. As saídas analógicas utilizam o padrão industrial de comunicação com sinal analógico, possibilitando a conexão com qualquer dispositivo que trabalhe com tensão de 0 a 10V ou corrente de 0 a 20mA.

2.1 Desenvolvimento do código do Microcontrolador

O firmware do microcontrolador foi desenvolvido utilizando o software Arduino IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado). A IDE Arduino trata-se de um software livre (open source), disponibilizando uma interface gráfica leve e familiar, oferecendo recursos de programação, debug e gravação de códigos, através da utilização da linguagem C++ [3].

Durante todo o processo de construção do código de controle, um circuito eletrônico simplificado foi utilizado para realizar a simulação do sistema eletrônico proposto. O código foi simulado Na Figura 2 é exibido o diagrama simulável utilizado nesta primeira etapa. O código do microcontrolador, responsável por toda a lógica de leitura, comunicação e controle do sistema, foi desenvolvido em várias etapas de melhorias, sendo necessário simulações e diversos ajustes.

Figura 2 – Circuito simulável – Testes de funcionamento



Fonte: Acervo dos autores (2024).

2.2 Projeto do Circuito Eletrônico

Os conversores com amplificadores operacionais e os circuitos de interface digital que constituem as saídas analógicas, recebem uma tensão de alimentação de 24VCC. Um regulador de tensão Buck foi empregado para alimentar os demais blocos de circuito que demandavam uma tensão de 5VCC, no qual é empregado o circuito integrado LM2575, um conversor de alta eficiência e 5W de potência.

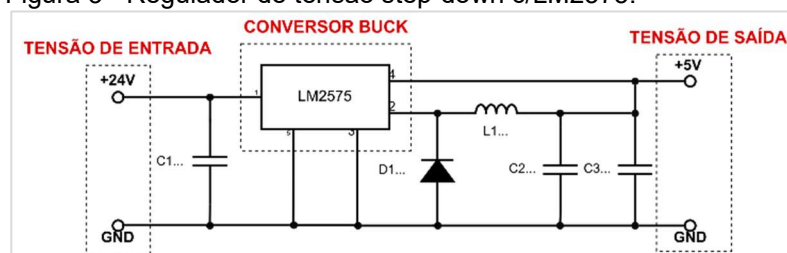
De acordo com Barbi (2005), um regulador chaveado tem por objetivo fornecer a corrente para a carga, ligando e desligando inúmeras vezes em um segundo, com o intuito de manter a tensão estabilizada na saída. Este tipo de regulador oferece baixas perdas de potência térmica nos componentes internos, tamanho reduzido e alta eficiência.

Vemos a seguir na figura 3 o Circuito Integrado LM2575 e os componentes periféricos configurando um Regulador de Tensão do tipo “step-down” (regulador tipo abaixador), convertendo uma tensão de entrada mais alta em uma tensão de saída mais baixa, mantendo a eficiência e estabilidade. É um regulador de chaveamento também conhecido como conversor buck.

O elemento de maior atuação é o indutor L1, encarregado por carregar e descarregar a corrente entre os ciclos de chaveamento, mantendo a tensão linear, onde sua descarga acontece pelo diodo D1

Temos os capacitores C1 e C3 como filtros passa baixa (FPB) na entrada e na saída do regulador, respectivamente, extinguindo a ondulação indesejada (“Ripple”) em ambos níveis de tensão e o capacitor C2 foi projetado para proteger o circuito contra picos de tensão indesejados e transientes, que nada mais é do que a variação rápida e temporária de tensão ou corrente elétrica, este supressor de transiente também é chamado de TVS (“Transient Voltage Suppressor”).

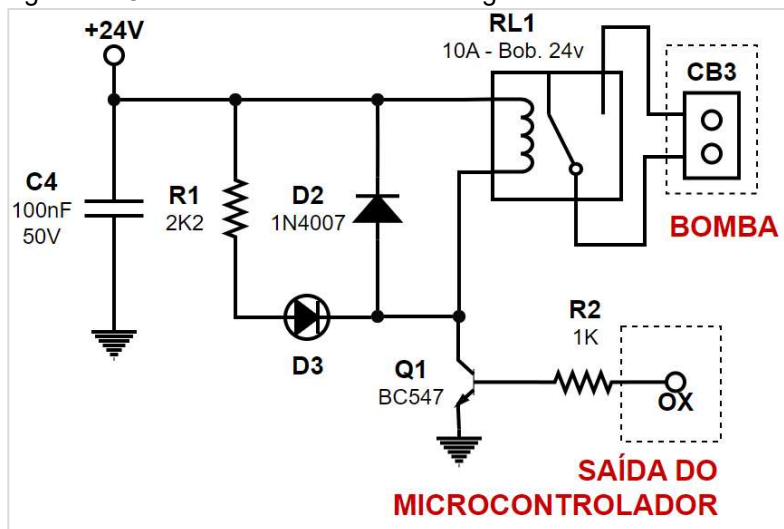
Figura 3 - Regulador de tensão step-down c/LM2575.



Fonte: Acervo dos autores (2024).

Segundo os autores Boylestad e Nashelsky (2013), não existe conexão elétrica entre a bobina de um relé eletromecânico e o conjunto de contatos de sua saída, definindo apenas uma ligação magnética.

Figura 4 - Circuito de interface - Saída digital.



Fonte: Acervo dos autores (2024).

Para que haja o isolamento elétrico entre a saída digital e o estágio de controle do microcontrolador alimentado com 5VCC, foi determinado que se utilizasse um relé eletromecânico, que, ao gerar um campo magnético aciona o mecanismo interno do relé, estabelecendo a conexão elétrica entre o circuito de saída do equipamento, alimentado com 24VCC

Para tanto, foi desenvolvido um circuito de interface entre a saída digital do microcontrolador e a saída do transmissor, ilustrado na figura 4, e é composto por um transistor bipolar de junção (BJT) do tipo BC547, que opera como um interruptor eletrônico conectado à bobina do relé.

Utilizamos um relé com tensão de operação de 240VCA e 10^a de corrente, tornando o protótipo com maior adaptabilidade, permitindo fácil acesso a este componente.

A ausência do diodo pode avariar o transistor, pois a amplitude da tensão inversa (força contra eletromotriz - fcem) pode chegar a valores significativamente maiores do que a tensão de alimentação (AHMED, 2000).

Devido ao enrolamento da bobina, este componente atua indiretamente como um indutor no circuito, armazenando uma parcela de corrente e, dependendo da amplitude desta tensão inversa conhecida como FCEM (força contra eletromotriz), causa devastação em todo o circuito. Para impedir a corrente da FCEM, um diodo (D2) foi inserido contraposto à bobina na condição de um diodo roda livre, (do inglês, freewheeling), cortando qualquer caminho alternativo para a corrente armazenada no indutor (bobina), e assim, protegendo o transistor Q1(BJT) BC547.

Em paralelo ao D2 “freewhelling” temos tanto o resistor R1, cuja função é limitar a tensão para o led L3 (indicador de acionamento do relé RL1), como também o capacitor C4 configurado como supressor de transientes TVS.

Para conexão da saída digital da bobina CB3 com nossa carga (bomba), foi empregado um conector simples com parafusos, facilmente encontrado e com baixo custo de mercado, assim como o transistor BC547, ambos com capacidade

de desempenhar seu papel dentro dos níveis de tensão e corrente exigidos no circuito.

O resistor R2 na base do BJT foi dimensionado para que o mesmo opere em modo de saturação, trabalhando como uma chave eletrônica. Foi estabelecido um baixo ganho de corrente (beta forte), todavia sendo o para bastante para acionar a bobina.

O resistor de base pode ser calculado através das equações (1), (2) e (3) (MALVINO e BATES, 2011):

$$I_C = I_{D13} + I_{bob} \quad (1)$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_{eta}} \quad (2)$$

$$R_{base} = \frac{V_{in} - V_{BE}}{I_B} \quad (3)$$

Onde:

I_C = corrente de coletor do transistor;
 I_{D13} = corrente do diodo LED;
 I_{bob} = corrente da bobina do relé;
 I_B = corrente de base do transistor;
 β_{eta} = ganho projetista (Tip. entre 10 e 30);
 R_{base} = resistor de base do transistor;
 V_{in} = tensão de saída do uC ou entrada de R3;
 V_{BE} = tensão da junção base-emissor.

O sinal PWM da saída digital do microcontrolador pode ser utilizado como uma saída analógica, caso seja integrado à um filtro passa baixa. Este artifício foi utilizado neste trabalho com o intuito de obter um sinal de tensão filtrado, com o mínimo de ondulação (ripple) e livre de ruídos, que pudesse representar uma faixa de valores medidos de velocidade da bomba e consequentemente gerar saídas analógicas de corrente e tensão, em uma escala padrão de aplicações industriais.

Na Figura 5, temos o circuito responsável por gerar os valores de tensão e corrente das saídas analógicas. Um FPB de segunda ordem, do tipo passivo, construído com capacitores (C5 e C6) e resistores (R3 e R4), foram empregados para filtrar o sinal PWM, atenuando em uma taxa de 40dB/década. Para encontrar a frequência de corte do filtro, foi utilizada a equação (4) (PERTENCE JUNIOR, 2003), sendo utilizada para filtros de N ordens, considerando que os valores dos resistores e capacitores são iguais para cada estágio de filtragem. A frequência de corte escolhida para o filtro foi de 33,86Hz.

$$f_{corte} = \frac{1}{2\pi RC} \quad (4)$$

Onde:

f_{corte} = frequência de corte do filtro

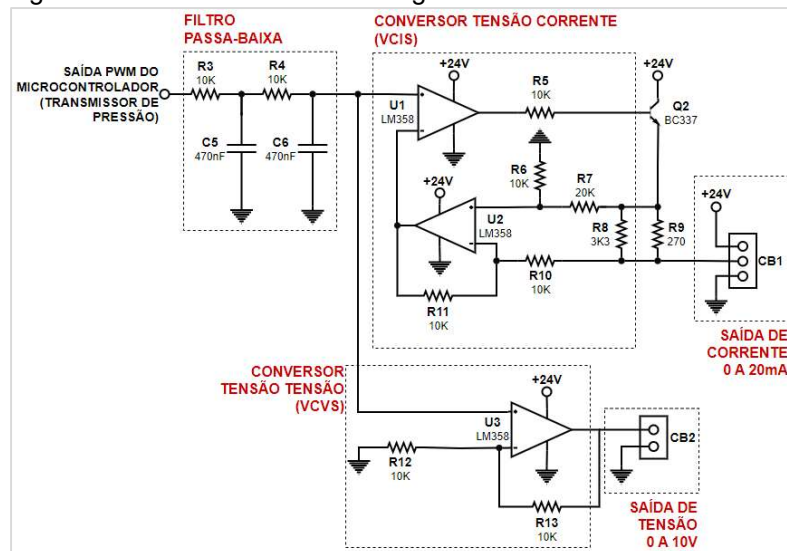
R = resistência do filtro passivo

C = capacitância do filtro passivo

Considerando a frequência do PWM de 1KHz, obtivemos uma grande atenuação, garantindo um baixo ripple do sinal filtrado (sinal mais liso), deixando assim a saída do filtro com resposta lenta, isto devido a utilização de uma frequência de corte quase 30 vezes menor que a frequência do sinal e também ao uso de um filtro de segunda ordem.

Na Figura 5 temos representado o circuito responsável pela conversão de tensão e corrente, chamado também de circuito VCIS (“Voltage Controlled Current Source”), gerando um sinal de corrente de 0 a 20mA para as saídas analógicas. Na entrada deste circuito temos um FPB de segunda ordem, do tipo passivo, construído com capacitores (C5 e C6) e resistores (R3 e R4) para filtrar o sinal de entrada vindo do PWM do microcontrolador, eliminando ruídos indesejáveis. A configuração utiliza um amplificador não inversor (U1), contendo um amplificador diferencial (U2) na sua realimentação. O conversor VCIS, conhecido popularmente como amplificador de transcondutância, é empregado para converter sinais de tensão em corrente, estabelecendo alta impedância de entrada e saída, composto por uma fonte de corrente de saída que é dependente e diretamente proporcional à fonte de tensão da entrada (MALVINO e BATES, 2011).

Figura 5 - Filtro PB e saídas analógica de V/I



Fonte: Acervo dos autores (2024).

Com este circuito amplificador de transcondutância (VCIS) foi possível interligar cargas de referências distintas em relação à referência do transmissor, gerando uma corrente controlada, indiferente livre de seu retorno para o terra do circuito, “Ground”.

A equação (5) descreve a relação da corrente de saída com a tensão entrada, Como temos um sinal na saída do filtro na faixa de 0 a 5V, a saída do VCIS gerará corrente na faixa de 0 a 20mA. e pode ser vista a seguir (BOYLESTAD e NASHELSKY, 2013):

$$I_{OUT} = V_{IN} R_f \quad (5)$$

Onde:

I_{out} = corrente de saída do conversor

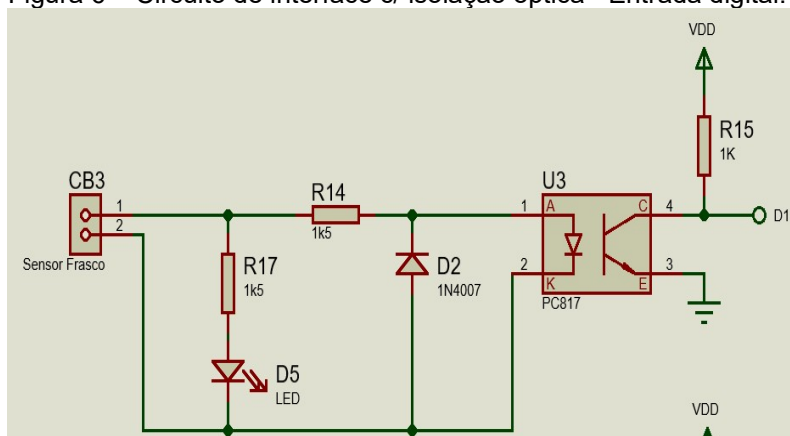
V_{in} = tensão de entrada do conversor

R_f = resistor de feedback do circuito clássico

O circuito implementou um conversor tensão-corrente otimizado em comparação ao modelo convencional utilizado, onde o resistor R_F é representado na Figura 5, interligando os resistores R_8 e R_9 , que, dispostos em paralelo, resultam em uma resistência equivalente de 250 ohms. A alimentação do circuito ilustrado é de 24VCC. Um transistor BC337 (Q2) foi empregado como amplificador de corrente, proporcionando uma capacidade de corrente aumentada na saída.

Os conectores de borne com parafusos (CB1 e CB2) foram utilizados para as saídas analógicas. Um amplificador operacional não inversor (U3) foi implementado para a saída de tensão, gerando um ganho de 2 vezes, permitindo assim a variação do sinal entre 0 e 10VCC. Para esta etapa, foi configurado um amplificador operacional com baixo offset e elevada impedância de entrada (TL072).

Figura 6 – Circuito de interface c/ isolamento óptica - Entrada digital.



Fonte: Acervo dos autores (2024).

Utilizando uma placa de ensaio ("protoboard"), o protótipo foi desenvolvido com o intuito de avaliar todos os componentes e assegurar todas as suas funcionalidades, operando conforme o especificado (Figura 7). A matriz de contatos ou protoboard é amplamente empregada em experimentos e testes de circuitos eletrônicos, vastamente procurada para propósitos educacionais. O

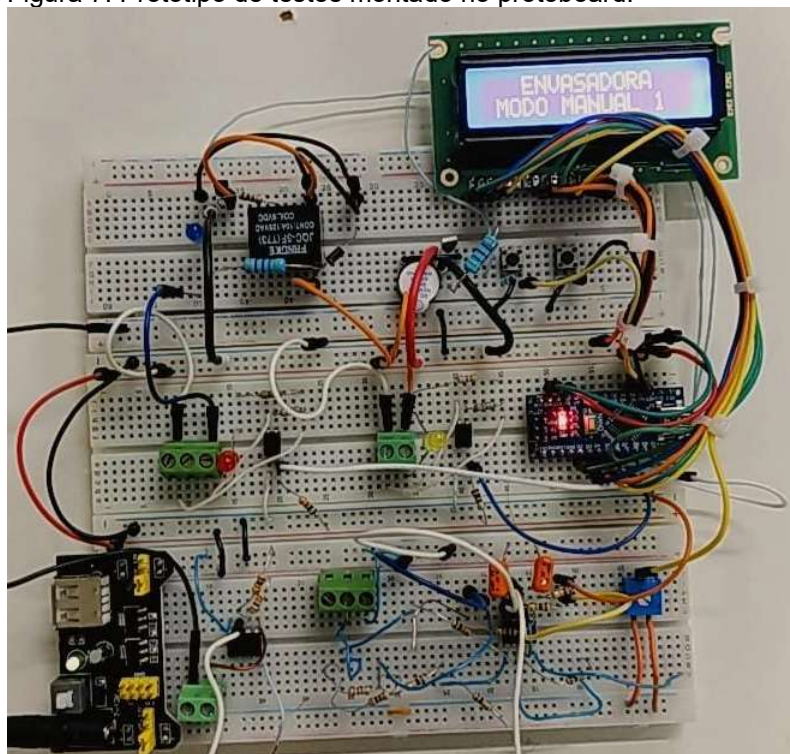
circuito pode ser montado conectando os componentes pelos furos presentes, sendo interligados através de pontos comuns entre as linhas e colunas (CULKIN e HAGAN, 2018).

Todos os componentes utilizados na confecção do circuito eletrônico do protótipo estão representados na Figura 7. As interconexões entre os elementos foram efetuadas por meio de cabos de conexão (jumpers) montados na protoboard. Foi possível realizar testes, cujo resultados foram satisfatórios para todas as funcionalidades do circuito, incluindo a exibição de dados no display, a leitura do sensor, o acionamento da saída digital e as configurações ajustadas no menu de parâmetros com todos os modos de operação.

2.3 Elaboração de um Protótipo eletrônico para testes

Um software de simulação foi utilizado como ferramenta auxiliar nessa etapa de criação do código, sendo possível simular todos os modos de operação do equipamento. Após a finalização das etapas de simulação, foram realizados testes com o microcontrolador, fazendo uso de uma matriz de contatos e componentes discretos (Figura 7).

Figura 7: Protótipo de testes montado no protoboard.



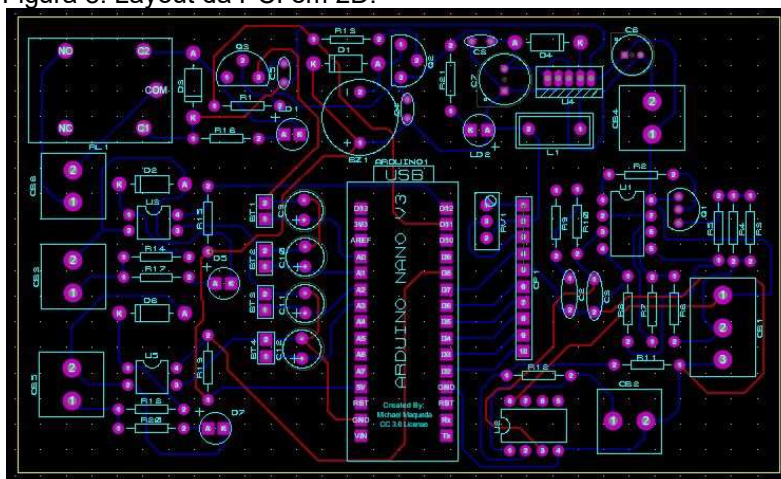
Fonte: Acervo dos autores (2024).

2.4 Desenvolvimento de uma Placa Eletrônica

Após a elaboração do circuito eletrônico, uma placa de circuito impresso (PCI) foi confeccionada com a finalidade de transpor todos os componentes eletrônicos, incluindo o Arduino, o microcontrolador do circuito. Esta fase foi subdividida em duas etapas: a primeira consistiu na criação do layout da PCI, enquanto a segunda envolveu a fabricação da placa física, a montagem e soldagem dos componentes eletrônicos.

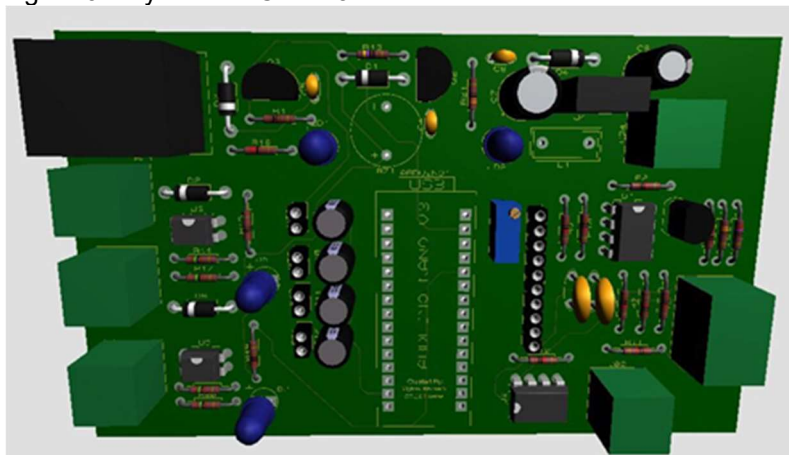
Na Figura 8, é apresentado o layout completo da placa de circuito impresso, elaborado com duas camadas de trilhas ("layers" superiores e inferiores) e contendo componentes do tipo PTH (Pin Through Hole), montados por meio de furos na placa. O layout tridimensional (3D) é ilustrado na Figura 9. O Arduino Nano foi soldado diretamente à PCI, facilitando a montagem, aproveitando a interface serial já incorporada na placa. Alguns componentes foram representados com encapsulamentos meramente ilustrativos, não correspondendo fielmente aos utilizados na placa física, conforme evidenciado na comparação realizada com a Figura 10.

Figura 8: Layout da PCI em 2D.



Fonte: Acervo dos autores (2024).

Figura 9: Layout da PCI em 3D



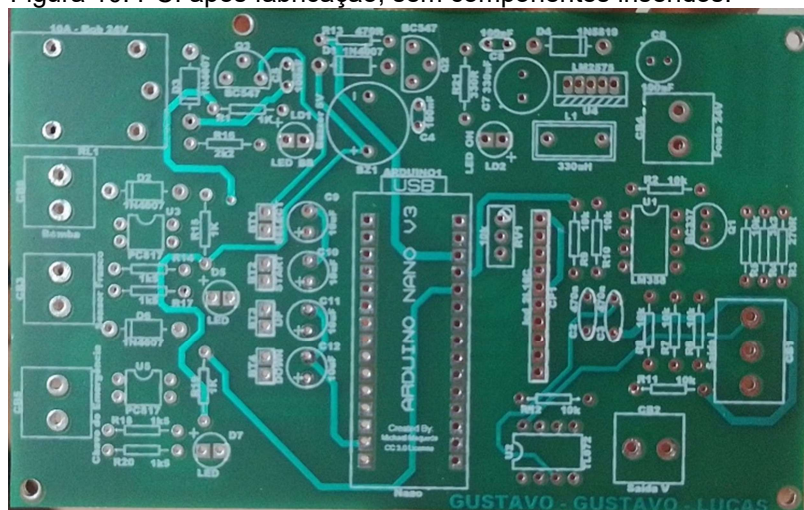
Fonte: Acervo dos autores (2024).

Novamente, os conectores do tipo borne foram empregados, facilitando as interconexões dos elementos externos ao circuito eletrônico. As dimensões finais da placa são de 12, 4 x 80 mm, com uma espessura de 1,6 mm. Neste circuito impresso (PCI), foi utilizada uma placa de fibra de vidro de dupla face, com 1 OZ (onça) de cobre, aproximadamente 28,35 gramas (Figura 10).

A fibra de vidro não apenas proporciona um acabamento superior, mas apresenta também maior resistência térmica e mecânica, se comparado ao fenolite, o material comumente utilizado em protótipos de projetos eletrônicos (COOMBS; HOLDEN, 2016). A estética impecável da placa decorre da sua fabricação, possuindo furos e vias metalizadas, uma máscara de solda verde aplicada em ambas as faces e uma máscara de componente (legenda) branca no layer superior, especificando a delimitação com nome e valor de cada componente do circuito.

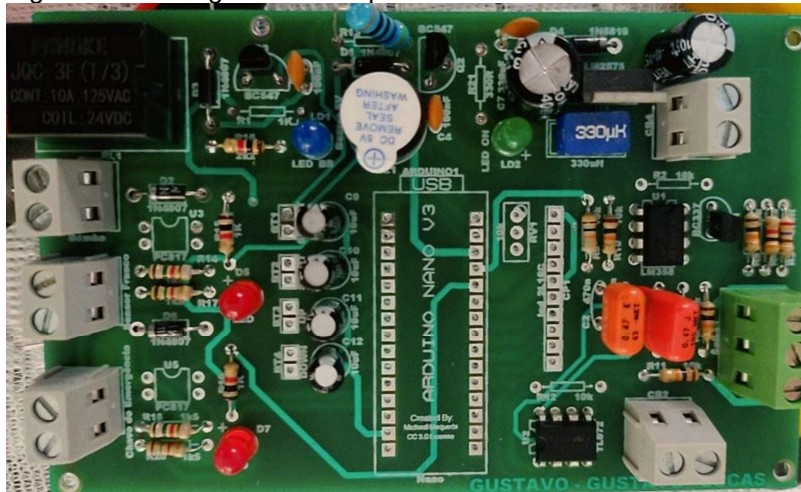
Todos os componentes foram soldados na placa manualmente e testados em bancada com o auxílio de ferramentas e instrumentos de medição. A Figura 11 ilustra a placa física durante o processo de montagem dos componentes.

Figura 10: PCI após fabricação, sem componentes inseridos.



Fonte: Acervo dos autores (2024).

Figura 11: Montagem dos componentes na PCI.



Fonte: Acervo dos autores (2024).

2.5 Construção do protótipo mecânico

Para melhor apresentação do módulo desenvolvido foi elaborada uma estrutura móvel em MDF de espessura igual a 15mm, onde foram instalados o reservatório, o painel de controle em ângulo de 30°, o bico usinado e uma base para o envase dos fluidos.

Figura 12 – Estrutura mecânica do equipamento de envase



Fonte: Acervo dos autores (2024).

Figura 13 – Estrutura mecânica do equipamento de envase



Fonte: Acervo dos autores (2024).

Foi escolhido o MDF devido ao baixo custo de aquisição, resistência mecânica, versatilidade e facilidade de montagem. Essa estrutura visa a ergonomia durante a apresentação e a facilidade no transporte, além de manter ocultos os componentes eletroeletrônicos e hidráulicos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O trabalho apresentado teve como objetivo aprofundar o desenvolvimento de um sistema de envase de baixo custo. Durante os processos de elaboração, constatou-se que a abordagem de criar um sistema econômico não apenas atendeu às expectativas iniciais, como também superou significativamente as previsões, oferecendo uma alternativa economicamente viável para pequenos empreendedores. A eficácia operacional do sistema foi evidenciada pelos

resultados eficientes das simulações, testes de dosagem e avaliações de usabilidade, destacando a viabilidade prática da solução sugerida.

Os resultados obtidos estão alinhados com as conclusões, reiterando a importância do sistema de envase de baixo custo no contexto industrial, ante à demanda por este sistema para pequenos produtores. A precisão na dosagem, a eficiência operacional e a facilidade de uso em todos os modos de operação, em conjunto com a acessibilidade do projeto, confirmam que os objetivos deste trabalho foram categoricamente alcançados.

As contribuições geradas por este projeto são multidimensionais, iniciando pelo destaque na inovação e a acessibilidade de um projeto de baixo custo; a automação dos processos, especialmente nas modalidades semiautomática e automática, oferece uma alternativa eficaz para a modernização dos procedimentos. Em sequência, a interface de usuário (IHM) é intuitiva, asseada e de fácil compreensão, com botões projetados para simplificar a operação, aspectos indispensáveis para a aceitação dos usuários finais.

A proposta inicialmente apresentada de fornecer uma solução de envase eficaz, economicamente acessível e sustentável foi integralmente atingida, evidenciando que o sistema desenvolvido atende a todas as necessidades, contribuindo também para o avanço na área de automação industrial.

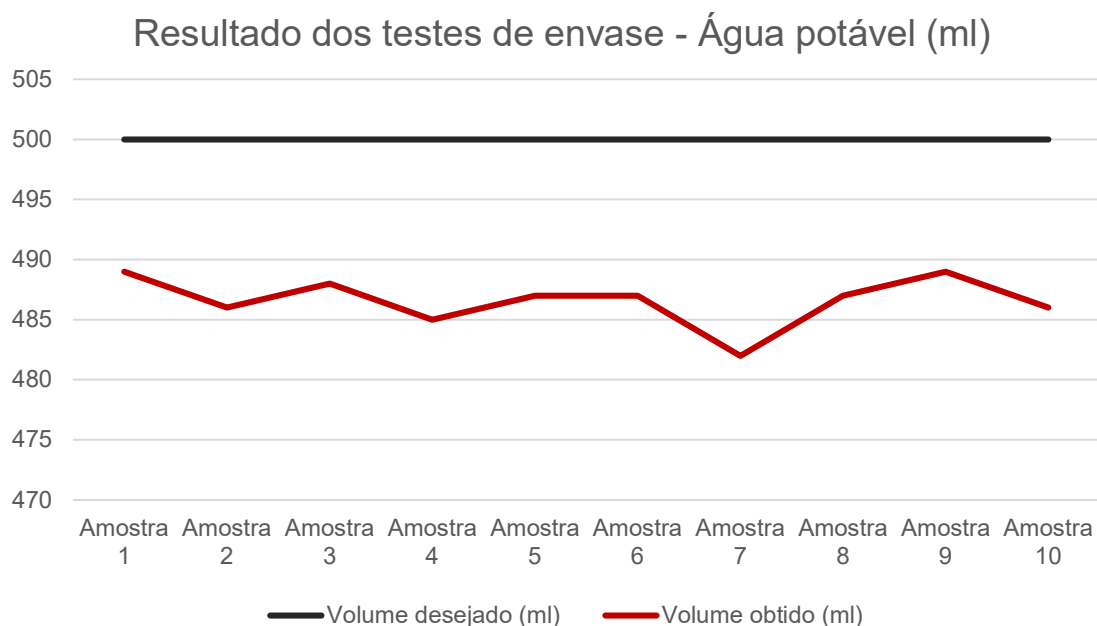
Um dos pontos mais importantes nos resultados dos testes do nosso projeto é a precisão de envase. Durante a etapa de teste foi identificado que a vazão do módulo estava em torno de 2.500 ml (2,5 litros) por minuto, oferecendo o valor de 41,6667 ml a cada segundo de funcionamento da bomba e acionamento da solenoide.

Com os valores de vazão definidos, foram realizados novos testes para verificar a precisão de envase entre os modos semiautomático e automático, uma vez que nos modos manual I e II não é possível mensurar precisão quando o sistema carece da atuação do usuário para que haja envase.

Para os testes foi utilizado como fluido a ser envasado a água natural em temperatura ambiente. A viscosidade da água é de 1,0016 mPa.s a 20 °C. Assim como dos demais fluidos, a viscosidade da água varia de acordo com sua temperatura e, quanto mais alta a temperatura, menor a sua viscosidade. Dessa forma também podemos considerar que, de acordo com a viscosidade, será necessário adequar a velocidade da bomba para adequar o volume que se deseja envasar. Uma melhoria que pode ser implantada em momentos futuros.

Como recipiente foi utilizado um copo de plástico com graduações para diversos tipos de fluidos, inclusive o utilizado em testes, com capacidade para 550ml em sua totalidade. O tempo foi definido de acordo com a capacidade do recipiente, mantendo uma margem segura para transportar adequadamente o recipiente quando encerrado o ciclo de envase, isto é, 12 segundos de acionamento para alcançar o volume de 500ml (Gráfico 1 e Tabela 1).

Gráfico 1 – Resultados dos testes.



Fonte: Acervo dos autores (2024).

Tabela 1 – Comparação dos valores desejados com os obtidos.

Dados		
	Volume desejado (ml)	Volume obtido (ml)
Amostra 1	500	489
Amostra 2	500	486
Amostra 3	500	488
Amostra 4	500	485
Amostra 5	500	487
Amostra 6	500	487
Amostra 7	500	482
Amostra 8	500	487
Amostra 9	500	489
Amostra 10	500	486

Fonte: Acervo dos autores (2024).

Como forma de avaliar e validar os resultados obtidos com o esperado, foi consultada a Portaria INMETRO nº 74, de 25 de maio de 1995; que nos informa a respeito dos níveis de tolerâncias individuais admissíveis para Massa e Volume. O INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia)

estabelece regulamentos e normas para garantir a precisão e a qualidade dos produtos comercializados no Brasil, incluindo os que são relacionados ao envase de fluidos. Quando se trata de tolerância no envase de fluidos, o INMETRO segue normas que definem os limites de variação permitidos para o volume ou peso de produtos embalados, no intuito de proteger tanto os consumidores como os fabricantes. Na tabela 2 temos os valores de tolerância de acordo com o volume do fluido envasado.

Tabela 2 – Valores de tolerância, segundo a INMETRO.

Conteúdo Nominal Q_n g ou ml	Tolerância Individual T	
	Percentual de Q_n	g ou ml
5 a 50	9	-
50 a 100	-	4,5
100 a 200	4,5	-
200 a 300	-	9
300 a 500	3	-
500 a 1000	-	15
1000 a 10000	1,5	-
10000 a 15000	-	150
15000 a 25000	1	-

Fonte: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao>

Onde: Q_n é o conteúdo nominal do produto

1 - Valores de T para Q_n menor ou igual a 1000g ou ml devem ser arredondados em 0,1g ou ml para mais.

2 - Valores de T para Q_n maior do que 1000g ou ml devem ser arredondados para o inteiro superior em g ou ml.

Apesar dos resultados obtidos serem positivos e a proposta ser alcançada é crucial reconhecer as limitações deste projeto, a ampliação para indústrias específicas podem levar o projeto a ajustes, de acordo com cada demanda, em particular de cada aplicação. Comparando os valores desejados e os colhidos em teste o sistema se encontra apto para operar dentro das conformidades, mas com atenção específica para cada caso onde o mesmo for inserido. Recomenda-se a realização de futuras pesquisas, explorando assim a integração de sistemas inteligentes, permitindo a adaptação e melhorias para diferentes ambientes de produção.

Por fim, é de suma importância enfatizar a relevância e o impacto positivo do sistema de envase. As evidências coletadas ao longo do desenvolvimento e os resultados dos testes contribuem significativamente para a compreensão de como a inovação tecnológica pode ser implementada de maneira acessível, sustentável e eficiente na otimização de processos industriais de envase.

Figura 12: Painel de controle (a) Painel fechado – Vista Frontal
(b) Painel aberto – Visão de componentes internos.



Fonte: Acervo dos autores (2024).

5. CONCLUSÕES

O desenvolvimento do sistema de envase com o enfoque na redução de custos de construção resultou em consideráveis avanços e contribuições valiosas para o setor. A concepção de uma máquina mais acessível e eficiente atendeu grandemente às expectativas, oferecendo uma alternativa economicamente viável para empreendedores de pequeno porte.

As características de precisão na dosagem, eficiência operacional em cada modo de operação e facilidade de uso da máquina evidenciam o sucesso da solução proposta. Os resultados obtidos se encontraram com as previsões estipuladas inicialmente, ressaltando a relevância do equipamento ser de baixo custo no contexto industrial. As inovações implementadas, tanto nos modos semiautomático quanto automático, representam alternativas consistentes para a modernização de processos. A interface singela e intuitiva e os diversos modos

de operação garantem uma usabilidade que satisfaz as necessidades do setor industrial e dos pequenos empreendedores.

Uma melhoria que pode ser atribuída é uma forma de adequar o tempo de acionamento e a velocidade da bomba de acordo com a viscosidade do material que será envasado. A viscosidade do fluido varia de acordo com sua temperatura e, quanto mais alta a temperatura, menor a sua viscosidade. Trabalhando em temperatura ambiente temos fluidos mais viscosos que precisarão de atenção para ser envasado neste sistema. Uma melhoria que pode ser implementada em um novo momento deste projeto, caso seja contínuo.

A flexibilidade deste projeto permite variações na vazão da bomba e a escolha entre quatro modos de operação, isto contribui para sua adaptabilidade em diferentes contextos e aplicações, tanto comerciais quanto industriais. Contudo, reconhecemos que a implementação do sistema em ambientes industriais mais complexos pode requerer ajustes específicos para assegurar a eficiência e confiabilidade dentro do sistema que será inserido. Seguindo essa vertente, conclui-se que investigações futuras voltadas à integração de sistemas inteligentes se faz necessário, com o objetivo de aprimorar as adaptações e a eficiência em cenários variados.

A proposta de oferecer uma solução eficaz, economicamente acessível e sustentável para a indústria e pequenos empreendedores foi absolutamente concretizada. Este projeto promove a otimização dos processos produtivos, alinhando-se com as demandas atuais por inovação e eficiência, que andam juntas.

REFERÊNCIAS

BARBI, I. **Eletrônica de Potência** Edição do Autor, 6ª edição, 2006;

BOYLESTAD, R., NASHELSKY, L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**, 11a ed. Prentice-Hall do Brasil, 2013;

COOMBS, CLYDE; HOLDEN, HAPPY, **Printed circuits handbook**, 7. ed. New York, McGraw-Hill Book Company, 2016;

CULKIN, J.; HAGAN, E. **Aprenda eletrônica com Arduino: um guia ilustrado de eletrônica para iniciantes**. 1. ed. São Paulo: Novatec, 2018;

ESTENDER, A. *et al.* **A importância do planejamento e controle de Produção**. São Paulo, 2017;

MARX, K. **O Capital - Karl Marx**. Edição original de Hamburgo de 1867: Volume 1. O processo de produção do capital. Hamburgo, Alemanha: Severus Verlag, 2018;



MONK, S. **Programação com Arduino: começando com sketches**. 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2017;

OGATA K. **Engenharia de controle moderno**. Ed. Pearson, 2015;

SHEWHART, W.A. **Controle Econômico da Qualidade do Produto Manufaturado**. Princeton, NJ: D. Van-Nostrand Reinhold, 1931;

TEIXEIRA, F. M. P. **Revolução Industrial**. 12. Ed. São Paulo: Ática, 2019;

INMETRO - METROLOGIA LEGAL, <http://www.inmetro.gov.br/metlegal/pre-medidos.asp>

INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO Portaria INMETRO nº 74, de 25 de maio de 1995
<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/rtac000183.pdf>

INMETRO, LEGISLAÇÃO, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial,
http://inmetro.gov.br/legislacao/resultado_pesquisa.asp?seq_classe=&ind_proje to=T&sel_tipo_ato_legal=&sel_orgao_regulamentador=&sel_categoria=&sel_tipo_instrumento_medida=&descr_marca=&descr_modelo=&num_ato=&anoassinatura=&palavra_chave=&campo_ordem=s.descr_situacao,&ind_publico=&cbx_mercosul=&vPagina=255&vPaginaIni=261&vPaginaFim=270