

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CÂMPUS CURITIBA

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

LUCAS FERREIRA GONÇALVES

**DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA DE MANIPULAÇÃO E  
LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS DE PAPEL PARA PARTICIPAÇÃO  
NA COMPETIÇÃO DE PROJETOS ESTUDANTIS DA ASME**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2016

LUCAS FERREIRA GONÇALVES

**DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA DE MANIPULAÇÃO E  
LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS DE PAPEL PARA PARTICIPAÇÃO  
NA COMPETIÇÃO DE PROJETOS ESTUDANTIS DA ASME**

[\*] Projeto de Pesquisa apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – TCC do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito para aprovação na disciplina.

Co-Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos de Abreu Rodrigues

[\*] Tradução do trabalho original desenvolvido na Universidade do Alabama, durante 02 semestres de 2015 e 2016 no Programa CSF, sob orientação principal do Dr. Keith Williams (Professor adj.). Tradução apresentada para convalidação da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso.

CURITIBA

2016

## **TERMO DE ENCAMINHAMENTO**

Venho por meio deste termo, encaminhar para apresentação do Projeto de Pesquisa "DESENVOLVIMENTO DE UMA MÁQUINA DE MANIPULAÇÃO E LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS DE PAPEL PARA PARTICIPAÇÃO NA COMPETIÇÃO DE PROJETOS ESTUDANTIS DA ASME", realizado pelo aluno Lucas Ferreira Gonçalves como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Co-orientador: Prof. Luiz Carlos de Abreu Rodrigues

UTFPR - Damec

Curitiba, 7 de dezembro de 2016.

## TERMO DE APROVAÇÃO

O presente Trabalho foi aprovado após ser apresentado à Comissão ou Banca da Universidade do Alabama. Para convalidação do seu crédito para as disciplinas de Trabalho de Conclusão 1 e 2 do curso de engenharia Mecânica da UTFPR, foi executado a tradução contextualiza do mesmo.

Prof. Dr. Luiz Carlos de Abreu Rodrigues

DAMEC, UTFPR

Co-orientador

Curitiba, 7 de dezembro de 2016.

## RESUMO

GONÇALVES, Lucas Ferreira. Desenvolvimento de uma Máquina de Manipulação e Lançamento de Projéteis de Papel para Participação na Competição de Projetos Estudantis da ASME. 2016. 38 f. TCC (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal Paraná. Câmpus Curitiba, 2016.

A equipe “The Ream Team”, um grupo de estudantes de engenharia mecânica da Universidade do Alabama, competiu no concurso ASME intitulado "Fabricando o Futuro" em março de 2016. O objetivo da competição é criar uma máquina de dobramento e lançamento de projéteis de papel e que lance o projétil a maior distância possível enquanto a máquina ocupa o menor volume possível. O projeto executado foi montado utilizando processos de manufatura aditiva. O projétil escolhido foi o de um avião de papel. A máquina possui quatro seções, onde 3 são de manipulação do papel e a quarta de lançamento. Soluções são apresentadas para diversas formas de dobrar e vincar uma folha de papel. O lançamento do papel apresenta o conceito de conversão de uma velocidade angular em uma velocidade linear. Tal projeto concorrente na competição de 2016 obteve um resultado satisfatório, apesar das falhas citadas.

**Palavras-chave:** Avião de Papel, Máquina de dobrar, Máquina de lançamento, Manufatura aditiva, Competição ASME.

## ABSTRACT

GONÇALVES, Lucas Ferreira. Desenvolvimento de uma Máquina de Manipulação e Lançamento de Projéteis de Papel para Participação na Competição de Projetos Estudantis da ASME. 2016. 38 f. TCC (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal Paraná. Câmpus Curitiba, 2016.

The Ream Team, a group of senior mechanical engineering students from the University of Alabama, will compete in the ASME competition titled “Manufacturing the Future” in March 2016. The goal of the competition is to create a paper folding and launching machine that propels a paper projectile the greatest possible distance while the machine occupying the smallest possible volume. The executed project was assembled using additive manufacturing processes. The chosen projectile was the paper airplane. The machine has four sections, where three are related to the paper handling and the fourth is the paper launching. Solutions are presented for various ways of folding and creasing a sheet of paper. The paper launch introduces the concept of converting an angular velocity into a linear velocity. Such project competing in the 2016 competition obtained a satisfactory result, despite the mentioned failures.

**Keywords:** Paper Airplane, Folding machine, Launching Machine, Additive Manufacturing, ASME Competition.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Dimensões exatas e dobras realizadas no avião de papel. ....	14
Figura 2 – Projétil finalizado. ....	14
Figura 3 – Projeto da segunda seção com a superfície de sucção (branco), molde de dobra (cinza) e roletes de dobra (preto) .....	15
Figura 4 – Mecanismo de lançamento do projétil com rolos elétricos laterais e superior .....	15
Figura 5 – A primeira dobra do papel .....	22
Figura 6 – Primeira seção e seus componentes .....	23
Figura 7 – A segunda dobra do papel .....	24
Figura 8 – Segunda seção e seus componentes .....	25
Figura 9 – A terceira dobra do papel .....	25
Figura 10 – Terceira seção e seus componentes.....	26
Figura 11 – Montagem da quarta seção.....	27
Figura 12 – Esquema elétrico com os componentes do lançador .....	28
Figura 13 – Cronograma planejado na primeira metade do projeto .....	32
Figura 14 – Cronograma realizado ao final do projeto .....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matriz de Seleção dos conceitos .....	20
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

3D – *Tridimensional*

ASME – *American Society of Mechanical Engineers*

CAD – *Computer Aided Design*

CC – *Corrente Contínua*

ESC – *Electronic Speed Controller*

SI – *Sistema Internacional de Medidas*

STL - *Stereolithography*

UTFPR – *Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

LiPo – *Polímero de Lítio*

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	SUMÁRIO EXECUTIVO .....	12
3	PRODUTO FINAL DESEJADO.....	13
3.1	Protótipo Funcional .....	13
3.2	Modelagens e Desenhos de Projeto .....	13
3.3	Conceitos de Projeto .....	16
3.4	Softwares Utilizados .....	16
4	REQUISITOS DE PROJETO.....	16
4.1	Requisitos Funcionais .....	16
4.2	Especificações de Projeto .....	17
5	ABORDAGEM DO PROJETO .....	18
5.1	Reuniões com o cliente .....	18
5.2	Pesquisa de base .....	18
5.3	Brainstorming .....	19
5.4	Geração de Conceitos para Matriz de Seleção .....	19
5.5	Seleção de Conceitos Através da Matriz de Seleção .....	20
5.6	Compras e Provisões .....	20
6	Produto final.....	21
6.1	Primeira Seção .....	21
6.2	Segunda Seção .....	23
6.3	Terceira Seção (Dobra das Asas) .....	25
6.4	Quarta Seção (Lançador) .....	27
6.5	Construção e Montagem .....	28
6.6	Entrega .....	29
6.7	Engenharia .....	30
6.8	Métodos de Avaliação .....	32
6.9	Cronograma do Projeto .....	32
6.10	Orçamento .....	33
6.11	Instalações e Recursos .....	33
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
	REFERÊNCIAS.....	36

2 de maio de 2016

The Ream Team

Departamento de Engenharia Mecânica – Universidade do Alabama

Caixa Postal 870276

Tuscaloosa, AL 35487

A equipe “The Ream Team” é composta por cinco estudantes do último ano de engenharia mecânica da Universidade do Alabama, com o objetivo de projetar e construir um protótipo de uma máquina de dobramento de papel e propulsão dentro de um orçamento de \$500,00 para entrar na competição “Manufacturing the Future” da American Society of Mechanical Engineers (ASME) em março de 2016. O documento abaixo detalha o plano para a conclusão desta tarefa.

Projeto Sênior – "Manufacturing the Future"

Para Dra. Beth Todd,

Dr. Keith Williams e

Dr. Luiz Carlos Rodrigues, pelo "The Ream Team"

ME 489 - Senior Design I, Dra. Beth Todd

ME 490 - Senior Design II, Dr. Keith Williams

Department of Mechanical Engineering

The University of Alabama

Tuscaloosa, AL

2 de maio de 2016

## 1 INTRODUÇÃO

A Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos (ASME) tem desafiado os estudantes a trabalharem suas competências através da Competição de Projeto Estudantil deste ano chamada " Manufacturing the Future " (Fabricando o Futuro). O objetivo da competição é construir uma máquina que lança um projétil de papel muito longe, e que ocupe o menor volume possível. O sistema deve estar armazenado em uma caixa retangular no início da competição. O sistema deve então ser desempacotado, montado e abastecido com folhas de papel dentro de um espaço determinado de 1,5 m x 3 m x 76,2 cm. A montagem e carregamento do sistema com as folhas, juntamente com o lançamento individual de três projéteis fabricados pela máquina, deve ser realizado dentro de um tempo limite de 300 segundos. O sistema pode formar o projétil apenas dobrando ou cortando folhas de papel A4 padrão. O sistema deve possuir alimentação com zero emissões de poluentes.

A pontuação será calculada como a soma das distâncias dos três projéteis, dividida pelo volume interior máximo da caixa retangular, da qual o sistema foi desempacotado (as medições serão feitas no SI). A distância do lançamento será medida do ponto de partida até ao ponto em que um projétil tocar o chão ou colidir com outro objeto. Se o ponto de pouso do projétil ocorrer fora do percurso, então a distância registrada será medida com uma linha perpendicular ao percurso a partir do ponto de pouso.

A finalidade desta competição é desafiar estudantes da engenharia ter responsabilidade e demonstrar excelência no campo da fabricação. Esses princípios são resumidos no Descrição do Problema de projeto estudantil da ASME da seguinte forma: "Para que a sociedade beneficie dos mais recentes avanços na tecnologia, engenheiros qualificados e novas técnicas de fabricação serão requisitos necessários". A Dra. Beth Todd será a cliente para o "The Ream Team". Ela será consultora do projeto, mas os alunos serão responsáveis por tomar as medidas necessárias para desenvolver este projeto. Dra. Todd ganhará experiência como conselheira para a competição, que fornecerá uma base para guiar as equipes em futuras competições do projeto da ASME.

## 2 SUMÁRIO EXECUTIVO

A equipe "The Ream Team", um grupo de estudantes do último ano de engenharia mecânica da Universidade do Alabama, planeja competir no concurso da ASME intitulado "Manufacturing the Future" em março de 2016. O objetivo da competição é criar uma máquina de dobrar e lançar papel, que lance um projétil de papel a maior distância possível e que ocupe o menor volume possível. Três projéteis devem ser lançados, um após o outro, dentro de um espaço de cinco minutos. O produto final desejado da equipe é uma máquina de dobrar e lançar aviões de papel que opere continuamente. Desta forma, sempre que a máquina for carregada com uma folha de papel, os mesmos processos serão executados continuamente, independentemente do tempo em que a folha é inserida. O dobramento e o lançamento serão realizados usando rolos para deslocamento aplicação de forças, sucção de ar como restrição de movimento do papel e baterias para alimentação. O orçamento da equipe de \$ 500,00 deve ser suficiente para cobrir os custos dos componentes elétricos e das peças para a máquina.

A equipe iniciou o projeto com a criação de uma matriz de decisão para encontrar o melhor tipo de projétil a ser lançado. Os critérios de projétil ótimo incluíam fabricação contínua, consumo mínimo de energia e aerodinâmica favorável. A matriz de decisão completa apontou para o uso de um projétil de avião de papel. Depois que o projétil foi escolhido, os membros da equipe fizeram um debate de ideias para o projeto da máquina. Em seguida, foram feitas modelagens em um programa de CAD para cada etapa de dobradura do papel.

O próximo passo da equipe foi começar as compras de peças para a construção do primeiro protótipo da máquina. Todas as semanas subsequentes desde a atribuição deste projeto, tiveram memorandos detalhando o progresso e as metas futuras, submetidos ao orientador para o acompanhamento do projeto. Além disso para um acompanhamento mais próximo do projeto, a equipe estabeleceu reuniões semanais fixas com o cliente. Lucas Gonçalves foi nomeado como Técnico de Equipe. Blake Dobbs foi nomeado Executivo de Equipe para atuar como supervisor do time. Outros papéis incluem Brett Pendleton como Tesoureiro de

Equipe, Turner McCabe como Avaliador de Equipe e Jake Green como Comunicador da Equipe.

## **3 PRODUTO FINAL DESEJADO**

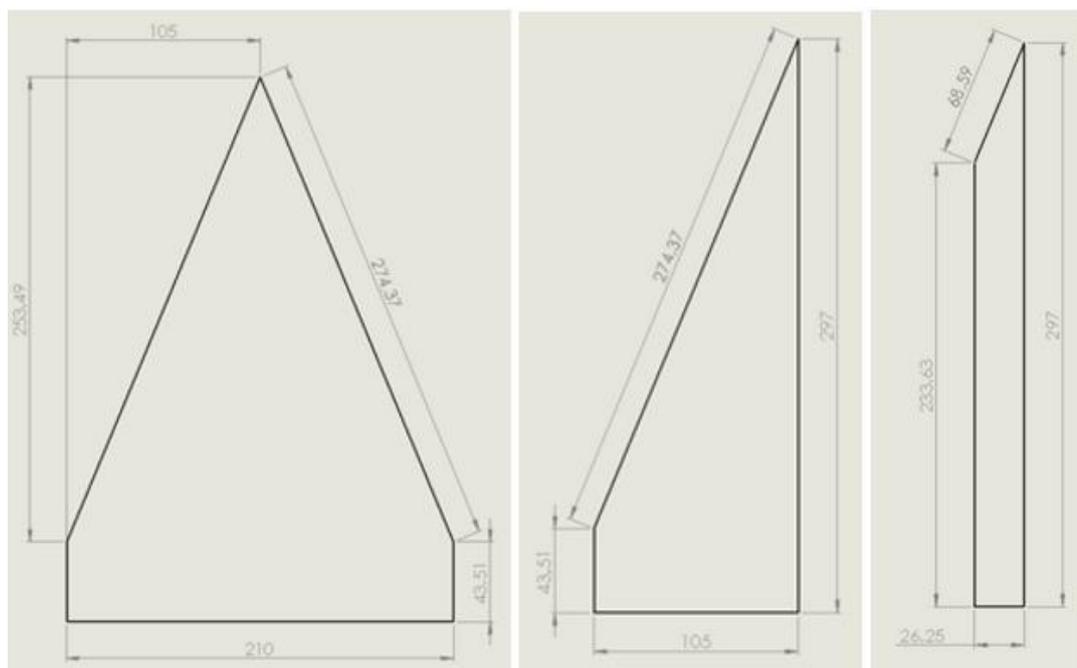
### **3.1 Protótipo Funcional**

O protótipo funcional será composto de um sistema de rolos e limitadores físicos para manipular o papel. A sucção de ar, fornecida por um aspirador de mão instalado na máquina em uma mesa deslizante com furos, será o principal meio de fornecer restrições normais à superfície para as dobras de papel. Trabalhando de forma semelhante a uma mesa de hóquei de ar, só que ao em vez de soprar, o papel será succionado. Isso permite que o papel seja "pressionado" contra as guias que irão fazer as dobras. Como este método elimina qualquer movimento alternativo de peças que forneceria essa restrição, o papel pode ser inserido na máquina a qualquer momento. Uma vez que a máquina esteja em execução não haverá a necessidade de ajustar perfeitamente o tempo de inserção da folha ou usar microcontroladores e sensores para guiar o processo.

O lançamento do projétil será feito através de rolos envoltos em material rugoso, com apenas um ponto de contato tangente central entre os rolos e movendo-se em sentidos opostos. Os motores elétricos utilizados serão de pequeno torque, mas grande velocidade angular.

### **3.2 Modelagens e Desenhos de Projeto**

Como primeiro passo do projeto, alguns desenhos das dimensões exatas do avião foram incluídos abaixo na Figura 1. O formato final do projétil escolhido está ilustrado na Figura 2.

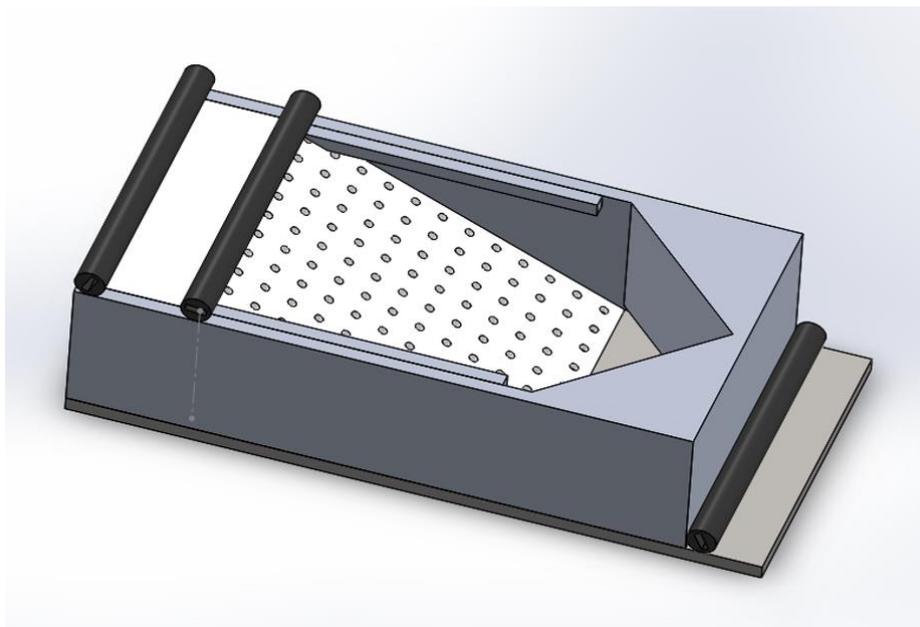


**Figura 1 – Dimensões exatas e dobras realizadas no avião de papel.**

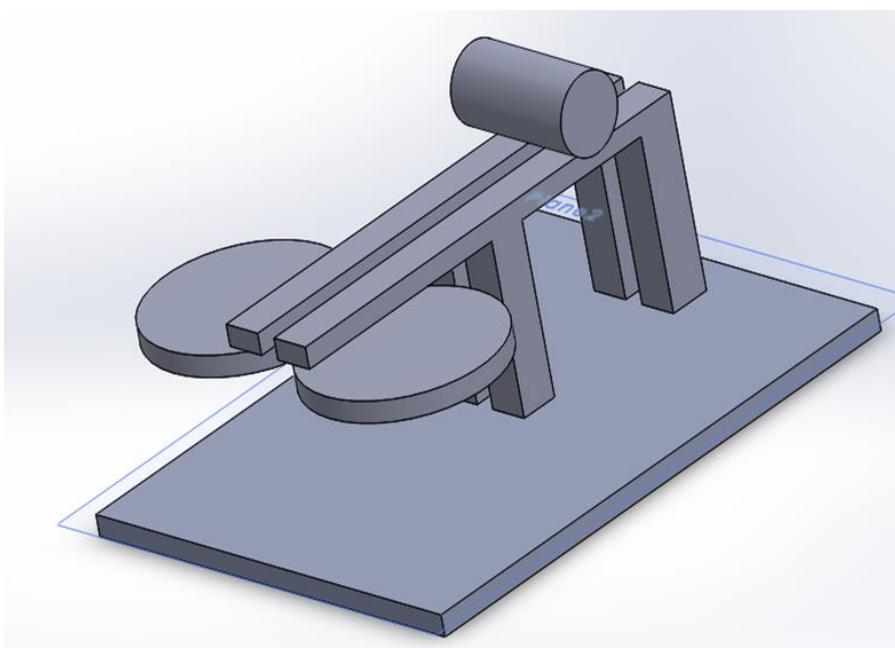


**Figura 2 – Projétil finalizado.**

A definição pela seleção por este projétil será detalhada mais adiante. Foram feitas também a modelagem do mecanismo de dobra como mostrado na Figura 3, seguidos pela modelagem do mecanismo de lançamento da Figura 4.



**Figura 3 – Projeto da segunda seção com a superfície de sucção (branco), molde de dobra (cinza) e roletes de dobra (preto)**



**Figura 4 – Mecanismo de lançamento do projétil com rolos elétricos laterais e superior**

### **3.3 Conceitos de Projeto**

Como conceito de projeto para o avião de papel escolhido, as dobras serão obtidas movendo-se a folha de papel contra as paredes do molde. Isto pode ser feito com o movimento tridimensional proporcionado por rolos e sucção controlada a partir da rampa de base do molde, seguido por outro conjunto de rolos para vincar a folha dobrada. Uma vez dobrado, o avião pode ser lançado por rolos de impulsão movidos por dois motores elétricos alimentados por baterias de polímero de lítio ou "Bateria LiPo".

### **3.4 Softwares Utilizados**

Para o projeto das peças e simulação de cargas, o software CAD SolidWorks será utilizado. Algumas peças serão fabricadas por fabricação aditiva, ou impressão 3D. As impressoras 3D utilizadas serão as disponíveis aos alunos na Biblioteca Rodgers for Science and Engineering. Como esta impressora opera com arquivos da extensão .STL, um programa será utilizado para conversão do formato da modelagem para tal arquivo.

## **4 REQUISITOS DE PROJETO**

### **4.1 Requisitos Funcionais**

O sistema projetado deve seguir os requisitos estabelecidos no documento que descreve a situação problema da competição. Este documento define que o teste será realizado em uma pista de competição que consiste em um percurso de 3 metros de largura, o comprimento do percurso será o comprimento da sala. A extremidade posterior do percurso contará com uma área para a preparação e montagem da máquina com 3 m. de largura por 1,5 m. de comprimento. Como os projéteis que caem fora desta faixa definida serão medidos a partir do ponto onde fizerem a saída do percurso, a operação do sistema deve ser capaz de atender consistentemente a esses requisitos, juntamente com um conjunto de especificações de projeto, a fim de ser bem-sucedido durante a competição.

## 4.2 Especificações de Projeto

A máquina deve ser carregada com três folhas de papel A4, uma após a outra. Apenas dobras e cortes podem ser feitos no papel pela máquina, nenhum material pode ser adicionado. A máquina deve custar no máximo \$500,00. Esse foi o orçamento disponibilizado pelo departamento de engenharia mecânica para este projeto. Os participantes não podem usar sistemas com emissões em suas máquinas, tais como motores de combustão, ou qualquer outro sistema que gere resíduos. O sistema de lançamento deve ter alta precisão de lançamento para a segurança dos juízes e espectadores.

Os cálculos devem ser feitos para otimizar o processo de dobragem. Por exemplo, os cálculos para a folga entre rolos durante uma dobra serão úteis para evitar atolamentos e rasgos. A equipe deve estar consciente do impacto das fontes de energia da máquina sobre o meio ambiente, bem como o carregamento e armazenamento adequados das baterias usadas (as baterias LiPo são extremamente inflamáveis). Também é desejável uma adaptabilidade da altura da máquina. Esta deve ser ajustável uma vez que a altura do teto do percurso de competição pode variar, e assim o projeto deve ter um ângulo de lançamento variável, para que se possa ajustar a máquina para uma altura máxima de lançamento.

Este projeto deve ainda levar em consideração outras restrições nas seguintes categorias: econômica, sustentabilidade, manufatura, ética, saúde e segurança, social e político. A restrição econômica para o projeto é o orçamento de \$ 500,00. Como será realizada uma competição, o maior retorno deste projeto não é necessariamente financeiro, mas sim prestígio e reconhecimento. No entanto, haverá um prêmio financeiro para a equipe vencedora. Este projeto não é 100% ambientalmente amigável porque usa papel nunca utilizado como projéteis. Naturalmente, o papel pode ser facilmente reciclado. Além disso, o uso de fontes de energia com zero emissões reduz o impacto sobre o meio ambiente. No que diz respeito à sustentabilidade da operação, o dispositivo terá monitoramento constante, mas com as baterias adequadamente carregadas e com disponibilidade de folhas de papel, a máquina deve ser capaz de operar indefinidamente dentro do limite de tempo atribuído para a competição.

A fabricação desta máquina será simples, uma vez que utilizará, principalmente, peças e mecanismos padrões, tais como servos e rolos. No entanto, no caso de peças com dimensões mais precisas e tolerâncias mais apertadas, a impressão 3D deve ser usada. Quanto as delimitações éticas deste projeto, exige-se uma completa conformidade com todas as restrições de boas práticas, leis de patentes e direitos autorais e códigos ASME sobre fatores de segurança. O sistema deve ser seguro para operadores e o público.

Tampas de proteção, botões de parada de emergência e folgas apropriadas para peças rotativas. Além disso, o projétil deve ser projetado e testado minuciosamente para garantir que nenhum acidente ocorra devido a um projétil mal lançado. Finalmente, este projeto deve ser abordado de forma profissional, uma vez que aprender a usar os melhores recursos disponíveis é uma habilidade benéfica a ser cultivada em qualquer ambiente e na sociedade, especialmente em um momento em que os recursos são consumidos com uma rapidez tão grande

## **5 ABORDAGEM DO PROJETO**

### **5.1 Reuniões com o cliente**

A Dra. Todd é a cliente do “The Ream Team”. Ela ajudou a equipe na revisão do progresso do projeto. Juntos, temos o objetivo de garantir que os requisitos de projeto sejam atendidos. O orçamento, o cronograma e muitos outros tópicos relevantes do projeto foram discutidos nessas reuniões. As reuniões com o cliente ocorrem de forma semanal com a entrega de memorandos para discutir o andamento do trabalho.

### **5.2 Pesquisa de base**

Antes das reuniões da equipe, cada membro do grupo conduziu sua própria pesquisa individual. O primeiro passo foi a leitura das regras da competição, seguida da familiarização com o conceito de dobra mecanizada. Vídeos relacionados ao projeto fizeram parte da pesquisa da equipe: máquinas de dobramento de papel e

como elas funcionam, lançadores de avião de papel, mecanismos de lançamento de projéteis que incluíam rodas, projetos de avião de papel, máquinas manipuladoras mecânicas de papel, dobradoras de papel automatizadas, competições de lançamento de projéteis de papel e máquinas de arremesso de bolas.

Toda essa pesquisa previa teve o objetivo de trazer novas ideias para o projeto durante as discussões de grupo. Dessa forma podemos discutir conceitos e colocar em análise as diferentes propostas de cada membro.

### **5.3 Brainstorming**

A primeira parte da geração de conceito da equipe foi fazer um brainstorming. Após a pesquisa individual, cada membro do grupo trouxe alguma ideia ou algum protótipo, para discutir conceitos e soluções durante a reunião da equipe. Uma entre muitas reuniões típicas, envolveram testes empíricos como: lançamento de bolas de papel, pequenos projéteis angulares de papel dobrados e lançados com um pedaço de elástico, aviões de papel dobrados de diversas maneiras, mísseis de papel aerodinâmicos e papeis dobrados em forma de uma bola de futebol americano. A busca por um projétil que atendesse as expectativas do grupo, estendeu-se durante muitas reuniões, nas quais centenas de testes eram realizados e resultados obtidos e analisados. Durante os brainstorms, a equipe também criou projetos que misturaram os conceitos de projetos individuais únicos.

### **5.4 Geração de Conceitos para Matriz de Seleção**

Após o brainstorming, todos os conceitos foram discutidos e divididos em dois grupos, aqueles que pertenciam a produção de projéteis e ao método de lançamento. Os três conceitos selecionados para o projétil foram a esfera, o pequeno projétil em “V”, e o projeto do avião de papel discutido acima. A decisão sobre qual desses três modelos seria usado foi feita com base em alguns lançamentos desses projéteis no corredor da universidade. Lançamentos indicaram que a consistência do lançamento é um aspecto difícil de ser controlado, devido às variações nas forças envolvidas em cada lançamento. A cada protótipo gerado por um membro da equipe, testes e ajustes foram feitos para garantir um lançamento

previsível. Para a seleção do mecanismo de lançamento, o projeto selecionado foi semelhante ao que é usado para lançamento de bolas de baseball automaticamente ou nos lançadores de bola de tênis. Tal lançador consiste em duas rodas giratórias atuadas por dois motores elétricos, girando em direções opostas. Este é o mecanismo mais simples e mais confiável que foi considerado na matriz de decisão.

### 5.5 Seleção de Conceitos Através da Matriz de Seleção

Foi montada uma matriz de seleção de conceitos, mostrada na Tabela 1, essa tabela foi utilizada para determinar o melhor projétil e, conseqüentemente, o tipo de máquina que seria projetada pela equipe.

**Tabela 1 – Matriz de Seleção dos conceitos**

	Avião de Papel	Projétil em "V"	Bola amassada
Aerodinâmica	3.3	2.2	1.1
Requerimento de Energia	3.6	2.4	1.2
Precisão	1.1	3.3	2.2
Lançamento	2.2	1.1	2.2
Distância	3.75	3	2.25
Simplicidade	2	3	1
Segurança	2.6	1.3	3.9
Adaptabilidade	1	3	2
Autonomia	1	2	3
Susceptibilidade a Erros	3	1	2
Custo	3.9	2.6	1.3
Tamanho	1.4	2.8	4.2
Facilidade na Solução de Erros	2	1.75	1.75
Precedência	2.7	1.8	0.9
Facilidade de Montagem	2.4	1.6	0.8
Aparência	2	3	1
<b>Total</b>	<b>37.95</b>	35.85	30.8

### 5.6 Compras e Provisões

Todas as peças compradas para este projeto foram determinadas uma vez que os projetos são finalizados. Todas as compras foram feitas através do departamento de engenharia mecânica de certos fornecedores que atendem aos requisitos da

Universidade do Alabama. O valor total em dólares de compras deve estar dentro do orçamento alocado de \$500,00.

O orçamento alocado foi mais do que suficiente para cobrir os custos do projeto. No geral, foram gastos \$156,60. Este dinheiro foi gasto em baterias LiPo, madeira para estrutura da máquina, pilhas AA, duas baterias de jet ski ligadas em série para a segunda seção e uma fonte de alimentação CC para a máquina para a competição. Houveram também gastos com embalagem e transporte.

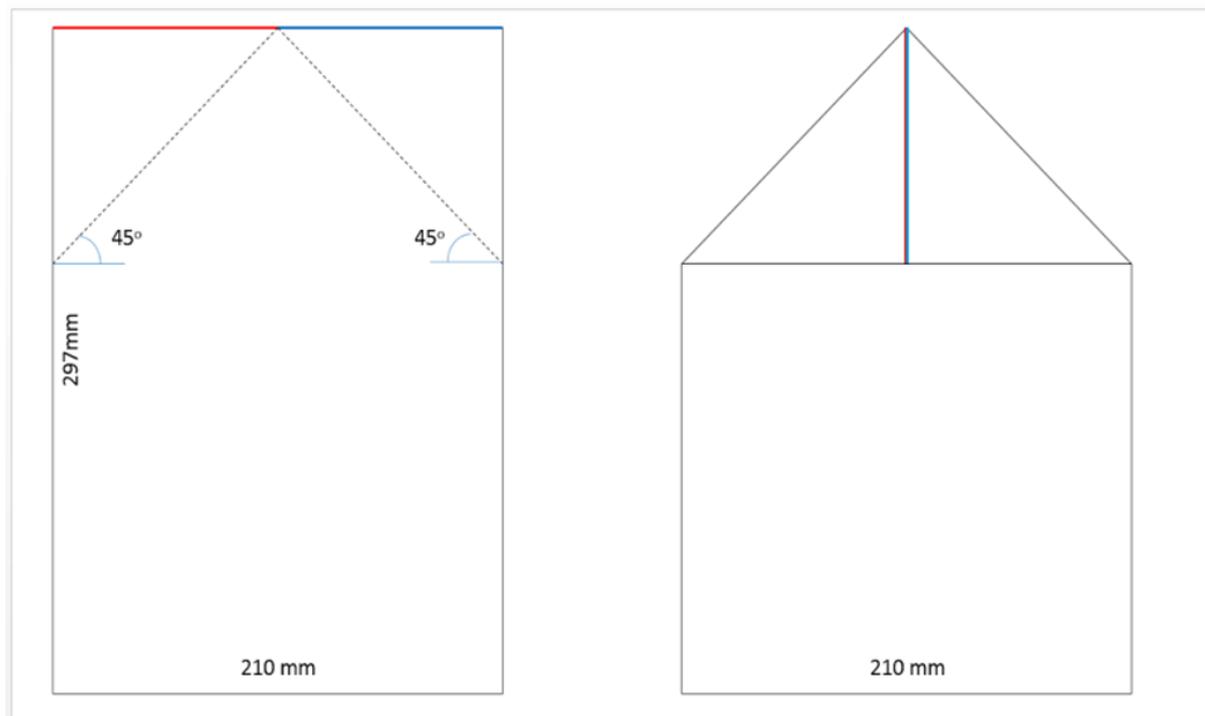
## **6 PRODUTO FINAL**

Houveram grandes modificações da proposta inicial do projeto devido as limitações financeiras, físicas e de tempo. Uma outra grande modificação foi no formato do projétil. Devido a limitação de espaço foi necessário diminuir o tamanho de dobras realizadas. Sendo assim a máquina possuirá 4 seções. Cada seção terá uma função específica e aplicará um método específico para obter o resultado desejado. A seguir será demonstrado todos os novos conceitos desenvolvidos neste projeto.

### **6.1 Primeira Seção**

A primeira seção da máquina, nomeada de primeira dobra, é uma das seções mais importantes devido ao fato de que a máquina se assemelha a uma linha de montagem. Cada seção se baseia na seção anterior e é completamente dependente das outras. A seção para primeira dobra foi projetada com base em um processo contínuo, onde a máquina poderia ser alimentada de papel continuamente sem pontos de parada.

A primeira dobra, em relação ao próprio papel, são simplesmente duas dobras de 45 graus nos cantos da folha. Quando a dobra é executada corretamente, a quina superior da folha torna-se uma "linha de cento" do papel, como mostrado na Figura 5.



**Figura 5 – A primeira dobra do papel**

Baseado em algumas pesquisas de anteriores, a primeira dobra foi baseada em uma dobra forçada por um fio. Basicamente, um fio posicionado a 45 graus, com uma orientação ascendente, funcionara como guia para as quinas do papel conforme ele avança na máquina. Dessa forma há a formação da primeira dobra. A ponta formada na frente do papel passara naturalmente abaixo do fio e, se o espaçamento e a restrição forem adequados abaixo do papel, os cantos se dobrarão da maneira esperada.

A seção para a primeira dobra é constituída por uma bandeja de abastecimento do papel, rolos de transição antes e depois do fio e rolos acrílicos após o segundo conjunto de rolos de transição. O espaçamento entre os rolos é suficiente para que o papel fique sempre em pelo menos um conjunto de rolos de transição, enquanto é dobrado pelo fio. Os rolos acrílicos vincam a primeira dobra para permitir uma transição mais suave para a segunda seção para que seja efetuada a segunda dobra.

Uma peça triangular, impressa 3D presa a carcaça da máquina, fica solta acima do papel enquanto o fio dobra as bordas e uma base plana restringe a parte

inferior do papel. O fio é ligado à peça triangular, que por sua vez é inserida na estrutura da primeira seção. Ela está ancorada na carcaça, porém é capaz de rodar livremente num eixo acima da linha do primeiro conjunto de rolos, como mostrado na Figura 6.

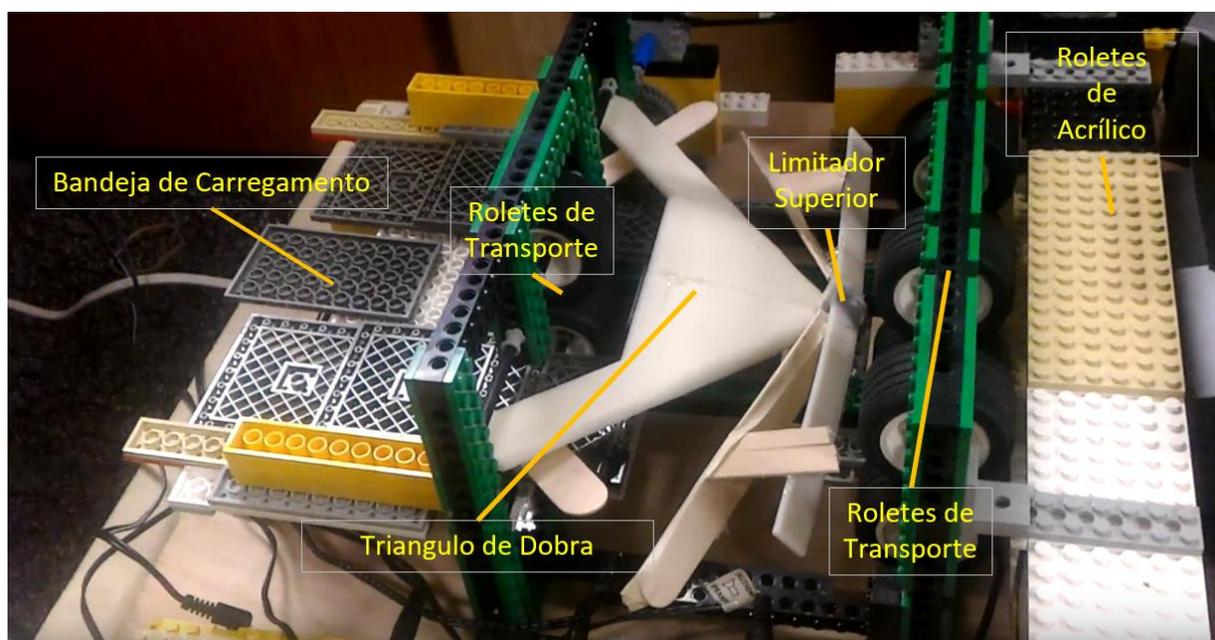
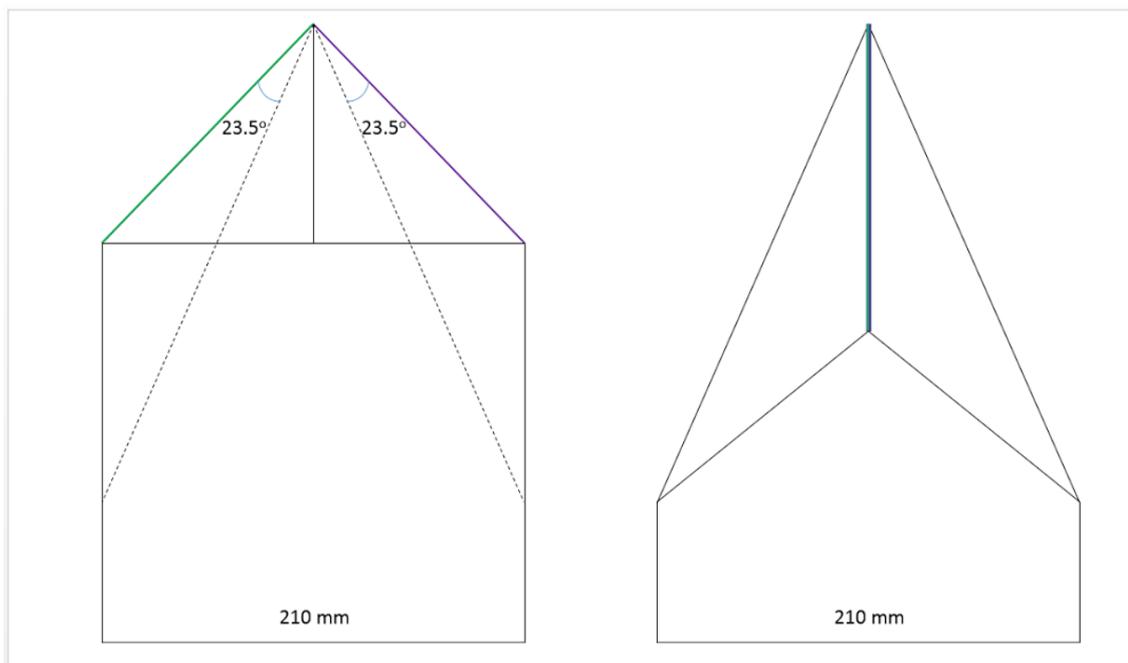


Figura 6 – Primeira seção e seus componentes

## 6.2 Segunda Seção

Em termos das dobras do papel, a segunda dobra é executada após a primeira dobra ocorrer. Consiste em duas dobras de 22,5 graus na mesma localização em que a primeira dobra foi feita, sobrepondo assim uma parte do papel em cima de outra, como mostrado na Figura 7.

Nos estágios iniciais do projeto, haviam várias ideias para a segunda dobra. Depois de uma série de considerações e análises cuidadosa, a segunda dobra teve seus conceitos mudados. Devido a dificuldades na manipulação do papel e montagem de seções sobrepostas, o conceito inicial de utilizar uma plataforma a vácuo foi modificado. O processo escolhido foi um envolvendo um Arduino, sensores e programação.



**Figura 7 – A segunda dobra do papel**

A segunda dobra utiliza programação e motores de passo em um processo de várias etapas para produzir a dobra desejada. Quando o papel vem da primeira seção, uma roda controlada com um motor de passo puxa o papel da primeira dobra e empurra o papel para a frente na posição para a segunda dobra. Quando o papel atinge ao lugar correto na segunda dobra, um sensor é acionado e a roda para de mover o papel. Neste ponto, duas abas, controladas por dois motores de passo, atuam e dobram o papel na geometria desejada. As bordas externas do papel agora adquirem a angulação correta demonstrada no desenho.

Depois de ser dobrado, o papel é empurrado para a frente ligeiramente e as abas são atuadas novamente, para que agora, um pouco mais para frente, sejam dobradas novamente. Em seguida, o papel é empurrado com a roda motorizada para fora das abas e para os dois conjuntos de rolos acrílicos que vinca a dobra. A segunda dobra é mostrada em detalhes na Figura 8.

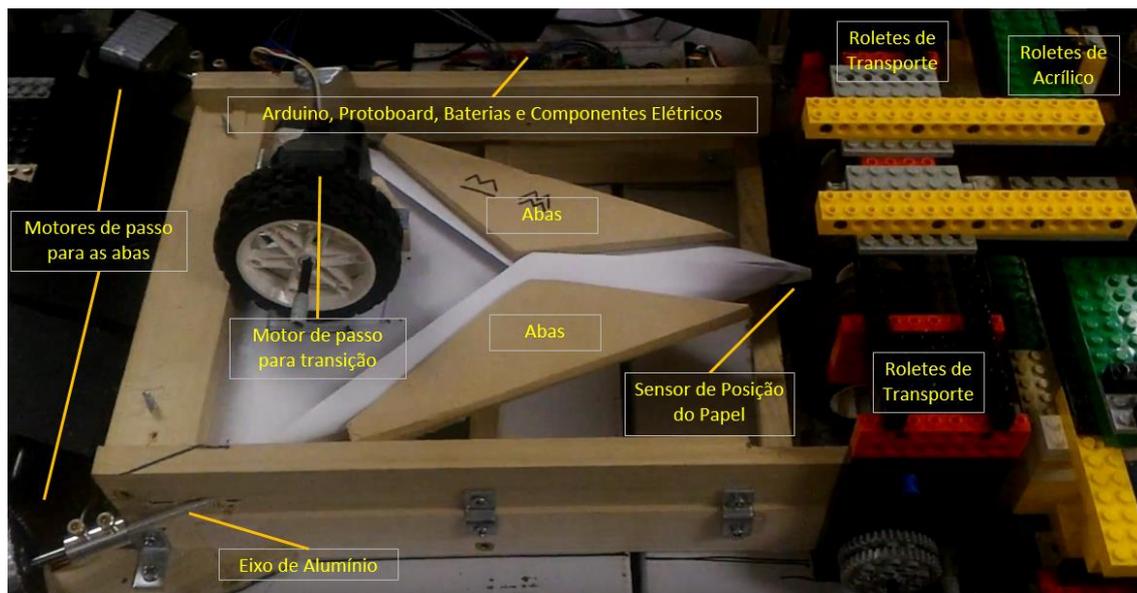


Figura 8 – Segunda seção e seus componentes

### 6.3 Terceira Seção (Dobra das Asas)

A terceira seção, também conhecida como a dobra das asas, é a transição após a segunda dobra. Em termos da dobragem do papel, a folha é simplesmente dobrada ao longo da linha central, a linha de centro que foi gerada pela ponta do papel, logo na primeira dobra, como mostrado na Figura 9.

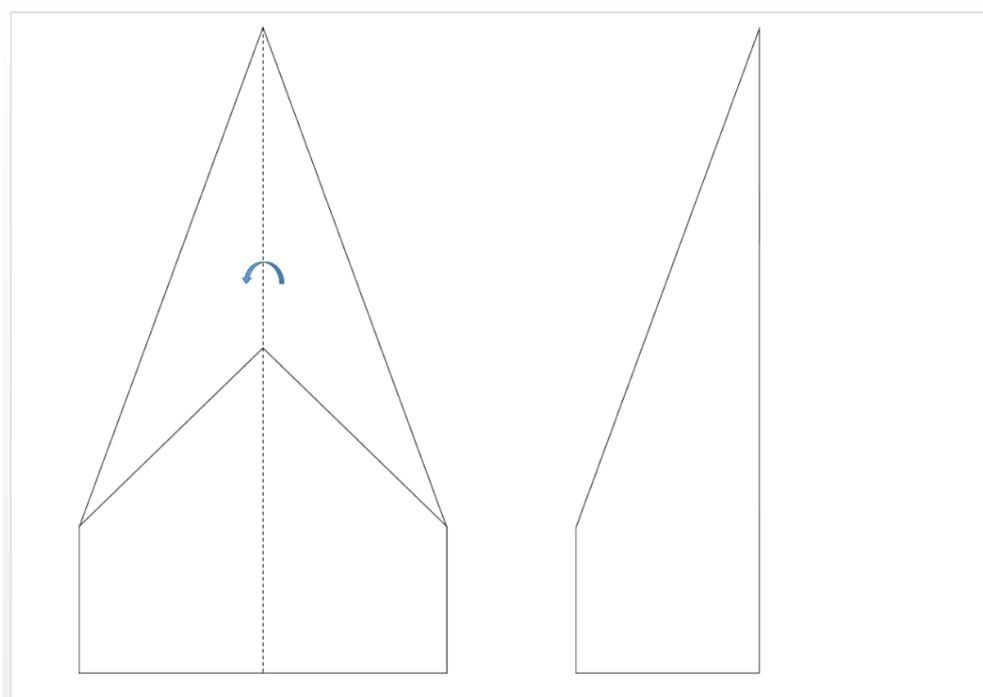
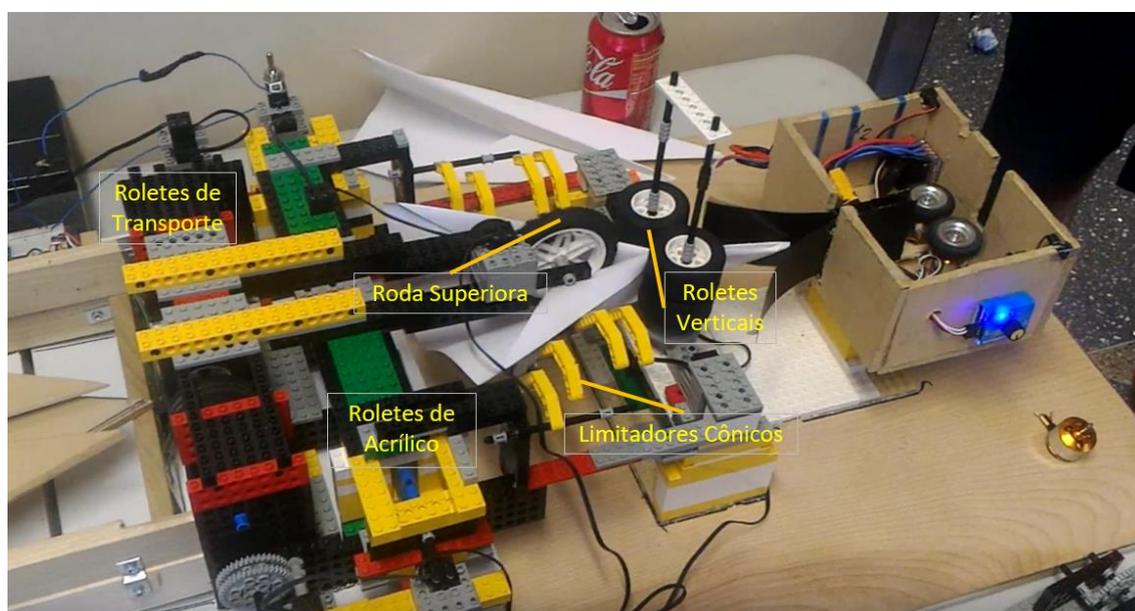


Figura 9 – A terceira dobra do papel

Após os rolos de acrílico da segunda dobra, o papel entra na dobra das asas. Uma única roda superior auxilia o papel na passagem cônica da dobra. Isso faz com que as faces laterais do papel dobrem para cima, encontrem-se no meio, enquanto um jogo de rodas segura a parte anterior do papel centrada e o impulsiona para a frente para o próximo par de rodas. Este processo essencialmente dobra o papel ao meio. Após as faces estarem unidas, o papel é empurrado para um conjunto de rolos verticais que vincam a dobra e direcionam o avião para o lançador. A dobra das asas é mostrada na Figura 10.



**Figura 10 – Terceira seção e seus componentes**

Nos testes, a colocação da passagem cônica em relação aos rolos acrílicos é muito importante. Se a passagem cônica estiver muito próxima, a extremidade do papel que ainda estaria presa aos roletes acrílicos da seção anterior, limitariam o movimento de subida da dobra. Caso estivesse muito longe, o papel não tem força estrutural suficiente para manter-se rígido enquanto é empurrado pelos roletes. Se o papel entra no lançador com esta dobra errada, isso afeta severamente a aerodinâmica de uma maneira que o projétil iria cair fora do percurso.

#### 6.4 Quarta Seção (Lançador)

O lançador é a última seção da máquina de avião de papel. A função do lançador é lançar o avião o mais longe possível no final das dobras. O conceito do projeto do lançador são duas rodas girando na mesma velocidade em direções opostas, e levemente tocando-se ao centro, para obter uma alta velocidade tangencial.

O avião de papel finalizado, vem da dobra das asas e passa por um pequeno entalhe em uma caixa de MDF, que contém as rodas para o lançador e lança o avião de papel. Os motores do lançador são dois motores brushless modelo A2212 / 13T 1000kV. Para o controlador de hardware dos motores há um HobbyKing Brushless Electronic Speed Controller (ESC) de 30A. Os motores conectados ao ESC são alimentados por uma bateria LiPo de 11.1V e 2200 mAh e três células. A montagem pode ser observada na Figura 11.

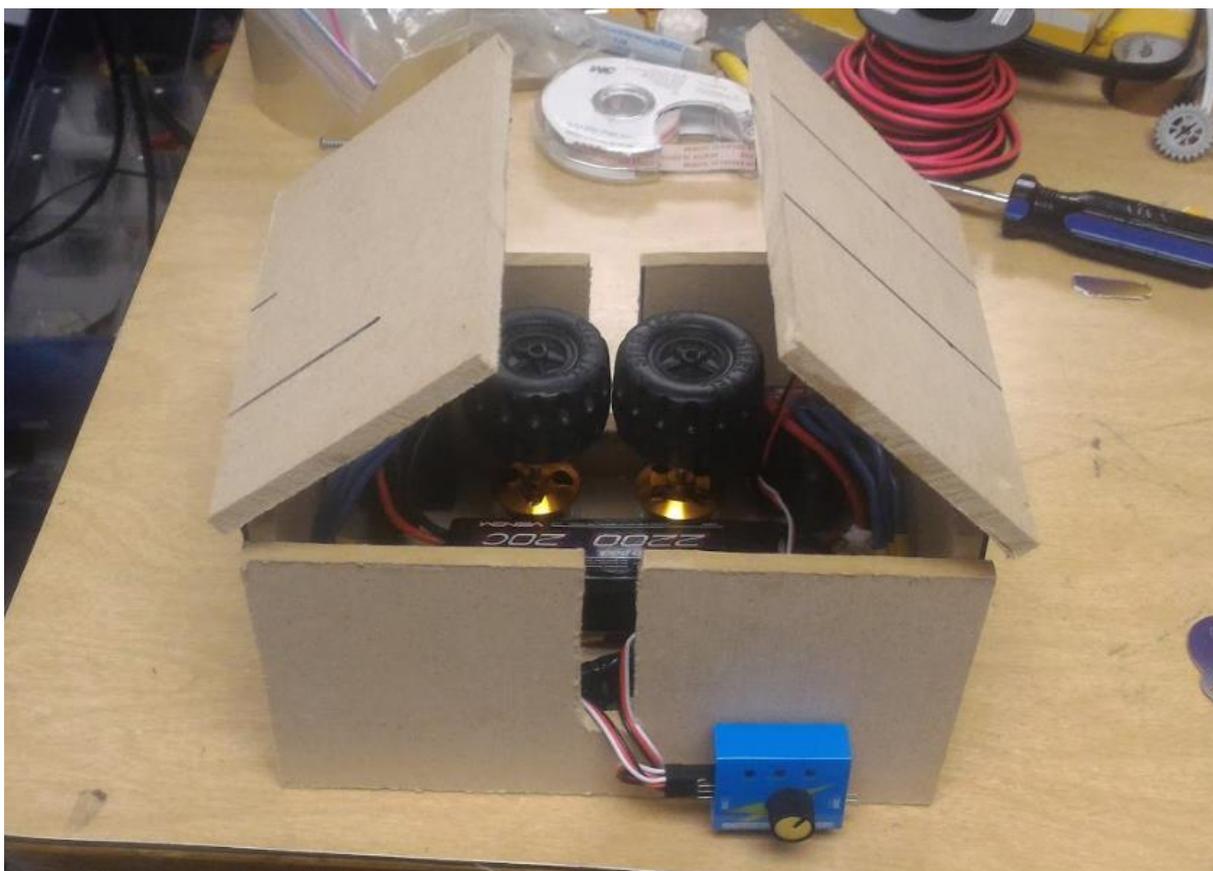


Figura 11 – Montagem da quarta seção

Os motores são montados em paralelo com esta bateria e são controlados por um CCPM Servo Consistency Master/Checker and Tester. Este Servo Tester é um hardware que envia um sinal para o controlador para ajustar a velocidade dos motores. A velocidade dos motores é controlada pelo usuário, girando um dimmer a uma posição desejada, selecionando assim a velocidade ideal. A configuração da fiação elétrica é mostrada na Figura 12.

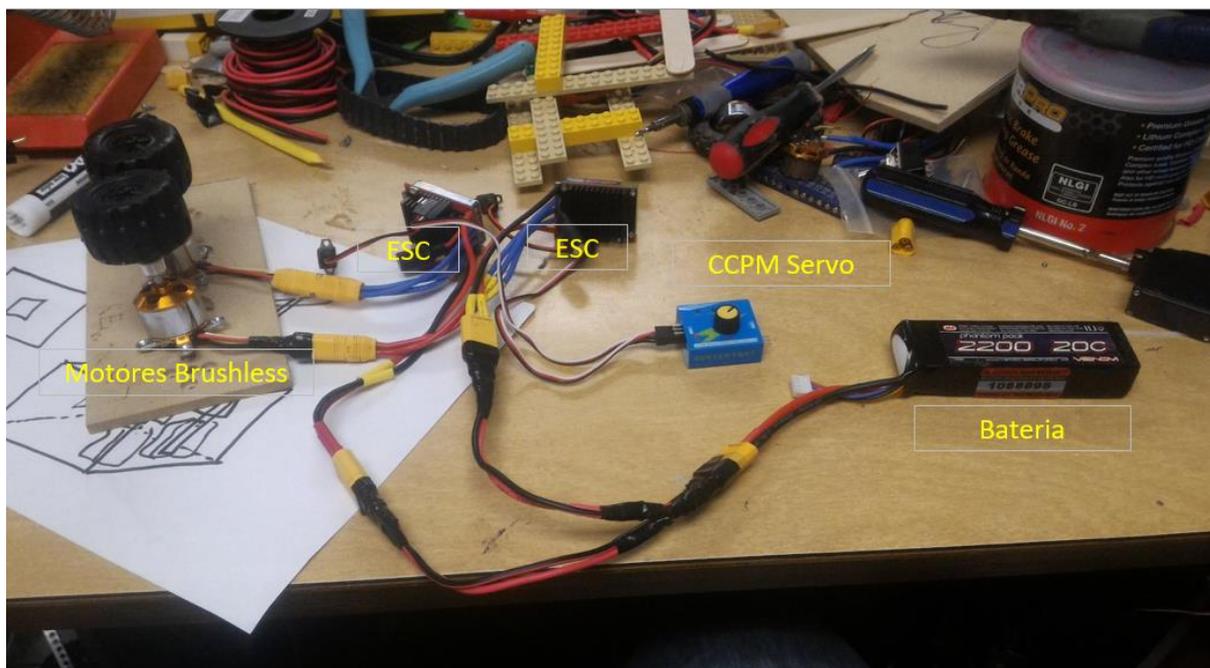


Figura 12 – Esquema elétrico com os componentes do lançador

## 6.5 Construção e Montagem

O produto é composto por vários materiais. A máquina foi transportada para e a competição dentro de uma caixa feita de MDF. A máquina em si consiste em quatro seções diferentes. Todas elas são coladas a uma plataforma feita de madeira, que desliza facilmente para dentro e fora da caixa de transporte. A primeira dobra é feita quase inteiramente de Lego. Palitos de sorvete foram usados para auxiliar geometricamente a forma do papel corretamente durante a dobra. Os motores Lego alimentam as rodas Lego com pneus de borracha que também são usadas como rolos para vincar e mover o papel.

A segunda dobra é uma seção que possui maior mistura de materiais e componentes. O quadro da segunda dobra é feito de madeira que é unido por

parafusos de madeira e cantoneiras. As abas são feitas de MDF e eixos de alumínio prendem as abas em conjunto. Três motores de passo se conectam a um Arduino e são alimentados com uma bateria grande de 12V. Dois dos motores controlam as aletas. O terceiro motor controla uma roda que impulsiona o papel para a frente em toda a seção. Na extremidade da dobra, há rolos para fazer as dobras de Legos montados em pneus de borracha. Também há rolos acrílicos para fazer o vinco no papel. Os rolos são todos alimentados por motores lego, fazendo uma mistura entre componentes fabricados pela equipe e peças de Lego.

A dobra de asa é a terceira seção, e é feita inteiramente de Lego. A quarta seção da máquina é a dobra das asas. A dobra das asas é composta apenas de peças de Lego. Ele usa engrenagens e dois motores Lego para puxar e empurrar o papel através da seção. O vinco é produzido por rodas com pneus de borracha anexado a dois motores Lego.

A seção final da máquina é o lançador. O lançador usa motores CC de alta velocidade girando em direções opostas para lançar o avião de papel. A velocidade dos motores é controlada por um controlador eletrônico de velocidade variável ligado internamente e colado a carcaça do lançador. A caixa é feita de MDF.

## **6.6 Entrega**

O sistema foi determinado para que possa ser desmontado e remontado fácil e rapidamente, enquanto se encaixam em uma caixa com o menor volume possível. Foi configurado para que não existam cargas indesejadas agindo em partes frágeis da máquina, como as baterias ou pequenas peças de suporte. Dessa forma é assegurado que nenhum dano acontecerá.

O sistema completo é composto de uma plataforma, a qual a máquina está ligada, e uma caixa na qual a plataforma é colocada. As dimensões internas da caixa são 50,5 cm x 152 cm x 20 cm. A plataforma deslizante remove a necessidade de montagem e desmontagem. Além disso, isso reduz o possível erro causado pela remontagem. Durante a competição, a plataforma foi removida da caixa e colocada na área de lançamento. A utilização de uma plataforma reduziu significativamente o

tempo para a montagem da máquina durante a competição, já que este era fator importante a se considerar devido ao tempo limitante estabelecido pelas regras.

## 6.7 Engenharia

A ideia, projeto e construção do sistema final foram moldados pela experiência de engenharia dos membros da Equipe “The Ream Team”. Desenhos preliminares dos potenciais sistemas da máquina foram modelados no SolidWorks para referência visual e modelos físicos dos sistemas de manipulação e lançamento foram construídos e testados para análise qualitativa e quantitativa.

Os sistemas de lançamento foram avaliados com base na consistência e na distância, enquanto que a viabilidade de cada sistema de fabricação foi avaliada com base em aspectos dificilmente quantificáveis, como a facilidade de solução de problemas. Os conceitos de fabricação foram analisados e avaliados utilizando-se uma matriz de decisão. O conceito de fabricação selecionado foi um processo utilizando rolos e restrições geométricas para produzir dobras para um avião de papel. Como o design do avião de papel foi o escolhido, também por uma matriz de seleção, havia a necessidade de escolher um sistema de lançamento correspondente, composto por duas rodas motorizadas tangentes em um ponto e com velocidades iguais, em direções opostas. Logo após os projetos terem sido definidos, a equipe começou a projetar e construir componentes específicos do produto final.

Ao longo do projeto, foram utilizados conceitos de engenharia ensinados em sala de aula. Contudo, foram necessárias muitas aplicações de conceitos gerais inovadores e abstratos, para a utilização dos conhecimentos de engenharia dos membros da equipe, ao sistema de manufatura em específico.

Foram utilizadas reduções de engrenagens para reduzir a velocidade de cada rolo, proporcionando simultaneamente um maior torque ao eixo do rolo que era o torque proveniente de saída do motor de acionamento. Os diâmetros e materiais dos rolos foram escolhidos de modo a proporcionar folgas aceitáveis para o papel antes e durante a fabricação.

A conversão da velocidade angular em velocidade linear foi utilizada no teste e na seleção de combinações de roda-motor para o lançador. Devido a força tangencial atuante sobre o pneu de borracha do lançador, quando estava rodando em uma alta velocidade permitiu que a equipe tomasse boas decisões sobre o alinhamento e compra de pneus no futuro

Os membros da equipe analisaram os requisitos de energia nos dispositivos eletrônicos, quando uma bateria estava sendo selecionada para os motores de passo da segunda dobra. O conhecimento de torção e deflexão em eixos, rolamentos e motores foi utilizado quando as rodas com pneus Lego foram construídas.

Um laminador de dois rolos de acrílico foi selecionado de modo a evitar perdas de fricção ocorridas ao enrolar o pedaço de papel através de uma superfície para diminuir o atrito. Vários dos membros da equipe, juntamente com o Dr. Williams, aplicaram sua habilidade em usar protoboards e lógica Arduino, a fim de controlar a atuação da segunda dobra.

Profunda compreensão da engenharia na prática foi demonstrada ao longo do projeto, como evidenciado no uso de cola quente para fazer "soldas" baratas mostraram ter um desempenho aceitável. A construção de componentes estruturais com um processo aditivo envolvendo peças LEGO em vez de peças impressa em 3D foi escolhido também, devido às limitações físicas das peças impressas, que por muitas vezes apresentaram um acabamento insatisfatório. Também caso houvesse a necessidade de utilizar uma impressão com mais acurácia, isso acarretaria em um aumento excessivo no custo do projeto.

Além disso, havia uma disponibilidade total de recursos durante todo o trabalho desenvolvido pelo "The Ream Team". A maioria dos materiais e mecanismos usados na máquina foram reciclados de projetos anteriores e reutilizados, e materiais caros ou processos demorados foram substituídos por opções mais acessíveis do que estava disponível na sala M13 (A sala M13 do prédio Hardway Hall da Universidade do Alabama é a que abriga todas as equipes que competirão em projetos e trabalhos da ASME). Do início ao fim, o conhecimento do curso de engenharia proporcionou um aumento na eficácia de cada membro da equipe na concepção, modelagem e construção do sistema final.

## 6.8 Métodos de Avaliação

Toda semana, a equipe “The Ream Team” submeteu memorandos ao Dr. Williams que continham os objetivos da próxima semana e uma revisão das coisas realizadas durante a semana corrente. No primeiro semestre as mesmas reuniões e memorandos foram feitos, porém desta vez com o nosso cliente que era a Dra. Todd.

Além disso, a equipe se reuniu com o Dr. Williams toda sexta-feira para analisar o andamento do projeto, fazer ajustes e garantir que o progresso estava sendo feito de forma satisfatória. Para acompanhar o projeto, várias reuniões de equipe foram realizadas a cada semana para garantir o bom andamento da construção da máquina.

## 6.9 Cronograma do Projeto

O “The Ream Team” criou um gráfico de Gantt com um esboço geral de metas futuras em um cronograma, que é mostrado abaixo. A comparação da Figura 13e a Figura 14 mostram os atrasos na produção e a reavaliação devido as restrições de tempo. A maioria dos atrasos foram devidos a problemas dentro de cada seção e solução desses problemas.

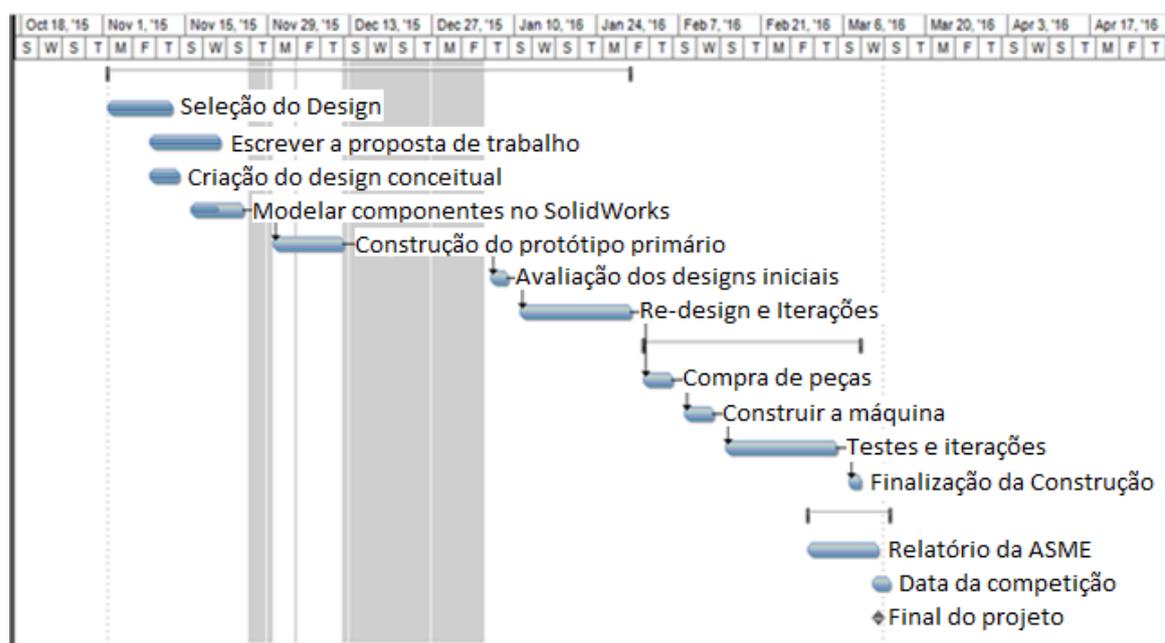
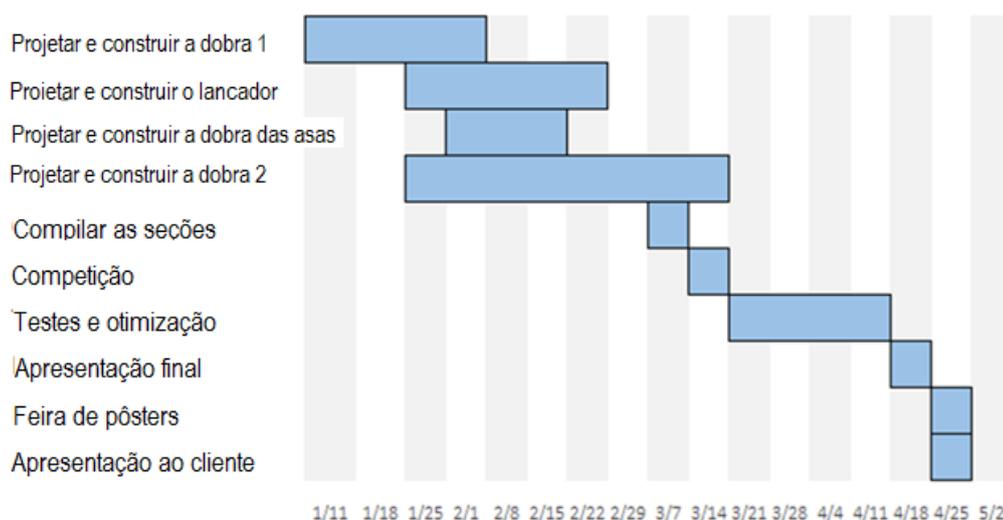


Figura 13 – Cronograma planejado na primeira metade do projeto



**Figura 14 – Cronograma realizado ao final do projeto**

A segunda dobra teve um atraso considerável na produção e conclusão da máquina. Havia erros de programação e erros de construção que foram resolvidos em uma abordagem de solução iterativa. Outra demora foi devido a falhas de projeto. No caso das dobras 1 e 2, muitos problemas não foram percebidos até que se iniciasse a execução e construção do projeto. Ocorreram muitos imprevistos que tiveram de ser resolvidos durante a fase de construção.

### 6.10 Orçamento

Este projeto tinha um orçamento de \$500,00. Isso provou ser mais do que suficiente para completar nosso projeto. No geral, apenas \$156,60 de todo o orçamento foi gasto. O financiamento é fornecido pelo departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Alabama. A competição ASME exigia que cada aluno participante fosse um membro da ASME. Cada membro da equipe era responsável pelo pagamento de suas próprias inscrições como membro da ASME antes da competição. Os fundos para o projeto foram usados para baterias, motores, madeira e outros equipamentos essenciais para a máquina.

### 6.11 Instalações e Recursos

Uma vez que este projeto envolveu a construção, bem como o projeto, uma instalação era necessária. O local onde os materiais foram mantidos e a construção

pode ser realizada foi a sala M-13 no prédio Hardaway Hall foi onde a máquina foi projetada, construída e armazenada. A sala M-13 ofereceu muitos recursos para o projeto, incluindo muitos dos materiais de construção. A oficina de engenharia foi usada para cortar os pedaços de madeira para a segunda dobra. O Dr. Williams foi um recurso valioso para a equipe ao longo do semestre. Ele foi capaz de nos emprestar importantes componentes utilizados na máquina, bem como nos ajudar na usinagem de vários rolos de acrílico. Além disso, o laboratório de impressão 3D foi utilizado, em primeiro lugar, para fazer as aletas para o a segunda dobra e a tentativa de construção de um projeto da dobra das asas. No entanto, devido a erros de impressão, foram utilizadas placas de MDF e eixos de alumínio.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A participação da equipe “The Ream Team” na competição foi satisfatória. Não obtivemos um bom resultado em nossos lançamentos, devido a uma falha técnica. Um dos fios que levava energia aos controladores dos motores do lego apresentava um pequeno curto circuito, o que foi percebido apenas dias depois da competição. Esse pequeno curto circuito causava uma queda significativa no torque da dobra das asas, que era onde havia a maior necessidade de força devido a espessura do papel.

Esse fato, porém, não tira o mérito de nosso projeto. Tivemos um enorme reconhecimento quanto as escolhas do nosso projeto. O Presidente da ASME, o Sr. K. Keith Roe elegeu o nosso projeto como o melhor design daquela competição. O fato de a máquina possuir diversas peças em Lego desperta uma nostalgia na grande maioria das pessoas.

Um mês após a competição, tivemos na Universidade do Alabama uma feira de pôsteres, onde mostramos o nosso trabalho para todo o corpo acadêmico. Foi um sucesso. Obtivemos uma excelente avaliação. Um projeto futuro também foi proposto: levar a máquina para escolas do ensino fundamental, como um incentivo a ciência e tecnologia. Trazer coisas como esse projeto para o mundo dessas crianças faz despertar uma motivação para a busca de conhecimentos.

A máquina projetada encontra-se em exposição em uma sala da Universidade do Alabama até que se tenha o interesse de reutilizar os componentes utilizados neste projeto.

## REFERÊNCIAS

**Student Design Competition Rules**, Disponível em <[https://www.asme.org/wwwasmeorg/media/ResourceFiles/Events/Competitions/2016-Competition-Rules-\(final\).pdf](https://www.asme.org/wwwasmeorg/media/ResourceFiles/Events/Competitions/2016-Competition-Rules-(final).pdf)>. Acesso em 5 de dezembro de 2015.

**Student Professional Development Conferences Website**, Disponível em <<https://www.asme.org/events/competitions/student-design-competition> >. Acesso em 5 de dezembro de 2015.