

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

DSE – Departamento de Sistemas Eletrônicos

**Desenvolvimento de um kit didático de lançamento
oblíquo para uso em Física Experimental**

Jailton Gonçalves da Silva

São Paulo – SP

2021

Desenvolvimento de um kit didático de lançamento oblíquo para uso em Física Experimental

Trabalho apresentado à Faculdade de
Tecnologia de São Paulo para a obtenção do
título de Tecnólogo em Eletrônica Industrial.

Área de concentração: Eletrônica

Orientador: Roberto Katsuhiko Yamamoto

São Paulo – SP

2021

À minha família e esposa Tamiris, que fez o mundo ficar mais bonito com a sua chegada em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Roberto Katsuhiko Yamamoto pela orientação, por ter acreditado nesse trabalho desde o início quando tudo ainda estava muito distante.

Ao grande amigo Me. José Roberto Cândido da Silva.

Ao Sr. José que possibilitou os primeiros testes com eletroímã em sua oficina.

RESUMO

O kit didático de lançamento oblíquo (L3D) é um dispositivo que pretende auxiliar o entendimento prático dos alunos do curso de Física experimental, possibilitando através de experimentos de lançamentos que podem ser configurados previamente no kit, como ângulo de lançamento no plano XY e intensidade da força de lançamento. Dando ênfase ao método comparativo entre previsões teóricas de lançamento previstos em aulas na disciplina de Física e resultados práticos observados por câmera programada para a captação do movimento de uma bolinha de tênis de mesa que é lançada com auxílio de um canhão lançador. O nome L3D foi escolhido com o intuito de fazer referência aos 3 dispositivos eletromecânicos constituintes nesse projeto que são: Motor de passo, motor 12VDC e eletroímã. O kit didático se propõe controlar esses dispositivos via microcomputador, para poder coletar dados experimentais de lançamento oblíquo, para só então comparar as amostras de deslocamento da esfera de ABS lançada em frente de um anteparo negro construído para evitar possíveis ruídos de cores ao fundo da gravação das imagens, comumente denominadas de frames do vídeo. O método utilizado para a realização das medidas é a visão computacional simuladas com auxílio do software MATLAB® 2020 versão estudante, e ainda o método comparativo deste trabalho faz uso da Estatística descritiva para comparar as distribuições dos pontos das amostras, para só então finalizar o experimento. Assim possibilitando ao aluno usuário do kit didático uma análise sobre as diferenças entre teoria e prática de maneira quantitativa para ao fim perceber que ambas as áreas Físicas se complementam, no método científico, onde as análises são baseadas em dados, não em opinião.

Palavras-chave: Lançamento oblíquo, Física mecânica experimental.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Esquema das etapas da visão computacional.
- Figura 2 Cronologia das Revoluções Industriais.
- Figura 3 Raspberry pi 3 Modelo B+.
- Figura 4 Step Motor 28BYJ-48 e driver ULN2003.
- Figura 5 Motor 12VDC.
- Figura 6 Eletroímã.
- Figura 7 Fluxograma de Desenvolvimento Geral do L3D.
- Figura 8 Borda Aproximada de binarização.
- Figura 9 Fluxo da visão computacional.
- Figura 10 Tela de compilação do programa no MATLAB®.
- Figura 11 Tela única de impressão gráfica.
- Figura 12 Diagrama de blocos do controle linear em Motorreductor 12VDC
- Figura 13 Fluxograma do Controle Operacional
- Figura 14 Tela de compilação do Thonny Python.
- Figura 15 GUI (Guia de Interação com o Usuário) do L3D.
- Figura 16 Diagrama elétrico do L3D.
- Figura 17 Medidas do Motor de Passo.
- Figura 18 Elementos de Máquina do Lançador;
- Figura 19 Projeção Ortogonal do Anteparo negro.
- Figura 20 Foto do L3D na etapa de testes.
- Figura 21 Foto do lançador após a etapa de acabamento.
- Figura 22 Trajetória do lançamento à $45^{\circ} \pm 5\%$ e 60% de intensidade.
- Figura 23 Trajetória do lançamento à $45^{\circ} \pm 5\%$ e 60% de intensidade.
- Figura 24 Trajetória do lançamento à $45^{\circ} \pm 5\%$ e 60% de intensidade.
- Figura 25 Trajetória do lançamento à $45^{\circ} \pm 5\%$ e 60% de intensidade.
- Figura 26 Trajetória do lançamento à $45^{\circ} \pm 5\%$ e 60% de intensidade.

LISTA DE SÍMBOLOS

- X_t - Valor teórico do deslocamento sobre o eixo x.
- X_{t0} - Valor teórico do deslocamento sobre o eixo x no instante inicial.
- X - Valor teórico do deslocamento sobre o eixo x no instante qualquer.
- Y_t - Valor teórico do deslocamento sobre o eixo y.
- Y_{t0} - Valor teórico do deslocamento sobre o eixo y no instante inicial.
- Y - Valor teórico do deslocamento sobre o eixo y no instante qualquer.
- V_{t0x} - Velocidade inicial sobre o eixo x.
- V_{mim} - Tensão Mínima do sinal de entrada do motor de passo.
- g - Aceleração da gravidade no local da experimentação.
- $E(\Theta)$ - Entrada do ângulo digitado pelo operador.
- G_r - Atenuação do código do raspberry pi 3 inferido empiricamente.
- G_s - Ganho referente ao motor 12VDC tendo o rendimento desprezado.
- $S(\theta)$ - Ângulo de saída das hélices do motor.
- m - Massa deformadora do tubo de látex.
- e - Estiramento do tubo de látex.
- $E\%$ - Erro percentual dos valores teóricos e experimentais.
- V_t - Valor teórico da amostra.
- V_e - Valor experimental da amostra.
- F_a - Força de Arrasto.
- C_a - Coeficiente aerodinâmico.
- ρ - Viscosidade do meio material.
- A - Área característica (secção) do objeto lançado.
- V - Velocidade do objeto lançado.
- $h_{máx.}$ - Altura máxima.
- \vec{v}_0 - Velocidade inicial do lançamento oblíquo.
- $A_{máx}$ - Alcance máximo.
- η - Rendimento do lançador

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	Visão Computacional	14
	Figura 1. Esquema das etapas da visão computacional.....	14
2.2	Indústria 4.0	15
	Figura 2. Cronologia das Revoluções Industriais.....	16
3	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	17
3.1	Microcontrolador Raspberry pi Modelo B+	17
	Figura 3- Raspberry pi 3 Modelo B+	17
3.2	Motor de passo	18
	Figura 4. Step Motor 28BYJ-48 e driver ULN2003.	19
3.3	Motor 12VDC	19
	Figura 5. Motor 12VDC	19
3.4	Eletroímã.....	20
	Figura 6. Eletroímã.	20
4	DESENVOLVIMENTO DO L3D	21
4.1	Sistema Eletrônico	24
4.1.1	Software	24
	Figura 8. Borda Aproximada de binarização.....	25
	Figura 9. Fluxograma da visão computacional.	27
	Figura 10. Tela de compilação do programa no MATLAB®.	28
	Figura 11. Tela de impressão gráfica.	29
	Figura 12. Diagrama de blocos do controle linear em Motorreductor 12VDC.....	30

Figura 14 Tela de compilação do Thonny Python.....	34
Figura 15 GUI (Guia de Interação com o Usuário) do L3D.....	34
4.1.2 Hardware	35
Figura 17 Medidas do Motor de Passo.	37
4.2 Sistemas Mecânicos	37
Figura 19- Projeção Ortogonal do Anteparo negro	39
Figura 20- Foto do L3D na etapa de testes.	39
4.2.1 Propulsão da casca esférica	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
6 CONCLUSÃO.....	52

1 INTRODUÇÃO

O L3D foi pensado para integrar várias tecnologias articuladas para trabalhar em conjunto com o objetivo de desenvolver um sistema de automação completo e integrado com a tecnologia de IOT da indústria 4.0, uma vez que essas técnicas vêm ganhando cada vez mais espaço na indústria contemporânea e certamente em pouco tempo farão parte do dia a dia do cidadão comum [1].

Hoje a indústria moderna cada vez mais está investindo em tecnologias de IOT, pois é conveniente para o empresário ter acesso às informações em tempo real de parâmetros observáveis por sensores como produção dos funcionários, para melhor eficiência do planejamento e controle de produção (PCP), temperatura de máquinas, para melhorar a eficiência da manutenção tanto corretiva como preventivas e preditivas, movimentos indesejados captados por sistemas de segurança para acionamentos quase que imediato de profissionais competentes, e etc.

No L3D a tecnologia IOT está presente na comunicação via rede Wi-fi para comunicar com o microcontrolador Raspberry pi 3 modelo B+ ao PC que também deve estar conectado a mesma rede Wi-fi para haver comunicação entre o software que opera o L3D e o ao equipamento do projeto, como canhão lançador e câmera sensora.

A visão computacional também vem crescendo muito nos últimos anos: reconhecimento facial em grandes centros urbanos, detecção de movimentação suspeita na área de segurança pública e na indústria, a área de controle de qualidade ganha muito mais força aliada a visão computacional uma vez que o olho humano é falho e trabalhos repetitivos prejudicam a saúde do funcionário com o tempo [1], acarretando muitas vezes doenças geradas por movimentos laborais.

Com isso, o L3D foi projetado a fim de facilitar a experiência dos alunos da Faculdade de Tecnologia de São Paulo, na disciplina de Física Experimental, na visualização do lançamento oblíquo. A visão computacional empregada no L3D é programada em linguagem C, através do método de segmentação por binarização de imagens [2], para a detecção do projétil lançado, que no caso do L3D é uma bolinha de tênis e mesa, escolhida por ser leve ao ponto de conseguir ser lançada e resistente para resistir a diversos lançamentos. A segmentação empregada nos vídeos gerados pela câmera frontal do L3D é aplicada a cada frame do vídeo e a partir dessas etapas

o sistema calcula as variáveis da trajetória a cada ponto, tal como a comparação entre teoria e prática através das técnicas da área da física denominada cinemática que estuda o movimento do lançamento oblíquo teórico sem se importar com as causas.

A grande vantagem de aplicar o método comparativo no L3D é que ao aplicar o estudo estatístico de distribuições e análise de erros experimentais em relação às previsões cinemáticas, é possível verificar a influência das causas que a cinemática teórica tende a ignorar como os aspectos aerodinâmicos do movimento como efeito Magnus, entre outros. E assim é possível apresentar aos alunos do curso de Física essa discrepância entre os valores, para só assim possibilitar aos alunos uma visão ainda mais completa do fenômeno físico do lançamento oblíquo.

Organização do trabalho

Este trabalho está dividido em capítulos cujos conteúdos estão dispostos da seguinte forma:

- Capítulo 2 História das revoluções industriais é realizada, para assim descrever os conceitos da indústria 4.0 e os conceitos desta aplicados neste trabalho.
- Capítulo 3 São descritos os materiais e equipamentos utilizados neste trabalho citando os materiais mais relevantes que são os 3 dispositivos eletromecânicos e o microcontrolador, mostrando as principais finalidades.
- Capítulo 4 É apresentado o desenvolvimento do projeto subdividindo o projeto em duas grandes categorias chamadas de sistemas Sistema Mecânico e Sistema Eletrônico, cada um com suas subdivisões respectivamente (Mecânica aplicada, Experimento de Física) e (Software e Hardware).
- Capítulo 5 É mostrado as limitações do trabalho e os resultados generalizados dando ênfase à relevância do projeto. Ainda a lógica empregada na didática pedagógica é mencionada, abordando a integração entre disciplinas diferentes.

1.1 JUSTIFICATIVA

O trabalho do L3D foi pensado de maneira a modernizar os experimentos de Física da Fatec-SP de lançamento oblíquo e assim melhorar o entendimento deste tema muitas vezes de difícil abstração por parte dos alunos, uma vez que imaginar as composições vetoriais causadas neste tipo de lançamento, onde a componente horizontal é um MU e as componentes verticais é um MRUV variando em cada instante de tempo, torna-se uma tarefa muitas vezes impraticável.

Este projeto pretende facilitar o entendimento dos alunos e o trabalho do professor de Física que muitas vezes no laboratório é limitado a ensinar com equipamentos defasados, para a transmissão de conhecimento, que não se verifica nos avanços da educação moderna e eficiente [1], o que gera uma dificuldade tanto no entendimento da matéria de lançamento oblíquo quanto nas formas de elaboração de atividades para melhorar o aspecto didático-pedagógico da matéria de Física.

É evidente que a tecnologia como complemento para auxiliar as práticas didático-pedagógicas colabora de maneira positiva para a construção do conhecimento [5], temas como informática educacional vem ganhando bastante relevância nos últimos anos, com o objetivo de preparar o aluno para um mundo cada vez mais tecnológico e tornar o entendimento mais claro no ambiente de sala de aula. Nesse sentido o L3D não só se soma as práticas realizadas no laboratório, para colaborar com uma reflexão mais profunda dos graduandos da faculdade, mas também estimula os mesmos a desenvolver projetos de conclusão de curso tão grandiosos quanto o L3D colaborando assim com a diminuição do índice de evasão da instituição.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

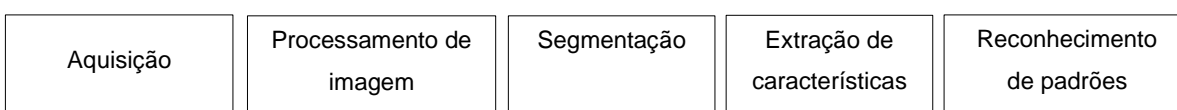
2.1-Visão Computacional

Por meio de algoritmos, o computador semelhantemente ao ser humano classifica imagens por meio de padrões. Os trabalhos pioneiros sobre visão computacional foram propostos na mesma época do surgimento dos primeiros computadores e essa área de pesquisa evoluiu gradativamente à medida que mais recursos computacionais se tornaram disponíveis como por exemplo, memória e capacidade de processamento e técnicas de programação relevantes para a evolução da visão computacional [2] como: Os primeiros detectores de bordas, onde foi apresentado modelos matemáticos bidimensionais defendidos no Massachusetts Institute of Technology (MIT), as matrizes de co-ocorrência para a classificação de texturas, modelos matemáticos bidimensionais (filtros de Gabor) para simular o comportamento de campos receptivos do córtex visual, algoritmo de Canny, pioneiro para detecção de bordas com alta tolerância a ruídos, contorno ativo (*snakes*), a teoria multirresolução para análise de sinais usando *wavelets*, algoritmo de segmentação em regiões por meio da minimização de um funcional, algoritmos para o desafiador problema de reconhecimento facial entre outras técnicas.

“A visão consiste em captar imagens, melhorá-las (por exemplo, com retirada de ruídos, aumento de contraste, etc.), separa as regiões ou objetos de interesse de uma cena, extrair informações dependendo da imagem analisada, como por exemplo, forma, cor e textura, e, finalmente, relaciona as imagens com outras vistas anteriormente”.

Como pode ser visto na Figura 1 a visão computacional é composta por várias etapas:

Figura 1. Esquema das etapas da visão computacional.



Fonte: BACKES, André Ricardo; JUNIOR, Jarbas Joaci de Mesquita Sá. Introdução à visão computacional usando Matlab. Alta Books Editora, p. 1-3, 2016.

O computador capta a imagem através de uma câmera. Depois trabalha a imagem captada e isola regiões de interesse dessa mesma imagem (no L3D, por exemplo, após a captação do vídeo do lançamento se faz o isolamento da imagem da bolinha, o objeto de interesse). Após a segmentação o computador extrai um conjunto de características do objeto dentro da imagem que é de interesse do usuário[6]. E por fim faz a classificação das imagens por meio de padrões programados através da definição das posições da trajetória da bolinha com a escala corrigida entre quantidades de pixels e distância real.

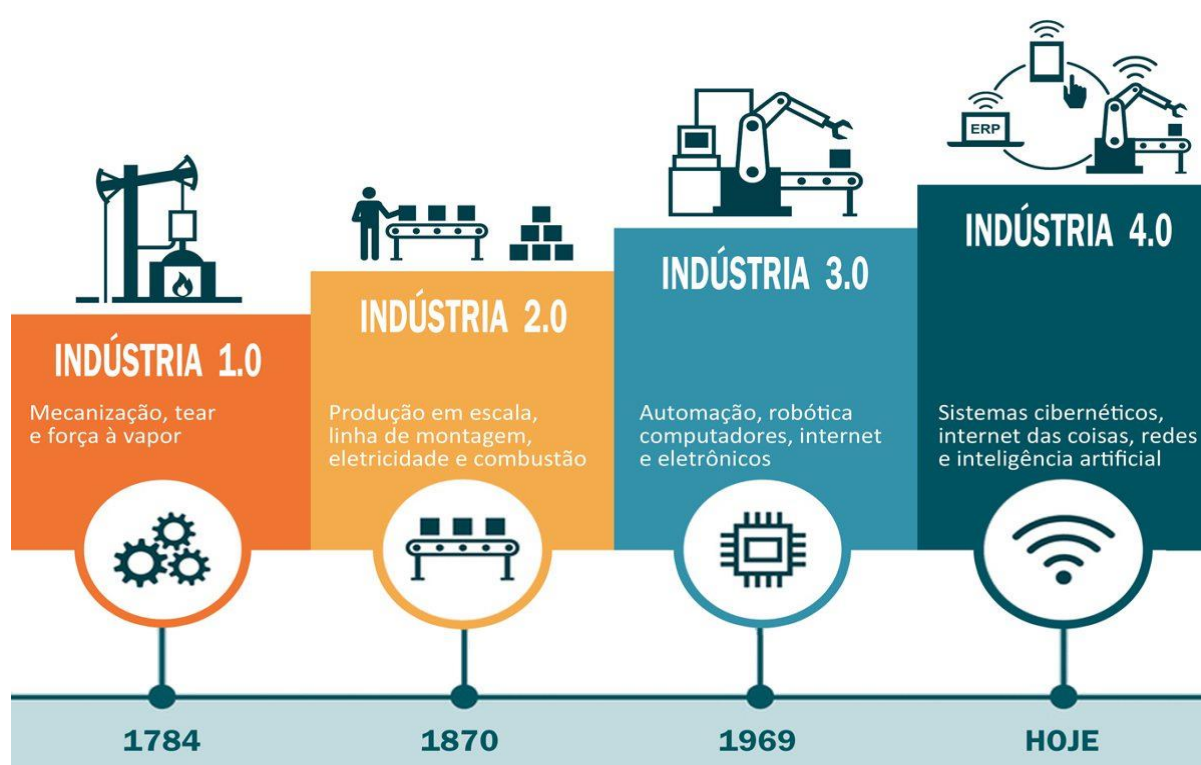
2.2-Indústria 4.0

Na história vimos grandes avanços tecnológicos acontecerem, as grandes mudanças sempre transformando a forma de viver da sociedade e da indústria. A Primeira Revolução Industrial, ocorrida no século XVIII na Inglaterra, se deu por vários fatores: pioneirismo inglês, dominância da burguesia, êxodo rural (devido ao cercamento de terra). Surgiu aí uma nova fonte de energia: o carvão mineral que inovou o setor têxtil com a produção mediante o uso da máquina a vapor. Essas mudanças repercutiram na sociedade. São consequências disso: a urbanização, o desenvolvimento tecnológico e o aumento da produção na indústria.

A Segunda Revolução Industrial, ocorrida em meados do século XIX, expande-se para outros países como França, Japão e EUA. Neste período a energia elétrica e o petróleo são as novas fontes de energia. Além disso, telefones, telégrafo e rádio proporcionam o avanço nas comunicações. Na década de 1960 ocorre a Terceira Revolução Industrial ou Revolução Técnico-científica. Com avanços tecnológicos ainda maiores: computadores, automação e eletrônicos que se unem também com o avanço da produção de mercadoria. Um marco desta revolução são as fontes de energia renováveis além do crescimento do setor terciário, ou seja, serviços. Com o avanço contínuo das tecnologias entramos hoje no que conhecemos como a Quarta Revolução, ou comumente conhecida como Indústria 4.0.

O conceito surgiu pela primeira vez em 2011, durante a feira Hannover Messe sediada em Hanôver na Alemanha, segundo Herman, Pentek e Otto. A indústria 4.0 está fortemente focada na melhoria contínua em termos de eficiência, segurança, produtividade das operações e especialmente no retorno do investimento [3]. Na Figura 2 estão sintetizados os principais conceitos da evolução da indústria.

Figura 2. Cronologia das Revoluções Industriais.



Fonte: <http://www.painellogistico.com.br/%EF%BB%BFpor-uma-industria-mais-moderna/> Acessado em 18/07/2020

3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Os materiais mais importantes que constituem o kit didático e fazem parte diretamente da operação do lançamento oblíquo, são: um o microcontrolador Raspberry pi 3 para fazer o controle dos acionamentos das portas de GPIO, dois motor de passo para ajustar o controle da intensidade do lançamento, três o motor 12VDC para variar a inclinação do lançamento e quatro o eletroímã para disparar o lançamento da esfera de ABS.

3.1-Microcontrolador Raspberry pi 3 Modelo B+

As configurações do Microcontrolador Raspberry pi modelo B+ suportam tanto as necessidade de processamento, relativamente alta em vista do processamento digital de imagem requerido no projeto, como também tem em seu hardware conexões de rede que facilitam a sua operação como está apresentado na Figura 3.

Figura 3- Raspberry pi 3 Modelo B+.



Fonte: <https://www.alliedelec.com/m/d/4252b1ecd92888dbb9d8a39b536e7bf2.pdf>> Acesso em 29 de janeiro de 2020

O kit didático de lançamento oblíquo tem uma evidente necessidade de processamento de imagem como elemento captador de pontos dos centros geométricos da esfera de ABS no momento do lançamento. Logo o Raspberry pi 3 modelo B+ torna-se também barato, pois pode haver câmera prática e de fácil

instalação, e ainda dado a boa capacidade de processamento de 1.4GHz no processador da Arms e 64 Bits de memória, tem conexão wi-fi para incorporar projetos de IoT, armazenamento em nuvem, e por fim tem portas de GPIOs que serão de grande importância no projeto para o controle operacional dos dispositivos do L3D. Essas especificações do microcontrolador Raspberry pi 3 podem ser visualizadas no Anexo 1.

No projeto do L3D será utilizado com especial importância as configurações do processador, pois o processador de 1.4 GHz tem um clock de operação adequado para processar as imagens do kit didático.

Como os vídeos de lançamento são de poucos segundos, nota-se que o microcontrolador escolhido atende a necessidade do projeto não só referente ao custo, mas também em sua arquitetura. Listada com base no Anexo 1.

- A comunicação em LAN (Local área Network) ideal para conexão wi-fi será utilizada para comunicar o microcontrolador ao computador..
- A porta HDMI será necessária para a comunicação 1080p30 que utiliza varredura progressiva com 30 fps de frequência, sendo necessária a conexão HDMI para essa transmissão de dados que será utilizada no monitor/projetor para a apresentação da experiência realizada com o kit didático em sala de aula.
- As portas USB1 e USB2 do microcontrolador tornam-se necessárias para a comunicação serial entre os periféricos de entrada mouse e teclado para operação do projeto.
- A porta Micro SD tem como função o armazenamento do cartão Micro SD que no Raspberry funciona como HD, que por sua vez interfere na velocidade de processamento do projeto.
- A entrada de alimentação será conectada a fonte de alimentação do projeto de 5V e 3A.

3.2-Motor de passo

O acionamento do motor de passo é feito através dos pinos (4, 29, 31, 33, 35) e auxiliado pelo driver ULN2003, no qual pulsos digitais previamente programados no microcontrolador auxiliam no sequenciamento das fases das bobinas internas ao motor de passo unipolar 28BYJ-48. Na Figura 4 está a foto de um motor de passo 28BYJ-48 e seu driver ULN2003.

Figura 4. Step Motor 28BYJ-48 e driver ULN2003.

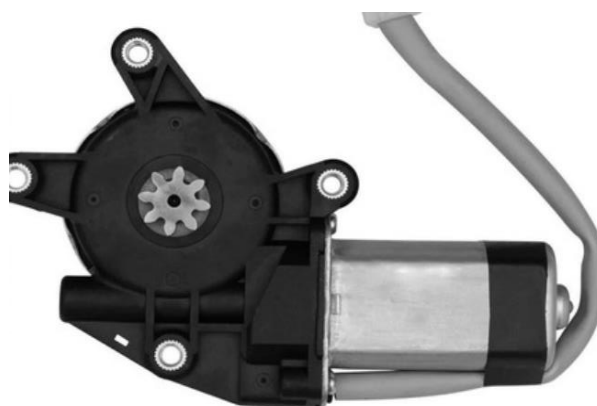


Fonte: <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=28byj48>. Acessado em 21/10/2020.

3.3 Motor 12VDC

O motor utilizado nesse projeto para modificar o ângulo de lançamento, é um motor de corrente contínua, comumente alimentado com 12VDC, como para modificar a velocidade de um motor DC é preciso modificar a tensão de entrada do motor, nesse projeto o motor é alimentado com 5V, para diminuir a sua velocidade de rotação. O eixo do motor é acoplado com um redutor e por isso esse tipo de conjunto eletromecânico é comumente conhecido como moto-redutor conforme está apresentado na Figura 5, assim o torque na saída é aumentado, diminuindo a velocidade ainda mais, deixando-a adequada para aplicação neste trabalho.

Figura 5. Motor 12VDC



Fonte: <https://www.connectparts.com.br/motor-mabuchi-vidro-eletrico-dianteira-traseira-mabushi-13927/p>

3.4 Eletroímã

O Eletroímã está apresentado na Figura 6 e seu funcionamento exige 12V na entrada das bobinas internas do eletroímã, como o sinal máximo do microcontrolador é 5V, é necessário para o seu acionamento por microcontrolador um módulo relé para fazer o chaveamento.

Figura 6. Eletroímã.



Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/eletroima-12v-25kg>. Acessado em 30/09/2020.

4 DESENVOLVIMENTO DO L3D

O projeto do kit didático de lançamento oblíquo se chama L3D, porque foi pensando para ser um lançador automatizado por três dispositivos eletromecânicos que dentre esses dispositivos são: 1 motor de passo, 1 motor 12VDC e 1 eletroímã. Sendo os três dispositivos máquinas elétricas que convertem energia elétrica em energia mecânica através dos fenômenos do eletromagnetismo.

O L3D foi desenvolvido para deixar a qualidade dos seus materiais adequadas aos respectivos objetivos de cada elemento do projeto, fazendo com que esses materiais atendam a necessidade, primeiramente da aplicação para os quais terão no projeto do L3D e também de forma que seja um custo acessível para o desenvolvimento do protótipo para a aplicação em sala de aula. As primeiras ideias para a elaboração do L3D surgiu inicialmente com a escolha do elemento que será lançado, de maneira objetiva o elemento lançado deverá ter as seguintes características:

- a) Ter pouca massa, para exigir um equipamento menos potente para lançar este objeto;
- b) Com geometria uniforme para ter bons impactos, melhores controlados no momento do lançamento;
- c) Com tamanho não tão pequeno ao ponto de ser difícil a captação do movimento, e não tão grande ao passo que prejudique a quantidade de pontos na amostra captada do movimento;
- d) Resistente para conseguir ter boa durabilidade em sala de aula.

Nas primeiras ideias foi pensado esferas no aspecto da geometria uniforme e nos primeiros experimentos o material era o isopor, onde um sensor ultrassônico poderiam captar por reflexão a esfera de isopor e induzir uma distância por diferença de tempo, e tendo a velocidade do som poderia concluir as distâncias do sensor a cada instante de tempo e assim poder realizar a captação do movimento oblíquo e poder aplicar no estudo do L3D. Porém esse método de captação do movimento mostrou-se ineficiente na medida em que o som refletia de maneira divergente na superfície da esfera de isopor, onde ocorreram muitas falhas na captação.

Em um segundo momento foi cogitado uma espécie de malha de sensores, por exemplo, sensores ópticos. Em um plano como se houvesse uma matriz de sensores

para a captação de uma esfera, dessa vez, de tênis de mesa, já que a esfera de isopor mostrou-se mais pesada e menos resistente que a esfera de tênis de mesa de 40mm de diâmetro e massa de 4g feitas de ABS. Essa ideia gerou algumas novas hipóteses como a dificuldade de comprar muitos sensores ópticos para poder testá-la, e ainda não poderia garantir que a esfera lançada obedeceria exclusivamente a um único plano XY. Alguns novos postulados adquiridos nessa segunda hipótese facilitaram a elaboração da terceira e quarta hipótese como:

e) O plano do lançamento oblíquo deve ser pouco relevante para a captação do movimento, caso contrário exigiria mais custo para um lançamento preciso e captação eficiente contrariando a ideia inicial do desenvolvimento do L3D.

f) Para a elaboração do L3D tornou-se necessário naquele momento uma pesquisa em formas de captação de objetos;

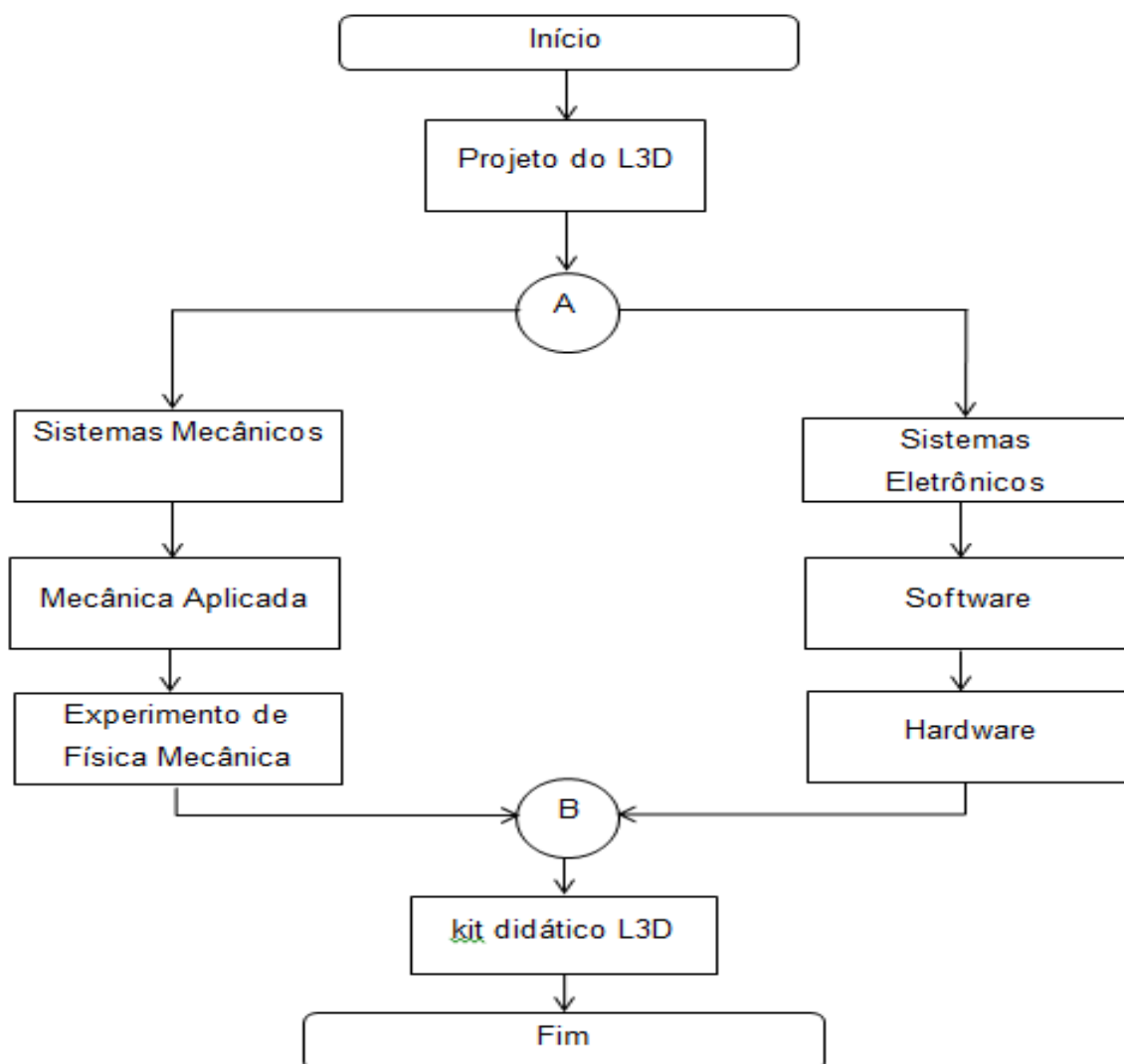
Com a pesquisa exigida para melhorar a captação do movimento da esfera de tênis de mesa um terceiro método surgiu, que foi o método de processamento digital de imagens (PDI) o qual utilizava como elemento sensor uma câmera, para só assim poder desenvolver o algoritmo de visão computacional, que além da captação dos frames do vídeo exige também o tratamento das imagens de cada frame da esfera e assim poder realizar o rastreamento com base nos centros geométricos de cada lugar no espaço do deslocamento da esfera, conforme as sucessivas passagens de frames. Esse terceiro método mostrou-se eficiente para o desenvolvimento do L3D, pois era o mais adequado aos tópicos iniciais de desenvolvimento desse trabalho.

O L3D é projetado seguindo primeiro o entendimento bem claro da aplicação desse projeto em sala de aula, logo o Diagrama Homem-Máquina de funcionamento geral do L3D é requerido inicialmente, apresentado no Apêndice 3. Assim como o Diagrama geral de blocos do kit didático tanto para definir exatamente como será seu o funcionamento quanto para saber com precisão como as diversas áreas do conhecimento científico tecnológico interagem entre si, e ainda quais os fatores que determinam o bom funcionamento do projeto para assim definir essa parte constituinte do L3D, que neste trabalho são denominadas de sistemas parciais onde, conseqüentemente bem dimensionados contribuem para o bom funcionamento do projeto como um todo. No Fluxograma de Desenvolvimento Geral do L3D apresentado na Figura 7 pode ser inferido 2 sistemas dentro do projeto e ainda o processo de

fabricação do L3D, onde o bom funcionamento de ambos e como esses sistemas interagem entre si garante o bom funcionamento do projeto de maneira geral.

O Sistema Mecânico garante o bom lançamento efetuado pelos dispositivos, tal como o estudo que o projeto se propõe realizar em sala de aula. O Sistema Eletrônico por sua vez é responsável pelo controle das variáveis físicas do projeto como (Força, ângulo, captação da luz e etc.). Esses 2 sistemas são melhor apresentados a seguir.

Figura 7. Fluxograma de Desenvolvimento Geral do L3D.



Fonte: Própria (2020)

4.1 Sistema Eletrônico

O projeto do sistema parcial eletrônico do L3D se concentra no Hardware do microcontrolador Raspberry pi modelo B+, tais como suas conexões de níveis eletrônicos de baixa tensão até 12V utilizado nesse projeto, denominado de Hardware, e nessas conexões estão incluídas as conexões seriais de rede exigidas no projeto do kit didático, e por esse motivo o tópico de redes está nesse sistema parcial. Esse Sistema parcial eletrônico se divide entre os seguintes tópicos:

4.1.1 Software

O controle do projeto do kit didático tem dois seguimentos:

- Algoritmo de visão computacional e interface gráfica desenvolvido em linguagem C no software MATLAB®, essa parte é denominada de controle da visão computacional.
- Algoritmo de controle dos motores de passo, motor 12VDC, eletroímã, tais como botões de power, led de stand by e power, foram programados em linguagem Python. Essa etapa do processo de desenvolvimento do kit didático é denominada de controle operacional do L3D.

Esses seguimentos serão melhores apresentados a seguir:

Controle da visão computacional via MATLAB® com linguagem C

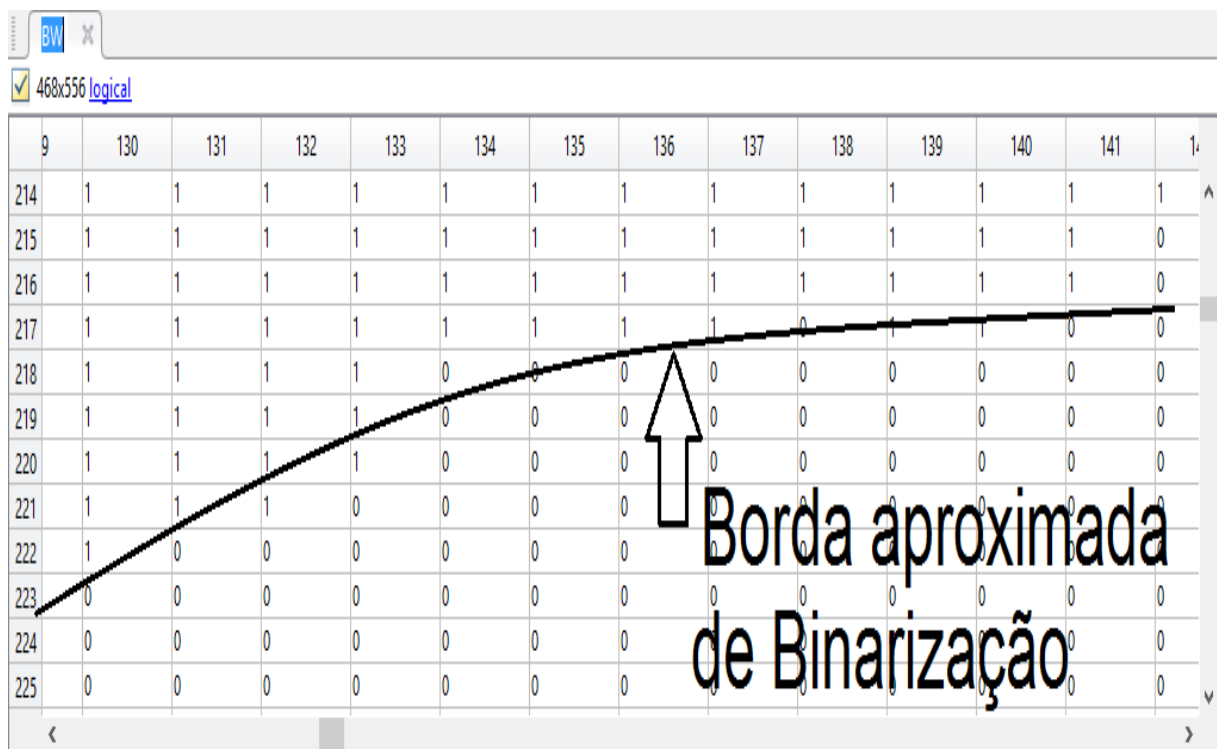
O controle da visão computacional do kit didático tem o seu algoritmo desenvolvido no software MATLAB®, que é um software de alta performance desenvolvido pela empresa MathWorks, sendo muito utilizado na engenharia e na pesquisa. O MATLAB® é comumente usado como ferramenta para o desenvolvimento de projetos para análise de dados, controle, visão computacional, eletrônica de potência, cálculo numérico entre outras aplicações.

O MATLAB® tem como fundamento matemático para o processamento digital de imagens (PDI) a análise de formatos de imagens como matrizes, onde cada pixel da imagem recebe um valor numérico associado à tonalidade de sua cor, onde 0 é o preto e 1 é o branco. Assim também é na escala RGB, diferenciando apenas que cada pixel terá suas três tonalidades em RGB definidos em uma matriz [1X3]. Para cada elemento de uma matriz maior de endereço de pixels essa matriz maior é chamada de struct.

A entrada dos dados de imagens no algoritmo de processamento digital de imagem do L3D é feita através do vídeo que é gravado no momento do lançamento oblíquo da casca esférica do experimento. O vídeo é lido em um loop, onde cada frame do vídeo é convertido para imagens binarizadas com um filtro de coeficiente igual à 0,85 (isso significa que nas imagens com intensidades de branco menores 0,85 é convertido para preto, caso contrário é definido como branco). A Figura 8 destaca a borda aproximada de uma foto da bolinha após a rotina de binarização, onde cada célula da matriz representada como tabela na Workspace do MATLAB® representa um pixel da foto já aplicado o filtro na imagem.

Por causa dessa binarização indicada na Figura 8, no L3D foi definido uma bolinha branca e um anteparo preto, tanto para facilitar essa segmentação quanto para diminuir os ruídos de brilhos, e esses ruídos por sua vez foram excluídos no projeto através da função “areaopen” que exclui regiões brancas, na imagem, menores que 30 pixels. Como a área da casca esférica é sempre muito maior que 30 pixels, logo somente ao término desse tratamento a região da casca esférica.

Figura 8. Borda Aproximada de binarização.



Fonte: Própria (2020)

É importante ressaltar que a aquisição das imagens, tais como a binarização fazem parte do processamento digital de imagens (PDI) que é um subconjunto da visão computacional. Os processos de extração de características para o cálculo dos centros geométricos para induzir as posições da casca esférica e também de plotagens de padrões de movimento são partes complementares do PDI, onde todos esses processos unidos fazem parte da visão computacional ou visão de máquina, ambos aplicados ao projeto [2].

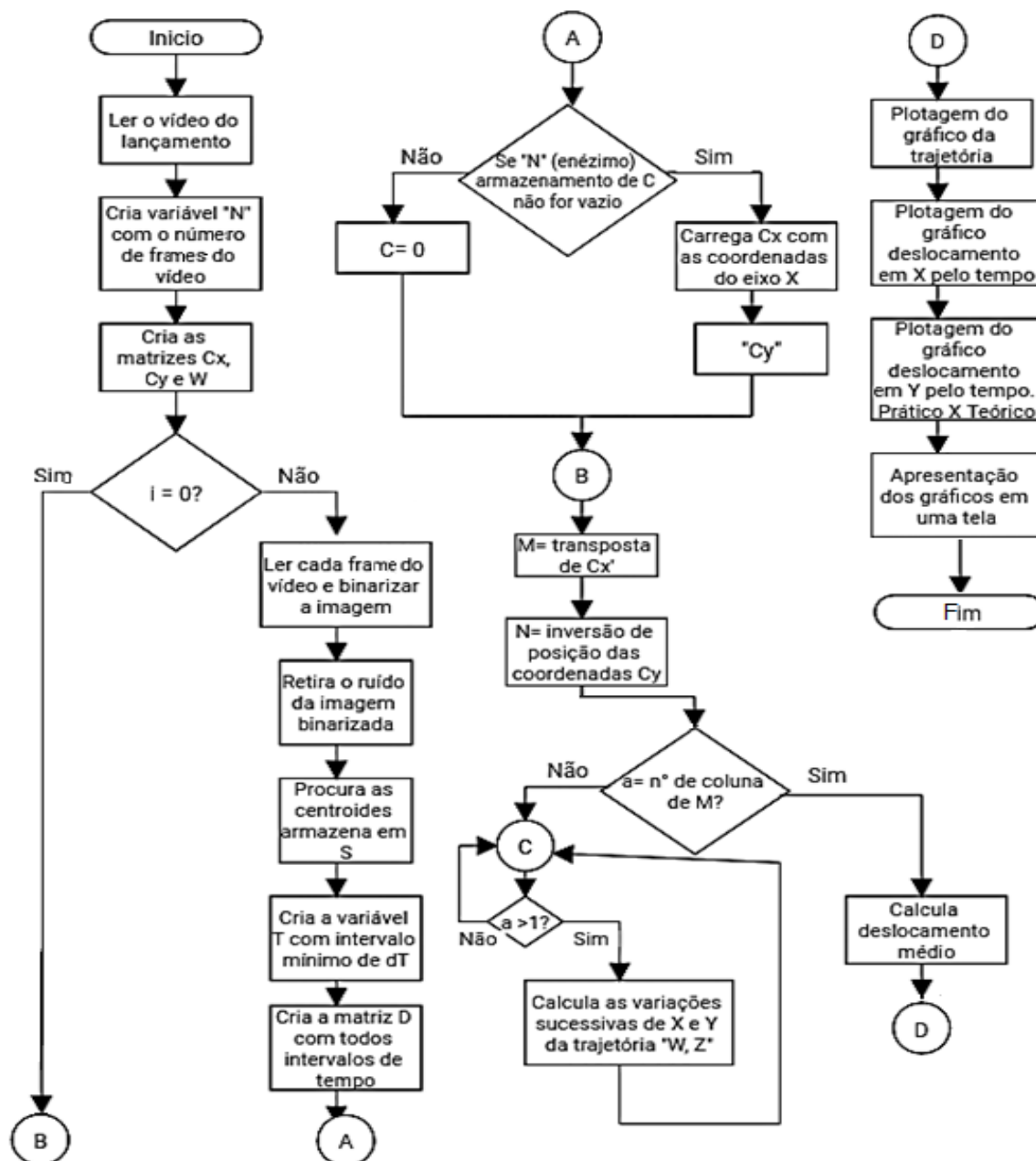
Com o armazenamento dos pontos dos centros geométricos adquiridos pela função “regionprops” torna-se necessário fazer a separação dos eixos (XY) para serem utilizados no gráfico da trajetória. E ainda o eixo Y precisou ser invertido no algoritmo, pois no MATLAB® a referência das imagens é cartesiana, onde (0;0) é a origem e o eixo das abscissas cresce de baixo para cima, esse crescimento vertical é invertido no sistema de endereçamento matricial, onde o crescimento dos índice das linhas da matriz é de cima para baixo, essa mudança de referência é essencial para impor sentido aos gráficos impressos ao final do experimento, caso contrário o deslocamento sobre o eixo Y seria invertido em relação ao deslocamento real.

Após essa breve explicação da visão computacional aplicada ao L3D, é natural perceber que essa tecnologia é mais precisa que o olho humano, pois as análises são feitas a cada pixel e a velocidade depende das configurações da câmera e ciclo de máquina do processador, por exemplo, podendo ainda ser melhorados com o desenvolvimento tecnológico da manufatura desses dispositivos, diferentes do olho humano.

Por isso a visão de máquina vem ganhando cada vez mais espaço no mundo moderno para a melhoria de eficiência e eficácia não só da indústria, mas também de simples sistemas de segurança residencial, tendo em vista o baixo custo desses projetos.

A Figura 9 contém o Fluxograma da visão computacional, onde é possível visualizar o algoritmo responsável por coletar os pontos do vídeo e plotar em gráficos para auxiliar nas análises do experimento proposto neste estudo.

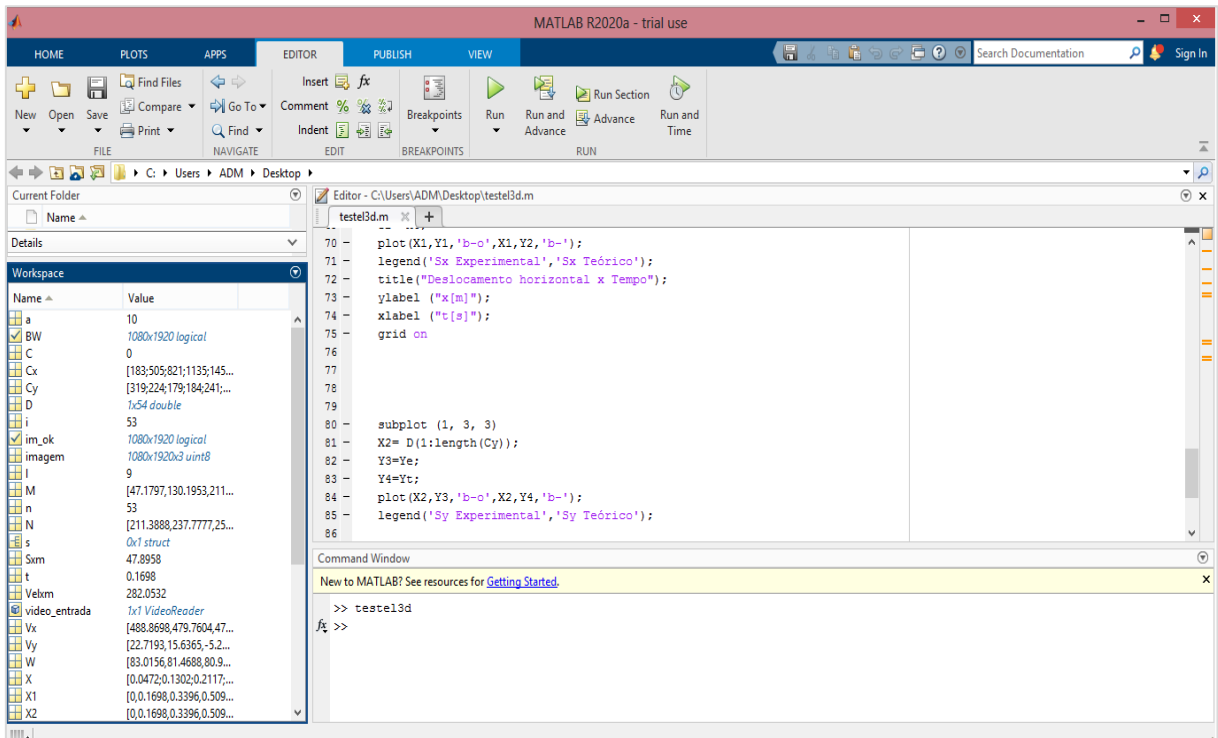
Figura 9. Fluxograma da visão computacional.



Fonte: Própria (2021)

Na Figura 10 a compilação do algoritmo da Visão Computacional é realizada com a identificação na aba Command Window do nome do arquivo com extensão (.m) que neste teste é nomeado "teste13d", ainda no carregamento dos valores das estruturas de dados na aba Workspace, erros de compilação comumente travam a compilação, não carrega as estruturas de dados e alerta em letras vermelhas possíveis soluções na aba Command Window.

Figura 10. Tela de compilação do programa no MATLAB®.



Fonte: Própria (2021)

A Figura 11 mostra na tela do usuário o gráfico referente a trajetória, no qual têm seus valores teóricos dados pela Equação 1[7]. Os demais gráficos comumente utilizados no estudo da cinemática não foram plotados, porque a síntese do projeto se concentra na grandeza comprimento dadas no SI em [m].

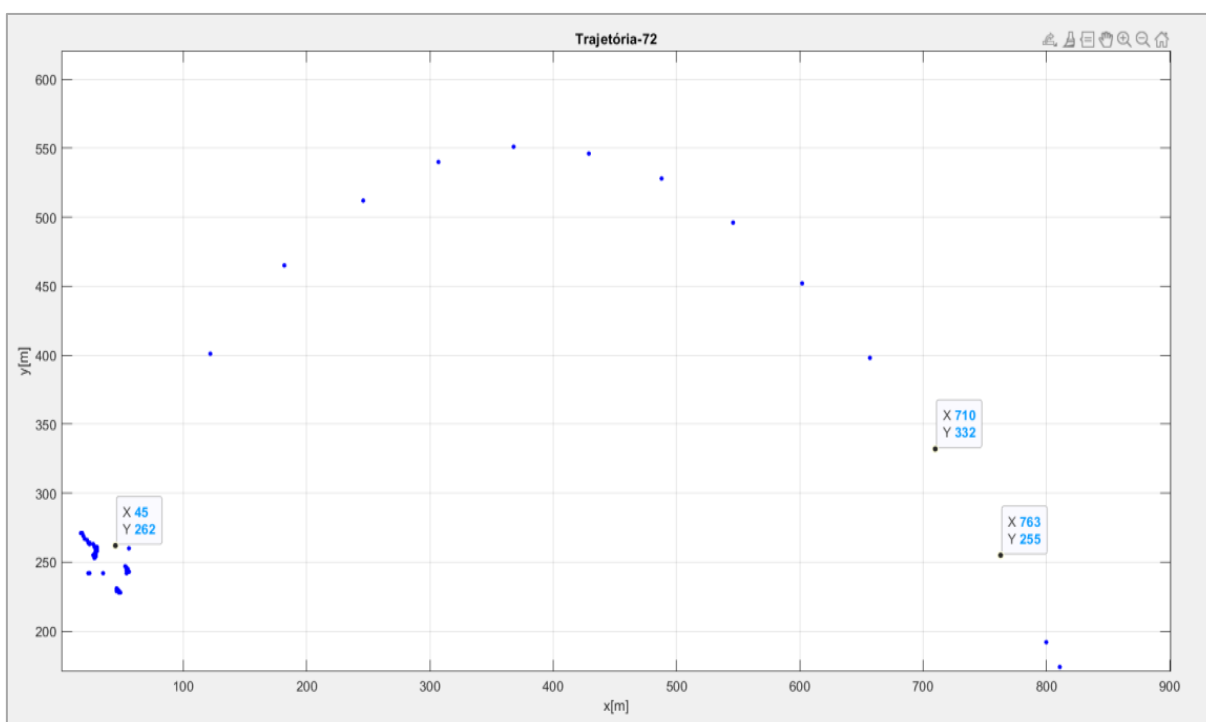
$$Y - Y_{t0} = \frac{V_{toy}}{V_{tox}} (X - X_{t0}) - \frac{g}{2.V_{tox}^2} (X - X_{t0})^2 \quad (1)$$

Na tela que representa a trajetória captada pelo L3D conforme a Figura 11, é possível verificar a trajetória pontilhada da esfera de ABS, esses pontos tendem a se aproximar conforme o aumento da frequência da câmera que nesse projeto foi limitado a 30 fps.

O controle operacional via Thonny IDE com linguagem Python foi desenvolvido para chegar as funcionalidades finais do L3D do ponto de vista operacional, o microcontrolador Raspberry pi é programado em suas portas de GPIO em linguagem Python, uma linguagem de alto nível que foi utilizada no projeto para programar os

sinais de tensão necessários para o processo operacional do L3D conforme descrito na Tabela 1.

Figura 11. Tela de impressão gráfica.



Fonte: Própria (2021)

No microcontrolador Raspberry pi 3 modelo B+ em seu sistema operacional foi desenvolvido os algoritmos do L3D no software Tonny IDE, que é um software produzido no instituto de ciência da computação na Universidade de Tartu na Estônia.

O Thonny IDE é instalado automaticamente ao ligar o Raspberry pi pela primeira vez e atualizado até a data deste projeto para o desenvolvimento da linguagem Python versão 3.5. O software Thonny IDE (<https://thonny.org/>) tem fácil depuração e também auxilia de maneira satisfatória erros de sintaxe o que facilita muito a sua usabilidade.

A acessibilidade do micro sistema operacional é total tendo em vista que o projeto será manuseado por professores, e ainda: o objetivo didático do projeto impõe testes e observações do comportamento físico do lançamento oblíquo, portanto uma vez o operador logado no Raspberry pi, terá acesso ao projeto para executar diversas vezes a experiência caso necessário.

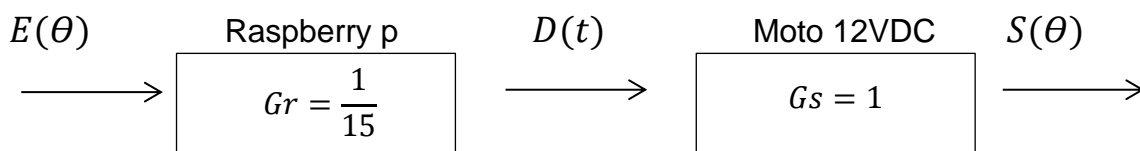
O algoritmo de controle operacional via Raspberry pi tem seus controles de indicação (leds azul, vermelho e amarelo) programados de maneira simples em níveis DC de 5V com condicionais para ligar e desligar os leds conforme a necessidade operacional do projeto. O eletroímã é chaveado através do transistor NPN BC546 5V DC e alimentado com uma fonte externa de 12V DC, pois o Raspberry pi não suporta níveis acima de 5V.

O motor 12 VDC é controlado a partir da fixação da tensão de entrada para controle da velocidade de saída do motor, onde o seu tempo de funcionamento é dado pelo ângulo de entrada escolhido para o lançamento da casca esférica proporcional a velocidade angular do motor, caracterizando assim um sistema de controle linear em malha aberta.

Sistema de controle linear em malha aberta do Motorreductor 12VDC

O Motor-reductor 12VDC tem o seu controle de velocidade dado pela amplitude da tensão DC de entrada no motor. Medindo o período de rotação é possível calcular o ângulo de rotação do motor. Essa relação entre o ângulo de operação e o ângulo de entrada digitado pelo operador do projeto pode ser demonstrada através da Figura 12, onde está o diagrama de blocos do controle linear em malha aberta desse sistema.

Figura 12. Diagrama de blocos do controle linear do Motorreductor 12VDC.



Fonte: Própria (2021)

Conforme verificado no código padrão da biblioteca Python para o acionamento de sinais DC, no Raspberry pi 3 utilizado no projeto tem o seus pinos 20 e 21 associado ao módulo relé para chaveamento de entrada do moto-reductor 12 VDC. É possível constatar empiricamente através da Equação 2 proporcional com a frequência de 0,33 Hz de rotação do motor isso significa que o motorreductor quando alimentado com 5VDC tem uma rotação de 19,8 rpm considerando a saída do eixo do motorreductor, originando a seguinte relação matemática:

$$\frac{3}{D(t)} = \frac{360^\circ}{E(\theta)} \quad (2)$$

Essa proporção matemática diz que considerando a saída no eixo de praticamente 20rpm o motor demora 3 segundos para girar 360°, com essa proporção é possível calcular o tempo que o motor demora para girar frações de uma volta, sendo esse tempo calculado através do código do microcontrolador que precisará da variável de entrada que é o ângulo digitado pelo operador. Em síntese o usuário digita um ângulo e quer como saída outro ângulo, mas o microcontrolador e o motor “entende” esse comando em tempo que a porta de GPIO estará ligada. Isolando as variáveis obtém-se a Equação 3.

$$Gr = \frac{D(t)}{E(\theta)} = \frac{3}{360} = 0,008\bar{3} \quad (3)$$

A Equação 4 mostra uma proporção intermediária entre a saída do diagrama de blocos e a entrada.

$$D(t) = 0,008\bar{3}.E(\theta) \quad (4)$$

Sendo 1/120 a atenuação (Ganho<1) do tempo provocada pelo o código do microcontrolador. Desprezando as perdas de rendimento do moto-reductor obtém-se a Equação 5.

$$\frac{S(\theta)}{D(t)} = 1 \quad (5)$$

Logo a função de transferência representada por esse sistema de controle linear em malha aberta pode ser definida pela Equação 6, onde $S(\theta)$ representa o ângulo de saída no eixo do motor 12VDC e $E(\theta)$ representa o ângulo de entrada digitado pelo operador do sistema do L3D.

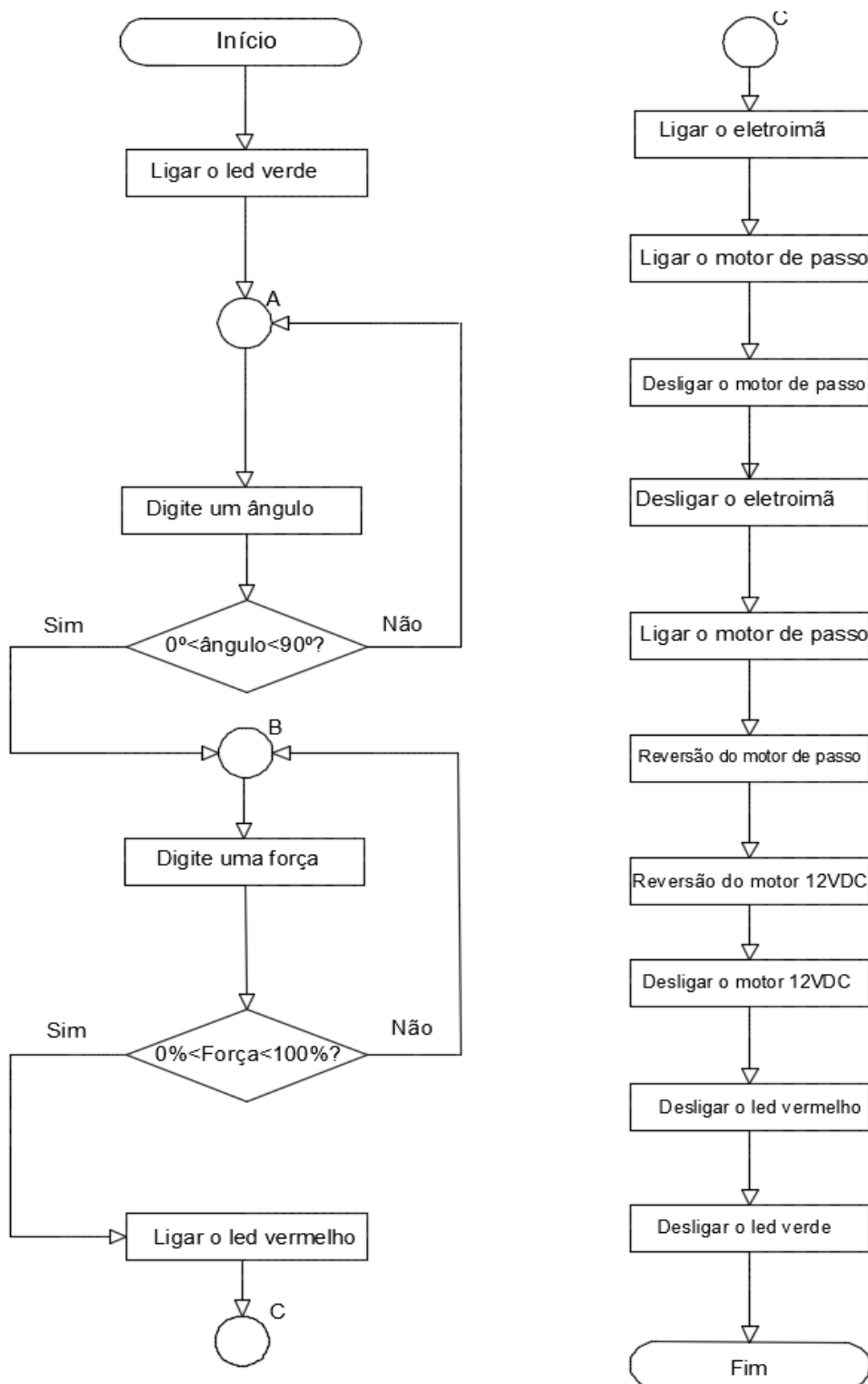
$$S(\theta) = 0,008\bar{3}.E(\theta) \quad (6)$$

O motor de passo em cada estado exige uma sequência de pulsos digitais, de maneira a proporcionar o acionamento sequencial das bobinas internas do motor para acionar cada ângulo, o algoritmo que define esse controle foi feito através de matrizes, onde cada linha da matriz define um estado de abertura dos 64 estados possíveis e na repetição desses estados foi feito um loop para diminuir o tamanho do código.

Fluxograma de controle operacional do Raspberry pi 3 Modelo B+ expresso na Figura 13 inicialmente foi desenvolvido de maneira simples e conforme o código ganhava mais funções e complexidade foi necessário encapsular em sub-rotinas de acionamentos para só assim o fluxograma operacional tomar a forma expressa através das Figura 13.

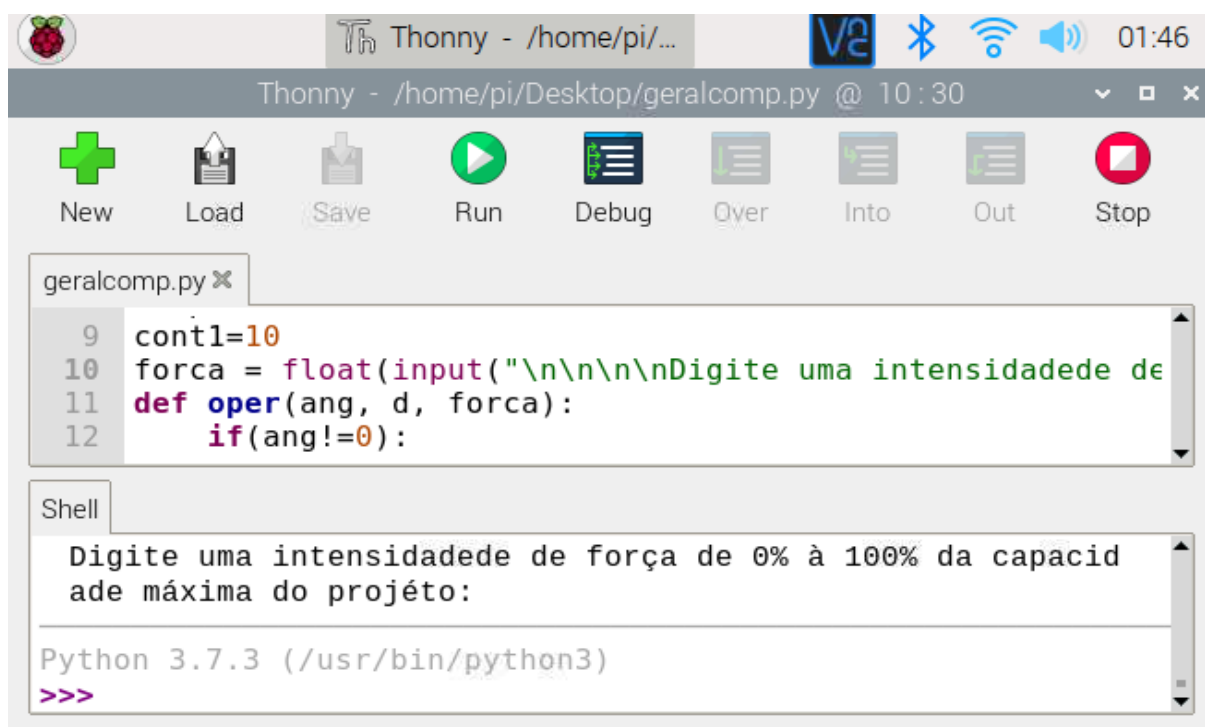
As telas de compilação do controle operacional e guia de interação com o usuário do L3D são apresentadas na Figura 14 e Figura 15 respectivamente. A indicação “>> Python 3.7.3 usr/bin/python3” na parte inferior da tela da Figura 14 evidencia a finalização da compilação e em seguida a tela da Figura 15 é aberta conforme programada no algoritmo. A tela da Figura 14 foi pensada de maneira a proporcionar um lançamento mais prático possível, onde deslizando os botões de intensidade da força e ângulo de lançamento, clicando no botão “OK” ao final o lançador inicia a rotina de lançamento da bolinha preposicionadas pelo operador do experimento dentro do lançador.

Figura 13 Fluxograma de controle operacional do Raspberry pi 3



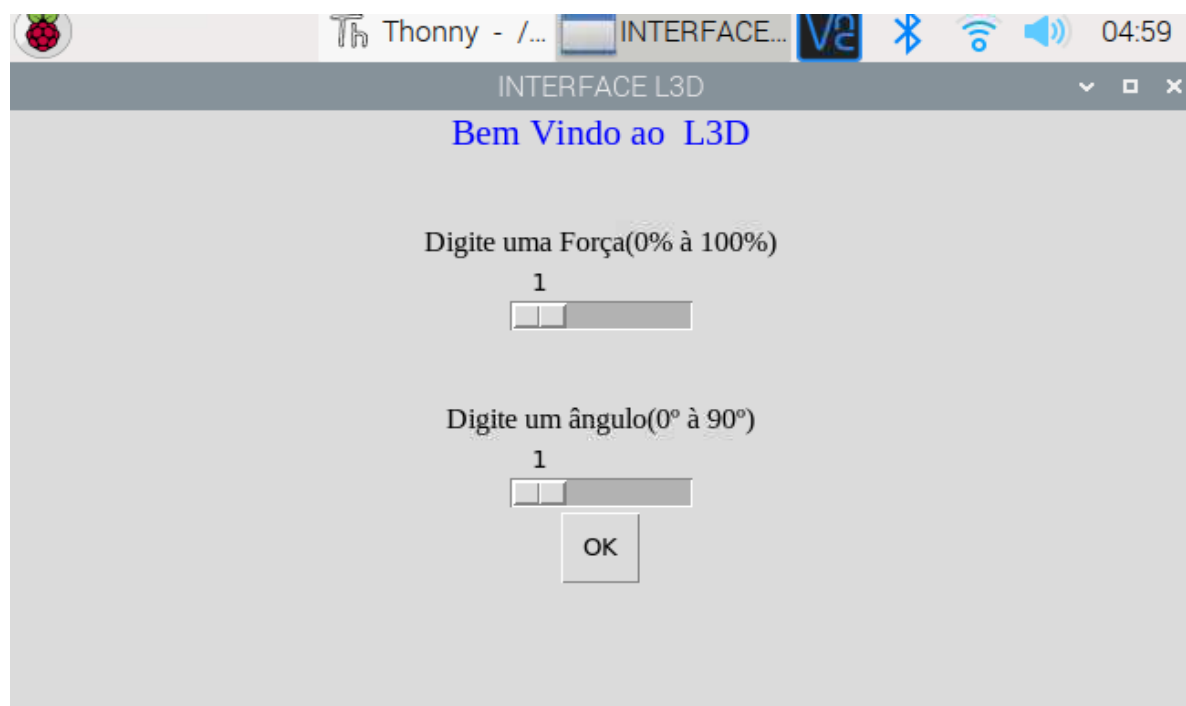
Fonte: Própria (2021)

Figura 14 Tela de compilação do Thonny Python.



Fonte: Própria (2021)

Figura 15 GUI (Guia de Interação com o Usuário) do L3D.



Fonte: Própria (2021)

4.1.2 Hardware

O Raspberry pi 3 possui 40 portas de GPIOs, dentre elas será utilizado no L3D as seguintes portas de GPIO com suas conexões como mostra a Tabela 1:

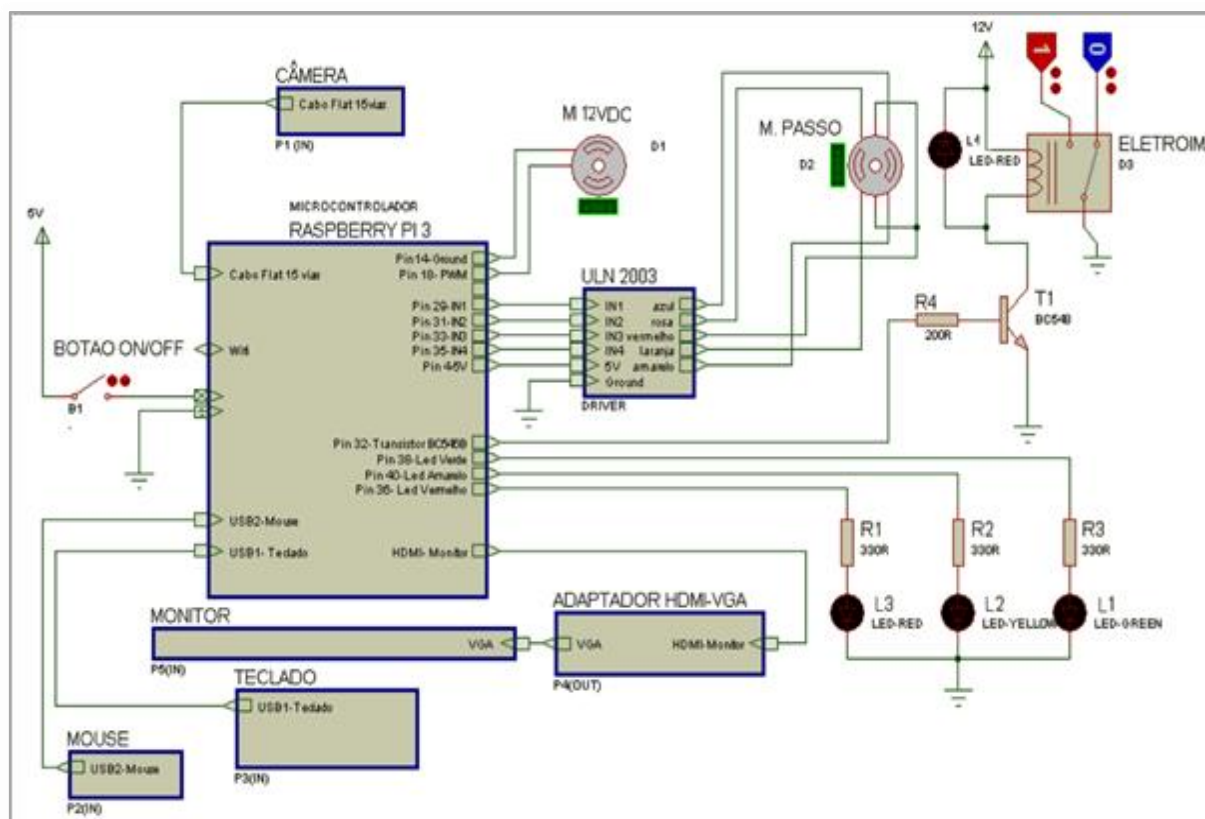
Tabela 1-Conexões das portas de GPIOs usadas no L3D.

Pin 0 2 – 5V	Positivo Motorreductor 12VDC
Pin 14 – Ground	Negativo do Motorreductor 12VDC
Pin 36 – GPIO16	Led vermelho Movimentação
Pin 38 – GPIO20	Led verde (Ligado)
Pin 40 – GPIO21	Led Amarelo operação
Pin 32 – GPIO12	Transistor BC546B
Pin 29 – GPIO05	IN 1 do Drive do motor de passo 28BYJ-48
Pin 31 – GPIO06	IN 2 do Drive do motor de passo 28BYJ-48
Pin 33 – GPIO13	IN 3 do Drive do motor de passo 28BYJ-48
Pin 35 – GPIO19	IN 4 do Drive do motor de passo 28BYJ-48

Os periféricos atuantes no kit didático tem nível lógico alto igual a 5V e nível baixo igual a 0 conforme o Data sheet do Raspberry pi 3 modelo B+. Diagrama elétrico do L3D

O Diagrama elétrico do L3D representado na Figura 16 deixa claro a importância das conexões de redes para ligar o projeto ao monitor, mouse, teclado de um PC e ainda somados às capacidades das portas de GPIOs possibilita uma integração que torna o Raspberry pi 3 modelo B+ muito versátil para as aplicações desse projeto.

Figura 16 Diagrama elétrico do L3D.

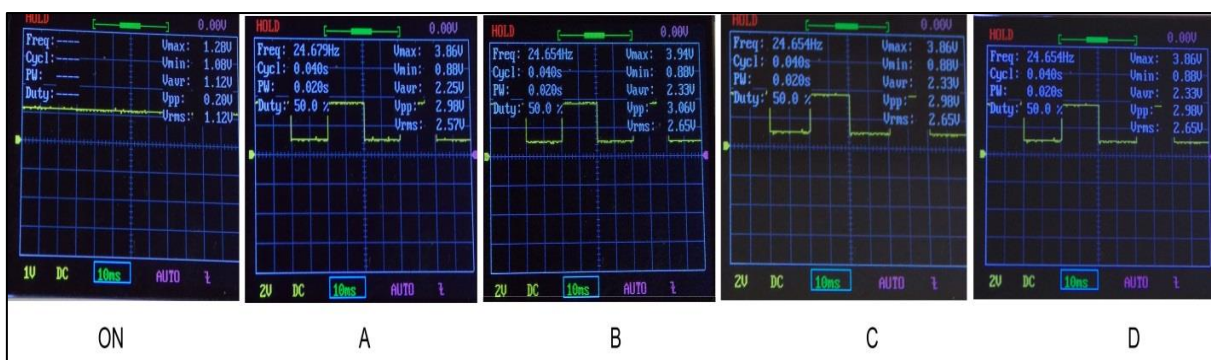


Fonte: Própria (2021)

De acordo com o diagrama elétrico representado pela Figura 15 a parte complementar ao microcontrolador é constituída por conexões de rede necessárias para a operação do Raspberry pi 3 e os circuitos para a operação do kit didático como: Leds de indicação na configuração catodo comum e acionamentos dos 3 dispositivos eletromecânicos (motor de passo, motor 12VDC e eletroímã). O motor de passo tem sua medida de sinais de entradas descritas na Figura 17, com auxílio do osciloscópio DSO 138.

Na Figura 17 as medições das entradas seriais do motor de passo podem ser observadas juntamente com o botão de controle ON/OFF, existente no driver ULN2003, a nomenclatura das entradas foi realizada tomando como referência a nomenclatura do periférico do driver (A,B,C,D). Note que a onda quadrada do sinal serial de cada periférico, não tem o seu valor de "Vmin" (vale da onda) em 0V, esse efeito serve para diferenciar sinais desligados de sinais de "Vmin".

Figura 17 Medidas do motor de passo.



Fonte: Própria (2021)

4.2 Sistemas Mecânicos

Os Sistemas Mecânicos definidos no L3D são divididos em duas categorias, a primeira denominada mecânica aplicada, enfatiza a mecânica necessária para a construção da estrutura e do lançador do kit. A Segunda grande área da mecânica estabelecida neste trabalho é o Experimento sugerido para coleta de dados e suas análises, para assim obter resultados, aprimorando a visualização Física dos alunos que participarem da experimentação proposto neste estudo comparativo.

A fabricação mecânica do L3D é desenvolvida inicialmente de maneira a atender as necessidades de dimensões, resistência e baixo peso, para exigir o mínimo possível dos motores, uma vez que os motores são de baixa potência. Para só então definir os primeiros croquis, simular os desenhos no software Autocad 2020 Versão Estudante, implementar a fabricação e montagem do protótipo.

Os materiais utilizados na confecção da estrutura do protótipo são pensados de maneira a reduzir o custo ao ponto do produto mínimo viável ser efetivado, entretanto a limitação estrutural na fabricação do ponto de vista de máquinas e ferramentas, possibilitou a implementação de materiais reutilizados na construção do protótipo.

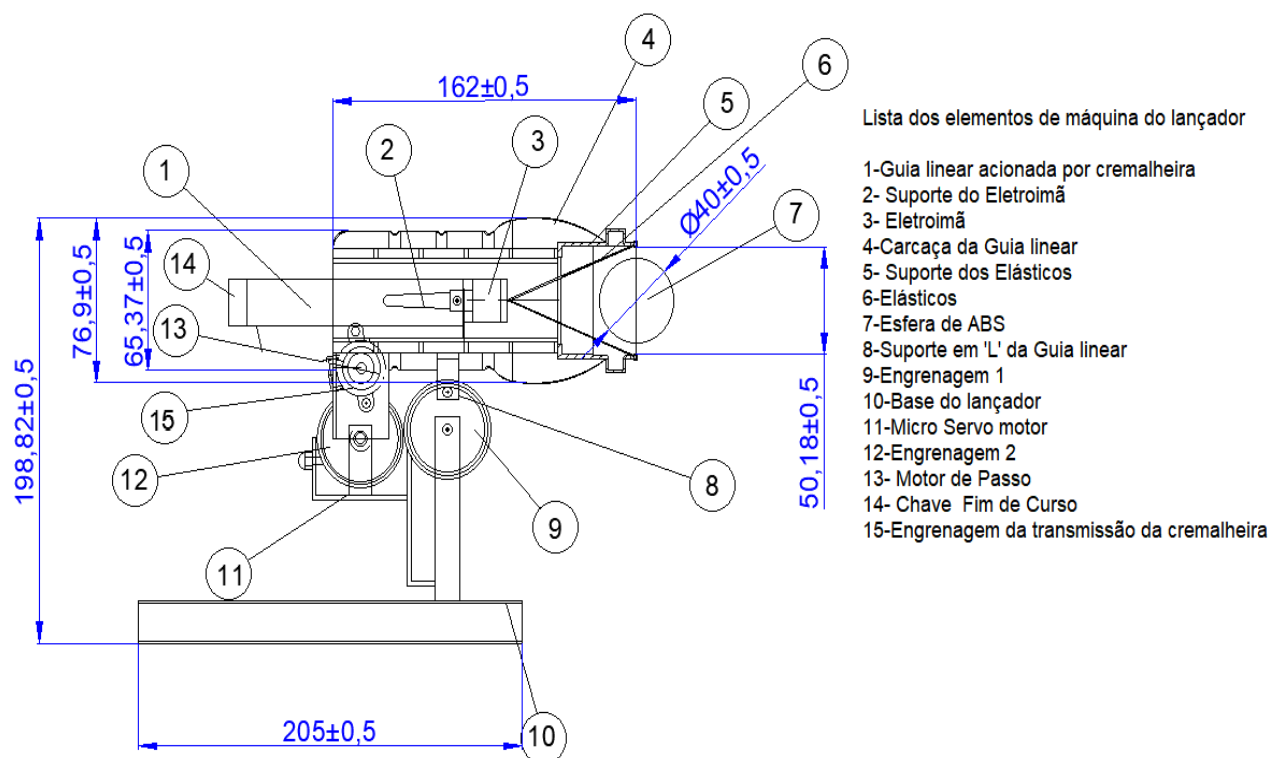
A Figura 18 mostra com detalhes o desenho de conjunto, indicando os elementos de máquinas do lançador, assim com suas principais dimensões.

A Figura 19 representa o anteparo negro que serve para diminuir os ruídos na captação das imagens, para desenvolver essa estrutura foi necessário chapas de madeira e chapas de aço tendo como elementos de fixação parafusos de cabeça chata e comprimento por de 10mm.

O protótipo tem as seguintes etapas de projeto.

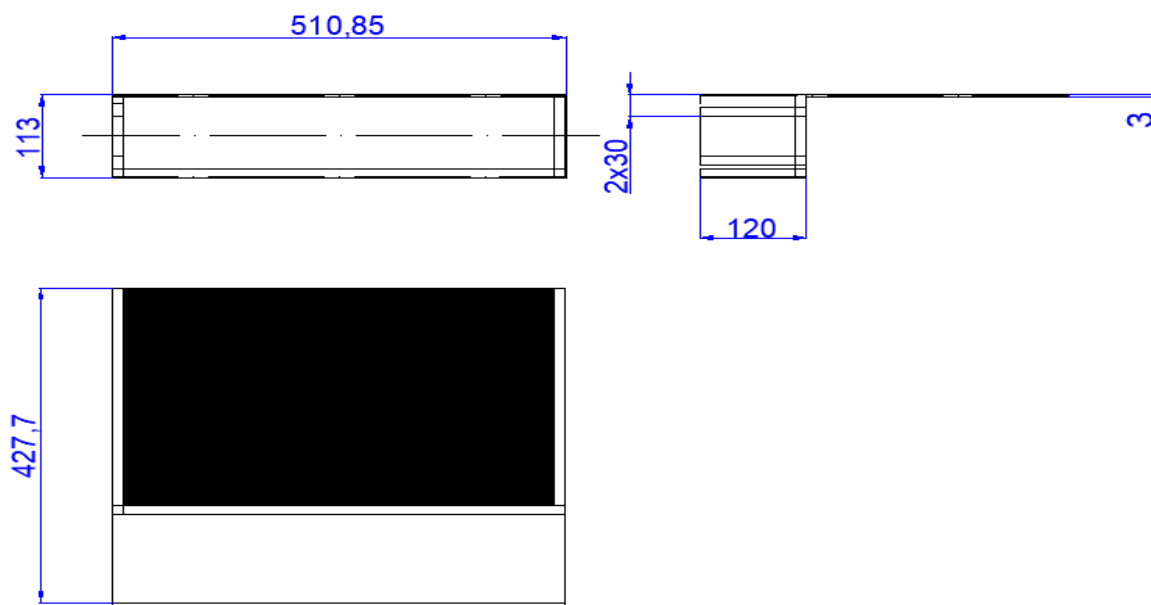
- a) Desenvolvimento dos croquis;
- b) Desenhos simulados em Autocad 2020;
- c) Corte de madeira, plástico, e aço;
- d) Dobra de cantoneiras;
- e) Furos para o encaixe de parafusos;
- f) Montagem;
- g) Ajustes;
- h) Testes de funcionamento;
- i) Acabamento.

Figura 18. Elementos de Máquina do Lançador.



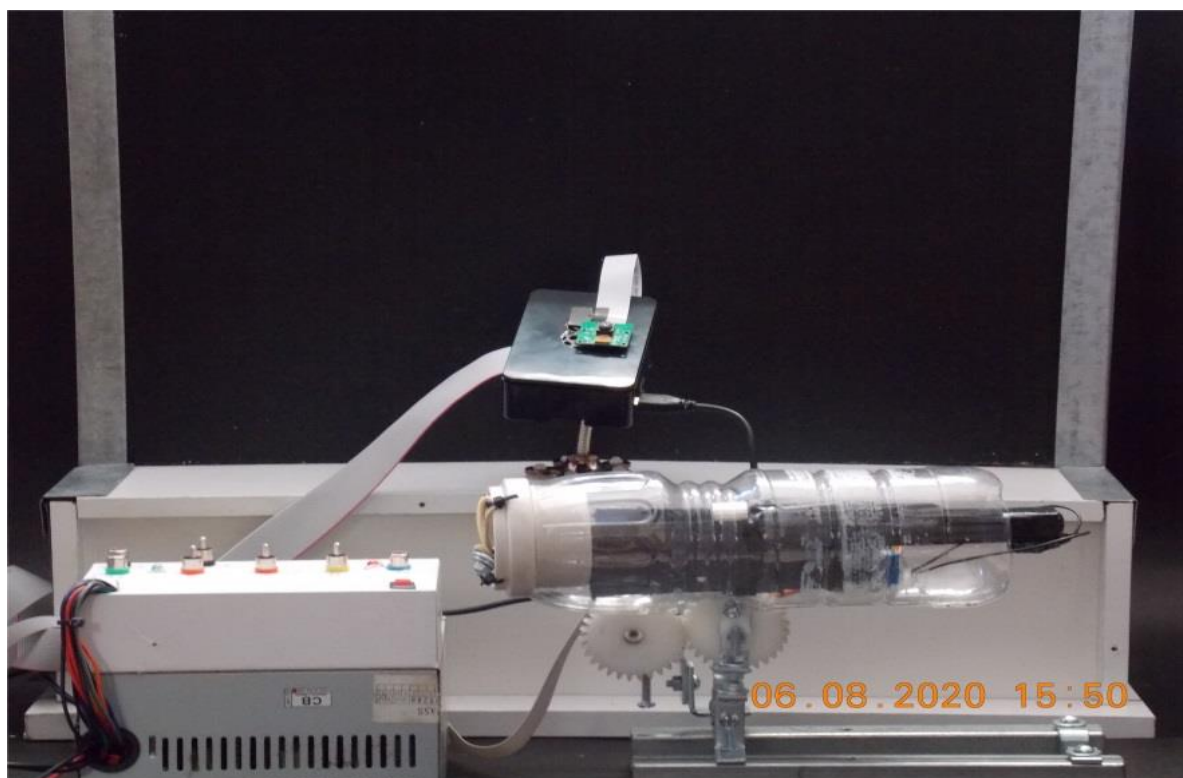
Fonte: Própria (2020)

Figura 19- Projeção Ortogonal do Anteparo negro



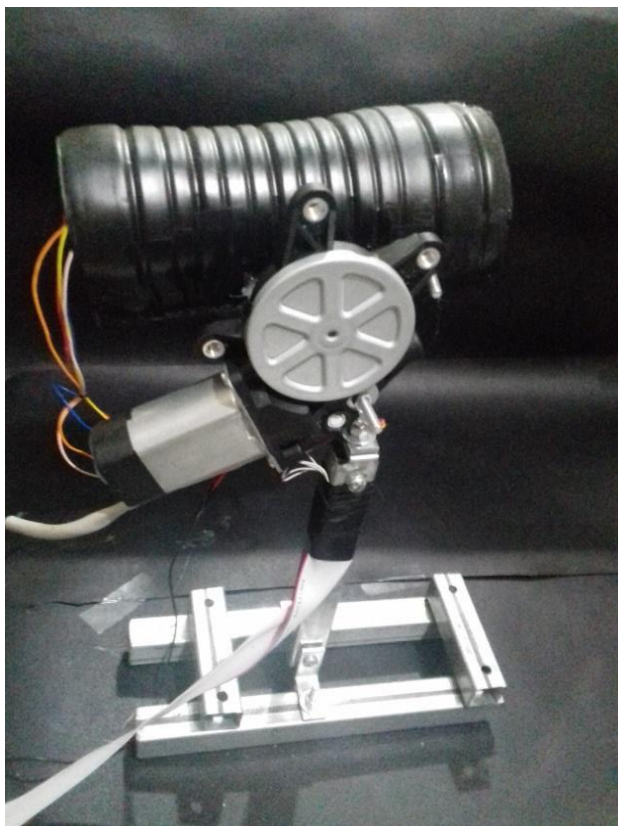
Fonte: Própria (2020)

Figura 20- Foto do L3D na etapa de testes.



Fonte: Própria (2020)

Figura 21- Lançador após o acabamento



Fonte: Própria (2020)

4.2.1 Propulsão da casca esférica

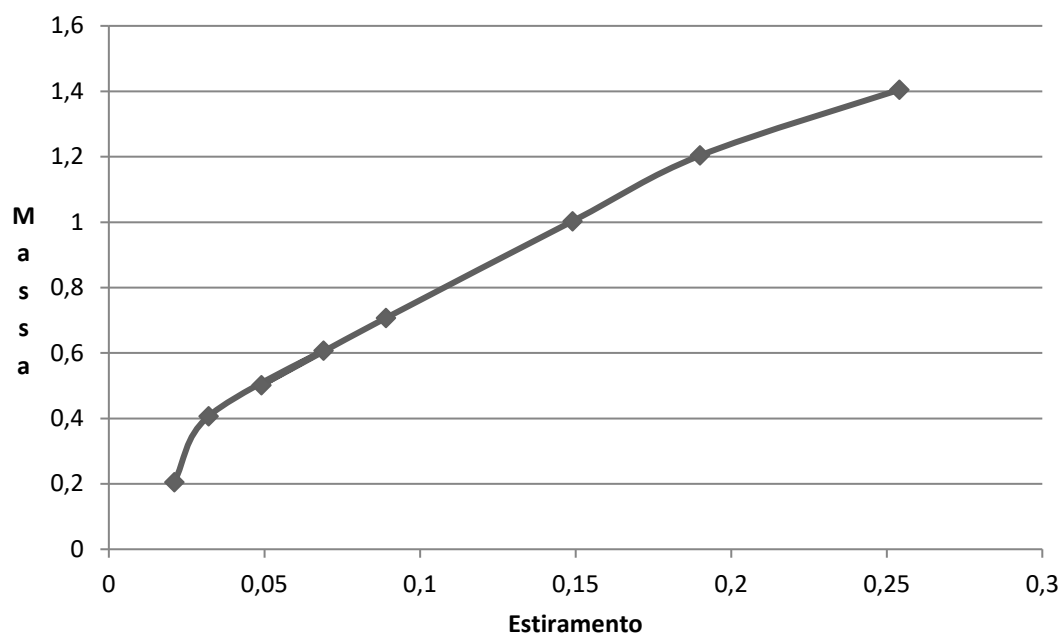
A propulsão da casca esférica é feita por tubos elásticos de látex comumente conhecidos como “liguinha”.

A relação tensão deformação da liguinha não apresenta comportamento linear[11], ou seja, não obedece a Lei de Hooke, mas sim se aproxima de uma função quadrática melhor representada pela Equação 7.

$$M = 0,12 + 7,6e - 10e^2 \quad (7)$$

A Figura 21 é constituída com os pontos experimentais da Equação 7, mostrando assim, o comportamento não linear da curva. As unidades referentes ao Gráfico 3 estão representadas no Sistema Internacional de Unidades.

Figura 21-Gráfico da Massa x Estiramento do elemento elástico.



Fonte: Própria (2020)

Tendo em vista a não linearidade do comportamento do elástico utilizado, os deslocamentos do avanço e recuo do eletroímã foram realizados de maneira empírica, definindo o deslocamento máximo adequado para as dimensões do anteparo negro de fundo e distância da câmera, conforme a Equação 8 o Avanço máximo da guia linear é:

$$\text{Avanço} = (28,0 \pm 1)mm \quad (8)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta etapa do projeto, o Kit didático é submetido a uma série de lançamentos para a análise do razoável funcionamento da variação do ângulo de lançamento e da intensidade da força percentual, ambos os fenômenos são dados como variáveis de entrada do sistema do L3D, executados pelo lançador e captados pela a câmera do Raspberry pi 3 modelo B+. Foram feitas 5 variações de força, sendo respectivamente: 20%F, 40%F, 60%.F, 80%.F e 100%.F. Ainda em cada intensidade percentual da força modificou-se o ângulo de lançamento em 3 valores de inclinação do motor 12VDC sendo eles: 30°, 45° e 60°. Em cada lançamento um vídeo foi gravado e analisado o seu alcance máximo, obtendo assim 5 amostras de cada configuração de ângulo de lançamento e intensidade da força, ou seja, 75 lançamentos ao todo, aos quais os valores são expressos nas Tabelas 2 à Tabela 6.

Tabela 2- Lançamentos com Intensidade de 20%

Intensidade de 20%			
	30°±5%	45°±5%	60°±5%
X1 [mm]	42±5%	145±5%	83±5%
X2 [mm]	57±5%	230±5%	100±5%
X3 [mm]	138±5%	145±5%	132±5%
X4 [mm]	139±5%	136±5%	150±5%
X5 [mm]	52±5%	123±5%	334±5%
A _{20%} [mm]	85±5%	155,5±5%	159,8±5%

Fonte: Própria (2021)

Tabela 3- Lançamentos com Intensidade de 40%

Intensidade de 40%			
	30°±5%	45°±5%	60°±5%
X1 [mm]	298±5%	294±5%	176±5%
X2 [mm]	239±5%	383±5%	73±5%
X3 [mm]	165±5%	253±5%	197±5%
X4 [mm]	270±5%	98±5%	200±5%
X5 [mm]	322±5%	279±5%	215±5%
A _{40%} [mm]	258,8±5%	261,4±5%	172,2±5%

Fonte: Própria (2021)

Tabela 4- Lançamentos com Intensidade de 60%

Intensidade de 60%			
	30°±5%	45°±5%	60°±5%
X1[mm]	196±5%	319±5%	360±5%
X2 [mm]	298±5%	309±5%	295±5%
X3 [mm]	361±5%	395±5%	397±5%
X4 [mm]	350±5%	390±5%	315±5%
X5 [mm]	300±5%	344±5%	309±5%
A_{60%} [mm]	301,8±5%	351,4±5%	335,2±5%

Fonte: Própria (2021)

Tabela 5- Lançamentos com Intensidade de 80%

Intensidade de 80%			
	30°±5%	45°±5%	60°±5%
X1[mm]	224±5%	574±5%	677±5%
X2 [mm]	624±5%	680±5%	617±5%
X3 [mm]	644,4±5%	652±5%	514±5%
X4 [mm]	680±5%	684±5%	577±5%
X5 [mm]	512±5%	697±5%	671±5%
A_{80%} [mm]	536,9±5%	657,4±5%	589,6±5%

Fonte: Própria (2021)

Tabela 6- Lançamentos com Intensidade de 100%

Intensidade de 100%			
	30°±5%	45°±5%	60°±5%
X1 [mm]	867±5%	887±5%	596±5%
X2 [mm]	755±5%	881±5%	718±5%
X3 [mm]	867±5%	589±5%	279±5%
X4 [mm]	963±5%	665±5%	619±5%
X5 [mm]	920±5%	585±5%	635±5%
A_{100%} [mm]	874,4±5%	721,4±5%	569,4±5%

Fonte: Própria (2021)

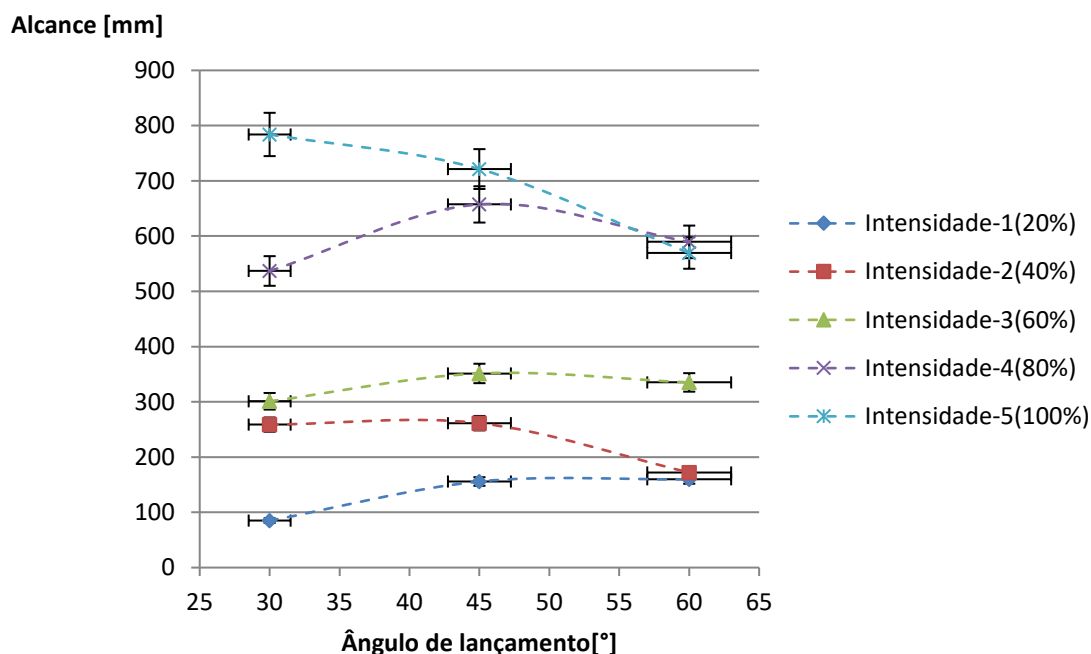
Através da observação dos dados apresentados nas Tabelas de intensidade da força de (20%, 40%, 60%, 80% e 100%), dando as amostras, em cada variação do ângulo, é possível verificar que conforme a intensidade da força de lançamentos aumenta em cada tabela o alcance médio aumenta de maneira direta, ou seja, quanto maior a força de lançamento mais longe o projétil é lançado. Entretanto, é possível verificar que a medida dos alcances variou de maneira considerável e ainda medidas muito discrepantes como, por exemplo: $X_2 = 73 \pm 5\%$ mm do ângulo de 60° e intensidade de 40% ou ainda o alcance médio de intensidade 100% e ângulo de $60^\circ \pm 5\%$, $X_3 = 279 \text{ mm} \pm 5\%$. Foram obtidas decorrentes de colisões muito variável entre o elemento propulsor e a esfera de ABS, ou seja, nem sempre essa colisão é no centro da esfera, promovendo vez ou outra colisões mais lateralizadas.

De maneira geral os alcances médios aumentaram com o aumento da força e através do Gráfico do alcance máximo expresso na Figura 22, onde cada intensidade foi tracejada mostrando uma tendência de trajetória média com um pico de alcance no ângulo de $45^\circ \pm 5\%$, onde corresponde o alcance máximo [13]. Na intensidade de 100% observa-se uma reta decrescente, o que diferencia essa curva das curvas das intensidades anteriores. Essa distorção deve-se a possíveis imprecisões somadas seus efeitos como: variação na posição da colisão do elástico, estiramento não linear do elástico como mostrado na Figura 21 e ainda diferença entre lançamento oblíquo teórico e prático, entre outros fatores.

É importante observar que aproximadamente a cada 15 lançamentos, 3 medidas distorcem muito da média, ou seja, abaixo de 100mm essa distorção grande em relação à média, indica o problema de colisões ineficientes, onde o elemento propulsor colide de maneira lateralizada na esfera de ABS, esse rendimento do lançador significa cerca de $\eta = 80\%$ de eficiência.

A variação de erro do alcance médio é uma aproximação, a relação entre o tamanho máximo do anteparo negro de fundo do L3D, que nesse experimento foi 1 metro e o diâmetro da esfera de ABS que é $D = 40 \text{ mm}$, essa relação é cerca de 4% e foi arredondada para 5%, pois foi observado ainda que há uma pequena variação do motor 12VDC. Pois a carga no eixo do motor varia na subida do ângulo de lançamento em relação à descida, isso muda a velocidade angular do Motor 12VDC resultando assim em um erro, cerca de 5% no ângulo de lançamento. Por isso foram adotadas ambas as grandezas uma tolerância de 5%.

Figura 22-Gráfico do alcance máximo.



Fonte: Própria (2021)

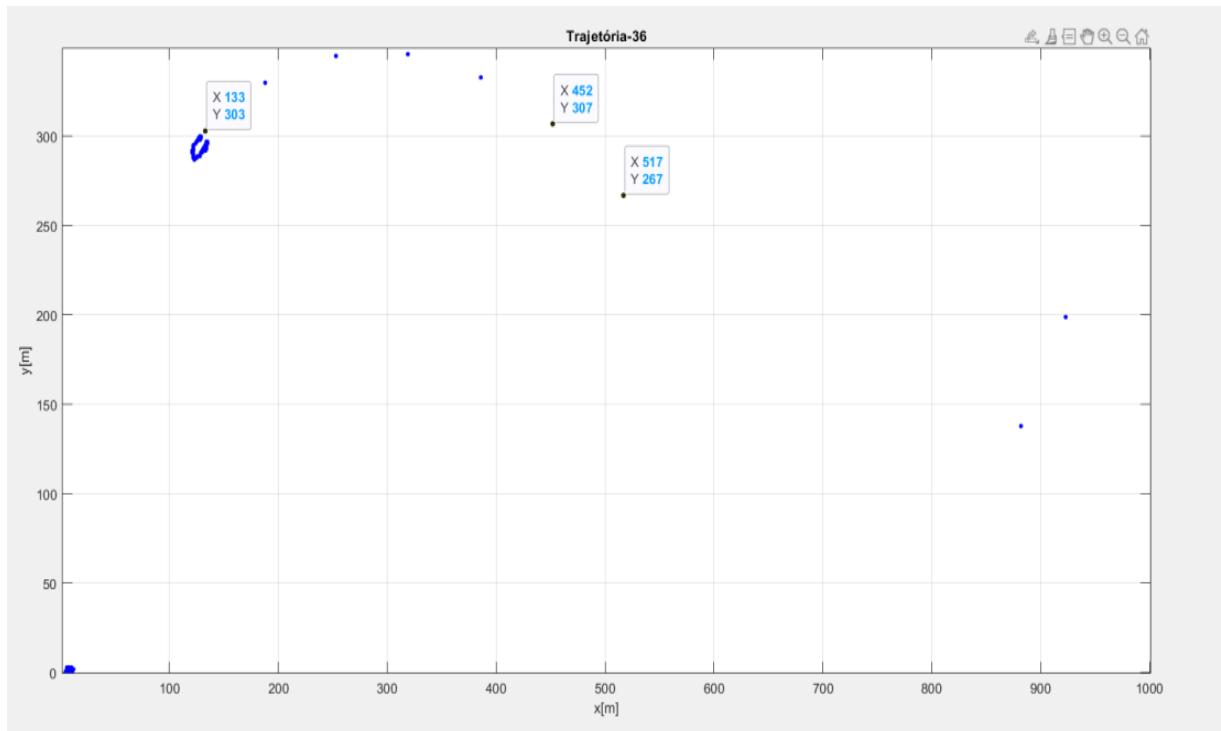
O lançador do L3D dentro das limitações de estrutura e incluindo materiais plásticos reaproveitados e customizados no acabamento do dispositivo, mostra-se adequado para lançamentos com eficiência de 80% e mesmo os 20% de eficiência não inclusos são lançamentos passíveis de estudos no rastreamento da visão computacional, apenas na prática a esfera alcança distâncias muito menores que a média, ou seja, na experiência prática, através dos dados é possível concluir que o eletroímã atrai, a cremalheira é acionada para distender o elástico de maneira variável para variar a força percentual. O ajuste entre a cremalheira e a engrenagem do motor de passo foi executado de maneira adequada para a funcionalidade imposta por esse sistema de relação de engrenagem.

Ainda o ângulo é variável através do motor 12VDC. Gerando assim um lançamento completo e automatizado, com dados digitalizados e transmitidos para o PC de maneira remota através da rede Wi-fi, logada através do microcontrolador Raspberry pi 3 B+[8], estando assim de acordo com as tendências da indústria 4.0 e comunicação IoT, uma vez que é necessário haver rede Wi-fi ativa para essa comunicação acontecer, caso contrário o Raspberry não consegue receber os dados

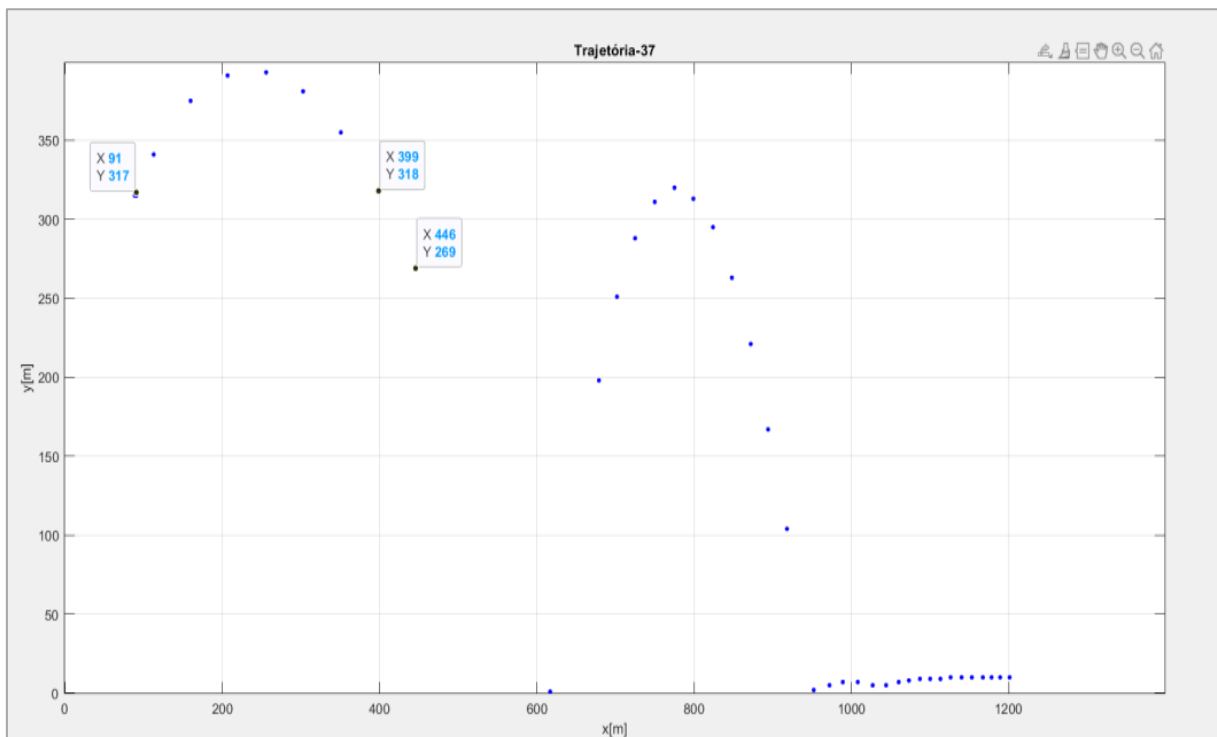
de entrada para operar o lançador. Assim a solução em caso de falta de rede Wi-fi é possível realizar o experimento através dos periféricos de entrada do microcontrolador, onde as portas USBs podem conectar mouse e teclado, a porta HDMI o monitor, sendo esses periféricos de saída do microcontrolador.

O Kit didático funcionou de maneira geral, onde o vídeo é necessário gravar e salvar com o nome “teste” na pasta Matlab na área de trabalho do Raspberry pi 3 modelo B+ após, abrindo o código com o nome “Experimentos” e digitando “Enter” o experimento é realizado e o gráfico plotado na tela do monitor do PC, projetor, tela entre outros periféricos de saída conforme a possibilidade e preferência do professor que realizará o experimento.

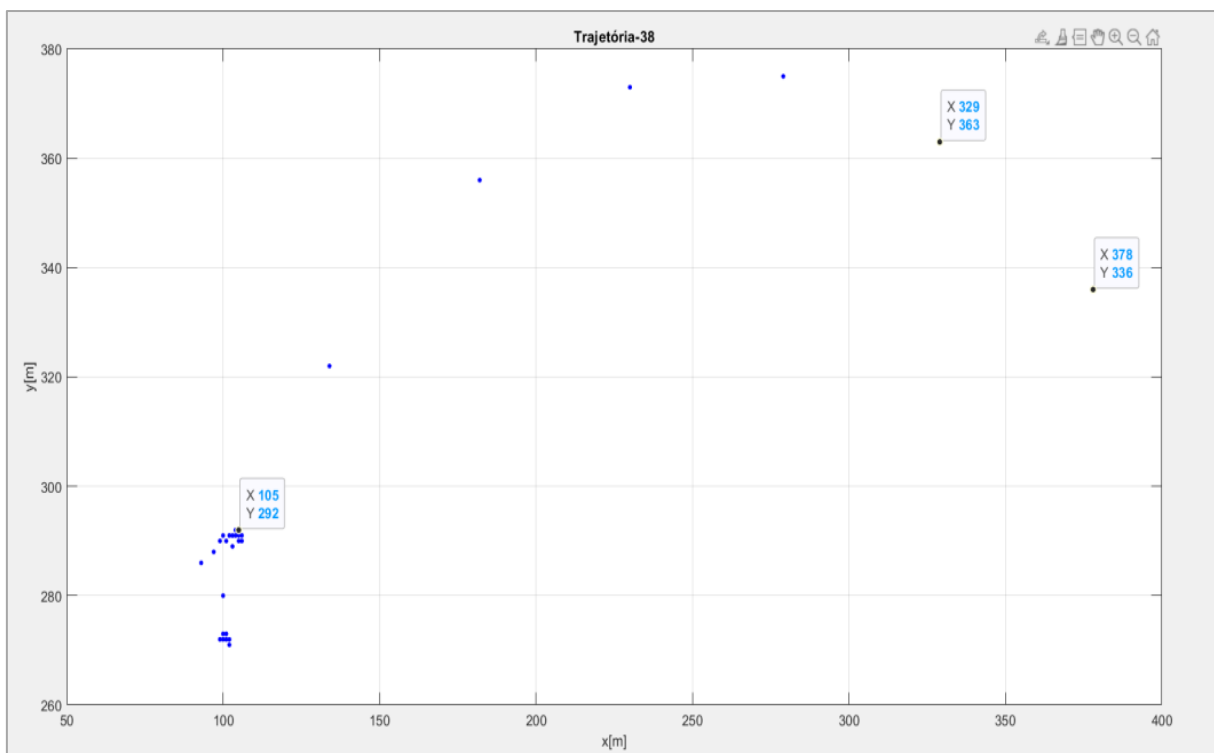
O experimento de Física mecânica sugerido para a operação do Kit didático L3D, é uma releitura da 9ª experiência contida na apostila de Física Mecânica da Faculdade de Tecnologia de São Paulo promovida pelo Departamento de Ensino Geral da Faculdade. Tendo em vista que o método didático desta experiência denominada na apostila de “Lançamento Horizontal de Projeteis (Balística)” no L3D apenas difere que existe a possibilidade de lançar o projétil tanto horizontalmente quanto em um ângulo oblíquo. No experimento demonstrado neste trabalho foi a trajetória de inclinação $60^{\circ} \pm 3'$ e Intensidade da Força de $60\% \cdot F$, cujo a imagem dos gráficos são apresentadas nas Figuras 23 à Figura 28, podendo ser observado nessas figuras a sequência da trajetória da Esfera de ABS.

Figura 23- Trajetória do lançamento à $45^{\circ} \pm 5\%$ e 60% de intensidade.

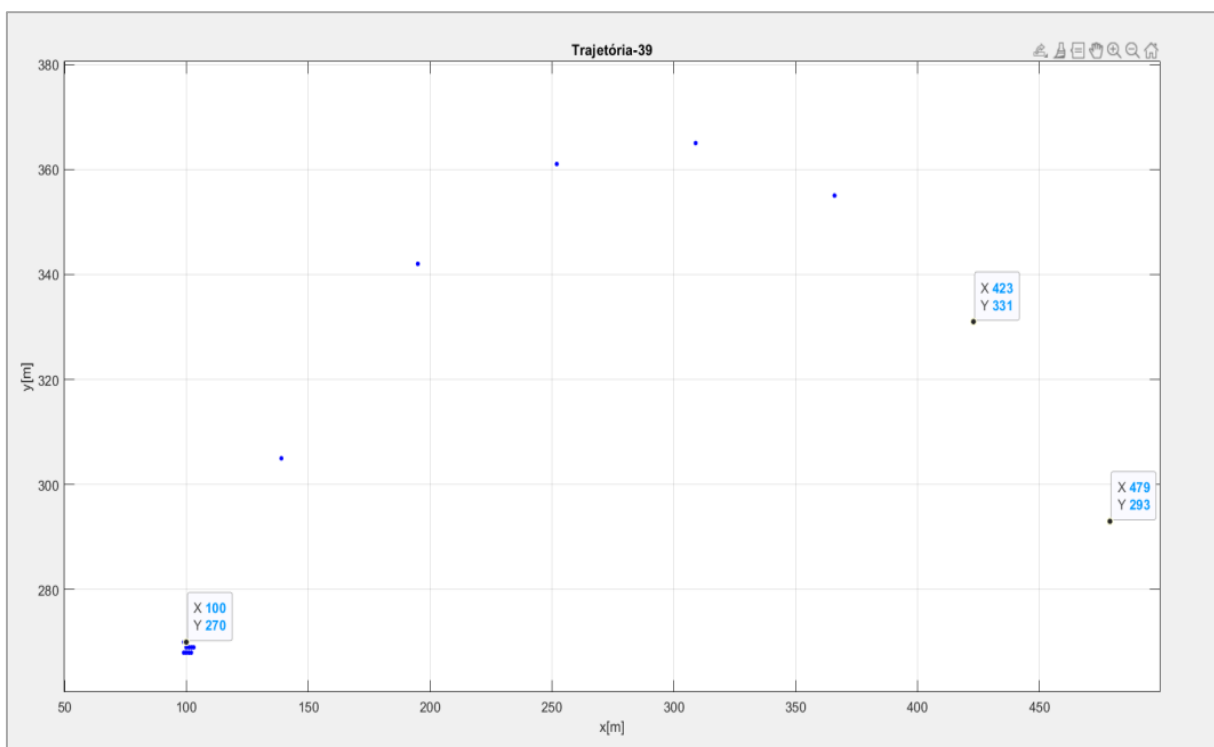
Fonte: Própria (2021)

Figura 24- Trajetória do lançamento à $45^{\circ} \pm 5\%$ e 60% de intensidade.

Fonte: Própria (2021)

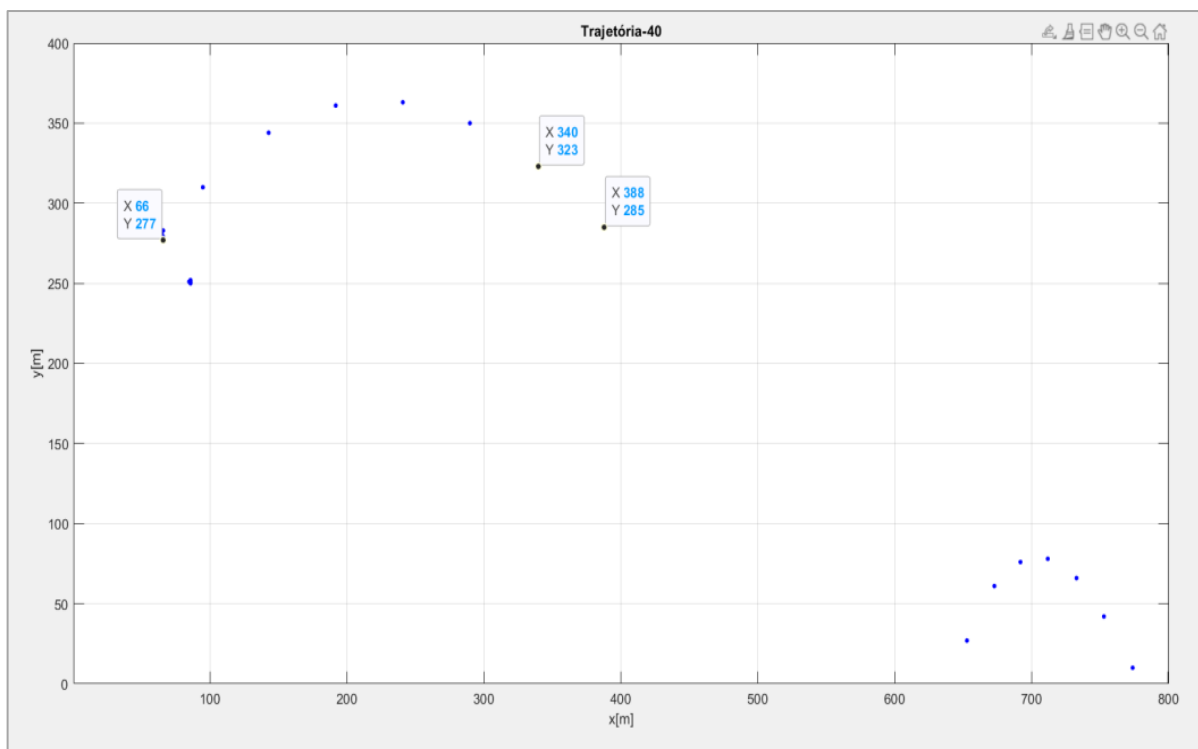
Figura 25- Trajetória do lançamento à $45^{\circ} \pm 5\%$ e 60% de intensidade.

Fonte: Própria (2021)

Figura 26- Trajetória do lançamento à $45^{\circ} \pm 5\%$ e 60% de intensidade.

Fonte: Própria (2021)

Figura 27- Trajetória do lançamento à $45^{\circ} \pm 5\%$ e 60% de intensidade.



Fonte: Própria (2021)

As imagens apresentadas anteriormente, contém as informações sobre alcance máximo e altura máxima para só assim obter as informações para o cálculo das velocidades e tempos de queda da esfera de ABS, em cada lançamento, em um conjunto de 5 amostras ao todo.

Conforme está descrito na Apostila desse experimento apresentado na referência [17] na página 81, o procedimento experimental da sequência das atividades dessa proposta de experiência se elenca do seguinte modo:

Lançamento Horizontal: determinação de $|\vec{v}_0|$.

- Para efetuar o lançamento do projétil, posicione o lançador. Adote o ângulo intensidade da Força.
- (Em caso de dúvidas recorra ao Docente).
- Meça a altura $h_{máx.}$ de lançamento e calcule o tempo de queda através da Equação 8:

$$t_q = \sqrt{\frac{2 \cdot h_{máx.}}{g}} \quad (8)$$

Observação. $g = (9,78 \pm 0,01)m/s^2$.

- Efetue 5 disparos e verifique o ponto que a bolinha atinge $A_{m\acute{a}x}$.

Anote os valores em uma tabela assim como os valores de \vec{v}_0 . calculados em módulo de acordo com o a Equação 9.”

$$|\vec{v}_0| = A_{m\acute{a}x} \frac{g}{2 \cdot h_{m\acute{a}x}} \quad (9)$$

Na Tabela 7 são apresentados os valores esperados dessa experiência fundamentada na didática da Fatec-SP e mudando apenas a forma de medir a experiência, que nesse trabalho o elemento sensor é uma câmera. O método utilizado é a Visão computacional.

Tabela 7-Obtida no L3D através da experiência de lançamento oblíquo da Fatec-SP.

	$A_{m\acute{a}x}$ [mm]	$h_{m\acute{a}x}$. [mm]	t_q [ms]	\vec{v}_0 . [m/s]
Lançamento 1	320,0±0,5	44,0±0,5	94,0±0,5	3,37±0,02
Lançamento 2	309,0±0,5	78,0±0,5	126,0±0,4	2,44±0,01
Lançamento 3	395,0±0,5	83,0±0,5	130,3±0,07	3,03±0,01
Lançamento 4	390,0±0,5	95,0±0,5	139,4±0,4	8,85±0,01
Lançamento 5	344,0±0,5	88,0±0,5	134,0±3	6,11±0,04

Fonte: Própria (2021)

A sequência de atividades parcialmente transcritas da referência [17] mostra as nomenclaturas do L3D como “canhão= lançador” e assim sucessivamente para o melhor entendimento da adaptação proposta como melhoria nesse projeto. O L3D pode também ser denominado como melhoria contínua de uma aula prática de Física ou ao menos uma proposta de melhoria. E assim cumpre uma importante função de inovar em tempos de pandemia, podendo ainda ser adaptado para possíveis aulas online. Ainda como possíveis melhorias pode-se comparar os lançamentos executados com lançamentos teóricos, dada a velocidade inicial “ $|\vec{v}_0|$ ” e ângulo inicial que é digitado como entrada no algoritmo do L3D, com essa última ideia de experiência é possível notar as diferenças que o efeito da força de arrasto “ $|\vec{F}_a|$ ”

definido na Equação 9 pode gerar entre a trajetória prática medida no L3D e a trajetória teórica calculada, demonstrando assim que novos métodos permitem novas investigações sobre os fenômenos Físicos como por exemplo: variação da aceleração da gravidade com a altura [12], entre outros fenômenos.

$$|\vec{F}_a| = \frac{1}{2} C_a \cdot \rho \cdot A \cdot V^2 \quad (9)$$

A Equação 9 mostra que a força de arrasto depende da área característica do objeto, no experimento realizado é a área de secção da bolinha lançada, da viscosidade do meio ρ e do coeficiente de arrasto C_a . Note que mesmo a consideração do efeito aerodinâmico existe aproximações, pois o ar não é incompressível e a Equação 9 é válida apenas em fluidos incompressíveis [14].

6 CONCLUSÃO

Com base no estudo proposto neste trabalho, que se definiu em desenvolver um Kit didático de lançamento oblíquo para a comparação entre o estudo de Física teórica e experimental, o modelo de análise por meio do método de visão computacional tem potencial de agregar na experimentação em laboratório, um método mais inovador e elucidativo para os alunos.

Por meio da mudança do método de medição, modelos teóricos simplificados e modelos experimentais podem ser comparados. O L3D garante razoável precisão nas medidas conforme as incertezas apresentadas na ordem de $1mm$, em uma faixa de medida no experimento apresentado de $1000mm^2$, quando a distância da câmera é: $D = (1000 \pm 1)mm$. Unindo diversas disciplinas em seu experimento como, por exemplo, Física, Cálculo e Estatística.

Na comparação das amostras dos lançamentos da Tabela 7, além da evidente demonstração de como a automação pode propor a melhoria de projetos, também é possível propor novas formas de estudo, permitindo assim o aprofundamento no conteúdo de lançamento oblíquo. Sendo essa estratégia multidisciplinar tão necessária em um mundo com Inteligência Artificial e Big Data.

Fazendo uso em sua operação das diversas disciplinas do curso de Eletrônica industrial no Kit didático o caminho oposto do método científico foi proposto, partindo do estudo cinemático como referência para só então comparar com os dados empíricos, se importando com as causas, não apenas para verificar que novos métodos podem ser propostos e para garantir novos resultados na didática pedagógica de um conteúdo. Além de verificar que a lógica do método científico pode ser verdadeira no sentido contrário do processo.

Por fim Segundo Rosa e Silva[18] “ A linearidade encontrada nos livros didáticos é usada para facilitar a explicação da história narrada”. O mais interessante é poder observar a experiência dessa pequena proposta de Experimentação no século XXI, após 379 anos do falecimento do grande Físico Italiano Galileu Galilei e o seu famoso experimento da queda dos corpos na torre de Pisa na Itália, hoje em tempos diferentes e com o auxílio da tecnologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] COELHO, Pedro Miguel Nogueira. Rumo à indústria 4.0. Coimbra.
- [2] BACKES, André Ricardo; JUNIOR, Jarbas Joaci de Mesquita Sá. Introdução à visão computacional usando Matlab. Alta Books Editora, p. 1-3, 2016.
- [3] COELHO, P. M. N. Rumo à Indústria 4.0. Coimbra, Portugal: Universidade de Coimbra, 2016. Disponível em: <<https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/36992/>> Acesso em 20 de janeiro de 2020.
- [4] ROCHA, A. M. A. et al. Processamento de imagem digital com Matlab: uma aplicação em ambiente industrial. ENEGI 2013–Atas do 2o Encontro Nacional de Engenharia e Gestão Industrial, p. 75, 2013.
- [5] FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – FIRJAN. Indústria 4.0. Caderno Senai de Inovação. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em
- [6] Disponível em:
<<http://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-inovacao/industria-4-0-1.htm>> Acesso em 24 de janeiro de 2020.
- [7] NUSSENZVEIG, Herch Moysés. Curso de Física básica. 4ª edição. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.
- [8] OLIVEIRA, Sérgio de. Internet das Coisas com ESP8266, arduino e raspberry pi. Novatec Editora, p. 18-20, 2017.
- [9] Disponível em <<http://www.fazendovideo.com.br/artigos/progressive-scan-o-que-e-para-que-serve.html>>
- [10] AUGUSTO César de Castro Barbosa, Cláudio Gonçalves Carvalhaes e Marcus Vinicius Tovar Costa A computação numérica como ferramenta para o professor de Física do Ensino Médio
, p.249.
- [11] FERREIRA Pablo e RINO José P. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 2, p. 195 - 199, (2006) p. 197.
Disponível em:
<https://www2.sorocaba.unesp.br/professor/jrborto/2008S2/FT/FT_aula3.pdf>
- [12] Disponível em <<https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=variacao-do-peso-com-a-altura>>;

[13] Halliday D., R. Robert, W. Jearl. FUNDAMENTOS DE FÍSICA vol. 1. 4ª edição. São Paulo: LTC, 2002.

[14] INFLUÊNCIA DA COMPRESSIBILIDADE DO AR NA OBTENÇÃO DE PARÂMETROS DE PERMEABILIDADE DE CONCRETOS REFRÉTÁRIOS.MDM Innocentini, ARF Pardo, VC Pandolfelli - Anais 43º Cong. Bras. 1999

[15] Rev. bras. eng. agríc. ambient. vol.8 no.2-3 Campina Grande May/Dec. 2004.

[16]

Disponível em:

< <https://www.ime.unicamp.br/~cnaber/cursomodelosnaolinearesR.pdf>>

[17] Apostila de Estatística Fatec-SP, Disciplina de Estatística 1.

APÊNDICE

Apêndice 1

Lista de Materiais

- 1 Raspberry pi Versão 3 modelo B+;
- 1 Fonte modelo: XBS-0530 de 5V, 3A;
- 1 Monitor LCD LED 18,5”;
- 1 Cabo HDMI;
- 1 Mouse multilaser óptico classic;
- 1 Motor 12VDC;
- 1 Motor de passo unipolar 28BYJ-48;
- 1 Driver Uln2003;
- 1 Eletro imã 2,5Kg 12VDC;
- 1 Camera 5mp para Raspberry pi;
- 1 Cabo Flat, 15 vias para Raspberry pi;
- 3 leds(verde amarelo e vermelho);
- 3 resistores de 330 Ohms;
- 3m de fios 1mm de diâmetro;
- Estanho para solda;
- 1 Transistor NPN BC546B;
- 2 m² de de madeira compensada 12mm de espessura;
- 1m² de chapa galvanizada 0,2mm de espessura;
- 8 parafusos tipo fenda cabeça redonda, rosca soberba, passo 1mm, e 10mm comprimento;
- 1m² madeira compensada com 5mm de espessura
- 1 Tinta spray preto fosco;
- 400g de filamento de Pla preto 1,75mm de diâmetro;
- 1 Bolinha para tênis de mesa branca profissional DHS 1 estrela com 40mm de diâmetro(casca esférica);
- 0,25m de tubo PVC 1,5”;

- 1 parafuso cabeça redonda 7mm de diâmetro, rosca de perfil triangular com passo de 1,2mm e comprimento de 60mm;
- 2 porcas sextavada com rosca de perfil triangular e 1,2mm de passo;
- 1 rolamento fixo de esferas de 32mm de diâmetro externo;
- 4 tubos elásticos de látex amarelo;
- 1 fita isolante;
- Cola quente.
- Módulo relê 12V.

Lista de Equipamentos

- 1 ferro de solda 40W;
- 1 osciloscópio;
- 1 multímetro;
- 1 Notebook;
- 1 protoboard;
- 1 arco de serra;
- 1 impressora 3d;
- 1 kit de chaves lelong;
- 1 pistola de cola quente;
- 1 dobradeira;
- 1 máquina de solda MIG.

Apêndice 2

Gráfico Homem-Máquina do L3D

Nome da disciplina: Física I		Máquina: L3D		
Nome da operação: Experiência Lançamento Oblíquo n°: 01				
Tempo	Homem	Atividade	Máquina	Atividade
1 min	Pegar o L3D.			
1 min	Posicionar o L3D.			
5 min	Conectar alimentação 110V, teclado, mouse e monitor (P3(in),P5(in),P2(in)).		Ligar o LED Vermelho(D3).	
1 min	Apertar o botão (B1).		Ligar o LED Verde(L1)	
30 seg	Clicar no ícone L3D.			
1 min			Perguntar Θ , Força.	
2 min	Digitar Θ . Força.			
30 seg	Pressionar o ENTER.			
5 seg			Ligar o LED Amarelo e desligar o LED Verde (L2,L1).	
10seg			Posicionar o ângulo Θ .	
10 seg			Ligar e posicionar o eletroímã (D1).	
5 seg			Preparar o lançamento.	
30 seg	Posicionar o elástico e a casca esfera.			
5 seg			Contagem regressiva.	
30 seg			Lançar e imprimir os gráficos.	
30seg			Salvar o arquivo.	
5 min	Analisar os resultados.		Desligar LED Amarelo(L2), Vermelho(L3) e ligar o LED Verde(L1).	
2 min	Fechar o L3D e desligar.		Desligar LED Verde (L1).	
2 min	Guardar o L3D.			
Tempo de total do operador:	20 minutos			
Tempo total do L3D:	15 minutos e 35 seg.			

Apêndice 3

Código de Controle do L3D

```

import time .....#Importa as bibliotecas.
import RPi.GPIO as GPIO
import sys
from guizero import App,Text
from guizero import App,PushButton
from guizero import App, TextBox
from guizero import App, Slider
forca = int() .....#Declaração das variáveis globais.
ang = int()
n = int()
d = -2
StepDir = d
cont1=10

.....#Define a função . responsável pela operação dos dispositivos.

def oper(ang, d, forca):

    if(ang!=0):
        GPIO.setup(21, GPIO.OUT)
        GPIO.setup(4, GPIO.OUT)
        GPIO.setup(20, GPIO.OUT)
        GPIO.output(21, GPIO.LOW)
        GPIO.output(4, GPIO.HIGH)
        GPIO.outpup(4, GPIO.HIGH)

    if(d!=0 and forca!=0):
        num1=int(0)
        StepPins = [5,6,13,19]
        # seta todos os pinos como saída
        for pin in StepPins: .....# Operação do Motor de passo.
            GPIO.setup(pin,GPIO.OUT)
            GPIO.output(pin, False)
        # Define a sequência de pulsos do motor de passo
        Seq = [[1,0,0,1],
                [1,0,0,0],
                [1,1,0,0],
                [0,1,0,0],
                [0,1,1,0],
                [0,0,1,0],
                [0,0,1,1],
                [0,0,0,1]]

```

```

StepCount = len(Seq)
StepDir = d # Set to 1 or 2 for clockwise
            # Set to -1 or -2 for anti-clockwise

----- # Ler o tempo de espera da linha de comando
if len(sys.argv)>1:
    WaitTime = int(sys.argv[1])/float(1000)
else:
    WaitTime = 10/float(1000)

----- # Inicialização da variável.
StepCounter = 0

----- # Inicio do loop.
while (num1<forca*120):
    num1= num1+1
    for pin in range(0, 4):
        xpin = StepPins[pin]
        if Seq[StepCounter][pin]!=0:
            GPIO.output(xpin, True)
        else:
            GPIO.output(xpin, False)

    StepCounter += StepDir

----- # Se finalizar o passo do motor inicia novamente.
if (StepCounter>=StepCount):
    StepCounter = 0
if (StepCounter<0):
    StepCounter = StepCount+StepDir

    time.sleep(WaitTime)
if forca<0 or forca>100:
    print("A Força digitada não é válida!")

if ang<0 or ang>90:
    print("O angulo de lançamento não é válido!")
else:
    i=int(0)

----- # Configura os pinos de saída do projeto.
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(24,GPIO.OUT)
GPIO.setup(16,GPIO.OUT)
GPIO.setup(20,GPIO.OUT)
    GPIO.output(20, True)
    time.sleep(2)
GPIO.setup(21,GPIO.OUT)
GPIO.setup(12,GPIO.OUT)

```

```

def forca_total(slider_value): ..... # Define a função que transforma o ajuste da variável força
    welcome_message.size=slider_value
    forca= welcome_message

def ang_total(slider_value): ..... # Define a função que transforma o ajuste da variável ang.
    welcome_message.size=slider_value
    ang= welcome_message

..... # Configuração da tela de interface com o usuário.
app = App(title="INTERFACE L3D")
primeira_msg= Text(app, text="Bem Vindo ao L3D", size=15, font="Times New Roman",
color="blue")
seg_msg= Text(app, text="\n\nDigite uma Força(0% à 100%)", size=12, font="Times New
Roman")
text_size = Slider(app, command= forca_total, start=1, end=99)
terceira_msg= Text(app, text="\n\nDigite um ângulo(0° à 90°)", size=12, font="Times New
Roman")
text_size = Slider(app, command= oper, start=1, end=89)
update_text = PushButton(app,command=oper, text="OK")
app.display() ..... # imprime a tela de INTERFACE na tela.
GPIO.output(20, False)
GPIO.output(21, True)

while i<=1: ..... # Código de operação generalizado do L3D.
    if(i==0):
        #ligar o eletroimã
        GPIO.output(12, True)
        terceira_msg= Text(app, text="\nPreparando o Sistema")
        time.sleep(3)
        d=-2
        i=i+1
        oper(ang, d, forca)
        while cont1 > 0:
            print("%i" % cont1)
            time.sleep(1)
            #Inverter o valor do led

            GPIO.output(21, False)
            GPIO.output(16, True)
            cont1 = cont1 - 1
            time.sleep(1)
        else:
            GPIO.output(12, False) ..... # Disparo do L3D.
            time.sleep(3)
            d=2
            ang=-ang
            oper(ang, d, forca)
            i = i + 1
            n=input("Deseja fazer outra operação?(1-Sim,2-Não)")
            if(n==1):

```

```

    i=0
else:
    print("Parabéns lançamento executado com sucesso!")
    time.sleep(3)
    print("Obrigado por utilizar o L3D")

```

Apêndice 4

Código de controle da Visão Computacional

```

video_entrada = VideoReader('C:\Users\Jailton Gonçalves\Desktop\kit
didático\viabilidade\imagens 1\video lento.AVI'); %Leitura do vídeo do lançamento.

```

```

N=video_entrada.NumberOfFrames; %Criação da variável N para carregar o número de
frames.

```

```

Cx=[]; %Criação da matriz Cx para armazenar os valores do ordenadas dos pontos.
Cy=[]; %Criação da matriz Cy para armazenar os valores das abscissas dos pontos.
W=[]; %Criação da matriz W para armazenar as diferenças de espaços sucessivos no eixo x.
for i=1:N %Loop para o PDI e cálculo dos Centros Geométricos de cada frame.
    imagem=read(video_entrada,i); %Leitura do frame de índice i na sequência dos vídeos.
    BW=im2bw(imagem,0.85); % Binarização do frame com filtro de 0,85.
    im_ok=bwareaopen(BW,30); %Retirada dos ruídos menos com área menor que 30 pixels.
    s=regionprops(im_ok,'centroid'); %Cálculos do centros geométricos.
    C = cat(1,s.Centroid); %Concatenação dos pontos do centro geométricos.
    t=9/275; %Menor diferença de tempo entre cada frame que contem a casca esférica.
    D=[0:t:9]; %Criação da matriz D com os pontos de intervalo t.
    if(~isempty(C)) %Condição para trabalhar apenas com os frames que tem centros
geométricos.
        C=round(C); %Arredondamento elementos da matriz C.
        Cx= [Cx ; C(:,1)]; %Separação das ordenadas e armazenamento em Cx.
        Cy= [Cy ; C(:,2)]; %Separação das abscissas e armazenamento em Cy.
    else %Complemento da condição se os centros geométricos forem vazios.
        C=0; %Definição como zero caso os centros geométricos sejam vazios, pois conjunto
vazio não é número.
    end %Fim da primeira condição.
end %Fim do primeiro loop.
M = Cx'; %Definição da matriz linha M como sendo a transposta da matriz coluna Cx.
N = (video_entrada.Height - Cy)'; %Definição da matriz linha N como sendo a transposta da
matriz coluna Cy com as posições das linhas invertidas.
for a=1:length(M) %Segundo loop para calcular a diferenças de espaço sucessivos em cada
eixo cartesiano.
    if a>1 %Segunda condição para retirar a=0.
        W(1,a-1)= M(1,a)-(M(1,a-1)); %Cálculo das diferenças sucessivas no eixo x.
        Z(1,a-1)= N(1,a)-(N(1,a-1)); %Cálculo das diferenças sucessivas no eixo y.
    end %Fim da segunda condição.
end %Fim do segundo loop.

```


Apêndice 5

Memorial de cálculo para o dimensionamento dos resistores do circuito do L3D.

Resistores limitadores de corrente dos leds (L1, L2, L3)

A tensão de funcionamento dos leds é 2V, <http://www.comofazerascosas.com.br/como-calculiar-o-resistor-adequado-para-um-led.html> e corrente máxima de funcionamento 20mA.

Considerando um corrente de 10mA.

Por 2ª lei de Kirchhoff

$$V_a = V_f + R \cdot I$$

Para:

$V_a = 5V$ (tensão do periférico do Raspberry pi 3)

$V_f = 2V$ (Tensão de funcionamento do led).

$R =$ (Resistor limitador de corrente do led).

$I = 20mA$ (corrente de funcionamento do led).

Logo:

$$5V = 2V + R \cdot 10mA$$

$$R = 300\Omega$$

No projeto será utilizado resistores limitadores de 330 Ω .

Resistor da base do transistor BC548

Para o transistor bipolar de junção trabalhar como chave, é necessário o transistor operar em corte e em saturação cujos os parâmetros são apresentados a seguir:

a) Corte (chave aberta)

$$I_c = 0;$$

$$V_{ce} = V_{cc};$$

b) Saturação (chave fechada)

$$I_c = \frac{V_{cc}}{R_c}$$

Sendo $V_{be} = 0,7V$

Corrente nominal do eletroímã.

$$I_c = 250\text{mA}$$

V_{cc} = Tensão no coletor;

V_{bb} = Tensão na base;

V_{ce} = Tensão coletor base;

I_c = Corrente no coletor.

Sendo o ganho do transistor na saturação $\beta_{sat} = 10$.

$$\beta_{sat} = \frac{I_c}{I_b}$$

$$I_b = \frac{250\text{mA}}{10} \rightarrow I_b = 25\text{mA}$$

Por 2ª lei de Kirchhoff:

$$V_{bb} = R_4 \cdot I_b + V_{be}$$

$$5\text{V} = R_4 \cdot \frac{25}{1000} + 0,7 \rightarrow 4,3 \cdot 40 = R_4 \rightarrow R_4 = 172\Omega$$

O resistor utilizado no projeto é: $R_4 = 200\Omega$

ANEXOS

Anexo 1

As especificações básicas do hardware do Microcontrolador são:
O Raspberry Pi 3 Modelo B + é a revisão final da gama Raspberry Pi 3.

- Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) SoC de 64 bits a 1.4GHz
- SDRAM LPDDR2 de 1 GB
- LAN sem fio de 2,4 GHz e 5 GHz IEEE 802.11.b / g / n / ac, Bluetooth 4.2, BLE
- Gigabit Ethernet sobre USB 2.0 (taxa de transferência máxima de 300 Mbps)
- Cabeçalho GPIO estendido de 40 pinos
- HDMI em tamanho real
- 4 portas USB 2.0
- Porta da câmera CSI para conectar uma câmera Raspberry Pi
- Porta de exibição DSI para conectar uma tela sensível ao toque Raspberry Pi
- Saída estéreo de 4 polos e porta de vídeo composto
- Porta Micro SD para carregar seu sistema operacional e armazenar dados
- Entrada de alimentação 5V / 2.5A DC
- Suporte a Power-over-Ethernet (PoE) (requer PoE HAT separado)

Data sheet Raspberry Pi modelo B:

Disponível

em:

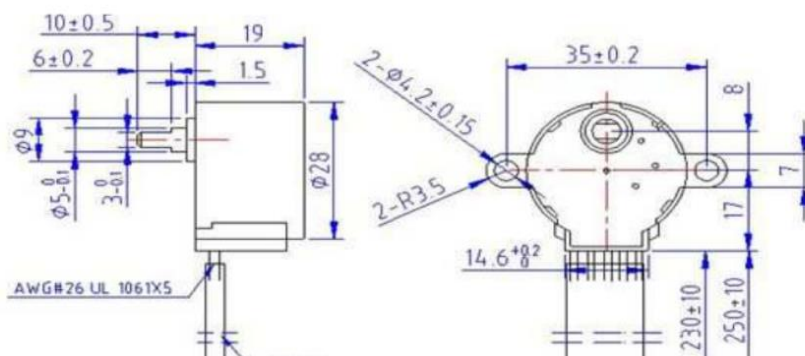
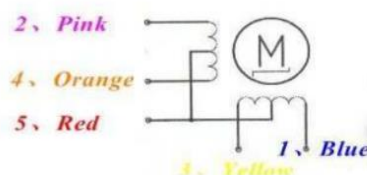
<

<https://www.alliedelec.com/m/d/4252b1ecd92888dbb9d8a39b536e7bf2.pdf>> Acesso

em 29 de janeiro de 2020

Anexo 2

Rated voltage :	5VDC
Number of Phase	4
Speed Variation Ratio	1/64
Stride Angle	5.625°/64
Frequency	100Hz
DC resistance	50Ω±7%(25°C)
Idle In-traction Frequency	> 600Hz
Idle Out-traction Frequency	> 1000Hz
In-traction Torque	>34.3mN.m(120Hz)
Self-positioning Torque	>34.3mN.m
Friction torque	600-1200 gf.cm
Pull in torque	300 gf.cm
Insulated resistance	>10MΩ(500V)
Insulated electricity power	600VAC/1mA/1s
Insulation grade	A
Rise in Temperature	<40K(120Hz)
Noise	<35dB(120Hz, No load, 10cm)
Model	28BYJ-48 – 5V



Anexo 3

O Eletroímã 12V 2,5Kg parece pequeno e inofensivo, mas apesar do seu tamanho, ele consegue levantar até 2,5 kg se ligado em 12 V. Ele pode ser ligado também a 5 V, como um Arduino, por exemplo, mas sua força é reduzida.

Pode ser usado para pegar materiais ferromagnéticos, como alguns guindastes fazem. O eletroímã é composto por uma bobina que ao receber uma corrente, gera um campo magnético, em outras palavras, um ímã.

Especificações:

- Eletroímã
- Tensão de operação: até 12 V (DC)
- Corrente: 0,25 A
- Força: até 25 N
- Furo para fixação: M3
- Diâmetro: 20 mm
- Altura: 15 mm

Acompanha:

- 01 – Eletroímã 12V 2,5Kg
- 01 – Parafuso para fixação
- 02 – Porcas

Disponível em <<https://www.filipeflop.com/produto/eletroima-12v-25kg/>>