

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**Projeto de um arremessador de bolas para cachorro
acionado por controle remoto**

Fabio Eiji Nakane
Rodrigo Akira Kumazawa

São Paulo
2018

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Projeto de um arremessador de bolas para cachorro acionado por controle remoto

Trabalho de Formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Graduação em Engenharia

Fábio Eiji Nakane
Rodrigo Akira Kumazawa

Orientador: Edilson Hiroshi Tamai

Área de Concentração: Engenharia Mecânica

São Paulo
2018

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

Nakane, Fabio Eiji

Projeto de um arremessador de bolas para cachorro acionado por controle remoto / F. E. Nakane, R. A. Kumazawa -- São Paulo, 2018.
113 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1.Arremessador de bolas 2.Deficiência motora 3.Terapia com cachorros
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II.t. III.Kumazawa, Rodrigo Akira

Sofra a dor da disciplina ou sofra a dor do arrependimento
(Zander Victor)

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo realizar o estudo de viabilidade, a construção de um protótipo e, por fim, a execução de ensaios experimentais de um arremessador de bolas para cachorros acionado por controle remoto, tema proposto no programa Poli Cidadã, para ser utilizado como uma terapia por pessoas com limitações de movimentos ou força nos braços e/ou mãos, fazendo com que estas não consigam realizar a simples tarefa de arremessar uma bola para seus cachorros. Na fabricação do protótipo foi reaproveitado a estrutura de uma impressora de jato de tinta e nela foram agregados novas estruturas. É valoroso ressaltar a importância da construção do protótipo pois é por meio deste que é possível verificar se as ideias concebidas no trabalho realizam as funções propostas.

Palavras-chave: *Arremessador de bola. Deficiência motora. Terapia com cães.*

ABSTRACT

The present work has the objective of carrying out the feasibility study, the construction of a prototype, and, finally, the execution of experimental tests of a remote controlled ball pitcher for dogs, a theme proposed on Poli Cidadã's program, to be used as a therapy by people with limited movement or strength in the arms and/or hands, so that they cannot perform the simple task of throwing a ball to their dogs. In the manufacture of the prototype, the structure of an inkjet printer was reused and new structures were added. It is worth mentioning the importance of constructing the prototype because it is through this that it is possible to verify if the ideas conceived in the work carry out the proposed functions.

Keywords: *Ball launcher. Motor disability. Therapy dog*

Lista de ilustrações

Figura 1 – Lançador de bolas para cães produzido pela Universidade de Victoria	4
Figura 2 – Lançador de bolas - iFetch®	5
Figura 3 – Acomplamento por meio de catraca	7
Figura 4 – Morsa de bancada	8
Figura 5 – Detalhe do sistema de fixação	8
Figura 6 – Bazuca de camisetas	9
Figura 7 – Lançador de bolas de baseball	10
Figura 8 – Lançador de bolas RAC®	10
Figura 9 – Lançamento por elástico	11
Figura 10 – Reposição da bola por sistema de trilhos	12
Figura 11 – Reposição da bola por sistema de roda	12
Figura 12 – Retorno por meio de cordas presente no arpão	13
Figura 13 – Dosador de recompensas para o cachorro	14
Figura 14 – Funil industrial	14
Figura 15 – Na figura: item 1 - Bandeja de carregamento da bola; item 2 - base de lançamento; item 3 - puxador	20
Figura 16 – Base e trilho para deslizamento	21
Figura 17 – Detalhe do trilho	22
Figura 18 – Visão geral da bandeja	23
Figura 19 – Detalhe da guia da bandeja	23
Figura 20 – Visão geral do puxador	24
Figura 21 – Comprimento de distensão dos elásticos	25
Figura 22 – Tubo de látex	26
Figura 23 – Visão geral do puxador	29
Figura 24 – Detalhes do guia de deslizamento (1) e o de prendedor da correia (2)	29
Figura 25 – Visão detalhada do prendedor da correia	30
Figura 26 – Mecanismo de acoplamento	31
Figura 27 – Puxador acoplado à bandeja	31
Figura 28 – Detalhe esquemático do acoplamento	32
Figura 29 – Detalhe esquemático do desacoplamento	33
Figura 30 – Visão geral frontal do lançador com o elástico estendido	33
Figura 31 – Visão geral traseira do lançador com o elástico estendido	34
Figura 32 – Visão geral frontal do lançador com o elástico relaxado	35
Figura 33 – Visão geral traseira do lançador com o elástico relaxado	36

Figura 34 – Bola de corda	37
Figura 35 – Arduino UNO	39
Figura 36 – Motor de passo FL57ST76-3304B	41
Figura 37 – Esquema de um motor de passo bipolar de 2 fases	42
Figura 38 – Polia GT2 20 dentes	43
Figura 39 – Correia GT2 6 mm	44
Figura 40 – Motor DC AK555, (Neoyama Automação, 2013)	45
Figura 41 – Driver L298N	47
Figura 42 – Módulo bluetooth HC-06	48
Figura 43 – Bateria alcalina 9V	49
Figura 44 – Bateria Unipower UP1213 - 12V	50
Figura 45 – Esquema geral do circuito elétrico	51
Figura 46 – Visão 1 do sistema de retorno	53
Figura 47 – Visão 2 do sistema de retorno	54
Figura 48 – Visão 3 do sistema de retorno	55
Figura 49 – Peças do sistema de retorno	56
Figura 50 – Diferentes posicionamentos da peça 2	56
Figura 51 – Visão geral da base	59
Figura 52 – Componentes usinados e fixados na estrutura base	60
Figura 53 – Componentes de madeira e MDF no lançador	61
Figura 54 – Alterações realizadas na estrutura base	62
Figura 55 – Impressora 3D Cloner DH	63
Figura 56 – Vista explodida da bandeja	64
Figura 57 – Bandeja montada	64
Figura 58 – Vista explodida do puxador	65
Figura 59 – puxador montado	65
Figura 60 – Visão explodida da polia e sua peça de sustentação	66
Figura 61 – Fio de nylon considerado para o protótipo	67
Figura 62 – Detalhe da fixação do fio de nylon à bola de tenis	68
Figura 63 – Comparação 1 do modelo em CAD e o modelo final	69
Figura 64 – Comparação 2 do modelo em CAD e o modelo final	70
Figura 65 – Motor de passo EM-464	71
Figura 66 – Modelo 3D da primeira versão da bandeja	73
Figura 67 – Modelo real da primeira versão da bandeja	73
Figura 68 – Modelo virtual da versão mais atual da bandeja	74
Figura 69 – Modelo virtual da primeira versão do puxador	75
Figura 70 – Modelo virtual da versão mais atual do puxador	75

Figura 71 – Motor de passo EM-463	76
Figura 72 – Motor DC responsável pelo retorno da bola	77
Figura 73 – Detalhe do sistema antigo de enrolamento do fio da bola	78
Figura 74 – Detalhe do sistema atual de enrolamento do fio da bola	79
Figura 75 – Detalhe do modelo real do sistema atual de enrolamento do fio da bola	80
Figura 76 – Interface de controle do aplicativo de conexão bluetooth	82
Figura 77 – Bola de borracha para os testes de lançamento	83
Figura 78 – Trajetória percorrida pela bola em um dos lançamentos	84
Figura 79 – Curva de distribuição normal dos lançamentos	85

Lista de tabelas

Tabela 1 – Escolha da melhor solução	18
Tabela 2 – Sequência de acionamento do motor de passo no sentido horário .	43
Tabela 3 – Resultados dos lançamentos	83
Tabela 4 – Propriedades do PLA	112

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

O Programa Poli Cidadã, criado na Escola Politécnica da USP, tem como objetivo estimular alunos e professores a realizar projetos sociais e estreitar a relação da Universidade com a sociedade. Projetos que têm como objetivo melhorar a qualidade de vida de pessoas em condições desfavoráveis ou que possuam algum tipo de deficiência ou limitação física e/ou intelectual também entram na pauta do programa.

Um dos projetos propostos pelo programa foi o de um arremessador de bolas para cachorros. O que pode parecer uma atividade simples para a maioria da população, é um desafio para muitas outras que possuem limitações na mobilidade dos membros superiores e, tendo em vista o aumento da atenção da sociedade às pessoas com deficiência e a importância crescente da inclusão social, este projeto foi escolhido para ser o tema do presente projeto de conclusão de curso.

Além da importância referente ao desenvolvimento de projetos que incentivam a inclusão social, é importante ressaltar a melhoria da qualidade de vida do público alvo por meio do uso para fins terapêuticos, uma vez que já foram comprovados os efeitos positivos que a interação entre pacientes e animais pode trazer.

1.2 Objetivos do projeto

O objetivo deste presente trabalho é a realização das seguintes tarefas:

1. Realização do estudo de viabilidade do lançador de bolas
2. Detalhamento da melhor solução
3. Construção do protótipo com as especificações definidas no detalhamento
4. Execução de ensaios experimentais

É durante a etapa de estudo de viabilidade que serão feitas pesquisas bibliográficas sobre quais lançadores já existem no mercado, quais necessidades devem ser atendidas e qual é a especificação técnica do lançador de bolas que melhor atende essas necessidades.

A importância da construção do protótipo e da execução dos ensaios experimentais é para validar se as necessidades levantadas durante o estudo de viabilidade foram

atendidas, levando em consideração todas as condições de projeto impostas durante esta mesma etapa de estudo.

2 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

2.1 Contextualização e conversa com o propositor

Para entender melhor a necessidade e ter um contato mais próximo com a situação vivida por pessoas com limitações nos movimentos na parte superior do corpo, foi realizada uma conversa com o propositor do projeto e as principais conclusões da conversa expostas neste relatório. O nome do propositor é Leonardo Feder (Apêndice A), 31 anos, jornalista e faz doutorado em letras orientais na Universidade de São Paulo. Durante a conversa, foi clara a grande vontade dele de poder brincar com sua cadela de forma autônoma, ou seja, sem a necessidade de outra pessoa estar sempre ao lado durante essa atividade. Dentre as principais necessidades identificadas, vale destacar:

- Autonomia, ou seja, a pessoa que utiliza o lançador deve ser capaz de manuseá-lo e de interagir com o cachorro sem a interferência de auxílio externo. Podemos ressaltar que, para que o lançador tenha a autonomia desejada, acionamento por controle remoto e retorno automático da bola lançada devem ser consideradas;
- O equipamento deve ter massa que, somada ao do usuário, não exceda o máximo suportado pela cadeira de rodas conforme sugere o fabricante do produto;
- Baixo consumo de energia, pois a ideia seria a realização da atividade em espaços abertos, podendo-se aproveitar a bateria presente nas cadeiras de rodas elétricas;
- A interação entre o usuário e o cachorro deve ser a mais próxima possível, ou seja, o equipamento deve ficar em segundo plano e servir apenas para aproximar o cachorro e o usuário.

Durante a pesquisa bibliográfica, foi possível notar que existem inúmeras formas de propulsão para um arremessador de bolas, que podem ser mais bem detalhadas no momento de definição das soluções. No momento, as pesquisas foram voltadas mais para equipamentos semelhantes ao do projeto a ser desenvolvido. Um equipamento que chamou muito a atenção foi desenvolvido por uma universidade no Canadá e será mais detalhado e explicado a seguir.

2.2 Lançadores de referência

2.2.1 Lançador da Universidade de Victoria

O equipamento desenvolvido pela Universidade de Victoria lança bolas de tênis, de tamanho padrão, a uma distância de aproximadamente 4,5 metros, sendo acionado por um botão ligado por um fio ao aparelho. O acionamento seguinte do mesmo botão faz com que uma recompensa seja solta para o cachorro ao trazer a bola de volta (CANASSIST, [2016]). Embora a premissa desse projeto fosse permitir que a usuária do lançador interagisse com o seu cachorro, ainda havia a necessidade constante de outra pessoa ter que ficar repondo as bolinhas no lançador, o que limita a questão da autonomia do uso do equipamento que foi listada como uma das necessidades identificadas para o presente projeto. Na figura 1 abaixo é possível ver o equipamento:



Figura 1 – Lançador de bolas para cães produzido pela Universidade de Victoria

Fonte: CanAssist, University of Victoria (2016)

2.2.2 iFetch®

Existem no mercado alguns lançadores de bolas automáticos, que não possuem o mesmo intuito social, mas podem servir como base para novas ideias, dentre eles, destaca-se o iFetch®, de uma empresa do estado norte americano do Texas de mesmo nome (IFETCH, 2017). O próprio cachorro pode ser ensinado a colocar a bola de volta no equipamento. A figura 2 abaixo mostra os modelos do iFetch®.



Figura 2 – Lançador de bolas - iFetch®

Fonte: iFetch (2017)

3 PROPOSTAS DE SOLUÇÃO

Para a escolha da melhor solução, primeiramente será realizado o estudo de propostas para cada componente do equipamento, a saber: acoplamento na cadeira, forma de lançamento, forma de reposicionamento das bolinhas, dosador de recompensas para o cachorro e ideias para maior interação entre dono e cão. A seguir, será realizada a análise de quais componentes funcionam melhor em conjunto e chegar a um número fixo de soluções obtidas através da combinação das diferentes propostas de componentes. Por fim, após a análise dessas combinações, a que melhor se encaixar às exigências e limitações do projeto será a escolhida.

3.1 Acoplamento na cadeira

O equipamento precisará de um sistema para sua fixação na cadeira de rodas, uma vez que o público alvo engloba pessoas com dificuldades motoras ou limitação de força nos braços.

3.1.1 Sistema de catraca

O sistema de catraca é muito utilizado no esporte praticado ao ar livre chamado slackline. Esse tipo de sistema é utilizado para fixar a fita em um suporte. Para a aplicação desejada neste trabalho o sistema de catraca utilizado poderá ser mais simples, pois as forças envolvidas são muito menores do que os esforços atuantes na prática do slackline. A figura 3 abaixo ilustra um exemplo de sistema de catraca.



Figura 3 – Acomplamento por meio de catraca

Fonte: CENTAURO (2017)

No caso do nosso equipamento, a fita seria enrolada em torno de um dos braços da cadeira e suas dimensões seriam reduzidas, podendo ou não ter a necessidade de utilização de duas catracas.

3.1.2 Sistema de morsa

Outra possibilidade de fixação seria a utilização de um sistema semelhante ao utilizado em morsas de bancada, através de dois anteparos e uma rosca para ajuste da distância entre eles. As figuras abaixo ilustram respectivamente uma morsa de bancada e o sistema de fixação inspirado na mesma.



Figura 4 – Morsa de bancada

Fonte: CELMAR (2017)



Figura 5 – Detalhe do sistema de fixação

Fonte: ERGONOMIZE (2017)

3.1.3 Sistema de velcro

Uma proposta mais simples e semelhante ao sistema de catracas seria através de uma fita com velcro e fivela ou, alternativamente, uma fita com furos e fivela análogos aos cintos utilizados como acessórios de moda. Porém essa solução possui uma tolerância de massa para o equipamento menor que as outras propostas de sistema de fixação. Sua aplicação, portanto, fica limitada pela massa do lançador.

3.2 Sistema de lançamento

Para o lançamento da bolinha existe uma grande variedade de opções, que serão expostas nos itens a seguir.

3.2.1 Ar comprimido

Uma das soluções possíveis para o lançamento seria através de um tanque de ar comprimido, semelhante aos equipamentos utilizados no lançamento de brindes em eventos. O sistema realizaria trabalho e aceleraria a bolinha através da conversão da energia de compressão para energia cinética devido à liberação do ar em alta velocidade através de um gatilho. Na figura 6 abaixo, pode-se observar uma bazuca de camisetas utilizada para distribuição de brindes.



Figura 6 – Bazuca de camisetas

Fonte: ZIOBER BRASIL (2017)

3.2.2 Sistema de rodas

Um sistema de rodas é muito utilizado em lançadores de bolas para a prática de tênis de campo ou tênis de mesa. Para a aplicação no nosso equipamento o sistema seria praticamente idêntico, porém com dimensões reduzidas afinal a distância e a velocidade requerida para o lançamento será menor. Um motor elétrico faria a rotação de uma roda e a bolinha receberia a energia cinética de rotação sendo por fim lançada para fora através da passagem por um tubo. Na figura 7 abaixo é possível ver um exemplo de lançador de bolas de baseball.



Figura 7 – Lançador de bolas de baseball

Fonte: JUGS SPORTS (2015)

3.2.3 Braço mecânico

Uma alternativa mais barata e simples para o lançamento das bolinhas seria através de um braço mecânico, uma mola e um motor para comprimir a mola. A mola poderia ser linear e fixada na ponta do braço mecânico ou torcional e colocada no eixo do braço mecânico. Esse sistema lembraria ao de uma catapulta, portanto a energia potencial elástica da mola seria transformada em energia cinética e aceleraria a bolinha. A figura 8 ilustra uma forma preliminar para o braço mecânico.



Figura 8 – Lançador de bolas RAC®

Fonte: SUBMARINO (2017)

3.2.4 Lançamento por elástico

Esse tipo de lançador utiliza a energia potencial elástica acumulada em um material flexível, como uma mola ou um elástico de borracha. O sistema se inspira no princípio

de funcionamento de um estilingue, conforme representado na figura abaixo.



Figura 9 – Lançamento por elástico

Fonte: AUTOR DESCONHECIDO

3.3 Reposicionamento da bola

Como o equipamento é voltado para pessoas com mobilidade reduzida nos braços e deve permitir a interação entre dono e cachorro de forma autônoma, ou seja, independente de outras pessoas, deve existir um sistema que realizará a reposição da bolinha no local necessário para realizar seu lançamento. Todos esses sistemas necessitam que o cachorro coloque a bolinha em um local específico, com exceção do item 3.3.3

3.3.1 Sistema de trilho

Nesse sistema o cachorro deve colocar a bolinha em um compartimento e, um sistema semelhante a de um elevador, com a utilização de polias e correia e uma plataforma guiadas por um trilho, realizaria o reposicionamento da bolinha no local para seu lançamento. A figura 10 abaixo mostra um sistema de trilho de uma impressora cuja ideia de funcionamento poderá servir como solução para o reposicionamento da bolinha para o sistema de lançamento.



Figura 10 – Reposição da bola por sistema de trilhos

Fonte: ALIEXPRESS (2017)

3.3.2 Sistema de roda

Esse sistema seria semelhante a uma roda d'água, uma roda com compartimentos seria acionada por um motor elétrico e a bolinha entraria em um desses compartimentos e seria levada ao local especificado. Destaca-se nessa solução a possibilidade de transporte de várias bolinhas simultaneamente. A figura 11 abaixo ilustra um lançador de bolas de tênis de mesa que usa esse sistema.

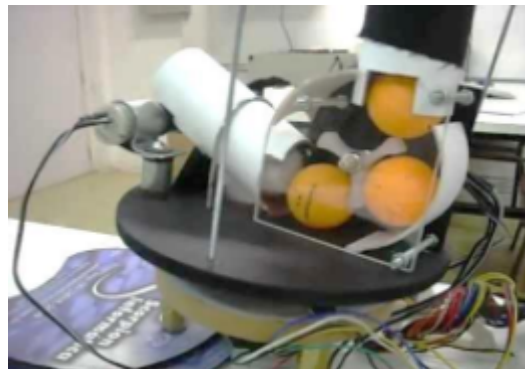


Figura 11 – Reposição da bola por sistema de roda

Fonte: YOUTUBE (2012)

3.3.3 Sistema de cordas

Este é o único sistema que não exige que o cachorro leve a bolinha até o lançador. Nesse sistema a bolinha é amarrada a uma corda e a outra ponta da corda é fixada a um eixo ligado a um motor. Durante o lançamento da bolinha, o sistema eixo motor não deve realizar forças, ou seja, deve deixar que a corda se desenrole livremente, e quando acionado o motor deve enrolar a corda no eixo novamente. Um exemplo semelhante que usa esse sistema é o arpão, usado bastante para a prática da pesca.



Figura 12 – Retorno por meio de cordas presente no arpão

Fonte: CRESSISUBUSA (2017)

3.4 Sistema de controle do lançador

Foram levantados 3 alternativas para o controle do lançador de bolinhas:

1. Acionamento por meio de controle remoto infravermelho
2. Acionamento pelo celular por meio da tecnologia bluetooth
3. Botão manual de liga e desliga, acoplado no lançador numa posição próxima a do braço da cadeira de rodas

3.5 Dosador de recompensas

Para possibilitar uma interação mais próxima do dono com o seu cachorro, se possível, o equipamento poderá possuir um sistema para dosar recompensas para o cachorro ao trazer a bolinha de volta.

3.5.1 Dosador por cilindro com divisórias

O sistema consistiria em um cilindro contendo divisórias e apenas uma abertura. As divisórias são móveis e são rotacionadas por um motor elétrico, e a abertura possui um declive para a recompensa sair do cilindro.



Figura 13 – Dosador de recompensas para o cachorro

Fonte: CanAssist, University of Victoria (2016)

3.5.2 Dosador por funil

Esse sistema consiste em um funil em que serão colocadas as recompensas e através de uma tampa na parte inferior, realizará a dosagem da recompensa. Essa tampa será acionada por um motor elétrico e por um trilho para realizar movimento de translação e assim a abertura do compartimento. Dentre as limitações desse sistema estão a pouca precisão na quantidade de recompensa que será liberada e a limitação de tamanho para essas recompensas.



Figura 14 – Funil industrial

Fonte: DIGRANO (2012)

4 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DA MELHOR SOLUÇÃO

Primeiramente, foram definidas combinações entre os sistemas propostos nas seções anteriores, que pareceram mais compatíveis uns com os outros e o número de soluções foi limitado para no máximo cinco e no mínimo três. Posteriormente, foram escolhidos critérios que além de ajudar a selecionar a solução que mais atendeu às necessidades especificadas na seção 2.1 também suprissem demandas identificadas pelos autores deste presente trabalho. As ideias para aumentar a interação do cão com o lançador não foram incluídas nessas soluções e nem avaliadas pelos critérios, pois são acessórios. Portanto, pretendeu-se apenas avaliar os sistemas principais.

Os critérios escolhidos foram:

- Custo de fabricação
- Interação entre o cachorro e o usuário
- Massa
- Design
- Tamanho
- Complexidade de fabricação
- Energia demandada

Nos próximos itens esses critérios serão mais detalhados. Para cada critério, será atribuído um peso de 1 a 5, de acordo com a sua importância.

4.1 Custo de fabricação

Em um trabalho de engenharia e em qualquer processo de fabricação de um equipamento, o custo é um dos critérios mais importantes. Visto que o equipamento a ser desenvolvido é voltado para o lazer e bem estar da população de deficientes motores e a necessidade de torná-lo acessível, o peso deste critério deve ser elevado. Peso: 5.

4.2 Interação

Este critério mede a facilidade de interação do dono e do cachorro com o equipamento. Devido a necessidade dessa interação ser autônoma e do equipamento manter a atenção do cachorro, o peso deste critério também deverá ser elevado. Peso: 5.

4.3 Massa

No caso do projeto atual, a massa é um critério dos mais relevantes, pois o equipamento será fixado a uma cadeira de rodas e um excesso de massa poderia desequilibrar a cadeira ou prejudicar sua movimentação. Peso: 3.

4.4 Design

O desenvolvimento de qualquer produto voltado para o público deve ter uma preocupação grande com o design, pois um design mais limpo e de melhor aparência possui um apelo maior. Como o equipamento tratado neste trabalho não é voltado para comercialização e possui mais um âmbito social, esse critério não terá um peso muito elevado. Peso: 2.

4.5 Tamanho

O tamanho é um critério importante pelo mesmo motivo da massa do produto, uma vez que se o equipamento for muito grande, ele poderá atrapalhar o usuário e assim se tornar um inconveniente ao invés de uma solução. Peso: 3.

4.6 Complexidade de fabricação

A complexidade de fabricação leva em conta os processos atualmente disponíveis para a fabricação de peças e quanto menor a complexidade, melhor avaliada é a solução. Esse critério está diretamente relacionado ao custo de fabricação. Peso: 4.

4.7 Energia demandada

Como o equipamento será desenvolvido para uso em espaços abertos, esses espaços geralmente não possuem acesso à rede elétrica através de tomadas e assim a fonte de energia do lançador será a bateria de 12V presente nas cadeiras de rodas elétricas. Ou seja, há uma grande limitação quanto à energia disponível. Peso: 4.

5 ESCOLHA DA MELHOR SOLUÇÃO

Como foi definido no item anterior, primeiramente foram consideradas todas as combinações entre os sistemas propostos. Foram elas 4 sistemas principais no lançador, 3 sistemas de acoplamento na cadeira, 4 sistemas de reposicionamento da bolinha e 2 sistemas de recompensa para o cachorro, totalizando assim 96 combinações diferentes. Obviamente que algumas dessas não são compatíveis e inviáveis de se juntar em um único aparelho, porém o número de possibilidades ainda é elevado e foram escolhidas, ao critério dos autores, algumas soluções dentre as possíveis. A inclusão de um alto falante será feita em todas as soluções, pois é um sistema barato, de simples instalação e compatível com qualquer uma das soluções. Já a bolinha com recompensas dentro, acredita-se que seria mais sensato aplicá-la somente em conjunto com o sistema de reposição da bolinha por fio, pois nesse caso o usuário teria o controle da bolinha, independente da vontade do cão, evitando-se assim que o cão se distraia por muito tempo tentando pegar sua recompensa e acabe não trazendo a bolinha de volta. A solução 1 utilizará o sistema de fixação por catraca, de lançamento por compressor, reposicionamento da bolinha por polias e correias e dosador de cilindro com divisórias. Já a solução 2 será composta por: sistema de fixação por morsa, lançamento por braço mecânico pois é um sistema que possui maior impacto na base do lançador e a fixação por morsa é a que suporta maior impacto, reposicionamento direto pelo cão no braço mecânico e dosador por funil. A solução 3 consiste num sistema de fixação por velcro, de lançamento por pistão, reposicionamento por corda e dosador de cilindro com divisórias. Lembrando que essa solução possui a bolinha com recompensas dentro. Finalmente, a solução 4 combina a fixação por morsa, lançamento por roda, reposicionamento por polias e correias, funcionando como um elevador que irá levar a bolinha da altura alcançada pelo cão até a altura do lançador e dosador por funil. Utilizando os critérios definidos anteriormente e atribuindo notas para cada solução de acordo com o critério, é possível escolher a melhor solução através de tabelas de otimização [20]. Os pesos dos critérios e as notas para as soluções variam de 1 a 5.

5.1 Tabela de otimização

A tabela 1 a seguir, foi dividida em duas partes, sendo a parte superior utilizada para melhor visualização de cada solução e a parte inferior construída para otimizar o processo de escolha da melhor solução dentre as listadas anteriormente.

Tabela 1 – Escolha da melhor solução

Sistemas	-	Solução 1		Solução 2		Solução 3		Solução 4	
Fixação	-	Catraca		Morsa		Velcro		Morsa	
Lançamento	-	Compressor		Braço		Elástico		Roda	
Reposicionamento	-	Polias		-		Corda		Polias	
Dosador	-	Cilindro		Funil		Cilindro		Funil	
Critérios	Peso	Nota	P x N	Nota	P x N	Nota	P x N	Nota	P x N
Custo	5	3	15	4	20	3	15	3	15
Interação	5	3	15	1	5	5	25	3	15
Peso	3	3	9	4	12	3	9	3	9
Design	3	3	9	2	6	4	12	4	12
Tamanho	3	3	9	3	9	3	9	3	9
Complexidade	4	3	12	5	20	4	16	3	12
Energia	4	3	12	4	16	3	12	3	12
Total	-	-	81	-	88	-	98	-	84

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Portanto a solução 3, que combina os sistemas de fixação por velcro, de lançamento por elástico, de reposicionamento por corda e dosador de cilindro com divisórias foi o escolhido. Essa é a solução em que é mais viável utilizar a bola com recompensas dentro e assim variar um pouco a brincadeira. E outra vantagem da solução escolhida é que não é necessário o treinamento prévio do cachorro, pois nas outras alternativas o cão deveria ser adestrado para colocar a bola de volta no dispositivo.

6 ESPECIFICAÇÃO DO PRODUTO

A partir da solução escolhida na seção 5.1, propõe-se agora um refinamento dessa solução, abrangendo desde o mecanismo de funcionamento até os materiais que serão utilizados no produto, de modo a definir suas especificações. Nas seções seguintes os mecanismos serão detalhados e serão realizados alguns cálculos iniciais de dimensionamento.

Para a execução dos movimentos desejados, o produto foi dividido em três partes, sendo elas: **parte lançadora, elétrica e de retorno**, sendo a primeira tendo como principal função realizar o movimento de lançamento da bola, a segunda permitir o controle dos motores responsáveis pelos movimentos e a terceira o retorno da bola ao lançador.

6.1 Modelagem e descrição do funcionamento da parte lançadora

A parte lançadora do projeto contém como principais componentes:

1. Base de lançamento e guia de deslizamento
2. Puxador
3. Bandeja de carregamento da bola

A concepção de um produto que garanta segurança e eficácia em sua utilização é de extrema importância e deve, ainda, levar em consideração as dificuldades e necessidades que o produto deve atender. Foi abordado na seção 5.1 deste trabalho que o produto deve ser acoplável na cadeira de rodas do usuário, portanto decidiu-se que o melhor posicionamento do lançador de bolas é no braço da cadeira de rodas pois este está presente na grande maioria das cadeiras de roda existentes no mercado. Além disso, esta posição está relativamente próxima dos membros superiores do usuário, facilitando assim o acionamento do lançador.

Quanto à forma geral do produto, adotou-se um formato retangular para o corpo pensando na fixação do lançador no braço da cadeira, de forma que o lançador ficasse longitudinalmente alinhado com o braço. Uma outra vantagem dessa geometria está no uso da elevada dimensão longitudinal do corpo, em relação às dimensões transversais, para a transferência da energia cinética à bola por meio da energia potencial elástica.

A figura 15 a seguir se refere à concepção inicial da parte lançadora e nele é possível verificar os 3 componentes. Em seguida, cada componente será detalhado com mais profundidade.

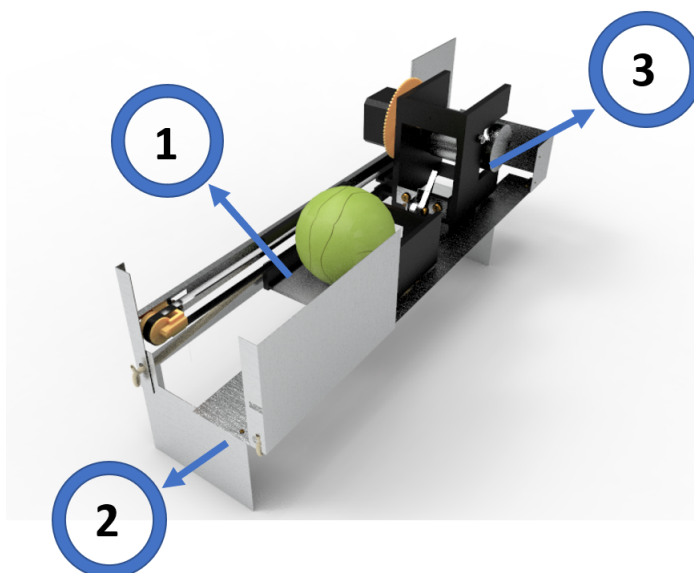


Figura 15 – Na figura: item 1 - Bandeja de carregamento da bola; item 2 - base de lançamento; item 3 - puxador

Fonte: PRÓPRIA (2018)

6.1.1 Base para suporte e guia de deslizamento

Para facilitar a construção do protótipo, a base do lançador, que sustentará o sistema de lançamento e o sistema elétrico, foi definido usando como referência a estrutura interna de uma impressora à tinta modelo Stylus C67 da marca EPSON (GUIA DE REFERÊNCIA RÁPIDA STYLUS C67, 2005). A impressora funciona por meio do deslizamento da peça que carrega os cartuchos de tinta e esse deslizamento é orientado por guias que estão presentes na própria estrutura interna. O lançador de bolas desenvolvido neste trabalho também faz uso de uma peça que é movimentada sobre um trilho, por isso foi tomada a decisão de usar a estrutura da impressora. Na figura 15 ela é representada pela peça 2 e a seguir é apresentado unicamente a base, mostrando assim detalhes como o do trilho que orientará o movimento do componente que distenderá o elástico.

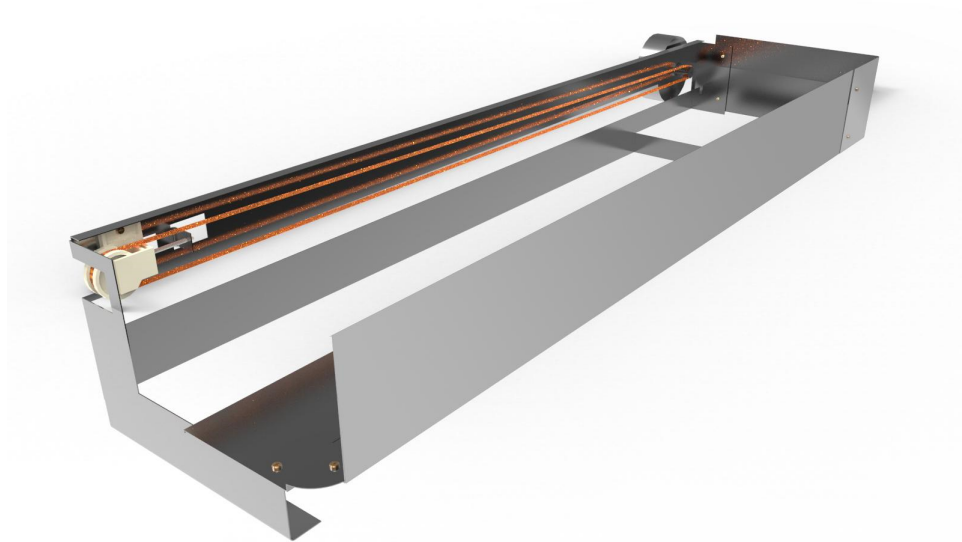


Figura 16 – Base e trilho para deslizamento

Fonte: PRÓPRIA (2018)

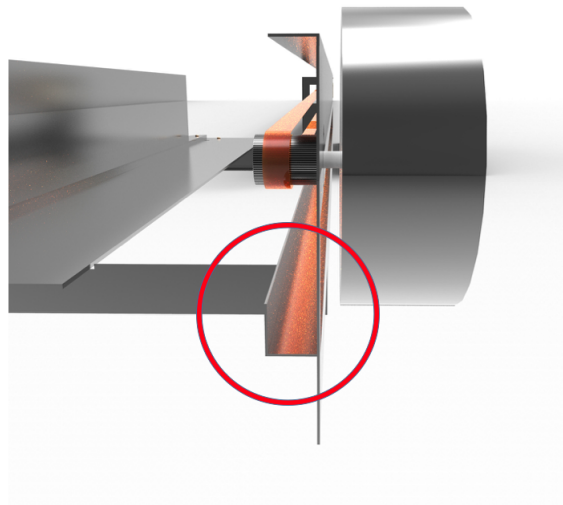


Figura 17 – Detalhe do trilho

Fonte: PRÓPRIA (2018)

6.1.2 Descrição da bandeja e dos elásticos de lançamento

Na seção 5.1 deste relatório, por meio da matriz de decisão, o sistema escolhido para o lançamento da bola faz uso de elásticos. Esse sistema é semelhante ao do estilingue, ou seja, um elástico será distendido e a força potencial elástica será transferida para a bola. A bola por sua vez estará apoiada em um componente que chamaremos de bandeja de carregamento da bola (figura 18). Esta bandeja é guiada pela base por meio do detalhe no formato de guia que está situado na lateral da bandeja, como mostra a figura 19.

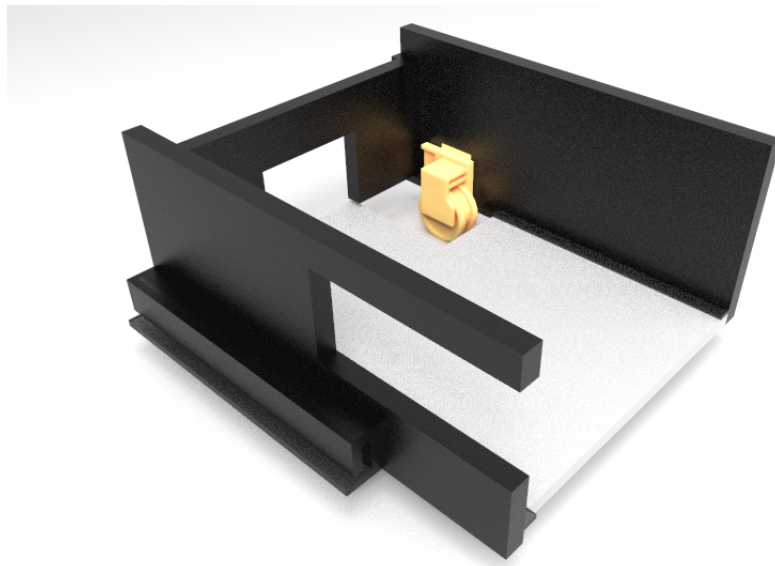


Figura 18 – Visão geral da bandeja

Fonte: PRÓPRIA (2018)

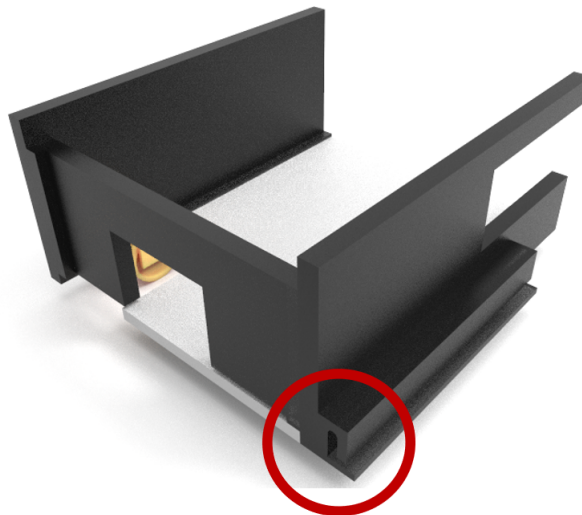


Figura 19 – Detalhe da guia da bandeja

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Um conjunto de 2 elásticos estarão fixos na bandeja e na base. Estes elásticos serão responsáveis por propulsionar a bandeja e, conseqüentemente, a bola. É importante ressaltar que a bandeja não possui movimento próprio e sua função é servir de

apoio para a bola. O componente responsável por distender o elástico será chamado por **puxador** e possui um subcomponente no formato de gancho que é engatado na bandeja. Diferentemente da bandeja, o puxador possui movimento próprio pois estará preso ao motor por um sistema de correia. Os detalhes da modelagem e funcionamento do puxador serão mostrados mais a seguir.

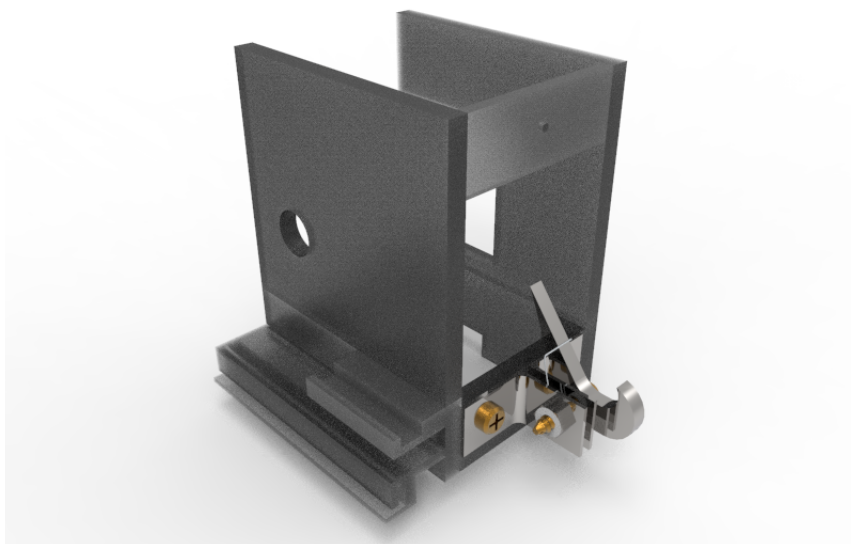


Figura 20 – Visão geral do puxador

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Como foi citado anteriormente, a estrutura base do lançador já está definida pois será uma peça reutilizada de uma impressora de jato de tinta. Além disso, com o intuito de reduzir ao máximo o custo do projeto, serão adotados elásticos típicos encontrados no mercado. Portanto, para este projeto, será realizado uma solução de compromisso, ou seja, de acordo com os componentes já definidos, analisaremos se a distância no qual a bola será lançada está adequada para permitir a interação do usuário com o cachorro, objetivo principal deste projeto.

6.1.3 Modelagem do lançamento

Para calcularmos a distância de lançamento da bola, é necessário especificar as dimensões da base do lançador e da bandeja. Estas informações determinarão a real distensão dos elásticos e, conseqüentemente, a energia potencial elástica que será convertida em energia cinética da bola.

A bandeja deve possuir um comprimento suficiente para permitir que a bola fique apoiada sobre a mesma e não caia para os lados durante o movimento de lançamento.

Consideramos também que o lançador usará uma bola de tênis, cuja dimensão é de 64 milímetros de diâmetro. Como deve ser considerado o subsistema de engate, o comprimento total da bandeja será arredondado para 80 milímetros. Os elásticos ficarão preso na extremidade da frente da bandeja para que a distensão seja a máxima possível.

Devemos também considerar o comprimento do puxador e do subsistema de engate pois estes componentes estarão posicionados na parte traseira da bandeja e também ocuparão um espaço sobre a base lançadora. O comprimento do puxador somado ao subsistema de engate é de 100 milímetros. O detalhamento do dimensionamento do puxador será mostrado mais a seguir.

Por fim, a base do lançador possui 354 milímetros de comprimento. Lembrando que este componente não pode ser alterado pois é uma peça reaproveitada de uma impressora. Com isso, os elásticos terão a distensão máxima de 174 milímetros. A imagem a seguir resume todos os comprimentos citados.

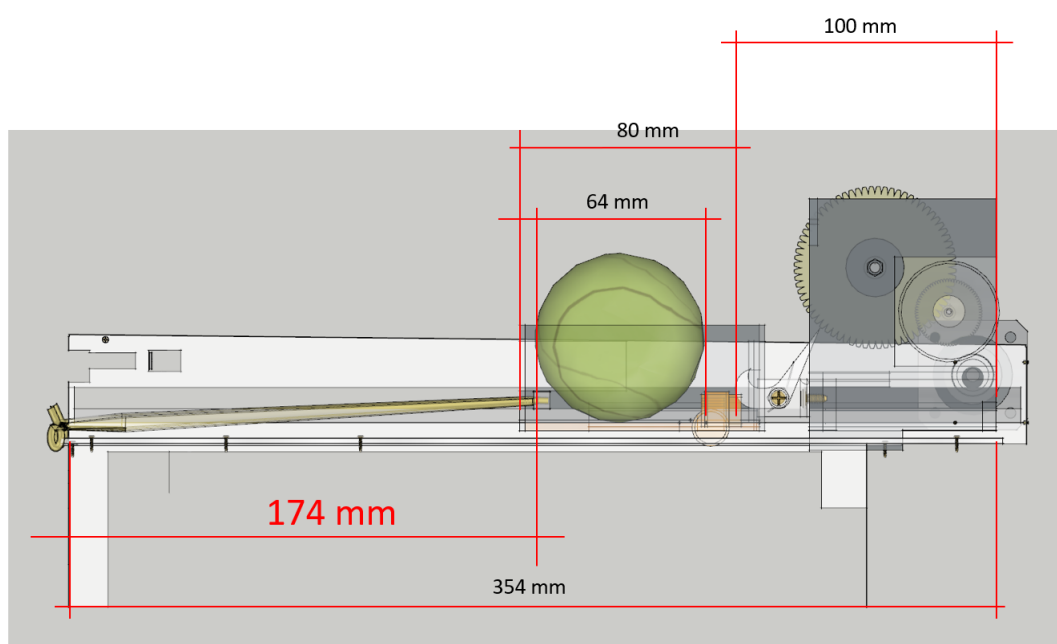


Figura 21 – Comprimento de distensão dos elásticos

Fonte: PRÓPRIA (2018)

O elástico utilizado para o projeto foi um tubo de elástico de látex, facilmente encontrado em farmácias.



Figura 22 – Tubo de látex

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Para determinarmos a constante elástica da mola, fizemos o seguinte experimento. Inicialmente medimos o comprimento natural do elástico. Em seguida amarramos em sua extremidade uma garrafa pet com 1 litro de água, ou seja, massa de 1 Kg, e medimos o comprimento do elástico com a ação do peso da garrafa. A diferença da medida dos comprimentos foi de 57 milímetros.

Considerando a lei de Hooke e considerando que a força elástica está em equilíbrio com a força peso aplicada pela garrafa pet e a hipótese que é constante as características materiais do elástico, temos o seguinte:

$$P = k * x \quad (6.1)$$

Onde:

- k = Constante elástica do material elástico (N/m)
- x = Distensão do elástico

A constante elástica calculada é igual a 174 (N/m).

Com essas informações é possível calcular a energia potencial elástica que será armazenada em cada uma das molas.

$$E_{elas} = (k * x^2) / 2 = 0,287J \quad (6.2)$$

Para o cálculo da distância máxima alcançada pela bola, consideramos as seguintes hipóteses:

1. A trajetória da bola é parabólica
2. O ângulo de lançamento será de 30 graus em relação ao comprimento longitudinal do lançador
3. A resistência do ar, o atrito entre a bola e a bandeja e o atrito da bandeja com a base lançadora são desprezíveis, ou seja, toda a energia potencial elástica armazenada nos elásticos será convertida em energia cinética da bola
4. Não há deformação da bola
5. a altura de lançamento da bola será de 70 centímetros em relação ao solo, altura semelhante ao braço de uma cadeira de rodas, local onde o lançador estará acoplado

Dada a energia potencial elástica total de 0,574 J e a massa da bola (0,06 kg), foi possível obter a velocidade com que a bolinha sai do lançador:

$$E_{elas} = E_{cinética} \Leftrightarrow 0,574 = (m_{bola} * V_0^2)/2 \quad (6.3)$$

Resultando em uma velocidade de lançamento de 4,4 m/s. Devido ao material escolhido para confecção da bola, seu comportamento ao bater no chão é de que ela não quique e, portanto a distância máxima percorrida por ela será considerada como a distância de lançamento até o primeiro contato com o solo. A distância máxima percorrida e a altura máxima alcançada dependem da velocidade inicial de lançamento, do ângulo de lançamento e da posição vertical do lançador. Todos os cálculos a seguir consideraram a aceleração da gravidade constante e igual a 10 m/s^2 . O tempo para a bolinha alcançar a altura máxima de lançamento é obtido através da equação 6.4 a seguir:

$$V = V_0 * \sin(?) + g * t_{subida} \quad (6.4)$$

Resultando em um tempo de subida de 0,22 s, e o tempo para a bolinha estar à 0,7 m do solo é de 0,44 s. O percurso de queda da bolinha a partir desse ponto é dado pelo sistema de equações formado pelas equações 6.5 e 6.6 a seguir:

$$V^2 = 2,2^2 + 2 * 10 * 0,7 \quad (6.5)$$

$$V = 2,2 + 10 * t_{queda} \quad (6.6)$$

O tempo para a bolinha passar pela altura de 0,7 m do solo e alcançar o solo é de 0,21 s. Portanto, o alcance máximo da bolinha é obtido pelo produto da velocidade inicial, o cosseno do ângulo de lançamento e os tempos obtidos anteriormente, resultando em uma distância de 2,48 m.

6.1.4 Dimensionamento do motor do puxador

Com a especificação das dimensões do sistema de lançamento e da constante elástica dos elásticos, é possível também determinar o torque do motor necessário para movimentar o puxador, a bandeja, a bola e distender os elásticos até o comprimento de 174 milímetros, conforme especificado acima. Com o torque determinado, é possível fazer a sua compra no mercado pois, na grande maioria das vezes, o torque do motor é especificado no seu catálogo de venda.

Para o cálculo do torque do motor, adotemos a hipótese que o atrito entre o puxador e a bandeja e a base de lançamento é desprezível. Ou seja, o motor deverá ter torque suficiente para distender o par de elástico em 174 mm apenas. Portanto, seu torque máximo deve ser no mínimo igual à força máxima dos elásticos quando distendidos nessa distância multiplicado pelo diâmetro da polia fixada no motor:

$$T = 2 * k * x * d \quad (6.7)$$

Sendo d o diâmetro da polia, que é igual a 0,01 m. Resultando em um torque de 0,605 N.m, o que equivale a aproximadamente 6,2 kgf.cm, que é a unidade comumente usada para especificar os motores de passo encontrados comercialmente.

6.1.5 Descrição do Puxador

O puxador também é guiado pela base por meio dos detalhes em formato de gancho situados na lateral do próprio puxador. Diferentemente da bandeja, o puxador possui movimento próprio por conta de um sistema de correia e motor. A visão geral do puxador é mostrado a seguir, assim como os dois diferentes detalhes laterais no qual um deles é responsável por percorrer a guia da base e o outro fixar a correia.

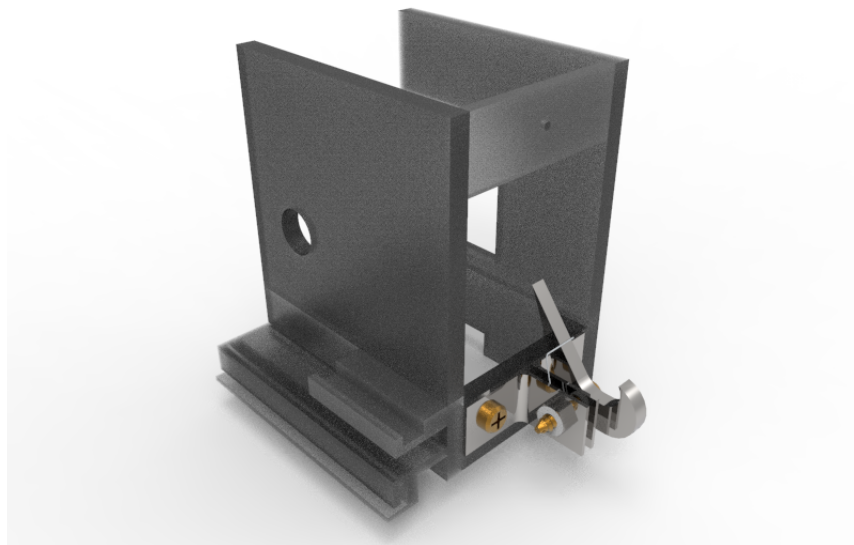


Figura 23 – Visão geral do puxador

Fonte: PRÓPRIA (2018)

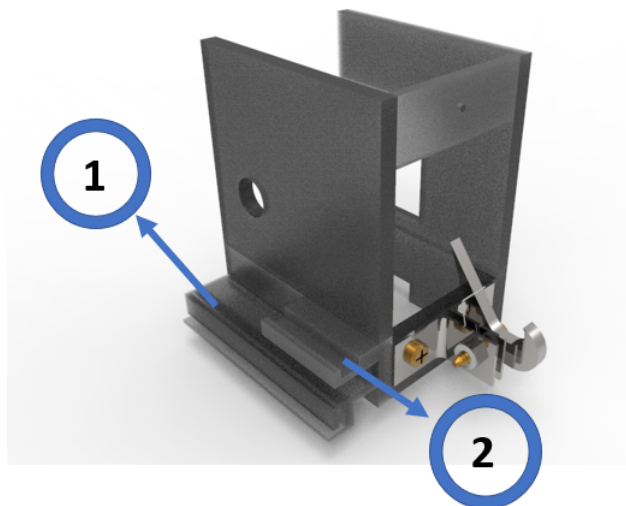


Figura 24 – Detalhes do guia de deslizamento (1) e o de prendedor da correia (2)

Fonte: PRÓPRIA (2018)

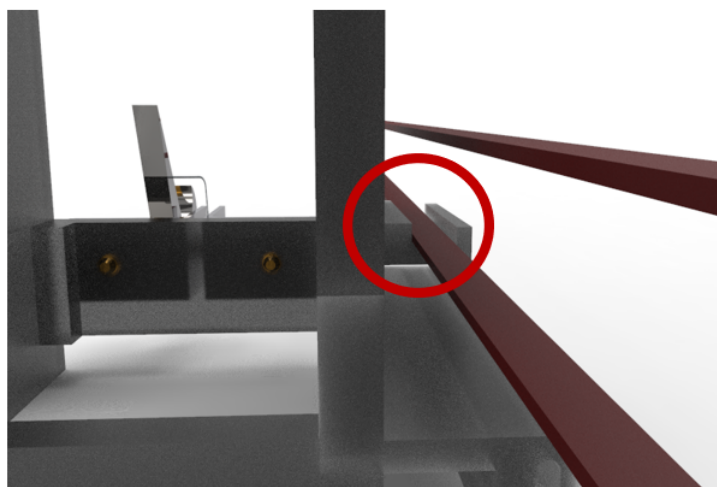


Figura 25 – Visão detalhada do prendedor da correia

Fonte: PRÓPRIA (2018)

O puxador possui a função rebocar a bandeja e, conseqüentemente, estender os elásticos que irão armazenar energia potencial elástica que será convertida na energia cinética da bola lançada. O mecanismo responsável por acoplar e rebocar a bandeja está fixado na parte frontal do puxador e possui um formato similar a um gancho. A bandeja possui um furo retangular em sua parte traseira e o gancho se fixará neste buraco.

Esse mecanismo é composto pela peça em formato de gancho e por uma mola torcional. A parte frontal do gancho possui um formato arredondado e sua extensão entrará em contato com a borda superior do furo. A força aplicada pelo contato fará o gancho realizar um movimento de rotação. O formato arredondado facilitará o deslizamento da parte frontal do gancho na borda do furo. Por fim, a força aplicada pela mola torcional fará que o gancho rotacione no sentido contrário, possibilitando assim o seu encaixe no furo. Os detalhes deste mecanismo podem ser visto nas imagens a seguir.

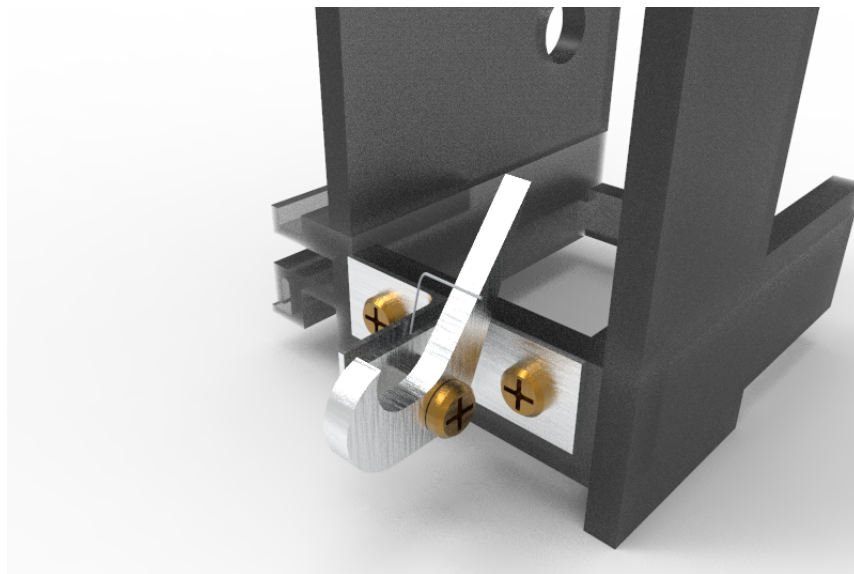


Figura 26 – Mecanismo de acoplamento

Fonte: PRÓPRIA (2018)

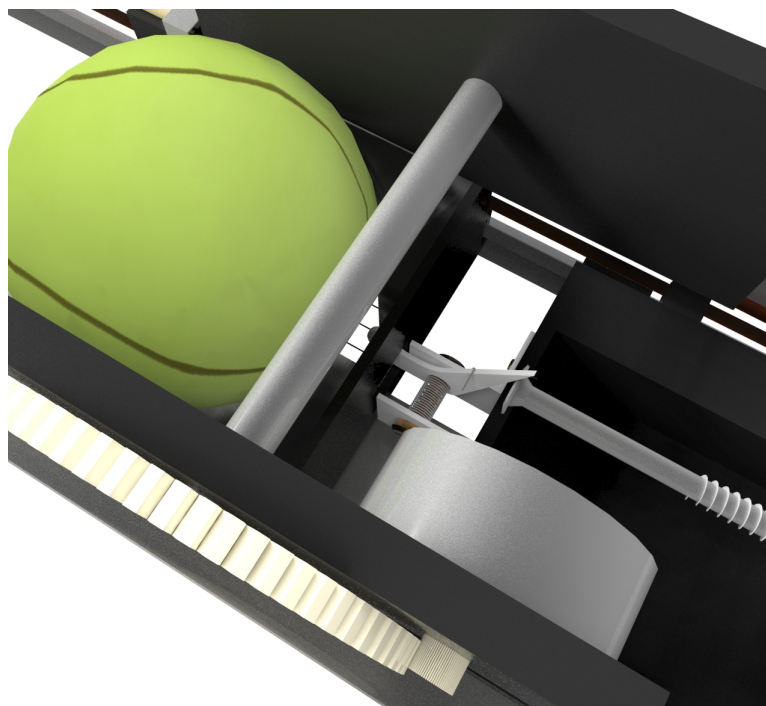


Figura 27 – Puxador acoplado à bandeja

Fonte: PRÓPRIA (2018)

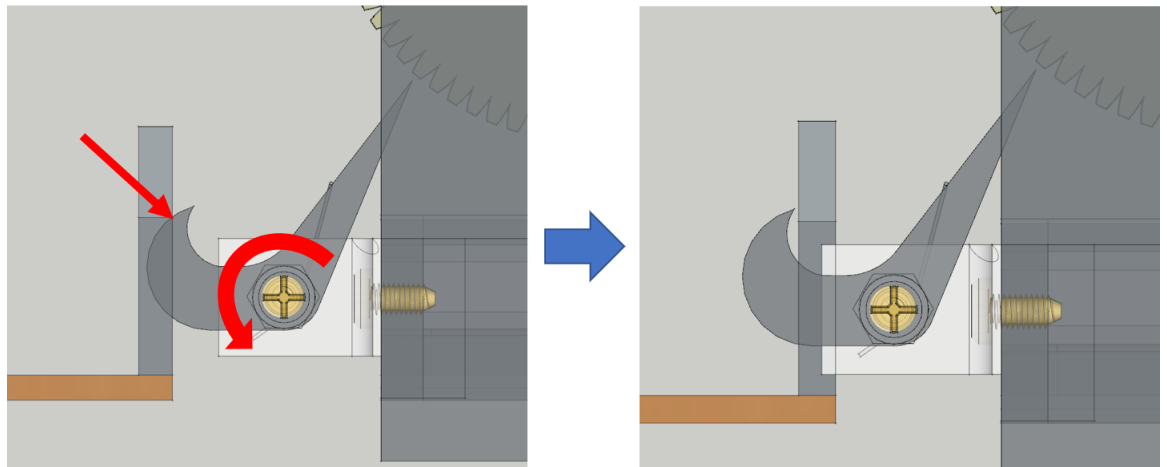
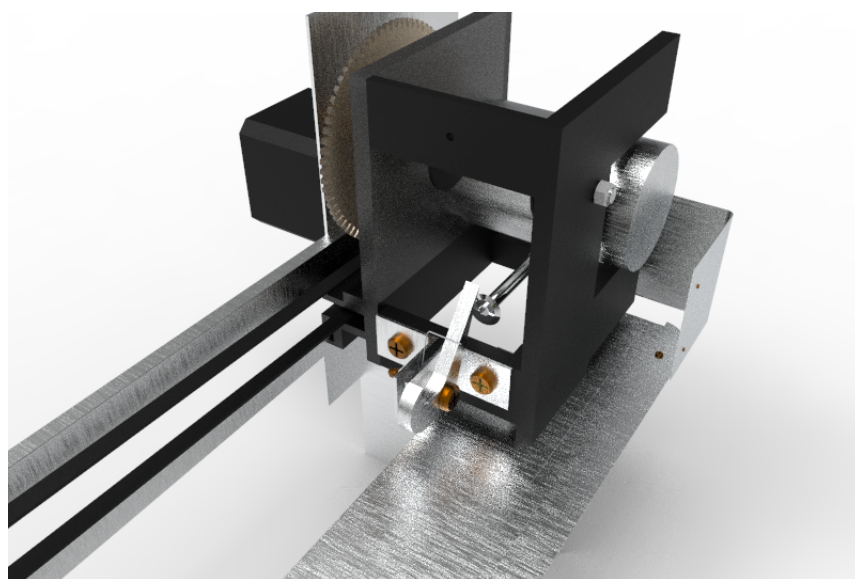


Figura 28 – Detalhe esquemático do acoplamento

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Assim que o gancho estiver acoplado na bandeja, o puxador será movimentado pelo sistema composto pela correia e motor e se deslocará até o limite traseiro da base, aproveitando assim a máxima extensão dos elásticos. Na parte traseira da base, está fixado um longo parafuso. Quando o puxador atingir o seu recuo máximo, a cabeça deste parafuso aplicará uma força de contato no gancho que o fará rotacionar, ocasionando assim o desacoplamento da bandeja. Novamente a mola torcional fará que o gancho volte para a sua posição inicial.



Fonte: PRÓPRIA (2018)

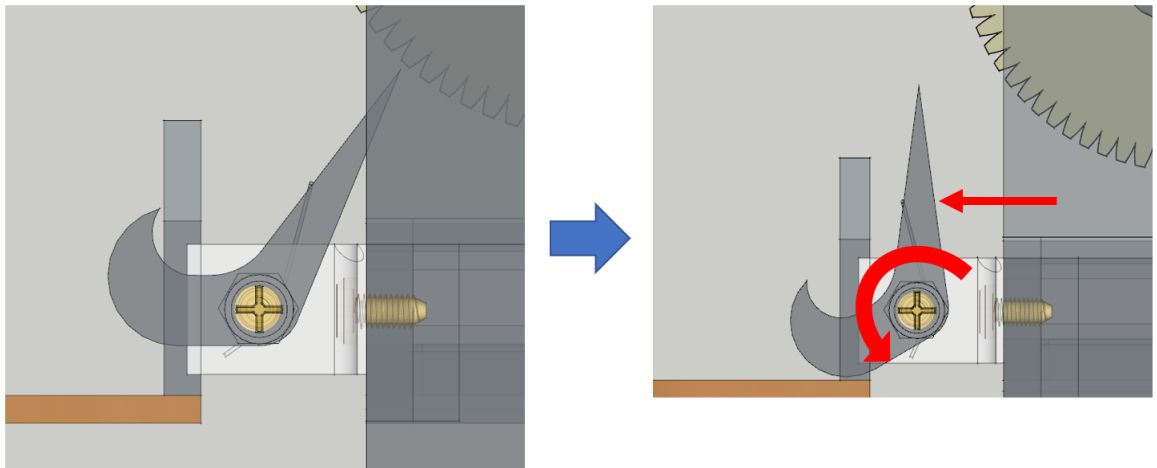


Figura 29 – Detalhe esquemático do desacoplamento

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Como o desacoplamento ocorrerá na situação no qual o conjunto de elásticos está em sua maior extensão, a energia potencial elástica será máxima e a bola lançada atingirá a distância máxima, seguindo as especificações do lançador. A seguir são apresentadas imagens conceituais do lançador em diversos momentos do lançamento.

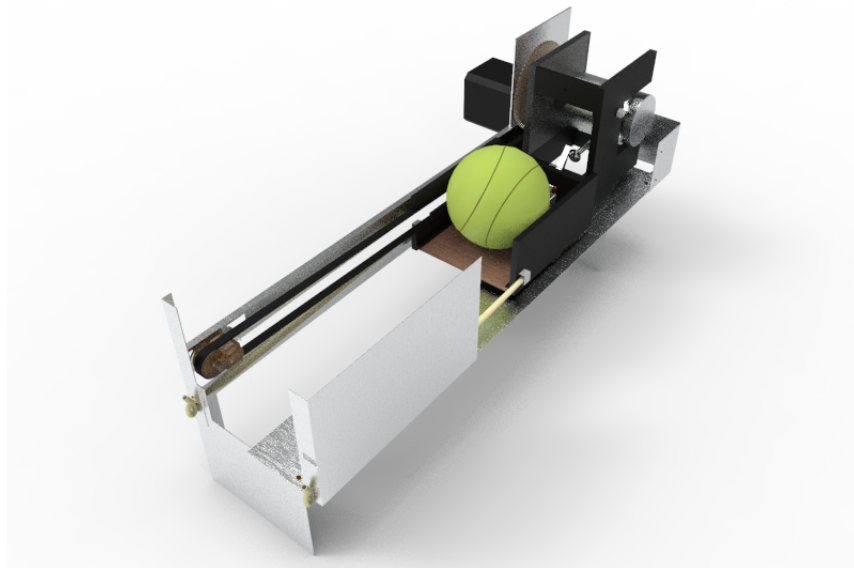


Figura 30 – Visão geral frontal do lançador com o elástico estendido

Fonte: PRÓPRIA (2018)

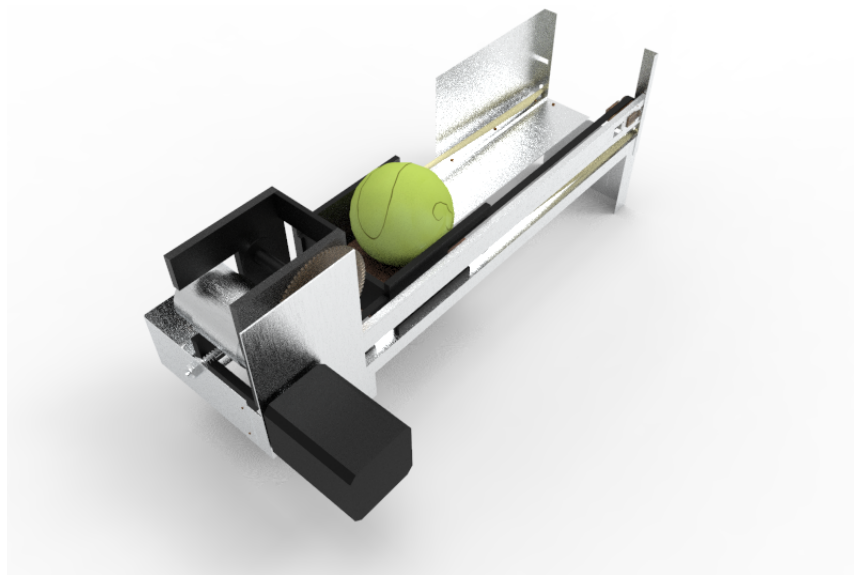


Figura 31 – Visão geral traseira do lançador com o elástico estendido

Fonte: PRÓPRIA (2018)

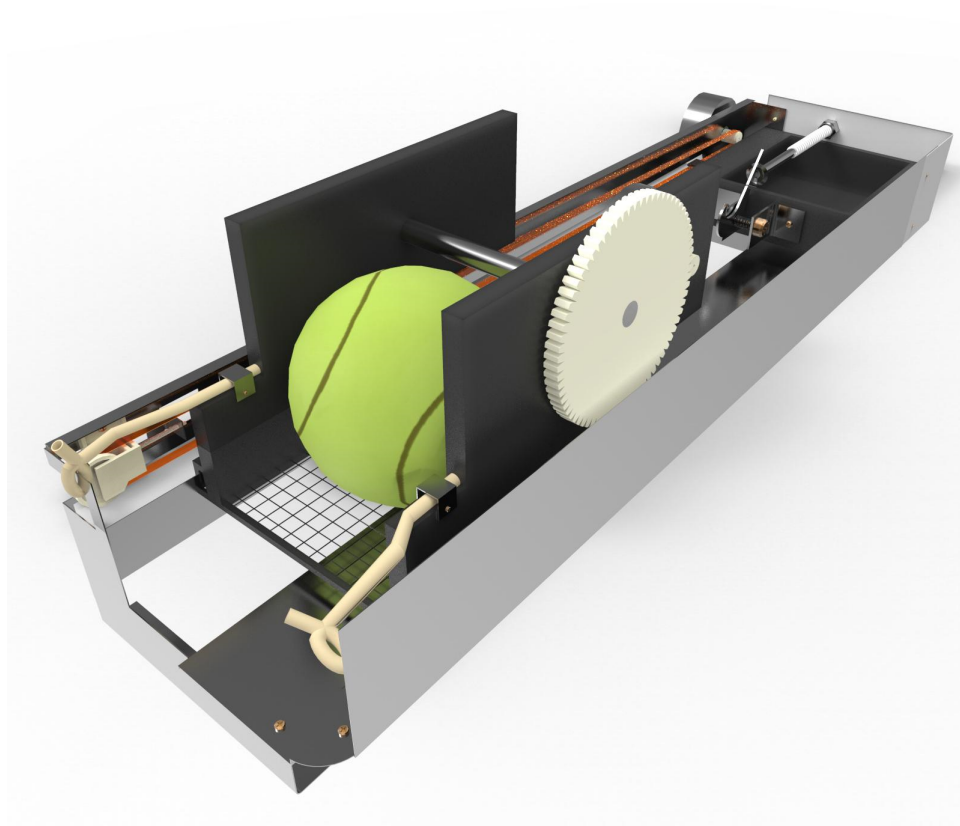


Figura 32 – Visão geral frontal do lançador com o elástico relaxado

Fonte: PRÓPRIA (2018)



Figura 33 – Visão geral traseira do lançador com o elástico relaxado

Fonte: PRÓPRIA (2018)

6.1.6 Bola

A ideia para a confecção da bolinha no produto final é a utilização do poliéster, já que é um material aplicado em vários brinquedos para cachorro atualmente. A bola será do tamanho de uma bola de tênis (6,5 cm de diâmetro) e confeccionada da mesma maneira que bolas de brinquedo existentes no mercado, ou seja, enrolada de maneira a tomar forma de uma bola, a imagem 34 a seguir mostra o resultado final desse processo.



Figura 34 – Bola de corda

Fonte: PETLOVE (2017)

A bola e a corda formarão um elemento único e contínuo. Já o teste de aplicabilidade dessa bolinha não será feito no presente trabalho, e a bola utilizada nos protótipo construído será detalhada nas seções posteriores.

6.2 Descrição e funcionamento da parte elétrica

Como detalhado na seção 6.1.5, o puxador é o componente responsável por rebocar a bandeja (componente que está preso a um par de elásticos e onde a bola está apoiada). Portanto, o puxador precisa realizar deslocamentos na direção paralela em relação comprimento da base e em ambos os sentidos. O movimento em um sentido é necessário para que o puxador se aproxime e engate o gancho na bandeja que, após o lançamento da bola, está estacionado em uma das extremidades da base. Após o engate o puxador precisará realizar o deslocamento no sentido contrário para percorrer a base e, conseqüentemente, rebocar a bandeja e estender os elásticos. Quando o puxador percorrer a distância necessária para energizar os elásticos para o lançamento da bola, a bandeja será desacoplada do puxador e voltará para a extremidade da guia. A partir desse momento o ciclo se repetirá.

As tarefas mencionadas acima exigem o uso de um microcontrolador, visto que serão utilizados 2 motores diferentes, sendo um deles um motor de passo, cujo acionamento exige a polarização das bobinas em uma sequência lógica definida, além de outros componentes como adaptadores para o controle remoto do lançador.

Portanto, para movimentar o puxador, utilizaremos os seguintes componentes:

- 1 motor de passo modelo FL57ST76-3304B
- 1 motor DC modelo ak555/390ml12s18200c
- 1 controlador do tipo arduino (modelo UNO)

- 2 drivers modelo L298N (ponte H)
- 1 fonte de tensão 12V de corrente contínua
- 1 fonte de tensão de 9V de corrente contínua
- 1 módulo bluetooth JY-MCU-HC-06
- 1 protoboard
- 1 resistor de 4600 Ω
- 1 resistor de 3200 Ω
- botões de liga/desliga

Nas seções a seguir, explicaremos o motivo deles serem necessários para o projeto e a justificativa para a sua escolha.

6.2.1 Arduino UNO

Para o papel de microcontrolador foi definido o uso do Arduino dado pela sua grande popularidade, o que facilita o aprendizado do usuário pois existem muitas fontes de informação na internet, baixo custo e facilidade na programação.

O Arduino Uno é uma placa de microcontrolador baseado no ATmega328 e possui 14 pinos de entrada/saída digital, quantidade suficiente para controlar 1 motor de passo bipolar que utilizará 4 pinos, o motor de corrente contínua que utilizará 2 pinos e o conector bluetooth que utilizará 3 pinos. As especificações técnicas desse arduino são mostradas a seguir:

- Microcontrolador ATmega328
- Tensão de operação 5V
- Tensão de alimentação (recomendada) 7-12V
- Tensão de alimentação (limite) 6-20V
- Entradas e saídas digitais 14 das quais 6 podem ser PWM
- Entradas analógicas 6
- Corrente contínua por pino de I/O 40 mA
- Corrente contínua para o pino 3.3V 50 mA

- Memória Flash 32 KB (ATmega328)
- Memória SRAM 2 KB (ATmega328)
- EEPROM 1 KB (ATmega328)
- Velocidade do Clock 16 MHz
- Dimensões 68,58mm x 53,34mm
- Massa 150g



Figura 35 – Arduino UNO

Fonte: ARDUINO (2018)

Como fonte de alimentação, devido ao seu reduzido tamanho quando comparado com uma associação em paralelo de pilhas, será utilizada uma bateria de 9V pois está dentro do que recomenda a especificação. Para o projeto em questão, foi utilizado como software de programação o programa Arduino IDE. Este ambiente de programação é escrito em Java e baseado em Processing, avr-gcc e outros softwares de código livre.

Devido à limitação de corrente nos pinos, para que a placa não sofra danos, será utilizado um driver entre o arduino e os motores do projeto. O driver será especificado mais pra frente.

6.2.2 Motor de passo, polia e correia

Como foi mostrado na seção 6.1.4, o motor necessário para este projeto deverá atender um torque de no mínimo 6,2 Kgf.cm.

O motor deve então oferecer um alto valor de torque, não sendo importante então a sua velocidade de rotação. Além disso, a distância percorrida pelos componentes da parte lançadora estão limitados ao comprimento da base de lançamento. Portanto, os movimentos devem ser precisos para não danificar o sistema.

Considerando essas limitações, decidimos fazer o uso de um motor de passo. O motor de passo utilizado neste projeto é o FL57ST76-3304B. Algumas especificações do motor utilizado estão listadas a seguir:

- Modelo: FL57ST76-3304B - Motor de passo híbrido de 4 fios
- Resistência da bobina: 1.2 Ohms
- Ângulo de passo: 1.8°
- Tensão de trabalho: 12V
- Corrente de trabalho: 10A
- Força máxima radial: 75N (a 20mm da flange)
- Torque máximo 12,6 Kgf.cm

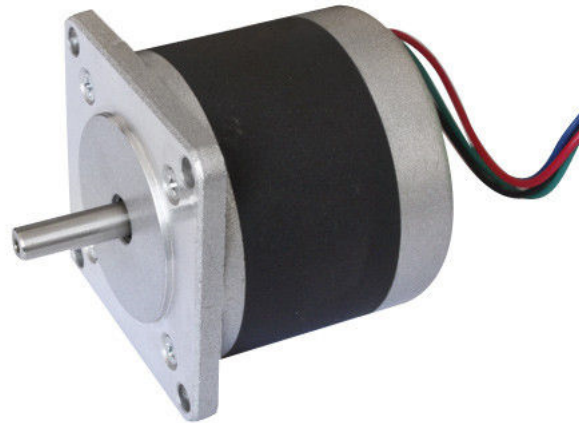


Figura 36 – Motor de passo FL57ST76-3304B

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Para permitir o seu funcionamento, este será alimentado por uma fonte de 12V e será controlado por um arduino do tipo UNO. Como o arduino trabalha com um limite de 40mA por pino, é necessário o uso de um driver com ponte H para haver um ganho de corrente e movimentar o motor. O modelo do driver utilizado no projeto é o L298N.

O motor de passo usado no projeto é bipolar, ou seja, é constituído por bobinas sem derivação central, diferentemente do motor de passo unipolar. Além disso, possui 4 fios, ou seja, é de 2 fases com 2 grupos de bobinas, conforme a imagem esquemática a seguir.

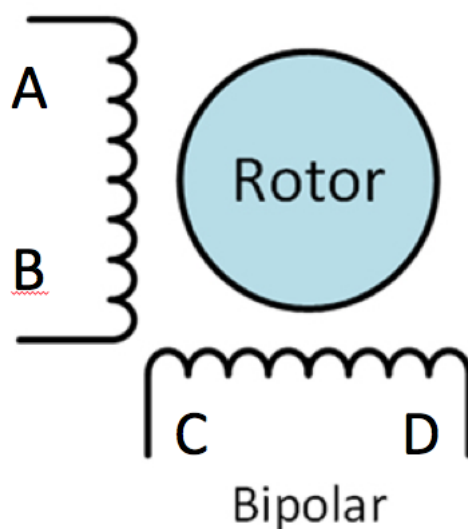


Figura 37 – Esquema de um motor de passo bipolar de 2 fases

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Para que o motor tenha um giro contínuo em um sentido, as bobinas devem ser energizadas de tal forma que a corrente elétrica flua na direção inversa a cada dois passos, de forma a permitir o movimento contínuo do rotor, ou seja, a polaridade deve ser invertida durante o funcionamento do motor. Essa energização será controlada pelo arduino.

Para identificar os fios que pertencem à mesma bobina, medimos um par de cada vez, a resistência entre os fios por meio de um multímetro. Os pares de fios que apresentaram resistência pertencem à mesma bobina. Com os fios pertencentes à mesma bobina identificados, conseguimos conectá-los nas portas do driver e controlá-las com o arduino corretamente para que o movimento de rotação do motor de passo, tanto no sentido horário quanto no sentido anti-horário seja possível.

O modo de acionamento do motor de passo escolhido para o nosso projeto foi o de Passo Completo (Full Step), pois precisamos de muito torque. Este modo de acionamento se caracteriza pelo fato de que o motor desloca seu rotor em passo completo a cada pulso de acionamento que recebe em suas a fases a partir do circuito de acionamento. A sequência de acionamento do motor de passo bipolar de 4 fios no modo de passo completo está apresentado na tabela a seguir:

Tabela 2 – Sequência de acionamento do motor de passo no sentido horário

Passo	A	B	C	D
1	+	+	-	-
2	-	+	+	-
3	-	-	+	+
4	+	-	-	+

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Esta sequência estará descrita no código do programa que controlará os motores do lançador de bolas e que será executada pelo arduino. O código poderá ser consultado no ANEXO D.

Para a realização do movimento da parte lançadora descrito anteriormente, foi definido a utilização de polias e uma correia, devido a sua facilidade de uso. Como o eixo do motor de passo descrito na seção anterior possui 8 milímetros de diâmetro, utilizamos uma polia GT2 de 20 dentes com 6mm de largura e furo de 8mm. Esta é a polia de 8 milímetros mais encontrada no mercado, fator que influenciou a sua escolha para o projeto. Conseqüentemente, para se encaixar à polia, utilizamos uma correia GT2 de 6 mm de largura. Ambos os componentes estão ilustrados nas figuras a seguir:



Figura 38 – Polia GT2 20 dentes

Fonte: PRÓPRIA (2018)

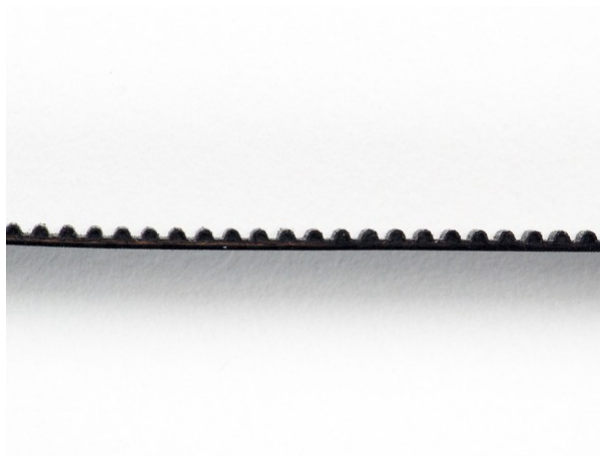


Figura 39 – Correia GT2 6 mm

Fonte: PRÓPRIA (2018)

6.2.3 Motor DC

O motor DC é utilizado neste projeto para compor o sistema de retorno da bola. Diferentemente do motor utilizado para movimentar o puxador, que prioriza o torque em relação à velocidade de rotação, para o sistema de retorno, tanto a velocidade de rotação quanto o torque aplicado são importantes. Portanto, decidimos fazer uso de um motor DC, cujo tipo de motor possui alta velocidade quando comparado a um motor de passo, que tivesse um alto valor de torque.

O modelo do motor DC escolhido foi o AK555/390ML12S18200C (SÉRIE AK555 NEOYAMA AUTOMAÇÃO, 2013) fabricado pela Akiyama Motors, o motor é mostrado na figura 40 a seguir:



Figura 40 – Motor DC AK555, (Neoyama Automação, 2013)

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Esse motor apresenta algumas características como:

- Tensão de operação: 6 a 18 V
- Rotação e corrente sem carga: 18200 rpm e 1.35A respectivamente
- Torque de partida: 1.3 kgf*cm

O motor é alimentado por uma fonte de 12V, a mesma que alimenta o motor de passo FL57ST76-3304B, e de maneira semelhante à esse motor, é ligada ao driver L298N e ao arduino UNO. O driver e o arduino servem para o usuário poder controlar o recolhimento através dos comandos pelo celular via bluetooth, já a velocidade de rotação do motor depende apenas da tensão e corrente fornecidas à ele.

6.2.4 Driver L298N

O driver L298N é um módulo com 2 circuitos pontes H integrados com o circuito integrado L298, construído para controlar cargas indutivas como relés, solenóides, motores DC e motores de passo. Ele é necessário pois os motores utilizados neste projeto são cargas indutivas que demandam uma quantidade de corrente superior à que as portas do Arduino conseguem fornecer.

O motivo de escolha desses drivers foi porque eles atendem às necessidades do projeto e por trabalharem bem com o Arduino, além de existir na internet bastante informação com instruções do seu uso.

As especificações técnicas do L298N são:

- Tensão de Operação: entre 4 e 35V;
- Chip: Ci L298N;
- Controle de 2 motores DC ou 1 motor de passo;
- Tensão para os motores: 5-35V;
- Corrente máxima para os motores: 2A;
- Potência máxima: 25W;
- Tensão lógica: 5V;
- Corrente lógica: 0-36mA;
- Limites de Temperatura: -20 a +135°C;
- Dimensões: 43x43x27 mm
- Massa: 30g.

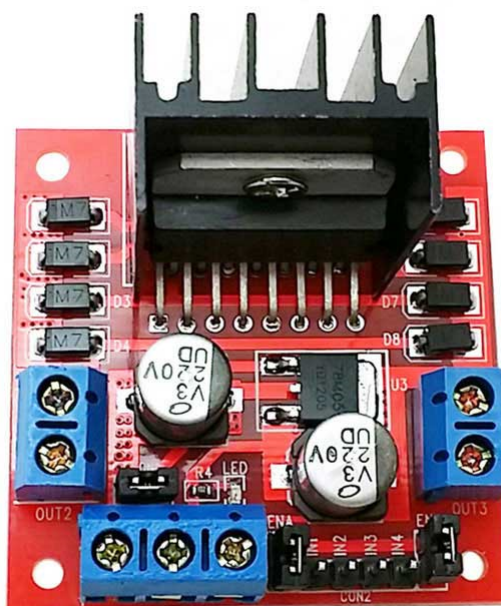


Figura 41 – Driver L298N

Fonte: PRÓPRIA (2018)

O lançador usará 2 módulos, um para o motor de passo e outro para o motor DC responsável por resgatar a bola lançada. O motor de passo usará os 4 pinos (2 para cada bobina) enquanto que o motor DC usará apenas 2 pinos pois só apresentará movimento de rotação em um único sentido. A alimentação dos 2 módulos será feita pela fonte de 12V, a mesma usada para alimentar os motores.

6.2.5 Módulo bluetooth e conjuntos de resistores

Utilizaremos também o módulo bluetooth JY-MCU-HC-06 para permitir que o usuário dê o comando para lançamento da bola e o resgate do mesmo por meio de comandos acionados por um aplicativo para celular.

Como não é necessário que o módulo faça buscas de outros dispositivos bluetooth, mas apenas ser encontrado pelo aplicativo que controlará o lançador, o modelo HC-06 é suficiente para o projeto. Existe no mercado o modelo HC-05 que é utilizado quando o módulo precisa fazer a busca de outros dispositivos, porém o seu custo é mais elevado.

Assim como os drivers L298N, este módulo bluetooth é bastante utilizado em conjunto com o Arduino, existindo na internet bastante informação sobre a sua configuração

e também sobre como controla-lo por meio do código de programação do Arduino.

A seguir compartilhamos suas especificações técnicas:

- Modelo: HC-06;
- Alimentação: 3.6-6VDC;
- Nível de sinal: de 3.3V;
- Bluetooth versão: V2.0 + EDR;
- Taxa de transmissão padrão: 9600,8,1, n.
- Cobertura de sinal: até 10m;
- Segurança: Autenticação e encriptografia;
- Tipo de comunicação: Serial RS232 Nível TTL;
- Senha padrão (PIM): 1234;
- Dimensões (CxLxE): 38x15,7x3,5mm;
- Massa: 3g.

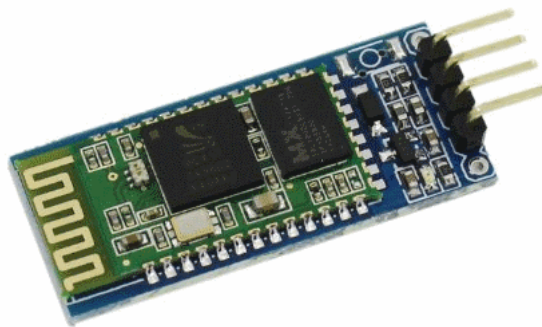


Figura 42 – Módulo bluetooth HC-06

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Configuraremos a interface de controle do lançador de bolas em um aplicativo instalado em um smartphone Android. O aplicativo utilizado é o Bluetooth Arduino Connection. A interface contará com 2 botões, um para acionar o movimento do puxador

e lançar a bola e outro para resgatar a bola de volta para o lançador. Detalhes sobre a programação da interface podem ser vistos na seção 9.1.

Uma particularidade deste módulo é que a porta digital TX trabalha com 3.3V. Por conta disso e, sabendo que o arduino alimenta o módulo com uma tensão de 5V, será necessário fazer uso de um divisor de tensão por meio de 2 resistores, um de 3.3k Ω e outro de 4.6k Ω , o que reduzirá a tensão resultante neste pino para 3.146V.

6.2.6 Fontes de alimentação (baterias)

Para alimentar todo o circuito necessário para o funcionamento do lançador, serão utilizados 2 baterias

- Bateria alcalina de 9V - MN-1604
- Bateria de chumbo-ácido Unipower UP1213 - 12V e 1,3Ah

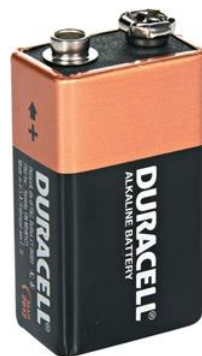


Figura 43 – Bateria alcalina 9V

Fonte: PRÓPRIA (2018)



Figura 44 – Bateria Unipower UP1213 - 12V

Fonte: PRÓPRIA (2018)

A bateria de 9V será usada para alimentar o arduino e o módulo bluetooth enquanto que a bateria de 12V UP1213 alimentará os 2 motores e os 2 drivers L298N. A tensão de 12V é necessária pois é a tensão de operação dos motores de passo e DC, utilizados neste projeto. Ambos serão ligados por meio de um botão de liga e desliga a partir do qual energizará o sistema para permitir o funcionamento do lançador. Mais detalhes podem ser vistos na seção onde detalhamos a montagem do lançador.

6.2.7 Configuração geral do circuito

Uma vez listado e descrito todos os componentes da parte elétrica do lançador, detalharemos a seguir a forma que estes componentes estarão conectados. Para simplificar o entendimento, utilizamos o software aberto Fritzing. O Fritzing é um programa em ambiente gráfico que facilita as montagens com arduino, mostrando de modo virtual como seria uma montagem física do circuito elétrico do projeto em questão. Incluímos na projeto uma protoboard para organizar a fiação e, dessa forma, aumentando a segurança do projeto. Outro ponto a destacar é que a bateria de 12V foi representado no esquema como 8 pilhas AA em série, no qual cada uma possui uma tensão de 1,5V. O esquema geral do circuito é mostrado a seguir:

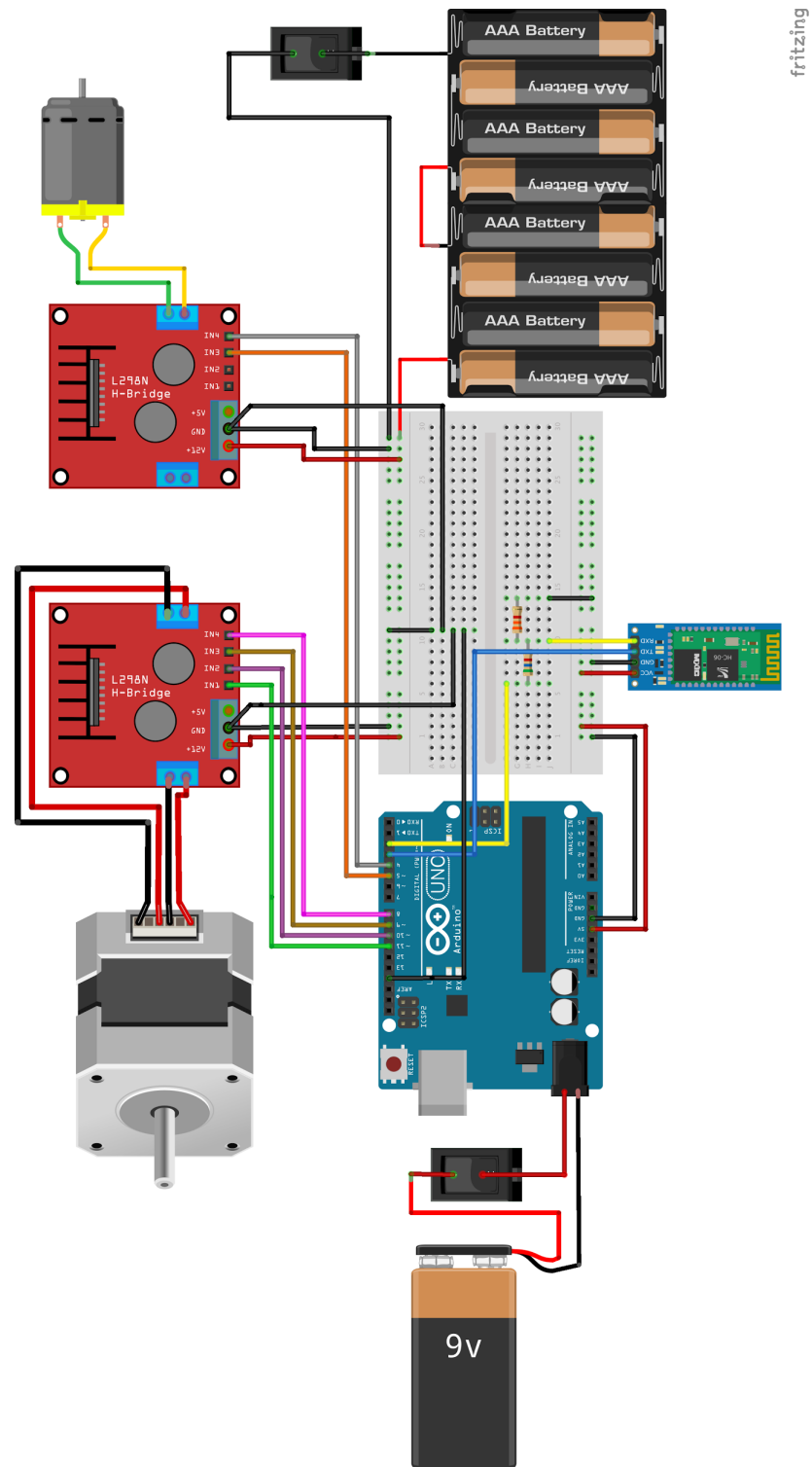


Figura 45 – Esquema geral do circuito elétrico

Fonte: PRÓPRIA (2018)

6.2.8 Código do Arduino

Conforme mencionado na seção 6.2.1, o motor de passo e do motor DC, responsáveis pelo lançamento e retorno da bola respectivamente, serão controlados pelo Arduino. A aplicação utilizada para a elaboração e transcrição do código de programação para o Arduino foi o ARDUINO IDE que é uma aplicação multiplataforma escrita em Java e é famoso por introduzir a programação a pessoas não familiarizadas com o desenvolvimento de softwares. Além disso, possui recursos de identificação automática que auxilia o programador no momento de escrita do código além de compilar e e carregar a placa Arduino com programas usando apenas 1 clique.

Para a elaboração do código, alguns pontos importantes foram considerados. Listamos a seguir todos estes pontos:

1. Os pinos digitais de número 8 a 11 do Arduino foram configurados para controlar o motor de passo
2. Os pinos 6 e 7 foram configurados para controlar o motor DC
3. Configuramos a porta 3 do Arduino para controlar a velocidade do motor DC. Isso foi necessário pois a velocidade de rotação do motor DC é muito alta e isso pode causar problemas de embaraçamento do fio que prende a bola durante o retorno da mesma
4. Incluímos no código o comando para exibir na tela do computador o caracter enviado pelo aplicativo de celular e que está conectado com o receptor bluetooth. Esse comando foi de grande importância para verificar se o adaptador bluetooth estava corretamente configurado
5. Por motivos de incompatibilidade com os aplicativos utilizados para controlar o lançador, não utilizamos a biblioteca que configura outras portas digitais, diferentes das portas 1 e 2, como portas RX e TX. Como essas portas são responsáveis pelo carregamento do código para a placa Arduino e também pela conexão do adaptador bluetooth ao Arduino, os fios que conectam essas 2 placas eram sempre desconectadas quando um código atualizado era carregado para a placa Arduino

A versão final e completa do código encontra-se na seção de anexos deste relatório.

6.3 Descrição e funcionamento da parte responsável pelo recolhimento

Para o sistema de retorno do bola, foi desenvolvido um sistema composto pelo motor DC, previamente já descrito, e um sistema de engrenagens composto por peças aproveitadas da impressora Stylus C67. Esses componentes não puderam estar localizados na bandeja pois este componente deve ter o menor peso possível para que o atrito com a base de lançamento não dissipe a energia que será convertida na energia cinética da bola. Portanto, o sistema de retorno está localizado no puxador, conforme pode ser visto na imagem a seguir.

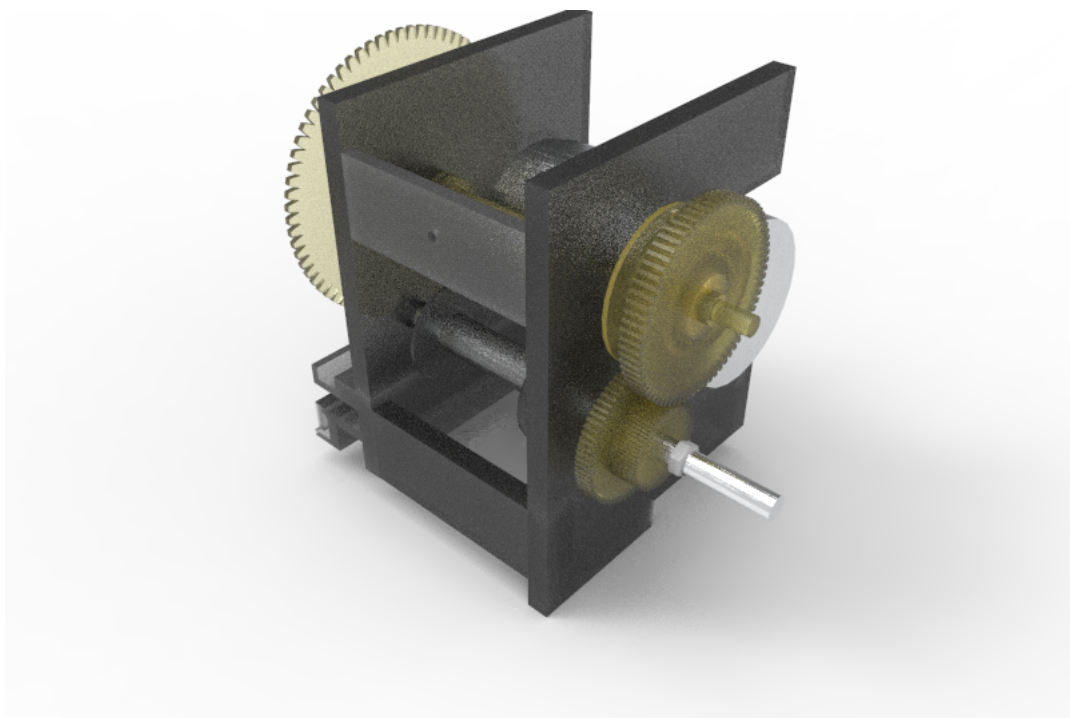


Figura 46 – Visão 1 do sistema de retorno

Fonte: PRÓPRIA (2018)

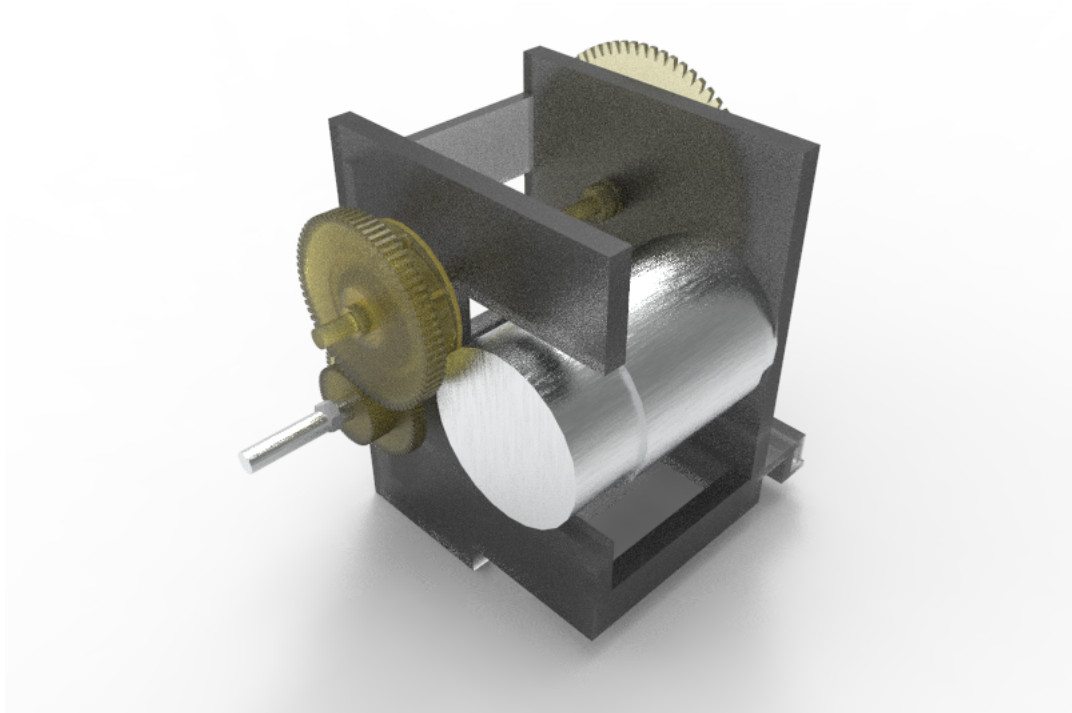


Figura 47 – Visão 2 do sistema de retorno

Fonte: PRÓPRIA (2018)

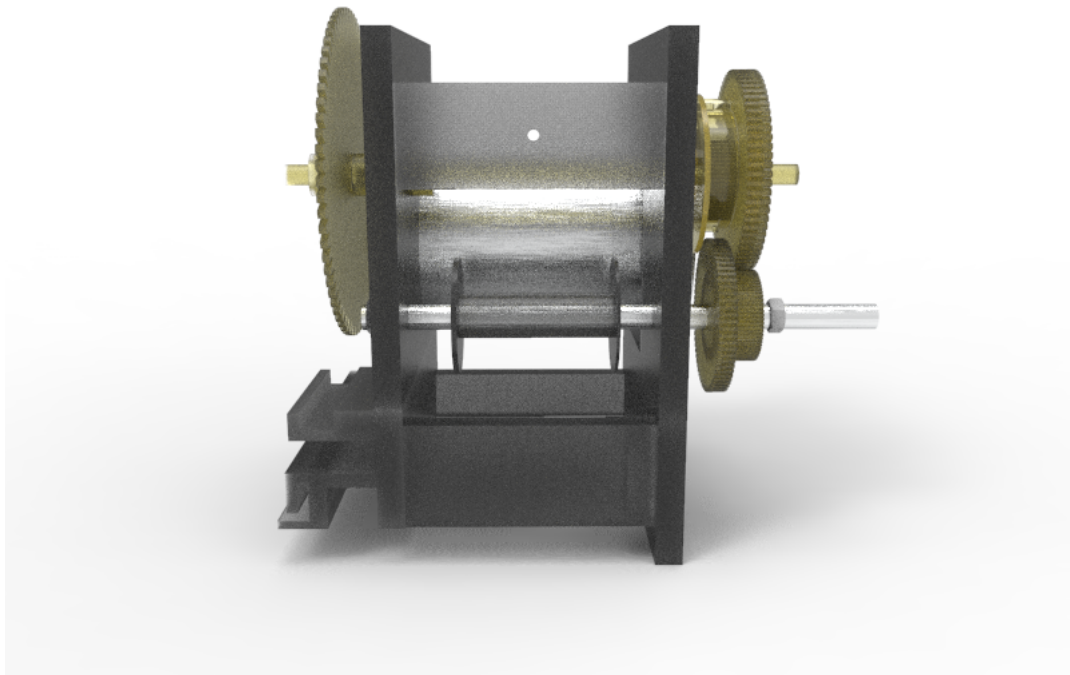


Figura 48 – Visão 3 do sistema de retorno

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Este sistema de engrenagens é necessário para minimizar o atrito durante o desenrolar do fio que está preso à bola e que poderia travar o lançamento da bola.

Quando a bola é lançada, o fio preso à bola está inicialmente enrolado em um eixo. Este eixo não deve oferecer resistência para girar pois travaria o lançamento. Porém, se este mesmo eixo girasse livremente nos 2 sentidos, o motor não conseguiria transmitir torque para girar o eixo e, conseqüentemente, enrolar o fio e retornar a bola. Caso esse eixo estivesse diretamente engrenado com o eixo do motor, durante o lançamento, o torque inercial do motor DC impediria o giro do eixo e o fio não se desenrolaria.

Para resolver este problema, o eixo deve girar em falso em um sentido apenas. Este tipo de movimento é possível por meio do uso de 3 peças atuando em conjunto.

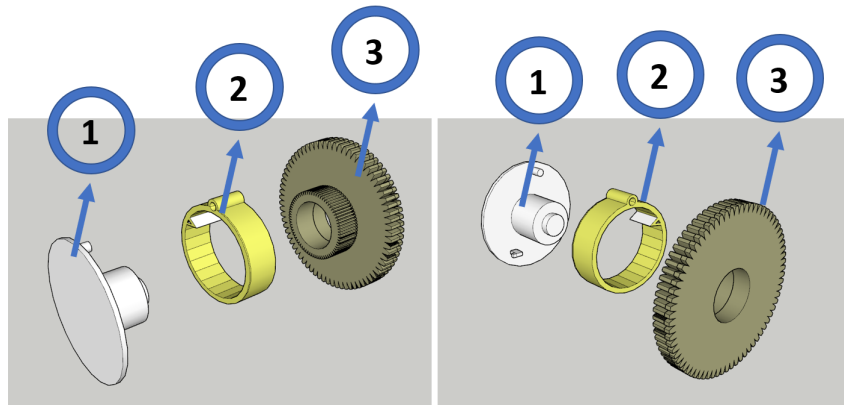


Figura 49 – Peças do sistema de retorno

Fonte: PRÓPRIA (2018)

A peça 1, indicada na figura acima serve como apoio da peça 2, que está apoiada em um pequeno ponto da peça 1. Conforme a peça 1 gira, a peça 2 pode assumir posições diferentes, conforme mostra a figura a seguir.

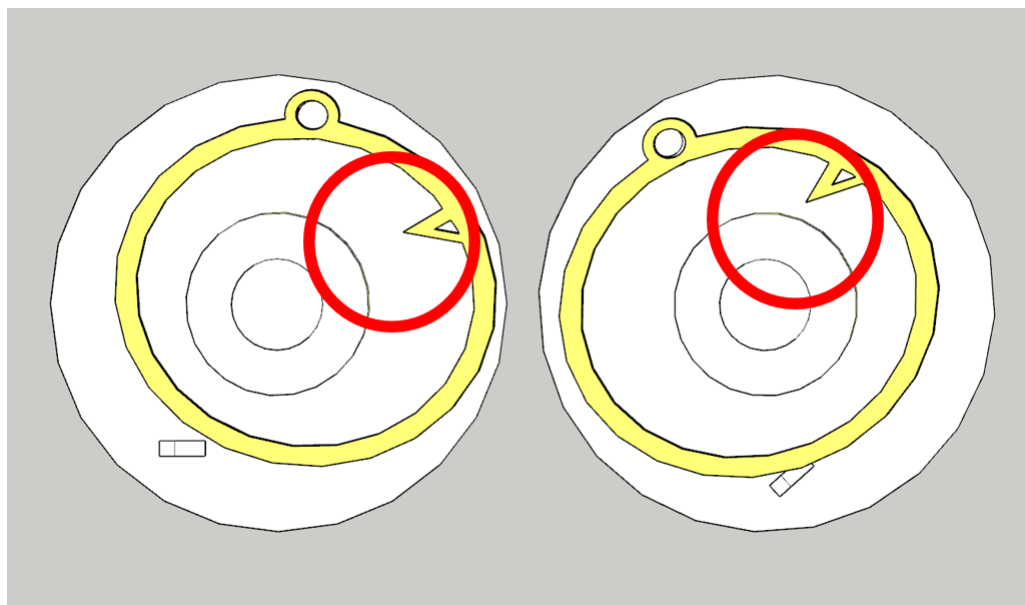


Figura 50 – Diferentes posicionamentos da peça 2

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Dependendo do posicionamento da peça 2, o detalhe triangular desta peça pode estar mais próximo ou afastado do centro. Este detalhe triangular, quando está mais

mais próxima do centro, entra em contato com os dentes internos da peça 3, travando o seu movimento. Quando o detalhe triangular está mais afastado, este não estará mais em contato com os dentes internos da peça 3 e o seu giro fica livre.

O elemento responsável por girar a peça 1 e, conseqüentemente, mudar o posicionamento da peça 2 por inércia é o motor DC do sistema de retorno. Dessa forma, esse sistema de engrenagens permite que a bola não sofra interferência do fio durante o lançamento mas também permite que o fio seja tracionado durante o retorno.

7 FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO

Com o objetivo de verificar o funcionamento do conceito de lançamento de uma bola, o retorno do mesmo para o ponto de lançamento e a execução destas ações de forma remota, foi necessário a construção de um protótipo. A validação do conceito foi definida por meio de resultados obtidos com ensaios experimentais.

Para a fabricação do protótipo, as seguintes formas de fabricação foram consideradas:

- Reaproveitamento e adaptação de estruturas já existentes
- Usinagem de chapas de aço
- Impressão 3D

No fim, com as peças que compõem o protótipo em mãos, foi realizada a fixação dos componentes e também a soldagem e conexão dos componentes eletrônicos na estrutura base. A seguir detalhamos todo o processo de fabricação para cada uma das formas citadas.

7.1 Usinagem e reaproveitamento de estruturas

Conforme mencionado na seção 6.1.1, a base do lançador foi definida com base em uma estrutura metálica pertencente à uma impressora Stylus C67 da marca EPSON. Para facilitar no processo de montagem do protótipo e reduzir os custos do projeto, essa estrutura será reaproveitada para o projeto, não sendo necessária a fabricação do mesmo, conforme mostram as imagens a seguir.



Figura 51 – Visão geral da base

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Foi necessária a usinagem de 4 peças que serviram para permitir a fixação de outros componentes do protótipo como o motor de passo, os elásticos e do parafuso responsável por desacoplar o puxador e a bandeja, conforme descrito na seção 6.1.5. As 4 peças estão indicadas na imagem a seguir.

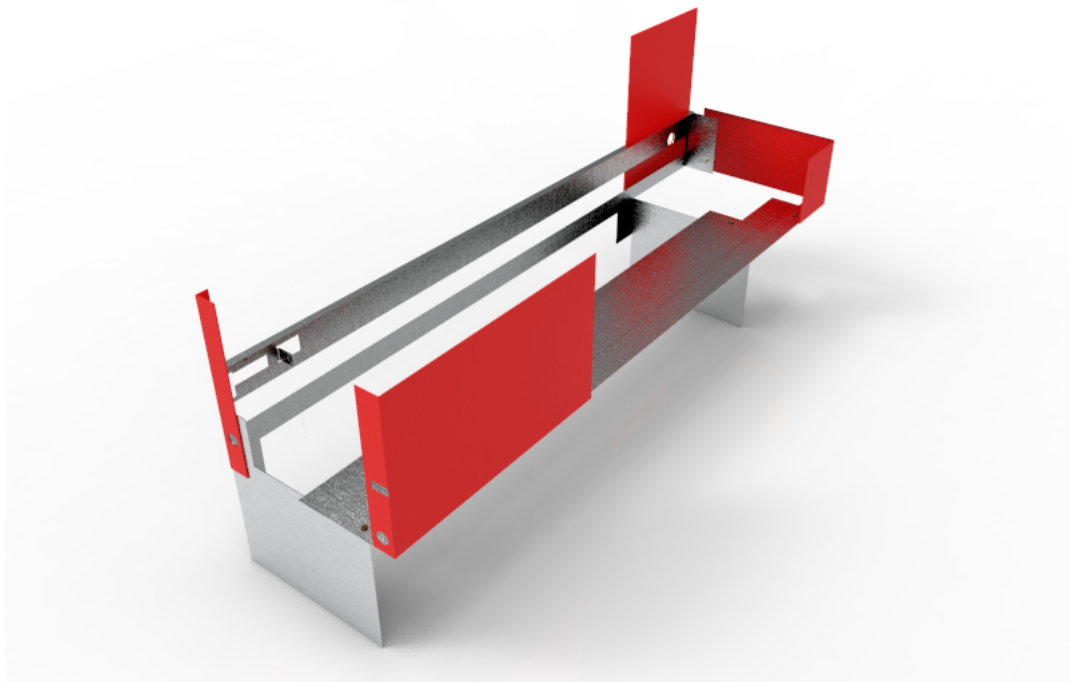


Figura 52 – Componentes usinados e fixados na estrutura base

Fonte: PRÓPRIA (2018)

O material usado para a fabricação dessas peças foi o aço 1020 de 1mm de espessura. O desenho de fabricação dessas peças também estão na seção de anexos deste relatório.

Além das peças de aço, foram usinadas 1 peça de madeira (situada abaixo da base estruturada e é onde os componentes eletrônicos são fixados) e 1 peça de MDF (placa de fibra de média densidade) que serve de piso para toda a estrutura do lançador. Também foram usados o MDF no piso da bandeja, onde a bola é apoiada, e também na confecção da peça que permite fixar a inclinação do lançador.

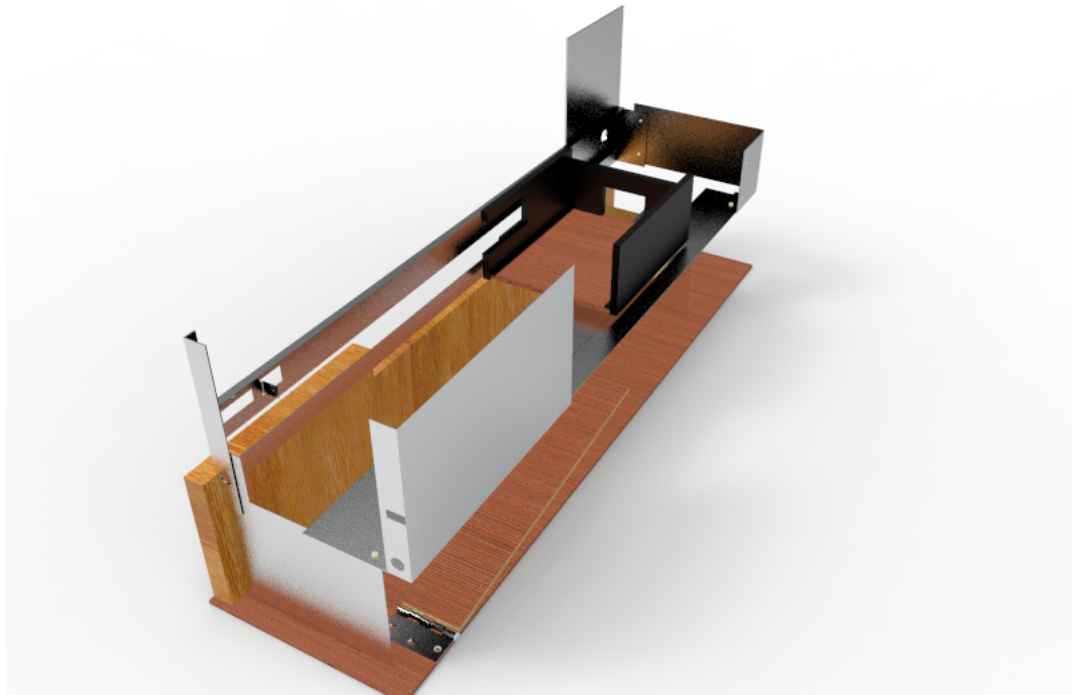


Figura 53 – Componentes de madeira e MDF no lançador

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Foram realizadas também algumas modificações na estrutura base para permitir a fixação das peças descritas acima e também para permitir que os componentes eletrônicos do protótipo fossem encaixadas. Os detalhes em vermelho na imagem a seguir mostra todas essas modificações.

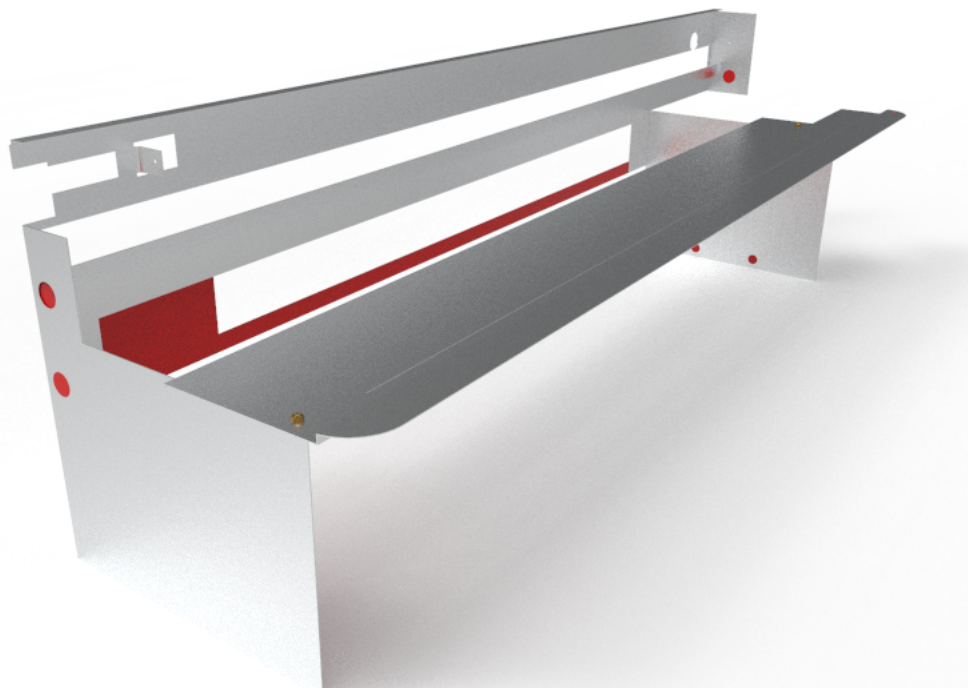


Figura 54 – Alterações realizadas na estrutura base

Fonte: PRÓPRIA (2018)

7.2 Impressão 3D

O puxador e a bandeja, por apresentarem uma estrutura com exigência de detalhes, principalmente por conta da necessidade de deslizarem sobre uma guia, foi decidido que a melhor forma de fabricação destes componentes seria por impressão 3D.

A impressão das peças foi realizada na Central de Instrumentação Multiusuário localizado no CITI-USP (Centro Interdisciplinar em tecnologias interativas da USP). A Central conta com equipamentos de ponta como ferramentas de corte a laser, de bancada e impressoras 3D para a fabricação e prototipagem de projetos de eletrônica.

A impressora 3D utilizada foi a 3D Cloner DH e o material utilizado foi o filamento de PLA (ácido poliático) de 1.75 milímetros de diâmetro.



Figura 55 – Impressora 3D Cloner DH

Fonte: 3D CLONER (2018)

Para a modelagem das peças em 3D foi utilizado o software SketchUp. O programa pode ser baixado gratuitamente e é um produto do grupo Google. O SketchUp é utilizado principalmente para criar facilmente estudos iniciais e esboços (daí também o seu nome: "Sketch" que significa esboço em inglês) de modelos ou maquetes em 3D, eliminando assim muitas vezes a necessidade da execução de modelos ou maquetes físicas.

Uma limitação da impressora é a impressão de cantos com angulação menor que 45 graus. Como tanto o puxador quanto a bandeja possuem partes que não atendem essa condição, para ser possível a impressão, foi necessário separá-los em partes menores e em seguida uni-los com cola. As imagens a seguir mostram essas pequenas partes e a peça final.

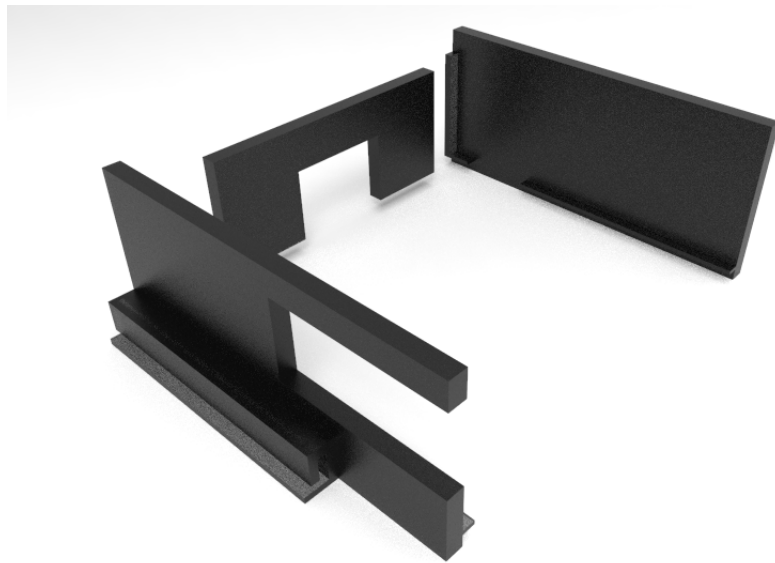


Figura 56 – Vista explodida da bandeja

Fonte: PRÓPRIA (2018)

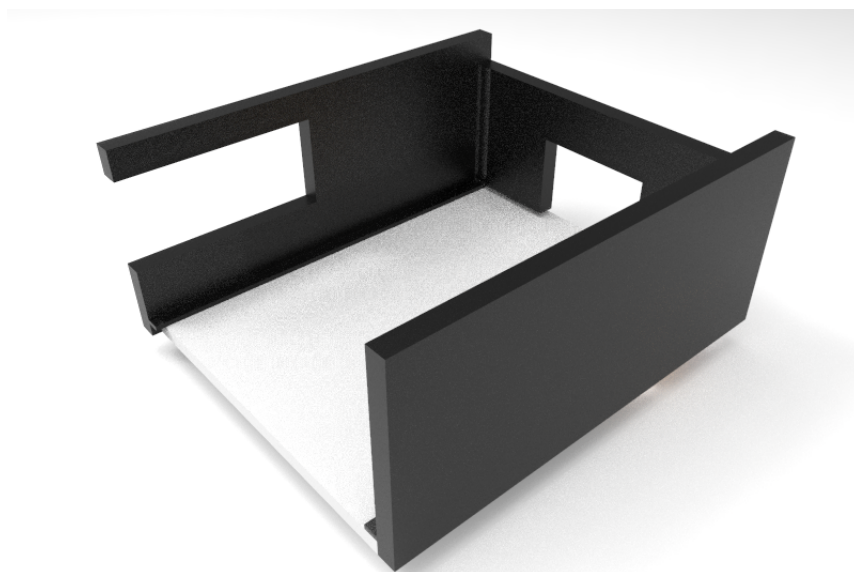


Figura 57 – Bandeja montada

Fonte: PRÓPRIA (2018)



Figura 58 – Vista explodida do puxador

Fonte: PRÓPRIA (2018)

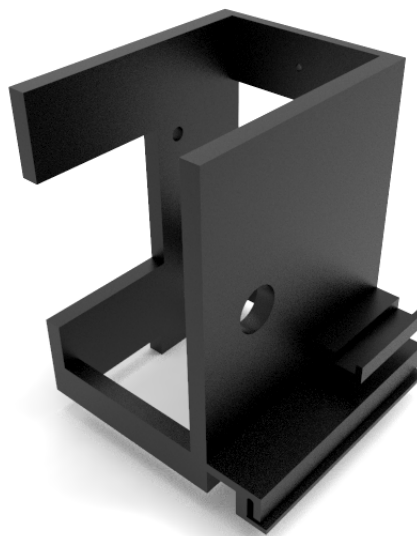


Figura 59 – puxador montado

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Lembrando que o piso da bandeja não foi impressa pois utilizamos o MDF para esta função.

Outra peça que foi fabricada por meio da impressão 3D foi a polia que sustenta um dos lados da correia. Inicialmente essa peça já fazia parte da impressora desmontada porém, conforme será detalhado na seção a seguir, foi necessário efetuar a troca da correia para uma mais larga quando comparada à correia original da impressora.

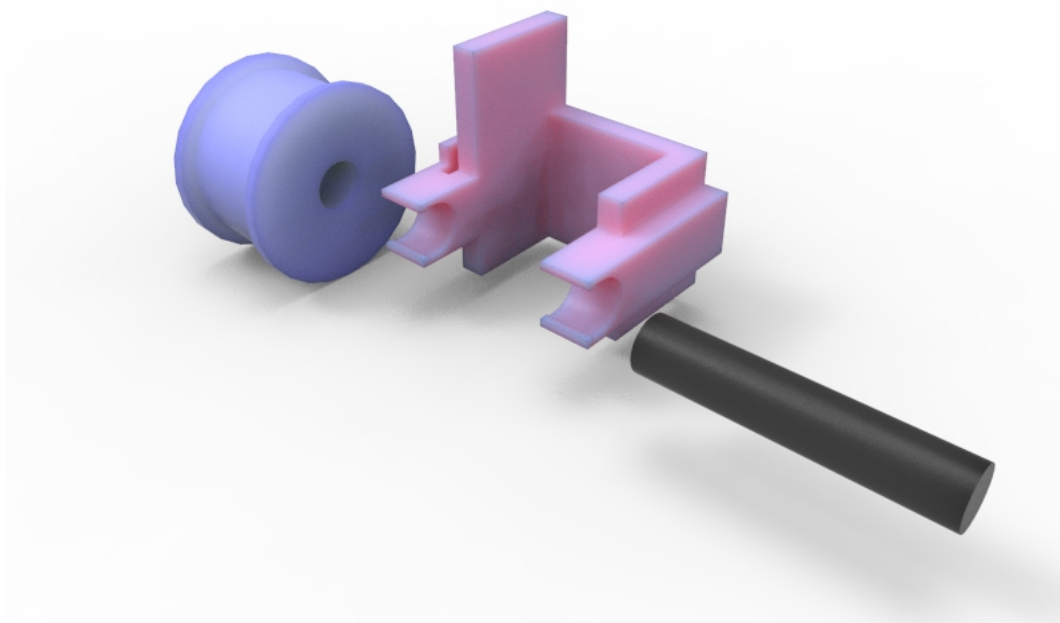


Figura 60 – Visão explodida da polia e sua peça de sustentação

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Os desenhos de fabricação desses componentes encontram-se no anexo deste relatório. É válido ressaltar o dimensionamento dos elementos de máquinas deste projeto não foi considerado pois o protótipo tem como objetivo apenas testar conceitos. Além disso, por limitação de custo, o protótipo foi construído usando peças prontas, reaproveitadas da impressora.

7.3 Ligação entre a bola e o fio

O protótipo tem como objetivo testar um sistema de retorno da bola ao ponto de lançamento de forma automática e, conforme especificado na seção 5.1, o sistema de uma corda ou fio ligado a bola foi definida como a melhor solução para atingir um dos objetivos do lançador.

Para a realização dos ensaios experimentais com o protótipo fizemos o uso de uma bola de borracha presa a um fio de nylon por meio de um anzol que foi inserido no interior da bola. Faremos apenas o teste de lançamento da bola, não havendo portanto a interação com o cachorro, e assim, sem riscos para a integridade física de um animal.

O fio considerado para o projeto foi um fio de poliamida (nylon) de 0,90mm de diâmetro e com resistência de tração de 36,6kg da marca *Grilon* (MAZZAFERRO, 2016).

A ligação da bola e o fio foi realizado com a ajuda de um anzol de pesca. Amarramos o fio de nylon no anzol e o introduzimos no interior da bola de tennis. O formato curvado do anzol favorece que o mesmo permaneça no interior da bola. E a fixação do fio no anzol foi feito com o auxílio de uma mini luva de pesca, conforme as imagens a seguir.



Figura 61 – Fio de nylon considerado para o protótipo

Fonte: MAZZAFFERRO (2016)



Figura 62 – Detalhe da fixação do fio de nylon à bola de tenis

Fonte: PRÓPRIA (2018)

7.4 Montagem geral

Uma vez com as peças usinadas e impressas, foi realizado a montagem do protótipo que consistiu nos seguintes passos, nessa ordem:

1. Montagem e fixação do sistema de gancho do puxador
2. Fixação do motor DC e das engrenagens de retorno da bola no puxador
3. Fixação dos elásticos e da placa de MDF na bandeja
4. Acoplamento da bandeja e do puxador na estrutura base
5. Fixação das peças de aço na estrutura base
6. Fixação dos motor de passo na estrutura base
7. Fixação das polias, tanto no eixo do motor de passo quanto na estrutura base
8. Fixação da correia
9. Fixação dos elásticos na estrutura base
10. Fixação do parafuso responsável pelo desacoplamento do puxador com a bandeja
11. Fixação da parede de madeira na base de MDF

12. Fixação das dobradiças na base de MDF, responsáveis pela inclinação do lançador
13. Fixação de cantoneiras na parede de madeira que servirão para sustentar a protoboard
14. Fixação dos shields e do arduino na parede de madeira e na base de MDF, respectivamente
15. Acoplamento da protoboard na parede de madeira
16. Conexão dos fios dos motores nos shields
17. Montagem na protoboard do circuito responsável pelo funcionamento do adaptador bluetooth
18. Conexão dos shields com a protoboard e com o Arduino
19. Conexão dos fios de alimentação de tensão com os interruptores
20. Conexão dos fios de alimentação de 12V de tensão na protoboard
21. Conexão dos fios de alimentação de 9V de tensão no Arduino
22. Fixação dos velcros

Após a realização de todos os passos listados acima, a montagem do protótipo foi terminada. A seguir comparamos as imagens do modelo 3D do protótipo com o modelo real.

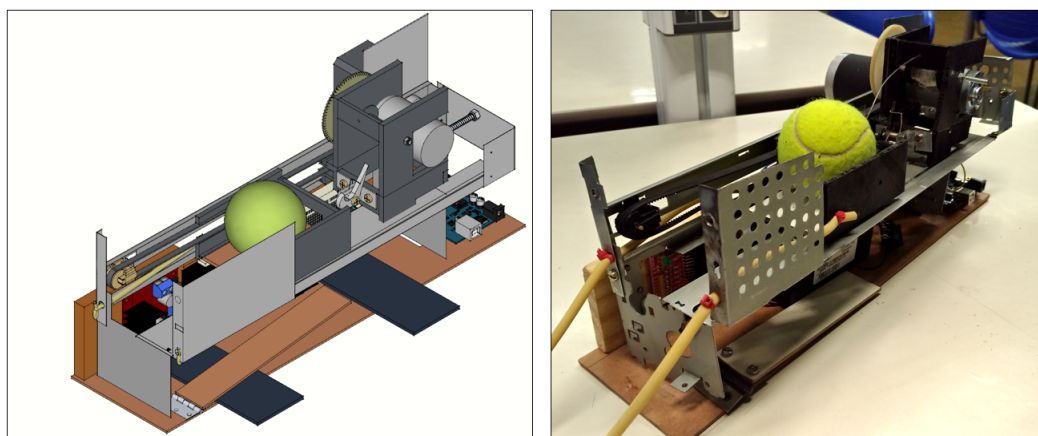


Figura 63 – Comparação 1 do modelo em CAD e o modelo final

Fonte: PRÓPRIA (2018)

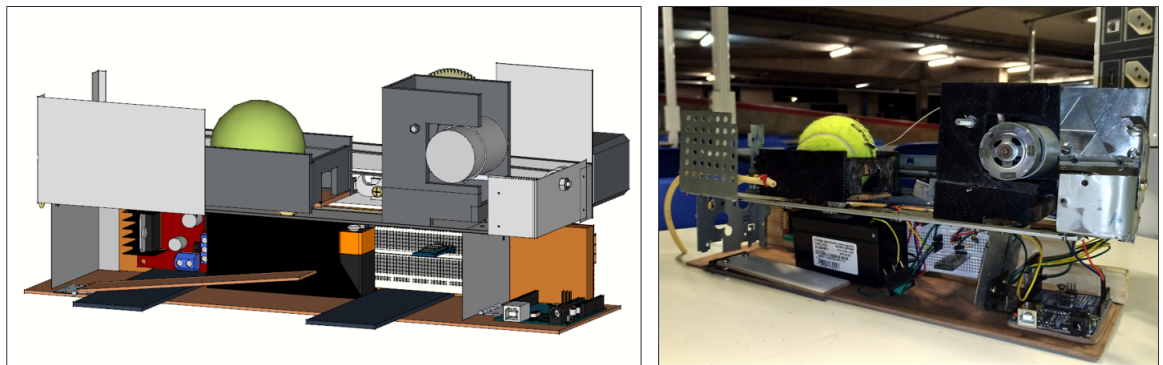


Figura 64 – Comparação 2 do modelo em CAD e o modelo final

Fonte: PRÓPRIA (2018)

O modelo real está bem próximo ao modelo de CAD, porém com algumas diferenças devido à restrições no processo de fabricação e a indisponibilidade de ferramentas de usinagem adequadas, o que comprometeu a precisão no processo de fabricação do protótipo. Essas imprecisões implicaram principalmente na necessidade de lixar o furo de acoplamento do gancho de engate do puxador com a bandeja. Outra

8 TESTES PRELIMINARES

Durante o processo de fabricação do protótipo, outros modelos dos componentes foram adotados mas acabaram descartados por não atenderem as especificações do projeto quanto ao lançamento e o retorno da bola. A seguir detalhamos cada um dos componentes que foram usados e o motivo do seu descarte.

8.1 Primeira substituição do motor de passo responsável pelo lançamento

Inicialmente, o motor de passo escolhido para movimentar o puxador e consequentemente estender o elástico que impulsiona a bandeja e a bola foi o EM-464, cuja especificação está descrita nos parágrafos a seguir. Este modelo de motor foi escolhido visando o aproveitamento dos componentes da impressora Stylus C67 da EPSON. Como este motor é um modelo fabricado especificamente para produtos da EPSON, não foi possível encontrar o datasheet correspondente, portanto as especificações do motor são desconhecidas. A função desse motor de passo na impressora era movimentar o cartucho de tinta, movimento que é similar ao do puxador do nosso projeto.



Figura 65 – Motor de passo EM-464

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Quando realizamos os testes do protótipo com esse motor, verificamos que o motor não possuía torque suficiente para estender o par de elásticos até um comprimento considerável para possibilitar o lançamento da bola. Durante a realização dos testes, a inclinação do lançador estava a 40 graus em relação à base e a energia transferida para a bandeja, por meio dos elásticos, não foi suficiente para que a bandeja vencesse a força peso e o atrito em relação à guia.

Para a resolução deste problema, primeiramente decidimos remodelar a bandeja para reduzir a sua massa e, conseqüentemente, a influência do peso e do atrito no lançamento.

8.2 Remodelagem da bandeja

Inicialmente optamos por fixar o sistema de retorno da bola na bandeja pois este é o componente no qual a bola tem mais contato. O sistema de retorno é composto pelos seguintes itens:

1. 1 motor DC
2. 2 eixos de 4mm de diâmetro
3. Conjunto de 6 peças que constituem o sistema de engrenagem
4. 1 carretel de PLA onde o fio será enrolado
5. 2 porcas para fixação dos componentes

O modelo 3D da primeira versão da bandeja e o modelo real fabricado são mostrados a seguir:

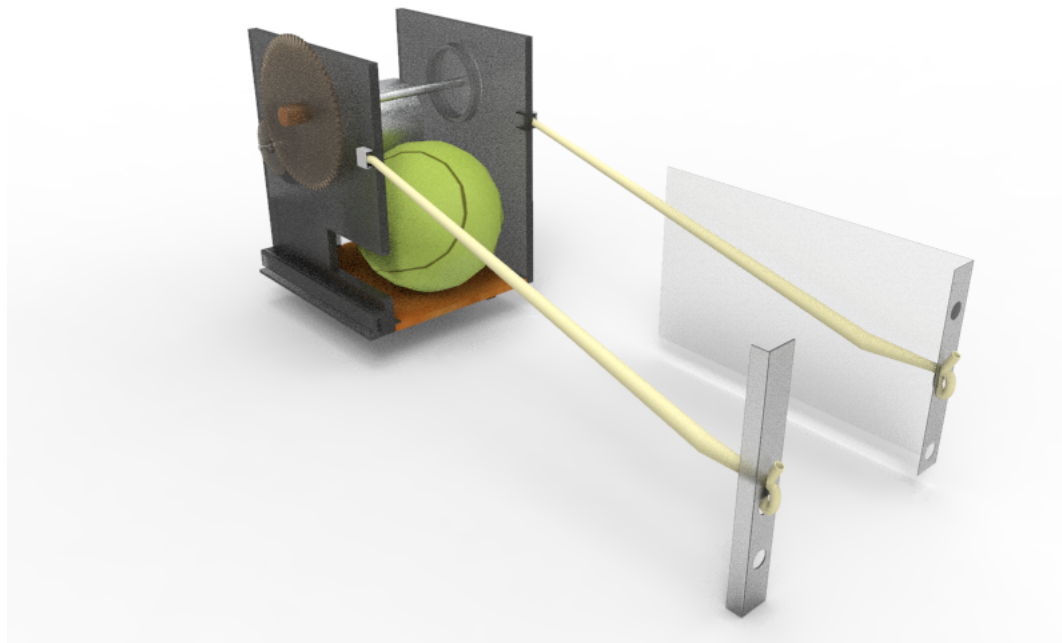


Figura 66 – Modelo 3D da primeira versão da bandeja

Fonte: PRÓPRIA (2018)

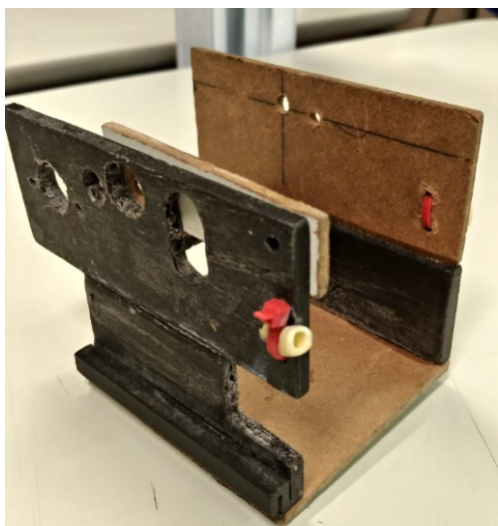


Figura 67 – Modelo real da primeira versão da bandeja

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Todos os componentes listados acima estava fixados na estrutura da bandeja e

acrescentavam uma massa de aproximadamente 250 gramas no total. Além disso, neste modelo inicial os elásticos estavam fixados em uma região próximo ao topo da bandeja. Dessa forma, durante os testes também verificamos que, quando os elásticos eram estendidos até o ponto de possibilitar o acúmulo de uma quantidade suficiente de energia para lançar a bola, a bandeja sofria inclinações em relação à horizontal devido à forças verticais aplicadas pelos elásticos. Consequentemente, crescia a possibilidade da bandeja se descarrilhar em relação à guia.

Portanto, duas alterações deveriam ser feitas para o novo modelo da bandeja:

1. Reduzir a massa do componente
2. Fixar o par de elásticos em um local mais próximo da base da bandeja

A solução que encontramos para atender essas alterações foi transferir o sistema de retorno para o puxador e fixar os elásticos próximo à base da bandeja. Com isso, a bandeja sofreu redução de sua altura, conforme pode ser visto na imagem a seguir.

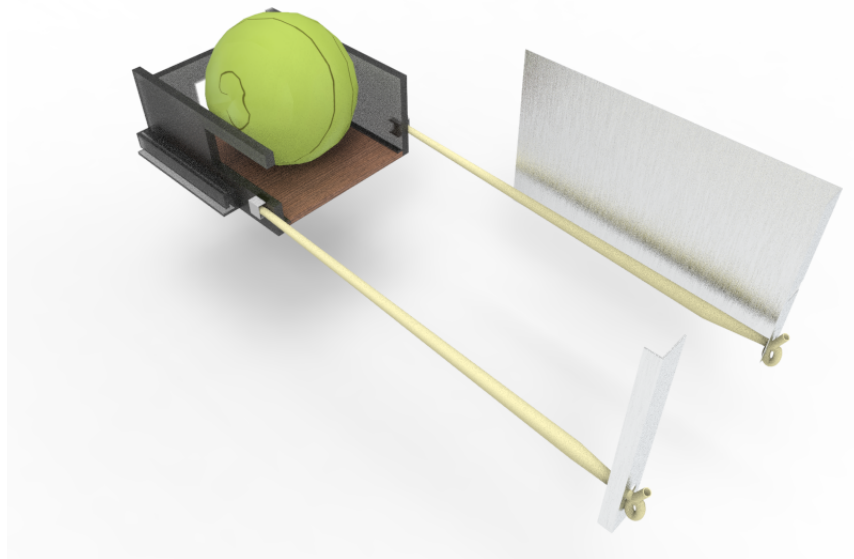


Figura 68 – Modelo virtual da versão mais atual da bandeja

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Outra vantagem de transferir o sistema de retorno para o puxador foi aumentar a sua massa, o que garantiu a este componente mais estabilidade durante o movimento de recolhimento do puxador, realizado pelo motor de passo. A instabilidade surgia devido à vibrações ocasionadas pelo motor de passo, o que comprometia o sistema

de engate do puxador com a bandeja. A seguir mostramos um comparativo entre os modelos antigo e atual do puxador:

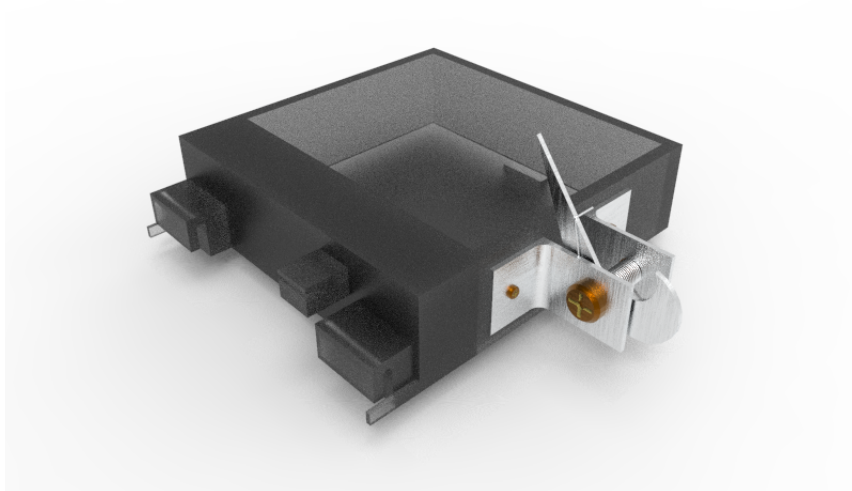


Figura 69 – Modelo virtual da primeira versão do puxador

Fonte: PRÓPRIA (2018)

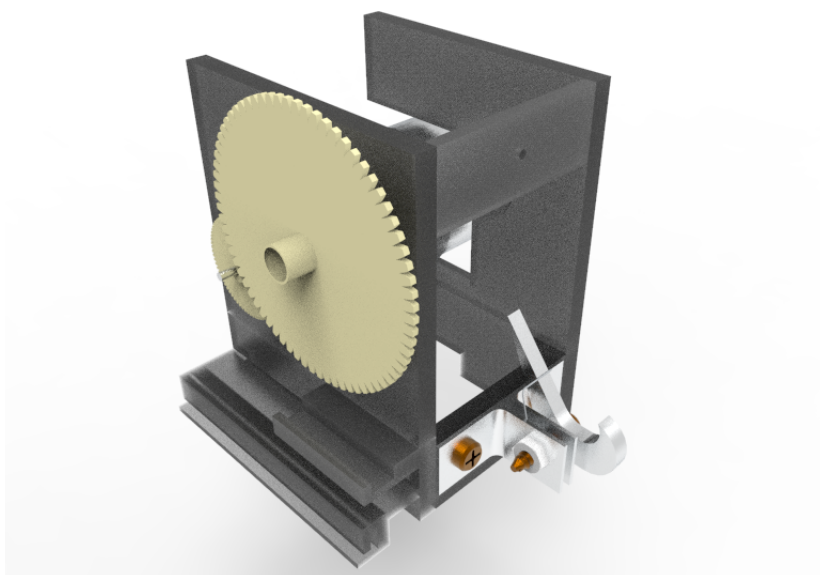


Figura 70 – Modelo virtual da versão mais atual do puxador

Fonte: PRÓPRIA (2018)

8.3 Substituição do motor responsável pelo recolhimento

Seguindo o mesmo princípio de aproveitamento de peças da impressora, utilizou-se um motor de passo modelo EM-463 para a exercer a função de recolhimento da corda. Para realizar o controle desse motor, foi montado um circuito igual ao descrito na seção 6.2, utilizando o driver L298N. O motor está mostrado na figura 71 mostrada a seguir:

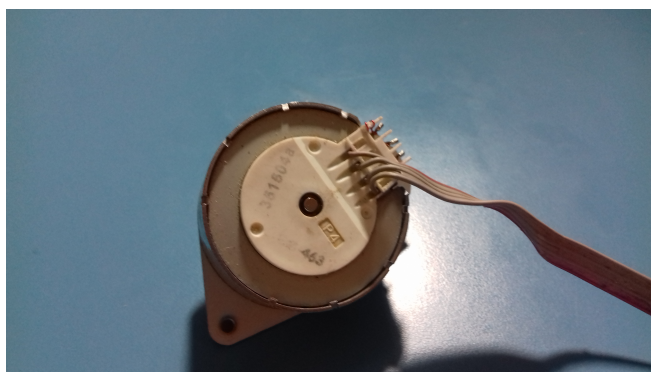


Figura 71 – Motor de passo EM-463

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Outra alteração que cuja necessidade só foi percebida depois da fabricação do protótipo foi em relação ao motor responsável pelo recolhimento da bola. Inicialmente optamos por utilizar o motor de passo ES-463, também reaproveitado da impressora EPSON e também por termos considerado inicialmente que a velocidade de retorno da bola era menos importante que a força necessária para resgatar a bola. Porém os testes mostraram que a velocidade de giro do motor de passo é muito baixa, o que exigia muito tempo para finalizar o retorno da bola.

Optamos então por substituir o motor de passo por um motor DC, cuja velocidade de giro é maior. Nos atentamos também em escolher um motor com alto valor de torque para evitar problemas de travamento do motor durante o resgate da bola, para eventuais enroscamentos do mesmo no ambiente de uso.



Figura 72 – Motor DC responsável pelo retorno da bola

Fonte: PRÓPRIA (2018)

8.4 Remodelagem do sistema de retorno da bola

O sistema de retorno da bola consiste no enrolamento da corda que prende a bola em um eixo rotacionado pelo motor DC e por um par de engrenagens que transfere essa rotação do motor para o eixo.

Inicialmente elaboramos um modelo no qual a corda era enrolada em torno de todo o eixo, que possui 100 mm de comprimento. Esse modelo desorganizado de enrolamento causava o emaranhamento da corda e comprometia o seu desenrolamento, necessário durante o lançamento da bola.

Resolvemos então incluir no sistema de retorno mais 2 peças, um carretel para limitar lateralmente a área de enrolamento da corda e uma guia, não solidária em relação ao eixo rotacionado pelo motor, para garantir que a corda seria enrolada dentro da área do carretel. A comparação entre os sistemas antigo e atual e os detalhes dessas peças podem ser verificadas nas imagens a seguir.

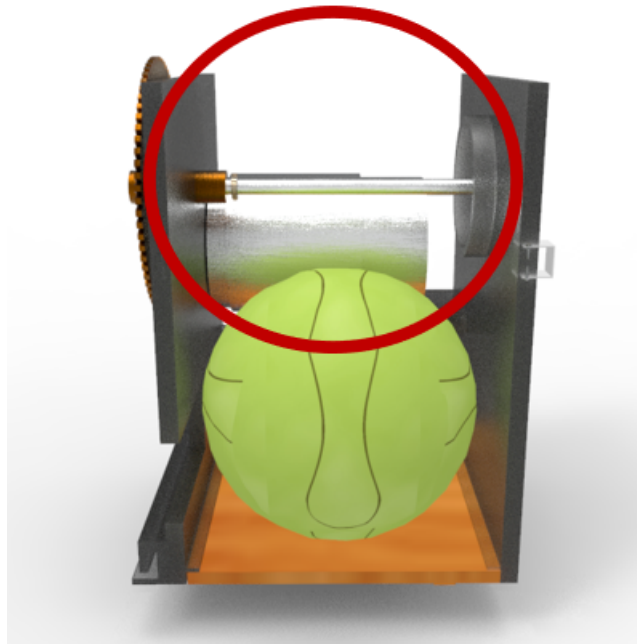


Figura 73 – Detalhe do sistema antigo de enrolamento do fio da bola

Fonte: PRÓPRIA (2018)

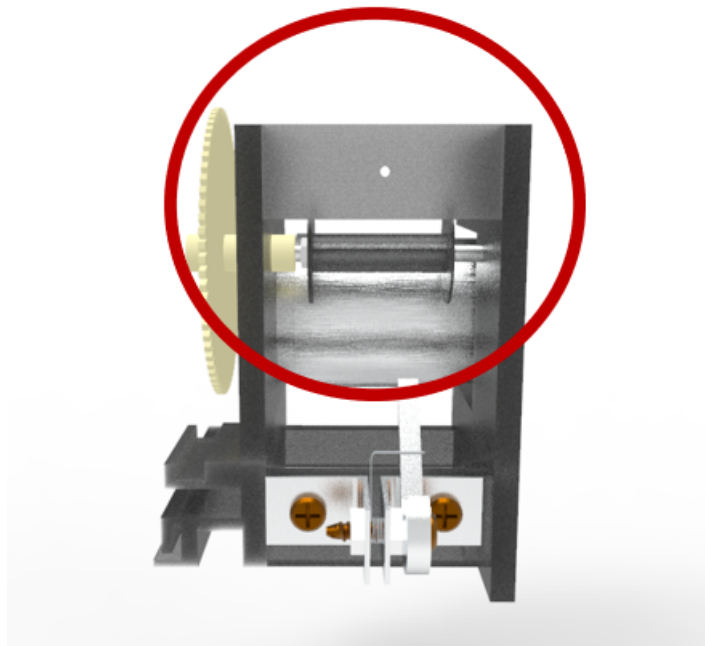


Figura 74 – Detalhe do sistema atual de enrolamento do fio da bola

Fonte: PRÓPRIA (2018)

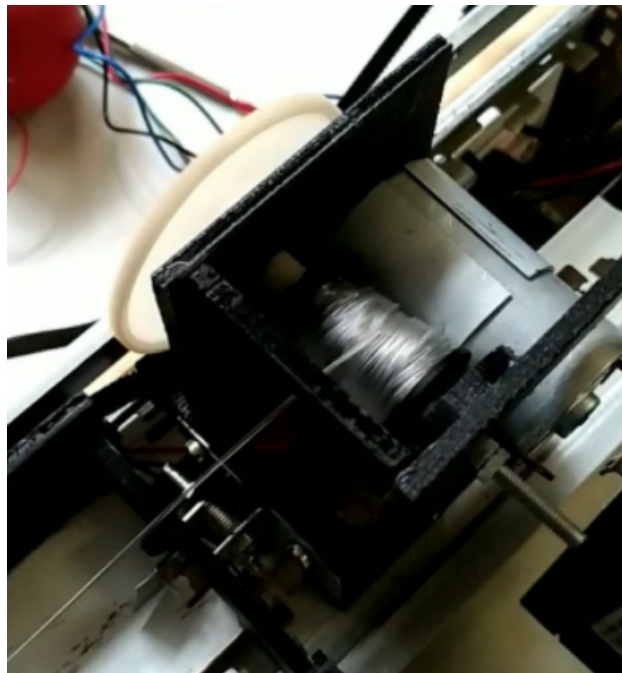


Figura 75 – Detalhe do modelo real do sistema atual de enrolamento do fio da bola

Fonte: PRÓPRIA (2018)

9 AVALIANDO O PROTÓTIPO

Após todos os ajustes realizados perante aos problemas que surgiram durante a fabricação do protótipo, finalmente chegamos na versão final do protótipo. O funcionamento do lançador é considerado como satisfatório se os seguintes pontos forem satisfeitos:

1. Ser possível controlá-lo remotamente
2. A bola ser lançada em pelo menos 80% das vezes até pelo menos a distância especificada para o projeto. A verificação deste item será feita por meio de ensaios experimentais
3. A bola retornar ao lançador automaticamente

Para a realização dos ensaios experimentais, os seguintes pontos foram considerados:

- O lançador estava sobre uma plataforma a 70 centímetros do solo. Esta é a altura próxima de um braço de cadeira de rodas em relação ao chão
- O alcance de lançamento foi considerado como a distância horizontal entre o ponto final da base lançadora do protótipo, posição no qual a bola deixa de estar em contato com a bandeja, e o ponto onde a bola encosta pela primeira vez no chão
- Situações no qual a bola não foi lançada, seja pelo fato do elástico ter se desprendido da base lançadora ou do não engatamento do puxador com a bandeja, não foram consideradas para a avaliação do lançamento

A seguir, especificamos o funcionamento de cada um dos itens acima e compartilhamos os resultados dos testes experimentais.

9.1 Controle do lançador

Conforme especificado na seção 6.2, o lançador de bolas é controlado por bluetooth por meio de aplicativos de celular.

Visando o controle mais intuitivo do protótipo, adotou-se uma interface gráfica parecida com a de um joystick de videogame para o controle do lançador. O aplicativo

para Android escolhido foi o *Arduino Bluetooth Controller*, desenvolvido pela *Giumig Apps*. O aplicativo permite relacionar cada botão do joystick com uma variável. Essas variáveis serão os parâmetros necessários para que, dentro do código do Arduino, as funções que acionam os motores sejam executados. A seguir mostramos a interface do aplicativo.

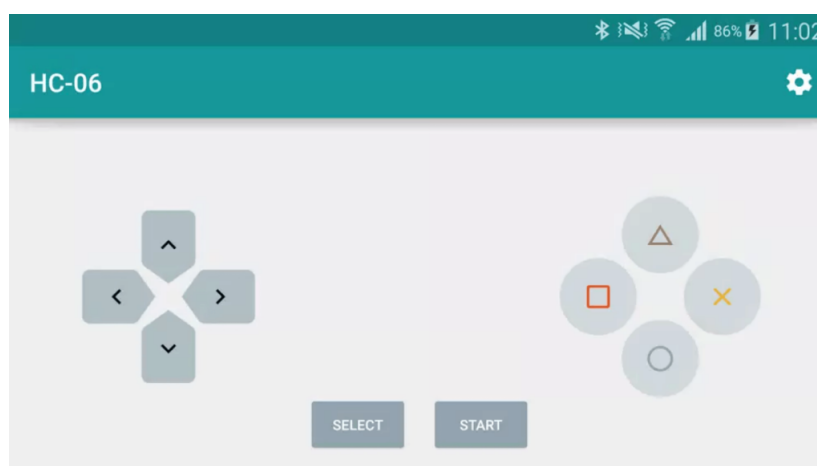


Figura 76 – Interface de controle do aplicativo de conexão bluetooth

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Também foi incluído no código a opção de imprimir, na tela do computador, o caracter enviado pelo aplicativo para o Arduino. Esta função foi bastante importante para verificar se a conexão entre o Arduino e o adaptador bluetooth estava funcionando corretamente.

A conexão entre o adaptador e o Arduino apresentou bons resultados. Em todos os testes, rapidamente o adaptador bluetooth foi reconhecido pelo aplicativo do celular e os comandos foram enviados com sucesso, permitindo assim o controle do lançador.

9.2 Lançamento

Após as mudanças citadas nos sistemas, foi possível realizar os testes de distância de lançamento. Para isso, o lançador foi posicionado em uma mesa com altura de 730 mm e tanto a altura da mesa quanto as distâncias de lançamento foram medidas com o uso de uma trena de 5000 mm com uma incerteza de medição de $\pm 0,5$ mm. Já o ângulo de lançamento de 30° foi medido utilizando um transferidor de 180° e uma incerteza de $\pm 0,5^\circ$. A bola utilizada para os testes foi uma bola de borracha ilustrada na figura 77 abaixo:



Figura 77 – Bola de borracha para os testes de lançamento

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Foram realizados 27 lançamentos e as distâncias medidas estão na tabela a seguir:

Tabela 3 – Resultados dos lançamentos

Lançamento	Distância (cm)	Lançamento	Distância (cm)
1	182	15	261
2	213	16	254
3	148	17	218
4	201	18	211
5	156	19	244
6	185	20	197
7	223	21	269
8	165	22	196
9	208	23	205
10	217	24	248
11	261	25	206
12	195	26	199
13	216	27	240
14	192		

Fonte: PRÓPRIA (2018)

O processo de medição foi visual, em que um dos integrantes do projeto se posicionou com a trena, próximo da região em que a bola geralmente caía. Tal processo não possui precisão para definir a incerteza das distâncias de lançamento, porém para o presente projeto a incerteza tem pouca influência, já que a variabilidade dos resultados encontrada foi muito maior e o objetivo do ensaio não era mostrar o quão repetitivo era o lançador. A média dos lançamentos é 2,11 m e o desvio padrão é de 31,5 cm. A

trajetória de um desses lançamentos pode ser vista na figura a seguir, destacando-se o fato de que altura máxima alcançada pela bolinha é de aproximadamente 119 cm:



Figura 78 – Trajetória percorrida pela bola em um dos lançamentos

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Com os dados da tabela anterior, foi construída a curva de distribuição normal dos lançamentos mostrada a seguir:

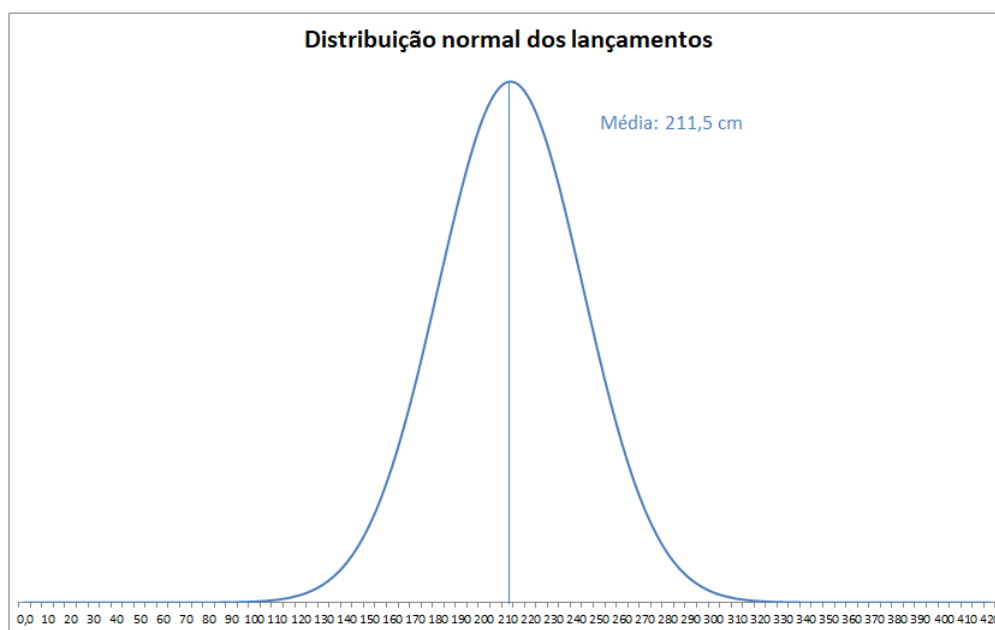


Figura 79 – Curva de distribuição normal dos lançamentos

Fonte: PRÓPRIA (2018)

Tal curva foi construída com o auxílio do software Microsoft Excel, que possui funções no próprio software que permitem a obtenção da distribuição normal de um conjunto de dados. As funções utilizadas foram as funções MÉDIA, DESVPAD.A e DIST.NORM.N. Comparando a curva mostrada anteriormente com a distância obtida na seção 6.1.3 de 2,48 m, observou-se que essa distância está a um pouco mais de um desvio padrão acima da média. Os possíveis motivos para essa diferença estão listados posteriormente nesse trabalho.

9.3 Retorno da bola

Conforme mencionado na seção 8.3, a reduzida velocidade do motor de passo implicou a troca do motor responsável pelo retorno da bola para um motor DC. O grande problema do motor DC nesta situação é a elevada velocidade de rotação do eixo no qual, segundo o datasheet do motor, é de 18200 rpm.

Pensando em formas de evitar que a corda que puxa a bola não se embaralhasse por conta da alta rotação do motor, optamos por acionar o motor DC no formato de sucessivas pausas automáticas, ou seja, o motor é acionado mas logo em seguida é desligado. Dessa forma, a inércia de rotação realiza o recolhimento da bola até que o mesmo retorne à bandeja. Este procedimento também evita que a bola seja lançada

com muita força em direção ao usuário quando o retorno é completado, o que causaria riscos à saúde do usuário.

Dos 27 lançamentos realizados, a bola retornou à bandeja em 19 delas, o que corresponde a 70% de retornos bem sucedidos. Os retornos mal sucedidos foram ocasionados pelo enroscamento do fio nas cadeiras e mesas presentes no ambiente do ensaio. Neste caso, o motor DC não possui torque suficiente para resgatar a bola passando então a girar em falso. Conclui-se então que ambientes sem obstáculos são os mais indicados para a interação com o cachorro.

Por fim, o fio de nylon utilizada para prender a bola resistiu a todos os testes, não havendo então situações onde ela foi arrebatada, mesmo nos momentos onde a bola esteve enroscada em algum obstáculo do ambiente.

10 APRENDIZADOS GERAIS

Tivemos grandes problemas quando optamos estruturar o lançador de bolas com base em uma estrutura pré definida de uma impressora. Acabamos limitados por essa estrutura e a concepção de todos os componentes do protótipo foi realizado pensando em adapta-los para se encaixarem na estrutura base.

Como consequência tivemos uma perda de eficiência. O protótipo poderia ter um tamanho reduzido ou os componentes poderiam estar melhor posicionados dentro do sistema. Como exemplo desse ponto podemos citar que a correia possui pouco espaço para se movimentar e ocasionalmente tem a sua estrutura torcida por conta do contato com a lateral da bandeja. Outro exemplo é que a estrutura base já possuía detalhes como furos e dobramentos que atrapalharam a fixação dos componentes.

Outra dificuldade encontrada no projeto foi a dificuldade na usinagem dos componentes. A falta de precisão, tanto na usinagem quanto na fixação dos componentes comprometem a confiabilidade do funcionamento do sistema. Os parafusos de fixação não estão exatamente alinhados com os furos e dois componentes paralelos não possuem furações paralelas. Como exemplo, podemos também citar o caso no qual o próprio eixo do motor de passo perde um pouco de eficiência devido ao atrito com as chapas que o fixam na estrutura base.

11 CONCLUSÃO

O projeto de concepção e fabricação de um protótipo de lançador de bolas para cachorros controlado remotamente e por pessoas com deficiências motoras é de grande importância dado que pode melhorar a qualidade de vida do portador da deficiência por meio dos benefícios terapêuticos resultante da interação com um cachorro.

Analisando sob a perspectiva de cumprimento do objetivo imposto pelo projeto, sendo este a verificação dos conceitos aplicados ao projeto e que deveriam permitir a interação entre o usuário e o cachorro, podemos dizer que de acordo com os resultados obtidos com os ensaios experimentais, o objetivo foi alcançado. O sistema de lançamento por elástico projetado com base na estrutura reutilizada de uma impressora de jato de tinta lançou a bola em uma distância média de 2,11 metros, suficiente para possibilitar a interação com o cachorro.

Além do lançamento da bola, o projeto conseguiu, em 70% dos lançamentos, que a bola retornasse ao lançador. Este é um resultado importante pois um dos grandes fatores limitantes da interação entre pessoas portadoras de deficiência motora e os cachorros era a dificuldade de manter a interação com o animal. Esta interação é facilmente quebrada por fatores, tanto por parte do animal que pode não devolver a bola, quanto a incerteza da localização da bola após o lançamento o que pode comprometer a continuidade da interação, visto que a o fio pode enroscar em obstáculos do ambiente.

Tudo isso foi possível executar com movimentos mínimos como é a nossa interação com os celulares, além de ser um aparelho que está ao nosso alcance praticamente o dia todo.

Porém, embora o conceito do lançador funcione na prática, existem muitos pontos que podem ser melhorados no protótipo. Como exemplo podemos citar a melhoria na precisão de fabricação dos componentes para reduzir as perdas de eficiência do motor. Devido à essas perdas, o motor utilizado ficou super dimensionado, afetando a massa total do lançador e, conseqüentemente, a sua fixação na cadeira de rodas. A massa elevada do motor também contribuiu para o envergamento da estrutura que contribuiu ainda mais para a ineficiência do lançamento. Com o uso de um motor menor e mais eficiente, será possível realizar outros ensaios experimentais que podem levar na melhoria do produto final. Como exemplo de ensaio, podemos citar o uso de elásticos com constantes elásticas mais elevadas para reduzir o tamanho da base lançadora e conseqüentemente o tamanho do produto final.

12 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Mini dog ball launcher. Universidade de Victoria. Disponível em: <http://www.canassist.ca/EN/main/programs/technologies-and-devices/hobbies-and-leisure/mini-ball-launcher-for-dogs.html>. Acesso em: 22 set. 2016.

Site da iFetch®. Disponível em: <http://goifetch.com/>. Acesso em: 30 set. 2016.

Slackline com Catraca e Protetor de Árvore US Boards - 15 Metros. Disponível em: <http://www.centauro.com.br/slackline-us-boards-15-metros-com-catraca-protecao-de-arvore-814979.html>. Acesso em: 30 set. 2016.

Mini-Morsa com Base Giratória e Grampo de Fixação. Disponível em: <http://www.celmar.com.br/produto/mini-morsa-com-base-giratoria>. Acesso em: 30 set. 2016.

Suporte Para Notebook X3 Torre - Fixação Morsa - Ergonomize. Disponível em: <http://www.ergonomize.com/suporte-notebook/suporte-para-notebook-x3-torre-ergonomize.phtml>. Acesso em: 30 set. 2016.

Conjunto de Velcro Ajustável Quark - 60cm. Disponível em: <http://www.ispsaude.com.br/isp/produto/Conjunto-de-Velcro-Macho-F%C3%A7%C3%A0-utilizado-para-Fixacao-de-Eletrodos-Ajustavel-Pratico-e-Seguro-60-cm-ISP-Eletromedica/001215>. Acesso em 30 set. 2016.

Bazuca. Disponível em: <http://www.zioberbrasil.com.br/kits.php?id=12>. Acesso em 01 out. 2016.

Lançador de bolinhas de tênis de mesa. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=YUafuiXLt7k>. Acesso em 01 out. 2016.

Lançador de bolas RAC. Disponível em: <https://caobabao.dog/brinquedo-para-cachorro-lancador-de-bolas-rac/p>. Acesso em 01 out. 2016.

Módulo da unidade de motor de passo linear guia trilho deslizante guia de cruz Longmen. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/item/Slide-guide-rail-precision-linear-stepping-motor-drive-module-guide-rail-cross-in-Longmen/32381046299.html>. Acesso em 01 out. 2016.

BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. do V. Introdução à engenharia: conceitos, ferramentas e comportamentos. Florianópolis: editora da UFSC, 2006.

ROSSI, A. Adestramento inteligente. 3ª ed. São Paulo: editora Benvirá, 2015.

Relação peso x porte de cachorros. Disponível em: <https://www.dogsnet.com.br/blog?single=Peso-X-Porte-de-um-cachorro>. Acesso em 02 de dez. 2017.

Catálogo de cordas Fuertes. Disponível em: http://www.fuertes.com.br/pdfs/csl_catalogo_cordas.pdf. Acesso em 02 de dez. 2017.

Bola de corda. Disponível em: <http://www.cobasi.com.br/bola-de-corda-jambo/p>. Acesso em 02 de dez. 2017.

Acrilonitrílica-butadieno-estireno (ABS). Disponível em: <http://www.tudosobreplasticos.com/materiais/abs.asp>. Acesso em: 03 de dez. 2017.

Especificação de uma chapa de ABS. PLM soluções em plástico. Disponível em: http://www.plm.com.br/upload/ckeditor/ABS_PMMA.pdf. Acesso em: 03 de dez. 2017.

CORRADI, W. et al. Fundamentos de física I. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. 514p. Disponível em: <http://www.mat.ufmg.br/ead/acervo/livros/Fundamentos%20de%20Fisica%20I.pdf>. Acesso em 30 mai. 2017.

MONTAZERSADHD, F. H.; FATEMI, Ali. Stress analysis and optimization of crankshafts subject to dynamic loading. Toledo: AISI, 2007. 185 p. Disponível em:

https://www.forging.org/uploaded/content/members/field_document/CrankshaftProjectreportIIAug2007.pdf. Acesso em: 05 jun. 2017.

Brites F.G. ; Santos V. P. "Motor de passo PETele". Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2008 Disponível em: <https://www.telecom.uff.br/pet/petws/downloads/tutoriais/stepmotor/stepmotor2k81119.pdf>. Acesso em 30 nov. 2017

Datasheet L298N: <https://portal.vidadesilicio.com.br/wp-content/uploads/2017/05/L298N.pdf>

Datasheet arduino: http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf

CANASSIST Mini dog ball launcher. Disponível em <<http://www.canassist.ca/EN/main/programs/technologies-and-devices/hobbies-and-leisure/mini-ball-launcher-for-dogs.html>>. Acesso em: 20 mai. 2017

IFETCH. Disponível em <<https://goifetch.com/>>. Acesso em: 20 mai. 2017

GUIA DE REFERÊNCIA RÁPIDA STYLUS C67. Disponível em <https://files.support.epson.com/pdf/sc67_/sc67_qr7.pdf>. Acesso em 17 fev. 2018

PROSPECTOR Polyactic Acid (PLA) Propriedades Típicas. Disponível em <<https://plastics.ulprospector.com/pt/generics/34/c/t/polyactic-acid-pla-properties-processing>>. Acesso em 02 fev. 2018

3D CLONER. Disponível em <<http://www.3dcloner.com.br/>>. Acesso em 17 fev. 2018

SÉRIE AK555 NEOYAMA AUTOMAÇÃO. Disponível em <<http://www.neomotion.com.br/micromotor-dc/>>. Acesso em 17 fev. 2018

CARACTERÍSTICAS DA LINHA GRILON TOP FLEX - MAZZAFERRO. Disponível em <<http://www.mazzaferro.com.br/pesca/linhas-de-pesca/linha-de-pesca-grilon-top-flex-100m/>>. Acesso em 17 fev. 2018

JUGS SPORTS. Disponível em <https://jugssports.com/Coaches_Corner/various_pdf_files/Machine%20Instruction%20pdfs/CHANGEUP_Super_Instructions.09-2015.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2017

CRESSISUBUSA Disponível em <<http://www.cressisubusa.com/>>. Acesso em: 20 mai. 2017

DIGRANO Disponível em <<http://www.digranomaquinas.com.br/pdf/dosadores.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2017

[26] CORRADI, W. et al. Fundamentos de física I. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. 514p. Disponível em: <http://www.mat.ufmg.br/ead/acervo/livros/Fundamentos%20de%20Fisica%20I.pdf>. Acesso em 30 mai. 2017.

[27] MONTAZERSADHD, F. H.; FATEMI, Ali. Stress analysis and optimization of crankshafts subject to dynamic loading. Toledo: AISI, 2007. 185 p. Disponível em: https://www.forging.org/uploaded/content/members/field_document/CrankshaftProjectreportIIAug2007.pdf. Acesso em: 05 jun. 2017.

[28] BRITES F.G. ; SANTOS V. P. "Motor de passo PETele". Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2008

Disponível em: <https://www.telecom.uff.br/pet/petws/downloads/tutoriais/stepmotor/stepmotor2k81119.pdf>. Acesso em 30 nov. 2017

[29] Datasheet L298N: <https://portal.vidadesilicio.com.br/wp-content/uploads/2017/05/L298N.pdf>

[30] Datasheet arduino: http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf

13 REFERÊNCIAS RECOMENDADAS

[1] SARTINI, G. Animais serão usados em terapia para pessoas com deficiência, A Rede de Ponta Grossa, 23 mai. 2014. Disponível em: <http://arede.info/ponta-grossa/14175/animais-serao-usados-em-terapia-para-pessoas-com-deficiencia>. Acesso em: 10 out. 2016.

[2] Terapia com animais melhora qualidade de vida de deficientes, R7 com Record News Sudeste, 28 abr. 2012. Disponível em: <http://entretenimento.r7.com/bichos/noticias/zooterapia-melhora-qualidade-de-vida-de-portadores-de-necessidades-especiais-20120428.html?question=0>. Acesso em: 11 out. 2016.

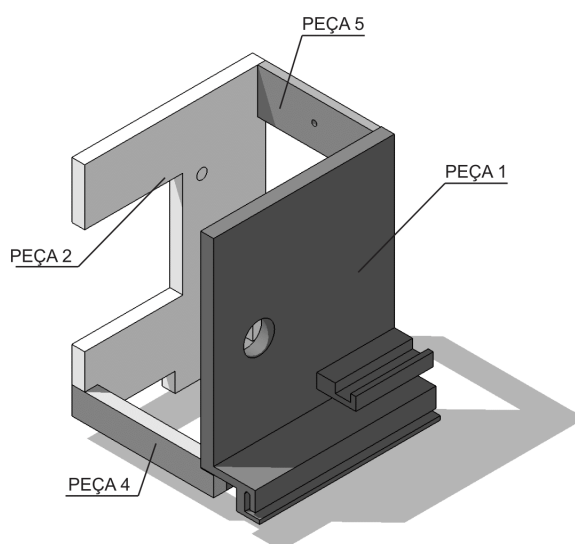
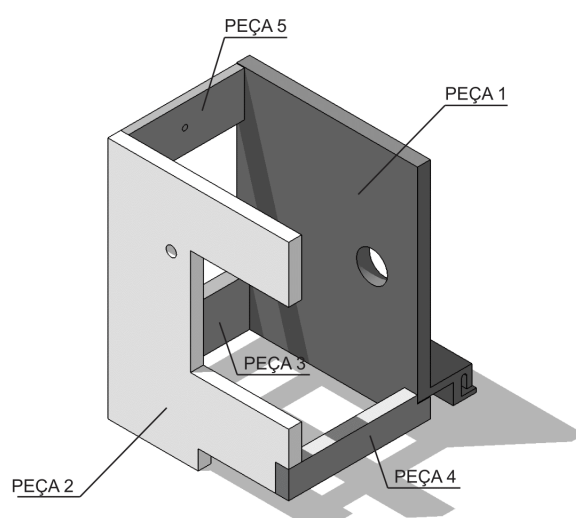
APÊNDICE A

Registra-se neste apêndice a autorização concedida pelo proponente do projeto, Leonardo Feder, para utilização de seu nome durante o presente relatório.

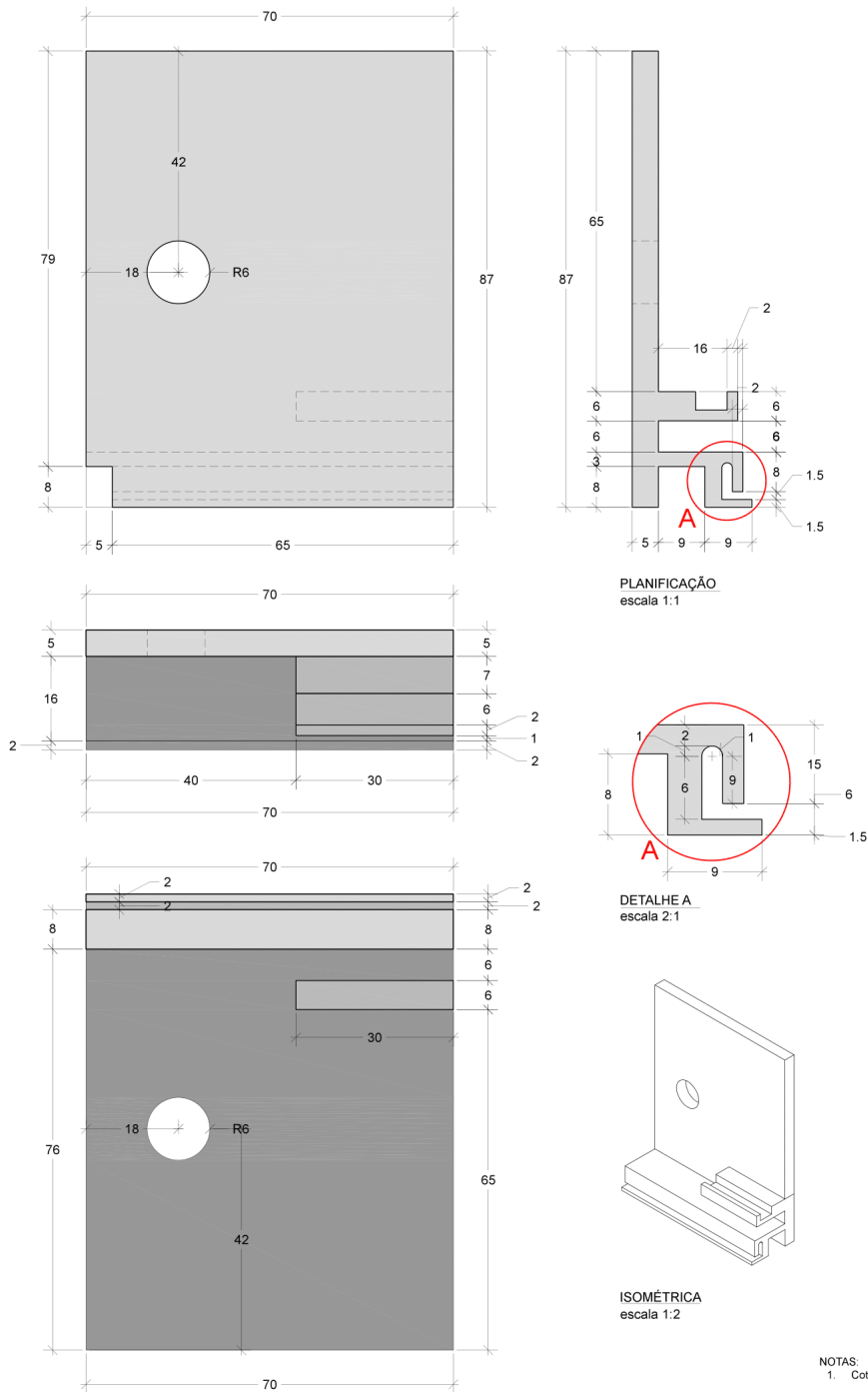
ANEXO A

Desenho de fabricação do puxador

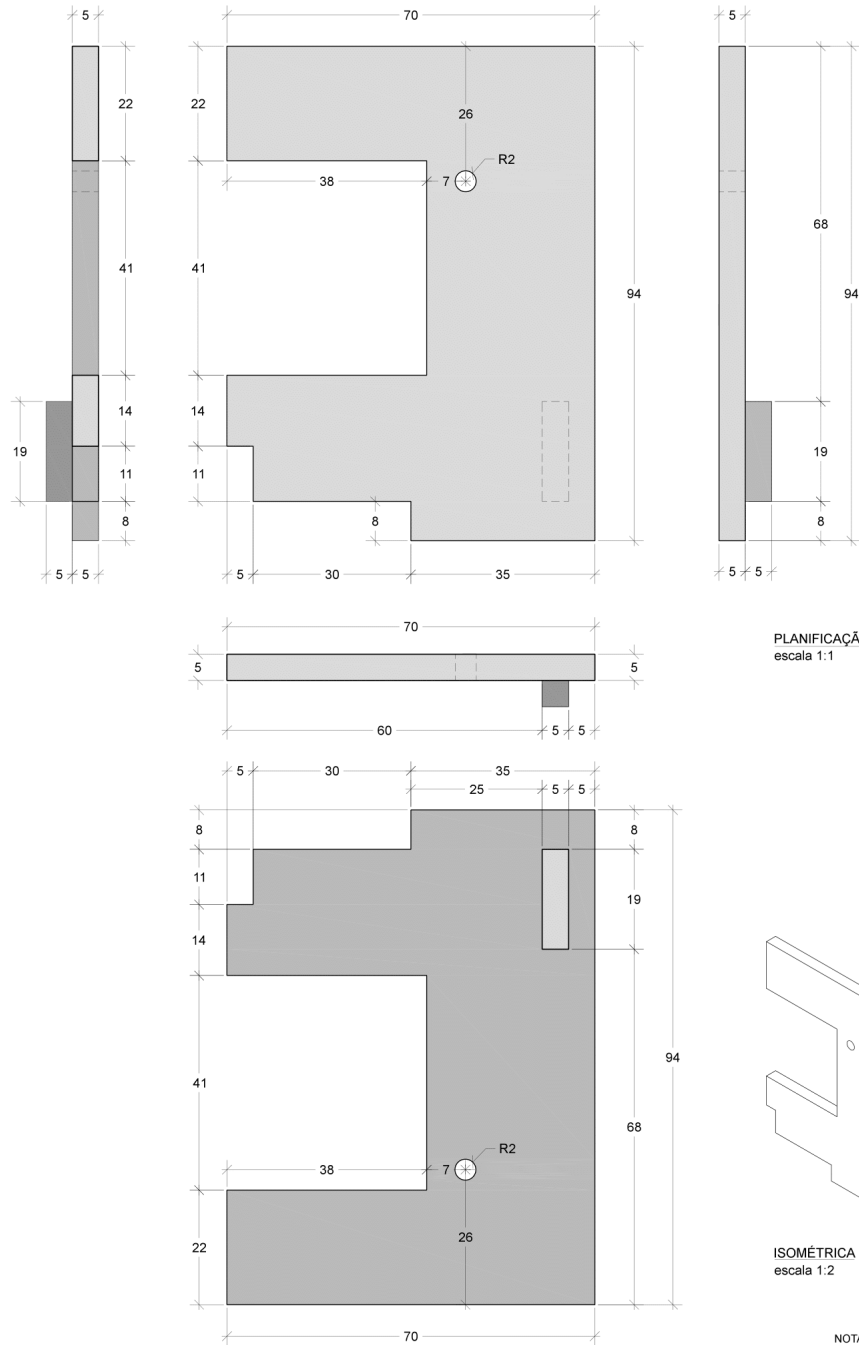
ACIONADOR



ACIONADOR - PEÇA 1



ACIONADOR - PEÇA 2

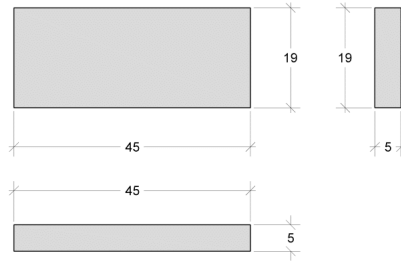


PLANIFICAÇÃO
escala 1:1

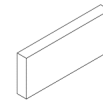
ISOMÉTRICA
escala 1:2

NOTAS:
1. Cotas em mm

ACIONADOR - PEÇA 3

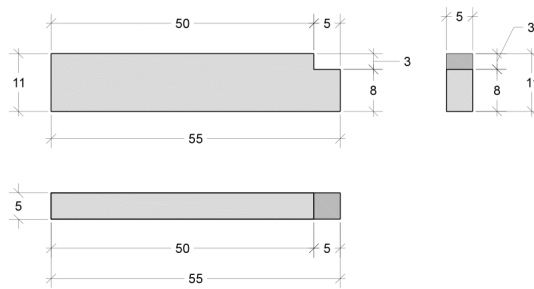


PLANIFICAÇÃO
escala 1:1

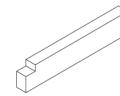


ISOMÉTRICA
escala 1:2

ACIONADOR - PEÇA 4

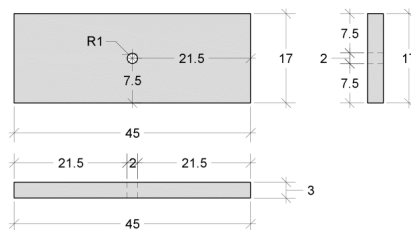


PLANIFICAÇÃO
escala 1:1



ISOMÉTRICA
escala 1:2

ACIONADOR - PEÇA 5



PLANIFICAÇÃO
escala 1:1

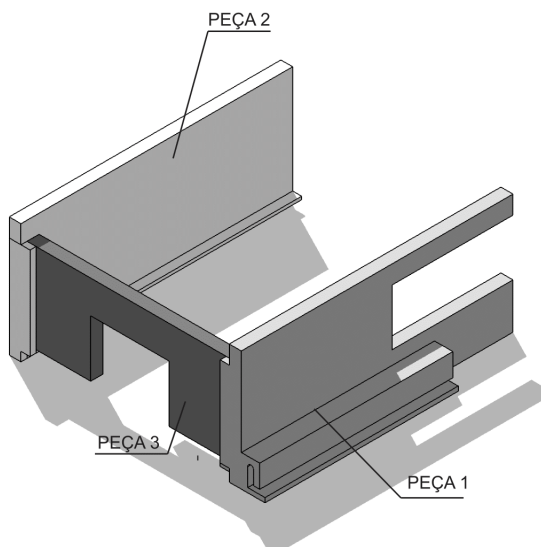
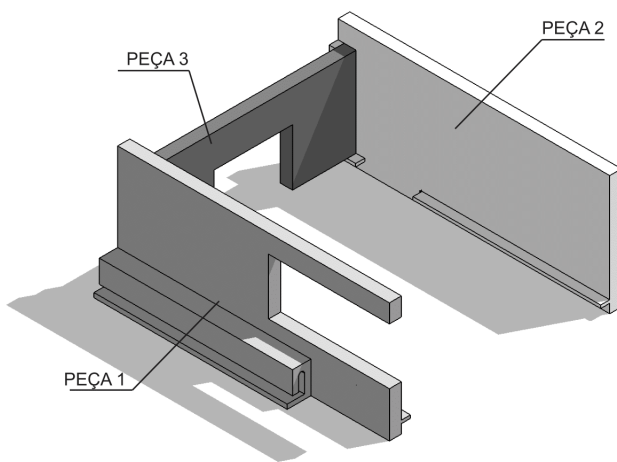


ISOMÉTRICA
escala 1:2

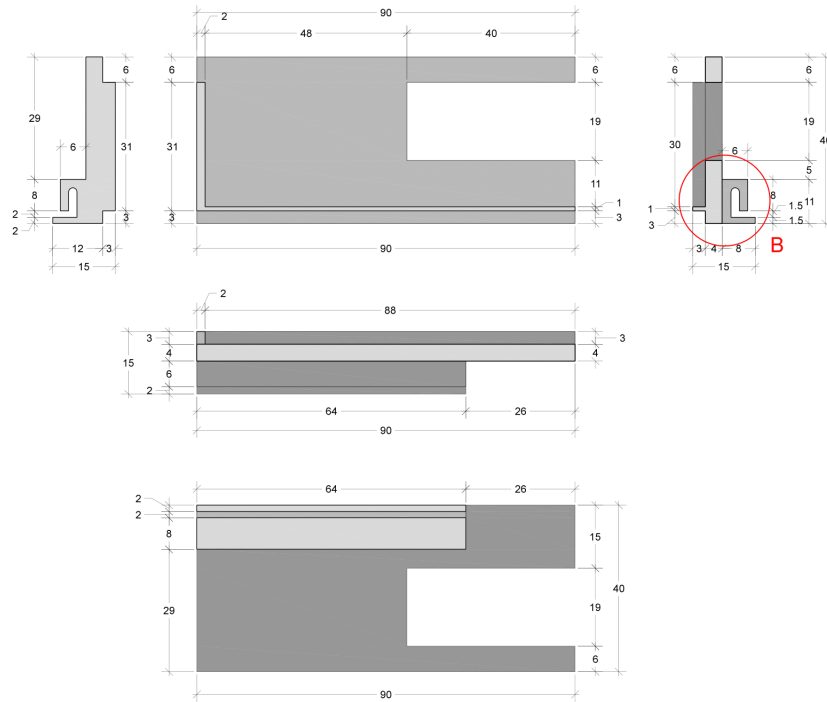
ANEXO B

Desenho de fabricação da bandeja

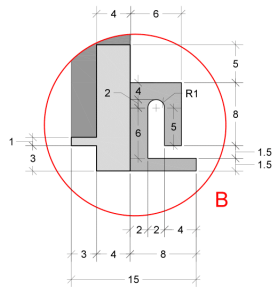
BANDEJA



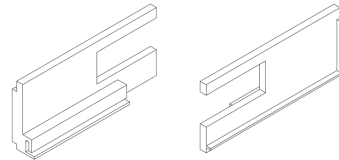
BANDEJA - PEÇA 1



PLANIFICAÇÃO
escala 1:1

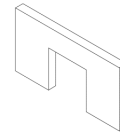
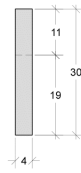
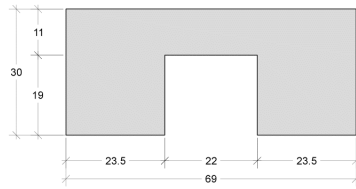


DETALHE B
escala 2:1



ISOMÉTRICA
escala 1:2

BANDEJA - PEÇA 3



ISOMÉTRICA
escala 1:2



PLANIFICAÇÃO
escala 1:1

ANEXO C

Código de programação do Arduino e instruções para o uso do Aplicativo Arduino Bluetooth Controller (versão para Android)

Código:

```
int inA1 = 8; // input 1 do motor de passo
int inA2 = 9; // input 2 do motor de passo
int inB1 = 10; // input 3 do motor de passo
int inB2 = 11; // input 4 do motor de passo

#define pinMotorDC1 6
#define pinMotorDC2 7

int stepDelay = 8; // intervalo entre os passos em milisegundos
int stepDelay2 = 50; // intervalo entre os passos em milisegundos
char state;
int speed = 3; // define a porta 3 como uma saída
do potenciômetro para controle do motor DC

void setup() {
  pinMode(inA1, OUTPUT);
  pinMode(inA2, OUTPUT);
  pinMode(inB1, OUTPUT);
  pinMode(inB2, OUTPUT);

  pinMode(pinMotorDC1, OUTPUT);
  pinMode(pinMotorDC2, OUTPUT);

  pinMode(speed, OUTPUT);

  Serial.begin(9600); //HC-06 usará as portas 2 e 3 digitais -
  é a inicialização
```

```
}

void step1() {
    digitalWrite(inA1, LOW);
    digitalWrite(inA2, HIGH);
    digitalWrite(inB1, HIGH);
    digitalWrite(inB2, LOW);
    delay(stepDelay);
}

void step2() {
    digitalWrite(inA1, LOW);
    digitalWrite(inA2, HIGH);
    digitalWrite(inB1, LOW);
    digitalWrite(inB2, HIGH);
    delay(stepDelay);
}

void step3() {
    digitalWrite(inA1, HIGH);
    digitalWrite(inA2, LOW);
    digitalWrite(inB1, LOW);
    digitalWrite(inB2, HIGH);
    delay(stepDelay);
}

void step4() {
    digitalWrite(inA1, HIGH);
    digitalWrite(inA2, LOW);
    digitalWrite(inB1, HIGH);
    digitalWrite(inB2, LOW);
    delay(stepDelay);
}

void step5() {
    digitalWrite(inA1, LOW);
    digitalWrite(inA2, HIGH);
```

```
    digitalWrite(inB1, HIGH);
    digitalWrite(inB2, LOW);
    delay(stepDelay2);
}
void step6() {
    digitalWrite(inA1, LOW);
    digitalWrite(inA2, HIGH);
    digitalWrite(inB1, LOW);
    digitalWrite(inB2, HIGH);
    delay(stepDelay2);
}
void step7() {
    digitalWrite(inA1, HIGH);
    digitalWrite(inA2, LOW);
    digitalWrite(inB1, LOW);
    digitalWrite(inB2, HIGH);
    delay(stepDelay2);
}
void step8() {
    digitalWrite(inA1, HIGH);
    digitalWrite(inA2, LOW);
    digitalWrite(inB1, HIGH);
    digitalWrite(inB2, LOW);
    delay(stepDelay2);
}
void stopMotor() {
    digitalWrite(inA1, LOW);
    digitalWrite(inA2, LOW);
    digitalWrite(inB1, LOW);
    digitalWrite(inB2, LOW);
}
void stopMotorDC() {
    digitalWrite(pinMotorDC1, LOW);
    digitalWrite(pinMotorDC2, LOW);
}
```

```
void passo() // o motor vai rotacionar o eixo por
um tempo determinado e o puxador
engatara na bandeja
{
    for (int i=0; i<=250; i++) //com o i = 250, a bandeja
        percorre todo o espaço da guia
        {

            step1();
            step2();
            step3();
            step4();
        }

        stopMotor();
        delay(100);

// o puxador puxara a bandeja estendendo o elastico

        for (int i=0; i<=250; i++) // retorno do puxador
        {
            step4();
            step3();
            step2();
            step1();
        }

        stopMotor();
        delay(100);
}

void retorno ()
{
    digitalWrite(pinMotorDC1, LOW);
    digitalWrite(pinMotorDC2, HIGH);
    analogWrite(speed, 150);
}
```

```
    delay(300);
}

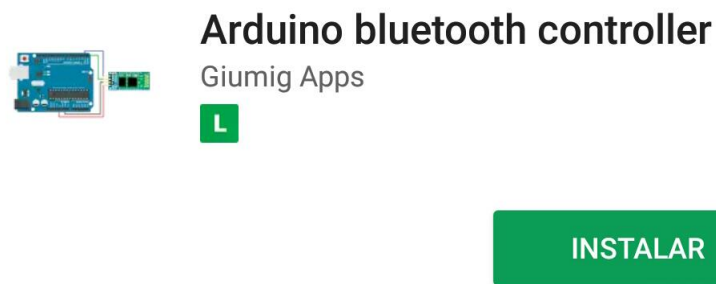
void loop() {
  if (Serial.available())
  {

    state = Serial.read();
    Serial.print(state); // imprime na tela a
      informação recebida pelo aplicativo
    stopMotor();
    stopMotorDC();

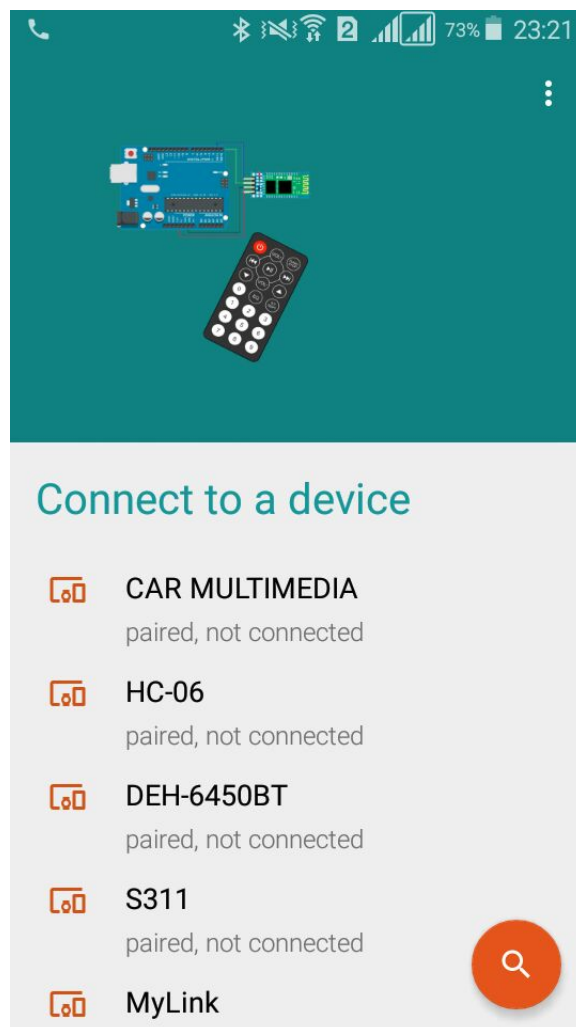
    switch (state)
    {
      case 'A':
        passo();
        break;
      case 'B':
        retorno();
        break;
    }
  }
}
```

Instruções para a configuração do Arduino Bluetooth Controller:

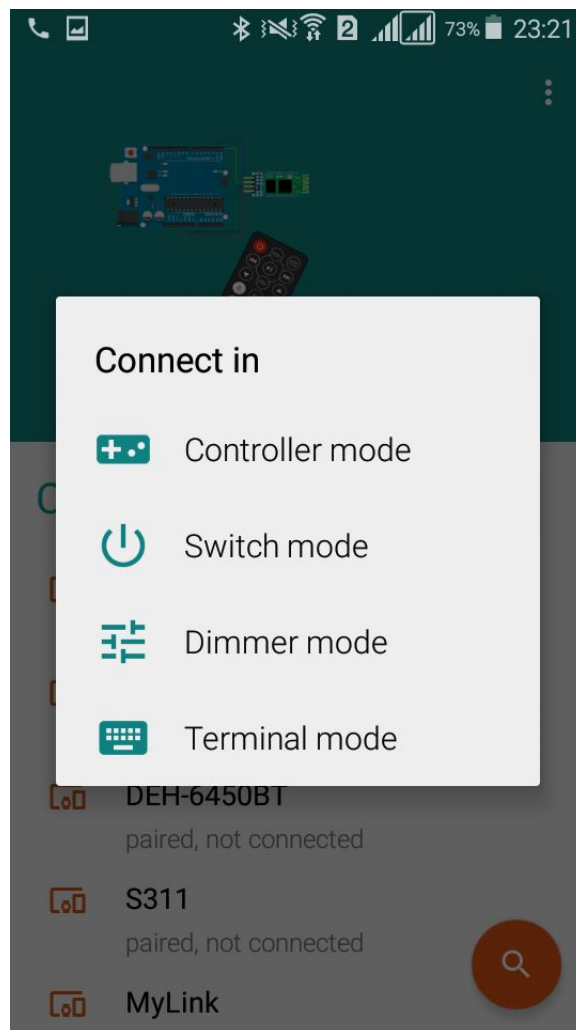
1. Procurar o aplicativo Arduino Bluetooth Controller na Play Store do Google.
Autor do aplicativo: Giumig Apps



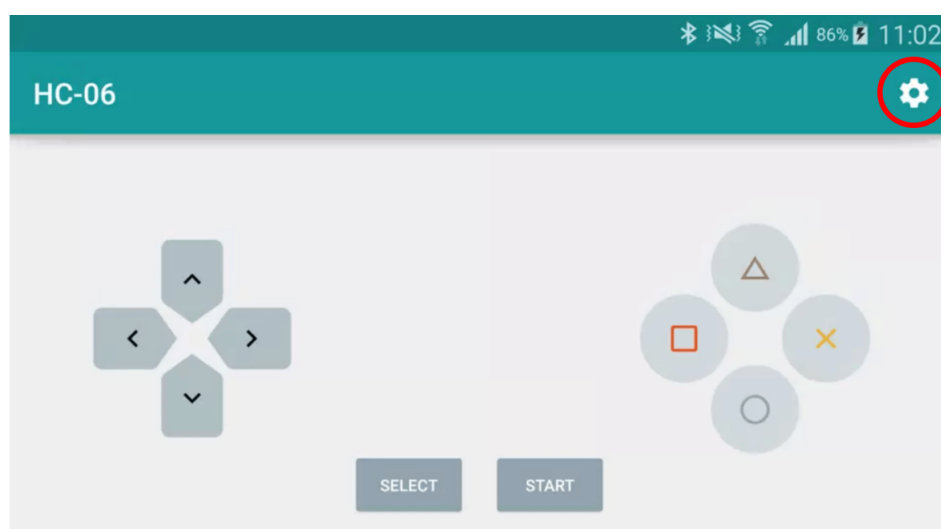
2. Após a instalação, abrir o aplicativo. Na primeira tela, selecionar o HC-06



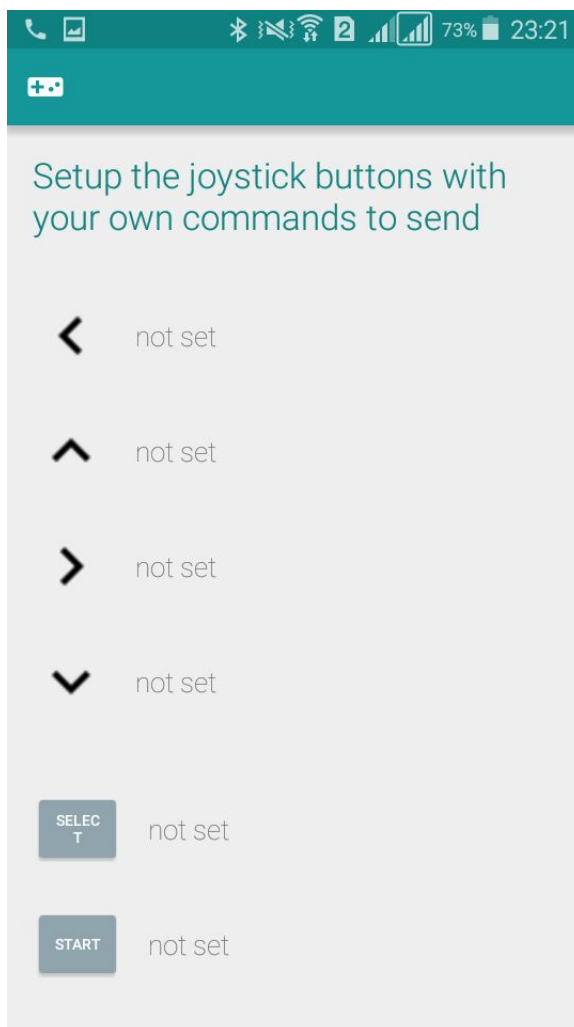
3. Uma janela aparecerá na tela. Selecione a opção Controller mode



4. Para configurar os botões, clique no ícone situado no lado superior direito da tela



5. Na tela seguinte, selecione o ícone quadrado e digite a letra A. Repita o procedimento para o ícone do triângulo, porém para este caso digite a letra B



ANEXO D

Tabela de propriedades do PLA

Tabela 4 – Propriedades do PLA

Físicas	Valor Típico	Unidade	Método
Densidade / Gravidade específica			
--	1.24		ASTM D792
73°F	1.24 para 1.26	g/cm ³	ISO 1183
Índice de Fluidez			
210°C/2,16 kg	6.0 para 78	g/10 min	ASTM D1238
190°C/2,16 kg	1.5 para 36	g/10 min	ISO 1133
Contração de moldagem			
Fluxo : 73°F	3.7E-3 para 4.1E-3	in/in	ASTM D955
73°F	0.30 para 1.1	%	ISO 294-4
Mecânicas	Valor Típico	Unidade	Método
Módulo de Tensão			
73°F	293000 para 514000	psi	ASTM D638
73°F	45000 para 815000	psi	ISO 527-2
Tensão			
Límite de elasticidade, 73°F	8840 para 9500	psi	ASTM D638
Límite de elasticidade, 73°F	2250 para 10400	psi	ISO 527-2
Na Ruptura, 73°F	7080 para 8150	psi	ASTM D638
Na Ruptura, 73°F	2000 para 10200	psi	ISO 527-2
73°F	6930 para 10000	psi	ASTM D638
Alongamento			
Límite de elasticidade, 73°F	9.8 para 10	%	ASTM D638
Límite de elasticidade, 73°F	1.0 para 8.5	%	ISO 527-2
Na Ruptura, 73°F	0.50 para 9.2	%	ASTM D638
Na Ruptura, 73°F	1.0 para 12	%	ISO 527-2
Módulo de Flexão			
73°F	347000 para 715000	psi	ASTM D790
73°F	44200 para 1.38E+6	psi	ISO 178
Resistência à flexão			
73°F	6950 para 16000	psi	ASTM D790
73°F	1310 para 16100	psi	ISO 178
Impacto	Valor Típico	Unidade	Método
Impacto Charpy com entalhe (73°F)	0.67 para 2.6	ft·lb/in ²	ISO 179
Ensaio de impacto Charpy sem entalhe (73°F)	4.0 para 11	ft·lb/in ²	ISO 179
Impacto Izod com entalhe			
73°F	0.30 para 0.88	ft·lb/in	ASTM D256
73°F	1.6 para 3.0	ft·lb/in ²	ISO 180

Fonte: PROSPECTOR Polylactic Acid (PLA) Propriedades Típicas