



**INSTITUTO
FEDERAL**
Amazonas

**INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS
CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA INDUSTRIAL**

LUIZ SOLIVAN MICHILES GOES

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE ENVASADORA DE LÍQUIDOS
SEMIAUTOMÁTICA DE BAIXO CUSTO**

Manaus - AM
2021

LUIZ SOLIVAN MICHILES GOES

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE ENVASADORA DE LÍQUIDOS
SEMIAUTOMÁTICA DE BAIXO CUSTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal do
Amazonas - IFAM como requisito para
obtenção do título de Tecnólogo no curso
de Tecnologia em Eletrônica Industrial.

Orientador: Prof. Esp. Ewerton Andrey
Godinho Ribeiro.

Manaus - AM
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G598d Goes, Luiz Solivan Michiles.

Desenvolvimento de um protótipo de envasadora de líquidos semiautomática de baixo custo. / Luiz Solivan Michiles Goes. – Manaus, 2021.

59 f. : il. Color.

TCC de Graduação (Tecnólogo em Eletrônica Industrial) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Distrito Industrial, 2021.

Orientador: Prof. Esp. Ewerton Andrey Godinho Ribeiro

1. Envasadora de baixo custo. 2. Célula de carga. 3. Produtos líquidos. 4. Melhoria de processo. 5. Pequenas empresas. I. Ribeiro, Ewerton Andrey Godinho (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 621.381

Elaborada por Fc^a. Amélia Frota, registro n.858 (CRB11)

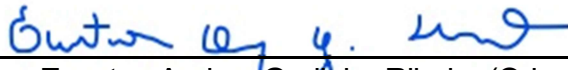
LUIZ SOLIVAN MICHILES GOES

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE ENVASADORA DE LÍQUIDOS SEMIAUTOMÁTICA DE BAIXO CUSTO

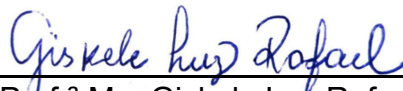
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal do
Amazonas - IFAM como requisito para
obtenção do título de Tecnólogo no curso
de Tecnologia em Eletrônica Industrial.

Aprovado em 24 de maio de 2021.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Esp. Ewerton Andrey Godinho Ribeiro (Orientador)
Instituto Federal do Amazonas - IFAM



Prof.^a Me. Giskele Luz Rafael
Instituto Federal do Amazonas - IFAM



Prof.^a Me. Laura Michaelle Batista Ribeiro
Instituto Federal do Amazonas - IFAM

*Dedico a toda minha família, em especial
à minha mãe, Maria do Socorro, grande
companheira que sempre me apoiou em
minhas escolhas.*

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, agradeço a Deus pelo dom da vida, pela proteção, por abençoar e dar forças nos momentos de fraqueza, para que eu possa sempre continuar lutando em busca da realização dos meus sonhos.

Agradeço a todos os funcionários e professores da Instituição que de alguma forma, proporcionaram minha formação, em especial às professoras Giskele Luz, Luana Monteiro, Laura Michaela e ao meu orientador, professor Ewerton Andrey, o qual sou grato pela paciência e contribuição, pois esteve sempre disposto a ajudar.

Aos meus pais, Maria do Socorro e Antonio Luiz, base de minha formação pessoal e moral.

Aline Laiana, minha noiva, obrigado por todo apoio, companheirismo, paciência, compreensão e por acreditar em meu potencial, motivando-me sempre buscar o melhor em mim.

Aos meus colegas do curso, que se tornaram grandes amizades e acompanharam essa jornada de perto, agradeço o companheirismo, incentivo e ensinamentos.

Muito obrigado a todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente e que torceram pela realização deste trabalho.

RESUMO

Em qualquer setor industrial, busca-se por constantes aplicações de melhorias no processo de produção. A automação de processos se tornou a maior aliada, pois oferece maior produtividade em menor tempo, reduz o trabalho humano e diminui os desperdícios de produtos. No entanto, os preços elevados dos equipamentos torna-se um investimento de risco, visto que, segundo o SEBRAE, altos investimentos sem planejamento e falta de capital resultam na falência de 80% das micro e pequenas empresas antes de completarem 1 ano, ou seja, em sua fase inicial. Assim, o presente trabalho descreve o desenvolvimento de uma envasadora de líquidos semiautomática de baixo custo, com capacidade de envasar quantidades pré-ajustadas, utilizando recipientes de diferentes tamanhos. O projeto é voltado para melhoria do processo produtivo de pequenas empresas em fase inicial, do setor de materiais de limpeza que trabalham com produtos líquidos, tais como desinfetantes, álcool, água sanitária e limpa vidros. Buscou-se utilizar componentes de fácil acesso e baixo custo, visando tornar simples sua manutenção e baratear o protótipo. Entre os componentes utilizados, destaca-se a célula de carga, onde é constituída por extensômetros resistivos acoplados a uma estrutura metálica a qual se deforma conforme a força aplicada, possibilitando mensurar grandezas como força e pressão. Construiu-se um protótipo, o qual atendeu as tolerâncias suficientes para o processo de envase de líquidos, de acordo com a Portaria do INMETRO nº 248/2008, mostrando ser uma ótima opção, tendo em vista a precisão apresentada, agilidade no processo de envase e a redução de desperdícios de produtos.

Palavras-chave: Envasadora de baixo custo. Célula de carga. Produtos líquidos. Melhoria de processo. Pequenas empresas.

ABSTRACT

In any industrial sector, there is a constant search for improvements in the production process. Process automation has become the greatest ally, as it offers greater productivity in less time, reduces human work and reduces product waste. However, the high prices of equipment becomes a risky investment, since, according to SEBRAE, high investments without planning and lack of capital result in the bankruptcy of 80% of micro and small companies before completing 1 year, that is, , in its initial phase. Thus, the present work describes the development of a low-cost semi-automatic liquid filling machine, capable of filling pre-set quantities, using containers of different sizes. The project is aimed at improving the production process of small companies in the initial phase, in the cleaning materials sector that work with liquid products, such as disinfectants, alcohol, bleach and glass cleaner. We sought to use components that are easy to access and low cost, in order to make maintenance simple and make the prototype cheaper. Among the components used, the load cell stands out, consisting of resistive strain gauges coupled to a metallic structure which deforms according to the applied force, making it possible to measure quantities such as force and pressure. A prototype was built, which met the sufficient tolerances for the liquid filling process, in accordance with INMETRO Ordinance No. 248/2008, proving to be a great option, in view of the presented precision, agility in the filling process and the reduction of product waste.

KeyWords: Low cost filling. Load cell. Liquid products. Process improvement. Small companies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Não entende as tolerâncias (A) ; Atende as tolerâncias (B) .	19
Figura 2. Processo de envase manual.	20
Figura 3. Envasadora manual de cosméticos.	20
Figura 4. Envasadora de produtos químicos semiautomática.	21
Figura 5. Envasadora industrial automática.	22
Figura 6. Placa do Arduino UNO R3.	24
Figura 7. Interface inicial da IDE do Arduino.	26
Figura 8. Célula de carga.	27
Figura 9. Extensômetro (<i>Strain gauge</i>).	27
Figura 10. Ponte de Wheatstone.	28
Figura 11. Posicionamento dos extensômetros (<i>Strain Gauge</i>).	28
Figura 12. Comportamento da célula de carga.	29
Figura 13. Módulo HX711.	30
Figura 14. Módulo Relé.	31
Figura 15. Bomba para fluidos modelo RS-385.	32
Figura 16. Diagrama de blocos dos componentes.	34
Figura 17. Montagem provisória para testes.	35
Figura 18. Monitor serial do software IDE indicando o Fator de calibração.	36
Figura 19. Fluxograma da sequência de ações do código de programação da envasadora.	37
Figura 20. Envasadora de líquidos semiautomática.	38
Figura 21. Funções da envasadora de Líquidos.	39
Figura 22. Interruptor de alimentação do sistema.	39
Figura 23. Haste ajustável.	40
Figura 24. Parte frontal do <i>dispenser</i> .	40
Figura 25. Parte traseira do <i>dispenser</i> .	41
Figura 26. Fluxograma do funcionamento.	42
Figura 27. Envasadora de Líquidos Platinun - até 1Kg.	45
Figura 28. Envasadora de Líquidos Platinun MV - até 1Kg.	46
Figura 29. Envasadora de Líquidos Iq40 inox - até 200g.	47

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DC	<i>Direct Current</i>
EEPROM	<i>Electrically – Erasable Programmable Read Only Memory</i>
ENESEP	Encontro Nacional de Engenharia de Produção
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
OIML	<i>International Organization of Legal Metrology</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tolerâncias individuais admissíveis.....	18
Tabela 2. Resultados do teste de precisão.	43
Tabela 3. Valores estimados na compra dos componentes.....	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA	14
1.2	PROBLEMA	14
1.3	OBJETIVOS	15
1.3.1	Objetivo Geral.....	15
1.3.2	Objetivos Específicos	15
1.4	ESTRUTURAS DO TRABALHO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	MELHORIA DO PROCESSO PRODUTIVO.....	16
2.1.1	Automação de processos	16
2.1.2	A automação em microempresas	17
2.2	AUTOMAÇÃO PARA O ENVASE DE LÍQUIDOS	17
2.3	CRITÉRIO PARA APROVAÇÃO DE PRODUTO PRÉ-MEDIDO	18
2.4	COMPREENDENDO OS TIPOS DE ENVASE	20
2.4.1	Envase manual.....	20
2.4.2	Envase semiautomático.....	21
2.4.3	Envase automático	21
2.5	MICROCONTROLADORES.....	22
2.5.1	Arduino	23
2.1	SENSORES E TRANSDUTORES	26
2.1.1	Célula de Carga.....	27
2.1	CONVERSOR ANALÓGICO-DIGITAL.....	29
2.2	MÓDULO RELÉ	30
2.3	BOMBA PARA FLUIDOS	31
2.4	CONCEITO DE DENSIDADE	32
2.4.1	Densidade utilizada como referência na calibração.....	33
3	MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1	COMPONENTES E MONTAGEM DO CIRCUITO	34
3.2	CALIBRAÇÃO DA CÉLULA DE CARGA.....	36
3.2.1	Fator de calibração	36
3.3	PROGRAMAÇÃO DA ENVASADORA.....	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38

4.1	PROTÓTIPO	38
4.1.1	Interface.....	38
4.1.2	Dispenser	40
4.2	FUNCIONAMENTO.....	41
4.3	TESTES DE PRECISÃO.....	42
4.4	PROCESSO MANUAL <i>VERSUS</i> SEMIAUTOMÁTICO.....	43
4.5	COMPONENTES UTILIZADOS E ORÇAMENTO DO PROJETO	44
4.6	AVALIAÇÃO COMPARATIVA.....	45
5	CONCLUSÕES	48
	REFERÊNCIAS	49
	APÊNDICE A - Código de calibração da célula de carga.....	53
	APÊNDICE B - Instruções para calibração da célula de carga.....	55
	APÊNDICE C - Código da envasadora de líquidos semiautomática.....	57
	APÊNDICE D - Diagrama elétrico da envasadora de líquidos.	59

1 INTRODUÇÃO

Muitos empresários que trabalham no cenário atual, buscam alternativas que possam garantir maior produtividade, em menor tempo e custo em seu processo produtivo.

A automação do processo aparece como uma possível solução para esses problemas, diminuindo a necessidade da mão humana no processo produtivo, além de facilitar o esforço humano e proporcionando um controle maior sobre todas as suas etapas (SANTOS *et al.*, 2017).

O objetivo principal da automação é criar mecanismos que sejam capazes de produzir o melhor produto com o menor custo. Alguns objetivos que devem ser buscados nos projetos de automação são: melhorar a produtividade de uma empresa aumentando o número de itens produzidos por hora, de forma a reduzir os custos de produção e aumentar a qualidade, melhorar as condições de trabalho das pessoas eliminando trabalhos perigosos e aumentados à segurança, melhorar a disponibilidade de produtos de forma com que seja possível fornecer quantidades necessárias no momento certo, simplificar a operação e manutenção de modo que o operador não precise ter grande expertise ao manusear o processo de produção, (GOLDBARG; LUNA, 2005).

A utilização da automação dispõe de avanços tecnológicos, aplicação de técnicas, softwares e equipamento específicos com finalidades estratégicas que atendem essa demanda de mercado reduzindo o esforço humano durante o processo de produção (SANTOS *et al.*, 2017).

Desta forma, automatizar processos tem permitido melhorar e aumentar a produção, contudo, passar de um processo manual para um automatizado requer um investimento econômico significativo. Assim, este trabalho tem como objetivo contribuir oferecendo uma envasadora de líquidos semiautomática, que atende às tolerâncias suficientes para o processo de envase de líquidos, conforme a Portaria do INMETRO nº 248/2008, com preço inferior às presentes no mercado, com finalidade de ajudar as micro e pequenas empresas aumentarem sua produtividade sem esforço manual, no envase de garrafas com produtos líquidos de limpeza.

1.1 JUSTIFICATIVA

O microempreendedor do ramo de materiais de limpeza que não possui condições financeiras para comprar uma envasadora profissional, realiza no seu dia a dia, um trabalho manual de enchimento de recipientes, o qual é repetitivo e cansativo, leva muito tempo para sua execução, assim como ocorre uma grande perda de produto durante este processo. Quando as atividades são feitas manualmente, o risco de se ocorrer erros é muito maior do que quando as ações são realizadas de forma automatizada. Por isso, aplicar a automação em seus processos produtivos, reflete na redução de despesas de produção, bem como nas respostas rápidas às solicitações do mercado.

1.2 PROBLEMA

Em função da alta competitividade do mercado, as empresas concorrem uma contra outra para satisfazer, obter e manter a fidelidade do cliente, com isso devem cumprir com fatores como prazo e pontualidade, precisando produzir mais, em menor tempo (ROIG, 2017).

Segundo Martins (2012) esses fatores podem ser adquiridos por meio da automação do processo, onde reduz o trabalho humano, diminui os desperdícios de produtos e se obtêm maior produtividade em menor tempo.

Quando se trata em automatizar o processo de envase de produtos, o mercado oferece vários modelos de envasadoras, sendo estas semiautomáticas e automáticas, os quais seus preços variam entre R\$3.900,00 à R\$80.000,00 (INTELIMAQ; TECFAG, 2021), no entanto os preços elevados torna-se um investimento de risco para pequenas empresas, visto que, altos investimentos, sem planejamento e falta de capital resultam na falência de 80% das micro e pequenas empresas antes de completarem 1 ano, ou seja, em sua fase inicial (SEBRAE, 2016). Uma das razões ligadas a esse fracasso são os elevados preços de equipamentos novos.

A partir daí surgiu o questionamento: É possível desenvolver um protótipo de envasadora de líquidos de baixo custo? Onde seu objetivo é reduzir o esforço humano e proporcionar um maior controle sobre as etapas do processo produtivo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo de envasadora de líquidos semiautomática, que funcione através do envase por peso, utilizando uma célula de carga como sensor, visando obter preço inferior às presentes no mercado, buscando ajudar o microempreendedor auxiliando para uma maior produtividade sem esforço manual no envase de garrafas de produtos líquidos de limpeza.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver código de programação viabilizando a compatibilidade do uso da célula de carga como sensor, baseando-se como referência a densidade da água;
- Realizar testes a partir de amostras, observando as tolerâncias suficientes para o processo de envase de líquidos, conforme a Portaria do INMETRO nº 248/2008;
- Simular e comparar o tempo consumido pelo procedimento manual e utilizando o protótipo.

1.4 ESTRUTURAS DO TRABALHO

Para obter-se uma melhor visão sobre o trabalho, este foi estruturado em 5 partes, da seguinte forma:

Parte 1 - Trata-se da introdução, onde enunciam-se a justificativa, problema, objetivos geral e específicos que se propõe atingir.

Parte 2 - Neste item, apresenta-se o embasamento teórico utilizado no desenvolvimento do trabalho.

Parte 3 - Descreve os materiais e métodos utilizados no trabalho.

Parte 4 - Mostra os resultados obtidos.

Parte 5 - Por fim, segue as conclusões e sugestões futuras a respeito do trabalho. Também mostram-se as referências bibliográficas e apêndices.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MELHORIA DO PROCESSO PRODUTIVO

Aplicar melhorias no processo produtivo tornou-se fator essencial para que as empresas possam acompanhar as constantes mudanças que ocorrem em seu ramo de atuação, assim como para manter o sistema produtivo competitivo. Pode-se dizer que essas mudanças estão fortemente associadas à adoção da tecnologia em meio ao processo.

Do ponto de vista de Tavares (2016), a satisfação do cliente não está relacionada apenas em encontrar uma empresa que oferece um produto sem defeito, mas também a fatores como prazo, pontualidade de entrega, atendimento no pré e pós-venda, flexibilidade, condições de pagamento, entre outros. Para que isso seja alcançado, é preciso qualidade nos processos.

Desta forma, seguindo o preceito de melhorar continuamente os processos produtivos, buscando acompanhar as mudanças, as empresas que investem em inovação e automação vêm se destacando.

2.1.1 Automação de processos

Automação, do latim *Automatus*, que significa mover-se por si, é a aplicação de técnicas, softwares e/ou equipamentos específicos em uma determinada máquina ou processo industrial, com o objetivo de aumentar a sua eficiência, maximizar a produção com o menor consumo de energia e/ou matérias primas, menor emissão de resíduos de qualquer espécie, melhores condições de segurança, seja material, humana ou das informações referentes a esse processo, ou ainda, de reduzir o esforço ou a interferência humana sobre esse processo ou máquina (AMÉRICO; AZEVEDO; SOUZA, 2011).

Automatizar processos é criar mecanismos capazes de melhorar as condições de trabalho das pessoas, otimizar as atividades aumentando o número de itens produzidos, oferecendo disponibilidade de produtos de forma com que seja possível fornecer quantidades necessárias no momento certo.

2.1.2 A automação em microempresas

Segundo pesquisa do SEBRAE (2016), mais da metade dos microempreendedores não realizam um planejamento estratégico antes do início das atividades do estabelecimento. Para iniciar o seu empreendimento, 88% dos gestores contaram basicamente com recursos próprios ou da família.

Uma empresa ao implantar ou modificar um processo produtivo, deve analisar a situação financeira e econômica em que está inserida. Sendo assim, se analisa o projeto e se o mesmo representa uma alternativa viável para aplicação dos recursos (FESTUGATO, 2016).

Os elevados preços dos equipamentos da automação, torna-se um investimento de risco para pequenas empresas, visto que, altos investimentos, sem planejamento e falta de capital resultam na falência de 80% das micro e pequenas empresas antes de completarem um ano, ou seja, em sua fase inicial (SEBRAE, 2016).

Segundo Cravo (2019), engenheiro da empresa KALATEC, especialista em projetos de automação de processos de pequenas empresas, estas precisam ficar muito atentas ao realizar investimentos, pois elas têm seu capital de giro mais limitado e, portanto, não devem se expor a riscos muito altos. É fundamental ser realista na hora de elaborar o orçamento do projeto.

Desta forma, na etapa de planejamento e concepção, os detalhes precisam de redobrada atenção, avaliando suas necessidades, pois a automação pode ser implementada em qualquer empresa, mesmo nas pequenas, porém todo o projeto precisa ser efetuado de maneira realista, respeitando os limites financeiros.

2.2 AUTOMAÇÃO PARA O ENVASE DE LÍQUIDOS

As envasadoras são equipamentos pré-programados responsáveis pelo enchimento de recipientes de acordo com a quantidade necessária de determinado produto, dentro das tolerâncias admissíveis regulamentadas pelo INMETRO, por meio da Portaria nº 248/2008.

São equipamentos indispensáveis para as empresas que buscam automatizar as atividades de seu processo produtivo. Oferece agilidade no processo e conta com um alto nível de precisão, possibilita envasar diferentes

materiais líquidos em diversos tipos de recipientes. Possuem aplicações nos diversos setores industriais, como alimentícia, cosmética, farmacêutica, química, entre outras (HENAC, 2020; NÁPOLE, 2009).

2.3 CRITÉRIO PARA APROVAÇÃO DE PRODUTO PRÉ-MEDIDO

Segundo definição do INMETRO, produto Pré-Medido é todo produto embalado e medido sem a presença do consumidor e em condições de comercialização.

A regulamentação metrológica aplicável pelo INMETRO para aprovação de lotes de produtos pré-medidos, tem como referência internacional a Recomendação da R87 OIML (Organização Internacional de Metrologia Legal).

A Portaria do INMETRO nº 248 de 17 de julho de 2008, regulamenta a verificação dos conteúdos líquidos dos produtos Pré-medidos, com conteúdo nominal igual, expresso em massa ou volume nas Unidades do Sistema Internacional de Unidades. As tolerâncias admissíveis são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Tolerâncias individuais admissíveis.

Qn em g ou ml	T do Qn em %	T do Qn em g ou ml
0 a 50	9	4,5
50 a 100	4,5	4,5
100 a 200	4,5	9
200 a 300	3	9
300 a 500	3	15
500 a 1000	1,5	15
Onde: Qn é o conteúdo nominal T é a tolerância individual admissível para Massa e Volume OBS.: 1- As tolerâncias são aplicadas em caso de falta do produto. 2- Valores de T para Qn menor ou igual a 1000 g ou ml devem ser arredondados em 0,1 g ou ml para mais.		

Fonte: Adaptado de INMETRO Portaria nº 248/2008.

As tolerâncias da Tabela 1 são concedidas para menos, ou seja, por falta de produto, aos produtos Pré-Medidos.

A Figura 1 representa exemplo de duas situações para o envase de líquidos de 1000 ml em uma garrafa.

Para saber se o volume na garrafa (Conteúdo efetivo) atende à tolerância suficiente para o processo de envase de líquidos, é realizado a subtração do Conteúdo Nominal (Q_n) pela Tolerância Individual (T) em ml, de acordo com a Tabela 1. Assim, para um frasco de 1000 ml temos :

$$\text{Mínimo de conteúdo aceitável} = Q_n - T \rightarrow 1000 - 15 = \mathbf{985 \text{ ml}}$$

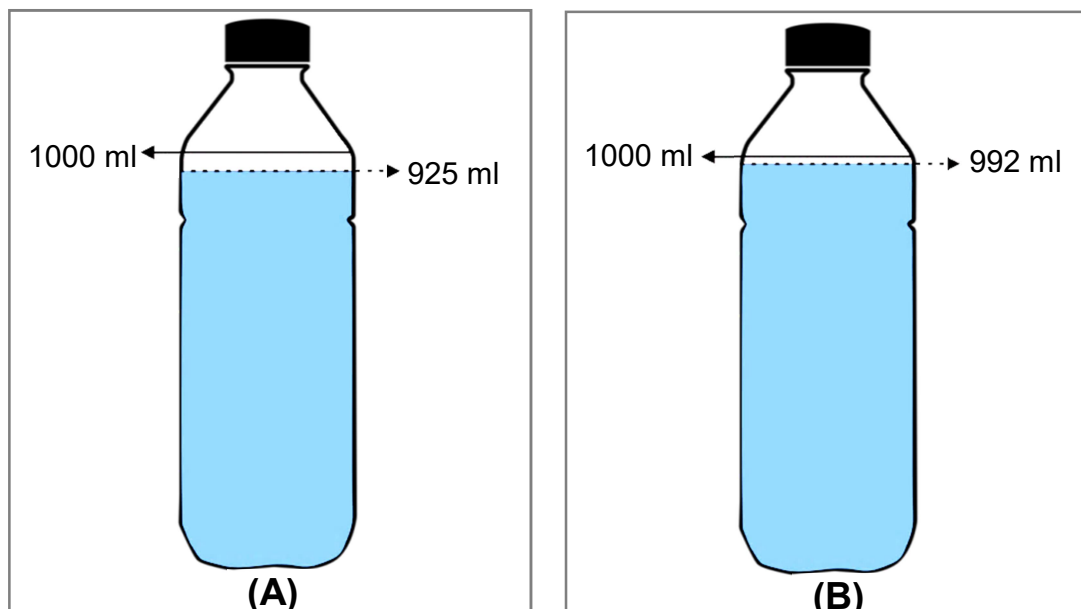
Desta forma, a quantidade de volume aceitável na garrafa deve ser ≥ 985 ml.

Em ambos os casos mostrados na Figura 1, nota-se uma marcação que aponta 1000 ml e logo abaixo uma outra marcação pontilhada que indica o conteúdo efetivo envasado no frasco.

No caso **(A)**, o conteúdo efetivo é de 925 ml, deste modo não atende a tolerância suficiente, pois o mínimo de volume que deve haver no frasco é 985 ml.

Já no caso **(B)**, a marcação indica conteúdo efetivo de 992 ml, o qual é maior que 985 ml, ou seja, atende a tolerância suficiente para o processo de envase de líquidos para Q_n de 1000 ml.

Figura 1. Não atende as tolerâncias **(A)**; Atende as tolerâncias **(B)**.



Fonte: Autor.

Este procedimento apresentado é aplicado durante os testes de precisão de envase do protótipo, mostrados no item Resultados e Discussões.

2.4 COMPREENDENDO OS TIPOS DE ENVASE

2.4.1 Envase manual

No processo manual é obrigatório ocorrer intervenção humana para realizar as ações durante todo processo produtivo, podendo ocorrer de duas formas.

A primeira é apresentada na Figura 2, onde é realizada a medição da quantidade de volume do produto em um Copo de Medição **(A)**, nesse caso 500 ml. Em seguida com auxílio de um funil, o líquido é despejado dentro da garrafa **(B)**, que por fim, é tampada.

Figura 2. Processo de envase manual.



Fonte: Autor.

A segunda forma é utilizando envasadoras com funcionamento mecânico, que não necessitam de energia elétrica. A quantidade de produto a ser envasado é controlada pelo operador por meio de uma manopla ou alavanca de pressão, conforme mostra a Figura 3. Neste procedimento, geralmente as garrafas possuem uma marcação em seu corpo identificando a quantidade de volume a ser envasado.

Figura 3. Envasadora manual de cosméticos.



Fonte: Registron, 2021.

2.4.2 Envase semiautomático

Neste procedimento se faz uso da envasadora eletrônica, porém é um modelo de equipamento que necessita de intervenção contínua do operador para realizar algumas ações, como troca de recipientes, controle de mecanismos e acionamento de botões que iniciam um novo ciclo do processo. Necessita de menor esforço humano quando comparado com o processo manual.

Um exemplo de envasadora semiautomática pode ser vista na Figura 4, que mostra o processo de envase de materiais químicos, o qual após o enchimento realizado pelo equipamento, o operador faz a retirada e a inserção manualmente de novos recipientes.

Figura 4. Envasadora de produtos químicos semiautomática.



Fonte: Narita Máquinas, 2021.

2.4.3 Envase automático

No processo automático, a interferência humana sobre o equipamento eletrônico ocorre apenas no comando de partida inicial, final e paradas emergenciais. O sistema inicia e finaliza com assistência mínima do operador.

Na Figura 5 é possível visualizar um equipamento de envase do setor de bebidas, onde o ciclo do processo de produção ocorre automático, ou seja, acontece repetidamente sem a necessidade de intervenção do operador.

Figura 5. Envasadora industrial automática.



Fonte: SulPrint, 2021.

2.5 MICROCONTROLADORES

Os microcontroladores são componentes bastante versáteis podendo, através de sua programação, possuir diversas aplicações. São dispositivos amplamente utilizados em circuitos eletrônicos. Por serem dispositivos programáveis, podem ser empregados em praticamente qualquer circuito que demande algum grau de processamento de informações.

São embarcados no interior de algum outro dispositivo para que possam controlar as funções ou ações do mesmo. Podem ser encontrado nos diversos aparelhos eletrônicos, como smartphones, geladeira, micro-ondas, televisores, entre muitos outros (SILVA, 2006; LIMA; VILAÇA, 2012).

Segundo Lima e Villaça (2012), um microcontrolador é um sistema computacional integrado em um único chip, contendo as seguintes características:

- Possui uma CPU (*Central Processing Unit* - Unidade Central de Processamento) que executa programas;
- Possui memória RAM (*Random Access Memory* - Memória de Acesso Aleatório) para armazenamento de “variáveis”;
- Possui entradas e saídas que possibilitam a interação;
- São dedicados e executam um programa específico. O programa é armazenado na memória EEPROM (*Electrically – Erasable Programmable Read Only Memory*);
- É um dispositivo de baixa potência podendo consumir 50 milliwatts.
- É pequeno e barato, sendo que os componentes são escolhidos para minimizar o tamanho e serem os mais econômicos possíveis.

Por estar em um meio acadêmico, optou-se por soluções que sejam as mais versáteis possíveis e que exigissem uma menor captação de recursos.

Nesse sentido o Arduino ganhou destaque, devido seu baixo custo, além de fornecer uma vasta gama de funcionalidades. Possui um software para programação livre e utiliza a linguagem C/C++. Esses fatores citados contribuíram para a escolha do Arduino como base para desenvolvimento do protótipo.

2.5.1 Arduino

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica que utiliza os conceitos de Hardware e de Software, sendo o primeiro a placa sobre a qual estão dispostos os projetos (prototipagem) e o último se refere a parte lógica, no qual será feita a programação que nada mais é que a sequência de comandos para coordenar as funções que o Arduino vai executar (ARDUINO, 2018).

O projeto da placa e do software do Arduino, teve início por Massimo Banzi, em 2005, na Itália. Em princípio, tinha como objetivo ajudar no ensino dos alunos em assuntos básicos de eletrônica, através de uma plataforma de código aberto de baixo custo que proporcionasse o desenvolvimento mais facilitado de projetos práticos (RIBEIRO *et al.*, 2017).

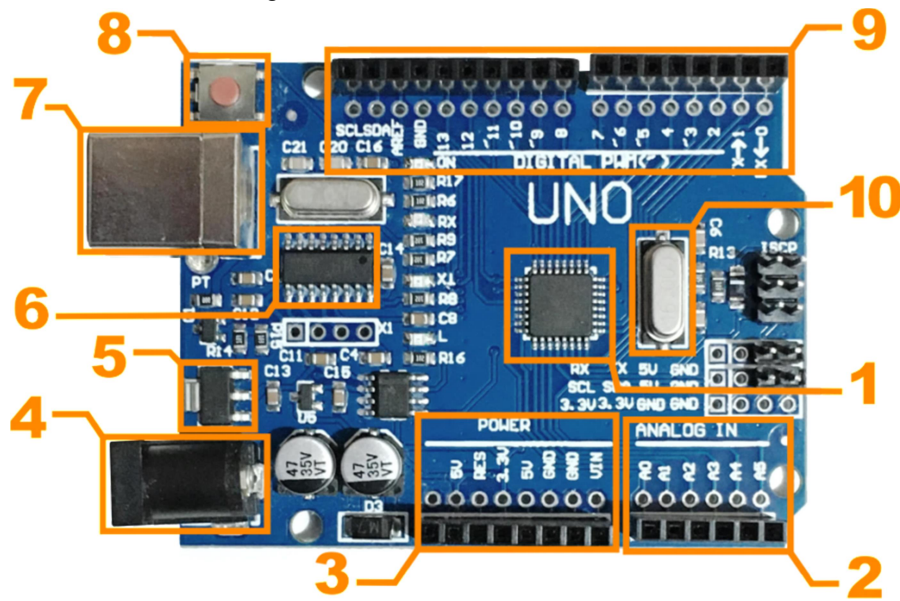
O Arduino é um tipo de microcontrolador que pode ser programado, capaz de perceber as variáveis do ambiente de acordo com sinais elétricos que os sensores instalados o enviam através dos seus terminais de entrada, e é capaz de controlar outro elemento que esteja conectado no seu terminal de saída (MELO; BARANIUK, 2012).

2.5.1.1 Hardware

O Arduino UNO é uma plataforma contendo um pequeno circuito microcontrolado pelo chip ATmega328P, onde são colocados todos os componentes mínimos necessários, garantindo sua proteção e funcionamento para que este execute corretamente suas funções e se comunique com um computador.

De acordo com Melo (2012), os principais componentes da placa Arduino Uno R3, são listados conforme a Figura 6:

Figura 6. Placa do Arduino UNO R3.



Fonte: Autor.

1. **Microcontrolador SMD ATmega328P:** é considerado o cérebro da placa, onde é feito o upload do código após a compilação do programa. É possível programá-lo de modo a determinar todas as tensões de entrada, saída, e a lógica dos sinais gerados em cada um de seus terminais;

2. **Entradas Analógicas:** têm a função de ler o sinal de um sensor que mensura grandezas analógicas com a capacidade de convertê-lo em sinal digital;

3. **Entradas/Saídas de Alimentação:** responsáveis em fornecer a tensão de saída necessária para cada sensor. Permitem tensão nos valores de 3,3 V, 5 V, 0 V (GND) e tensão da fonte conectada externamente pelo pino (*V_{in}*). **IOREF** fornece uma tensão de referência para que shields possam selecionar o tipo de interface apropriada, dessa forma shields que funcionam com a placas Arduino que são alimentadas com 3,3 V, podem se adaptar para ser utilizados em 5 V e vice-versa;

4. **DC Power Barrel Jack:** é usado para alimentar o Arduino com uma fonte de alimentação externa que pode variar de 6 a 20 V, porém segundo recomendações do fabricante é desejável a utilização de valores entre 7 e 12 V garantindo seu funcionamento contínuo corretamente. O valor de tensão da fonte conectada nesta entrada é o que aparece na porta *V_{in}*;

5. **Regulador de Tensão:** componente responsável em controlar o valor da voltagem de alimentação recebida na placa Arduino que funciona em 5 V;

6. **Conversor USB/Serial CH340:** é um chip desenvolvido para converter sinais USB em sinais seriais, permitindo a comunicação entre o computador e plataformas de microcontroladores;

7. **Conexão USB:** permite simultaneamente a alimentação e troca de dados entre Arduino e um computador;

8. **Botão Reset:** quando pressionado tem a finalidade de reiniciar qualquer código que é carregado na placa Arduino UNO;

9. **Entradas/Saídas Digitais:** Os pinos 0 a 13 podem ser usados para entrada ou saída de sinais digitais;

10. **Cristal Oscilador:** este componente tem a função de determinar a frequência na execução das tarefas solicitadas ao Arduino (tempo de clock do microcontrolador), que neste caso ocorrem em 16 MHz.

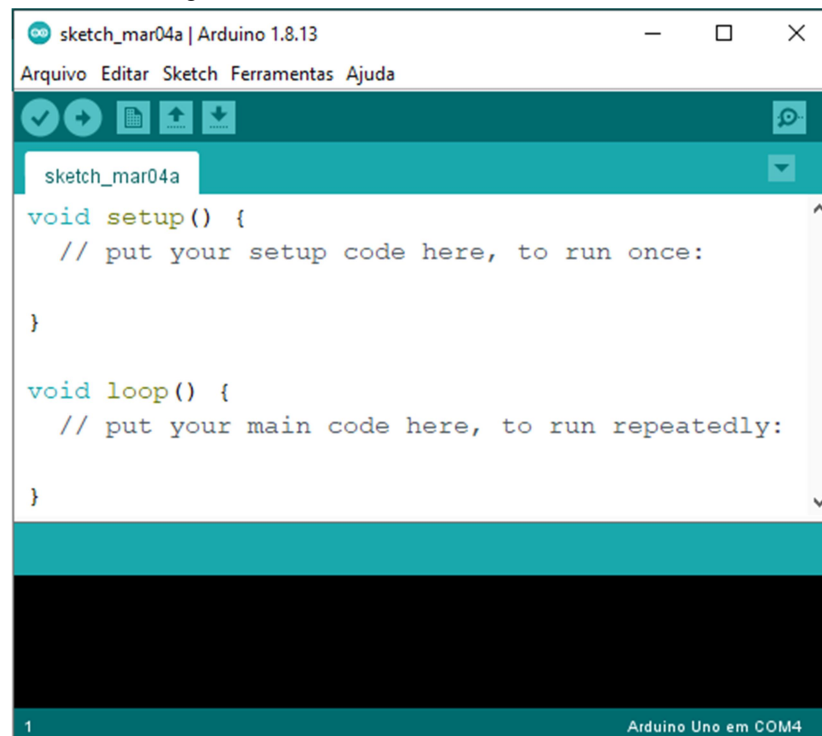
2.5.1.2 Software

O IDE (*Integrated Development Environment*), apresentado na Figura 7, é o ambiente de desenvolvimento utilizado para escrever o código, o qual permite a criação de sketches na linguagem C++, que logo, ao compilar o programa na placa, o converte para a linguagem C.

Após o desenvolvimento do código no software, o Arduino é conectado ao computador através de uma porta USB e assim, pode-se então compilar o código na sua memória flash, possibilitando com que este funcione independentemente, desde que conectado a uma fonte de alimentação, permitindo assim a execução do código armazenado e fazendo leituras infinitas na sequência armazenada (MELO; BARANIUK, 2012).

Ambiente de desenvolvimento (IDE) *open-source* pode ser obtido gratuitamente no site do Arduino (disponível para sistema Windows, Mac OS e Linux).

Figura 7. Interface inicial da IDE do Arduino.



Fonte: Autor.

2.5.1.3 Memória

Melo (2012) destaca algumas informações sobre a memória do Arduino:

- O ATmega328P possui 32 kB de memória flash (armazenamento dos programas);
- 2 kB de SRAM (armazenamento das variáveis);
- 1 kB de EEPROM (armazenamento de dados permanentemente).

2.1 SENSORES E TRANSDUTORES

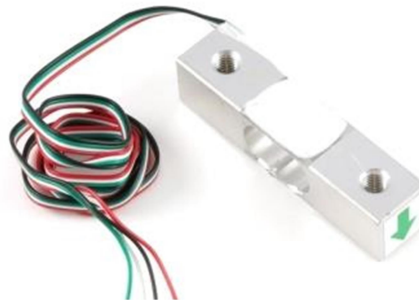
De acordo com Grando (2013), sensores e transdutores são os elementos responsáveis em fazer a conexão direta entre o mundo real e o sistema de aquisição de dados. Estes dispositivos respondem aos estímulos físicos de uma maneira específica, dessa forma grandezas físicas tais como força, temperatura, vibração, radiação solar, pressão, vazão entre outros, são convertidas em grandezas elétricas (tensões, correntes) permitindo a sua leitura pelo sistema de medição.

2.1.1 Célula de Carga

Mostrada na Figura 8, a célula de carga é o sensor escolhido para aplicação no protótipo da envasadora de líquidos. Sua escolha se deu devido à vantagem de a mesma não sofrer influência de ar na mangueira, fornecendo sempre o volume correto quando o peso do produto corresponder à quantidade de volume pré-ajustada.

São utilizadas em aplicações comerciais e industriais onde seja necessário fazer medições de peso/carga em geral. Exemplo de equipamento que utiliza célula de carga são as balanças digitais.

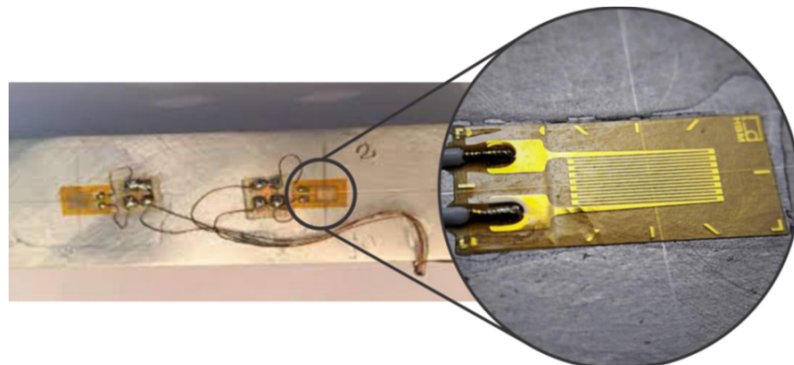
Figura 8. Célula de carga.



Fonte: Autor.

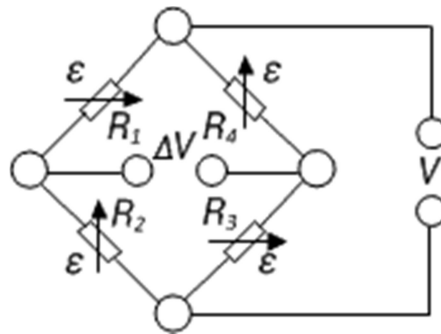
A célula de carga é um sensor que utiliza princípios físicos para determinar o peso. Uma grande variedade de informações pode ser utilizada, tais como a tensão, pressão e a força, e estes, são convertidos em sinais elétricos através de tensões elétricas, frequência ou corrente. Estas células geram sinais elétricos a partir de elementos denominados extensômetros resistivos (*strain gauge*), indicados na Figura 9, onde utilizam pressão mecânica em uma estrutura deformável, possibilitando mensurar grandezas como força e pressão, ligados a partir de uma ponte de Wheatstone, conforme Figura 10 (VIEIRA, 2016).

Figura 9. Extensômetro (*Strain gauge*).



Fonte: Adaptado de Zanetic, 2016; Encardio, 2020.

Figura 10. Ponte de Wheatstone.

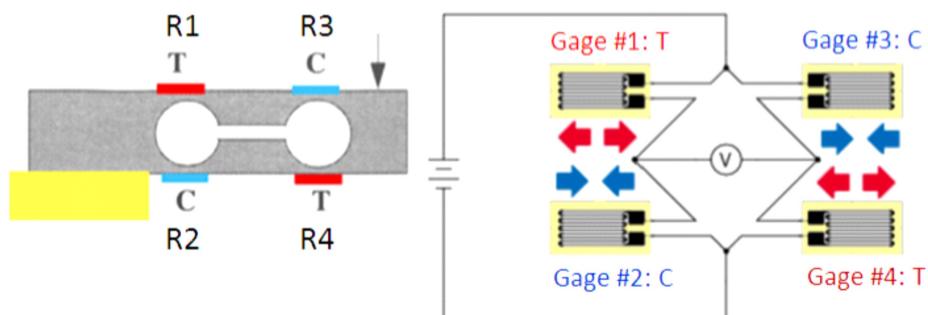


Fonte: Lima; HBM, 2014.

No caso do extensômetros, a variação ocorre quando há uma deformação ou uma tração na estrutura, esse fenômeno é representado pela Equação 1, pois existindo uma variação no comprimento (L) e na área (A), isso provoca aumento ou diminuição da resistência elétrica (R). Como a resistividade (ρ) é específica para cada material, não há variação, para qualquer tração ou compressão dentro da capacidade máxima do extensômetro (HALLIDAY, 2000).

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1)$$

A célula de carga é um dispositivo transdutor de força, que tem como propriedade a medição das deformações ou a flexão de um corpo transformando-a em uma pequena diferença de potencial. Os extensômetros são ligados a partir de uma ponte de *Wheatstone*, formando um circuito elétrico, composto por quatro resistências, conforme a Figura 11.

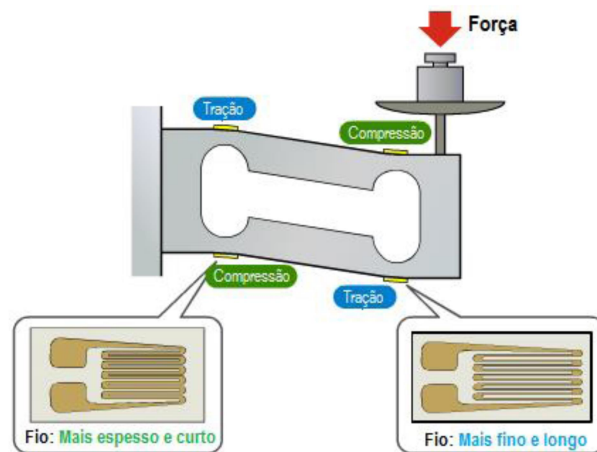
Figura 11. Posicionamento dos extensômetros (*Strain Gauge*).

Fonte: DeJonge, 2010.

A Figura 12 mostra o comportamento da célula de carga durante aplicação de peso em sua estrutura, onde sofre uma flexão medida através dos extensômetros

(*strain gauge*) de compressão e tração, por meio da variação de sua resistência elétrica, de acordo com essa flexão, provocando um desequilíbrio na ponte, fazendo com que a tensão de saída da ponte sofra variação, devido ao seu reequilíbrio. Seu sinal de saída passa pelo condicionador/amplificador de sinal. Este sinal em mV é processado e transformado em grandeza de força (peso) em um indicador de pesagem digital ou analógico (VIEIRA; ZARPELLON, 2016).

Figura 12. Comportamento da célula de carga.



Fonte: Viera, 2016.

Segundo Vieira e Zarpellon (2016), o sinal de saída para ponte completa, ou seja, com 4 extensômetros ativos, é definido pela Equação 2:

$$\Delta V = \frac{V}{4} * k * (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) \quad (2)$$

Onde:

ΔV = tensão de saída [V]

V = tensão de alimentação [V]

k = fator do extensômetro

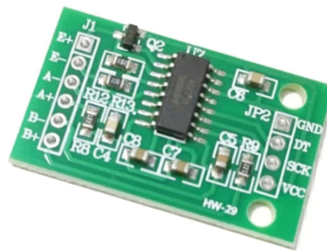
ε = deformação [$\mu\text{m}/\text{m}$]

2.1 CONVERSOR ANALÓGICO-DIGITAL

O módulo HX711 mostrado na Figura 13, é um conversor analógico-digital e amplificador operacional de 24 bits. Ele é usado para amplificar o sinal da célula de carga, além de realizar a conversão do sinal analógico para um sinal digital.

Isso é necessário, pois o sinal de saída da célula de carga está na escala de milivolts (mV). Portanto para que seja um sinal que possa ser lido pelo microcontrolador, ele precisa ser amplificado para o nível adequado da placa utilizada (FALLEIRO, 2015).

Figura 13. Módulo HX711.



Fonte: Autor.

Algumas características do módulo HX711 são:

- Conversão de sinais analógicos em digitais;
- Amplificador de sinais;
- Opera em 5V DC (recomendada);
- Possui corrente de funcionamento <10 mA;
- Comunicação com o computador por padrão TTL 232;
- Precisão dos dados de 24 bits;
- Frequência de atualização 80 Hz;
- Dimensões: 24x15x2,7mm.

2.2 MÓDULO RELÉ

O módulo relé ilustrado na Figura 14 permite uma integração com uma ampla gama de microcontroladores, como o Arduino. Funciona como uma chave, capaz de ativar ou desativar determinada carga. Os sinais de saída e entrada são independentes, ou seja, a tensão de acionamento da bobina pode ser diferente da tensão nos contatos, além de poder controlar sinais de corrente alternada por meio de tensão contínua. Pode-se controlar dispositivos como motores AC ou DC, eletroímãs, solenoides, lâmpadas, entre outros.

Segundo Cunha (2009), o relé é um componente eletromecânico constituído por uma bobina, uma armadura de ferro móvel, conjunto de contatos e terminais. Para seu

funcionamento uma corrente percorre a bobina, tal fato cria-se um campo magnético que atua sobre a armadura atraindo-a. Nesta atração ocorre um movimento que ativa os contatos, podendo oferecer algumas configurações, onde podem ser NA (normalmente aberto), NF (normalmente fechado) ou ambos.

Figura 14. Módulo Relé.



Fonte: Autor.

Devem ser observadas as limitações dos relés quanto a corrente e tensão máxima admitida entre os terminais, caso não forem seguidos estes fatores, a vida útil do relé estará comprometida. Suas especificações são:

- Tensão de operação: 5V DC (VCC e GND);
- Tensão de sinal: TTL - 5V DC (IN);
- Modelo do relé: SRD-05VDC-SL-C;
- Suporta cargas de até 30V DC ou 250V AC;
- Corrente de operação de até 10A;
- Pinagem: Normal Aberto (NA), Normal Fechado (NF) e Comum;
- Dimensões: 43mm (L) x 17mm (C) x 19mm (H).

2.3 BOMBA PARA FLUIDOS

A bomba é um componente que quando recebe energia de uma fonte motora, transforma energia cinética em energia de pressão que é aplicada sobre o fluido a ser bombeado (LENCASTRE, 2005).

São indicadas quando há necessidade de transferir algum tipo de fluido de um lugar para o outro, para isso, sua entrada e saída devem ser interligadas por mangueiras ou canos, para que ocorra o direcionamento do fluxo.

A bomba utilizada é o modelo RS-385 vista na Figura 15. Está pode ser utilizada em diversos projetos que necessitam de uma função de bombeamento de fluidos de baixa viscosidade, como água, solventes, produtos químicos e óleos leves.

Figura 15. Bomba para fluidos modelo RS-385.



Fonte: Autor.

Suas características são:

- Materiais em metal e plástico;
- Tensão nominal 12VDC;
- Corrente de trabalho 0,5 a 0.7A;
- Corrente em máxima eficiência ~2A;
- Potência 6 W/h (12VDC);
- Diâmetro de entrada e saída ~7,6mm;
- Diâmetro do motor 28,6mm;
- Dimensões da bomba 90x40x35 mm.

2.4 CONCEITO DE DENSIDADE

Para justificar e entender a compatibilidade da utilização da célula de carga no protótipo da envasadora de líquidos, é necessário rever o conceito de densidade.

A densidade é a relação entre a massa de um determinado material e o volume que ele ocupa em espaço, na mesma pressão e temperatura.

Portanto, podemos colocar essa relação em uma fórmula com três variáveis e conhecendo duas delas é possível determinar a terceira.

Sendo assim, temos a Equação 3, onde a densidade (d) é igual a massa (m) dividida pelo volume (V).

$$d = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Dessa forma, antes de fazer conversão de gramas para ml, é necessário conhecer a densidade do material e a quantidade em massa, do composto analisado, para então, determinar o seu volume (KOTZ *et al.*, 2015).

2.4.1 Densidade utilizada como referência na calibração

Como o objetivo do projeto é trabalhar com materiais líquidos, com densidade aproximada da água, utilizaremos esta como referência na programação.

Assim sendo, para conhecer quanto equivale em ml um grama de água, precisamos primeiramente, conhecer a densidade da água, onde:

A densidade da água é aproximadamente 1 g/cm³. Sabendo que 1 cm³ é igual a 1 ml, temos que a densidade da água é igual a 1 g/ml (KOTZ *et al.*, 2015).

Sendo assim,

$$d = m / V$$

$$1 \text{ g / ml} = 1 \text{ g / V}$$

$$V = 1 \text{ g / } 1 \text{ g/ml}$$

$$\mathbf{V = 1 \text{ ml}}$$

Portanto, sabe-se que 1 grama de água equivale aproximadamente a um volume de 1ml.

Desta forma, sabendo que a célula de carga é um sensor que trabalha com peso, pode-se justificar sua compatibilidade para uso no protótipo, pois a cada 1 ml despejado será equivalente a 1 grama detectado pela célula de carga.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

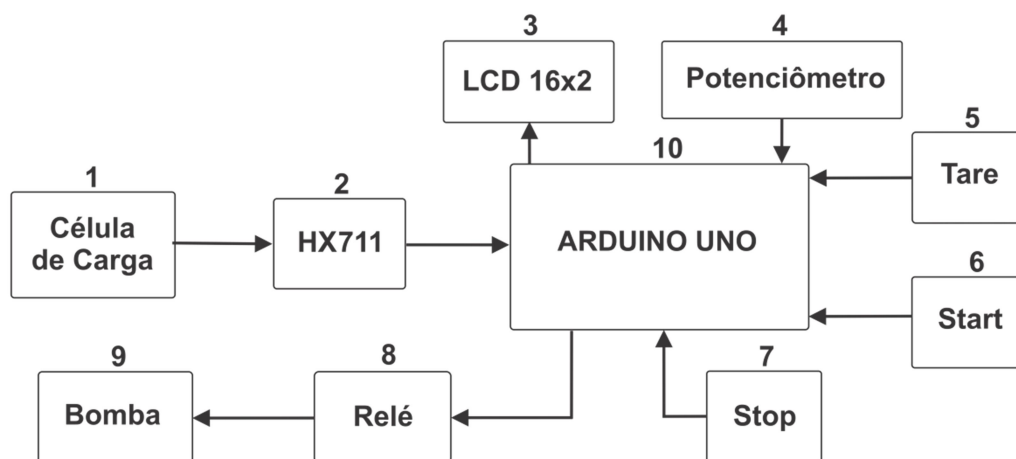
O projeto dividiu-se em duas etapas, sendo a primeira a montagem provisória, onde consistiu no desenvolvimento da programação do microcontrolador, por meio da plataforma Arduino. Também foram executados a calibração e testes de compatibilidade de utilização da célula de carga como sensor, baseando-se como referência a densidade da água.

Na segunda etapa realizou-se a montagem da estrutura definitiva, onde a partir daí foram realizados os testes e ensaios constatando a eficiência do protótipo, de acordo com a Portaria do INMETRO nº 248/2008, apresentada no item 2.3, Tabela 1.

3.1 COMPONENTES E MONTAGEM DO CIRCUITO

O protótipo possui a composição apresentada no diagrama de blocos da Figura 16, onde foram integradas relacionando cada componente e sua função no sistema.

Figura 16. Diagrama de blocos dos componentes.



Fonte: Autor.

1 - Célula de Carga 10 Kg: Também conhecida como sensor de peso, é composto por uma ponte resistiva que altera sua resistência conforme o peso aplicado;

2 - Módulo HX711: Recebe os sinais do sensor, converte de analógico para digital, amplifica e transmite para o microcontrolador;

3 - Display LCD 16x2: Mostra a informações. Utilizado em projetos onde se necessita uma interface homem-máquina. Neste projeto realiza exibição da quantidade de volume ao operador;

4 - Potenciômetro 10K Ω : É utilizado para ajustar na tela do Display LCD, a quantidade de volume a ser envasado no recipiente;

Interruptor push button: componente que conecta ou separa dois pontos do circuito quando é pressionado, podendo assim, ser utilizado para acionar uma ação.

5 - Tare: Desconta o peso do recipiente colocado sobre o sensor. Reequilibra os extensômetros resistivos da célula de carga para o estado “0”. Deve ser acionado antes do Start;

6 - Start: Responsável pelo acionamento do relé, o qual fecha contato e consequentemente envia os 12V que ativa a bomba d’água;

7 - Stop: Utilizado em casos de emergência, em razão de possíveis erros de operação. Quando acionado, interrompe a tensão de 9V que alimenta o Arduino;

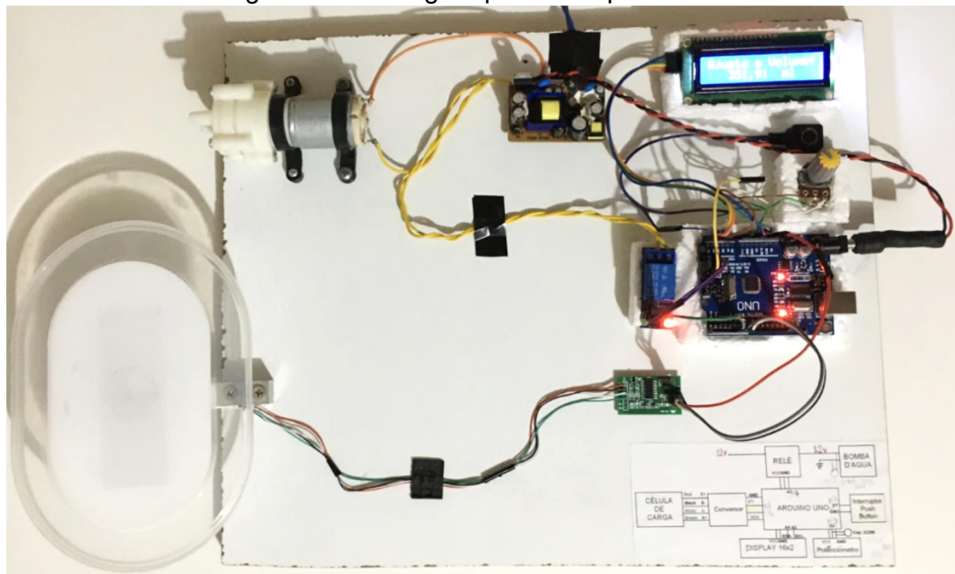
8 - Módulo Relé 5V: Permite que a partir do microcontrolador, controle o acionamento da bomba d’água;

9 - Bomba d’água 12V: Quando acionada pelo módulo relé, executa o envase do líquido;

10 - Arduino Uno: Utilizado como microcontrolador, trabalha como um centro de comandos. Recebe sinal através do sensor em seu terminal de entrada e controla o relé por meio do terminal de saída.

O diagrama elétrico do protótipo encontra-se no Apêndice D, o qual resultou na montagem provisória mostrado na Figura 17.

Figura 17. Montagem provisória para testes.



Fonte: Autor.

3.2 CALIBRAÇÃO DA CÉLULA DE CARGA

3.2.1 Fator de calibração

Neste trabalho, o fator de calibração é encontrado por meio do código apresentado no Apêndice A, através da técnica de calibração por “Peso Padrão”, conforme norma ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017.

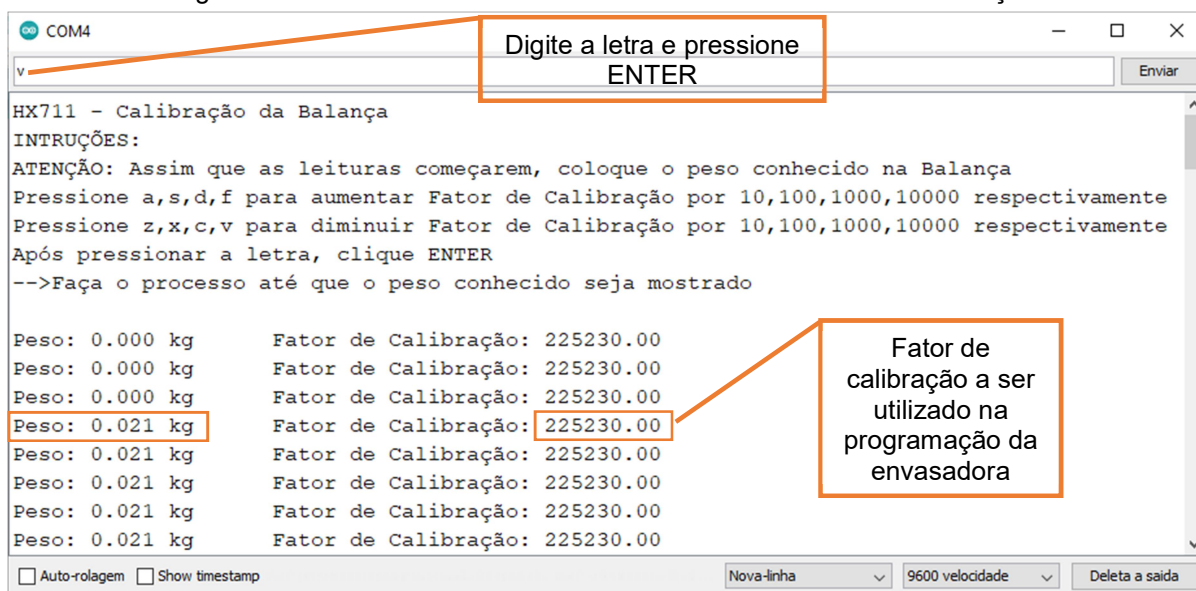
O código de calibração utilizado é uma adaptação da programação apresentada por Vidal (2017) para calibração da célula de carga no projeto “balança digital”.

O peso padrão utilizado foram 3 moedas de 1 real, total de 21 gramas, onde cada uma possui 7 gramas (BCB, 2021).

As instruções para realização do processo de calibração é mostrada no Apêndice B.

O fator de calibração é o valor apresentado no monitor serial do software IDE quando colocamos o peso sobre a célula de carga, conforme Figura 18.

Figura 18. Monitor serial do software IDE indicando o Fator de calibração.



Fonte: Autor.

3.3 PROGRAMAÇÃO DA ENVASADORA

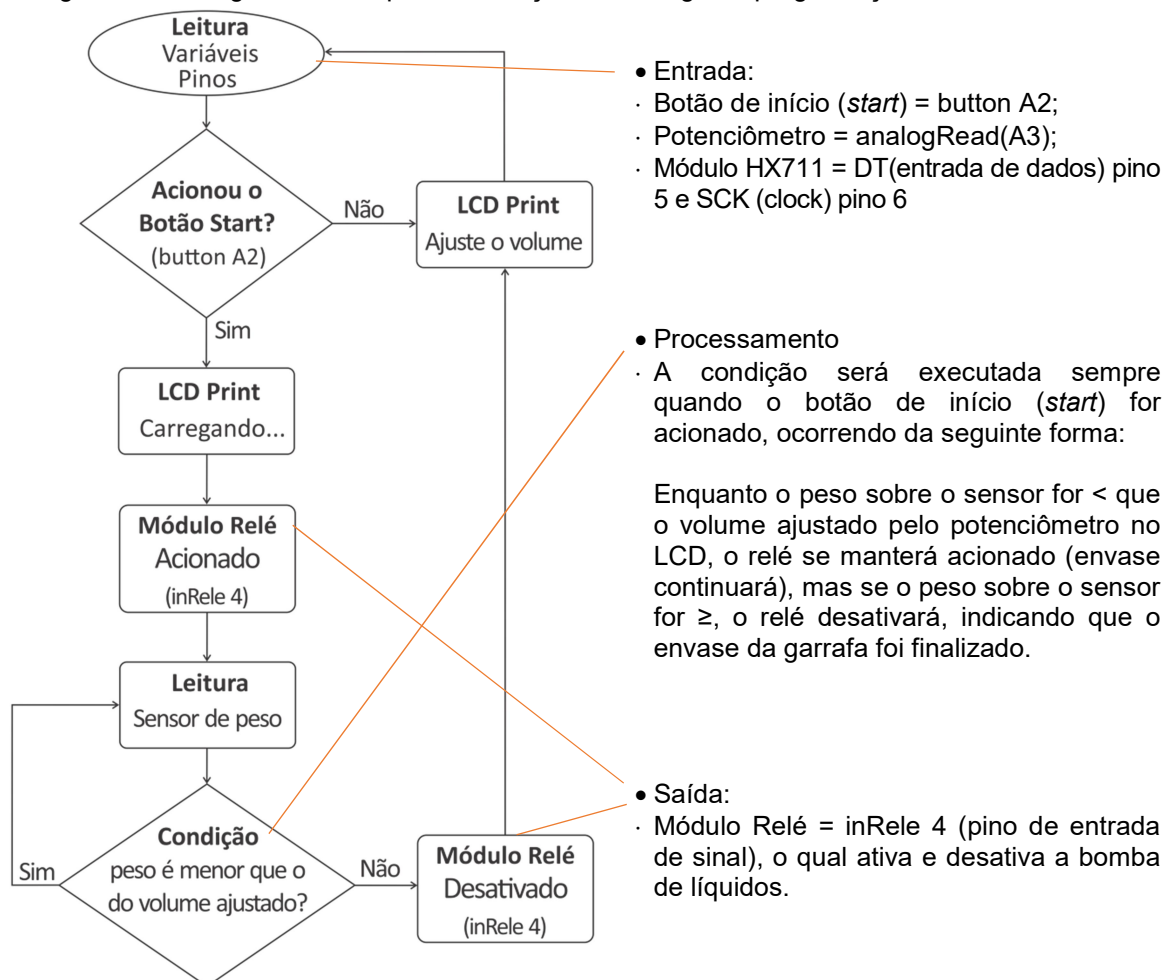
Executada no Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) mostrado no item 2.5.1.2, a programação do Apêndice C é quem determina a forma de interação: entrada, processamento e saída.

Quando realizado a compilação do programa, o código opera de acordo com os sinais de entrada recebidos pelo ambiente externo, através dos agentes controladores.

Esses sinais são recebidos pela unidade de processamento que executa as sequências lógicas, altera as variáveis do módulo de saída.

O fluxograma da Figura 19, mostra a sequência de ações desempenhadas pela programação para o funcionamento da envasadora.

Figura 19. Fluxograma da sequência de ações do código de programação da envasadora.



Fonte: Autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PROTÓTIPO

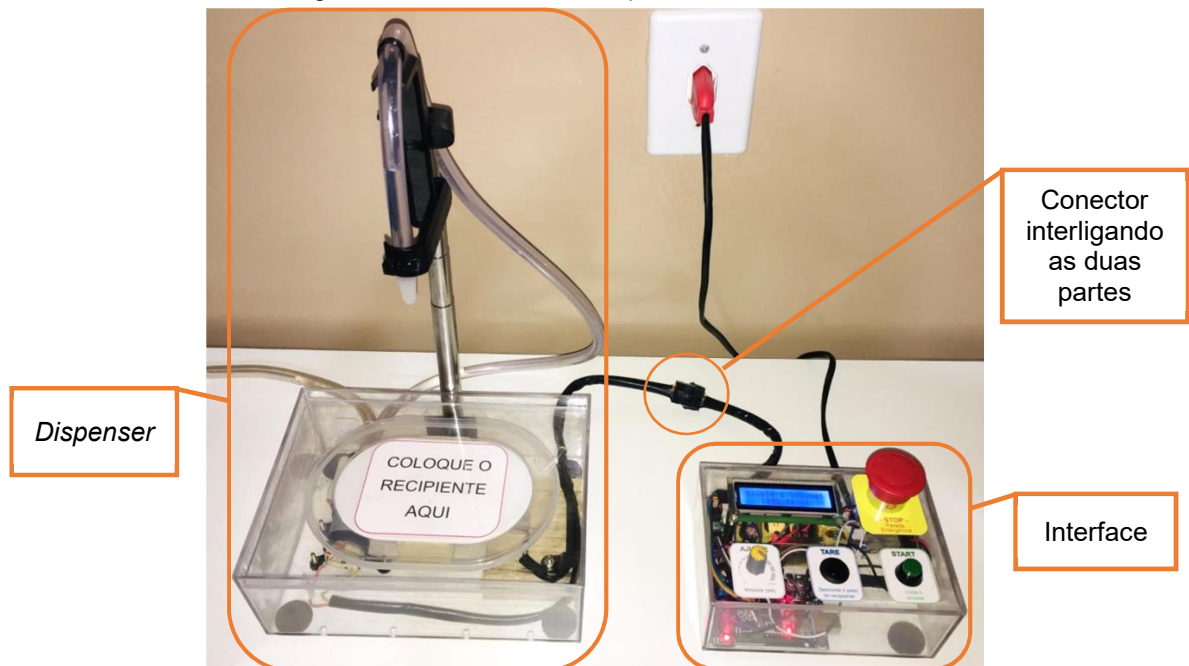
Pelo fato do equipamento trabalhar com líquidos, os riscos de molhar e danificar a parte eletrônica é muito grande. Desta forma, optou-se por dividir a envasadora em 2 partes, sendo estas, a interface e o *dispenser*. Estes foram interligados por meio de um conector disposto em um cabo na parte traseira, possibilitando operá-los em uma distância aproximada de 30 cm, o que diminui o risco de acidente com derramamento e respingos de líquidos.

Na parte da interface foram reunidos todos os componentes eletrônicos possíveis, a fim de protegê-los contra líquidos.

Na parte do *dispenser*, encontra-se a célula de carga, bomba d'água com mangueiras e a haste com altura regulável.

A Figura 20 apresenta como ficou a estrutura final do protótipo.

Figura 20. Envasadora de líquidos semiautomática.

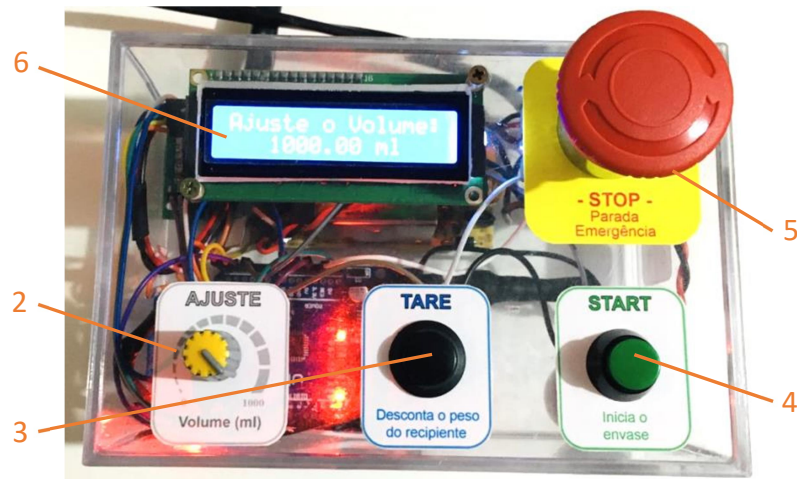


Fonte: Autor.

4.1.1 Interface

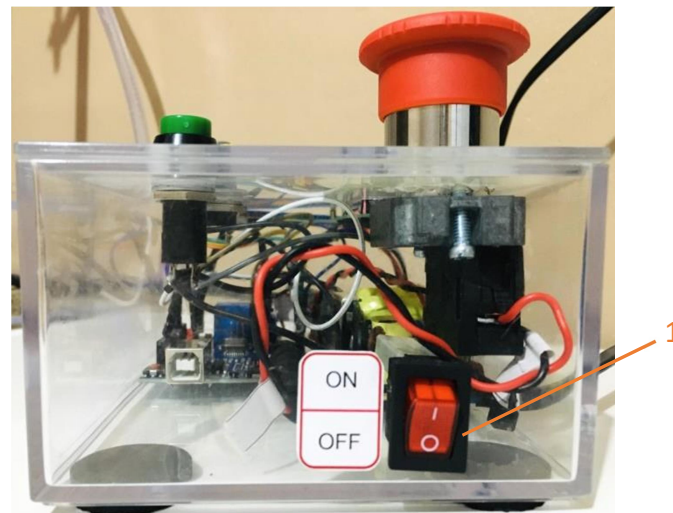
Na área da interface, estão dispostas as funções desempenhadas pelo equipamento, conforme relacionadas nas Figuras 21 e 22.

Figura 21. Funções da envasadora de Líquidos.



Fonte: Autor.

Figura 22. Interruptor de alimentação do sistema.



Fonte: Autor.

Descrição dos itens e funções:

- 1 - Chave ON/OFF:** Liga e desliga o equipamento. Localizado na lateral.
- 2 - Ajuste:** Seleciona a quantidade do volume que deseja envasar.
- 3 - Tare:** Este botão desconta o peso do recipiente, possibilitando utilizar recipientes de diferentes modelos.
- 4 - Start:** Este botão inicia o processo de envase. Deve ser utilizado sempre após o botão de Tare.
- 5 - Stop:** Este é um botão de emergência para utilização em possíveis erros de operação. Quando acionado, interrompe o funcionamento do sistema.
- 6 - Display LCD:** Mostra as informações ao operador.

4.1.2 Dispenser

Na área do *dispenser*, encontra-se a célula de carga, bomba d'água com mangueiras e a haste com opção de regulagem de altura. A funcionalidade destes itens estão enumeradas nas Figuras 23, 24 e 25.

Figura 23. Haste ajustável.



Fonte: Autor.

Figura 24. Parte frontal do *dispenser*.



Fonte: Autor.

Figura 25. Parte traseira do *dispenser*.



Fonte: Autor.

Descrição dos itens:

7 - Haste ajustável: Possibilita ajustar conforme a altura do recipiente.

8 - Bico: Saída do líquido. Evita gotas.

9 - Célula de carga: Sensor de peso. Funcionamento semelhante ao da balança.

10 - Bomba d'água 12V: Quando acionada executa o envase do líquido.

11 - Entrada e saída das mangueiras: Organiza o fluxo de mangueira.

4.2 FUNCIONAMENTO

Tendo em mãos o recipiente, faça a regulagem da altura da haste. Em seguida coloque o recipiente sobre a área indicada no *dispenser*.

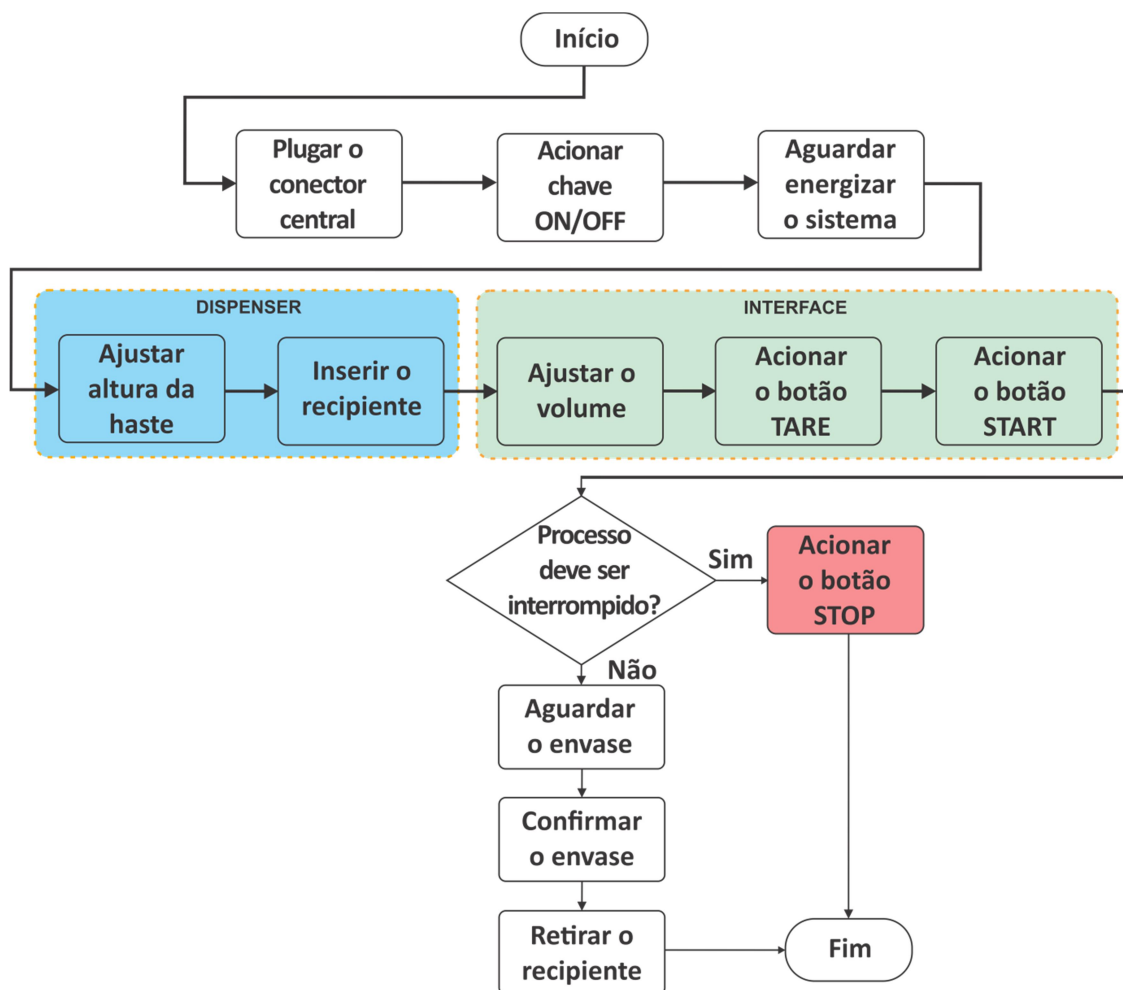
Utilizando o potenciômetro, deve ser feito o ajuste da quantidade do volume a ser envasado. Retira-se o peso do recipiente por meio do botão *TARE*.

Quando acionado o botão *START*, o relé é ativado acionando a bomba d'água, permitindo que o líquido flua em direção ao recipiente que está sobre o sensor de peso, o qual mede o peso exato que o produto deve ter, onde uma vez medida, a balança envia um sinal para o microcontrolador que desativa o relé.

Em caso de emergência, o processo deve ser interrompido por meio do botão *STOP*.

O fluxograma da Figura 26 simplifica o funcionamento, onde mostra a sequência a ser executada pelo operador.

Figura 26. Fluxograma do funcionamento da envasadora.



Fonte: Autor.

4.3 TESTES DE PRECISÃO

Para os testes de precisão do protótipo, foram realizados 30 envases com produto de limpeza desinfetante, para os volumes 250, 500, 750 e 1000 ml, os quais serão os mais utilizados no setor de produtos de limpeza. Os volumes foram obtidos com auxílio de um copo de medição, proveta e seringa.

Utilizou-se como referência as tolerâncias suficientes para o processo de envase de líquidos, conforme a Portaria do INMETRO nº 248/2008, relacionadas no item 2.3, Tabela 1.

Assim obteve-se os resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados do teste de precisão.

Conteúdo nominal	Tolerância	Mínimo de conteúdo aceitável	Resultado dos envases
Qn (ml)	T (ml)	Qn – T (ml)	Maior erro registrado (ml)
250	9	≥ 241	246
500	15	≥ 485	494
750	15	≥ 735	747
1000	15	≥ 985	997

Fonte: Autor.

Conforme mostra a Tabela 2, para o conteúdo nominal de 250 ml, a tolerância admissível é de 9 ml, desta forma seu conteúdo mínimo deve ser ≥ 241 ml. Para este, o maior erro encontrado entre as 30 amostras foram aproximadamente 246 ml.

Os conteúdos nominais 500, 750 e 1000 ml, possuem tolerância de até 15 ml. Para 500 ml o maior erro foi de aproximadamente 494 ml, onde seu conteúdo mínimo deve ser ≥ 485 ml. Para 750 ml o maior erro registrado foi 747 ml, sendo aceitável o conteúdo mínimo ≥ 735 ml e no conteúdo nominal de 1000 ml o maior erro foi aproximadamente 997 ml, possui conteúdo mínimo aceitável de 985 ml.

Desta forma, conclui-se que os resultados atendem as tolerâncias suficientes para o processo de envase de líquidos do INMETRO. Nenhum dos erros encontrados apresentou resultados que pudessem comprometer o uso da envasadora. Para um projeto em fase inicial, os resultados foram bastante satisfatórios. Nesse caso não foram necessários ajustes. Porém vale lembrar que em casos em que a tolerância esteja fora dos padrões, é possível realizar ajustes diretamente no código da programação até que se obtenha os valores ideais.

4.4 PROCESSO MANUAL *VERSUS* SEMIAUTOMÁTICO

Para saber aproximadamente o tempo gasto durante o envase do produto pelo procedimento manual e utilizando a envasadora, foram realizados simulados de 50 envases em garrafas de 1 litro, para ambos os processos, onde tiveram seus tempos cronometrados.

No envase manual foi registrado tempo gasto de aproximadamente 53 minutos (52min50s). Ocorreram grandes perdas do produto. Nesse tipo de procedimento, há necessidade de um trabalho manual de mais de um operador, pois além de encher, ainda é necessário colocar as tampas das garrafas.

Para o envase utilizando o equipamento, o tempo gasto foi de aproximadamente 23 minutos. Pouca perda de produto e entregou agilidade no processo. O operador tem tempo de colocar a tampa, pois enquanto ocorre um novo envase o mesmo fica com as mãos livres.

Quando comparamos o tempo gasto entre os dois procedimentos, com o uso da envasadora se obteve uma economia de tempo aproximadamente de 30 minutos, tempo bastante significativo para um processo de produção.

4.5 COMPONENTES UTILIZADOS E ORÇAMENTO DO PROJETO

Na Tabela 3 são exibidos os valores correspondentes a cada componente, bem como o valor total utilizado para a elaboração do projeto.

Tabela 3. Valores estimados na compra dos componentes.

QTD	Componente	Valor
01	Arduino UNO R3 SMD	R\$45,00
01	Display 16x2 + módulo adaptador I2C	R\$32,00
01	Fonte de alimentação 12V/2,5A	R\$10,00
01	Célula de Carga 10 Kg (Strainght Bar TAL220)	R\$44,50
01	Conversor analógico/digital HX711	
01	Módulo Relé 5V	R\$12,00
01	Bomba d'agua 12V (RS-385)	R\$36,00
01	Potênciometro 10K Ω + Knob	R\$3,50
03	Capacitores cerâmicos 100nF (50v/5%)	R\$1,50
02	Interruptor (push button) x 2	R\$7,00
01	Botão de parada de emergência	R\$32,00
02	Caixas de acrílico	R\$55,80
01	Bastão regulável metálico	R\$5,00
15	Jumpers	R\$10,00
10	Parafusos e porcas	R\$4,50
01	Mangueira 4 metros	R\$8,00
01	Plug macho - energia	R\$3,00
	TOTAL:	R\$309,80

Fonte: Autor.

4.6 AVALIAÇÃO COMPARATIVA

A seguir apresenta-se envasadoras com funcionalidades semelhantes ao protótipo desenvolvido, a fim de que seja feita uma breve análise de preços.

Dentre os produtos pesquisados, foram escolhidas 3 (três) máquinas envasadoras, as quais são apresentadas com seus respectivos preços comerciais.

O primeiro e segundo modelo de envasadoras, Figuras 27 e 28, são fabricados pela empresa Tudo Em Máquinas. Ambas possuem estruturas em material acrílico e alumínio, e oferecem capacidade de envase de até 1Kg.

Modelo 1: Platinun

Figura 27. Envasadora de Líquidos Platinun - até 1Kg.



Fonte: Tudo Em Máquinas, 2021.

DESCRIÇÃO

- **Preço:** R\$4.200,00
- **Fabricante:** Tudo em Máquinas
- **Capacidade:** 1 a 1000 g
- **Tensão:** Bivolt

Modelo 2: Platinun MV

Figura 28. Envasadora de Líquidos Platinun MV - até 1Kg.



Fonte: Tudo Em Máquinas, 2021.

DESCRIÇÃO

- **Preço:** R\$3.950,00
- **Fabricante:** Tudo em Máquinas
- **Capacidade:** 1 a 1000 g
- **Tensão:** Bivolt

O terceiro modelo, Figura 29, é fabricado pela empresa Intelimaq. Diferente das anteriores, esta possui estrutura em material inox. Oferece envase de até 200 gramas, capacidade bem inferior que as envasadoras apresentadas anteriormente.

Modelo 3: IQ40

Figura 29. Envasadora de Líquidos Iq40 inox - até 200g.



Fonte: Intelimaq, 2021.

DESCRIÇÃO

- **Preço:** R\$6.200,00
- **Fabricante:** INTELIMAQ
- **Capacidade:** 1 a 200 g
- **Tensão:** Bivolt

Análise conclusiva:

Analisando os preços das 3 envasadoras referências, conclui-se que o valor total gasto no protótipo está muito abaixo, portanto, valida e afirma que é possível desenvolver uma envasadora de líquidos de baixo custo. Percebesse ainda que o protótipo deixa uma boa margem financeira, possibilitando realizar mais investimentos em melhorias.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um protótipo de uma envasadora de líquidos semiautomática com preço inferior às presentes no mercado. Para isso utilizou-se componentes com custos entre R\$ 1,50 a R\$ 55,80.

Foram realizados testes de precisão do equipamento desenvolvido, onde os resultados atenderam adequadamente as tolerâncias suficientes para o processo de envase de líquidos, conforme a Portaria do INMETRO nº 248/2008. Apresentou redução do esforço humano e maior produtividade em menor tempo durante o processo de envase.

Diante dos resultados e custos apresentados, o protótipo mostrou ser uma ótima opção, atingiu os objetivos propostos e respondeu a questão central deste estudo concluindo que é possível desenvolver uma envasadora de líquidos semiautomática de baixo custo, possibilitando ajudar o microempreendedor a aumentar sua produtividade sem esforço manual, no envase de garrafas com produtos líquidos de limpeza.

O protótipo apresentado mostrou-se ser uma ótima alternativa, devendo este ser estudado e melhorado. Como trabalhos futuros, é sugerido realizar um planejamento para mudança da estrutura do protótipo, com objetivo de implementar uma esteira, para que a troca de recipientes ocorra de forma automática. Sugere-se ainda, acrescentar tecnologias para comunicação a distância, visando controle e obtenção de dados do funcionamento do equipamento.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, D. C., Conforto, E. C., Benassi, J. L. G., & Araujo, C. (2011). **Gerenciamento ágil de projetos: aplicação em produtos inovadores**. São Paulo: Saraiva.
- AMÉRICO, I.; AZEVEDO, M. J. G.; SOUZA, A. de. **Trabalho automação na metalurgia manual X automatização**. 2011.
- ARDUINO. **O que é Arduino?**. Disponível em: <www.arduino.cc/>. Acessado em 23 de fevereiro de 2021.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL - BCB., **Características técnicas da segunda família das moedas brasileiras**. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/dinheirobrasileiro/segunda-familia-moedas.html>>. Acessado em 15 de março de 2021.
- BEDE, A., **Sobrevivência das empresas no Brasil**. Brasília: SEBRAE, 2016.
- CALCULO CERTO. **Gramas para mL: Como Converter e Tabela de Conversão**. Disponível em: <<https://calculocerto.com/gramas-para-ml-como-converter-e-tabela-de-conversao/>>. Acessado em 08 de fevereiro de 2021.
- CARER, M.; CARRARO, E., **Célula de carga**. 2010. Disponível em: <<http://hermes.ucs.br/ccet/demc/vjbrusam/inst/cel61.pdf>>. Acesso em 3 jun. 2020.
- DREYER NETO, C. et al., **Desenvolvimento de uma plataforma de força em pedal de ciclismo**. Revista Brasileira de Biomecânica, v. 2, n. 3, p. 39-44, 2001.
- EDILSON CRAVO; KALATEC., **Automação industrial para pequenas empresas**. Disponível em: <<https://blog.kalatec.com.br>>. Acessado em 23 de março de 2021.
- ENCARDIO. **Strain Gauge: Principle, Types, Features and Applications**. Disponível em: <<https://encardio.medium.com/>>. Acessado em 03 de abril de 2021.
- FALLEIRO, F. D., **Conversor Analógico-digital com capacitores mínimos integrado na tecnologia CMOS**. 2015. p.75. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Eletrônica e de Computação). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013087.pdf>>. Acessado em 22 de fevereiro de 2021.
- FESTUGATO, L., **Estudo de viabilidade para automatizar linha produtiva em uma indústria de máquinas e equipamentos para construção civil no município de Chapecó – SC**. Chapecó, 2016. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia de Produção, UCEFF.
- FRITZING. **Plataforma de design de hardware eletrônico**. Disponível em: <<https://fritzing.org/>>. Acessado em 05 de abril de 2021.

GOLDBARG, Marco Cesar; LUNA, Henrique Pacca Loureiro. **Otimização combinatória e programação linear**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Campus, 2005.

GRANDO, F. L. **Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados em ambiente labview para aquecedores solares**. 74 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento Acadêmico de Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco. 2013.

HALLIDAY, DAVID, RESNICK, ROBERT KRANE, KENNETH S. **Física**. Vol. 3 (5a. ed.). [s.l.]: Grupo Gen - LTC, 2000.

HENAC. **Maquina envasadora líquidos**. Disponível em: <<https://www.henac.com.br/maquina-ensadora-liquidos>>. Acessado em 30 de março de 2021.

INMETRO. **Portaria nº 248/2008**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001339.pdf>>. Acessado em 15 de março de 2021.

INMETRO. **Orientações gerais sobre os requisitos da ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/credenciamento/eventos-cgcre/13-14-15Workshop/00-DOQ-CGCRE-087_rev_00_-_Orientacoes_gerais_sobre_os_requisitos_da_ABNT_NBR_ISO_IEC_17025_2017.pdf>. Acessado em 15 de maio de 2021.

INTELIMAQ. **Envasadora de Líquidos IQ40 Inox**. Disponível em: <<https://intelimaq.com.br>>. Acessado em 12 de janeiro de 2021.

KOTZ, J. C.; TREICHEL, P.M; TOWNSEND, R.J; TREICHEL, A.D., **Química Geral e reações químicas**, v.1, 9ª ed., 2015.

LENCASTRE, A., **Hidráulica Geral**. Ed. FCT, Lisboa, 2005.

LIMA, C.; VILLAÇA, M., **AVR E ARDUINO: TÉCNICAS DE PROJETO**. 2. ed. Florianópolis: Ed. dos Autores, 2012.

LIMA, T., **Ponte de Wheatstone**. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/ponte-de-wheatstone/>>. Acessado em 12 de abril de 2021.

MARTINS, G. M., **Princípios de automação industrial**. Santa Maria: UFSM, 2012.

MELO, J. L. G. G; BARANIUK, J., **Mini Curso: Arduino**. Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p. 20, 2012.

NÁPOLE, M. L. D., **Desenvolvimento de Metodologia para Aquisição de Equipamentos para Sistema de Embalagens na Indústria Cosmética**. São Caetano do Sul, 2009.

ORGANISATION INTERNATIONALE DE MÉTROLOGIE LÉGALE. **Recomendação OIML R087**. Disponível em: <https://www.oiml.org/en/files/pdf_r/r087-e16.pdf>. Acessado em 15 de março de 2021.

PAIM, Rafael. et al., **Gestão de Processos: pensar, agir, aprender**. p. 26. Porto Alegre: Bookman, 2009.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C., **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

REGISTRON. **Envasadoras Manuais**. Disponível em: <<https://www.registron.com.br/envasadora/envasadora-manual/envasadora-manual-para-liquido-e-pastoso-rg-a03>>. Acessado em 20 de março de 2021.

RIBEIRO, I. S. et al., **Plataforma arduino: princípios de funcionamento e demonstração prática com um controlador de ventiladores**. ConBRepro. Ponta Grossa, Paraná, 2017.

ROIG, M., **7 benefícios da automação de processos**. 2017. Disponível em: <<https://administradores.com.br/noticias/7-beneficios-da-automacao-de-processos>>. Acessado em 20 de março de 2021.

SALES, K., **Manual TCC IFAM**. Manaus: IFAM, 2018.

SANTOS, A.; OLIVEIRA, B.; JUNKES, V.; PEDROSO, M.; GOMES, I., **Automação Industrial Em Pequenas, Médias E Grandes Empresas: Um Estudo Teórico**. Santa Catarina: ENEGEP, 2017.

SILVA, R. A., **Programando Microcontroladores PIC: Linguagem “C”**. São Paulo. Ensino Profissional, 2006.

SULPRINT. **Processo de envase**. Disponível em: <<https://blog.sulprint.com.br/>>. Acessado em 19 de março de 2021.

TAVARES, L. A., **Qualidade no atendimento ao cliente**. Rio de Janeiro: AVM, 2016.

TECFAG. **Envasadoras industriais**. Disponível em: <<https://www.tecfag.com.br/envasadora>>. Acessado em 23 de fevereiro de 2021.

TUDO EM MÁQUINAS. **Envasadoras de Líquidos**. Disponível em: <<https://www.tudoemmaquinas.com.br>>. Acessado em 12 de janeiro de 2021.

USINAINFO. **Módulo Conversor Amplificador HX711 24bit**. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/>>. Acessado em 03 de abril de 2021.

VASCONCELLOS, Marcos A. S.; GARCIA, M. E., **Fundamentos de Economia**. 5ª edição. São Paulo: Saraiva, 2012.

VIDAL, Vitor. **Balança digital com Arduino e célula Strain Gauge**. 2017. Disponível em: <<https://blog.eletragate.com/balanca-digital-com-arduino-aprenda-a-usar-a-celula-de-carga/>>. Acessado em 08 de fevereiro de 2021.

VIEIRA, M. A. R., **Sensor Inteligente para Medição de Cargas Mecânicas**. Relatório Final da Dissertação de Mestrado (Engenharia Ambiental). Instituto Politécnico de Bragança. p.89, 2016. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/13185/1/Dissertação.pdf>>. Acessado em 22 de fevereiro de 2021.

VIEIRA, M. O.; ZARPELLON, S. L., **Desenvolvimento, construção e calibração de uma célula de carga extensométrica, utilizando o Método de Elementos Finitos**. Campinas, São José, 2016.

ZANETIC, S. T. ; SCHÖN, C. G., **Utilização de strain gage no desenvolvimento de célula de carga binocular para medição de cargas sob flexão com verificação experimental de sua capacidade**. Natal: 22º CBECiMat, 2016.

APÊNDICE A - Código de calibração da célula de carga.

```
#include "HX711.h"
#define DT 5
#define SCK 6

HX711 scale;

float calibration_factor = 225230.00;

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    scale.begin(DT, SCK);

    Serial.println("HX711 - Calibração da Balança");
    Serial.println("INSTRUÇÕES:");
    Serial.println("ATENÇÃO: Assim que as leituras começarem,
coloque o peso conhecido na Balança");
    Serial.println("Pressione a,s,d,f para aumentar Fator de
Calibração por 10,100,1000,10000 respectivamente");
    Serial.println("Pressione z,x,c,v para diminuir Fator de
Calibração por 10,100,1000,10000 respectivamente");
    Serial.println("Após pressionar a letra, clique ENTER");
    Serial.println("-->Faça o processo até que o peso conhecido
seja mostrado");
    Serial.println();

    scale.read_average(10);
    scale.tare();
}

void loop()
{
    scale.set_scale(calibration_factor);
    Serial.print("Peso: ");
    Serial.print(scale.get_units(), 3);
    Serial.print(" kg");
    Serial.print("      Fator de Calibração: ");
    Serial.println(calibration_factor);
    delay(500) ;

    if (Serial.available())
    {
        char temp = Serial.read();
        if (temp == '+' || temp == 'a')
            calibration_factor += 10;
        else if (temp == '-' || temp == 'z')
            calibration_factor -= 10;
        else if (temp == 's')
```

```
        calibration_factor += 100;
    else if (temp == 'x')
        calibration_factor -= 100;
    else if (temp == 'd')
        calibration_factor += 1000;
    else if (temp == 'c')
        calibration_factor -= 1000;
    else if (temp == 'f')
        calibration_factor += 10000;
    else if (temp == 'v')
        calibration_factor -= 10000;
    }
}
```

APÊNDICE B - Instruções para calibração da célula de carga.

Para realizar o processo de calibração, é necessário ter um peso conhecido como base (pode ser qualquer objeto com peso conhecido), pois o código foi desenvolvido para que, durante as leituras de peso do circuito, o fator de calibração possa ser alterado de modo a obter um ajuste fino sobre um peso já conhecido.

Neste procedimento, os componentes utilizados são: o Arduino Uno, módulo HX711 e a célula de carga.

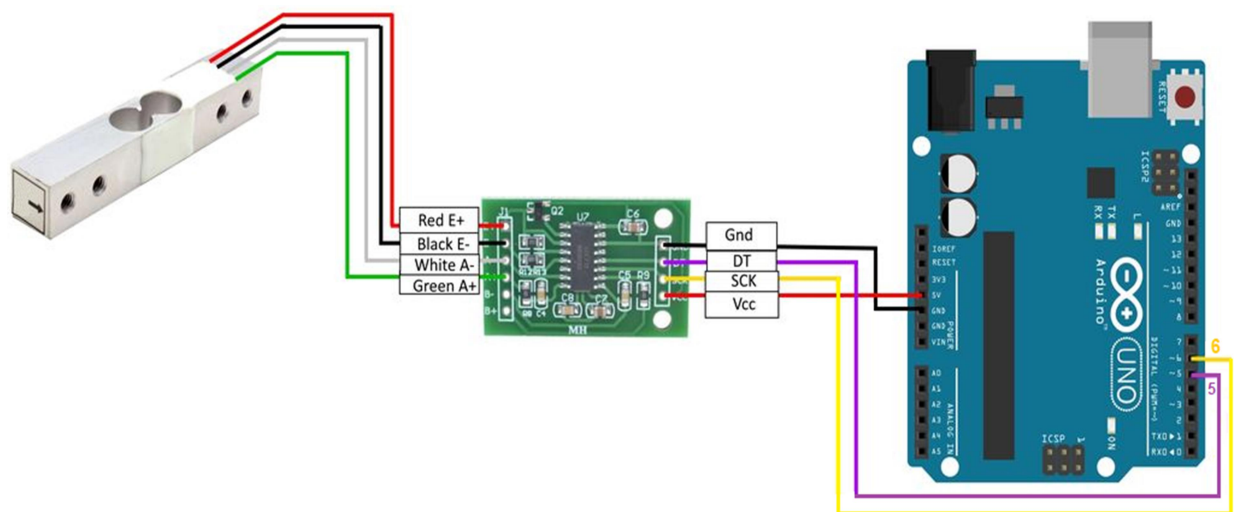
- Esquema de ligação: célula de carga para o módulo HX711.

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

- Esquema de ligação: módulo HX711 para o Arduino.

Módulo HX711		Arduino
Pino GND	->	Pino GND
Pino DT	->	Pino 5
Pino SCK	->	Pino 6
Pino VCC	->	Pino 5V

A imagem ilustra como fica o esquema de ligação completo entre os itens:



A partir daí, deve-se **carregar o código do APÊNDICE A** e iniciarmos a verificação.

Procedimento para calibração:

1. Após copilar o código, **abra o monitor serial do IDE**, coloque o peso conhecido sobre a célula de carga;
2. Pressione as teclas **a,s,d,f** para aumentar o Fator de Calibração por 10,100,1000,10000 respectivamente; ou
3. Pressione as teclas **z,x,c,v** para diminuir Fator de Calibração por 10,100,1000,10000 respectivamente;
4. Pressione **ENTER** após digitar a letra (tanto para aumenta, quanto para diminuir o fator).

Observações:

- O processo deve ser repetido até que o peso mostrado na tela do serial monitor corresponda ao peso conhecido.
- Cada célula de carga possui um fator de calibração diferente, por isso indica-se sempre realizar o procedimento de calibração.

APÊNDICE C - Código da envasadora de líquidos semiautomática.

```

#include <Wire.h>
#include <LCD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include "HX711.h"

HX711 escala;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);

#define button A2
#define inRele 4
#define DT 5
#define SCK 6
double VolumeBalanca;
float ajusteLCD;

void setup() {
    pinMode(button, INPUT_PULLUP);
    pinMode(inRele, OUTPUT);
    digitalWrite(inRele, HIGH);
    Serial.begin(9600);
    escala.begin(DT, SCK);

    lcd.begin(16, 2);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Ajuste o Volume:");

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("          ml");
    escala.set_scale(225230.00);
    escala.tare();
}

void encher() {
    while (VolumeBalanca < ajusteLCD) {
        digitalWrite(inRele, LOW);
        VolumeBalanca = 1000.0 * escala.get_units(1);
        Serial.println(VolumeBalanca);
    }
    lcd.clear();
    digitalWrite(inRele, HIGH);
    lcd.print("Ajuste o Volume:");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("          ml");
}

void loop() {
    VolumeBalanca = 1000.0 * escala.get_units(1);
    ajusteLCD = 1000.0 * analogRead(A3) / 1023.0;
}

```

```
lcd.setCursor(3, 1);  
lcd.print(ajusteLCD);  
lcd.print(" ");  
delay(200);  
if (digitalRead(button) == LOW) {  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(2, 0);  
    lcd.print("Carregando...");  
    lcd.setCursor(4, 1);  
    lcd.print("Aguarde");  
    encher();  
}  
}
```

APÊNDICE D - Diagrama elétrico da envasadora de líquidos.

