

Antônio Paulo Ribeiro Ferreira

Mário de Oliveira Bulhões Filho

Máquina Lançadora de Bolas de Tênis

São Paulo

2006

Antônio Paulo Ribeiro Ferreira

Mário de Oliveira Bulhões Filho

Máquina Lançadora de Bolas de Tênis

Projeto Integrado apresentado à
Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo para a conclusão de
curso

Área de concentração:
Engenharia Mecânica

Orientador:
Profº Marcelo Augusto Leal Alves

São Paulo
2006

Antônio Paulo Ribeiro Ferreira

Mário de Oliveira Bulhões Filho

Máquina Lançadora de Bolas de Tênis

Projeto Integrado apresentado à
Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo para a conclusão de
curso

Área de concentração:
Engenharia Mecânica

Orientador:
Profº Marcelo Augusto Leal Alves

São Paulo
2006

Ferreira, Antônio Paulo Ribeiro
Máquina lançadora de bolas de tênis / A.P.R. Ferreira, M. de
O. Bulhões Filho.-- São Paulo, 2006.
64 p.

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

1. Lançador 2. Arremessador 3. Protótipo
4.Tênis 5. Bolas I.Bulhões Filho, Mário de Oliveira
II.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento
de Engenharia Mecânica III.t.

DEDICATÓRIA

Dedicamos esse Trabalho a nossos amigos de faculdade, familiares e namoradas.

AGRADECIMENTOS

Aos professores Marcelo Augusto Leal Alves e Izabel Fernanda Machado pela orientação e apoio durante a realização deste trabalho.

Aos amigos Henry “Cabeção” Shibayama, Rodolfo “Edsonzinho” Luz, galera do centro acadêmico da mecânica – CAM, pessoal da engenharia de produção - Daniele Yuri Yamada & companhia, Erick Wakamoto Takarabe, Lilian Sato e a todos os outros, que infelizmente não foram possíveis de citar um a um, que colaboraram não só com a realização deste trabalho, mas com a superação destes últimos cinco anos.

RESUMO

O escopo deste trabalho foi projetar uma máquina lançadora de bolas de tênis para o uso em treinamento de atletas amadores visando suprir a deficiência de produtos semelhantes de baixo custo no mercado brasileiro. Para isto foi realizado o estudo de viabilidade, o projeto básico, o projeto executivo, a construção de um protótipo e, ao final, foi realizadas mudanças necessárias visando à otimização do produto. O protótipo foi concretizado com recursos próprios de seus idealizadores por isso contou com algumas simplificações na sua construção, mas que não alteraram suas funcionalidades.

ABSTRACT

The objective of this project is design a tennis machine to use in amateur athlete's training. The purpose is to supply the deficiency of similar low cost products in the Brazilian market. To conclude the project will be performed the feasibility study, the basic project, the executive project, the construction of a prototype and the necessary changes aiming the improvement of the product. The prototype was build with the own resources treasures of his idealists, because that it is some simplifications in his build, but those changes do not affect the functionality of the machine.

SUMÁRIO

1.	<u>INTRODUÇÃO</u>	1
1.1	<u>HISTÓRIA DO TÊNIS</u>	2
2.	<u>OBJETIVOS</u>	4
3.	<u>METODOLOGIA</u>	5
3.1.	<u>ETAPAS A SEREM DESENVOLVIDAS</u>	5
3.2.	<u>CRONOGRAMA</u>	7
4.	<u>DEFINIÇÃO DO PROBLEMA</u>	8
5.	<u>PESQUISA DE SOLUÇÕES EXISTENTES</u>	10
6.	<u>POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA O LANÇADOR</u>	13
6.1	<u>SISTEMA DE LANÇAMENTO</u>	13
6.1.1	<u>Catapulta</u>	13
6.1.2	<u>Dois ou Três Rolos</u>	14
6.1.3	<u>Mola (Pinball)</u>	15
6.1.4	<u>Martelo</u>	15
6.1.5	<u>Compressor</u>	16
6.1.6	<u>Um Rolo</u>	17
6.2	<u>SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO</u>	17
6.2.1	<u>Quadrilátero articulado</u>	18
6.2.2	<u>Pinhão-Cremalheira</u>	18
6.2.3	<u>Pino</u>	19
6.2.4	<u>Camo-seguidor</u>	20
6.3	<u>SISTEMA DE ARMAZENAMENTO</u>	20
6.3.1	<u>Alternativa 1</u>	21
6.3.2	<u>Alternativa 2</u>	21
6.3.3	<u>Alternativa 3</u>	22
7	<u>SOLUÇÃO ADOTADA</u>	23
7.1	<u>CRITÉRIOS DE SELEÇÃO</u>	23
7.2	<u>MATRIZES DE DECISÃO</u>	24
7.3	<u>1ª PROPOSTA DE LAYOUT</u>	25
8	<u>ANÁLISES E CÁLCULOS</u>	30
8.1	<u>DINÂMICA DO LANÇAMENTO</u>	30
8.1.1	<u>Força de Arrasto</u>	30
8.1.2	<u>Efeito Magnus</u>	34
8.2	<u>SELEÇÃO DO MOTOR</u>	35
8.3	<u>SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO</u>	38
8.3.1	<u>Quadrilátero Articulado</u>	38
8.4	<u>SISTEMA ELÉTRICO</u>	40
9	<u>DETALHAMENTO DOS SISTEMAS</u>	42
9.1	<u>SISTEMA DE LANÇAMENTO</u>	42
9.2	<u>SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO</u>	43
9.2.1	<u>Base de sustentação da torre de lançamento e da mangueira de alimentação</u>	44
9.3	<u>SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO</u>	46
10	<u>CONFECÇÃO DO PROTÓTIPO</u>	47
10.1	<u>PROTÓTIPO X PROJETO</u>	48
11	<u>REFERÊNCIAS</u>	52

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1. ALGUNS MODELOS DE LANÇADORES DE BOLA.....	10
FIGURA 2. LANÇADOR TENNIS TWIST E SUAS ESPECIFICAÇÕES.....	11
FIGURA 3. LANÇADOR COM COMPRESSOR DE AR E SUAS ESPECIFICAÇÕES.....	11
FIGURA 4. LANÇADOR COM DOIS ROLOS E SUAS ESPECIFICAÇÕES.....	12
FIGURA 5. MÁQUINA COM TRÊS ROLOS E SUAS ESPECIFICAÇÕES.....	12
FIGURA 6. SISTEMA DE LANÇAMENTO DO TIPO CATAPULTA.....	13
FIGURA 7. SISTEMA DE LANÇAMENTO DO TIPO DOIS ROLOS.....	14
FIGURA 8. SISTEMA DE LANÇAMENTO DO TIPO ROLOS.....	14
FIGURA 9. SISTEMA DE LANÇAMENTO DO TIPO MOLA.....	15
FIGURA 10. SISTEMA DE LANÇAMENTO DO TIPO MARTELO.....	15
FIGURA 11. SISTEMA DE LANÇAMENTO DO TIPO COMPRESSOR.....	16
FIGURA 12. SISTEMA DE LANÇAMENTO DO TIPO UM ROLO.....	17
FIGURA 13. SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DO TIPO QUADRILÁTERO ARTICULADO.....	18
FIGURA 14. SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DO TIPO PINHÃO-CREMALHEIRA.....	18
FIGURA 15. SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DO TIPO PINO.....	19
FIGURA 16. SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DO CAMO-SEGUIDOR.....	20
FIGURA 17. ALTERNATIVA 1 PARA O SISTEMA DE ARMAZENAMENTO.....	21
FIGURA 18. ALTERNATIVA 2 PARA O SISTEMA DE ARMAZENAMENTO.....	21
FIGURA 19. ALTERNATIVA 3 PARA O SISTEMA DE ARMAZENAMENTO.....	22
FIGURA 20. LAYOUT PROPOSTO – VISTA ISOMÉTRICA.....	26
FIGURA 21. LAYOUT PROPOSTO – VISTA ISOMÉTRICA DIREITA (COM CARCAÇA EXTERNA).....	26
FIGURA 22. SUPORTE DO MOTOR: (A) RÍGIDO, (B) ELÁSTICO.....	27
FIGURA 23. SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO.....	28
FIGURA 24. SISTEMA DE AJUSTE DO ÂNGULO DE LANÇAMENTO.....	28
FIGURA 25. NOVO SISTEMA DE INCLINAÇÃO.....	29
FIGURA 29. BANCADA DE TESTES – DETALHE DA COMPRESSÃO DA BOLA.....	36
FIGURA 30. BANCADA DE TESTES – DETALHE DO ACOPLAMENTO DO MOTOR (APENAS PARA O TESTE).....	36
FIGURA 31. CIRCULADOR DE AR – MOTOR DE 50 W.....	37
FIGURA 32. LIQUIDIFICADOR – MOTOR DE 500 W.....	37
FIGURA 33. DIMENSÕES OFICIAIS DE UMA QUADRA DE TÊNIS.....	38
FIGURA 34. QUADRILÁTERO ARTICULADO.....	39
FIGURA 35. DIMMER (CONTROLE DE ROTAÇÃO DOS MOTORES).....	41
FIGURA 36. MOTOR DE 12V (SISTEMAS DE MOVIMENTAÇÃO E ALIMENTAÇÃO).....	41
FIGURA 37. LATERAL DA TORRE DE LANÇAMENTO.....	42
FIGURA 38. SUPORTE DO MOTOR.....	43
FIGURA 39. QUADRILÁTERO DE MOVIMENTAÇÃO COM HASTE REGULÁVEL.....	44
FIGURA 40. BASE DE SUSTENTAÇÃO.....	45
FIGURA 41. DETALHE DO SISTEMA DE INCLINAÇÃO DA TORRE DE LANÇAMENTO.....	45
FIGURA 42. RESERVATÓRIO DE BOLAS.....	46
FIGURA 43. DIFERENÇAS ENTRE A TORRE PROJETADA E A CONSTRUÍDA.....	48
FIGURA 44. SUPORTE DO MOTOR: PROTÓTIPO X PROJETADO.....	49
FIGURA 45. SUPORTE DA TORRE DE LANÇAMENTO: PROTÓTIPO X PROJETADO.....	50
FIGURA 46. CARCAÇA EXTERNA: PROTÓTIPO X PROJETADO.....	51
FIGURA 47. ARMAZENAMENTO: PROTÓTIPO X PROJETADO.....	51

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. CRESCIMENTO DO TÊNIS NO BRASIL (FONTE: CBT E LISONDA).....	1
TABELA 2. NÚMEROS DO MERCADO BRASILEIRO (FONTE: WILSON DO BRASIL)	1
TABELA 3. CARACTERÍSTICAS DA BOLA EM VÁRIOS ESPORTES.....	31

1. Introdução

O tênis brasileiro pode ser dividido em duas era: Antes e Depois do Guga. Não desmerecendo grandes jogadores brasileiros da nossa história, como Maria Esther Bueno e Thomaz Koch. Mas nunca antes um fenômeno tão grande como o Guga aconteceu antes. A popularização do tênis atingiu um nível nunca antes alcançado pelo esporte, ganhando espaço em jornais e conversas em rodas de amigos.

Com um ídolo carismático, o aumento de praticantes no país também cresce consideravelmente. Especula-se que esse aumento de tenistas após o feito de Guga seja de aproximadamente 50%. Um número respeitável considerando que o tênis sempre foi visto com um esporte elitista e por isso restrito a um pequeno grupo de praticantes. O número de quadras construídas também cresceu, segundo a fabricante de quadras Lisonda, esse crescimento é de cerca de 43%. Abaixo temos alguns números desse crescimento.

Tabela 1. Crescimento do tênis no Brasil (fonte: CBT e Lisonda).

	Antes do Guga	Depois do Guga	Crescimento
Nº de Praticantes	400.000	600.000	50%
Quadras em Academias e Clubes	7.000	10.000	43%

O aumento de praticantes e academias de tênis no país, faz com que a venda de artigos esportivos e equipamentos aumentem proporcionalmente. Movimentando cada vez mais dinheiro no mercado tenístico do país. Tais números podem ser observados na tabela abaixo:

Tabela 2. Números do mercado brasileiro (fonte: Wilson do Brasil).

	Antes do Guga	Depois do Guga	Crescimento
Raquetes Vendidas (POR ANO)	60.000	140.000	133%
Bolinhas Vendidas (MILHÕES POR ANO)	1,2	2,9	142%

E é neste contexto que esse trabalho busca uma fatia desses praticantes, buscando projetar e construir um protótipo de uma máquina **lançadora de bolinhas de tênis**. Tal equipamento pode ser explorado tanto por academias e clubes, auxiliando em aulas e treinos, quanto por praticantes com dificuldades de encontrar um parceiro regular em suas praticas nas horas de lazer.

1.1 História do Tênis

Ainda não existe consenso quanto à origem do tênis. Há correntes que apontam os antigos jogos de bola praticados por egípcios, gregos e romanos como as matrizes do tênis. Outros estudiosos acreditam que o esporte nasceu de um jogo romano chamado harpastum, que foi adaptado no País Basco e recebeu o nome de jeu de paume, porque a bola era batida com a palma da mão contra um muro, mais ou menos o que ocorre hoje com a Pelota Basca.

No século XII o paume se espalhou pela França, com diversas variantes e modificações. O muro deu lugar a uma corda que dividia um campo retangular. Surgia o longue-paume, que suportava até seis jogadores de cada lado. Aperfeiçoado, o longue-paume deu lugar ao court-paume, jogado em recinto fechado, em melhor de 11 jogos, vencendo a equipe que completasse seis jogos primeiro - daí os seis games que definem um set no tênis moderno.

Com a invenção da raquete, na Itália, no século XIV, o paume fica menos violento e mais acessível. Ainda no século XIV, o esporte alcançou a Inglaterra, onde chegou a ser praticado pelo rei Henrique VIII. Em meados do século XIX, com o surgimento da bola de borracha, a Grã-Bretanha vê aparecer o tênis ao ar livre, chamado pelos súditos de Sua Majestade de Real Tennis. Em 1873, o major inglês Walter Wingfield, servindo na Índia, estudou os ancestrais do tênis e adaptou suas regras, criando um jogo para acabar com o tédio das ladies. Em 1874, Wingfield registrou a patente do jogo, ao qual chamou Sphairistike, em homenagem aos gregos, que davam esse nome a qualquer exercício praticado com bolas. Logo o esporte passou a ser chamado de tênis, numa derivação do francês tenez, que quer dizer "pega" e era gritado no paume quando o jogador rebatia a bola para a quadra adversária.

As regras definidas por Wingfield são praticamente as mesmas utilizadas até hoje, exceção feita a inovações como o tie-break. Logo o tênis, que era conhecido por tennis-in-Lawn, já que era praticado na grama, se expandiu pela Índia e chegou à Inglaterra, de onde ganhou a Europa e o resto do mundo.

Tênis chegou ao Brasil pelas mãos dos engenheiros ingleses que vinham trabalhar no País no final do século passado.

2. Objetivos

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso é aplicar os conhecimentos adquiridos nesses últimos anos ao projeto e construção de uma **máquina lançadora de bolas de tênis** com o custo máximo de R\$1.000,00 através de recursos próprios.

3. Metodologia

Nesta seção há a descrição da metodologia de projeto aplicada neste trabalho:

3.1. Etapas a serem desenvolvidas

Ao longo desse ano foram cumpridas uma série de atividades para a realização desse projeto. A seguir, descrevemos mais detalhadamente quais são essas etapas:

- Definição do Problema: Definir, de forma clara e precisa, o problema a ser solucionado. De forma a estabelecer quais são os principais parâmetros e premissas do projeto (requisitos, especificações técnicas a serem atendidas, etc);
- Estudo das soluções existentes e pesquisa das características técnicas: Pesquisa de campo visando obter os requisitos para um lançador de bolas de tênis, assim como obter informações sobre os produtos que já são comercializados;
- Brainstorming: Geração de idéias para os principais sistemas e mecanismos do Lançador, onde fornecerá uma gama de alternativas para a solução dos principais sistemas. Essas alternativas serão a base para a análise e futura escolha do mecanismo final;
- Estudo de viabilidade: Levantamento das condições de viabilidade do projeto. Analisando as viabilidades econômica, comercial e técnica do produto;
- Descrição das possíveis soluções (esboço): Breve descrição e esboço das idéias aparentemente viáveis que forem geradas através do brainstorming;
- Definição dos critérios de seleção: Definir e ponderar de forma clara e criteriosa os critérios para seleção da melhor alternativa. Levando em conta os principais parâmetros do projeto, para assim criarmos critérios que possam identificar da melhor maneira possível a solução mais adequada;
- Seleção da solução a ser adotada (Matriz de decisão): Selecionar a melhor solução para o problema através de uma tabela de decisão com os critérios e pesos adotados na atividade anterior;

- Detalhamento da solução adotada (layout): Detalhamento do produto através de um layout e de um desenho de conjunto preliminar;
- Seleção do motor: Análise e seleção do motor a ser utilizado visando atender os requisitos de projeto;
- Projeto do sistema de apoio: Dimensionamento dos componentes mecânicos que formarão o conjunto de apoio do lançador;
- Projeto do sistema de lançamento: Dimensionamento dos componentes mecânicos que formarão o sistema de lançamento;
- Projeto do reservatório de bolas: Dimensionamento dos componentes mecânicos que formarão o reservatório de bolas. Esse reservatório, além de armazenar as bolas, é responsável pela alimentação de bolas ao sistema de lançamento;
- Projeto do mecanismo de movimentação: Estudo de movimento e dimensionamento dos componentes mecânicos que formarão o mecanismo de movimentação;
- Projeto do sistema elétrico (controle): Análise, definição e cálculo do sistema elétrico de alimentação do motor e controle do funcionamento do lançador visando a atender as normas técnicas vigentes;
- Elaboração do desenho de conjunto: Confecção da versão final do desenho de conjunto;
- Elaboração dos desenhos de execução (peças): Confecção dos desenhos de execução de todas as peças e definição do processo de manufatura;
- Elaboração da documentação elétrica: Confecção da documentação do sistema elétrico (esquema elétrico);
- Elaboração da documentação técnica (relatório parcial): Confecção do relatório parcial contendo todas as informações levantadas até o momento para posterior apresentação à comissão;
- Cotação e compra de materiais para confecção de protótipo: Cotação, definição dos fornecedores e compra de matéria-prima e peças acabadas para confecção do protótipo.
- Confecção do sistema de apoio;
- Confecção do sistema de lançamento;
- Confecção do reservatório de bolas;
- Confecção do mecanismo de movimentação;

- Confecção do sistema elétrico;
- Montagem do protótipo: Junção de todos os sistemas citados anteriormente e confecção dos “detalhes” da máquina, como a confecção da carcaça do equipamento, a pintura externa, etc ;
- Testes de campo e ajustes necessários: Etapa final do projeto, onde será realizada uma série de testes para verificar se o equipamento está atendendo todas as especificações de projeto. Caso contrário, pequenos ajustes serão feitos até atingir o comportamento adequado;
- Elaboração da documentação técnica: Organização e confecção do Relatório Final do projeto, assim como a preparação da apresentação que será realizada ao término do ano;

3.2. Cronograma

O cronograma apresentado abrange todas as atividades citadas anteriormente, buscando especificar as durações de cada atividade. Cabe ressaltar todas as atividades voltadas ao projeto foram realizadas no primeiro semestre. A confecção do protótipo, testes de campo e melhorias foram realizadas no segundo semestre.

ATIVIDADE		MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
1º SEMESTRE	Definição do Problema	█								
	Estudo das soluções existentes e pesquisa das características técnicas	█	█							
	Estudo de viabilidade		█							
	Brainstorming		█							
	Descrição das possíveis soluções (esboço)		█							
	Definição dos critérios de seleção		█							
	Seleção da solução a ser adotada (Matriz de decisão)		█							
	Detalhamento da solução adotada (layout)		█							
	Estudo da dinâmica do lançamento		█	█						
	Seleção do motor		█	█						
	Projeto do sistema de apoio		█	█						
	Projeto do sistema de lançamento		█	█						
	Projeto do reservatório de bolas		█	█						
	Projeto do mecanismo de movimentação		█	█						
	Projeto do sistema elétrico (controle)		█	█						
	Elaboração do desenho de conjunto			█	█					
	Elaboração dos desenhos de execução (peças)			█	█					
	Elaboração da documentação elétrica			█	█					
Elaboração da documentação técnica (relatório parcial)			█	█						
2º SEMESTRE	Cotação e compra de materiais para confecção de protótipo				█	█				
	Confecção do sistema de apoio				█	█				
	Confecção do sistema de lançamento				█	█				
	Confecção do reservatório de bolas e Carenagem				█	█				
	Confecção do mecanismo de movimentação				█	█				
	Confecção do sistema elétrico						█	█		
	Montagem do protótipo						█	█		
	Testes de campo								█	█
	Elaboração da documentação técnica (relatório final)								█	█

4. Definição do Problema

Essa definição visa levantar uma série de características e funcionalidades da máquina. É muito útil para um bom desenvolvimento deste projeto definirmos de forma clara as entradas e saídas desejáveis ou não.

Entradas Desejáveis

- Energia;
- Bolas de tênis;
- Ajuste do usuário.

Saídas desejáveis

- Lançamento em múltiplas direções;
- Diferentes velocidades de lançamento;
- Aplicação de diferentes efeitos na bola.

Entradas não desejáveis

- Comandos inadequados;
- Exposição a água da chuva;
- Grandes impactos;

Saídas não desejáveis

- Ruídos;
- Vibrações;
- Choques elétricos;
- Lançamentos imprecisos.

Enxergando pelo ponto de vista do consumidor, temos que as principais características que o publico alvo da máquina lançadora de bolas de tênis dão grande importância são:

- Flexibilidade;

- Durabilidade;
- Fácil manutenção;
- Design;
- Barata;
- Confiável;
- Silenciosa;
- Perfeição do lançamento;
- Compacta;
- Fácil de usar;
- Não danificar a bola.

O levantamento de algumas especificações técnicas também é muito importante para se começar o projeto. Essas especificações são:

Funcionais

- Desempenho: Lançar bolas com até 100 km/h
Ter uma amplitude de lançamento de no mínimo 30°
- Transporte: Ser transportável através de um veículo de passeio

Operacionais

- Voltagem: Operável a 127V
- Durabilidade: Vida útil dos principais componentes não-inferior a 5 (cinco) anos com uso diário
- Confiabilidade: Nenhuma falha que interrompa o funcionamento nos primeiros 3 (três) anos de uso, sendo portanto este o período de garantia do fabricante.

Construtivas

- Peso máximo: 50 kg
- Material: Confeccionado em material resistente a intempéries

5. Pesquisa de soluções existentes

No Brasil, encontrar máquinas desse tipo é muito difícil. Isso se deve pelo alto custo das máquinas e até mesmo custo de importação, uma vez que não existe um fabricante de Lançadores de Bolas no país. Por outro lado, em países europeus e nos Estados Unidos é muito comum encontrar em academias e clubes máquinas auxiliando em aulas e treinamentos jogadores.

Pesquisando no mercado, podemos constatar que existe uma grande variedade de Lançadores. Usando os mais diversificados sistemas de lançamento, movimentação, ajuste de alturas, etc. Claro que quanto mais funções a máquina tiver mais caro fica o equipamento, por isso temos um grande intervalo que abrange os valores dos lançadores. Podemos encontrar máquinas que custam desde \$199,00 até \$5.500,00 nos modelos que oferecem um número maior de funcionalidades.



FIGURA 1. ALGUNS MODELOS DE LANÇADORES DE BOLA.

A seguir vamos mostrar algumas máquinas que dão uma boa idéia dos diversos tipos existentes em produção. Começaremos com os modelos mais simples ilustrado pela Figura (2), indicado para iniciantes. Esse exemplo é o modelo mais acessível do mercado, tem um alcance de lançamento relativamente curto (de 3 até 6 metros), baixo número de bolas armazenadas, não possui ajuste de altura, não há possibilidade de efeito na bola e nem da freqüência de lançamento. Seu sistema de lançamento funciona com golpes aplicados nas bolas por uma peça girante.

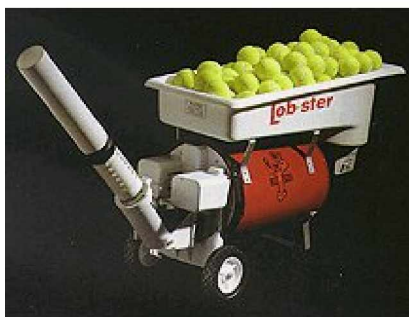


Reservatório de Bolas:	28 Bolas
Alcance:	3 – 6 metros
Período de lançamento:	5 seg.
Alimentação:	AC ou Bateria
Autonomia da bateria:	5-10 horas
Peso (c/ bateria):	5 kg

Preço: **\$ 199,00**

FIGURA 2. LANÇADOR TENNIS TWIST E SUAS ESPECIFICAÇÕES.

Mostraremos um outro modelo de máquina cujo princípio de lançamento é pneumático. Funciona com um compressor de ar que com alta pressão arremessa a bola de tênis. Nesse exemplo, temos uma máquina já com um pouco mais de recursos e capacidade de armazenamento de bola. Tem ajuste de direção horizontal e vertical do lançamento, podendo ter um mecanismo de movimentação automático, bom alcance, possibilidade de ajuste na frequência e velocidade de lançamento. Na Figura (3) temos o exemplo com suas especificações técnicas.



Reservatório de Bolas:	150 Bolas
Velocidade da bola	24 – 113 Km/h
Período de lançamento:	3, 6 ou 12seg.
Alimentação:	AC (110 Volts)
Acessório opcional:	Controle remoto
Peso (c/ bateria):	14 kg

Preço: **\$ 781,33**

FIGURA 3. LANÇADOR COM COMPRESSOR DE AR E SUAS ESPECIFICAÇÕES.

Uma outra alternativa bastante utilizada é um sistema com rolos onde a bola passa por entre esses rolos e ganha velocidade. Esse é o sistema utilizado pela maioria de máquinas mais caras do mercado, provavelmente pela maior dificuldade de fabricação e partes móveis além de serem máquinas com mais recursos. Com

esse tipo de mecanismo é possível encontrar as mais variadas máquinas. A seguir mostraremos um exemplo de máquina com rolos. A Figura (4) mostra uma das máquinas cuja configuração é bastante comum nas maiorias de máquinas do mercado. Essa máquina possui ajuste de velocidade da bola, mudança de trajetórias de lançamento (podendo até simular lobs), grande capacidade de armazenamento de bola e ajuste de efeitos na bola (desde muito top-spin até muito back-spin).



Reservatório de Bolas:	300 Bolas
Velocidade da bola	16 – 153 Km/h
Período de lançamento:	1 - 6 seg.
Alimentação:	AC (110 Volts)
Acessório incluso:	Controle remoto
Peso:	43,5 kg

Preço: **\$ 4.000,00**

FIGURA 4. LANÇADOR COM DOIS ROLOS E SUAS ESPECIFICAÇÕES.

Uma variação desse sistema com rolos é a configuração com 3 rolos. Não tão comum quanto as máquinas com 2 rolos, pois são de uma concepção mais recente. Seus principais ganhos são: maior precisão, maior variedade de efeitos (pois é capaz de até simular saques curvos, onde o efeito é lateral) e maior velocidade de lançamento. Além de contar com as funções de controle de altura, variação de direção de lançamento e variação de frequência de lançamento. A Figura (5) mostra uma máquina desse tipo e um pouco de suas características técnicas.



Reservatório de Bolas:	200 Bolas
Velocidade da bola	Até 177 Km/h
Período de lançamento:	1,5 - 12 seg.
Altura Máx. da Máquina	2,74 m
Alimentação:	AC (110 Volts)
Peso:	68 kg
Preço:	\$ 5.499,00

FIGURA 5. MÁQUINA COM TRÊS ROLOS E SUAS ESPECIFICAÇÕES.

6. Possíveis soluções para o Lançador

Após essa breve apresentação de alguns modelos existentes no mercado. Vamos agora mostrar alguns mecanismos que podem servir soluções para cada uma das principais funções do nosso do lançador de bolas. Esse levantamento de possíveis soluções foi tanto baseado em idéias já existentes no mercado quanto em idéias novas discutidas entre os integrantes da dupla de trabalho. Lembrando que essas funções são: Lançar a bola, armazenar e alimentar o lançador com bolas, alterar a direção de lançamento e sustentar o lançador.

As soluções aqui apresentadas servirão de base para a escolha dos melhores sistemas para compor a máquina. Tentando atender a maior quantidade de funções desejadas da melhor maneira possível.

6.1 Sistema de lançamento

Começaremos mostrando as possíveis soluções para o mecanismo de lançamento de bola. Será apresentada uma breve descrição dos princípios de funcionamento de cada candidato a solução, assim como uma prévia de suas características a favores e contras.

6.1.1 Catapulta

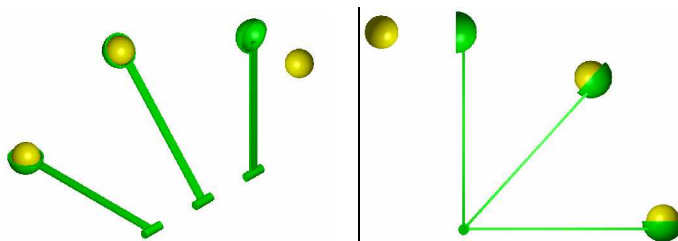


FIGURA 6. SISTEMA DE LANÇAMENTO DO TIPO CATAPULTA.

O sistema de catapulta funciona basicamente com uma haste que deve girar rapidamente de forma a imprimir uma grande aceleração na bola de tênis a ser arremessada. Esse sistema não aparenta ser muito confiável, além de ter uma série de limitações. Pois se trata de um mecanismo de difícil ajuste, com pouca precisão e por se tratar de um mecanismo que necessita de grandes acelerações e desacelerações.

6.1.2 Dois ou Três Rolos

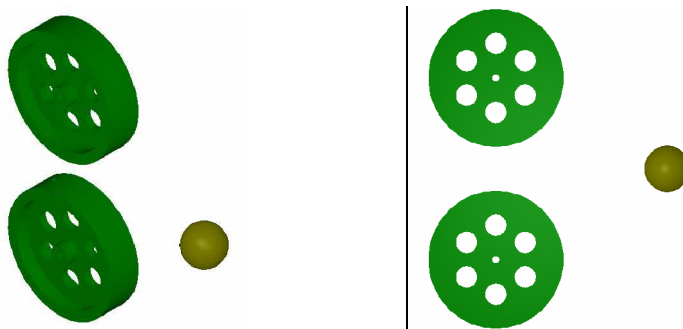


FIGURA 7. SISTEMA DE LANÇAMENTO DO TIPO DOIS ROLOS.

Esta proposta de solução é baseada na rotação em alta velocidade de dois discos (ou três) que comprimem a bola de tênis e a arremessa. Este sistema apresenta uma grande vantagem, pois com a diferença de rotação dos discos pode-se obter o lançamento da bola com os efeitos de top-spin ou back-spin. É um sistema de difícil execução e que necessita de dois (ou três) motores elétricos para cada rolo ou um conjunto de engrenagens que possibilitem pelo menos três relações de rotações entre os rolos. Essas três relações se referem ao efeito de top-spin, back-spin e sem efeito.

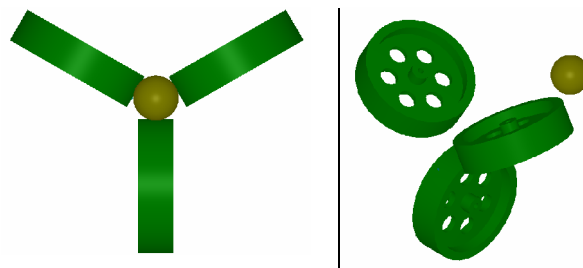


FIGURA 8. SISTEMA DE LANÇAMENTO DO TIPO ROLOS.

6.1.3 Mola (Pinball)

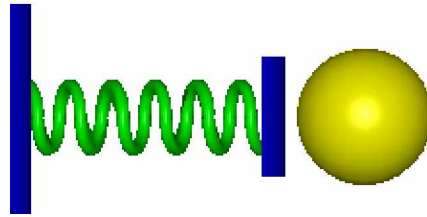


FIGURA 9. SISTEMA DE LANÇAMENTO DO TIPO MOLA.

Este mecanismo é, como o próprio nome diz, semelhante ao sistema encarregado de lançar as bolas nas famosas máquinas de pinball. Ele é baseado na transformação de energia potencial elástica armazenada pela mola em energia cinética passada para a bola. Essa transformação de energia acontece da seguinte maneira: a mola é comprimida de modo a armazenar energia suficiente para, na sua descompressão, projetar a bola com velocidade suficiente para atravessar a quadra.

Nesse tipo de sistema, a grande dificuldade é fabricar um sistema capaz de comprimir a mola o suficientemente para efetuar o lançamento. Isso porque seria necessária uma força muito grande de compressão e uma rápida liberação da mola para acelerar o bola.

6.1.4 Martelo

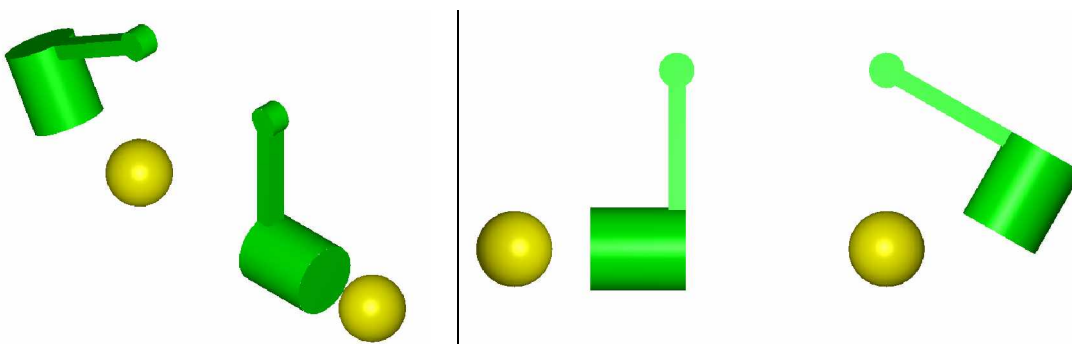


FIGURA 10. SISTEMA DE LANÇAMENTO DO TIPO MARTELO.

O martelo representa aqui um mecanismo que efetua o arremesso da bola através de um forte impacto na bola. Ele funcionaria mais ou menos como uma tacada de golfe ou um chute na bola. Seria uma alternativa bastante barata para o sistema, mas apresenta uma precisão muito pequena, principalmente nas mudanças de direções do lançamento.

6.1.5 Compressor

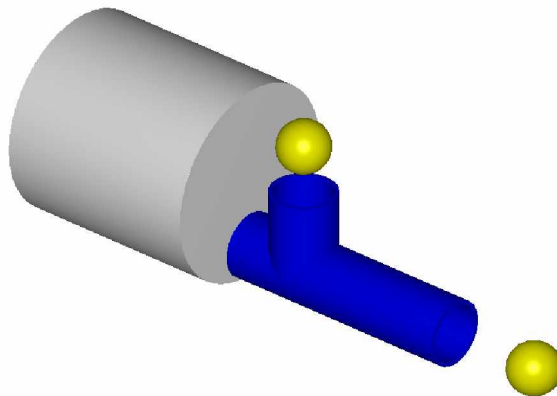


FIGURA 11. SISTEMA DE LANÇAMENTO DO TIPO COMPRESSOR.

Em um mecanismo cujo principal componente é um compressor, o princípio de lançamento é baseado na força transferida para a bola pela compressão de ar. Fazendo uma analogia, seria algo parecido uma arma de paintball, equipamento esse que funciona com um pequeno reservatório de ar comprimido. Os grandes fatores que pesam contra esse tipo de mecanismo são custo de um compressor e a vedação do sistema. Pois um compressor capaz gerar uma grande pressão tem um custo bastante elevado e a construção de um mecanismo com a vedação suficiente para essa pressão torna-se o maior obstáculo desse sistema.

6.1.6 Um Rolo

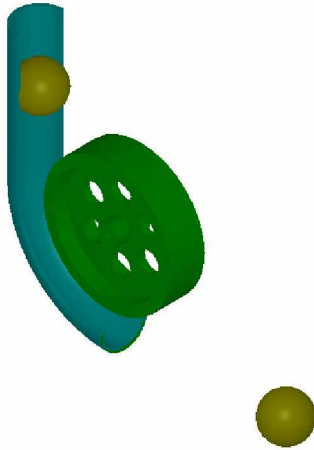


FIGURA 12. SISTEMA DE LANÇAMENTO DO TIPO UM ROLO.

Esse sistema de lançamento é uma versão um pouco mais simplificada que o mecanismo de dois ou três rolos. Ele substitui um dos rolos por uma guia. Isso torna a sua construção um pouco mais simples, mas por outro lado, perde a sua melhor característica: a possibilidade de variação de efeito na bola.

6.2 Sistema de movimentação

O sistema de movimentação é o sistema responsável por transformar o movimento de rotação de um motor elétrico em um movimento de oscilação do sistema de lançamento de forma que, conforme uma das principais premissas do projeto, capacite as bolas lançadas atingirem toda a extensão da quadra. É importante ressaltar que em todos os mecanismos propostos a frequência de oscilação pode ser facilmente ajustável através da variação da velocidade de rotacional do motor elétrico.

6.2.1 Quadrilátero articulado

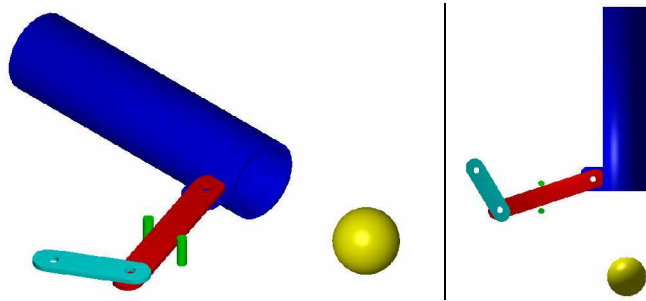


FIGURA 13. SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DO TIPO QUADRILÁTERO ARTICULADO.

O sistema de movimentação proposto do tipo Quadrilátero Articulado se assemelha ao mecanismo de movimentação angular utilizado na maioria dos ventiladores. Ele se baseia na transformação do movimento de rotação de uma haste ligada a um motor em um movimento de oscilação alternada do corpo do lançador, ligados por uma haste por segunda haste ligada (vermelha). O mecanismo proposto, conforme a Figura (13), indica que a terceira haste do quadrilátero seja o próprio corpo do lançador (no caso representado por um “canhão”), e que oscila segundo um ponto na extremidade oposta. Este sistema pode ter a amplitude de movimento ajustável caso sejam previstas hastes com comprimentos variáveis.

6.2.2 Pinhão-Cremalheira

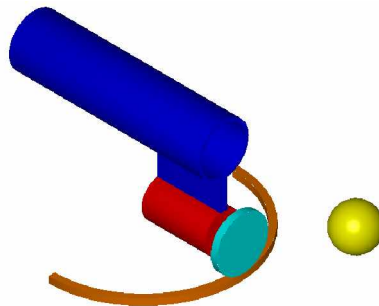


FIGURA 14. SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DO TIPO PINHÃO-CREMALHEIRA.

Este mecanismo tem seu princípio de funcionamento baseado no funcionamento de uma transmissão de movimento do tipo pinhão cremalheira, semelhante ao sistema de movimentação de muitos portões automatizados. A principal diferença do sistema proposto é que a cremalheira possui a forma de um arco garantindo assim o perfeito engrenamento com o pinhão que rotaciona de forma solidária ao sistema de lançamento, conforme Figura (14). Ao final de curso é proposto um sistema elétrico com acionadores mecânicos ou sensores que inverte o sentido de rotação do sistema de lançamento. Este sistema pode ter amplitude de movimento ajustável caso a posição dos acionadores mecânicos ou sensores possa ser modificada.

6.2.3 Pino

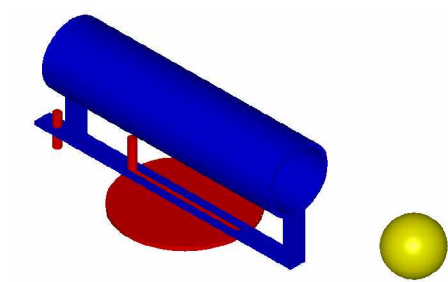


FIGURA 15. SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DO TIPO PINO.

O mecanismo de movimentação denominado “Pino” é proposto considerando que a movimentação de um disco ou engrenagem movimenta o sistema de lançamento através do contato constante com um pino, conforme a Figura (15). O disco ou engrenagem seria movimentado por um sistema elétrico e uma desvantagem a ser observada é que o sistema de lançamento teria um movimento de oscilação com velocidade variável (a oscilação seria mais rápida quando o sistema de lançamento apontasse para as extremidades da quadra). Este sistema pode ter a amplitude de oscilação ajustável considerando que o pino possua regulagem da distância em relação ao centro do disco.

6.2.4 Camo-seguidor

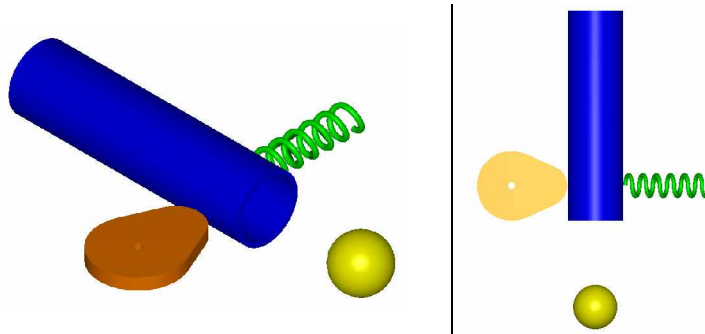


FIGURA 16. SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DO CAMO-SEGUIDOR.

O mecanismo de movimentação proposto do tipo camo seguidor indica, conforme a Figura (16), que o movimento de oscilação do sistema de lançamento seja executado pelo contato deste com um camo seguidor. A volta do sistema de lançamento, devido a impossibilidade de contar com o auxílio da força gravitacional, se daria através da força executada por uma mola. A grande desvantagem desse sistema em relação aos propostos é que o ajuste da amplitude de oscilação do sistema de lançamento só seria possível através da mudança do camo seguidor.

6.3 Sistema de armazenamento

O sistema de armazenamento tem duas funções principais:

- Servir de reservatório para as bolas a serem lançadas, pois é importante a máquina ter capacidade de alojar uma quantidade de bolas suficientes para não tornar a prática do exercício muito curta;
- Alimentar o lançador, o que significa que o sistema de armazenamento tem que ser capaz de proporcionar condições favoráveis ao fornecimento de bolas ao sistema de lançamento. Além de controlar a frequência com que essa alimentação é realizada, o que reflete no tempo entre um lançamento e outro.

6.3.1 Alternativa 1

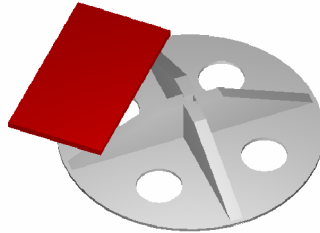


FIGURA 17. ALTERNATIVA 1 PARA O SISTEMA DE ARMAZENAMENTO.

Trata-se de uma proposta de solução que viabiliza a alimentação de uma única bola em um espaço de tempo que pode ser ajustado pelo operador através da variação da velocidade de rotação do dispositivo e do fechamento ou abertura da portinhola de um ou mais furos. Conforme observamos na Figura (17), em cada furo cabe uma única bola de tênis, sendo que, na posição em que a mangueira de alimentação do sistema de lançamento está posicionada há uma chapa que impede a passagem de mais bolas. Este sistema apresenta grande confiabilidade, contudo é um sistema que apresenta maior complexidade de manufatura.

6.3.2 Alternativa 2

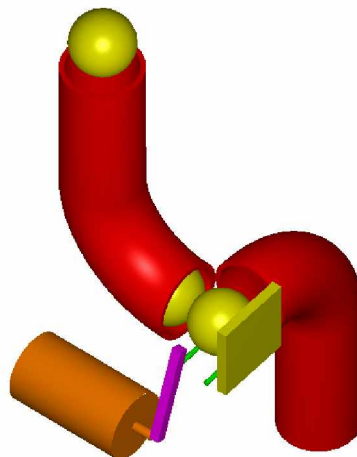


FIGURA 18. ALTERNATIVA 2 PARA O SISTEMA DE ARMAZENAMENTO

Esta proposta de solução, conforme a figura (18), apresenta um alimentador que nada mais é que uma haste que empurra uma única bola posicionada através de uma mangueira pré-alimentadora. Essa haste está representada na Fig. 18 como uma haste girante, mas esta pode ser também uma haste de movimento horizontal, utilizando um mecanismo do tipo biela manivela. Este mecanismo pode ter a taxa de alimentação de bolas variável através do ajuste da velocidade de rotação da haste alimentadora e tem como principal diferencial ser de fácil execução.

6.3.3 Alternativa 3

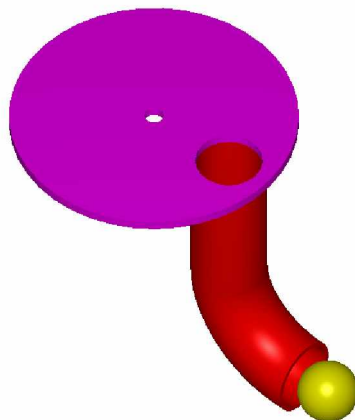


FIGURA 19. ALTERNATIVA 3 PARA O SISTEMA DE ARMAZENAMENTO.

A terceira alternativa é mais um sistema de simples execução que, contudo, não apresenta grande regularidade da taxa de alimentação assim como não apresenta grande confiabilidade. O sistema se baseia na rotação de um disco com um furo que quando coincide com o pré-alimentador executa a atividade de alimentação do sistema de lançamento. A grande desvantagem desse sistema é que a rotação deve ser muito bem controlada de forma a garantir que não seja rápida o suficiente para não alimentar o sistema, ou lenta o bastante para não sair mais de uma bola de tênis.

7 Solução Adotada

A solução adotada prevê a utilização simultânea das melhores alternativas para cada sistema. Dessa forma, a fim de se obter uma análise criteriosa e imparcial utiliza-se uma matriz de decisão baseada nos seguintes critérios de seleção:

7.1 Critérios de Seleção

Peso

Trata-se da avaliação do sistema proposto quanto a capacidade de reduzir direta ou indiretamente o peso total do equipamento. Quanto menor o peso total do equipamento, melhor será a classificação da solução proposta.

Custo

É a análise do sistema proposto quanto a capacidade de redução do custo de manufatura do produto. Quanto menor o custo de manufatura, melhor será o valor conferido a solução proposta,

Manutenção

Considera-se que o melhor valor seja atribuído ao sistema que seja capaz de conferir ao produto maior facilidade de manutenção (complexidade de montagem e desmontagem).

Confiabilidade/Durabilidade

O melhor valor, segundo este critério de seleção, é dado ao sistema que se mostrar ser de maior durabilidade.

Funcionalidade

O melhor valor é atribuído à proposta de solução que apresente maior capacidade de executar com sucesso a atividade proposta. Quanto melhor for esta capacidade, melhor será o valor atribuído.

Compacidade

É a avaliação que tem como principal função conferir o melhor valor para a proposta de solução que tenha capacidade de conferir dimensões mais reduzidas ao produto final.

Flexibilidade

Este critério visa avaliar a capacidade da solução proposta em ser ajustável para diversas condições de operação.

7.2 Matrizes de Decisão

Dessa forma obtemos as seguintes matrizes de decisão para os três sistemas propostos:

Para o sistema de lançamento:

Critério	Peso	Catapulta	1 Rolo	2 Rolos	3 Rolos	Mola	Martelo	Compressor
Peso/Massa	4	9	8	7	6	9	8	2
Custo	4	8	7	6	4	7	8	3
Manutenção	3	7	7	6	6	7	8	4
Confiabilidade / Durabilidade	3	6	5	5	4	6	6	4
Funcionalidade	5	3	5	9	9	2	3	7
Compacidade	2	8	6	6	5	8	8	6
Flexibilidade	2	2	5	7	6	2	2	5
Facilidade de construção	2	9	7	6	5	3	9	1
Total	25	160	157	168	147	139	159	103

Portanto, a alternativa selecionada foi o sistema de lançamento através de dois rolos.

Para o sistema de movimentação:

Critério	Peso	Quadrilátero Articulado	Pinhão-Cremalheira	Pino	Camo-Seguidor
Peso/Massa	4	8	5	8	7
Custo	4	8	2	7	6
Manutenção	3	6	5	6	6
Confiabilidade / Durabilidade	3	7	6	6	5
Funcionalidade	5	8	7	8	7
Compacidade	2	8	4	9	6
Flexibilidade	2	7	5	7	4
Facilidade de construção	2	6	3	7	5
Total	25	185	120	182	150

Logo, a melhor alternativa para o sistema de movimentação é o sistema denominado “Pino”.

Para o sistema de alimentação:

Critério	Peso	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Peso/Massa	3	6	9	7
Custo	4	6	8	7
Manutenção	3	7	8	7
Confiabilidade / Durabilidade	3	7	8	7
Funcionalidade	5	8	7	5
Compacidade	2	6	9	7
Flexibilidade	3	7	6	6
Facilidade de construção	4	5	8	9
Total	27	177	210	184

Sendo assim, a melhor alternativa para o sistema de alimentação, segundo a matriz de decisão utilizada, é a alternativa 2 (alimentação por uma haste que empurra a bola proveniente de um pré-alimentador).

7.3 1ª Proposta de Layout

Obtemos então, através da utilização conjunta de todos os sistemas propostos a seguinte solução para a máquina lançadora de bolas de tênis:

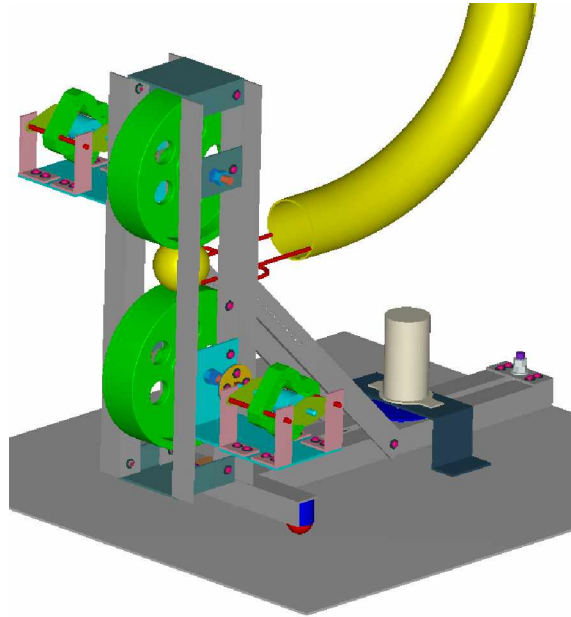


FIGURA 20. LAYOUT PROPOSTO – VISTA ISOMÉTRICA.

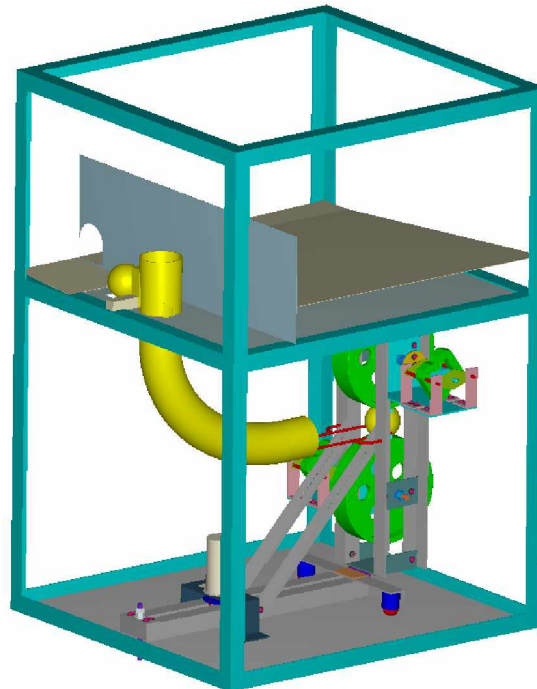


FIGURA 21. LAYOUT PROPOSTO – VISTA ISOMÉTRICA DIREITA (COM CARÇAÇA EXTERNA).

Através dessas duas ilustrações é fácil observar a associação de todos os sistemas propostos: lançamento através de dois rolos, sistema de movimentação e sistema de alimentação através de uma haste.

Sobre o acoplamento do motor aos eixos dos discos, foram feitos alguns estudos e teste preliminares, partindo de uma primeira proposta de acoplamento rígido, conforme a Figura (22A). Mas com a prática e a excessiva vibração do lançador, notou-se que um acoplamento elástico teria uma funcionalidade maior ao conjunto. Transmitindo a potência para os rolos e, também, amenizando a vibração entre o motor e o eixo do disco.

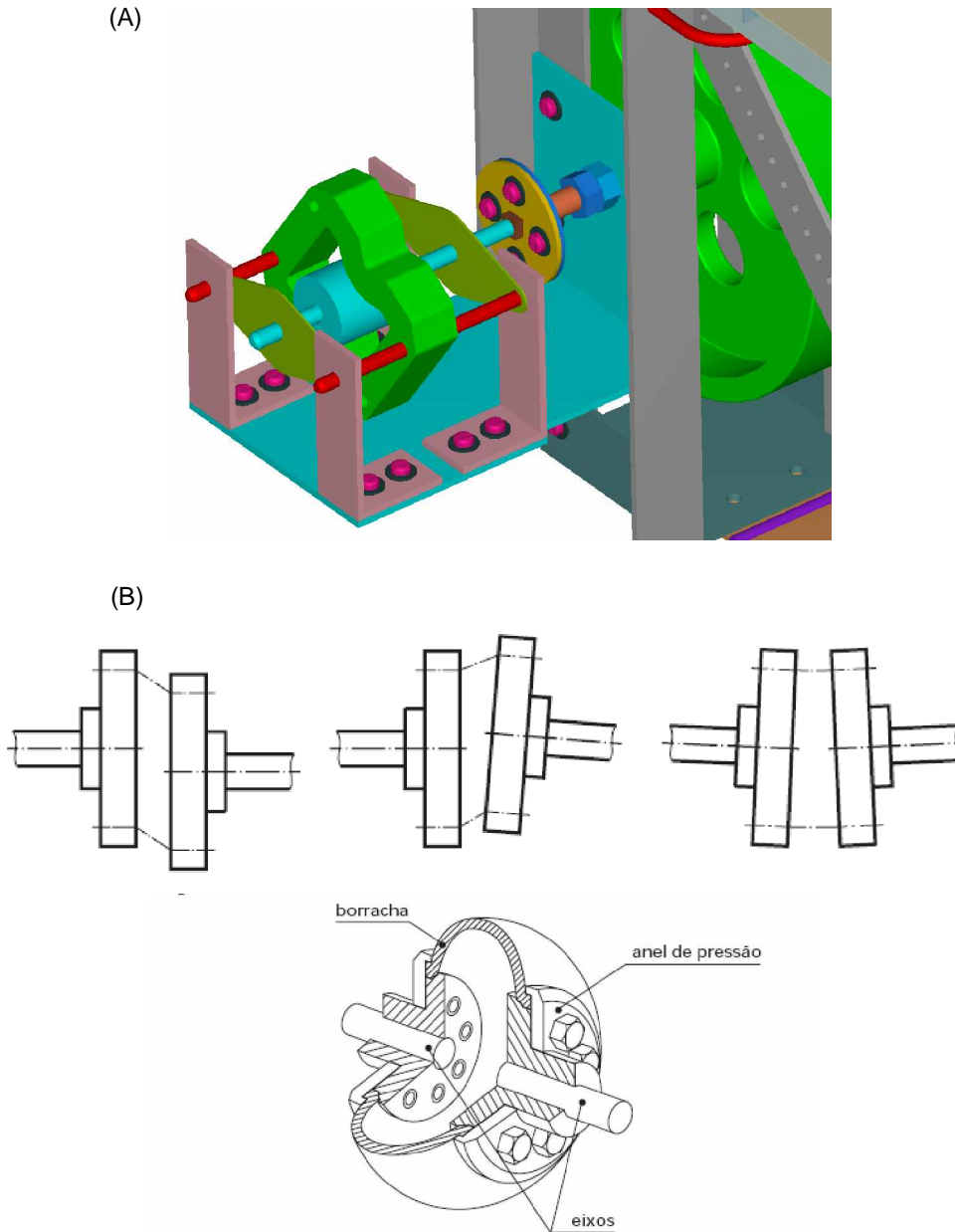


FIGURA 22. SUPORTE DO MOTOR: (A) RÍGIDO, (B) ELÁSTICO.

Outro foco importante foi a análise da geometria do sistema de movimentação. Como dito anteriormente, este sistema deve garantir que as bolas sejam lançadas em vários pontos da quadra, e a funcionalidade desse sistema foi estudada e será descrita mais adiante.

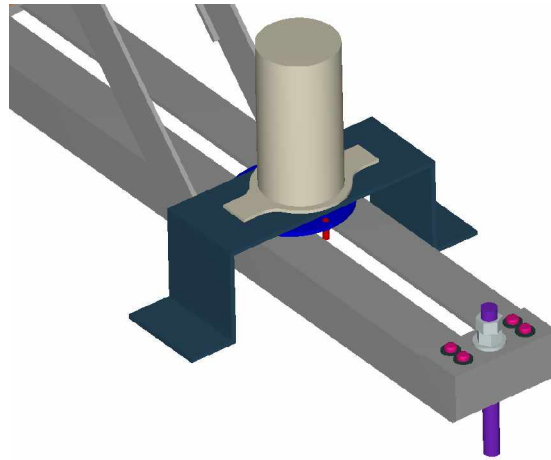


FIGURA 23. SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO.

Outro foco de análise foi o sistema que capacita o lançador a arremessar as bolas em diferentes ângulos de lançamento. Uma primeira proposta sugerida para este sistema é baseada na utilização de uma dobradiça e duas hastes girantes contendo vários furos. Estas hastes apóiam o sistema de lançamento em um ângulo genérico qualquer, conforme Figura (24):

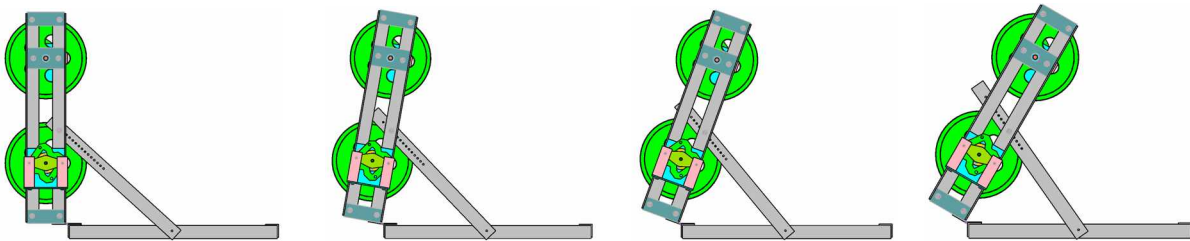


FIGURA 24. SISTEMA DE AJUSTE DO ÂNGULO DE LANÇAMENTO.

Mas ao longo do projeto, identificou-se a falta de praticidade do mecanismo e este foi substituído, por um sistema de rosca com uma borboleta. Na Figura (25) podemos ver como ficou a solução adotada para este problema.

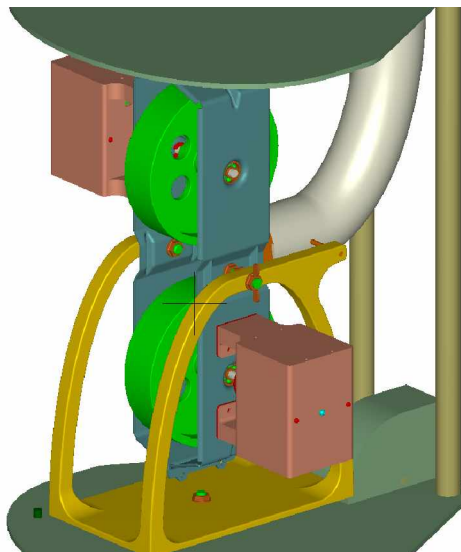


FIGURA 25. NOVO SISTEMA DE INCLINAÇÃO.

8 Análises e Cálculos

Análises, testes e cálculos foram realizados com o objetivo de aperfeiçoar o funcionamento da máquina lançadora de bolas de tênis.

8.1 Dinâmica do Lançamento

No lançamento de uma bola de tênis são observadas duas forças aerodinâmicas de grande influência: Força de arrasto e Força de Magnus.

8.1.1 Força de Arrasto

Uma bola de tênis em movimento no ar está sujeita a forças aerodinâmicas causadas pela pressão e viscosidade do meio. A força resultante pode ser decomposta em duas componentes: o arrasto, antiparalelo à velocidade, e a sustentação, perpendicular à velocidade. Primeiramente, vamos discutir as propriedades da força de arrasto. A força de sustentação que surge quando a bola está girando (efeito Magnus) será tratada mais a frente.

A força de arrasto depende fortemente da velocidade V com que a bola se move em relação ao ar. É conveniente parametrizar essa dependência introduzindo o coeficiente de arrasto C_A , em termos do qual a força de arrasto F_A é escrita como:

$$F_A = \frac{1}{2} C_A \rho A V^2$$

Onde ρ é a densidade do ar ($1,224 \text{ kg/m}^3$ ao nível do mar) e A é a área da seção transversal da bola. O coeficiente de arrasto é uma grandeza adimensional, e portanto só

pode depender de quantidades igualmente adimensionais. Para uma bola com velocidade muito menor que a do som, a única quantidade deste tipo é o número de Reynolds,

$$Re = \frac{\rho DV}{\eta}$$

Onde D é o diâmetro da bola e η a viscosidade do ar ($1,83 \cdot 10^{-5} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$). O número de Reynolds mede a razão entre as forças inerciais e viscosas que atuam na bola, e indica o tipo de escoamento do fluido; valores de Re pequenos correspondem ao escoamento laminar, enquanto valores grandes estão associados à formação de turbulências.

Tabela 3: Características da bola em vários esportes: velocidade (alta), diâmetro, massa e número de Reynolds.

Esporte	Vel. (m/s)	Diâm. (cm)	Massa (g)	$Re/10^5$
Futebol	30	22,2	454	4,4
Voleibol	30	21,0	270	4,2
Tênis	45	6,5	58	2,0
Beisebol	40	7,3	145	1,9
Golfe	60	4,3	46	1,7
Basquete	10	24,3	600	1,6
Tênis de mesa	5	3,8	25	0,13

A seguir o gráfico relacionará o arrasto com o número de Reynolds. A linha cheia no gráfico à baixo mostra o coeficiente de arrasto determinado experimentalmente em um túnel de vento em uma esfera lisa.

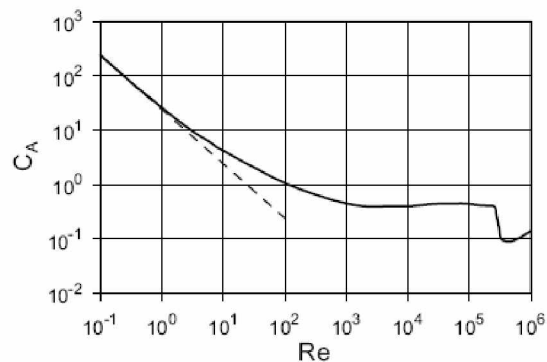


Gráfico 1: Número de Reynolds x Coeficiente de Arrasto

Para pequenos números de Reynolds, $Re < 1$, o coeficiente de arrasto é dado pela fórmula de Stokes (linha tracejada do Graf. 1):

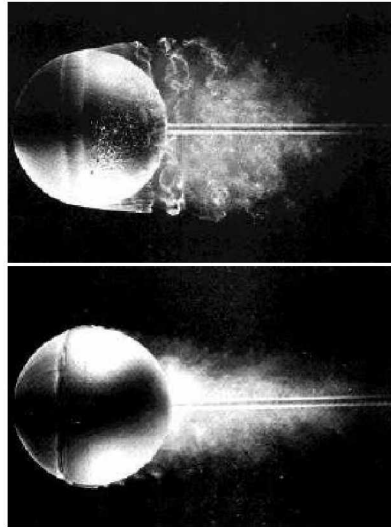
$$C_A = \frac{24}{Re}$$

Para uma grande faixa de valores de Re , entre aproximadamente 10^3 e 3×10^5 , o coeficiente de arrasto é praticamente constante, mantendo-se em torno de $CA = 0,5$. Consequentemente, nesta região a força de arrasto é proporcional ao quadrado da velocidade. O aspecto mais curioso do Graf. 1 é a queda abrupta de CA (por um fator da ordem de 5) em torno de $Re = 3 \times 10^5$. Esta redução drástica da resistência do ar é chamada de crise do arrasto.

A crise do arrasto e a camada limite

A crise do arrasto está diretamente associada ao comportamento da camada limite de ar que se forma em torno da bola. A camada limite tem origem na aderência das moléculas do ar na superfície da bola. A viscosidade transmite parcialmente esta aderência às moléculas mais distantes, formando uma região que tende a mover-se com a bola. Esta região é a camada limite, ou camada de Prandtl.

Para números de Reynolds menores que aproximadamente 20, a camada limite envolve completamente a bola. O escoamento do ar é laminar, e o arrasto é dominado pela viscosidade. Para valores maiores de Re a camada limite separa-se da esfera na parte posterior, gerando uma esteira como a mostrada na parte de cima da Figura (24). A separação causa uma diminuição significativa da pressão na parte de trás da esfera, e a diferença entre as pressões dianteira e traseira passa a dominar o arrasto.



*No alto: camada laminar. Embaixo: camada turbulenta.

FIGURA 26. SEPARAÇÃO DA CAMADA LIMITE EM UMA ESFERA.

A crise do arrasto ocorre quando a camada limite torna-se turbulenta. A turbulência permite que a camada resista melhor à tendência de separação, e com isso o ponto de descolamento move-se mais para trás da esfera, diminuindo a área da esteira. A parte de baixo da Figura (26) mostra a separação de uma camada limite turbulenta. Está aí a origem da crise. A contração da esteira reduz a área da esfera submetida a baixas pressões e causa uma diminuição da resistência do ar.

A textura da superfície também afeta o escoamento da camada limite. Uma esfera rugosa irá sofrer a crise em um número de Reynolds inferior ao de uma esfera lisa. A rugosidade precipita a turbulência na camada limite e, conseqüentemente, diminui a resistência do ar a altas velocidades. É por isso que as bolas de golfe tem sulcos cavados por toda a sua superfície, assim elas vão mais longe.

É difícil dizer exatamente onde ocorre a crise para uma bola rugosa, pois isso depende não apenas do grau de irregularidade, mas também da sua distribuição pela superfície. De qualquer forma, uma indicação pode ser encontrada no Gráfico 2, que mostra o coeficiente de arrasto para bolas com vários graus de aspereza. Vemos que a crise pode ocorrer para valores bem diferentes de Re , dependendo da rugosidade da superfície. Note-se que as bolas de golfe sofrem a crise a um número de Reynolds particularmente baixo, graças ao planejamento cuidadoso das cavidades em sua superfície. As bolas de futebol comuns podem ser consideradas como razoavelmente lisas, mas não se sabe ao

certo onde está o seu ponto de crise. Outro complicador é o grau de turbulência já existente no ar, que pode deflagrar a crise mais cedo.

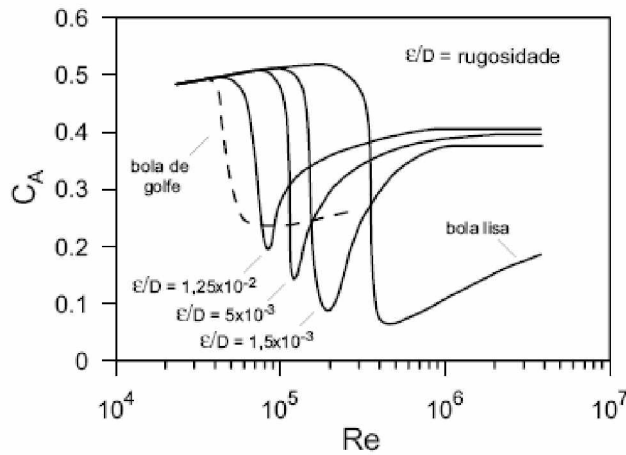


Gráfico 2: Coeficiente em função da rugosidade

8.1.2 Efeito Magnus

Quando a bola de tênis gira em torno de seu centro, uma força de sustentação (perpendicular à velocidade) passa a agir sobre ela. Esse fenômeno é chamado de força de Magnus. Esta força pode ser escrita como:

$$\vec{F}_M = \frac{1}{2} C_S \cdot \rho \cdot A \cdot V^2 \frac{\vec{\omega} \times \vec{V}}{|\vec{\omega} \times \vec{V}|}$$

Onde $\vec{\omega}$ é o vetor velocidade angular. Note que a força de Magnus é perpendicular à velocidade e ao eixo de rotação. O coeficiente de sustentação C_S desempenha um papel semelhante ao coeficiente de arrasto discutido na seção anterior. Ele é uma quantidade adimensional, e é função do número de Reynolds Re , do “parâmetro de rotação” $S = \omega r/V$ (onde, r é o raio da bola), e do ângulo ζ entre a velocidade e o eixo de rotação. É útil definir o coeficiente de Magnus $C_M = C_S / (S \sin \zeta)$, em termos do qual a força de Magnus tem a forma:

$$\vec{F}_M = \frac{1}{2} C_M \rho \cdot A \cdot r \cdot \vec{\omega} \times \vec{V}$$

Medidas da força de Magnus em bolas de beisebol e futebol (todas feitas com o eixo de rotação perpendicular à velocidade, ou seja, $\zeta = \pi/2$) parecem indicar que $CM \approx 1$, dependendo fracamente de S , e menos ainda de Re . Há também alguma evidência de que CM é independente de ζ . Assim, podemos considerar $CM(Re; S; \zeta) = 1$ como sendo uma aproximação razoável para o coeficiente de Magnus.

A explicação para o efeito Magnus nas bolas esportivas é dada pelo comportamento da camada limite sob rotações. A Figura (27) mostra o fluxo de ar em torno de uma bola que gira no sentido horário. Note que a separação da camada limite é antecipada na parte de baixo da bola, em que a rotação se opõe ao fluxo de ar, e adiada no lado de cima, em que a rotação acompanha a passagem do ar. A assimetria na separação da camada limite empurra o ar atrás da bola para baixo. Pela 3ª Lei de Newton, a bola sofre uma força em sentido contrário, para cima, o que dá origem ao efeito Magnus. Essa situação seria semelhante ao slice aplicado pelos jogadores de tênis, quando a raquete “corta” a bola de cima para baixo.



FIGURA 27. SEPARAÇÃO DA CAMADA LIMITE EM UMA BOLA GIRANDO NO SENTIDO HORÁRIO.

8.2 Seleção do Motor

Como verificado no item anterior, os efeitos desejados no lançamento se dão através da rotação da bola, esta rotação deve ser realizada através da diferença entre as rotações do disco superior e inferior. Portanto, conclui-se que são necessários dois motores

independentes. A potência do motor foi definida através de testes realizados em uma bancada, conforme Figuras (28), (29) e (30):

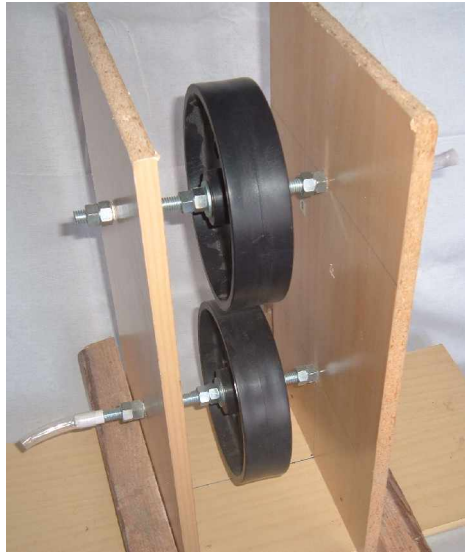


FIGURA 28. BANCADA DE TESTES.



FIGURA 29. BANCADA DE TESTES – DETALHE DA COMPRESSÃO DA BOLA.



FIGURA 30. BANCADA DE TESTES – DETALHE DO ACOPLAMENTO DO MOTOR (APENAS PARA O TESTE).

O teste teve início com um motor elétrico de 50W retirado de um circulador de ar doméstico. Através da alimentação manual de bolas obtivemos uma distância média de aproximadamente **3 m**.

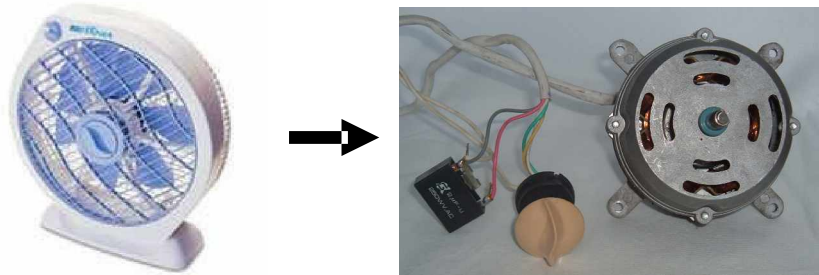


FIGURA 31. CIRCULADOR DE AR – MOTOR DE 50 W.

O resultado não foi satisfatório visto que o comprimento oficial de uma quadra é de pouco mais de 23 m. Através de pesquisas de mercado foi definido um novo teste com um motor elétrico de 500 W retirado de um liquidificador.

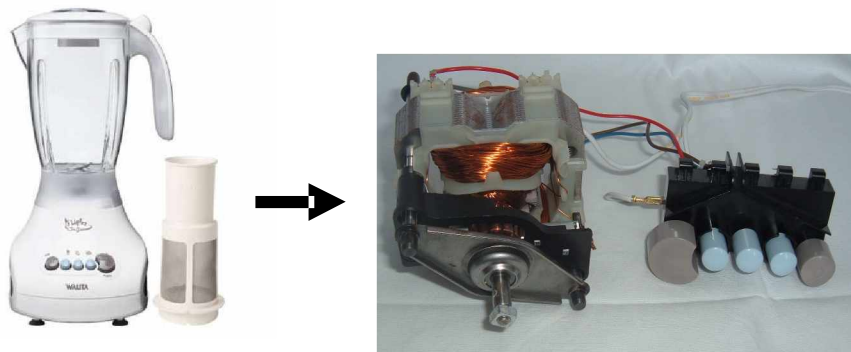


FIGURA 32. LIQUIDIFICADOR – MOTOR DE 500 W.

Desta vez o resultado do teste de lançamento realizado na bancada foi satisfatório. O lançamento realizado com dois motores de 500 W alcançou uma distância de aproximadamente **20 m**, comprovando sua capacidade de aplicação para a finalidade estudada.

8.3 Sistema de Movimentação

Como já dito anteriormente, o sistema de movimentação deve capacitar a máquina a realizar lançamentos em várias posições da quadra. Para tanto ele deve ser capaz de realizar, considerando a máquina posicionada no centro da extremidade oposta ao jogador, movimentos oscilatórios com o ângulo máximo de uma quadra com dimensões oficiais (conforme Figura (33)).

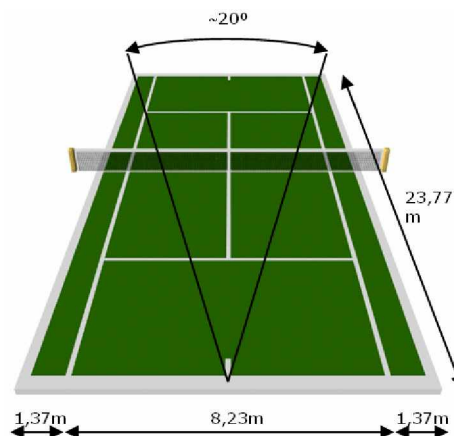


FIGURA 33. DIMENSÕES OFICIAIS DE UMA QUADRA DE TÊNIS.

8.3.1 Quadrilátero Articulado

A figura abaixo apresenta o esquema físico de um mecanismo do tipo quadrilátero articulado contendo os vetores de comprimento l_1 , l_2 , l_3 e l_4 . O objetivo desta análise é obter o ângulo de saída θ_4 em função do ângulo de entrada θ_2 (motor).

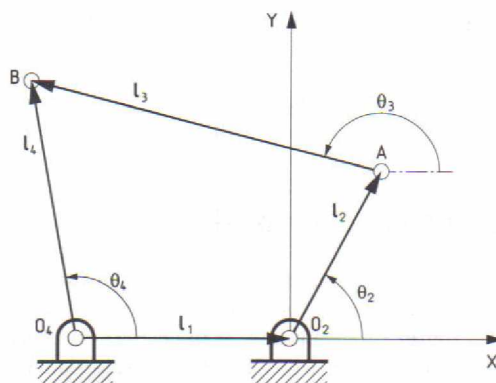


FIGURA 34. QUADRILÁTERO ARTICULADO.

A figura abaixo apresenta o esquema físico de um mecanismo do tipo quadrilátero articulado contendo os vetores de comprimento l_1 , l_2 , l_3 e l_4 . O objetivo desta análise é obter o ângulo de saída θ_4 em função do ângulo de entrada θ_2 (motor).

O vetor l_1 é solidário ao eixo "x". Logo, $\theta_1=0$. Considerando o circuito fechado $O_2ABO_1O_2$, podemos escrever:

$$l_1 + l_2 + l_3 - l_4 = 0$$

Utilizando a notação complexa, com $\theta_1=0$, a equação acima pode ser escrita como:

$$l_1 + l_2 e^{i\theta_2} + l_3 e^{i\theta_3} - l_4 e^{i\theta_4} = 0$$

Equacionando a parte real e a parte complexa de forma separada obtém:

$$l_1 + l_2 \cos(\theta_2) + l_3 \cos(\theta_3) - l_4 \cos(\theta_4) = 0 \quad (a)$$

e

$$l_2 \sin(\theta_2) + l_3 \sin(\theta_3) - l_4 \sin(\theta_4) = 0 \quad (b)$$

Obtemos duas equações não-lineares que em conjunto nos fornecem a solução para a análise de posição do ângulo de saída (θ_4). No caso deste mecanismo podemos obter a seguinte solução para essas equações não-lineares:

Rearranjando as equações (a) e (b),

$$l_3 \cos(\theta_3) = (l_4 \cos(\theta_4) - l_1) - l_2 \cos(\theta_2) \quad (c)$$

e

$$l_3 \sin(\theta_3) = l_4 \sin(\theta_4) - l_2 \sin(\theta_2) \quad (d)$$

Trabalhando matematicamente as duas relações acima (igualando os quadrados e adicionando (c) em (d)):

$$\boxed{l_3^2 = l_1^2 + l_2^2 + l_4^2 - 2 \cdot l_4 \cdot \cos(\theta_4) \cdot (l_1 + l_2 \cdot \cos(\theta_2)) - 2 \cdot l_4 \cdot \sin(\theta_4) \cdot l_2 \cdot \sin(\theta_2) + 2 \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot \cos(\theta_2)}$$

Note que com os comprimentos l_1 , l_2 , l_3 e l_4 e também o ângulo de entrada θ_2 podemos obter o ângulo de saída θ_4 .

8.4 Sistema Elétrico

O sistema elétrico proposto deve como função principal, ser capaz de possibilitar ao usuário da máquina controle absoluto e independente da velocidade de rotação de cada motor elétrico instalado na máquina. Os motores instalados na máquina são responsáveis pela rotação dos discos de lançamento, pela movimentação alternada do sistema de movimentação e pela rotação da haste do sistema alimentação de bolas.

Como já apresentado, os motores elétricos responsáveis pela rotação dos discos de lançamento são idênticos aos motores utilizados em um liquidificador de 500W de potência. No entanto, o controle da velocidade de rotação deste tipo de motor exige a

utilização de mecanismos de controle de potência especiais de modo a garantir que a velocidade seja reduzida ou aumentada sem comprometimento do torque. Um dos meios de se controlar eficientemente a velocidade de rotação de um motor elétrico de corrente contínua é através de um dimmer.

No caso deste projeto será utilizado um dimmer capaz de trabalhar com equipamentos elétricos com potências de até 500W ligados em uma rede elétrica com tensão de 110 v (Figura 35).

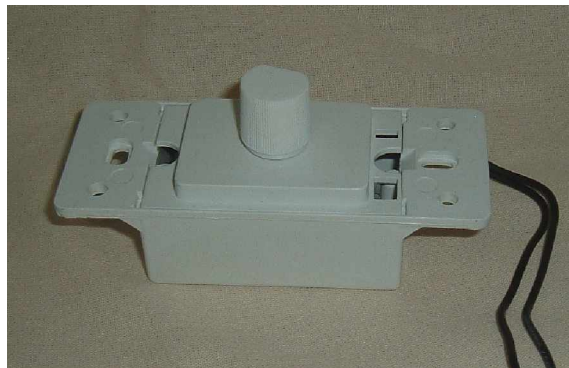


FIGURA 35. DIMMER (CONTROLE DE ROTAÇÃO DOS MOTORES).

Outra característica importante do sistema elétrico é a utilização de motores elétricos de 12v com caixa de redução para utilização no sistema de movimentação e alimentação.



FIGURA 36. MOTOR DE 12V (SISTEMAS DE MOVIMENTAÇÃO E ALIMENTAÇÃO).

9 Detalhamento dos Sistemas

Agora serão apresentados os principais detalhes de cada mecanismo e peças, desde como serão feitas, até suas funcionalidades.

9.1 Sistema de Lançamento

O sistema de lançamento engloba os discos de lançamento e os motores de 500W. Cada disco possui um eixo que é posicionado em dois mancais de rolamentos fixados em uma estrutura metálica. Esta estrutura será chamada de “torre de lançamento”. Essa torre é feita de duas peças estampadas e idênticas, isso por que a torre de lançamento é simétrica, assim diminuimos o custo de produção pois não é necessário produzir duas peças diferentes para compor a torre de lançamento.

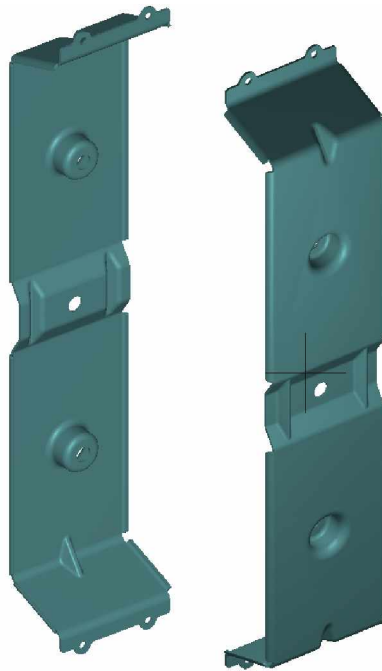


FIGURA 37. LATERAL DA TORRE DE LANÇAMENTO.

Cada motor é sustentado por um suporte de plástico injetado, este é fixado à torre pela lateral externa e utiliza um selo elástico para minimizar as vibrações entre a caixa e a estrutura da torre. No acoplamento do motor com o eixo do disco é utilizado um acoplamento elástico. Este tipo de acoplamento tem duas finalidades principais: Minimizar a transmissão de vibrações e “corrigir” algum eventual pequeno desalinhamento entre o eixo de saída do motor e o eixo do disco.

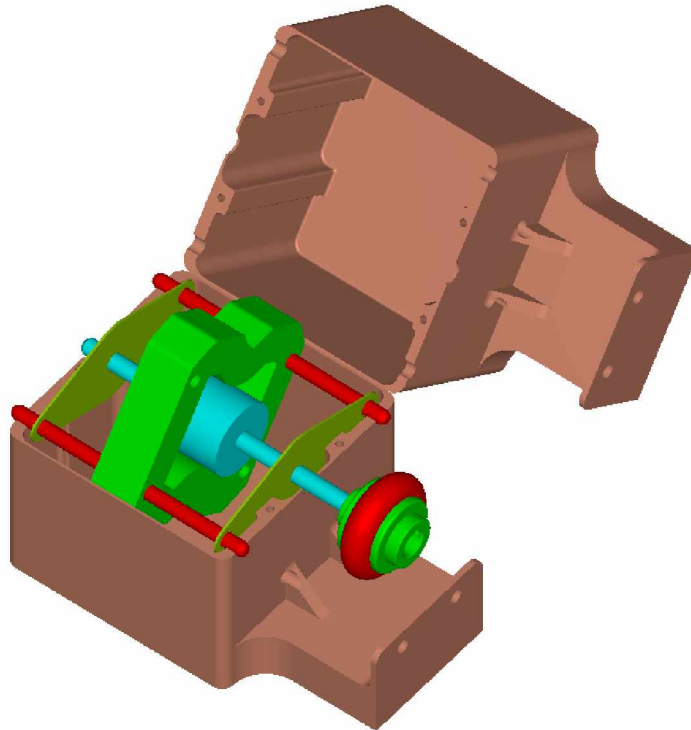


FIGURA 38. SUPORTE DO MOTOR.

9.2 Sistema de Movimentação

O sistema de movimentação é formado por uma base que sustenta toda a torre lançamento e a mangueira de alimentação, um motor elétrico de 12V com redução na saída e as barras que formam o quadrilátero articulado.

O quadrilátero é formado por um disco na saída do motor que faz o papel da barra de entrada (l_2) do sistema. A barra de transmissão de movimento (l_3) é ajustável em seu comprimento, pois assim pode-se escolher se o foco do treinamento é mais centralizado com a quadra ou não. Realizando lançamentos em toda a extensão da quadra, deslocando o jogador para todos os lados ou mais voltada para algum fundamento mais específico (backhand ou forehand) centralizando o lançamento mais para a direita ou mais para a esquerda. A barra l_4 responsável pelo ângulo de saída do sistema é a própria base que sustenta a torre de movimentação.



FIGURA 39. QUADRILÁTERO DE MOVIMENTAÇÃO COM HASTE REGULÁVEL.

9.2.1 Base de sustentação da torre de lançamento e da mangueira de alimentação

A base de sustentação tem algumas funções muito importantes. São elas:

- Sustentar a torre de lançamento;
- Permitir que se tenha o ajuste de inclinação vertical do lançamento;
- Transmitir o movimento do quadrilátero para a mudança de direção horizontal do lançamento;
- Sustentar e manter o posicionamento da mangueira que vem o sistema de alimentação.

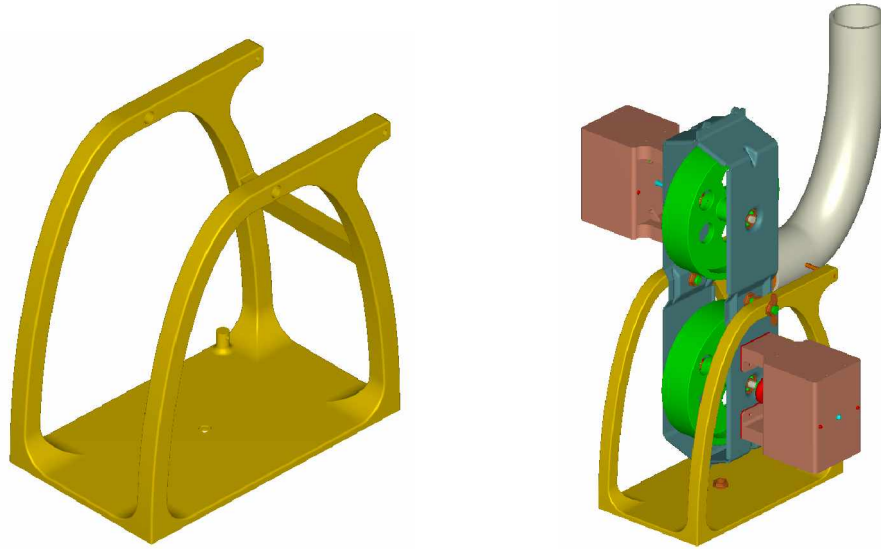


FIGURA 40: BASE DE SUSTENTAÇÃO.

A sustentação da torre de lançamento está posicionada no centro da estrutura do sistema, posicionada por dois pinos (um de cada lado da torre). O ajuste de inclinação é feito em um dos pinos que possui rosca e uma borboleta, esse conjunto de quando travado fixa a inclinação da torre de lançamento.

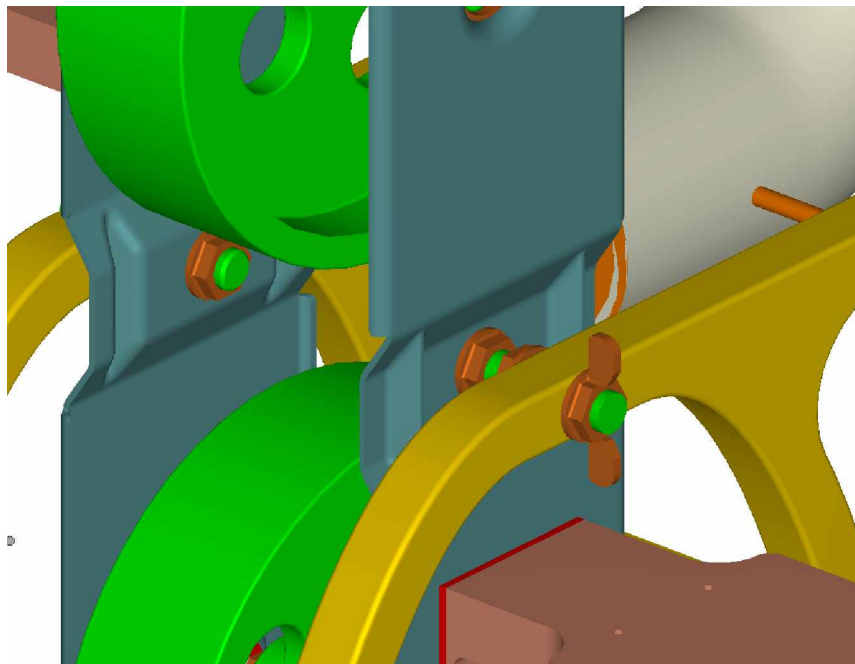


FIGURA 41: DETALHE DO SISTEMA DE INCLINAÇÃO DA TORRE DE LANÇAMENTO.

9.3 Sistema de alimentação

O sistema de alimentação pode ser dividido em duas partes:

- Reservatório de bolas;
- Mecanismo de alimentação.

O reservatório de bolas é formado por uma grande espiral de mangueira que tem como objetivo manter as bolas de tênis organizadas e prontas para serem jogadas pelo mecanismo de alimentação dentro da máquina lançadora. A necessidade da espiral de bolas surgiu da dificuldade de produzir um reservatório em que as bolas não “travassem” na saída do mesmo.

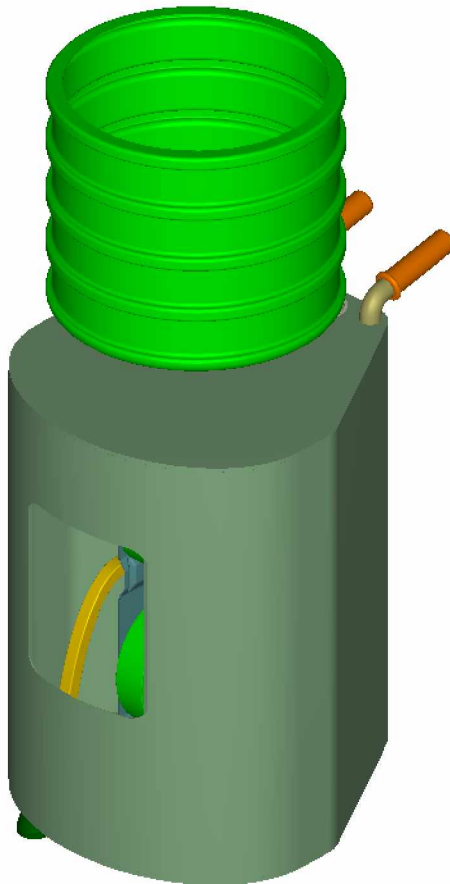


FIGURA 42: RESERVATÓRIO DE BOLAS.

10 Confeção do protótipo

A montagem de um protótipo é imprescindível para a obtenção de um resultado satisfatório ao final de um projeto de uma máquina, pois, através de uma seqüência de testes pode indicar as falhas ocorridas durante as fases iniciais do projeto.

A análise de geometria pode ser realizada através do protótipo virtual em 3D confeccionado através de um software de CAD (Bentley Microstation). Contudo, a análise virtual não pôde confirmar a funcionalidade do equipamento, desta forma foi iniciada a confecção de um protótipo em escala 1 para 1 objetivando a confirmação da funcionalidade do lançador de bolas de tênis proposto.

Para realizar a construção do protótipo da máquina ela foi construída com recursos próprios de seus idealizadores. Por isso, pode-se ver que muitas peças estampadas, usinadas ou de plástico injetado, foram substituídas por chapas lisas, perfis em L, eixos rosqueados e madeira, resultando em diferenças grandes no formato de algumas peças. Mas é importante reforçar que o objetivo deste protótipo é de testar as funcionalidades dos mecanismos e assim, mesmo utilizando materiais e formatos distintos, procurou-se preservar ao máximo suas características práticas.

Após a realização de uma pesquisa de preço das matérias-primas a serem utilizadas e a conseqüente aquisição dos mesmos, foram utilizadas as instalações da oficina da Escola Politécnica da USP para a confecção das principais peças. É importante ressaltar que o projeto desde o início teve como uma das principais premissas a fácil manufatura das peças, e isso se mostrou útil neste momento devido ao fato de utilizarmos como principais ferramentas de fabricação apenas uma guilhotina, uma dobradeira, uma furadeira. Vale ressaltar que um dos objetivos finais deste projeto é propor geometrias além de formas mais baratas e eficientes de fabricação para as peças.

10.1 Protótipo x Projeto

Mostrando algumas das principais diferenças, entre o protótipo e o que foi projetado, começando pela torre de lançamento, como dito anteriormente, esta é feita de duas peças estampadas e simétricas, mas no protótipo construído, trata-se de uma estrutura com perfis e L e chapa de alumínio cortada e dobrada. Na Figura (43) podemos ver as diferenças de ambas.

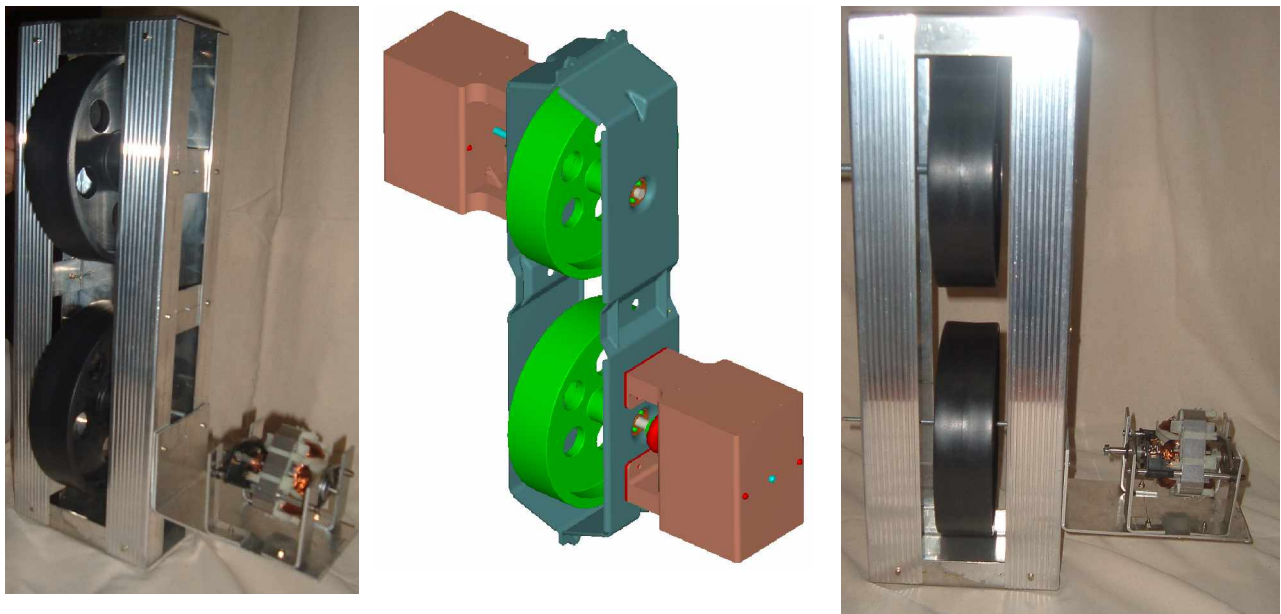


FIGURA 43. DIFERENÇAS ENTRE A TORRE PROJETADA E A CONSTRUÍDA.

Outra diferença está no suporte do motor. Este foi construído partindo uma chapa de alumínio, contendo peças que foram cortadas e dobradas, lembrando que o projeto original trata-se de uma peça de plástico injetado.

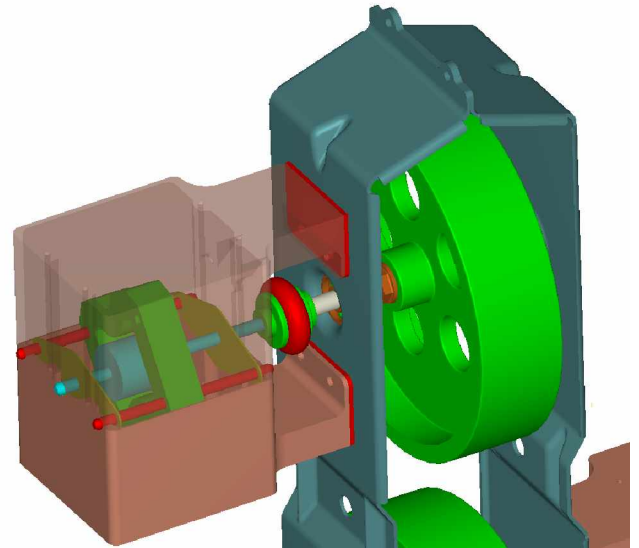
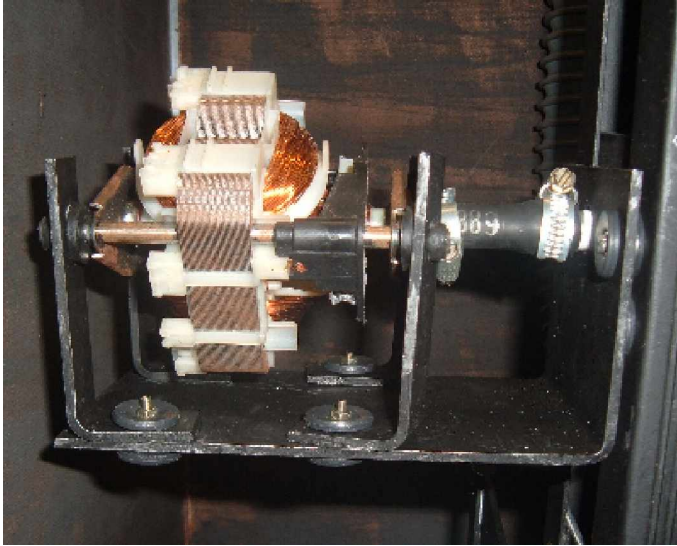


FIGURA 44. SUPORTE DO MOTOR: PROTÓTIPO X PROJETADO.

O suporte da torre de lançamento, também foi feito com chapas de alumínio, de maneira muito semelhante ao suporte do motor. A peça projetada para o suporte da torre, também é feita de plástico injetado e apresenta uma forma bastante diferente a construída nesta etapa. Mas é importante frisar que os pontos relevantes para a máquina lançadora, como seus pontos de apoio e de fixação estão respeitando os parâmetros de projeto.

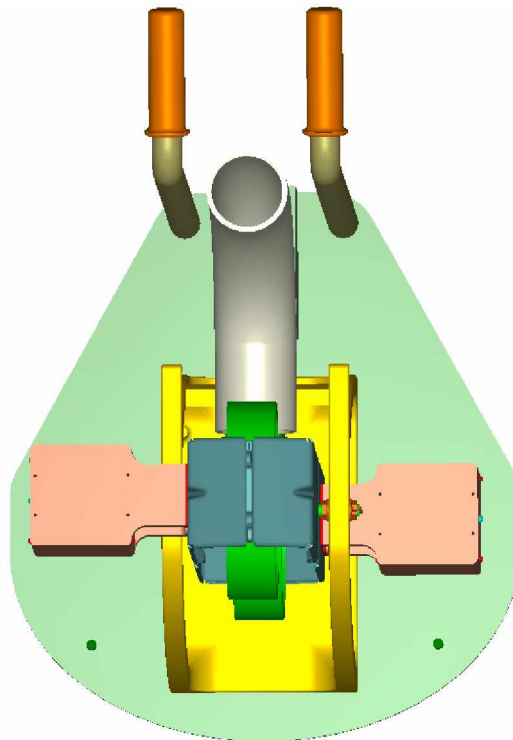
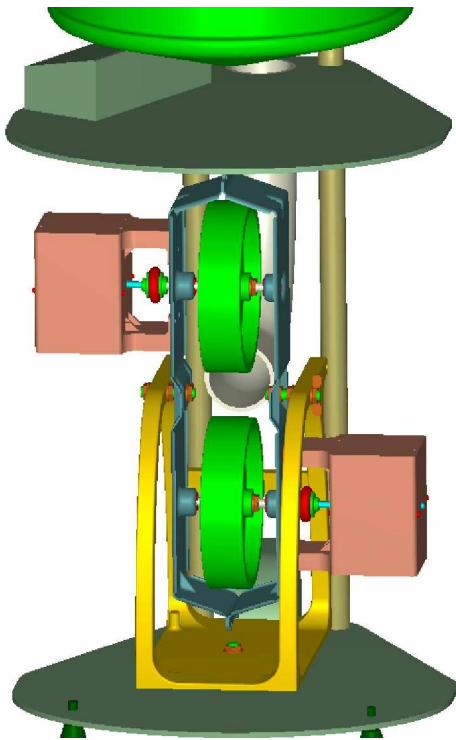
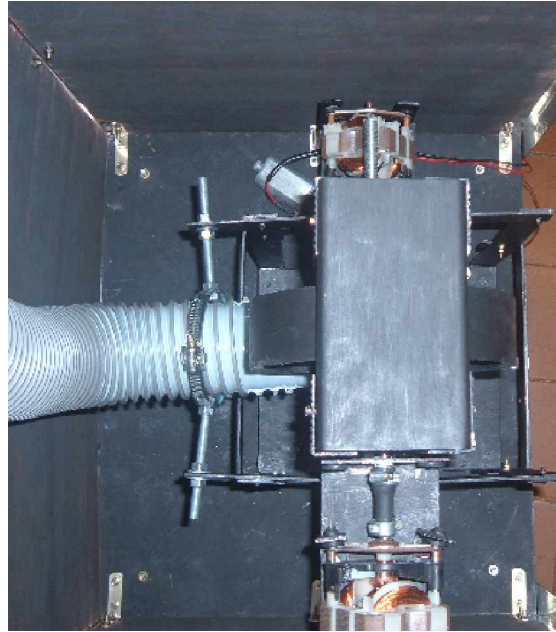
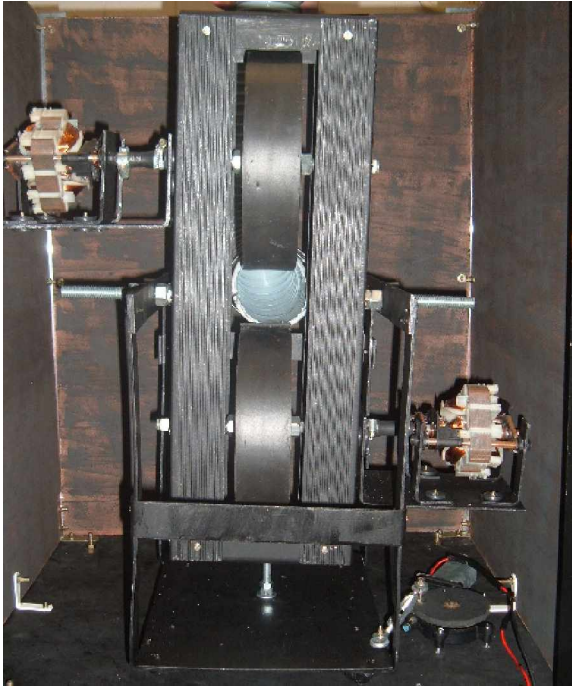


FIGURA 45. SUPORTE DA TORRE DE LANÇAMENTO: PROTÓTIPO X PROJETADO.

A carcaça externa, foi construída com perfis em L, chapas de madeira MDF para o assoalho e tampa superior e chapas de eucatex para as laterais. Na originalmete projetada, trata-se de uma caixa de plástico, com um formato mais sofisticado e atraente para o consumidor.



FIGURA 46. CARÇA EXTERNA: PROTÓTIPO X PROJETADO.

No reservatório de bolas, foi utilizado no protótipo reservatório com guias para as bolas, este é um pouco menos do que o projetado e também menos estético, mas mantém a funcionalidade do sistema de armazenamento e alimentação da máquina lançadora de bolas de tênis.

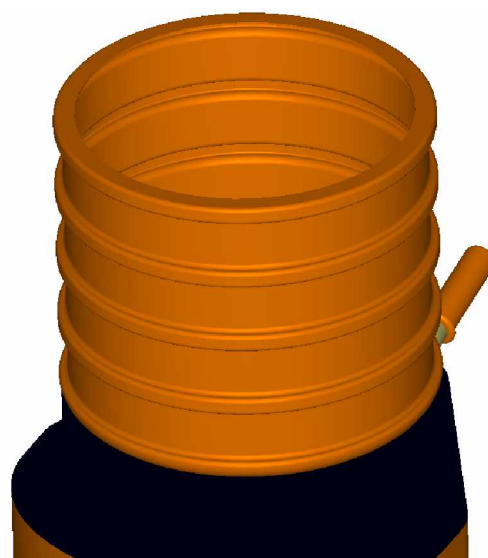


FIGURA 47. ARMAZENAMENTO: PROTÓTIPO X PROJETADO.

11 Referências

Kaminski, P.C., 2000, "Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade", Livros Técnicos e Científicos S.A., pp. 27 - 34.

Sport Tutor, empresa fabricante de máquinas lançadoras de bolas de futebol, vôlei, baseball e tênis. Disponível em: <<http://www.sportstutor.com/>> . Acesso em 17 mar. 2006.

Wilson, fabricante de materiais esportivos. Disponível em <<http://www.wilsonsports.com/>> . Acesso em 11 mar. 2006.

Sports attack fabricante americana de máquinas de treinamento esportivo. Disponível em: <<http://www.sportsattack.com>> . Acesso em 15 mar. 2006.

Lobster empresa situada nos Estados Unidos fabricante de máquinas de lançar bolas de tênis. Disponível em: <<http://www.lobsterinc.com/>> . Acesso em 11 mar. 2006.

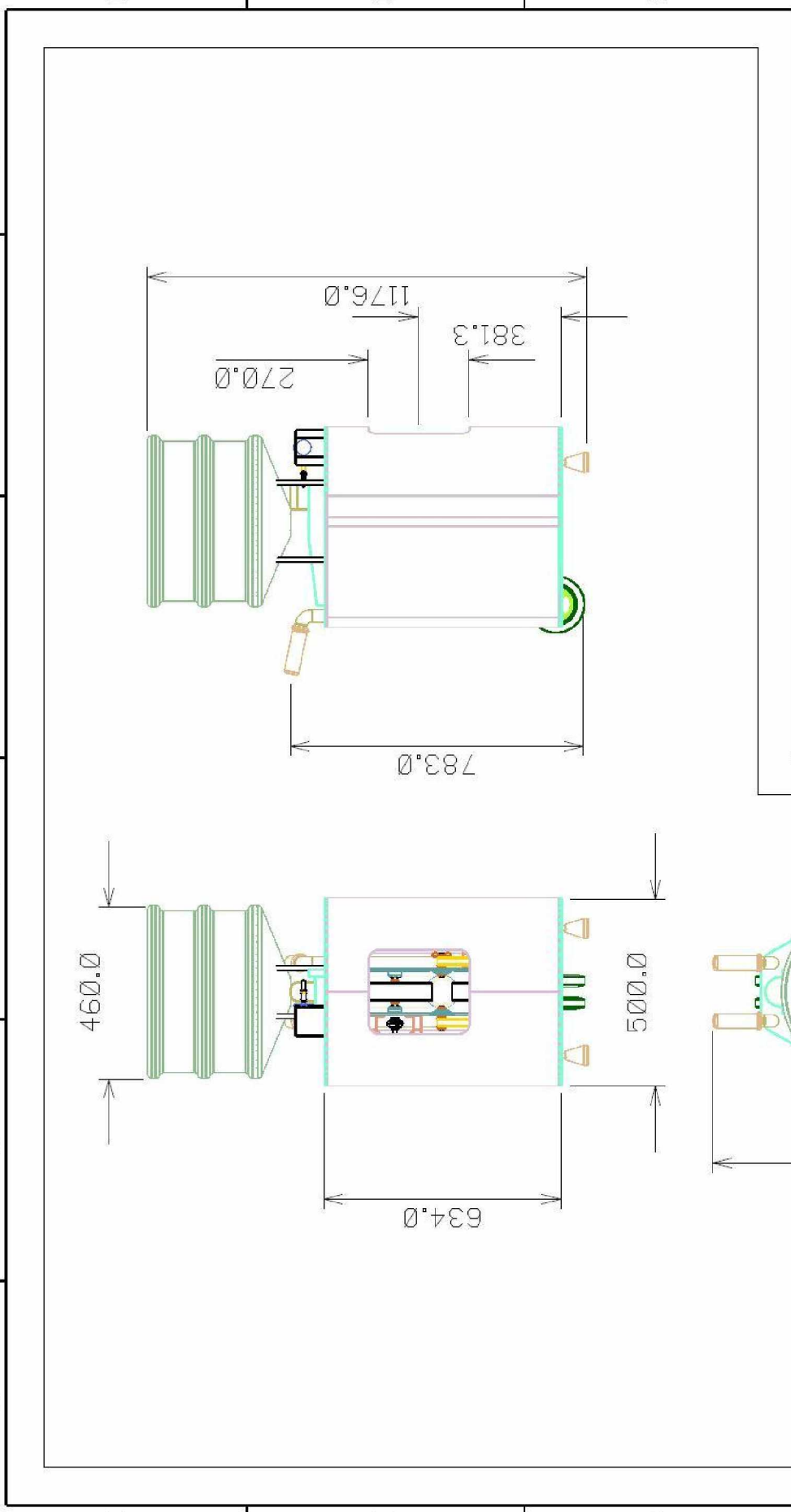
SAM Tennis empresa fabricante de máquinas de lançar bolas de tênis. Disponível em: <<http://www.samtennis.com/>> . Acesso em 11 mar. 2006.

Confederação Brasileira de Tênis – CBT . Disponível em: <<http://www.cbtenis.com.br/>> . Acesso em 15 mar. 2006.

Lisonda empresa brasileira especializada em construção de pisos esportivos. Disponível em: <<http://www.lisonda.com.br/>> . Acesso em 04 abr. 2006.

Amazon.com, site de compras online norte americano. Disponível em: <<http://www.amazon.com>> . Acesso em 17 mar. 2006.

1 2 3 4 5 6



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO		TÍTULO	
PROJETO INTEGRADO		MÁQUINA LANÇADORA DE BOLAS DE TÊNIS	
ELABORADO POR: ANTÔNIO PAULO RIBEIRO FERREIRA		FORMA A3	
MÁRIO DE OLIVEIRA BULHÕES FILHO		PEÇA Nº 1000-1	CONJUNTO SISTEMA COMPLETO
ORIENTADOR MARCELO AUGUSTO LEAL ALVES		ESCALA 1:10	REV. 1
		DATA 11/12/2006	FOLHA 1 de 1

1 2 3 4 5 6