

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DE MECÂNICA  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**THIAGO CHOCIAI SCREMIN**

**PROJETO E SIMULAÇÃO DE UM ALVO *POP-UP***

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA**

**2014**

**THIAGO CHOCIAI SCREMIN**

**PROJETO E SIMULAÇÃO DE UM ALVO *POP-UP***

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado para obtenção do grau de  
Engenheiro Mecânico do curso Superior  
de Engenharia Mecânica da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

Orientador: Prof. Dr. Laercio Javares  
Junior

**PONTA GROSSA**

**2014**



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **PROJETO E SIMULAÇÃO DE UM ALVO POP-UP**

por

**THIAGO CHOCIAI SCREMIN**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 10 de junho de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Laercio Javarez Junior  
Orientador

---

Prof. Me. Frederic Conrad Janzen  
Membro Titular

---

Prof. Me. Francisco Emilio Dusi  
Membro Titular

---

Prof. Dr. Luiz Eduardo Melo Lima  
Responsável pelos Trabalhos  
de Conclusão de Curso

---

Prof. Dr. Laercio Javarez Junior  
Coordenador do Curso de  
Engenharia Mecânica

Dedico este trabalho a minha família, que  
me apoiou e me proporcionou mais esta  
conquista em minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a toda minha família, em especial aos meus pais e minhas irmãs, pelo apoio incondicional, em todas as horas, por terem me dado força e sustentabilidade financeira. Aproveito também, para agradecer todo aporte que me deram em casa, amor dedicado e por terem desde a infância me mostrado a importância do estudo e trabalho.

Agradeço também a minha filha, que me proporcionou momentos de alegria e amor incondicional, provando mais uma vez que toda situação pode ser encarada de duas maneiras distintas e que se você buscar o melhor, certamente o encontrará.

Ao meu orientador, Professor Dr. Laercio Javarez Junior, pela orientação exercida com indiscutível competência e seriedade e, principalmente, pelo forte apoio e incentivo ao longo de todo o período de realização deste trabalho; também agradeço pela amizade e conselhos que levarei para toda vida.

Ao Professor Frederich Conrad Janzen, pelas discussões, suporte, colaboração e pela disponibilidade e atenção fornecida, me auxiliando e tornando a realização deste trabalho possível.

Agradeço também a Tadeu Figueira, por ser o idealizador desta parceria e origem do projeto.

Aos meus amigos, que me ajudaram a superar certos desafios e me motivaram quando necessário me provendo momentos de alegria e me ajudando a enfrentar os problemas encontrados.

À Coordenação de Engenharia Mecânica da UTFPR pelo apoio à pesquisa e a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste projeto.

“Tenha a coragem de seguir seu coração e intuição. Eles de alguma forma já sabem o que você realmente quer se tornar. Todo o resto é secundário”.

Steve Jobs

## RESUMO

SCREMIN, Thiago. **Projeto e Simulação de um alvo *Pop Up***. 2014. 641 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Engenharia Mecânica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2014.

Devido a grande necessidade de avanços tecnológicos, torna-se interessante o desenvolvimento paralelo de projetos de melhoria, buscando aprimorar e aperfeiçoar processos e projetos estagnados ou em fase de desenvolvimento. Neste contexto, torna-se claro a busca por projetos versáteis e que apresentem orçamentos enxutos, reunindo conceitos de simplicidade e eficiência. Partindo deste princípio e da necessidade apresentada para nacionalizar um equipamento utilizado para fins militares, tornou-se necessário o desenvolvimento paralelo de um projeto para atender os requisitos exigidos e permitindo um investimento financeiro baixo que o tornasse viável e permitisse a utilização deste projeto para diversas outras funcionalidades.

Seguindo a sequência estabelecida em ferramentas da engenharia do produto para desenvolvimento de projetos, assim como a modelagem em software 3D para visualização e detecção de falhas e análise de forças e resistência mecânica estrutural em software de simulação, tornou-se possível viabilizar o projeto, orçando desde sua matéria prima até sua fabricação, provendo ao seu solicitante todas as informações pertinentes para sua execução.

**Palavras-chave:** alvo *Pop Up*, desenvolvimento de projeto, engenharia do produto, Ansys®, SolidWorks®.

## ABSTRACT

SCREMIN, Thiago. **Project and Simulation of a Pop Up target**. 2014. 64 f. Final paper (bachelor in mechanical engineering) – Technology University of Paraná. Ponta Grossa, 2014.

Because of the great need for technological advances, it becomes interesting parallel development of improvement projects, seeking to enhance and improve stagnant or in development phase process and projects. In this context, it is clear the search for versatile projects and presenting lean budgets, gathering concepts of simplicity and efficiency. Based on this principle and the presented need to nationalize equipment used for military purposes, it became necessary parallel development of a project to meet the criteria and allowing a low financial investment that would make it viable and allow the use of this design for several other features. Following the sequence established in tools for product development engineering projects, as well as 3D modeling and visualization software for fault detection and analysis of forces and structural strength in simulation software, it became possible to make the project viable, budgeting since its raw materials to its manufacturing, providing its requesting all relevant information for its execution.

**Keywords:** Pop Up target, Project development, product engineering, Ansys®, SolidWorks®.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Modelo de PDP.....	18
Figura 2 - Funil de decisões.....	19
Figura 3 - Perfis Extrudados.....	21
Figura 4 - Rotor Motor de Passo.....	22
Figura 5 - Rotor Motor de Passo.....	24
Figura 6 - Estator do Motor de Passo.....	24
Figura 7 - Motor de Passo com Relutância Variável.....	27
Figura 8 - Motor de Passo com Imã Permanente.....	28
Figura 9 - Motor de Passo Híbrido.....	29
Figura 10 - Motor de Passo Selecionado.....	31
Figura 11 - Placa Arduíno Mega.....	33
Figura 12 - Shield Xbee PRO900HP.....	34
Figura 13 – EasyDriver.....	36
Figura 14 - Fluxograma do sistema.....	37
Figura 15 - Perfil de Alumínio Extrudado.....	38
Figura 16 - Perfil de Alumínio Extrudado.....	39
Figura 17 - “Braço” da Estrutura.....	40
Figura 18 - “Braço” da Estrutura.....	41
Figura 19 - Estrutura Montada.....	42
Figura 20 - Força aplicada sobre o braço da estrutura.....	46
Figura 21 - Tensão equivalente sobre a estrutura.....	47
Figura 22 - Tensão equivalente sobre a estrutura.....	48
Figura 23 - Energia dissipada pela estrutura.....	49
Figura 24 - Força de reação do Motor.....	50
Figura 25 - Valor da força de reação dos pontos fixos.....	51

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Orçamento da Estrutura .....	43
Tabela 2 – Valor da força de reação do Motor .....	50

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Características do Motor de Passo Selecionado .....	31
--	----

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA.....	13
1.2 OBJETIVO GERAL.....	14
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.4 JUSTIFICATIVA.....	15
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>16</b>
2.1 DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS E PRODUTOS.....	16
2.2 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS.....	18
2.3 ESTRUTURAS METÁLICAS.....	20
2.4 PERFIS EXTRUDADOS.....	21
2.5 MOTORES DE PASSO E SERVO-MOTORES.....	22
2.5.1 Introdução ao Motor de Passo.....	22
2.5.1.1 Rotor.....	23
2.5.1.2 Estator.....	22
2.5.2 Parâmetros de Seleção.....	25
2.5.3 Tipos de Motores de Passo.....	27
2.5.4 Vantagens na utilização de Motores de Passo.....	29
2.5.5. Exemplos de Aplicação e Seleção.....	30
2.6 PROTOCOLO ARDUINO.....	31
2.6.1 Shields.....	33
2.7 PROTOCOLO ZIGBEE.....	34
2.7.1 Protocolo IEEE 802.15.4.....	35
2.8 EASYDRIVER.....	35
2.9 LÓGICA DA PROGRAMAÇÃO.....	37
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>38</b>
3.1 ORÇAMENTOS.....	42
3.2 SIMULAÇÕES E ANÁLISES DE FALHAS.....	44
3.2.1 Braço da Estrutura.....	45
3.2.2. Estrutura.....	47
3.2.3 Forças de Reação.....	49
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>52</b>
<b>5 CRONOGRAMA</b> .....	<b>54</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>55</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o avanço das tecnologias e aperfeiçoamento dos recursos disponíveis na sociedade, é comum que produtos e/ou processos antes indispensáveis, se tornem obsoletos e substituíveis.

Esta “regra” se aplica em diversas áreas, seja na pesquisa e desenvolvimento ou no mercado pleno. É visto que para acompanhar as mudanças ocorridas na tecnologia em trânsito, deve-se, sempre que possível, gerenciar uma programação de atualização ou renovação da tecnologia presente no setor ou processo especificado.

Neste trabalho, o objetivo de aprimorar uma tecnologia e aperfeiçoar um processo de capacitação se mantém, e estende-se a proposta de criação de um novo equipamento, buscando além de otimização do processo atualmente proposto, uma redução de custos de operação, realização de testes, modelagens e simulações para viabilizar a possível substituição da tecnologia em funcionamento.

Partindo deste princípio e de um problema proposto, resolveu-se criar uma parceria para desenvolvimento de um projeto para fins militares juntamente com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Ponta Grossa, a fim de desenvolver uma nova tecnologia e aperfeiçoar um processo de capacitação e formação militar.

A proposta apresentada é o aperfeiçoamento e/ou desenvolvimento de um alvo *pop-up*, conhecido como sendo um equipamento de treino de tiro e reconhecimento do inimigo ministrado aos soldados que desejam se enquadrar no quadro de oficiais que operam os carros de combate. Este equipamento possui um princípio básico de surpreender os alunos em treinamento que participam do programa, podendo ser posicionado em campo em diversas posições e formatos, forçando o indivíduo a desenvolver e aperfeiçoar habilidades como: identificação de alvos, tiro, precisão e agilidade, com o intuito de desenvolver as habilidades requeridas para operar os carros de combate de maneira eficiente.

Devido o equipamento presente possuir custo elevado, sua implementação aos demais regimentos acaba se tornando inviável na maioria dos casos. Além de ser de fabricação externa, o equipamento que atualmente está em uso é pesado, de difícil manutenção e transporte, tornando-se quase que exclusivo e inviabilizando o

treinamento de todo o contingente de soldados em formação ou transporte dos mesmos para sua atual localização.

Analisando esta situação, a proposta é desenvolver e nacionalizar um equipamento semelhante, buscando minimizar ou eliminar os problemas citados no dispositivo atual e otimizando eventuais mecanismos já presentes. Para isso o objetivo traçado e os requisitos previamente estipulados são desenvolver um equipamento leve, versátil, de fácil manutenção e controle e com custo acessível para fabricação e produção seriada.

### 1.1 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

Neste trabalho o objetivo principal se concentra em um projeto e desenvolvimento de um equipamento militar, visando aprimorar a capacitação no processo de formação para operação em carros de combate. Dessa forma, o intuito é desenvolver e projetar um sistema de posicionamento remoto de alvos para treino de tiro, considerando-os em diversas escalas conforme padrão militar internacional, buscando dinamizar o treinamento e permitir que o aplicador possa diversificar e simular diversas situações adversas de posicionamentos, distâncias de tiro e as dificuldades encontradas em campo com maior fidelidade as situações reais de combate.

Especificamente, este sistema será utilizado inicialmente com o objetivo de prover remotamente o movimento a um alvo fixo a um braço regulador de altura, sendo capaz de gerar situações distintas durante os treinos. A ideia estende-se a um protótipo para reparar possíveis falhas não detectadas no projeto e para que este possa ser usado como base para suprir diversas outras necessidades apresentadas, tais como: tiro a maiores distâncias, situações de terreno não favorável, alvos de grande porte, alvos móveis e treinamentos noturnos (alvos com assinatura térmica).

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Viabilizar o desenvolvimento de um projeto de alvo *pop-up* através da utilização de ferramentas de engenharia do produto, desenvolvimento, modelagem 3D e análise de falhas, buscando a dinamização do treinamento de capacitação da artilharia em carros de combate.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar ferramentas da engenharia do produto para projetar, desenvolver e viabilizar um dispositivo militar;
- Desenvolver e propor um dispositivo de baixo custo, versátil e leve, que atenda requisitos exigidos no projeto;
- Detalhar e especificar o projeto proposto, analisando custos, tempo e complexidade de produção e funcionalidade;
- Viabilizar formalmente o projeto e analisar a capacidade de implementação do equipamento e possíveis modificações para atender outros requisitos.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

A dificuldade muitas vezes encontrada para obter o aceite em licitações federais e a demora na liberação de verbas causa, na maioria dos casos, a desistência por parte dos solicitantes. Isto se dá pelo fato que, atualmente, os problemas precisam de soluções cada vez mais dinâmicas e rápidas e com prazos mais curtos.

Levando esta premissa em consideração, uma solução alternativa que cresce exponencialmente nos dias de hoje é o desenvolvimento paralelo, onde o indivíduo busca desenvolver soluções para o problema proposto que sejam mais acessíveis financeiramente e em prazos consideráveis. Para isto uma ferramenta utilizada é a busca do conhecimento e parcerias com terceiros.

Atendendo este tipo de situação, o desenvolvimento do projeto que se segue busca auxiliar um órgão federal, a nacionalizar um equipamento e, conseqüentemente, economizar os custos de manutenção e importação, buscando sanar problemas presentes no equipamento atual e encaminhando o processo para a melhoria contínua.

A modalidade deste projeto escolhida como uma inovação justifica o seu desenvolvimento, pois a inovação deste equipamento se dá ao fato que o dispositivo atualmente em funcionamento é extremamente caro e importado, o que impossibilita a difusão deste nos diversos centros de treinamento e eleva seu custo de manutenção. O projeto aqui proposto é economicamente viável, proporcionando que a partir de testes internos e em campo, simulações e posteriores modificações e/ou melhorias, este dispositivo possa ser implementado e servir como um auxílio no treinamento atual.

Devido à melhoria proporcionada no processo, pode-se classificar este projeto como uma inovação no produto e processo, já que baseado num sistema semelhante é possível projetar um equipamento com maior mobilidade, versatilidade e de custo reduzido, justificando o seu desenvolvimento como um todo.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Para assegurar a linearidade do trabalho proposto, deve-se compreender o processo pelo qual um produto e seu respectivo projeto devem seguir para alcançar os objetivos propostos inicialmente e que levaram ao seu desenvolvimento.

Para isto deve-se notar que é essencial, tanto quanto na fase de pré-projeto quanto na fase de apresentação do produto, seguir uma linha de desenvolvimento e etapas estipuladas conforme análise inicial do projetista.

Neste trabalho a linha de apresentação dos temas se dá em função da linha utilizada no desenvolvimento do produto em si, facilitando a compreensão das etapas desenvolvidas e esclarecendo o caminho utilizado no processo de concepção do projeto final.

Para a fundamentação teórica e esclarecimento das ferramentas e componentes utilizados no projeto, o trabalho aqui proposto seguirá a mesma linha utilizada no desenvolvimento do produto propriamente dito e nas ferramentas de engenharia utilizadas para este fim, podendo subdividir este projeto conforme os tópicos a seguir:

- a) Desenvolvimento de Projetos e Produtos
- b) Estruturas Metálicas
- c) Motores de Passo e Servo Motores
- d) Protocolo Arduíno
- e) Materiais e Métodos

### 2.1 DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS E PRODUTOS

Em tratando-se de desenvolvimento de produtos, existe a necessidade de se reconhecer as diversas categorias dentre eles, pois um novo produto não necessariamente segue as características comuns e/ou apresenta funções semelhantes aos demais produtos presentes no mesmo segmento de mercado. As diferentes categorias conduzem a aspectos diferentes que devem ser considerados durante este desenvolvimento.

Um novo produto pode assumir uma das seguintes categorias, de acordo com o setor empregado e o mercado buscado (MATTAR & SANTOS, 2003):

- Simples melhorias e/ou revisões em produtos já existentes, incluindo ações para reduções de custos;
- Reposicionamento no mercado;
- Novos produtos para a empresa, mas já existentes no mercado;
- Novos produtos não existentes neste mercado, mas já existentes em outros;
- Produtos totalmente novos, para a empresa e para o mercado.

No caso aqui apresentado, pode-se considerar que se está utilizando a primeira abordagem, que trata de melhorias em produtos já presentes no mercado, buscando aperfeiçoamentos no conjunto e redução significativa de custo.

Para garantir que este desenvolvimento seja linear e que um projeto seja executado conforme especificação, atendendo aos requisitos solicitados ao projetista, evitando possíveis imprevistos que possam dificultar ou impossibilitar a sua conclusão e para que se torne possível alcançar os objetivos previamente propostos que levaram a este desenvolvimento, pode-se utilizar de ferramentas da engenharia do produto para auxiliar neste processo e manter um cronograma de ações eficiente na obtenção de um produto conforme especificado.

Segundo Baxter (2000), o processo de desenvolvimento de produto é uma atividade complexa, por requerer pesquisa, planejamento, controle e a aplicação de um método sistemático que envolve engenharia e o uso de conhecimentos de design, ou seja, diversas habilidades e interesses devem ser considerados no processo, como: requisitos do consumidor, vantagem significativa e competitiva, preços acessíveis e inovação.

Ainda, segundo Baxter (2000), todos os interesses envolvidos no processo de desenvolvimento do produto devem ser atendidos, não sendo possível atender aos interesses de uns em detrimento dos outros. Para isso deve-se encontrar e estabelecer um compromisso entre os fatores que adicionam valor no produto, como: aumento na funcionalidade e qualidade, e aqueles que provocam aumento no custo (como a escolha de componentes mais caros).

## 2.2 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Para Kaminski (2000) independente das características dos produtos, as várias etapas necessárias para seu desenvolvimento, compõem um método geral comum, que organiza a transformação das necessidades em meios para satisfazê-las, indicando finalmente como utilizar matérias-primas, recursos humanos, financeiros e tecnológicos com o objetivo de obter o produto.

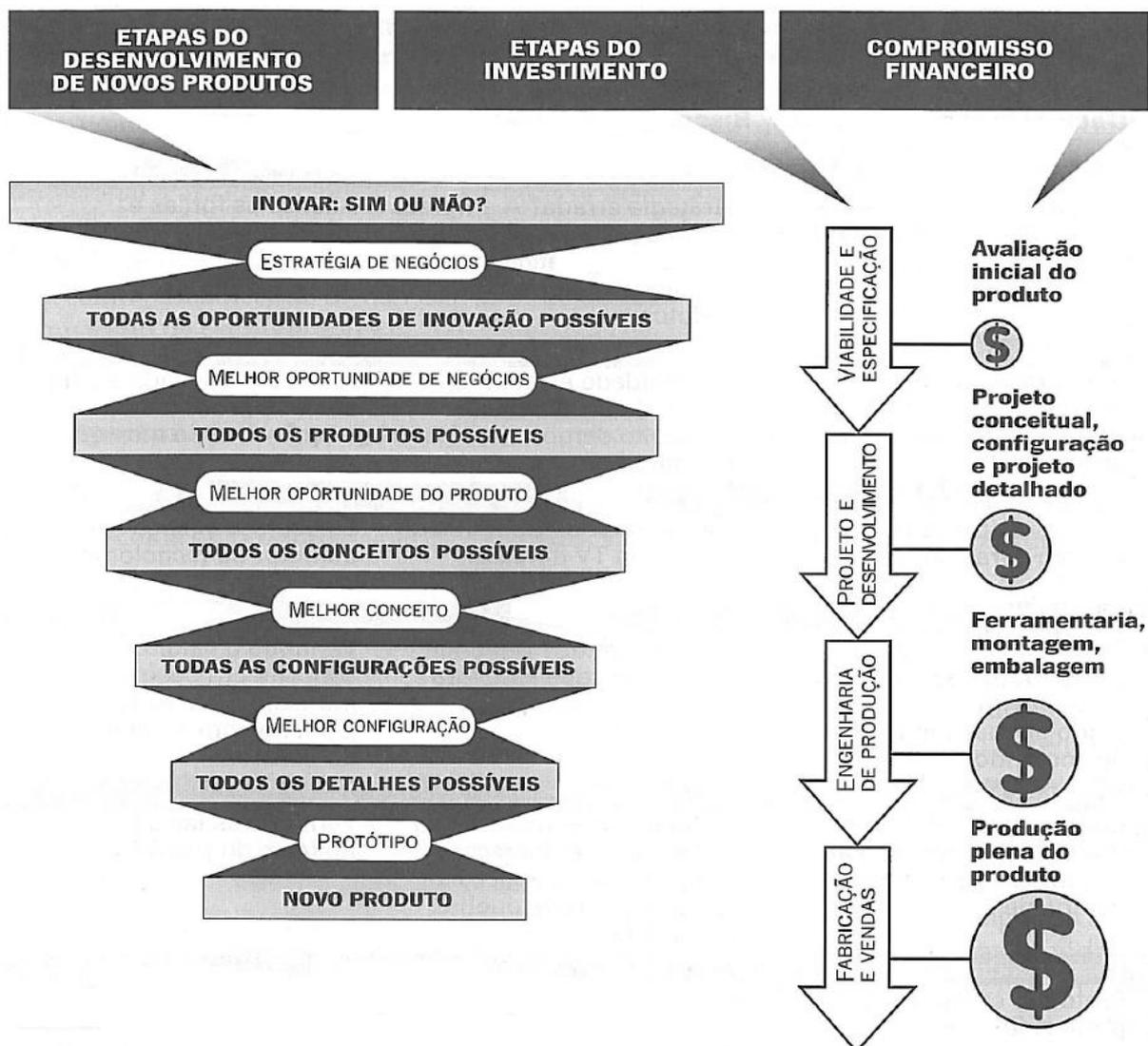
O processo de desenvolvimento genérico de produtos pode ser considerado como a criação inicial de um conjunto de conceitos de produto alternativo e então, posteriormente, reduzir as alternativas e aumentar as especificações do produto até que se tenha confiança de fabricá-lo. Ulrich (1995) divide o processo de desenvolvimento genérico em cinco fases como é mostrado na Figura 1.



**Figura 1 - Modelo de PDP**

**Fonte: Adaptado de Ulrich e Eppinger, 1995.**

Para garantir que as etapas pré-definidas de conceito inicial, projeto de produto, análise de falhas e refinamento, possam ser cumpridas e executadas corretamente, pode-se utilizar sequências lógicas de desenvolvimento do produto, tais como o funil de decisões (Figura 2) indicado por Baxter (2000).



**Figura 2 – Funil de decisões**

Fonte: Adaptado Baxter, 2000.

Esta ferramenta pode ser aplicada nos mais diversos tipos de desenvolvimento de produto somente suprimindo a necessidade do projetista e do produto a ser desenvolvido.

No caso aqui apresentado, o funil de decisões serve como base para a tomada de decisões e redução de incertezas referentes ao investimento financeiro, seleção de materiais, requisitos de carga de trabalho, sistema de acionamento e funcionamento e o projeto conceitual em si. Com o uso deste fluxograma, torna-se possível manter um desenvolvimento linear e evita que o projeto apresente uma execução lenta, desordenada e que possa apresentar falhas não observadas pelo projetista.

## 2.3 ESTRUTURAS METÁLICAS

Um projeto seja qual característica apresentar, deve necessariamente apresentar uma “base”, fundação ou estrutura, responsável pela alocação de componentes e particularidades de cada projeto proposto. Esta estrutural serve como meio de suporte para a realização da tarefa requerida.

O projeto de uma estrutura metálica consiste em um processo delicado de identificar um problema e apresentar soluções e alternativas para saná-lo. Este processo se estabelece pela análise de opções disponíveis e viabilidade destas, assim como projetar a estrutura, realizar levantamento de material fabril e a mão de obra necessária e capacitada para a sua construção. A partir desta premissa, Neto (2007), diz que a solução utilizada deverá atender aos requisitos das normas pertinentes, assim com a sua estética, desempenho estrutural e durabilidade, entre outros fatores.

O projeto e viabilização para a construção de uma estrutura metálica é um processo que exige certas observações e capacitação para a sua execução; deve-se analisar e estudar as normas que regem tais tarefas e, caso o projeto apresente caráter especial, é necessário cuidado redobrado quando aos esforços suportados e sofridos pela estrutura projetada. Segundo Santos (1977), para a execução dos trabalhos dessa natureza, é necessário o conhecimento dos processos de construção, além de se manter informado dos últimos avanços da tecnologia desta área, evitando assim, o custo extensivo em projetos de caráter simplório ou a má coleta de dados e, conseqüentemente, o projeto falho.

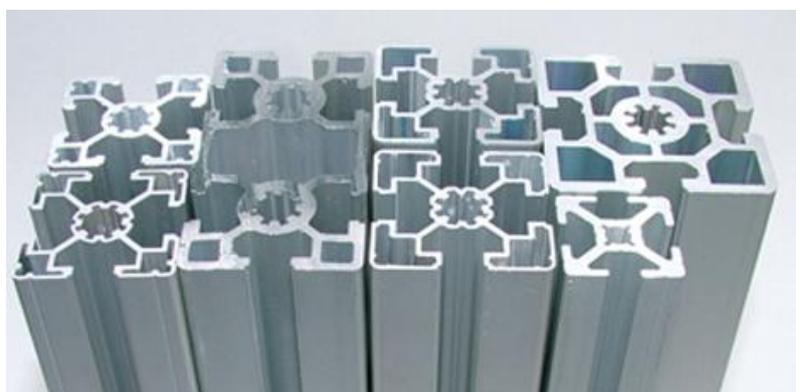
Para se evitar que o projeto da estrutura apresente falhas e que interfira diretamente no decorrer de todo o conjunto, deve-se utilizar ou criar linhas de desenvolvimento de projeto/produto para que se possa manter uma linearidade neste processo. Santos (1977) escreve que a solução de cada fase segue uma sequência lógica e que a cada passo deve ser analisada a natureza de cada problema. O projetista deve estudar as técnicas requeridas para o desempenho dos trabalhos, as normas que regem cada fase do pré-projeto, efetuar a padronização dos materiais, analisar a intensidade das cargas e sua duração, se há ação dinâmica e o local onde atuarão.

## 2.4 PERFIS EXTRUDADOS

Partindo da premissa do projeto estrutural e seguindo fatores facilitadores de montagem, com recursos comercialmente acessíveis e os pré-requisitos estipulados na fase de pré-projeto, pode-se selecionar como componente primário da estrutura, os perfis de alumínio extrudados.

Este tipo de componente estrutural apresenta características correspondentes com os requisitos do projeto e se apresentam como sendo a solução mais viável comercialmente, devido ao fato de possuírem perfis pré-parametrizados para os mais diversos arranjos de montagem e serem de fácil aquisição e manuseio.

Conforme análise de projeto e especificações do produto pode-se partir de componentes de perfil especial, que além de leves e resistentes, possuem geometria própria para facilitar montagens de estrutura. A Figura 3 mostra alguns exemplos destes tipos de perfil e permite ao projetista selecionar o mais adequado para iniciar o projeto e posteriormente adequar a escolha ao que melhor atende as necessidades e expectativas do mesmo.



**Figura 3 – Perfis Extrudados**

**Fonte: Adaptado de orb.com.br**

Santos (1977) escreve em seu livro, que as construções em estruturas metálicas são na sua grande maioria construídas de forma padronizada, que possuem formas e dimensões, cada um projetado para a sua função, de forma a ser barato, resistente, de fácil manuseio, assim como a sua estética.

Utilizando os perfis indicados, podem-se garantir os primeiros requisitos estipulados para projeto. Atendendo a exigência de ser uma estrutura leve, de fácil

manuseio e manutenção, e comercialmente acessível, tanto financeiramente quanto disponibilidade de fornecedores.

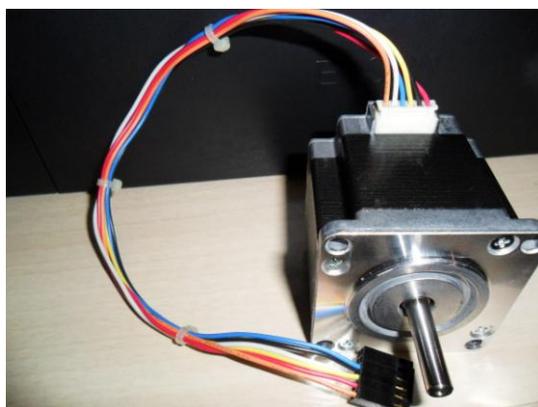
## 2.5 MOTORES DE PASSO E SERVO-MOTORES

### 2.5.1 Introdução aos Motores de Passo

Para a execução do movimento requerido no dispositivo, deve-se considerar a seleção de um motor que consiga atender os requisitos estipulados no projeto e que não cause grandes interferências quanto aos demais fatores (peso total da estrutura, instabilidade estrutural, etc.).

O tipo adequado de motor para esta aplicação e que se encaixa nos requisitos necessários de posicionamento preciso e movimento controlado, é o motor de passo, já que este possui em sua estrutura, elementos que permitem o controle de movimento de rotação com certo grau de precisão e permite, junto a elementos de controle, sua operação remota.

Pode-se definir um motor de passo ou servo-motor como sendo um motor de posicionamento controlado. Este tipo de dispositivo nada mais é que um transdutor que converte energia elétrica em movimento controlado através de pulsos elétricos, o que possibilita o controle de posicionamento por “passo”, onde passo pode ser caracterizado como sendo o menor deslocamento angular desejado que é realizado pelo eixo. Um motor de passo simples pode ser exemplificado pela Figura 4.



**Figura 4 – Rotor Motor de Passo**

**Fonte: Referência 01**

Estes motores se tornaram cada vez mais comum e abrangeram diversas aplicações principalmente devido ao seu tamanho reduzido, baixo custo, alto torque e também pela adaptabilidade com controladores digitais. Outra vantagem do motor de passo em relação aos outros motores é a estabilidade, que pode ser alcançada devido ao posicionamento controlado por pulsos.

Quando se precisa obter uma rotação especificada e com determinado posicionamento angular, calcula-se o número de rotação por pulsos elétricos, o que possibilita certo grau de precisão no movimento. Outros tipos de motores apresentavam falhas e ultrapassavam o ponto de posicionamento pré-selecionado e, para reposicioná-los, precisava-se de realimentação negativa; isto se deve ao fato que estes tipos de motores não usam passos para posicionamento angular e, por consequência, possuem maior inércia de movimento e imprecisão de posição, criando instabilidades no movimento desejado.

Os motores de passo são classificados pelo torque que produzem. Para atingir todo o seu torque, suas bobinas devem receber a corrente máxima durante cada passo. Para que isso seja possível, devem-se inserir nos controladores circuitos reguladores de corrente que permitam a alimentação desejada nas bobinas do motor.

Para entender o funcionamento deste tipo de dispositivo e tipos de motores de passo existentes, alguns outros componentes devem ser conhecidos.

#### 2.5.1.1 ROTOR

A Figura 5 demonstra basicamente o arranjo denominado rotor; este pode ser compreendido como sendo um eixo-imã que rotaciona na parte móvel do motor e é parte fundamental no controle de posicionamento e transmissão de torque para o conjunto.

Devido ao eixo apresentar regiões imantadas torna-se possível posicioná-lo com precisão. Para isto, utilizam-se bobinas que criam campos eletromagnéticos que são ativados e desativados conforme o acionamento do motor.

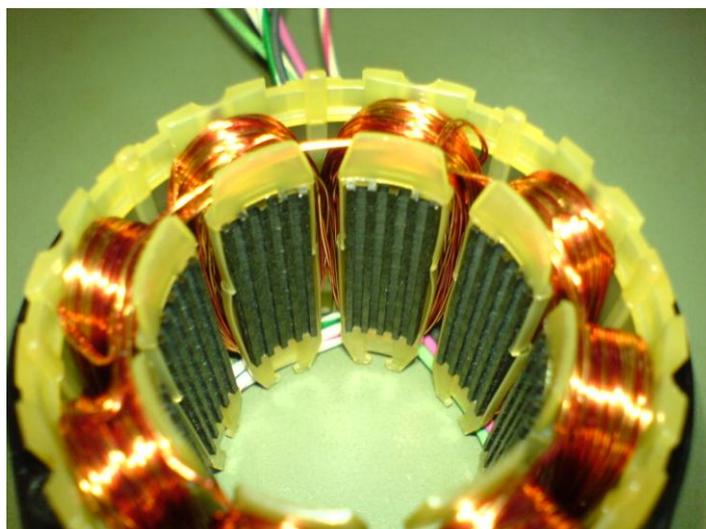


**Figura 5 – Rotor Motor de Passo**

Fonte: Referência 01

#### 2.5.1.2 ESTATOR

O estator é o componente fixo onde fios de cobre são enrolados para formar as bobinas, e para criar uma passagem para a corrente elétrica do motor de passo, para que, conseqüentemente, seja possível atrair o eixo imantado e realizar o posicionamento do mesmo. Considera-se como estator o arranjo apresentado na Figura 6.



**Figura 6 – Estator do Motor de Passo**

Fonte: Referência 01

### 2.5.2 Parâmetros de Seleção

Para a seleção de um motor de passo e para sua correta aplicação, devem-se considerar diversos fatores presentes neste tipo de componente. Para garantir um arranjo correto de motor e requisitos de projeto, alguns parâmetros podem ser analisados, evitando assim a escolha inadequada para a operação exigida e, como no caso deste trabalho, podendo sobrecarregar o sistema com sobrepeso ou inserir um motor com baixo torque que não atenda a necessidade requerida. Para estes parâmetros de avaliação pode-se considerar como os mais críticos para o projeto os seguintes:

#### a. Grau por Passo

O grau por passo é uma designação utilizada para determinar o menor movimento angular o qual o motor realizará recebendo um pulso elétrico. Esta é a característica principal neste tipo de motor. O número de graus por passo está diretamente ligado ao número de passos por rotação.

Esta característica é designada como resolução e os valores mais comuns para esta característica e que são encontrados comercialmente são: 0.72, 1.8, 3.6, 7.5, 15 e até 90 graus.

#### b. Momento de Frenagem

Característica que indica a capacidade do rotor manter seu posicionamento e que pode ser definida como sendo o momento máximo suportado quando o rotor está bloqueado, sem perda de passos.

#### c. Momento Torque

É definido como sendo o efeito rotativo de uma força aplicada, medida a partir do produto da mesma pela distância perpendicular até o ponto que ela atua partindo de sua linha de ação. Esta característica é de extrema importância para a definição do projeto, pois é este parâmetro que indica se o dispositivo proposto serve para a aplicação proposta.

#### d. Momento de Inércia

É o parâmetro apresentado pelo motor de passo em que indica a resistência mecânica oferecida por este ao movimento angular.

#### e. Resposta de Passo

É definido como sendo o parâmetro responsável por indicar o tempo que o motor gasta para executar o comando a ele apresentado. Com este parâmetro pode-se estimar o tempo de acionamento do dispositivo proposto.

#### f. Tensão de trabalho

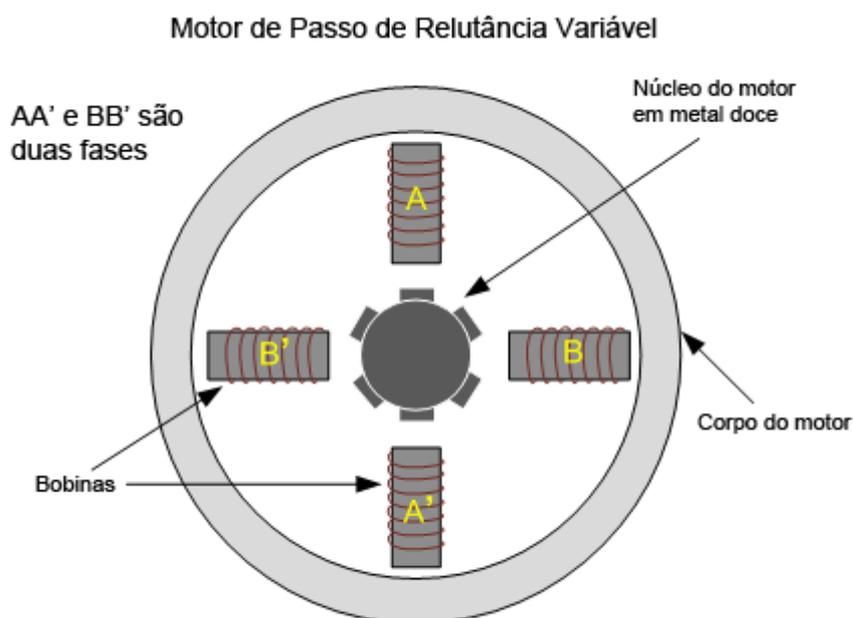
A tensão de trabalho é um parâmetro fundamental para se definir o torque do componente. Tensões de trabalho acima das indicadas tendem a aumentar a velocidade do motor e o torque do mesmo, porque nestas condições, é possível trabalhar com frequências mais altas sem perder a referência (perda de passo).

Este princípio ocorre semelhante em um motor de tensão alternada quando ligado a um inversor de frequência. Quando se aumenta a frequência para aumentar a velocidade, conseqüentemente abaixa-se o torque, isto funciona também com o motor de passo, mas para compensar esta perda no torque, aumenta-se a velocidade nominal indicado pelo fabricante.

### 2.5.3 Tipos de Motores de Passo

#### a) Relutância Variável

Este tipo de motor consiste de um rotor de ferro, com múltiplos dentes e um estator laminado com enrolamentos. Por não possuir ímã, quando energizado apresenta torque estático nulo. Quando os enrolamentos do estator são energizados com corrente, os polos ficam magnetizados e, com isto, os dentes do rotor são atraídos para os polos do estator energizado causando a rotação do eixo. Este tipo de motor pode ser exemplificado conforme a Figura 7.



Repare que os dentes do rotor são concebidos de forma que quando estão alinhados a uma fase, eles ficam desalinhados para a outra

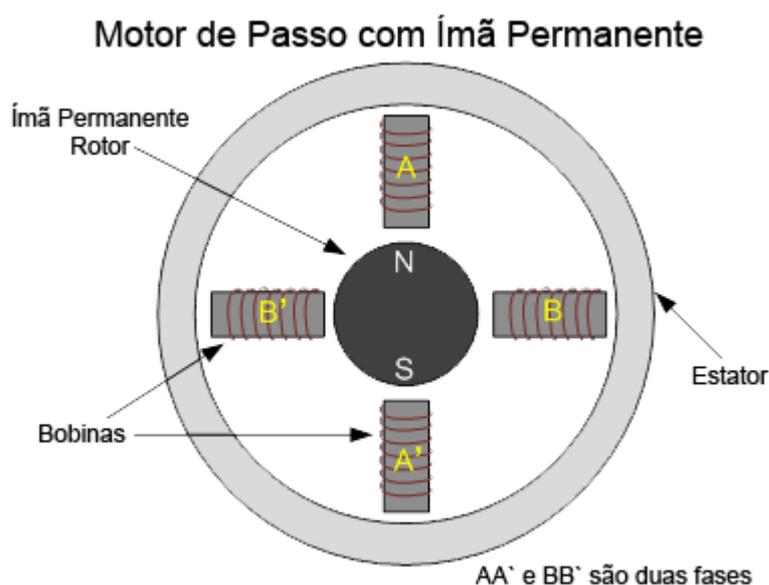
**Figura 7 – Motor de Passo com Relutância Variável**

Fonte: Referência 02

#### b) Ímã Permanente

O motor de passo com a denominação de ímã permanente pode ser compreendido com sendo um rotor que não apresentava dentes em sua estrutura e, sim, ímãs permanentes. Os polos magnetizados do rotor são responsáveis pela

rotação e são capazes de prover um maior fluxo magnético e, por esta razão, o motor de ímã permanente é capaz de exercer maior torque do que o de relutância variável. A Figura 8 apresenta um perfil básico do motor com ímãs permanentes:



**Figura 8 – Motor de Passo com Ímã Permanente**

Fonte: Referência 02

### c) Híbrido

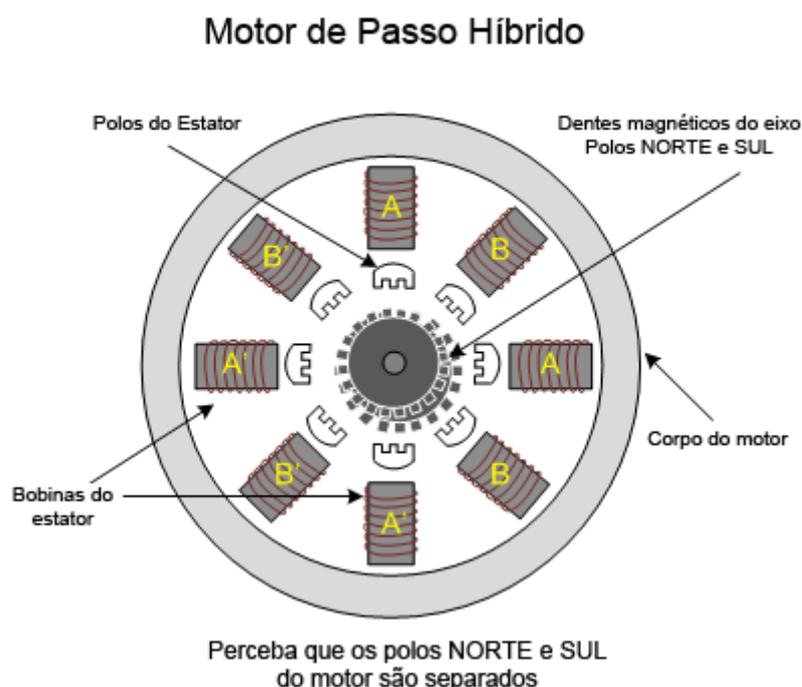
Este tipo de motor consegue apresentar melhor desempenho com respeito à resolução de passo, torque e velocidade. Apresenta grande precisão de posicionamento, podendo alcançar valores próximos a 3% de imprecisão, apresenta boa relação torque/tamanho e deslocamento angular de pequenas faixas.

O motor híbrido combina as melhores características dos motores de ímã permanente e motor de relutância variável.

O rotor de um motor de passo híbrido apresenta a característica de ser ímã permanente ao redor do seu eixo e magnetizado axialmente, mas também apresenta geometria dentada como no motor de relutância variável. Os dentes presentes no rotor permitem um melhor “caminho” que guia o fluxo magnético para locais preferidos no espaço que existe entre o rotor e estator. Para que o rotor avance um passo é necessário que a polaridade magnética de um dente do estator se alinhe com a polaridade magnética oposta de um dente do rotor, fazendo assim com que

este motor apresente a melhor característica de posicionamento dentre os 3 principais tipos apresentados.

Este tipo de motor pode ser melhor compreendido, analisando a Figura 9.



**Figura 9 – Motor de Passo Híbrido**

Fonte: Referência 02

#### 2.5.4 Vantagens na utilização de Motores de Passo

Os motores de passo, devido suas características únicas, possuem diversas vantagens em relação aos outros tipos de motores convencionais disponíveis. Dentre estas, podemos citar algumas como sendo as principais, são elas:

- Este tipo de motor segue uma lógica digital, pois seu acionamento é feito através de pulsos elétricos que ativam as suas bobinas, fazendo o rotor se alinharem com as mesmas e fazendo com que ocorra a rotação desejada.
- Possuem alta precisão de posicionamento, já que estes podem apresentar a “segmentação” desejada entre passo e se movimentar em ângulos determinados.

- Apresentam precisão no torque aplicado, devido à possibilidade de controlar a corrente que flui nas bobinas do estator.
- O movimento que um motor de passo produz é resultado das ativações em sequência de suas bobinas. A resposta para tais solicitações de aceleração e desaceleração é rápida, pois o rotor se alinha rapidamente com as bobinas que se encontram energizadas.

### 2.5.5 Exemplos de Aplicação e Seleção

O motor de passo é recomendado no uso em equipamentos que exigem um posicionamento preciso de erro pequeno e não cumulativo. Este tipo de motor é comumente aplicado para controle preciso de movimento, quando é necessária ação rápida e movimento controlado.

Alguns exemplos de aplicação destes motores são encontrados em sistemas como scanners, impressoras, limpadores de para-brisas, braços robóticos etc.

Para a aplicação neste caso, deve-se considerar um motor simples, que não o arranjo estrutural, que seja capaz de prover a força necessária para gerar o movimento necessário e que seja capaz de interagir e se comunicar adequadamente com os sistemas de controle.

Neste projeto foram analisados diversos tipos de motores e seus parâmetros principais (peso total, tensão, torque gerado, versatilidade, etc.) e selecionado o que mais se encaixava nos requisitos do projeto e no orçamento estipulado. O motor selecionado foi o motor KALATEC 5034-350-F (Figura 10), por possuir especificações que se enquadram e atendem as exigências.

<u>Características Principais</u>	
Ângulo por Passo	1,8°
Fases	2,0
Voltagem	12 V
Torque	4,70 N.m
Corrente	0,33 A
Diâmetro do eixo	9,52 mm
Peso	3,5 Kg

**Quadro 1 – Características do Motor de Passo Selecionado**

**Fonte: Autoria Própria**



**Figura 10 – Motor de Passo Selecionado**

**Fonte: Referência 03**

Um cálculo supondo uma carga de 12,5 Kg (carga máxima de trabalho) aplicada a uma distância de 0,30 m do centro de giro do braço (desconsiderando o sistema de polias projetado para dividir a carga aplicada) resultará em um torque exigido de aproximadamente 3,75 N.m que é inferior ao que o motor pode desempenhar, validando sua seleção.

## 2.6 PROTOCOLO ARDUÍNO

A engenharia e a automação, com o decorrer dos anos, passaram por diversas transformações. Os atuadores e o uso da eletrônica para a automação de processos são tecnologias provenientes dessa evolução e, atualmente, surgiram outros componentes que beneficiaram este desenvolvimento, os microcontroladores.

Segundo Deshmukh (2005), um micro controlador é um sistema microprocessado encapsulado em um único chip, com memórias, *clock* e periféricos mais limitados que um computador. O uso desses circuitos integrados não somente reduz custo da automação como também propicia mais flexibilidade no arranjo eletrônico.

Para este tipo de microcontroladores existem diversas plataformas de comunicação de dados, mas o abordado neste trabalho e um dos que mais se destaca atualmente, é o protocolo Arduíno.

Para Margolis (2011), o Arduíno trata-se de uma plataforma de prototipagem aberta baseada em hardware e software flexíveis e de fácil utilização, desenvolvido para ser fácil para iniciantes que não possuem experiência com desenvolvimento de software ou eletrônica.

O uso desse tipo de plataforma de comunicação de dados se deve a diversos fatores, os quais facilitam o controle de processos e equipamentos, dentre eles, pode-se citar:

- Flexibilidade de arranjos eletrônicos;
- Baixo custo para aquisição, instalação e manutenção do mesmo;
- Praticidade no controle de processo;
- Confiabilidade na transmissão e recepção de dados a distâncias moderadas.

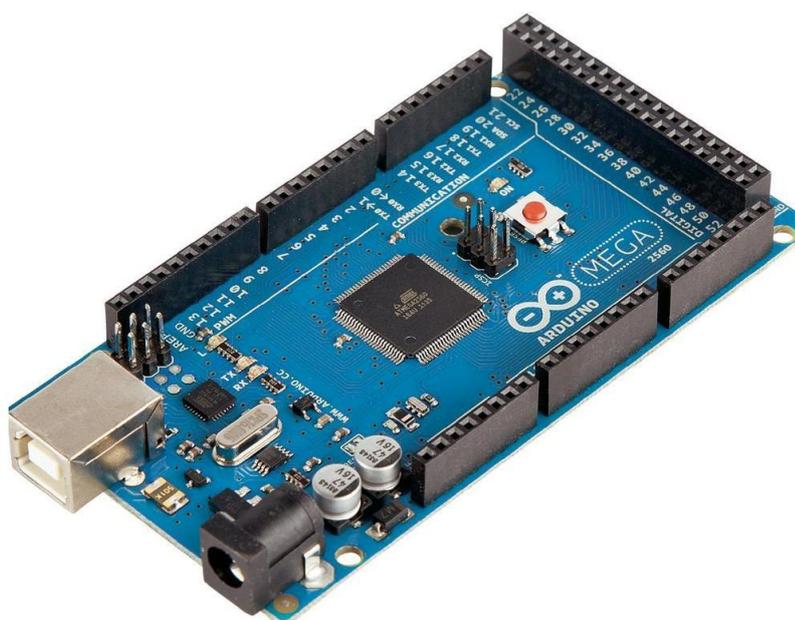
Segundo McRoberts (2011), o uso da plataforma Arduíno tem como maior vantagem, a facilidade de sua utilização. Pode-se citar também a considerável facilidade em se encontrar programações partilhadas, que permitem aos usuários desse tipo de plataforma copiar sistemas semelhantes e modificá-los conforme necessidades e/ou exigências.

Para McRoberts (2011), o Arduíno consiste em um micro controlador de placa única e um conjunto de software para programá-lo. O hardware é composto de um processador Atmel AVR, um cristal oscilador e um regulador linear de 5 volts. A placa expõe os pinos de entrada e saída em um encaixe padrão para que se possam conectar circuitos externos que agregam novas funcionalidades.

O *software* trata-se de uma linguagem de programação para desenvolvimento do *software* do micro controlador e do gerenciador de inicialização (*bootloader*) que é executado na placa.

Atualmente existe uma grande diversidade de placas Arduíno comerciais. Cada qual com características diferentes uma das outras, como velocidade (*clock*), memórias, pinos de entrada e saída, etc. Uma característica, porém, é comum entre as várias versões: esta é o custo relativamente baixo e a flexibilidade de arranjos possíveis destes componentes.

Neste projeto, a placa Arduíno que será utilizada é a Arduíno Mega 2560. Dentre as principais características deste componente está o uso do micro controlador AT mega 2560, tensão de operação de 5 Volts, 54 pinos de entradas e saídas digitais, 16 pinos de entradas e saídas analógicas, 256 KB de memória flash, 8 KB de SRAM, 4 KB de EEPROM e velocidade de *clock* de 16 MHz. Segue a Figura 11, para apresentação do componente.



**Figura 11 – Placa Arduino Mega**

**Fonte: Referência 04**

### 2.6.1 Shields

É possível inserir novas funcionalidades à placa Arduino conectando placas adicionais chamadas *Shields*. Os *Shields* podem ser definidos basicamente como sendo placas externas que podem ser plugadas sobre o Arduino com a intenção de aumentar sua capacidade ou especificar uma função. Estes tipos de componentes possuem as mais diversas funcionalidades e podem ser utilizados para os mais diversos tipos de arranjos possíveis. Estas placas podem conter, por exemplo, displays de LCD, sensores de movimento, acelerômetros, módulos de comunicação, etc.

O Arduino possui a capacidade de processar informações e dessa forma, controlar dispositivos bastando para isso, programá-lo através do computador. Com o auxílio do *shield* este “processamento e controle” se torna mais fácil e permite arranjos mais complexos, assim como, torna-se possível a transmissão de dados em longas distâncias e o controle remoto de dispositivos.

O *shield* previamente selecionado para o projeto é o XbeePro 900HP, que possui capacidade de transmissão de dados em distâncias de até 45 quilômetros quando há visada (ultrapassando o requisito inicial do cliente) e de mais de 610 metros quando a obstrução (paredes, chapas metálicas espessas, etc.). O *shield* (Figura 12) é acoplado sobre o Arduino e pode apresentar em sua configuração uma antena para extensão do alcance da função transmissor-receptor.

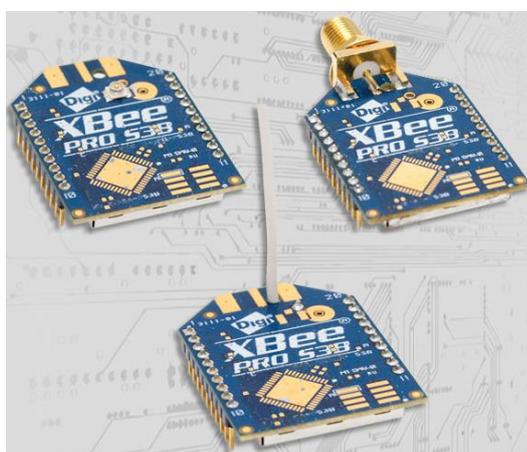


Figura 12 – Shield Xbee PRO900HP

Fonte: Referência 05

## 2.7 PROTOCOLO ZIGBEE

A criação de redes de comunicação sem fio pode ser feita utilizando uma grande variedade de protocolos de radiofrequência. Um dos protocolos mais comuns para a transmissão de dados é o *ZigBee*.

A tecnologia *ZigBee* é uma tecnologia comparada as redes *Wi-Fi* e *Bluetooth* e diferencia-se destas por desenvolver menor consumo e apresentar uma configuração de comunicação que pode ser repetida sucessivamente entre duas unidades ou por demais unidades existentes na rede até atingir o destino final do receptor.

Devido a esta tecnologia apresentar um protocolo relativamente simples o desenvolvimento do código de programação é simplificado, fazendo com que o desenvolvimento de aplicações seja bem reduzido e interessante para diversas aplicações. Outro fator que simplifica o desenvolvimento de aplicações é o fato de não haver inúmeros modos de funcionamento à escolha, mas sim, apenas dois estados tanto para envio como para recepção de dados.

Este protocolo pode ser chamado de um protocolo tipo *standard* na indústria de comunicação e transmissão de dados. O *ZigBee* tem sua base sobre o protocolo IEEE 802.15.4, que é a base sobre o qual foi desenvolvido o *ZigBee*.

### 2.7.1 Protocolo IEEE 802.15.4

O IEEE 802.15.4 é um protocolo para o estabelecimento de comunicações *wireless* desenvolvido pelo IEEE (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos).

O IEEE 802.15.4 foi desenvolvido para apresentar uma menor taxa de transmissão de dados, com fácil conectividade e consumo de energia reduzido.

O *ZigBee* utiliza este *standard* industrial como base para comunicação de dados e acrescenta uma função: a capacidade de estabelecer redes e de fazer *routing*.

O *ZigBee* trabalha com redes em malhas (*mesh networking*) e é principalmente utilizado em aplicações em que se pretende efetuar a transmissão de dados entre dois nós que estão fora do alcance um do outro. Deste modo, os dados



## 2.9 LÓGICA DA PROGRAMAÇÃO

A programação deste sistema segue uma lógica simples, porém indispensável para a aplicação proposta neste trabalho. O princípio basicamente trata da transmissão de dados via ondas de radiofrequência para acionar um dispositivo mecânico à distância. A lógica seguida é representada melhor pelo fluxograma da figura 14.

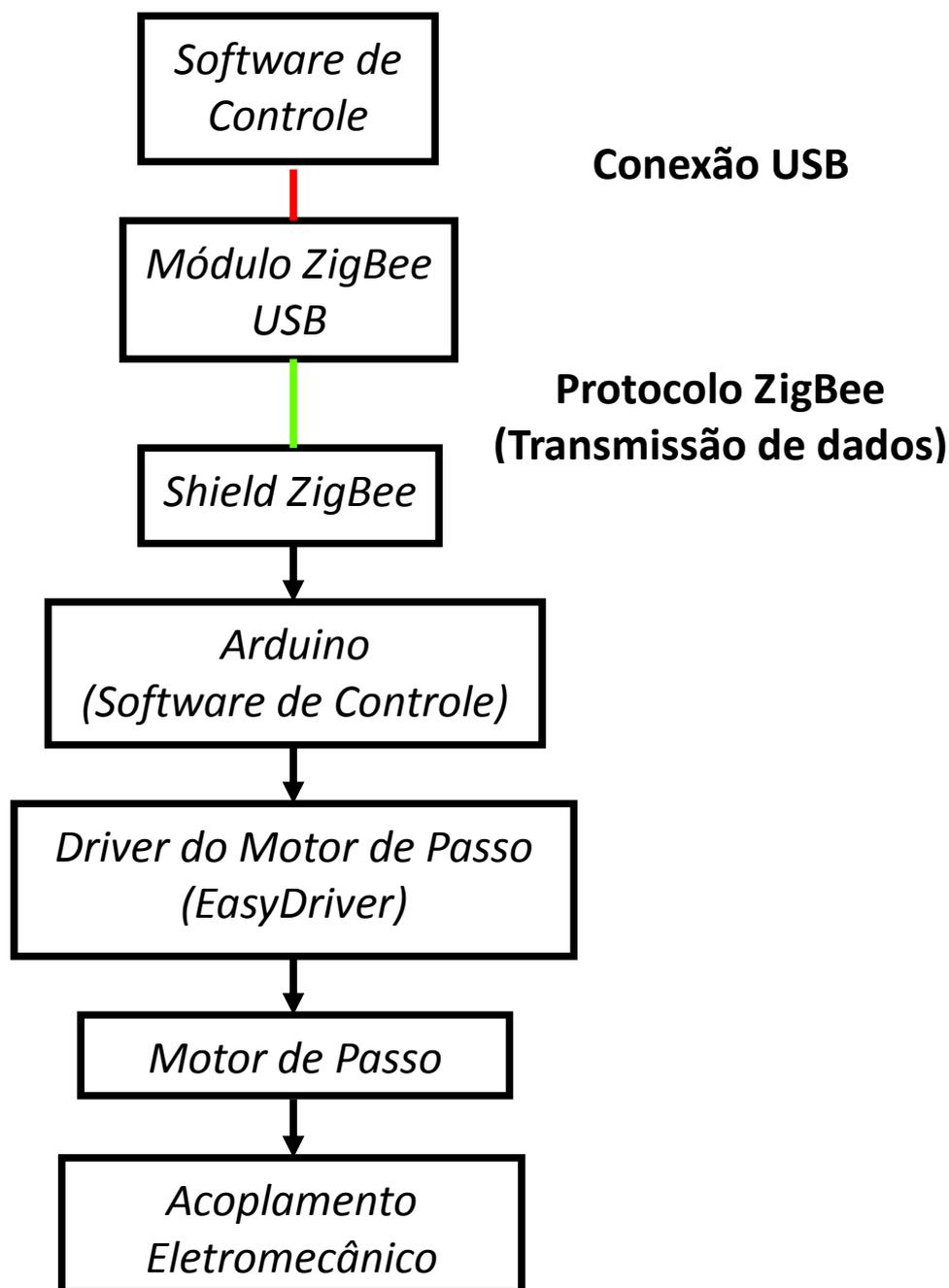


Figura 14 – Fluxograma do sistema

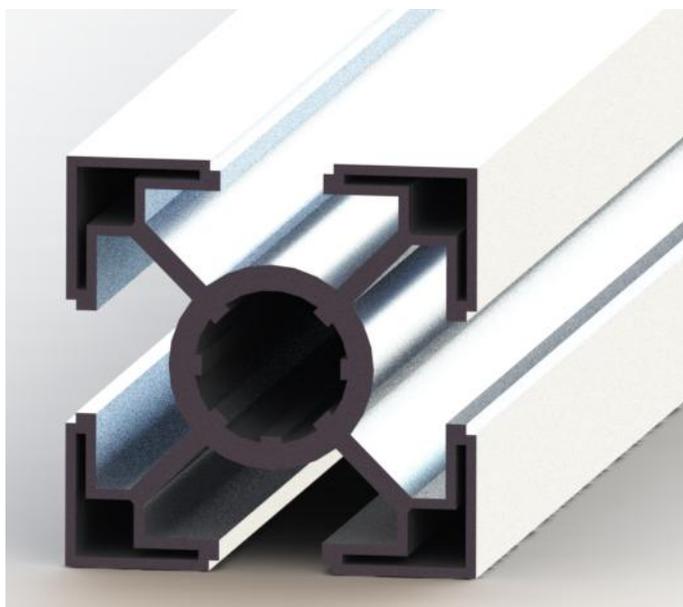
Fonte: Autoria Própria

### 3 MATERIAS E MÉTODOS

A pesquisa apresentada neste projeto tem como natureza ser uma pesquisa aplicada; o problema é qualitativo, em caráter exploratório. Quanto aos procedimentos técnicos pode ser classificada como uma pesquisa experimental, sendo o método científico, o dedutivo.

No desenvolvimento deste projeto, atendendo aos requisitos exigidos e visando o menor investimento possível, foram selecionados materiais de fácil fornecimento, na maioria, pré-moldados de fácil montagem, compostos basicamente de perfis extrudados em alumínio, chapas oxicortadas de aço inoxidável e chapas de acrílico para garantir que a montagem total será leve e de fácil manutenção e/ou reposição de peças.

A estrutura principal, denominada Quadro, é composta de perfis de alumínio extrudados, conforme a Figura 15, que permitem variados tipos de encaixes e montagens com o uso de parafusos especiais.

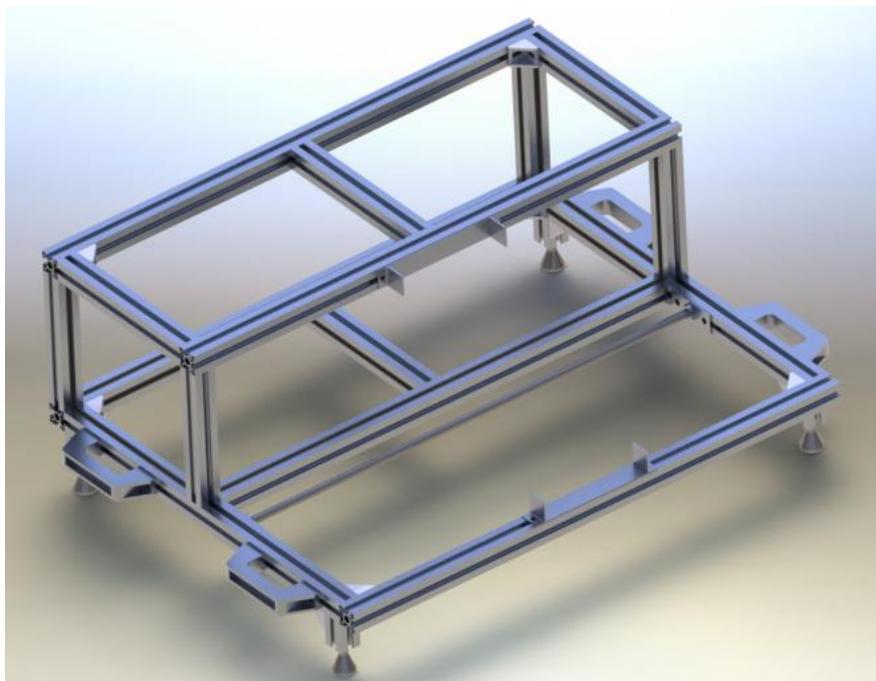


**Figura 15 – Perfil de Alumínio Extrudado**

**Fonte: Autoria Própria**

O quadro possui uma estrutura simples, para ser de fácil montagem e manutenção, além de leve devido ao uso do alumínio, o que facilita o

posicionamento e transporte do equipamento no campo de tiro. A estrutura proposta como base, pode ser representada conforme Figura 16.



**Figura 16 – Perfil de Alumínio Extrudado**

**Fonte: Autoria Própria**

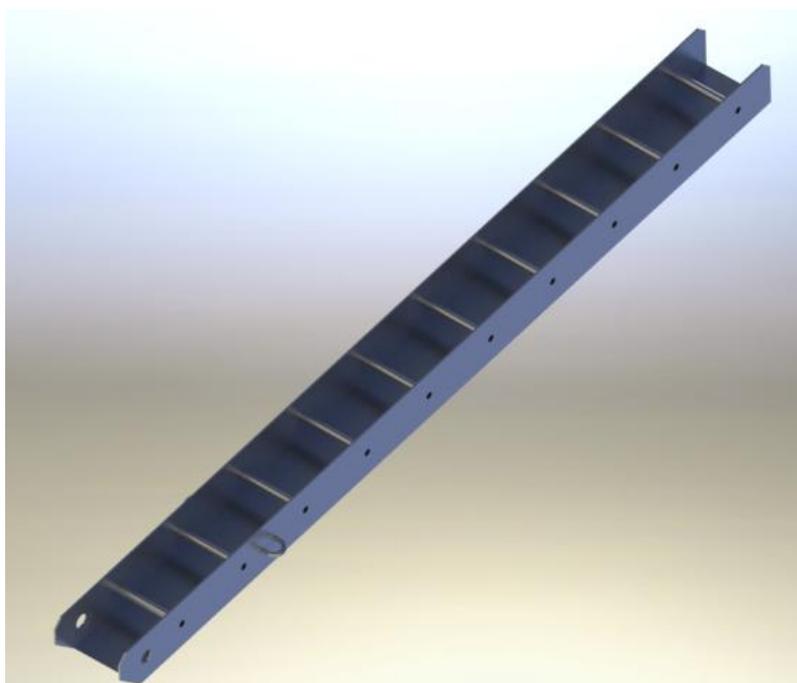
Para a fixação, foram usados parafusos especiais Allen M12 (Anexo A) pré-parametrizados para este tipo de perfil e que garantem uma fixação adequada para a carga exigida.

Após a fixação dos perfis e encaixe das placas de acrílico e aço inoxidável (responsáveis pela proteção externa do equipamento e carenagem do dispositivo), o conjunto recebeu tiras de borracha (Anexo A), que possuem perfil especial macho e fêmea com o perfil de alumínio, para dar acabamento estético, evitar acúmulo de água de chuva e/ou sujeira, e fixar as chapas nos devidos lugares.

Para sustentação e nivelamento do em campo, foi utilizado pés ajustáveis (Anexo A) com encaixe adequado para o tipo de perfil utilizado, reguláveis com uma haste roscada e uma contra porca M12, semelhante a um pé encontrado em máquinas de lavar.

Para viabilizar a manutenção do equipamento, utilizou-se duas dobradiças e uma chapa móvel responsável pelo fácil acesso aos componentes eletrônicos internos.

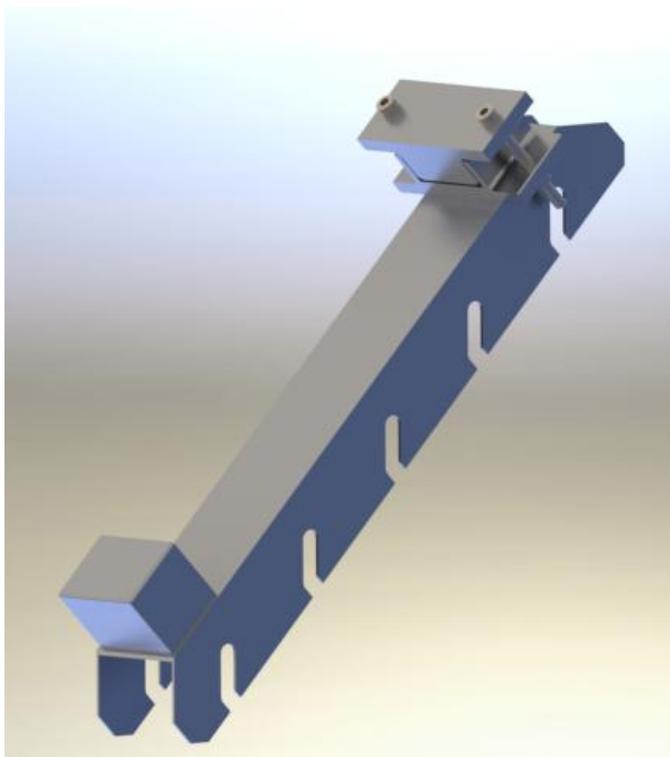
A estrutura secundária apresentada na Figura 17 pode ser denominada por “Braço”, possui a função de posicionamento do alvo nas diversas posições propostas, seja vertical ou angular, conforme escolha. Esta estrutura foi confeccionada em chapas de aço inoxidável com norma A304 oxicortado, escovado e, posteriormente conformado, garantindo a geometria especificada em projeto e elevada resistência às condições de operação, já que o dispositivo poderá ser posicionado em campo e permanecer lá por tempo indeterminado, ficando exposto às condições climáticas.



**Figura 17 – “Braço” da Estrutura**

**Fonte: Autoria Própria**

A terceira parte da estrutura, apresentada na Figura 18, possui como denominação “Prolongador do Braço” e é parte do dispositivo que garante a regulagem de altura e possui a função de fixação do alvo. Neste segmento do conjunto, o material também será em aço inoxidável oxicortado e conformado; esta estrutura apresenta um perfil recartilhado que permite o posicionamento manual do prolongador e a desmontagem parcial do equipamento e dois fixadores reguláveis usinados.



**Figura 18 – “Braço” da Estrutura**

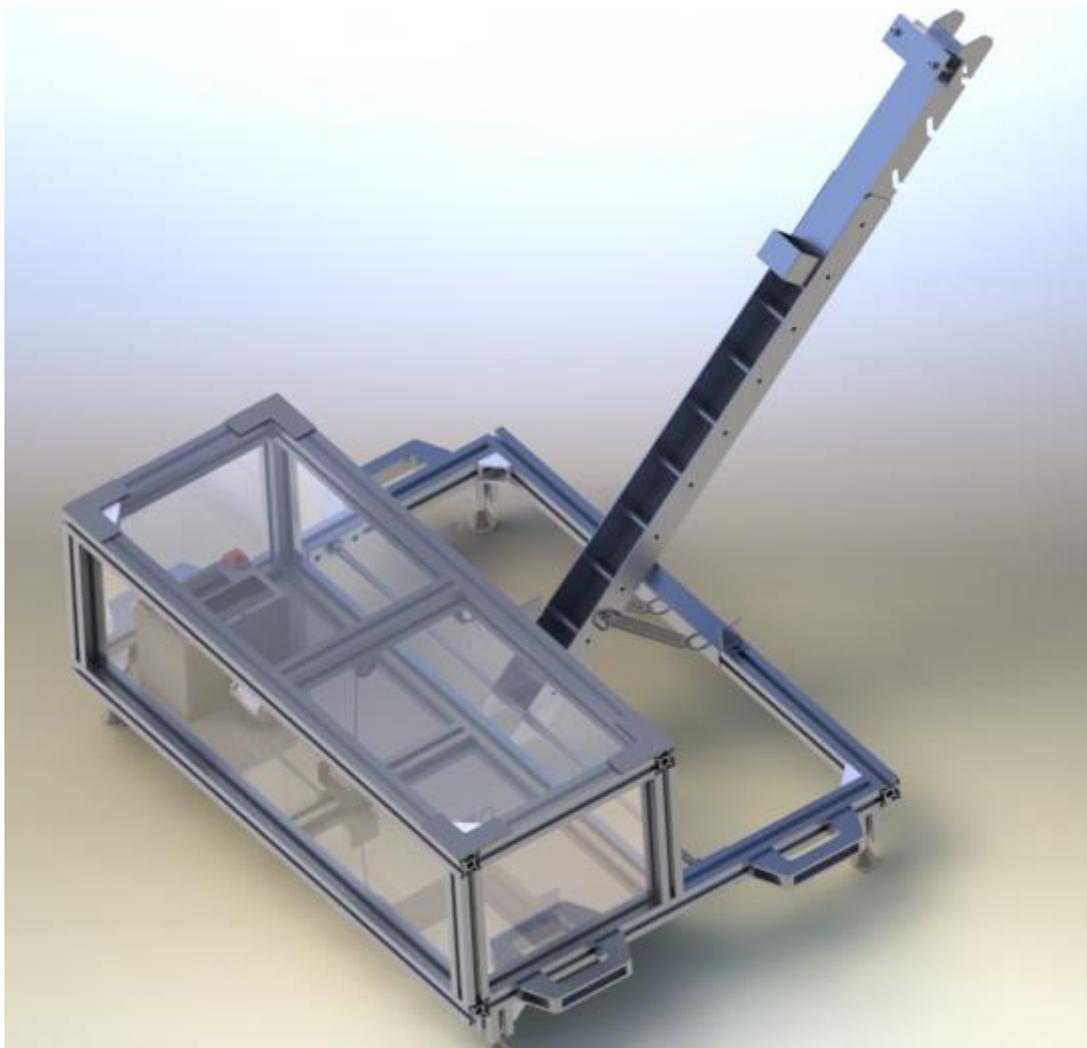
**Fonte: Autoria Própria**

Para o acionamento do dispositivo e posicionamento do alvo para treino, foi selecionado um motor de passo 12 volts (Anexo A) e uma bateria equivalente comum em motocicletas. Com este motor como acionador do movimento, se torna possível controlar com precisão a posição do braço, mais especificamente, a posição do alvo. Com isso é possível posicionar este equipamento em diversos tipos de terrenos e proporcionar níveis de dificuldade aos respectivos soldados em treino, abaixando ou levantando o alvo.

Para garantir este acionamento remotamente e dispensar a necessidade de posicionamento manual (caso atual), o dispositivo conta com duas placas Arduino, que programadas atuam com a função transmissor – receptor e permitem o acionamento do motor a grandes distâncias.

Quando acionado, o Prolongador do Braço, que estará posicionado sobre o perfil recortado do próprio Braço, será içado pelo motor conectado por um cabo e um sistema de polias, garantindo assim a estabilidade do movimento e a distribuição de forças de acionamento pela estrutura como um todo.

O dispositivo após a montagem e união dos componentes apresenta a seguinte configuração (Figura 19):



**Figura 19 – Estrutura Montada**

**Fonte: Autoria Própria**

### 3.1 ORÇAMENTOS

Para confecção do dispositivo proposto neste trabalho, foram realizados alguns orçamentos para analisar o custo real deste projeto e sua real viabilidade.

A Tabela 1 apresenta os valores mais economicamente viáveis encontrados. Estes valores se referem a um levantamento de custos realizados nos anos de 2013/2014.

Item	Descrição	Unidade	Qtd.	Valor Un.	Total (IPI)
1	Perfil de Alumínio 40x40 D12 R4	Pç (m)	5,70	R\$ 48,24	R\$ 274,97
2	Perfil de Alumínio 40x40 D12 R4	Pç (m)	3,30	R\$ 48,24	R\$ 159,19
3	Parafuso de fixação direita R10 M12x30	Un.	35,00	R\$ 1,80	R\$ 69,30
4	Parafuso cabeça martelo M8x25 R10	Un.	10,00	R\$ 2,00	R\$ 22,00
5	Porca Martelo M8 R10	Un.	10,00	R\$ 1,33	R\$ 14,63
6	Cantoneira de Alumínio Injetado R10 36x38x38	Un.	12,00	R\$ 6,95	R\$ 87,57
7	Sapata Base M12 d40	Un.	4,00	R\$ 14,84	R\$ 58,56
8	Puxador tipo Alça	Un.	4,00	R\$ 6,66	R\$ 30,64
9	Perfil para montagem de Chapa R10 - 3000mm	Un.	4,00	R\$ 7,13	R\$ 31,37
10	Perfil para cobertura de Ranhura R10 - 3000mm	Un.	2,00	R\$ 7,13	R\$ 15,69
11	Tampa de acabamento 40x40	Un.	8,00	R\$ 0,58	R\$ 5,34
12	Mosquetão de Aço	Un.	1,00	R\$ 22,29	R\$ 23,40
<b>Total</b>					<b>R\$ 792,65</b>

**Tabela 1 – Orçamento da Estrutura**

**Fonte: Autoria Própria**

Para os componentes adjacentes a estrutura os seguintes valores de orçamento foram encontrados:

#### **Prolongador do Braço**

- Chapa em aço inoxidável (Norma AISI 304).
- Acabamento escovado.
- Valor: R\$180,00

**Braço**

- Chapa em aço inoxidável (Norma AISI 304).
- Tubos em aço inoxidável soldas internamente.
- Acabamento escovado.
- Valor: R\$ 360,00.

**Bateria Interna Selada**

- Marca: UNIPOWER.
- Tensão: 12 V.
- Amperagem: 7 Ah.
- Valor: R\$ 50,00 a R\$ 70,00.

**Placa Arduíno Mega 2560**

- Para controle de motor de passo (4,6 ou 8 fios)
- Valor: R\$ 70,00 a R\$ 100,00

**Placa EasyDriver**

- Cabos de conexão USB.
- Valor: R\$ 75,00

**Xbee PRO 900 HP**

- Antena (Extensor de alcance).
- Valor: R\$ 200,00

O levantamento de custos para a aquisição dos componentes e confecção do projeto em totalidade, mostra de maneira mais clara a viabilidade do mesmo, visto que, o custo total para a fabricação fica no seu valor máximo em R\$ 1.777,65, valor muito abaixo do que se comparado com o equipamento atual, sem considerar que os dispositivos utilizados neste projeto são de fácil aquisição, manutenção e uso, tornando o projeto ainda de maior interesse comercial.

O motor de passo para este sistema tem seu valor variado dependendo da sua seleção, para o caso aqui apresentado o valor seria R\$ 200,00, o que resultaria em um valor total de projeto de 1977,65 reais.

## 3.2 SIMULAÇÕES E ANÁLISES DE FALHAS

Para validar todo o projeto conceitual, as decisões nele tomadas e permitir que o projeto final do dispositivo proposto atenda as necessidades previamente estipuladas, utilizaram-se softwares de modelagem.

Para a composição do projeto, análise de dimensionamento e geometria utilizou-se das ferramentas disponíveis no software Solidworks® e para posterior análise de esforços e cargas de trabalho, análise de ciclos de fadiga e requisitos necessários para o projeto, utilizou-se do software de modelagem Ansys®.

Com o desenho de CAD realizado pelo Solidworks® concluído, o desenho é importado para o Ansys® para realizar as aplicações das cargas e analisar os resultados dessas aplicações.

### 3.2.1 Braço da Estrutura

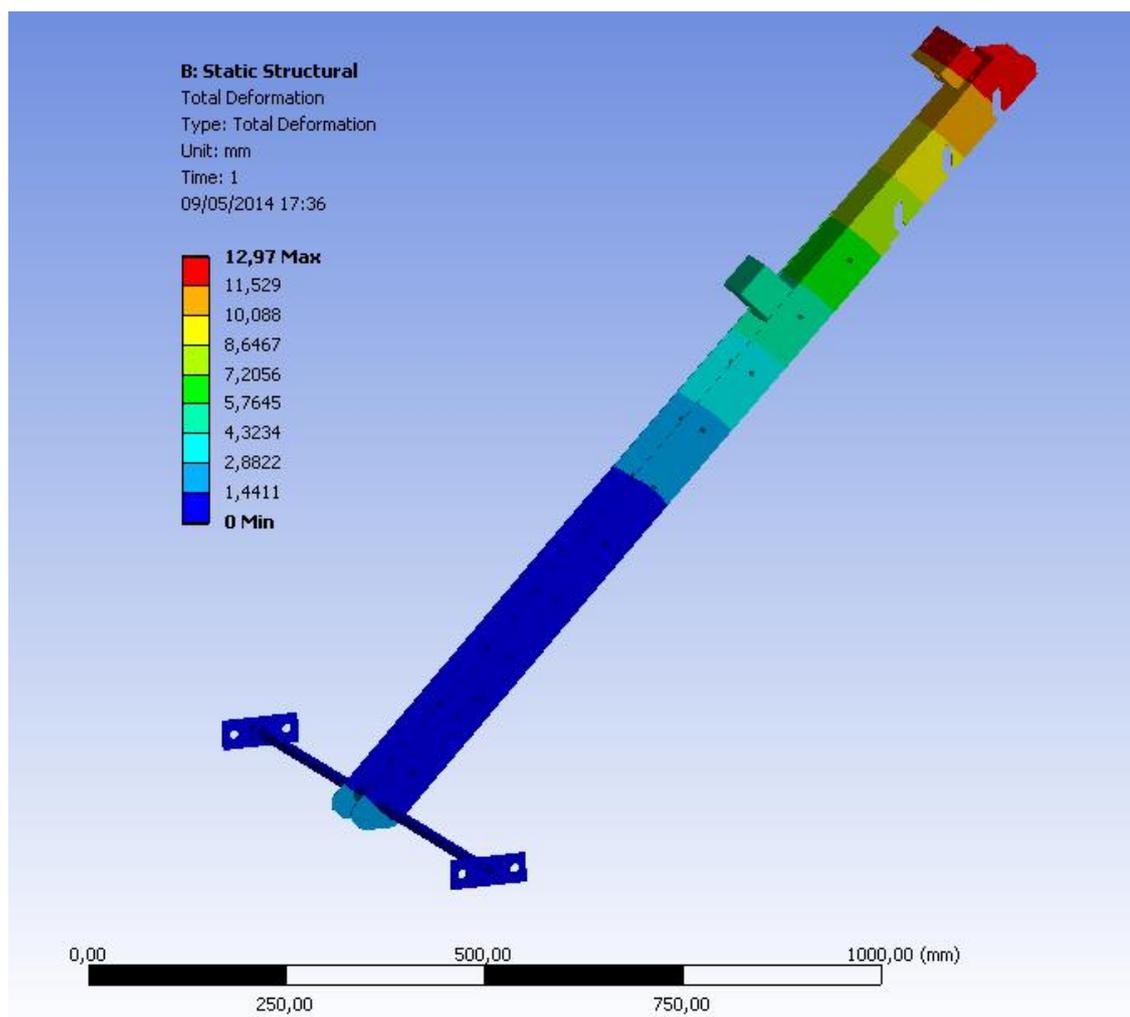
Foi realizada a análise de malhas; com essa análise podemos ter uma precisão melhor dos resultados da aplicação de carga e do pós-processamento, sendo que essa malha promove o refinamento dos resultados e permite a análise de falha no encontro entre materiais.

A partir dessa análise prévia, iniciaram-se as simulações para obtenção dos resultados de análise de falha com as aplicações das cargas sobre a estrutura. Primeiramente foi aplicada uma carga na extremidade do braço da estrutura e avaliado seu comportamento.

Para a realização das simulações, fez-se a suposição que seria aplicada a carga equivalente, a quase quatro vezes o maior alvo utilizado atualmente sobre o “braço” da estrutura, equivalente a uma massa de aproximadamente 40 kg.

Supondo que a ação da gravidade no local é de 10 N/m<sup>2</sup> a carga total variante aplicada sobre a estrutura é de 400 N.

Com esta carga aplicada, foram coletados os resultados conforme segue nas figuras a seguir e nos anexos.

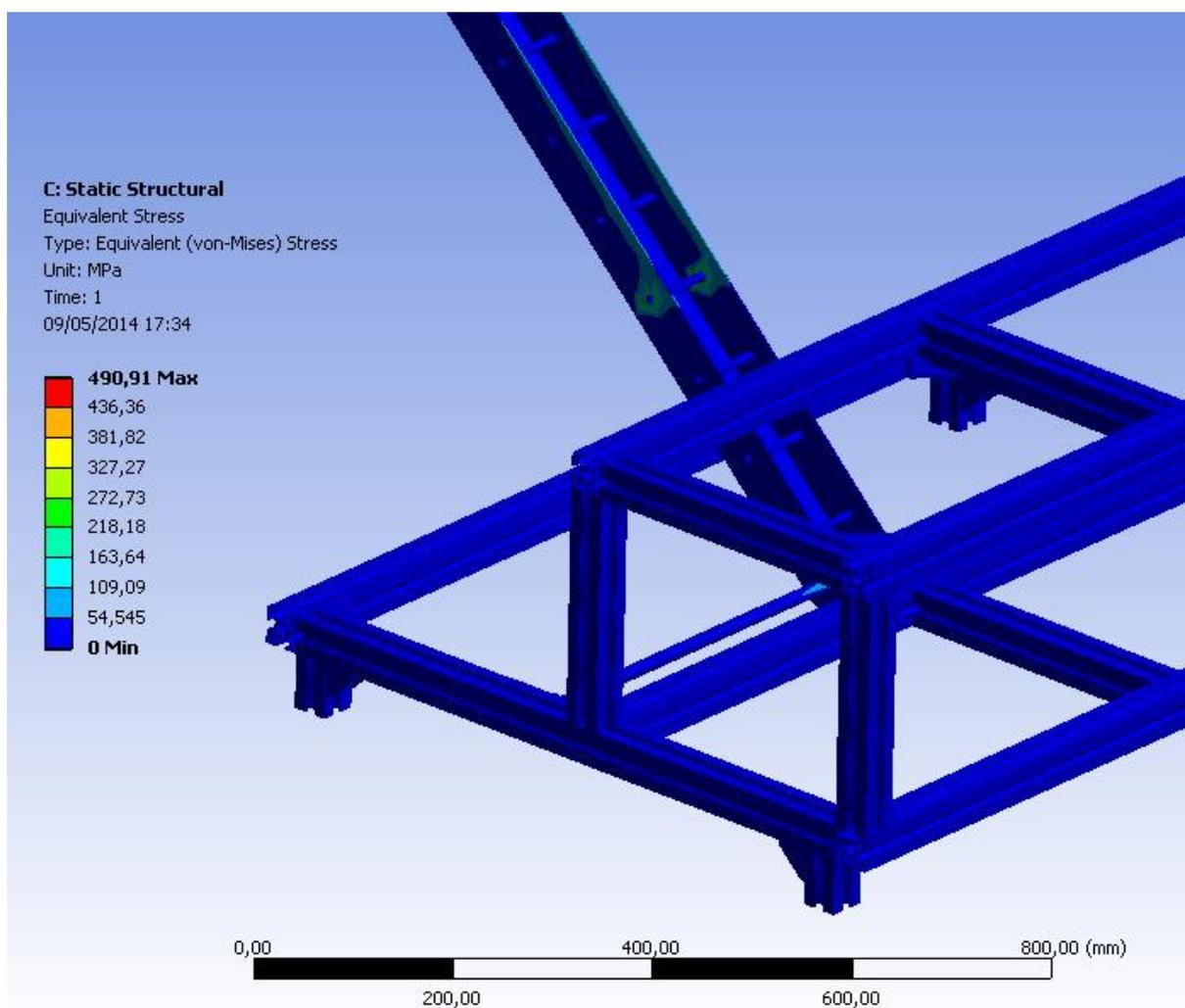


**Figura 20 – Força aplicada sobre o braço da estrutura**

**Fonte: Autoria Própria**

Conforme a Figura 20 apresenta, com uma força de aproximadamente 400 N aplicada na extremidade da estrutura, a deformação máxima encontrada é de aproximadamente 12,97 mm, ou seja, aproximados 1,3 cm, o que pode ser considerado uma deformação desprezível, visto que além do valor encontrado ser muito pequeno, a estrutura trabalhará com cargas de valores significativamente inferiores.

Com a simulação da equivalente de tensões de Von Mises, para analisar a tensão resultante na estrutura, conclui-se que a região que terá maior aplicação de tensão e sujeita a maior probabilidade de falha será a localizada na junção dos dois componentes que formam o braço (conforme esperado), com equivalente de tensão com valor médio de aproximadamente a 150 MPa, como mostrado na Figura 21.



**Figura 21 – Tensão equivalente sobre a estrutura**

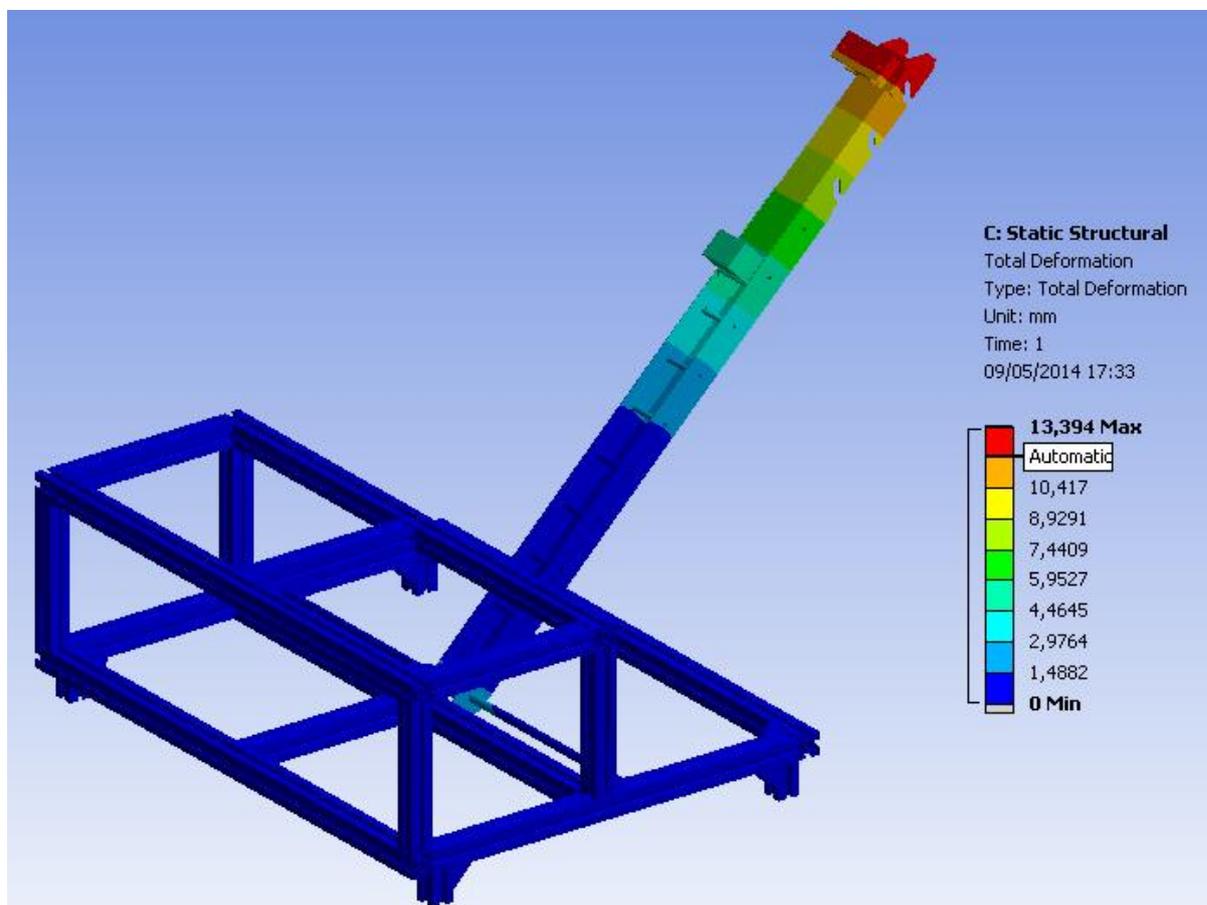
**Fonte: Autoria Própria**

Pode-se concluir que as deformações maiores ocorrem na região de aplicação da carga (ponta extremo do prolongador do braço) e entre o braço fixo na estrutura e o prolongador, e no encaixe do eixo com a estrutura, ocorre a região de maior tensão estrutural.

### 3.2.2 Estrutura

Quando aplicada a força no conjunto montado, nota-se que a deformação tem seu valor aumentado em pequena escala devido à influência da referência do ponto fixo. Nota-se que o valor encontrado é de 13,394 mm na ponta do prolongador

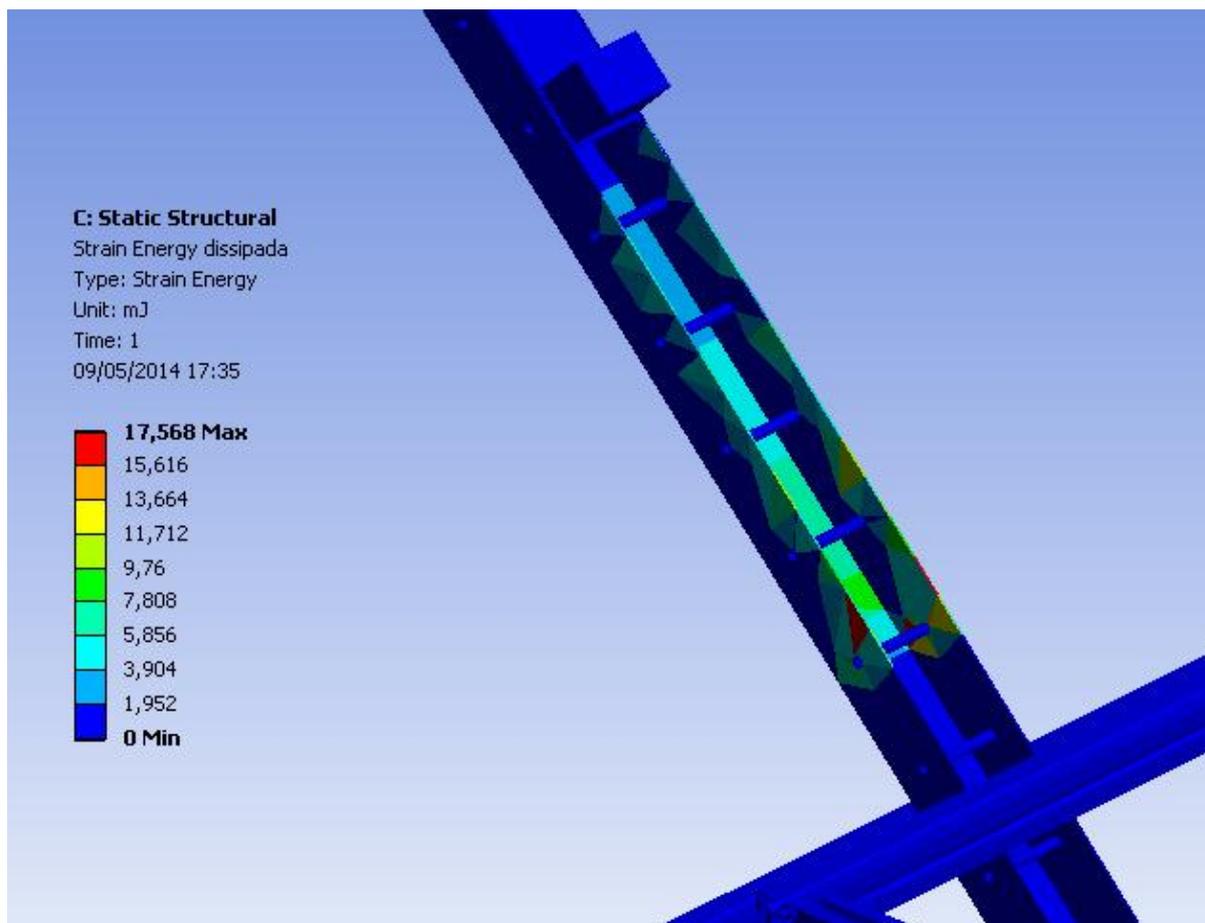
e entre 1,5 e 3,0 mm no meio do eixo (região onde o braço é posicionado) devido à distribuição da carga. A Figura 22 apresenta os resultados:



**Figura 22 – Tensão equivalente sobre a estrutura**

**Fonte: Autoria Própria**

Com a aplicação da carga estipulada para a coleta de dados também torna-se possível obter o valor de dissipação de energia, esta apresentando valores máximos na região onde a estrutura sofre esforços de flambagem, gerando dissipação energética com valores máximos de 17,568 mJ. A Figura 23 mostra os resultados encontrados.



**Figura 23 – Energia dissipada pela estrutura**

**Fonte: Autoria Própria**

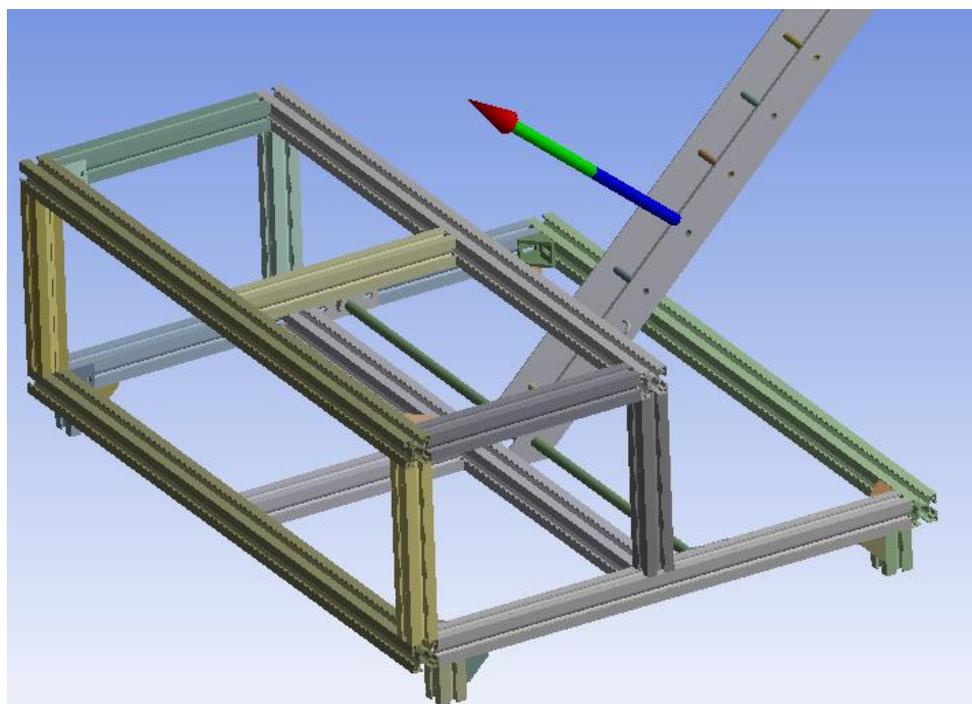
Presentes no Anexo B estão os gráficos obtidos para valores de deformação x força aplicada, coeficiente de segurança x força aplicada e o gráfico de sensibilidade dos parâmetros estudados na simulação.

### 3.2.3 Forças de Reação

Para simular as forças necessárias para realizar o movimento de levantar a estrutura junto ao alvo fixado nela, utilizou-se o princípio de que o motor será responsável por transmitir o movimento de rotação para o carretel, que por sua vez enrolará o cabo que vai içar o braço por um sistema de polias.

Sabendo disso, foi simulada a força requisitada pelo motor para tal movimento e analisada as forças de reação da estrutura para conhecer o risco da mesma virar ou ficar instável com a aplicação desta força.

As forças requisitadas para o motor realizar o movimento necessário e a força de reação do motor seguem na Figura 24 e na Tabela 2.



**Figura 24 – Força de reação do Motor**

Fonte: Autoria Própria

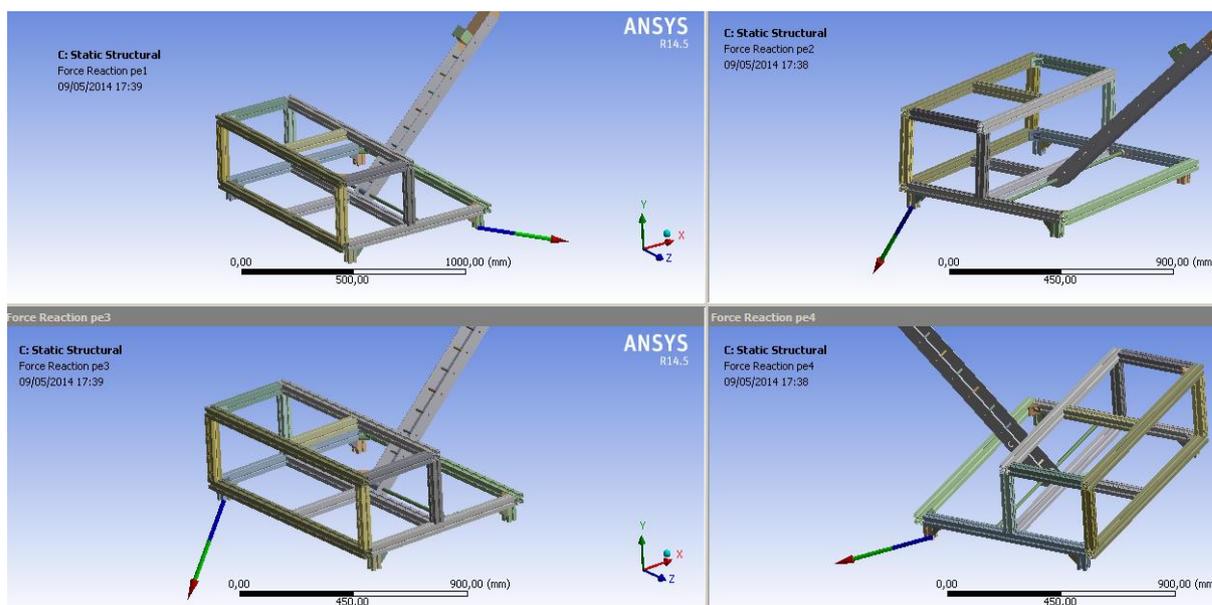
**Tabela 2 – Valor da força de reação do Motor**

Maximum Value Over Time	
<input type="checkbox"/> X Axis	-404,8 N
<input type="checkbox"/> Y Axis	348,84 N
<input type="checkbox"/> Z Axis	6,8388 N
<input type="checkbox"/> Total	534,42 N

Fonte: Autoria Própria

O que pode ser observado na figura e na tabela é a compatibilidade da força exercida pelo motor com a carga aplicada no dispositivo real, ou seja, na simulação realizada foi aplicada uma carga superior a fim de simular uma situação extrema na estrutura e no motor e ambos conseguiram desempenhar sua função corretamente, então, na situação real (com carga reduzida) o motor irá atender tranquilamente as exigências do equipamento.

As forças de reação presentes na estrutura estão, localizadas nos seus respectivos apoios fixos (pés) e apresentam sentido e valores conforme a Figura 25.



**Figura 25 – Valor da Força de reação dos pontos fixos**

**Fonte: Autoria Própria**

A força aplicada pelo motor para acionar a estrutura não será suficiente para desestabilizá-la, ou seja, a estrutura permanecerá fixa ao solo, sem riscos de virar quando o dispositivo for acionado. Isto é melhor explicado pelas setas indicativas das forças resultantes mostradas na Figura 25, que mostram que quando o motor traciona o sistema que aciona a estrutura, a mesma apresenta suas forças de reação com direção ao solo nos quatro pés de apoio.

Também foram realizadas algumas simulações com valores de frequências naturais que possam desestabilizar a estrutura para que seja possível analisar alguma possível falha.

A frequência natural nada mais é do que frequências nas quais o objeto tende a “vibrar” com maior facilidade quando é excitado, ou seja, um objeto mais complexo (neste caso o projeto apresentado) pode possuir diversas frequências nas quais fazem com que o arranjo estrutural vibre mais, o que pode ocasionar uma falha estrutural ou até mesmo por fadiga do material. O Anexo B apresenta um gráfico dos valores de frequência utilizados que mais influenciavam a estrutura, mostrando os resultados encontrados de deformação em quatro diferentes situações hipotéticas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados encontrados nessa pesquisa foram todos feitos de acordo com as normas pertinentes, seguindo padrões estipulados e normas como a ISO 9001:2008 item 7.3.1 (Planejamento do projeto e desenvolvimento), detalhando as entradas e saídas esperadas em cada etapa do desenvolvimento, para que fosse possível seguir uma linearidade do processo e garantir um projeto adequado e de acordo com o estipulado inicialmente.

Conclui-se que um projeto e o processo de construção de uma estrutura são processos fortemente ligados. Um projeto bem-sucedido significa uma montagem bem-sucedida, sempre prevenindo possíveis erros e evitando assim possíveis falhas.

Para permitir que o projeto atenda aos requisitos estipulados no pré-projeto, também foi constatado a importância de se seguir um cronograma de tarefas com o auxílio de ferramentas da engenharia de produto.

As exigências estruturais, peso, o baixo custo e a versatilidade na montagem e manutenção do equipamento, exigiram que o projeto fosse ajustado para uma aplicação especial, com materiais e disposição de montagem de característica singular, para permitir que o mesmo suprisse a necessidade para o qual foi previamente pensado.

Analisando os elementos estruturais estabelecidos, pode-se concluir que os mesmos foram selecionados corretamente, sendo a montagem eficiente para sua aplicação, apresentando até um superdimensionamento devido aos materiais de alta qualidade utilizados no conjunto, mas sem influenciar significativamente no orçamento final e sem a apresentação de pontos de possíveis falhas na estrutura como um todo ou mesmo em pontos críticos.

A deformação encontrada na modelagem e simulação da estrutura, mesmo com uma carga aplicada 2,5 vezes superior à carga real, mostrou que a mesma estava de acordo com o projeto e que a inserção de cantoneiras e elementos fixadores em pontos críticos permitiu que a mesma apresentasse um coeficiente de segurança com valor quase 10 vezes superior ao recomendado.

Os orçamentos comparados e selecionados são os mais acessíveis financeiramente e passíveis de redução de valores caso a quantidade do pedido

aumento, permitindo que a ideia original de expandir o desenvolvimento do produto e ampliar as funções do mesmo seja viável.

Com isso, concluiu-se que os requisitos básicos para a inovação e melhoria de produtos foram atendidos, pois estes regem facilitar projetos e/ou processos complexos, permitindo que aspectos como: manutenção, fabricação e operação, sejam atraentes para quem o utiliza.

Também é possível indicar que o dispositivo atendeu aos requisitos de desenvolvimento de projeto e de produto estipulados como objetivos de forma gratificante, tendo como resultado um investimento financeiramente relativamente baixo e um potencial produtivo interessante.

O detalhamento do projeto apresentado neste trabalho mostra que os fatores estipulados como objetivos foram alcançados e que a estrutura apresenta a capacidade de melhoria e implementação de outras funções que a tornem mais abrangente quanto a sua utilização.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCEM, Associação Brasileira da Construção Metálica (Org.). **Execução de estruturas de aço**: práticas recomendadas. São Paulo: ABCEM, 2010.

BAXTER, Mike. **Projeto de produto**: guia prático para design de novos produtos. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2000.

CALLISTER JUNIOR, W. D. **Materials science and engineering**: an introduction. USA: John Wiley & Sons, 2002.

DESHMUKH, A. V. **Microcontrollers**: theory and applications. India: Tata McGraw Hill, 2005, p. 4.

KAMINSKI, P. C. **Desenvolvimento de produtos com planejamento, criatividade e qualidade**. CTC: Rio de Janeiro, 2000.

MARGOLIS, M. **Arduino Cookbook**. Sebastopol, CA, USA: O' RillyMedia, 2011, p. 1.

MCRBERTS, M. **Arduíno Básico**. São Paulo: Novatec, 2011.

NETO, Augusto Cantusio. **Estruturas metálicas II**. Campinas: PUC-Campinas, 2007. 139 p.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design**: a systematic approach. Springer: Londres, 1996.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. H. **Projeto na engenharia**: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos. Métodos e aplicações. Edgard Blücher Ltda.: São Paulo, 2005.

PINHEIRO, Antônio C. F. B. **Estruturas Metálicas**: cálculos, detalhes, exercícios e projetos. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 2003, 300 p.

RIBEIROS, F. L. B. **Introdução ao Método dos Elementos Finitos**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2004.

SANTOS, Arthur Ferreira dos. **Estruturas metálicas**: projetos e detalhes para fabricação. São Paulo: Mcgraw-Hill do Brasil, 1977.

Referência 01:

Disponível em: <http://www.profelectro.info>. Acesso em: 10/02/2014

Referência 02:

Disponível em: <http://www.kemper.com.br/wordpress/2011/06/30/red-%E2%80%93-entendo-os-motores-do-robo-parte-3>. Acesso em: 20/02/2014

Referência 03:

Disponível em: <http://www.kalatec.com.br/index.php/motores-de-passo.html>. Acesso em: 10/06/2014

Referência 04:

Disponível em: [www.Arduino.cc](http://www.Arduino.cc). Acesso em: 20/02/2014

Referência 05:

Disponível em: <file:///E:/M%C3%B3dulos%20ZigBee%20e%20Mesh%20%20%20XBee%20PRO%20900HP.htm>. Acesso em: 15/05/2014

Referência 06:

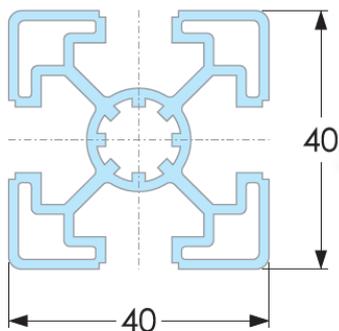
Disponível em: <http://www.labdegaragem.org/loja/index.php/36-motores-afins/motor-de-passo-com-cabo.html>. Acesso em: 30/03/2014

**ANEXOS**

**ANEXO A**

- Perfil de Alumínio Extrudado

### Perfil 40 x 40 M12 4R

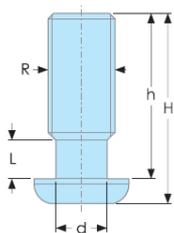
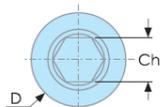


Código	01 003 0001
Momento de inércia $I_y = I_x$	7,20 cm <sup>4</sup>
Área da seção	4,55 cm <sup>2</sup>
Peso	1,22 kg/m
Comprimento máximo	6 m



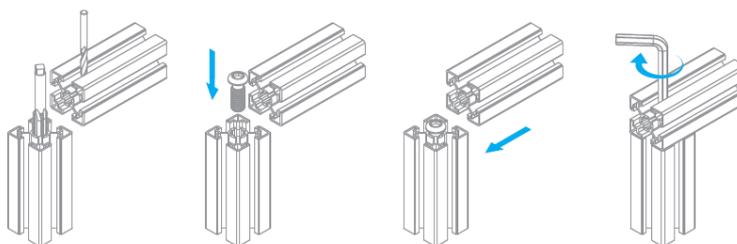
- Parafusos de Fixação

### Parafuso para fixação direta



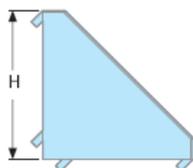
Código			D	d	Ch	h	H	L
02 001 001			Ø17	9,4	8	30	35	7
02 001 002			Ø14	-	5	20	24	-

Utilizado para unir perfis perpendiculares requer usinagem de rosca e furação para passagem da chave de aperto não permite regulagem ao longo da ranhura.  
Confeccionada em aço liga com acabamento em zinco branco.



- Cantoneiras

### Cantoneira alumínio injetado



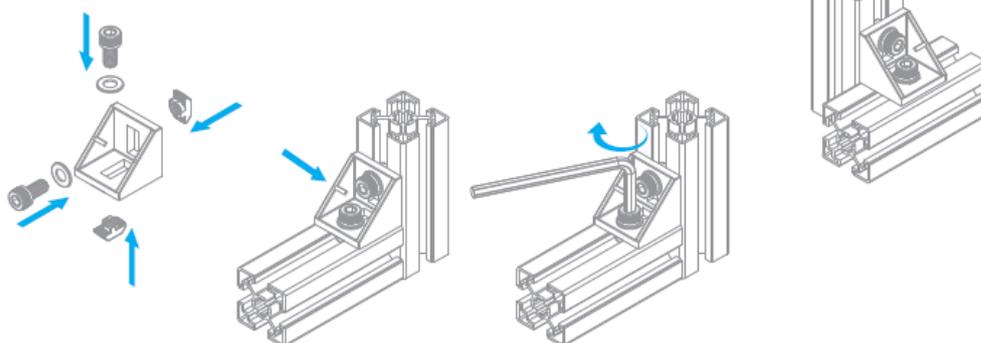
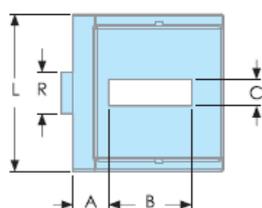
Código		H	L	R	A	B	C
02 001 0048	8	27	28	8	12	10	6,5
02 001 0049	10	36	38	10	8	20	9
02 001 0050	10	41	42	10	19	17	10

Utilizada para unir perfis perpendiculares de forma robusta, também pode ser usado para reforçar pontos de maior solicitação na estrutura.

Montagem direta, sem furação.

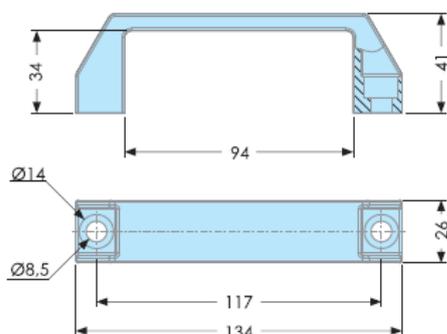
Permite mudança de posição ao longo da ranhura.

Confeccionado em alumínio injetado com acabamento natural.



- Puxadores

### Puxador tipo alça



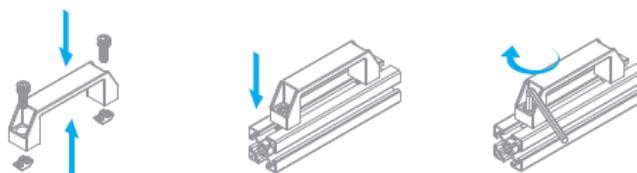
Código

02 003 0009

Utilizado para prover um ponto de apoio para a mão, seja em uma porta, carrinho, gaveta, etc.

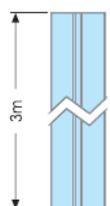
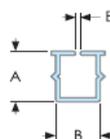
Permite mudança de posição ao longo da ranhura.

Confeccionado em poliamida na cor preta.



- Perfil para Chapas

### Perfil para montagem de chapas

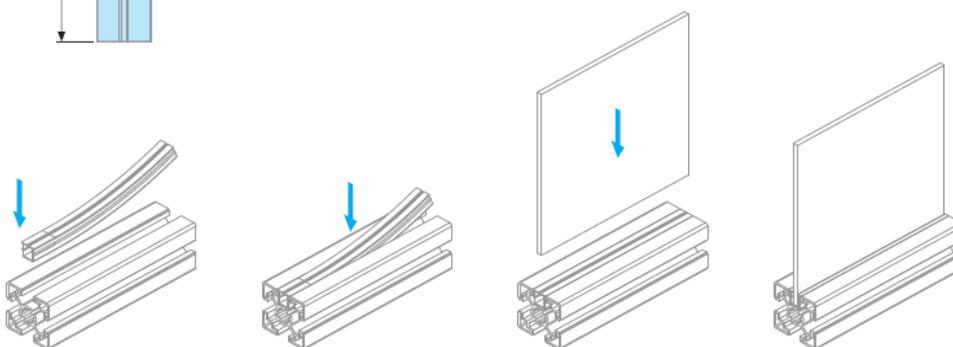


Código		A	B	E
02 003 0022	8	8	8	2-5
02 003 0023	10	11	10	2-5

Utilizado para montagem de chapas em estruturas, para formação de portas, enclausuramentos, proteções, bandejas, etc.

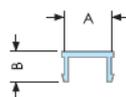
Aceita chapas de qualquer material rígido, como policarbonato, acrílico, aço, alumínio, PVC, etc.

Confeccionado em PVC na cor preta.



- Perfil para Cobertura de Ranhuras

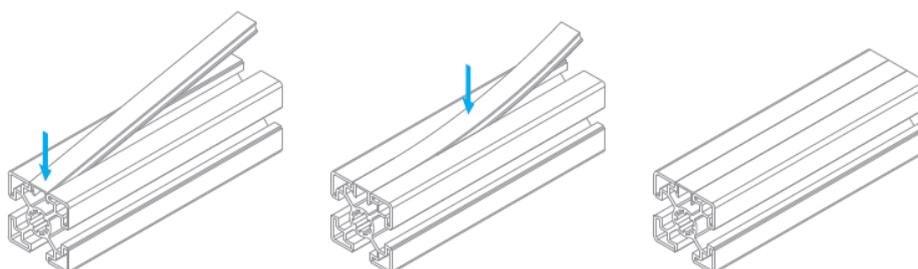
### Perfil para cobertura de ranhura



Código		A	B
02 003 0024	8	8	5,3
02 003 0025	10	10	7,6

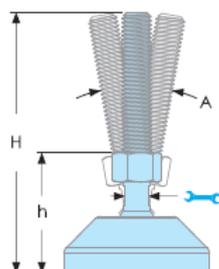
Utilizado para fechamento de ranhuras, para proporcionar melhor acabamento e evitar acúmulo de sujeira.

Confeccionado em PVC na cor preta.



- Pés Niveladores

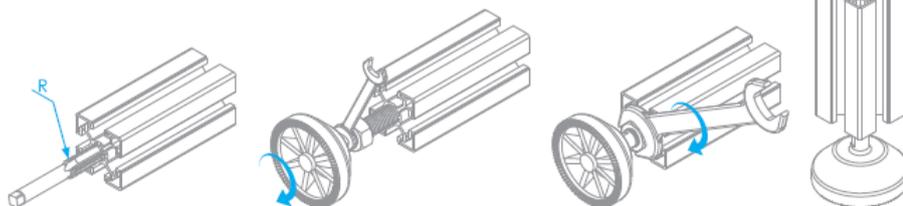
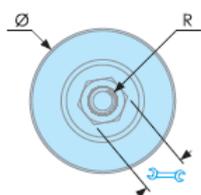
### Pé nivelador com base plástica



Código	H	h	A	Ø	R			
02 002 0001	85	25~65	(*)	40	M8	(**)	13	300
02 002 0002	102	45~75	30º	40	M12	9	19	500
02 002 0003	107	45~80	20º	60	M12	9	19	800
02 002 0004	100	38~75	20º	80	M12	9	19	800
02 002 0005	100	40~70	30º	80	M16	13	24	1000
02 002 0006	150	55~120	30º	100	M16	22	24	1200

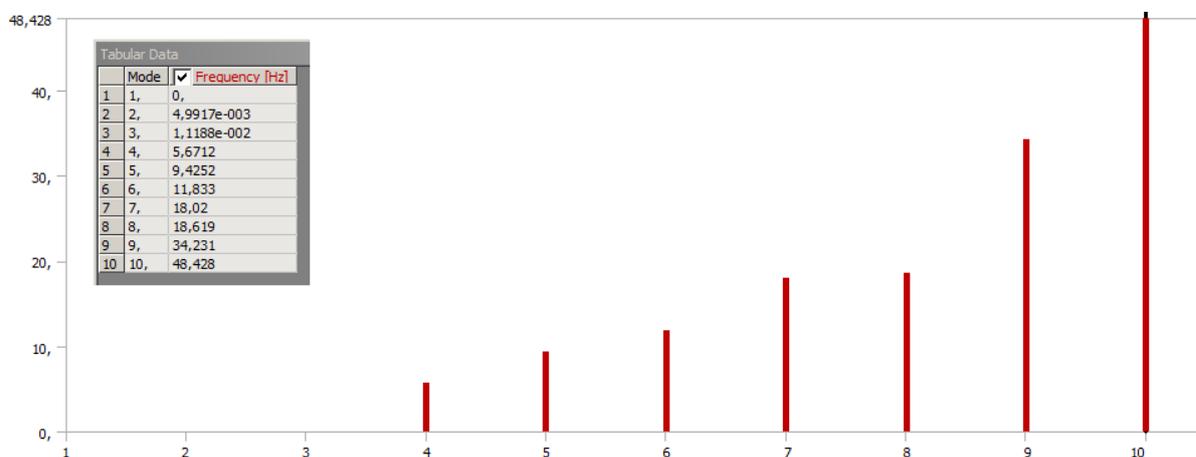
Base em poliamida e haste em aço com acabamento em zinco branco.

\* Este tamanho não possui articulação. \*\* Não necessita de ferramenta.

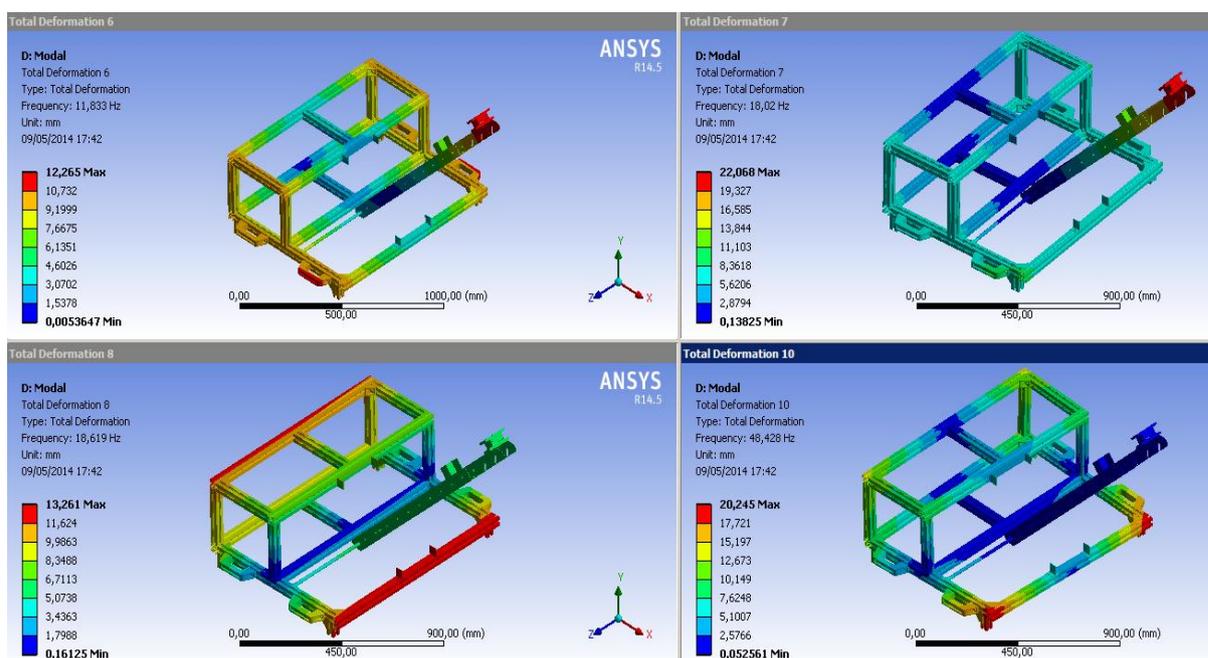


**ANEXO B**

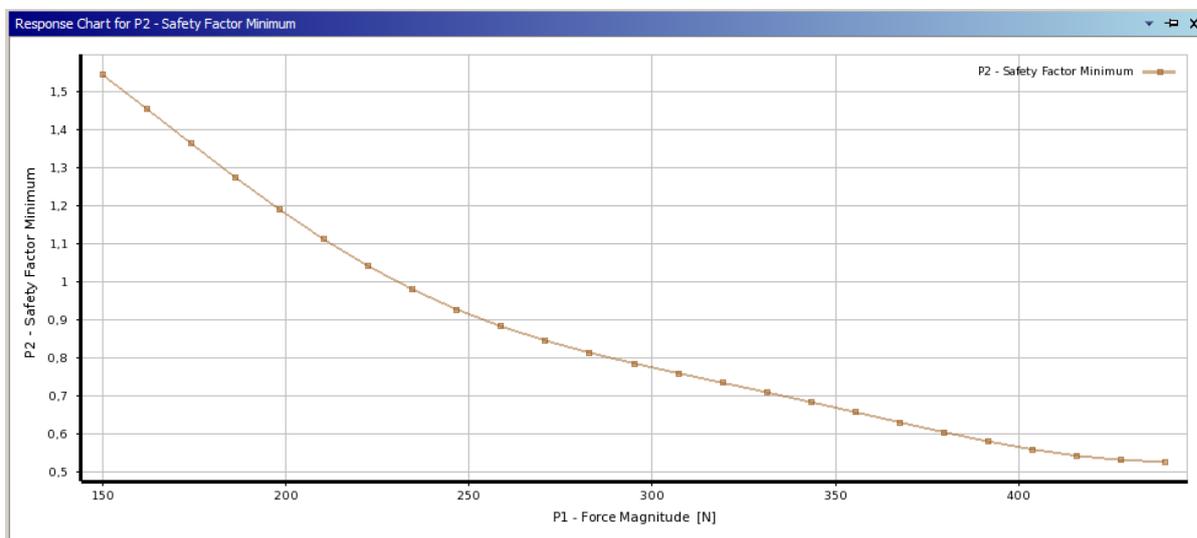
- Gráfico de Frequências aplicadas para simulação de situações hipotéticas de esforços aplicados



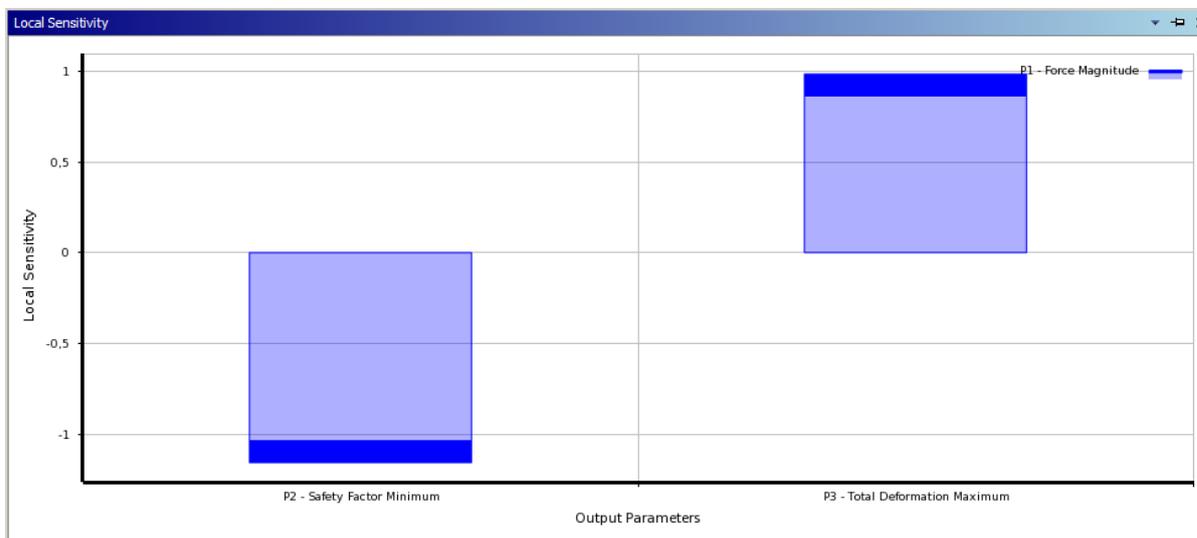
- Resultados obtidos



- Gráfico Fator de segurança x Força aplicada



- Gráfico Sensibilidade dos Parâmetros analisados



**ANEXO C**

- Bateria 12V



- DIMENSÕES:  
Comprimento 151 mm, Largura 65 mm, Altura com terminais 100 mm.
- PESO 2,2kg.

Tensões:

- De carga: 2,27V / elemento ou de 13,6V a 13,9V.
- De descarga: 1,75V / elemento ou 10,5V.

Principais Características:

- Livre de Manutenção.
- Opera em larga faixa de temperatura: -15 a 50°C.
- Maior expectativa de vida.
- Apresenta alto desempenho em elevadas taxas de descarga.
- Podem ser utilizadas conjugadas com outros equipamentos.
- Pode ser utilizada em diversas posições.