



Leandro Régis Dalcin

APERFEIÇOAMENTO DE UM ROBÔ DE SERVIÇO

Horizontina - RS

2019

Leandro Régis Dalcin

APERFEIÇOAMENTO DE UM ROBÔ DE SERVIÇO

Projeto do Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em engenharia mecânica na Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Msc. Adalberto Lovato.

Horizontina - RS

2019

FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

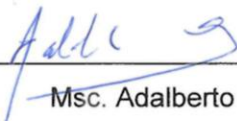
A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso

“Aperfeiçoamento de um robô de serviço”

Elaborada por:
Leandro Régis Dalcin

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

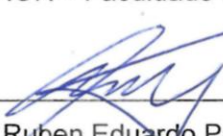
Aprovado em: 06/12/2019
Pela Comissão Examinadora



Msc. Adalberto Lovato
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador



Msc. Francine Centenaro Gomes
FAHOR – Faculdade Horizontina



Msc. Ruben Eduardo Panta Romero
FAHOR – Faculdade Horizontina

Horizontina - RS
2019

Dedicatória

Dedico este trabalho a Deus, a minha família, e aos amigos que me apoiaram e acreditaram em mim.

AGRADECIMENTO

A minha família por ter me apoiar e incentivar nos momentos difíceis.

Ao meu professor orientador Adalberto Lovato por toda a troca de conhecimento e as sábias palavras.

A todos os meus amigos e colegas de trabalho que compartilharam suas experiências e permitiram que me torna-se uma pessoa melhor.

“Quando penso que cheguei ao meu limite,
descubro que tenho forças para ir além”.

(Ayrton Senna)

RESUMO

Robô se define por ser um mecanismo programável que atua em dois ou mais eixos com graus de autonomia, movendo-se dentro do seu ambiente, para executar tarefas programadas. São projetados para que seus movimentos programados ou funções auxiliares possam ser alterados com ou sem interferência física. O presente trabalho tem por objetivo aperfeiçoar uma plataforma robótica, introduzindo novas matérias como fibra de carbono, nova função como direção ativa, nova fonte de energia com a utilização de bateria de lítio e controlado remotamente. Uma bateria de testes foi realizada para verificar sua funcionalidade. O estudo inclui uma detalhada descrição do desenvolvimento do chassi e carenagem em fibra de carbono. O processo de construção dos componentes de fibra de carbono envolveu a construção de um sistema de processo a vácuo tido como o que apresenta melhores resultados em termos de resistência. Testes foram realizados em corpos de prova para definir a espessura da estrutura. Por outro lado, os componentes de aço foram substituídos por peças em materiais poliméricos construídos em impressão 3D. Por fim a construção da plataforma móvel desenvolvida em fibra de carbono obteve a redução de 54,22% do peso, resultando em um melhor posicionamento em seu espaço de posição, e a conclusão sugere algumas melhorias futuras.

Palavras-chave: Robótica. Plataforma móvel. Fibra de carbono. Direção ativa. Processo *vacuum bag*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Robô retangular ou cartesiano.....	19
Figura 2 - Robô cilíndrico.	19
Figura 3 - Robô polar ou esférico.....	20
Figura 4 - Robô pendular.	20
Figura 5 - Robô pendular com roda.....	21
Figura 6 - Robô articulado.....	21
Figura 7 - Robô de perna.	22
Figura 8 - Robôs bípedes com diferentes características.	23
Figura 9 - Robô de esteiras ou <i>crawler</i>	23
Figura 10 - Robô de rodas.....	24
Figura 11 - Asa de aeronave A350BWB em fibra de carbono.....	26
Figura 12 - Cadeia de átomos das moléculas sextavadas.	28
Figura 13 - Relação entre função, comportamento e estrutura.	30
Figura 14 - Diagrama das atividades realizadas.	31
Figura 15: Vista explodida dos componentes.....	33
Figura 16 - Ordem em que os matérias são posicionados no sistema <i>vacuum bag</i> . 35	
Figura 17 - Molde para teste.	36
Figura 18 - Papel celofane.	37
Figura 19 - Cera de carnaúba.	38
Figura 20 - Desmoldante PVA.....	39
Figura 21 - Folha de fibra de vidro.	40
Figura 22 - <i>Peel Ply</i>	41
Figura 23 - Filme perfurado.....	41
Figura 24 - Tubo espiral.	42
Figura 25 - Posicionamento do tubo espiral.	43
Figura 26 - Conexão "T".....	43
Figura 27 - Plástico de auto vácuo.....	44
Figura 28 - Sistema de vácuo, tentativa 01.	45
Figura 29 - Sacola de vácuo em torno dos materiais.	45
Figura 30 - Fita <i>tacky tape</i>	46
Figura 31 - Mangueira translúcida.....	47
Figura 32 - Posição das mangueiras no sistema.....	47
Figura 33 - Torniquete.....	48

Figura 34 - Sistema de <i>vacuum bag</i>	49
Figura 35 - Aplicação de resina no sistema.	50
Figura 36 - Estufa para a cura dos corpos de prova.	51
Figura 37 - Resina e endurecedor.....	52
Figura 38 - Amostras com variação da proporção de endurecedor.....	53
Figura 39 - Folha de fibra de carbono.	53
Figura 40 - Detalhe da fibra de carbono.....	54
Figura 41 - Mesa utilizada para prender os corpos de provas.....	54
Figura 42 - Dimensões dos corpos de prova.....	55
Figura 43 - Amostra 01.....	56
Figura 44 - Amostra 02.....	57
Figura 45 - Amostra 03.....	58
Figura 46 - Amostra 04.....	59
Figura 47 - Sistema de alto vácuo.....	60
Figura 48 - Bomba de vácuo.	61
Figura 49 - Recipiente de depósito.....	61
Figura 50 - Sensor de temperatura interna da estufa.	63
Figura 51 - Molde da base.....	64
Figura 52 - Base de fibra de vidro.	65
Figura 53 - Molde 01.	65
Figura 54 - Molde 01 com areia.....	66
Figura 55 - Molde 02 no processo de <i>vacuum bag</i>	67
Figura 56 - Molde 02 em pleno modelamento com cimento.....	68
Figura 57 - Aplicação de resina para acabamento.	69
Figura 58 - Roda traseira.	70
Figura 59 - Rodas dianteiras.	71
Figura 60 - Montagem dos componentes internos mecânicos.	72
Figura 61 - Plataforma robótica montada com os componentes mecânicos e eletrônicos.....	72
Figura 62 - Componentes eletrônicos.	73
Figura 63 - Detalhes inferiores da plataforma robótica.....	73
Figura 64 - Vista superior da montagem final.....	74
Figura 65 - Plataforma no espaço de posição.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades físicas e mecânicas usadas na fibra de carbono.	27
Tabela 2 - Densidade da resina.	49
Tabela 3 - Proporção entre resina e endurecedor.....	52
Tabela 4 - Dados de flambagem dos corpos de prova.....	59
Tabela 5 - Peso dos componentes mecânicos.....	70

LISTA DE ABREVIATURAS

DC - Corrente continua;

ISO - Organização Internacional para Padronização;

PEBD - Polietileno de baixa densidade;

PVC - Cloreto de polivinila.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 TEMA	13
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	13
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA	13
1.4 HIPÓTESES	14
1.5 JUSTIFICATIVA	14
1.6 OBJETIVOS	16
1.6.1 Objetivo Geral	16
1.6.2 Objetivos Específicos	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 ROBÔS	17
2.1.1 Tipos de robôs	18
2.1.2 Robô retangular ou cartesiano: robô de pórtico	18
2.1.3 Robô Cilíndrico	19
2.1.4 Robô polar ou esférico	20
2.1.5 Robô pendular	20
2.1.6 Robô articulado	21
2.1.7 Robô de pernas	22
2.1.8 Robô bípede	22
2.1.9 Robô de esteiras ou <i>crawler</i>	23
2.1.10 Robô de roda	24
2.2 FIBRA DE CARBONO	25
2.2.1 História do desenvolvimento	25
2.2.2 Características mecânicas	26
2.2.3 Características químicas	28
2.3 MOTORES ELÉTRICOS	28
2.3.1 Motor corrente continua	28
2.3.2 Motor de passo	29
3 MÉTODO	30
3.1 REALISMO CRÍTICO	30
3.2 MATERIAIS	31
3.2.1 Componentes do robô	31
3.2.2 Materiais consumíveis	32
3.3 PROCEDIMENTOS	33
4 PROCEDIMENTOS REALIZADOS	35
4.1 PROCEDIMENTOS REALIZADOS COM OS CORPOS DE PROVA	35
4.1.1 Molde para os corpos de prova	36
4.1.2 Papel celofane	37
4.1.3 Cera de carnaúba	37
4.1.4 Desmoldante PVA	38
4.1.5 Fibra de vidro	39
4.1.6 Peel ply	40
4.1.7 Filme perfurado	41
4.1.8 Tubo espiral	42
4.1.9 Conexão	43
4.1.10 Plástico de alto vácuo	44
4.1.11 Fita <i>tacky tape</i>	46
4.1.12 Mangueiras	46
4.1.13 Torniquetes	48

4.1.14 Realização do vácuo	48
4.1.15 Resina epóxi	49
4.1.16 Utilização da estufa para os corpos de prova	50
4.2 RESINA E ENDURECEDOR.....	51
4.3 FIBRA DE CARBONO.....	53
4.3.1 Corpos de prova e teste de flexão	54
4.4 MANUFATURA DA BASE ROBÓTICA	59
4.4.1 Sistema de alto vácuo.....	60
4.4.2 Estufa da base	63
4.5 CONFECÇÃO DOS MOLDES.....	63
4.5.1 Molde inferior.....	64
4.5.2 Molde superior.....	64
4.6 ACABAMENTO DAS PEÇAS.....	68
4.7 MONTAGEM	69
4.8 TESTES	74
CONCLUSÃO	75
REFERÊNCIAS.....	76
APÊNDICE A – DETALHAMENTO MOTOR DE PASSO.....	79
ANEXO A.....	80

1 INTRODUÇÃO

Este projeto tem como objetivo geral aperfeiçoar a base de um robô de serviço. Para se trabalhar em um robô de serviço é necessário dividir suas funções em duas partes distintas: Componentes mecânicos e componentes eletrônicos. Assim sendo, este trabalho será focado em um aprimoramento do trabalho desenvolvido pelo Uhlmann (2017), onde terá foco nos componentes mecânicos da direção, utilizando matérias inovadoras no ambiente FAHOR e primeiro projeto que utilizará fibra de carbono em sua estruturação, onde será capaz de se locomover por diversas condições de solo e ambientes salubres e insalubres de trabalho.

Os robôs que se classificam como robô de serviço, são definidos por ser projetados para executar tarefas úteis para o ser humano ou a outros equipamentos, exceto aplicação de automação industrial (ISO 8373, 2012). A plataforma móvel desenvolvida, é composta de rodas para realizar sua movimentação, e definida sem manipuladores de acionamentos. Esse robô poderá trabalhar de forma colaborativa, ou seja, projetado para trabalhar em cooperação direta com humanos dentro de um espaço de trabalho definido e podem receber comando através de interface.

Importante ressaltar que esta plataforma robótica poderá servir de base estrutural para projetos futuros. E os procedimentos realizados, em vácuo, servirão de auxílio para desenvolver novos componentes.

1.1 TEMA

Aperfeiçoamento de uma plataforma móvel para robô de serviço.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho se concentra na parte mecânica, ela é composta de uma plataforma desenvolvida em fibra de carbono que suporta todos os equipamentos mecânicos e eletrônicos do robô, compostos pelos rodados de movimentação, e dimensionado para suportar uma parte superior futura.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

É possível construir uma base para um robô de serviço que se movimenta com precisão, facilidade, robustez e de baixo peso?

Quando o assunto se trata de robô de serviço, precisamos suportar diversas partes interessadas: executor, orientados, desenvolvedores de programação e controle, os pesquisadores das diversas áreas da FAHOR e a sociedade.

Para o executor o principal requisito é que a base robótica funcione. Outro requisito é a absorção de conhecimento sobre robôs. Além disso, se insere no rol de requisitos, aprender sobre a utilização de fibra de carbono, e também a construção de bases robóticas. Com a intenção de desenvolver diversas técnicas de construção de bases robóticas.

Os requisitos formulados pelo orientador foram: uma plataforma robótica que apresente uma adequada precisão de posicionamento, tanto no caminho percorrido como no ângulo de giro. O motivo destes requisitos está relacionado com a intenção de utilizar a plataforma para ser portadora de equipamentos científicos e de testes.

A programação e o controle do robô foram desenvolvidos por alunos da Engenharia de Controle e Automação, com o objetivo de aprimorar seus conhecimentos na área. Desenvolvendo estudos tecnológicos sobre motores de passo, e também comandos sem fio, com a intenção de desenvolver estudos que podem ser aplicados em projetos futuros.

Para futuros trabalhos da FAHOR se dá a oportunidade de utilizar uma base robótica capaz de dar suporte a instrumentos nas áreas de seus interesses. Como no reconhecimento de figuras, pesquisas nas áreas de distribuição de materiais e pesquisas de controle e comando da própria base robótica.

1.4 HIPÓTESES

A base robótica é capaz de girar no próprio eixo vertical.

A precisão de movimentação será de mais ou menos 5°.

Ter uma precisão de posição no espaço de 10 cm.

1.5 JUSTIFICATIVA

Existem muitos trabalhos insalubres e com elevado grau de risco, que seria conveniente que fosse evitada a intervenção humana. Um modo apropriado de fazê-lo com os recursos tecnológicos hoje existentes, seria por meio de um robô. Mais especificamente, um robô de serviço.

Um dos princípios básicos da economia é que qualquer atividade realizada pelo ser humano agregue valor a um produto e ou a um serviço. Muitas tarefas dentro de uma organização são repetitivas e de pouco valor agregado. Para esses casos é a utilização de robôs. No caso da construção ou fabricação de um produto físico já é comum a presença de robôs industriais. Mas em serviços ainda existe uma carência desses equipamentos. Existem empresas que apresentam nível de desenvolvimento tecnológico avançado e utilizam estes robôs para desenvolver atividades nas áreas de almoxarifados e depósitos.

Na agricultura por exemplo, as coletas de dados sobre condições edafoclimáticas são com frequência vulnerosas e carentes com a necessária resolução.

Para o acesso em fontes de poluição ambiental, o ser humano precisa utilizar equipamentos de proteção individual, com a intenção de evitar possíveis contaminações, neste caso a utilização de uma plataforma móvel com os devidos instrumentos poderia realizar a coleta de informações e obtenção de amostras.

Segundo Arrow (1996) o conceito inicial de tecnologia como informação, sustenta que a tecnologia é geralmente aplicável e fácil de reproduzir. Reddy & Zhoa (1990) por outro lado, dizem que tecnologia é concedida como informações específicas de uma empresa concernentes as características e propriedades de desempenho de processo de produção e de projeto de produto. O presente trabalho seguirá o conceito de Reddy & Zhoa (1990) que destaca que é importante para uma organização, dominar tanto os processos como as informações necessárias de projetos na área da robótica.

Conforme Machado *et al.* (2013) o princípio fundamental da *Design Research* “é que o conhecimento e a compreensão de um problema e sua solução são adquiridos na construção e aplicação de um artefato para um contexto de problema específico”. A construção de uma base robótica com características melhoradas como o uso de novos materiais e de avanços na dirigibilidade estão de acordo com os princípios apresentados por esses autores.

O motivo do desenvolvimento da plataforma robótica se determina pelos fatos citados acima.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo Geral

O objetivo desse trabalho é executar a construção de uma plataforma móvel para robô de serviço, composta de fibra de carbono com um sistema de direção ativa.

1.6.2 Objetivos Específicos

- a) Definir as configurações do chassi de fibra de carbono;
- b) Testar a resistência, tenacidade e módulo de elasticidade de corpos de prova de fibra de carbono;
- c) Confeccionar o chassi;
- d) Analisar os resultados obtidos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Essa seção vai tratar de definições de robô, seus tipos de classificação, se dedicando a robô de serviço e ao desempenho do robô.

2.1 ROBÔS

Na atualidade existem diversos tipos de robôs, e cada vez mais eles estão sendo utilizados a fim de executar tarefas planejadas, sem intervenção humana.

Conforme a norma ISO 8373 (2012) robô se define por ser um mecanismo atuado programável em dois ou mais eixos com grau de autonomia, movendo-se dentro de seu ambiente, para executar tarefas programadas. Projetados para que seus movimentos programados ou funções auxiliares possam ser alterados com ou sem alterações físicas.

Desta forma os robôs se classificam como: industrial ou de serviço, conforme a aplicação pretendida ISO 8373 (2012). Robô industrial é aquele controlado automaticamente, reprogramável, de manipulo multiuso, programável em 3 ou mais eixos, que pode ser de local fixo ou pode ser móvel para uso de aplicação automação industrial, o robô industrial deve conter o manipulador inclusive os atuadores ou controladores, inclusive o *teach pendant* e qualquer interface de comunicação hardware ou software. *Teach pendant* (é um aparelho *hand held* ligado ao sistema de controle com o qual o robô pode ser programado ou movido). Robôs de serviço são definidos como aqueles projetados para executar tarefas úteis para o ser humano ou outros equipamentos, exceto aplicação de automação industrial.

Esses robôs trabalham de forma colaborativa, ou seja, foram projetados para trabalharem em cooperação direta com humanos dentro de um espaço de trabalho definido. Podem receber comando através de interface.

Enquanto os robôs articulados usados nas linhas de produção são definidos robôs industriais, robôs articulados semelhantes usados para servir alimentos ou limpeza de casa são definidos como robôs de serviço.

Robô móvel é capaz de viajar sob seu próprio controle, pode ser uma plataforma móvel, com ou sem manipuladores. (ISO 8373, 2012).

Reprogramação é projetada para que os movimentos programados ou funções auxiliares possam ser alterados sem alterações físicas. (ISO 8373, 2012).

Interação do homem e robô é a troca de informação e ações entre humanos e robôs para realizar uma tarefa por meio de interface de usuário. (ISO 8373, 2012).

Apesar dos robôs moveis apresentarem uma maior mobilidade sobre a superfícies pavimentadas, deve-se levar em consideração que, no entanto, mais de 50% da terra possui superfícies que são inacessíveis para veículos de roda (MACHADO & SILVA, 2006). Dessa forma se estuda para obtenção robôs acessíveis aos mais diversos tipos de terrenos.

2.1.1 Tipos de robôs

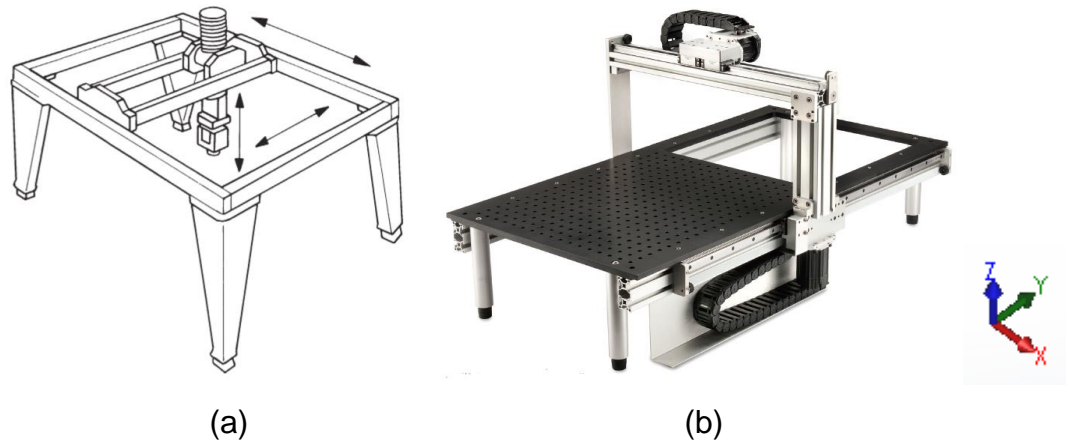
Os robôs se classificam em 9 tipos distintos:

- Robô retangular ou cartesiano: robô de pórtico;
- Robô cilíndrico;
- Robô polar ou esférico;
- Robô pendular;
- Robô Articulado;
- Robô de pernas;
- Robô bípede;
- Robô de esteira ou *crawler*;
- Robô de rodas.

2.1.2 Robô retangular ou cartesiano: robô de pórtico

Robô retangular ou cartesiano representa um conjunto composto por juntas prismáticas, correspondendo a três eixos denominados X, Y e Z. Definido por Preti (2014) como um robô que opera através de posicionamentos estratégicos, onde seus eixos estão posicionados em um espaço de 90 graus do outro. A Figura 1 (a) representa a estrutura esquemática do conceito; e a Figura 1 (b) apresenta o conceito máquina.

Figura 1 - Robô retangular ou cartesiano.



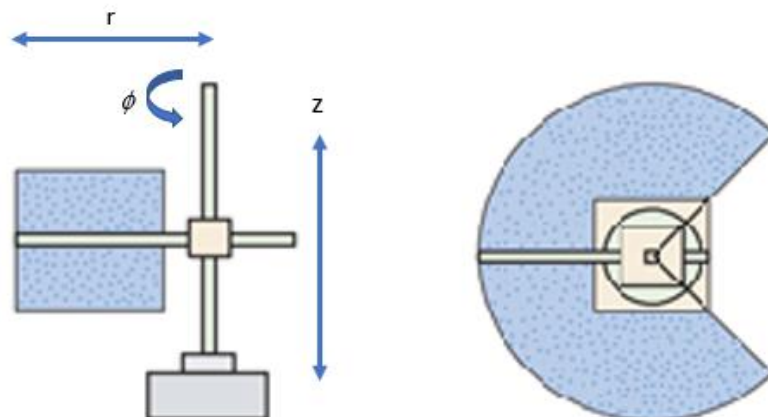
Fonte: (a) ISO 8373, 2012; (b) WAHAB, ROSE, & OSMAN, 2012.

De acordo com a norma ISO 8373 (2012) estes posicionamentos estratégicos se definido por pose, ou seja, a pose normalmente se refere a posição e orientação do manipulador, o qual garante o posicionamento ao longo dos eixos cartesianos em sua operação.

2.1.3 Robô Cilíndrico

O robô cilíndrico é aquele que se utiliza de coordenadas cilíndricas. Segundo Craig (2005) consiste de uma junta de rotação (ângulo ϕ) e duas coordenadas prismáticas r e z , e representando as coordenadas do efeito final, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Robô cilíndrico.

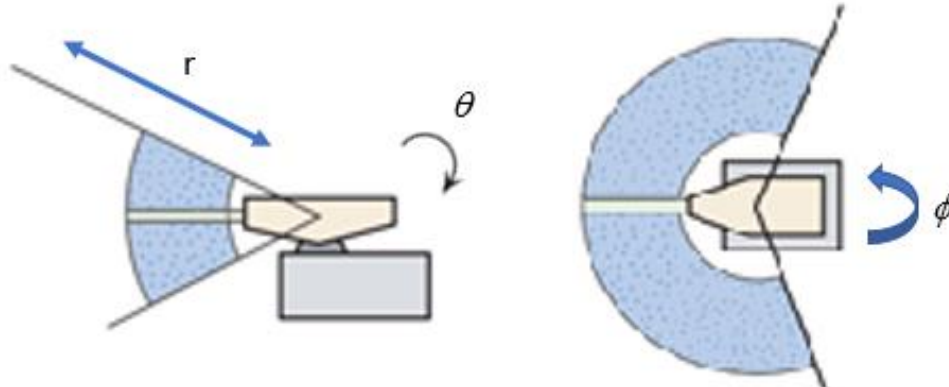


Fonte: ASADA, 2005.

2.1.4 Robô polar ou esférico

O robô polar ou esférico se utiliza de coordenadas polares ou esféricas, composto de duas coordenadas de rotação e uma coordenada prismática, (Asada, 2005; Craig, 2005) é composto por duas juntas de rotação e uma articulação prismática denotado, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Robô polar ou esférico.

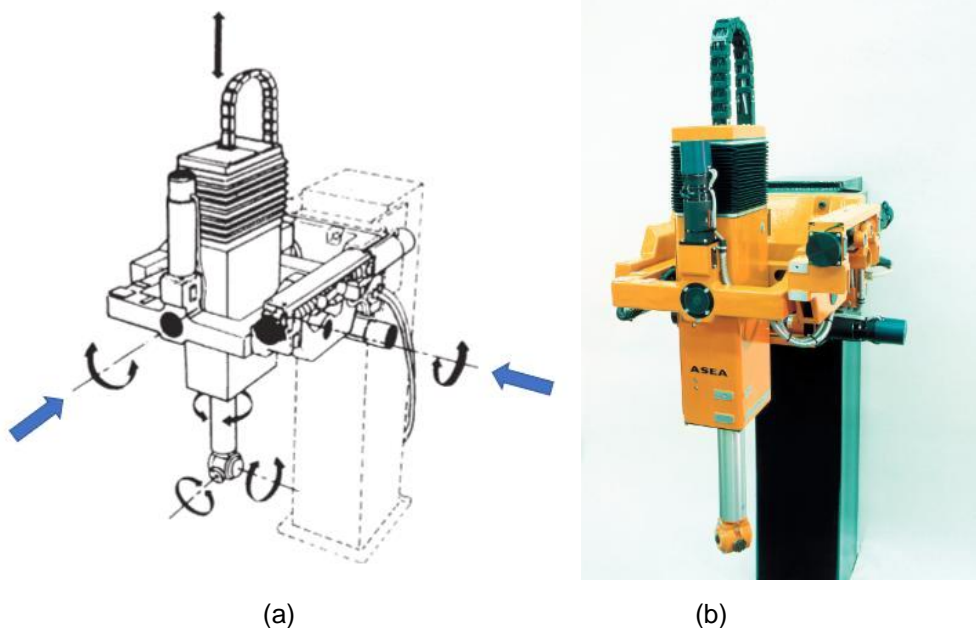


Fonte: ASADA, 2005.

2.1.5 Robô pendular

O robô pendular se caracteriza por apresentar as liberdades de movimento pendular, a setas indicativas na Figura 4 (a) mostram a esquemática dos movimentos pendulares; Figura 4 (b) representa um robô industrial.

Figura 4 - Robô pendular.



Fonte: (a) ISO 8373, 2012; (b) ABB ROBOTICS, 2014.

Entretanto a Figura 5 ilustra um conceito de robô pendular com roda.

Figura 5 - Robô pendular com roda.

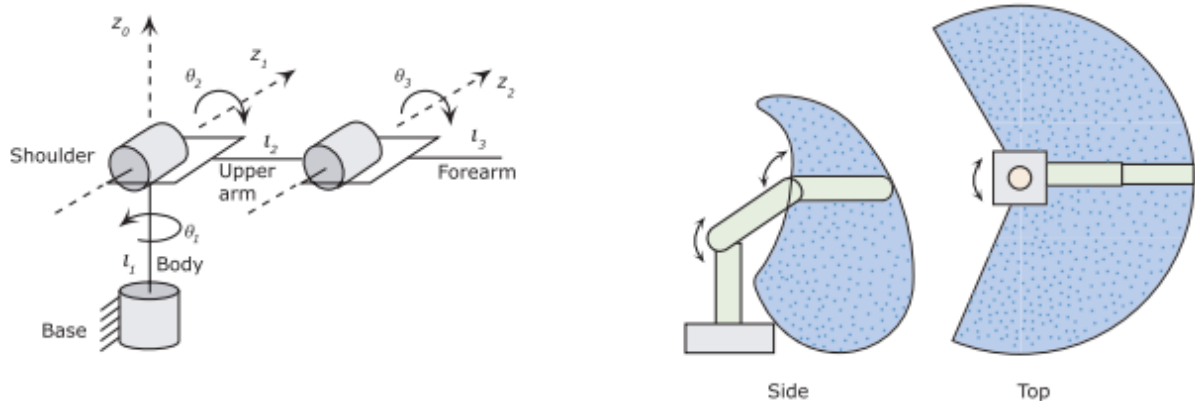


Fonte: TECHNOSYS SYSTEMS, 2012.

2.1.6 Robô articulado

O robô articulado consiste de juntas de rotação, onde seus movimentos se assemelham aos movimentos do braço humano. Este robô denomina-se por acionamentos diretos sem redutor de engrenagens (ASADA, 2005). A Figura 6 representa os movimentos de um robô articulado.

Figura 6 - Robô articulado.



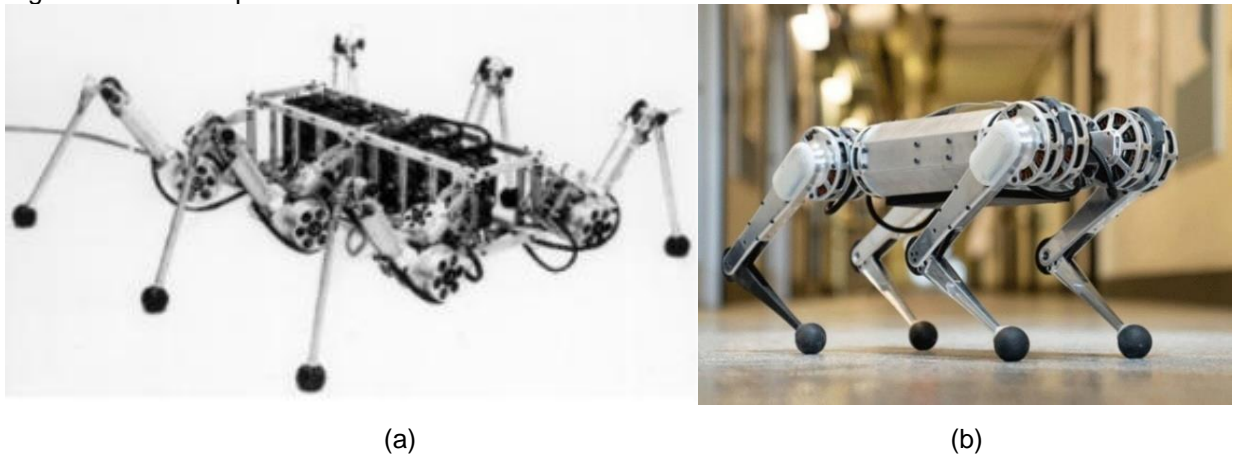
Fonte: ASADA, 2005.

2.1.7 Robô de pernas

Robô de perna é um robô que se movimenta usando uma ou mais pernas. ISO 8373 (2012). Possui vários formatos e tamanhos, dependendo de suas aplicações (MACHADO & SILVA, 2006).

Esta categoria pode ser dividida em duas subcategorias, os robôs bípedes e os que contem três ou mais pernas. A Figura 7 (a) representa um robô composto por 6 pernas similares as de aranha. A Figura 7 (b) apresenta um conjunto de 4 pernas que representam os movimentos das pernas traseiras de um cavalo.

Figura 7 - Robô de perna.

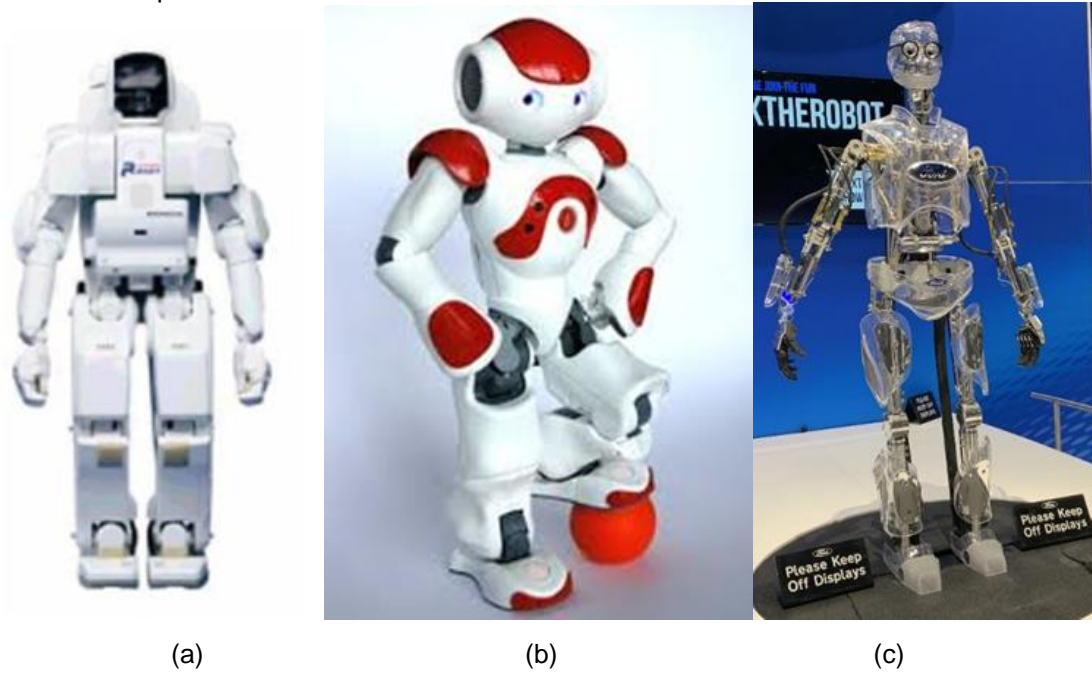


Fonte: (a) MACHADO & SILVA, 2006; (b) JERSEY EVENING POST, 2019.

2.1.8 Robô bípede

O robô bípede é o mais exigente quanto ao seu equilíbrio dinâmico, pois constitui-se de 2 pernas, também conhecido pelo seu formato representativo ao ser humano (MACHADO & SILVA, 2006). A Figura 8 representa conceitos diferentes de robô bípede, (a) resulta em um conceito de geometrias quadradas, as quais ocultando os motores elétricos de acionamento; (b) apresenta um conceito de geometrias arredondadas, e seus movimentos são acionados por sistema elétrico; (c) as geometrias expressam formato de um humano, e seus movimentos controlados por sistema hidráulico, captura realizada em Chicago Auto Show em 2019.

Figura 8 - Robôs bípedes com diferentes características.



Fonte: (a) MACHADO & SILVA, 2006; (b) JUNIOR; (c) Autor (2019).

2.1.9 Robô de esteiras ou *crawler*

Os robôs de esteiras ou *crawler* se caracterizam por realizar tarefas essenciais na área de pesquisas e em operações e ambientes perigosos, apresentam dois ou mais conjuntos de esteiras, as quais são ágeis em terrenos adversos (ZAMANOV & DIMITROV, 2012). A Figura 9 representa uma plataforma robótica com esteiras.

Figura 9 - Robô de esteiras ou *crawler*.

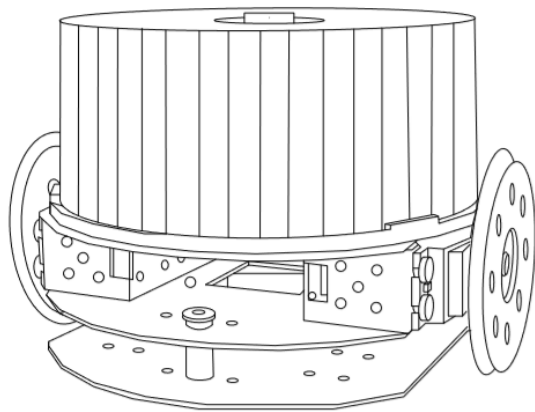


Fonte: EBAY, 2019.

2.1.10 Robô de roda

Robô de rodas se define por se utilizar rodas na sua locomoção (ISO 8373, 2012). A Figura 10 (a) apresenta o conceito esquemático; e a Figura 10 (b) ilustra um robô de serviço.

Figura 10 - Robô de rodas.



(a)



(b)

Fonte: (a) ISO 8373, 2012; (b) MIT, 2015.

Este trabalho terá seus estudos baseados nesse tipo de robô de locomoção, também denominado como robô autônomo.

Segundo ISO 8373 (2012) a autonomia se define pela capacidade de executar as tarefas pretendidas com base no estado atual e na detecção, sem intervenção humana. Portanto esses robôs autônomos são classificados de duas formas: plataforma móvel e manipuladores.

Plataforma móvel inclui um chassi que pode ser usado para suportar cargas, permitindo a locomoção da montagem de todos os componentes do robô (ISO 8373, 2012). Para os critérios de locomoção nesse trabalho foi definido que essa plataforma móvel deve considerar os seguintes aspectos:

- Tarefas que o robô deve cumprir;
- Terrenos que o robô possa operar;
- A fonte de energia para a alimentação do robô;
- Alcance de atuadores;

Locomoção de robôs moveis sobre o solo são divididas de três configurações fundamentais conforme (MACHADO & SILVA, 2006):

1. Dispositivo de rotação, como rodas e Esteiras;

2. Pernas, semelhantes as observadas em animais;
3. Estruturas articuladas similar de um corpo de cobra.

Em relação aos robôs manipuladores, um manipulador pode ser controlado por um operador, um controlador programável ou qualquer sistema lógico, sem incluir uma ferramenta final. O mecanismo normalmente consiste em uma série de segmentos, dispostos ou deslizando um em relação a outro, com a finalidade de agarrar e/ou mover peças ou ferramenta geralmente em vários graus de liberdade (ISO 8373, 2012).

2.2 FIBRA DE CARBONO

A seguir é apresentado um breve do desenvolvimento da fibra de carbono, suas características mecânicas e químicas.

2.2.1 História do desenvolvimento

A fibra de carbono é um elemento que pode exibir diferentes propriedades em diversas formas.

O surgimento da fibra de carbono aconteceu em novembro de 1879 quando Thomas Alva Edison aplicava a patente para a lâmpada elétrica, onde incorporou fibras orgânicas carbonizadas como os filamentos através dos quais a corrente elétrica passava pela fibra e criava o brilho incandescente. O método de Edison de produzir a fibra envolvia dissolver o algodão limpo em uma solução de cloreto de zinco, esguichando a pasta através de um endurecedor de fluido, secando os filamentos recém produzidos, e então carbonizados as fibras para dentro de um recipiente com vácuo (SPENCER & YANKELLO, 2017).

Apesar da fibra de carbono ter um simples começo, foi a partir de 1950 que ela deixou de ter papel secundário e começou a sua aplicação nos meios militares americanos em pesquisas das forças aéreas (SPENCER & YANKELLO, 2017).

Hoje em dia com os meios de pesquisa mais avançados, foi possível aprimorar as técnicas de confeccionar a fibra de carbono, reduzindo seus custos, possibilitando que aventureiros possam projetar e produzir seus próprios produtos em fibra de carbono atendendo seus níveis de exigências (SPENCER & YANKELLO, 2017).

Portanto se tem um longo caminho percorrido, novos métodos e ideias surgiram, podendo assim dispor desse material mais leve e mais forte se tornara bens de consumo e de grandes aplicações de tecnologia (SPENCER & YANKELLO, 2017).

2.2.2 Características mecânicas

Na era moderna a fibra de carbono é conhecida como um material com grande potencial de aplicação. Possui uma elevada resistência à tração e à compressão, uma elevada resistência a temperaturas em atmosfera inerte, e baixa absorção de umidade. Com base nessas características mecânicas a fibra de carbono passa a ser um material de vasta aplicação em materiais compósitos destinados a indústria aeronáutica (SANTOS, 2015). A Figura 11 representa a aplicação de fibra de carbono em asas de aeronaves comprovando a sua resistência estruturais.

Figura 11 - Asa de aeronave A350BWB em fibra de carbono.



Fonte: CLEANTECH CONCEPTS, 2016.

Com a utilização de resina epóxi nas técnicas de processamento, e com aumento de camadas de fibra de carbono, pode-se alcançar melhorias nas propriedades mecânicas, como alta resistência e rigidez em relação ao seu peso. Este compósito tem vantagem sobre materiais monolíticos, apresentando alta resistência, rigidez, longevidade de fadiga, baixa densidade, resistência a corrosão e ao desgaste, apresentando assim estabilidade ambiental. Já em compósitos laminados são suscetíveis a danos mecânicos quando estão sujeitos a esforço de tensão, flexão e impacto (RAHMANI, NAJAFI, & ASHORI, 2014).

De acordo com os estudos elaborados por Rahmani, Najafi, & Ashori (2014), para identificar a resistência da fibra de carbono em diversas confecções foram

realizados testes com diversos posicionamentos da folha da finha (0°, 35°, 45° e 90°) além de três tipos diferentes de resina: Araldit LY 5052, Lionbonb EM500 e Epon 828. As propriedades físicas e mecânicas coletadas por (RAHMANI, NAJAFI, & ASHORI, 2014) estão ilustradas na tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades físicas e mecânicas usadas na fibra de carbono.

Propriedades	Valor	Padrão
Força a Tensão (MPa)	2550	TY-0308-01
Força Modular (Gpa)	135	TY-0308-01
Alongamento (%)	2,1	TY-0308-01
Densidade (g/cm ³)	180	TY-0308-02
Carbono (%)	93	

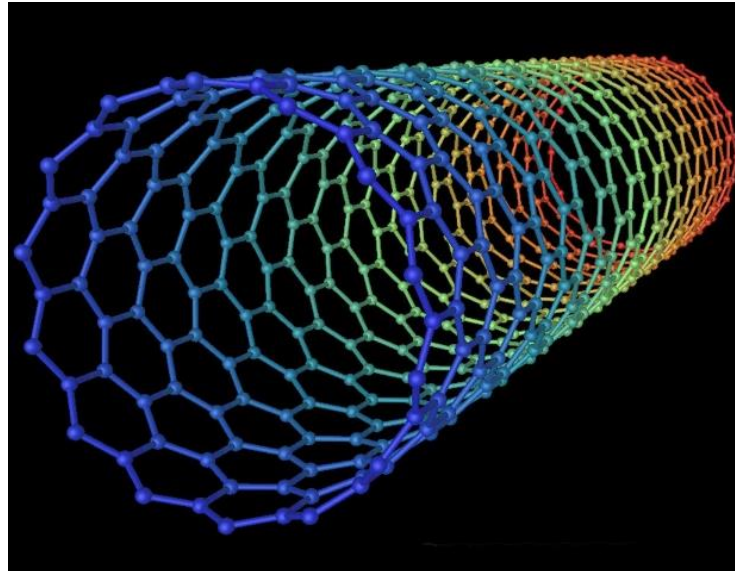
Fonte: Adaptada e traduzida de RAHMANI, NAJAFI, & ASHORI, 2014.

Os estudos realizados por Rahmani, Najafi, & Ashori (2014) comprovam que para os pontos fortes da fibra de carbono, a elasticidade varia ligeiramente com o tipo de resina, no entanto, as diferenças não foram altamente significativas. A resistência a tração aumentou de uma média de 20 Mpa para amostragens de 3 camadas e 1059 Mpa para as que continha 5 camadas, o qual chama atenção que o aumento da resistência a tração não foi afetada pelo número de laminas, mas sim pelas mudanças na orientação da fibra, nos posicionamentos de (0°, 35°, 0. -35° e 0°). Já o alongamento tem aumentado moderadamente com o aumento das lâminas e o tipo de resina, portanto as lâminas com 35° de inclinação apresentam maior alongamento, e as que apresentam orientação de 90° tem um mínimo alongamento. Além disso é notável que com o aumento do número de lâminas, a linha de adesão a defeitos e porosidade se aumenta. Quanto a impactos a orientação das lâminas é diretamente proporcional, mas também é interessante notar que a força dos compostos é dependente nas propriedades da fibra, como proporção e comprimento de fibras individuais.

2.2.3 Características químicas

A fibra de carbono é constituída por cadeias de carbono ligadas em conjunto a formas hexagonais repetidas, onde seis átomos de carbono se juntam para formar um hexágono. Os átomos que formam os lados do hexágono são usados para agrupar outros hexágonos do lado, sobrando assim dois átomos de carbono na parte inferior e superior são deixados livres, com finalidade de ligar-se a outros hexágonos de carbono criando lâminas de carbono ou potencialmente ligados a grupos funcionais externos que podem alterar as propriedades da fibra final. O cientista que produz as fibras pode ditar como os átomos se ligam dependendo do uso final das fibras (SPENCER & YANKELLO, 2017).

Figura 12 - Cadeia de átomos das moléculas sextavadas.



Fonte: AICIA, 2014.

2.3 MOTORES ELÉTRICOS

Aborda-se nesta seção informações sobre os motores utilizados para movimentar a plataforma robótica.

2.3.1 Motor corrente continua

Os motores DC são usados em situações aonde as aplicações exigem acionamento de velocidade e torque preciso. Apresentam grande versatilidade no controle da velocidade, sendo assim destaca-se pelas fontes retificadoras de potência,

as quais transforma a tensão da rede alternada em tensão contínua de maneira controlada (SIEMENS, 2006).

Segundo Siemens (2006) esses tipos de motores são bastante utilizados nas indústrias, podem conter dois tipos de ligações: independentes ou em série. Motor utilizado em servo motor nas máquinas industriais.

O motor DC utilizado no presente trabalho é ilustrado no Anexo A.

2.3.2 Motor de passo

Motores de passo são dispositivos eletromecânico que converte os pulsos elétricos em movimento mecânico (BRITES & SANTOS, 2008).

Entre os tipos de motores existentes, Brites & Santos (2008) descrevem que os motores de passo se destacam pelos seguintes pontos:

- Seguem lógica digita;
- Alta precisão em seu posicionamento;
- Precisão no torque aplicado;
- Excelente resposta na aceleração e desaceleração.

Os detalhes do motor de passo utilizado no presente trabalho, se encontra no apêndice A.

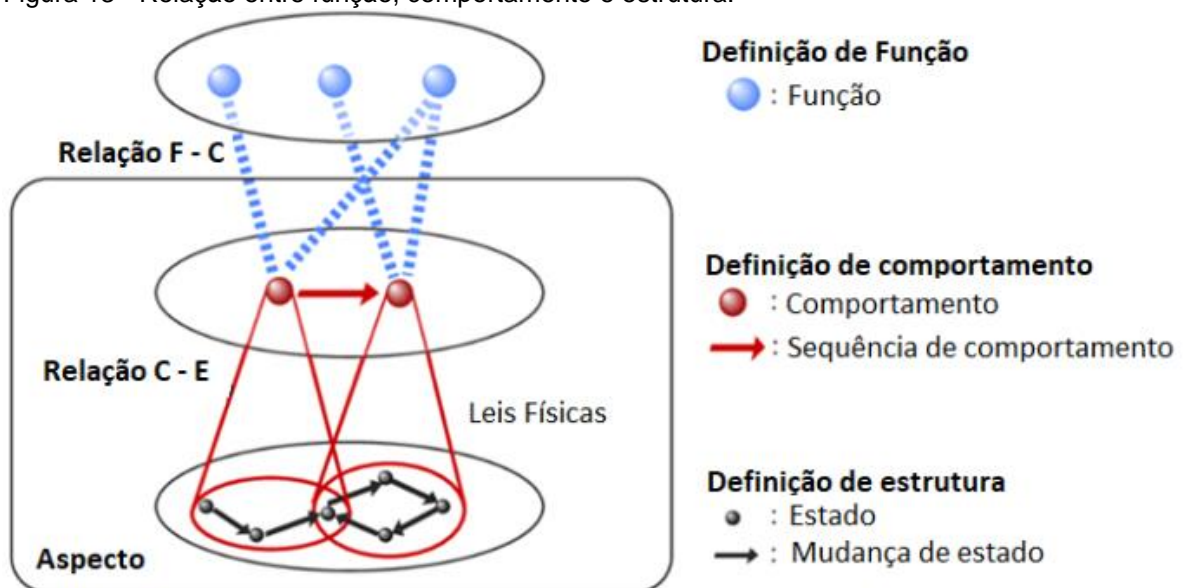
3 MÉTODO

Essa seção vai tratar das definições do realismo crítico de design, e definições de como foi realizado o projeto e aos materiais utilizados.

3.1 REALISMO CRÍTICO

O método utilizado no presente trabalho é a visão realística crítica, na qual se trata do conhecimento sobre artefatos de design. Os elementos de conhecimento do artefato de design são regidos pelos domínios: a função, se refere a intenção ou o objetivo do artefato; o comportamento, descreve o que o artefato faz e como realiza suas funções; e a estrutura, descreve os componentes que identificam o artefato e suas interações (WANG *et al.*, 2013). Existem abordagens que derivam os elementos do artefato, conforme explicado na Figura 13.

Figura 13 - Relação entre função, comportamento e estrutura.



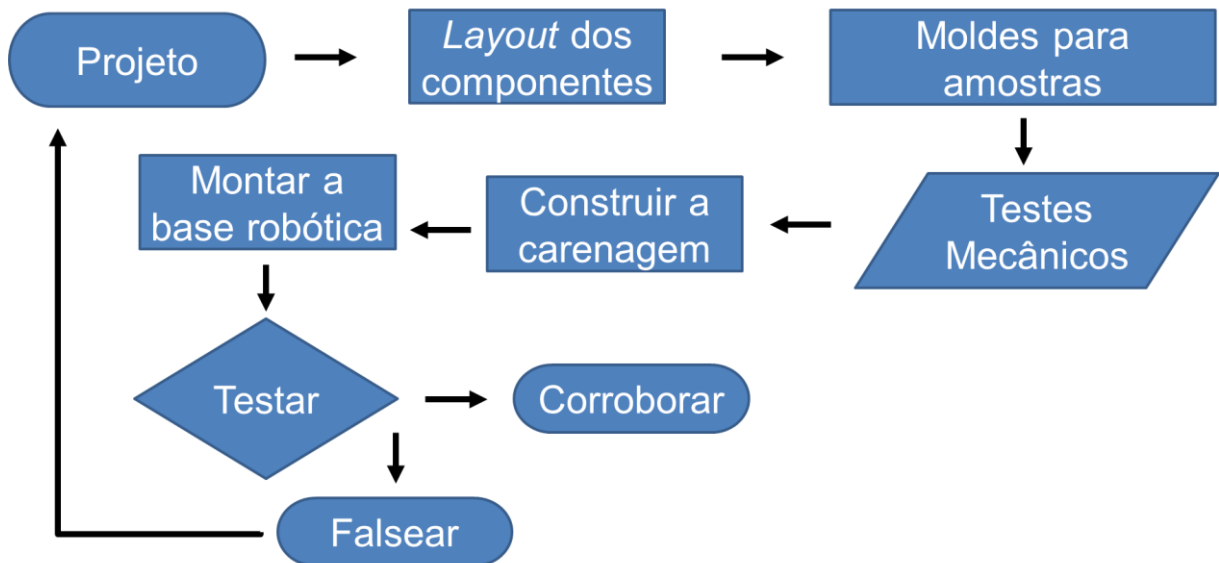
Fonte: Adaptada de TAKEDA, *et al.*, 1996.

A interação entre o realismo crítico do design e a engenharia, direciona os estudos para os três domínios de projeto: função, comportamento e estrutura. A função principal do protótipo a ser desenvolvido é ter mobilidade para transportar instrumentos e meios de comunicação; o comportamento desejado é mover-se com determinada precisão sobre o comando por *teach pendant*; a estrutura é composta de chassi, motores elétricos de acionamento de rodas e circuitos de controle.

3.2 MATERIAIS

O desenvolvimento deste projeto, ocorre através de ideias entre pesquisador e professor orientador, com intuito de chegar em um melhoramento tecnológico da plataforma robótica. Assim sendo, foi elaborado um diagrama, traçando as atividades a serem realizadas, ilustradas na Figura 14.

Figura 14 - Diagrama das atividades realizadas.



Fonte: Autor 2019.

O projeto foi realizado a partir das etapas de desenvolvimento dos componentes mecânicos e seus posicionamentos, executando a construção de moldes para as amostras, visando realizar testes de flexão que definiram a espessura que cada componente adotaria. Após isso, foi realizado a montagem dos componentes e aplicado testes de locomoção da plataforma para identificar se houve corroboram-se ou falseiam-se as hipóteses.

3.2.1 Componentes do robô

A plataforma robótica será manufaturada pelos seguintes componentes:

- Motor de corrente contínua MOTRON MR 210-120 de 89 W;
- Motor de passo NEMA 17 de 9Kgf/cm;
- Bateria de lítio 12V–12Ah/14A/h;
- Carregador da bateria;
- Drives para acionamento dos motores de passo;
- Chapa de aço 1020 para molde;

- Carenagem superior;
- 2 rodízios;
- 2 Pneus;
- 2 Eixos dianteiros;
- 2 Rolamentos;
- 2 Chavetas;
- *Teach pendan*

3.2.2 Materiais consumíveis

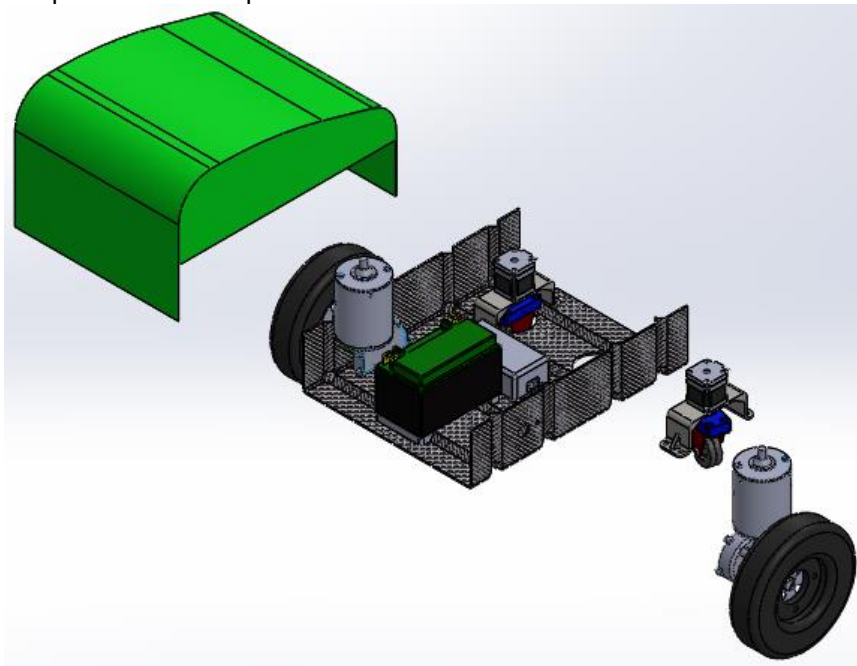
Os materiais consumíveis que serão utilizados no presente trabalho, estão listados abaixo:

- Cerra de carnaúba;
- Papel celofane;
- Desmoldante PVA incolor;
- Fibra de Vidro;
- Fibra de carbono;
- *Peel ply*;
- Filme perfurado;
- Conexão T;
- Mangueiras de 1/4';
- Plástico alto vácuo;
- *Tacky tape*;
- Fita dupla face;
- Resina ARAUDITE GY 279;
- Endurecedor ARADUR 1012 CH;
- Fita crepe larga;
- Lixas;
- Disco de corte;
- Brocas;
- Polímero ABS para impressão;

3.3 PROCEDIMENTOS

A modelagem dos componentes da plataforma robótica foi realizada por meio do Software Solidworks. Esse software foi de suma importância na definição do *layout* dos componentes da base robótica, e a partir do *layout* definido, se estabeleceu o formato da base e a carenagem superior. A Figura 15 ilustra uma vista explodida dos componentes mecânicos da plataforma robótica.

Figura 15: Vista explodida dos componentes.



Fonte: Autor (2019).

Antes de iniciar o procedimento de sacola de vácuo (*vacuum bag*), foram realizados estudos para entender como se aplicaria o processo. Quando aplicado os conhecimentos adquiridos sobre *vacuum bag*, foi utilizado fibra de vidro como material principal, com intuito de entender como os materiais se comportarão durante o processo.

Primeiro de confeccionar os componentes, foi definido qual a orientação que as lâminas de fibra de carbono teriam. Seguindo com a construção dos moldes para os corpos de prova.

Com a orientação das lâminas estabelecidas, seguiu-se com a elaboração e execução dos corpos de provas em fibra de carbono, e a partir deles, se aprendeu os cuidados de preparo que o molde deve receber antes de executar a confecção das peças.

Com os corpos de prova confeccionados em diversas camadas, foram realizados testes de flexão, para assim definir quantas camadas cada peça de carbono deve conter.

Próxima etapa foi confeccionar e preparar os moldes para a base, e carenagem superiora.

Após a confecção da peça base e carenagem, os processos de corte, furação e acabamento foram realizados, deixando-as preparadas para receber os conjuntos finais.

As peças de polímero foram desenvolvidas por meio de impressora 3D, cuja peças, não precisaram de uma grande demanda no processo de acabamento.

Já as peças de aço, demandaram maior trabalho, pois precisaram ser executadas por meio dos processos de usinagem e soldagem.

Após as peças manufaturadas e acabadas, se iniciou o processo de montagem dos conjuntos rodas dianteiras e traseiras, e em seguida os componentes foram sendo fixados na base.

Com a montagem concluída, foi possível delinear e realizar os testes do comportamento da base robótica. Os resultados obtidos foram coletados e analisados.

Toda a parte de pesquisa, processos de manufatura e testes, foram realizados no ambiente FAHOR.

4 PROCEDIMENTOS REALIZADOS

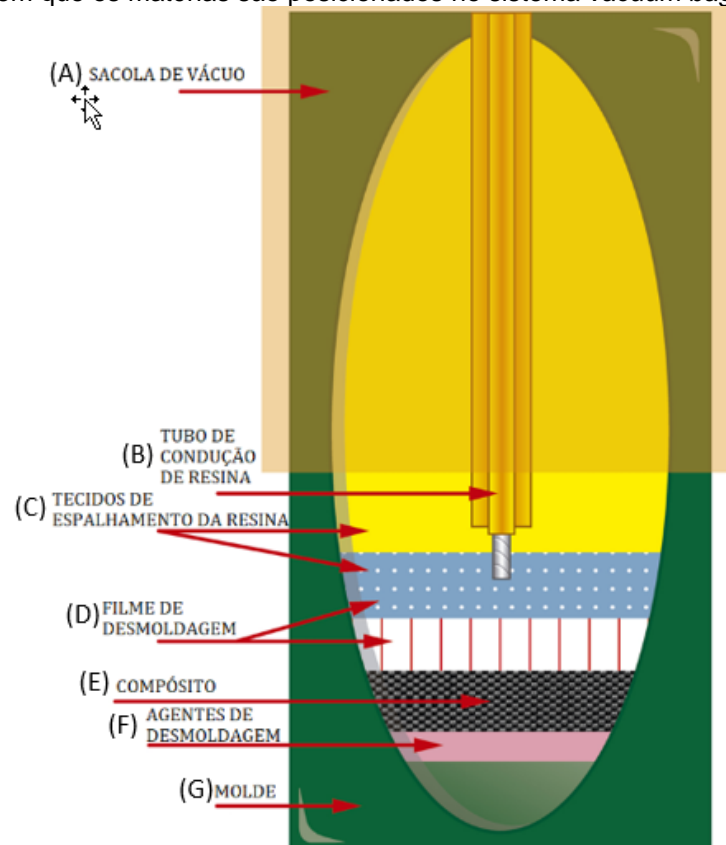
Antes da construção das peças do robô, foram realizados testes utilizando resinas, fibra de vidro e fibra de carbono. O objetivo destes testes foi ganhar experiência na realização dos processos de construção do compósito e na obtenção de informações sobre características mecânicas de alguns corpos de prova.

4.1 PROCEDIMENTOS REALIZADOS COM OS CORPOS DE PROVA

Os principais métodos de construção de compósitos de fibra de carbono, são os de sacola de vácuo (*vacuum bag*), infusão com pincel e infusão seguida de prensagem. O melhor resultado, sob o ponto de vista de qualidade, é o de *vacuum bag* porque evita a presença de bolhas de ar que prejudicam a resistência do compósito.

No presente trabalho, foi usado o processo de *vacuum bag*. A estrutura e a posição dos componentes usados no processo de vácuo estão esquematizadas na Figura 16.

Figura 16 - Ordem em que os materiais são posicionados no sistema *vacuum bag*.



Fonte: Adaptada de MALLANETS, (2019).

Como pode ser visto, existe o molde (G), os agentes de desmoldagem (papel celofane, cera e desmoldante) (F), o compósito (E), os filmes de desmoldagem (*peel ply*) (D), os tecidos de espalhamento de resina (filme perfurado) (C), os tubos de condução de resina (B) e a sacola de vácuo (A). Cada um desses é apresentado nas seções que segue.

4.1.1 Molde para os corpos de prova

Todo e qualquer tipo de trabalho que for realizado em alto vácuo, necessita ter um molde. A composição destes moldes deve conter materiais que não permitam deformação durante o processo de moldagem, e conter geometria que auxiliem na remoção da peça moldada. Sendo assim, as matérias primas (fibras e resina), aplicadas sobre o molde, tomam o formato da peça desejada.

Os corpos de provas desejados, seriam de forma retangular com 45 x 350 mm e diversas espessuras. Para obtenção dos moldes, foram construídos a partir de tubo retangular de aço 1020, contendo as medidas de 30 X 50 X 400 mm e espessura de 2mm. Este foi repartido no sentido horizontal ao seu comprimento, gerando dois moldes de perfil “U” com as medidas de 10 X 50 X 400 mm, conforme ilustrado na Figura 17.

Figura 17 - Molde para teste.



Fonte: Autor (2019).

A fim de dar um bom acabamento no corpo de prova, foram removidas as imperfeições superficiais do molde. Para isso o mesmo foi lixado com lixa de 200 grãos.

Para retirar a peça de dentro do molde sem ter grandes dificuldades, foram realizados dois testes: a inserção de uma folha de papel celofane sobre a superfície do molde, e a aplicação de cerra de carnaúba.

4.1.2 Papel celofane

O papel celofane é um material de partículas transparente, e caracterizado por sua flexibilidade, sua baixa espessura e pelo fato de não aderir ao molde. Uma peça de papel celofane é mostrada na Figura 18.

Figura 18 - Papel celofane.



Fonte: Autor (2019).

Durante o manuseio foram constatadas algumas vantagens e desvantagens de sua utilização.

As vantagens apresentadas pelo papel celofane, foram a praticidade do seu manuseio, corte e principalmente o brilho que possibilita dar à peça final.

As desvantagens apresentadas, foram a aderência do celofane à peça, a cópia das dobras da folha e o fato de não acompanhar detalhes geométricos como frisos com ângulos retos e ressaltos.

4.1.3 Cera de carnaúba

A cera de carnaúba é um material de origem natural. Ao ser aplicada preenche pequenas falhas e poros do molde. A cera utilizada não deve conter abrasivos e Figura 19 mostra a cera utilizada no presente trabalho.

Figura 19 - Cera de carnaúba.



Fonte: Autor (2019).

A principal vantagem apresentada com a utilização da cera de carnaúba, foi a fácil remoção da peça. Ao retirar a peça do molde, foi evidente a transferência de todos os detalhes existentes no molde para a peça.

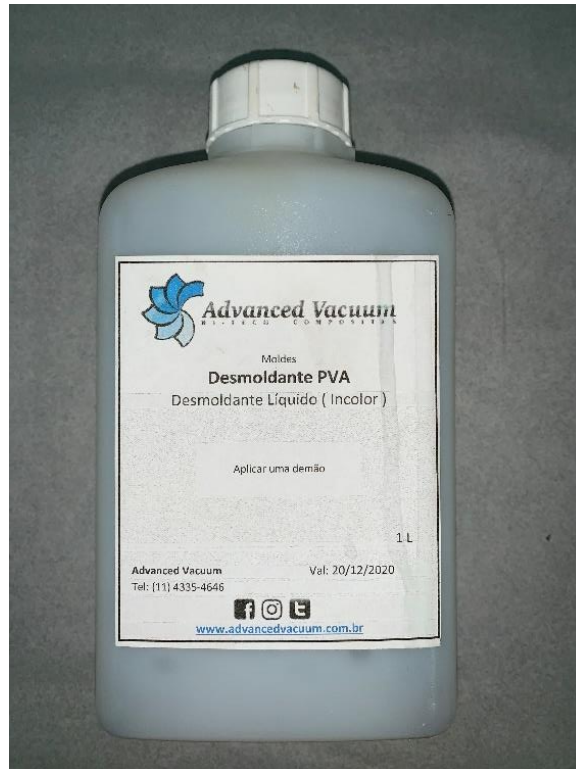
A desvantagem encontrada, foi que a cera de carnaúba demandou uma maior mão de obra na preparação, pois foi necessário encerar o molde por 5 vezes, para assegurar uma camada suficientemente espessa.

4.1.4 Desmoldante PVA

Independente das escolhas dos procedimentos acima, para facilitar na remoção entre a peça confeccionada e o molde, realizou-se a aplicação de uma fina camada de desmoldante líquido.

O desmoldante utilizado foi o desmoldante PVA incolor, solução baseada em álcool polivinílico. O desmoldante utilizado é mostrado na Figura 20.

Figura 20 - Desmoldante PVA.



Fonte: Autor (2019).

Foi utilizado papel toalha, para auxiliar no espalhamento do desmoldante PVA sobre a cera do molde. Para o tempo de secagem, foi visível que os fatores de temperatura, eram impactantes no tempo de secagem. Nos dias frios, cerca de 3°C, o tempo de secagem se estendeu por até 30 minutos, maior tempo registrado que em dias de maior calor. Sendo assim, optou-se por expor sempre, em quaisquer condições a ser exposto ao sol pelo período de 30 minutos.

Após a secagem, o desmoldante se transformou em uma fina camada lisa e brilhante, apresentando as características de antiaderente de fácil remoção.

Com esse procedimento ficou evidente a fácil remoção entre o corpo de prova e o molde de aço.

Com o molde coberto pela camada de desmoldante, partiu-se para o preparado dos corpos de prova.

4.1.5 Fibra de vidro

O intuito do projeto foi construir a base robótica em fibra de carbono. Para entender na prática como os materiais se comportariam no processo de auto vácuo, foi realizado o primeiro teste utilizando fibra de vidro, material mais acessível que a

fibra de carbono. A fibra de vidro utilizada foi na forma de tecido semelhante ao tecido que seria utilizado na fibra de carbono, conforme ilustrado na Figura 21.

Figura 21 - Folha de fibra de vidro.



Fonte: Autor (2019).

O processo iniciou com o corte de 12 pedaços do tecido de fibra de vidro, com as dimensões de 50 X 450mm.

O primeiro corpo de prova foi composto 4 camadas, e o segundo de 8 camadas.

A seguir se apresenta o corte do tecido de fibra de carbono para depois apresentar o processo de desenvolver o vácuo.

4.1.6 Peel ply

O *Peel Ply* é um tecido sintético de nylon 66, aplicado diretamente sobre a superfícies de fibra, para permitir a fácil separação da fibra e dos demais componentes do *vacuum bag*. O *peel ply* utilizado neste trabalho é mostrado na Figura 22.

Figura 22 - *Peel Ply*.



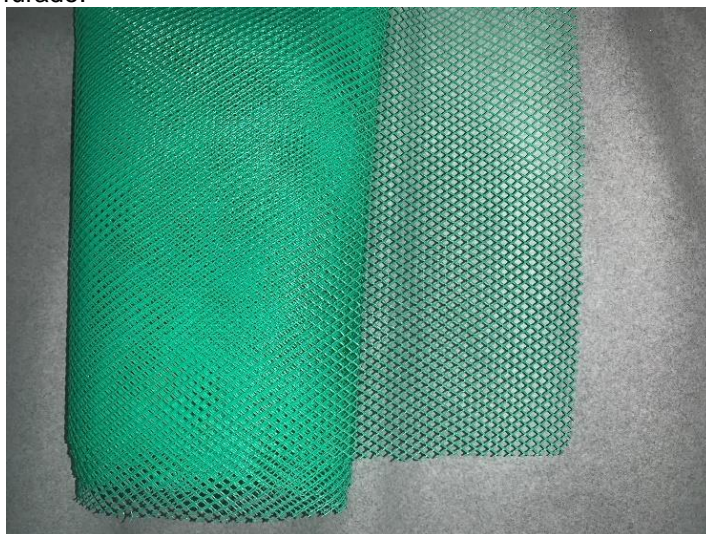
Fonte: Autor (2019).

Após o processo de alto vácuo, quando a resina estiver seca o *Peel Ply* se tornou um material muito fácil de ser removido. Ele rasga em linha reta num dos sentidos da sua estrutura de tecelagem.

4.1.7 Filme perfurado

O filme perfurado, ou (*infusion mesh*), é um tecido sintético que pode ser de poliéster ou polietileno, que facilita o fluxo da resina, assegurando que ela chegue a todos os pontos da peça, mesmo com formatos complexos, evitando desperdícios. A Figura 23 mostra o filme perfurado utilizado.

Figura 23 - Filme perfurado.



Fonte: Autor (2019).

Sobre a camada do *Peel Ply*, foi aplicado uma camada de filme perfurado, essa camada de filme perfurado teve a finalidade de facilitar o espalhamento da resina por toda a região em que se pretende realizar a matriz fibra-resina. Ela bloqueia a passagem da resina em regiões fora do seu espaço.

Na região de saída da resina, foi aplicado uma segunda camada de filme perfurado. Com os testes realizados, foi notado que nas duas camadas, a resina se espalhava numa velocidade maior no sentido lateral. A partir daí o filme perfurado auxiliou na conduzir da resina até o ponto de escape ou saída.

4.1.8 Tubo espiral

O tubo espiral, mostrado na Figura 24, foi utilizado para condução da resina quando succionada.

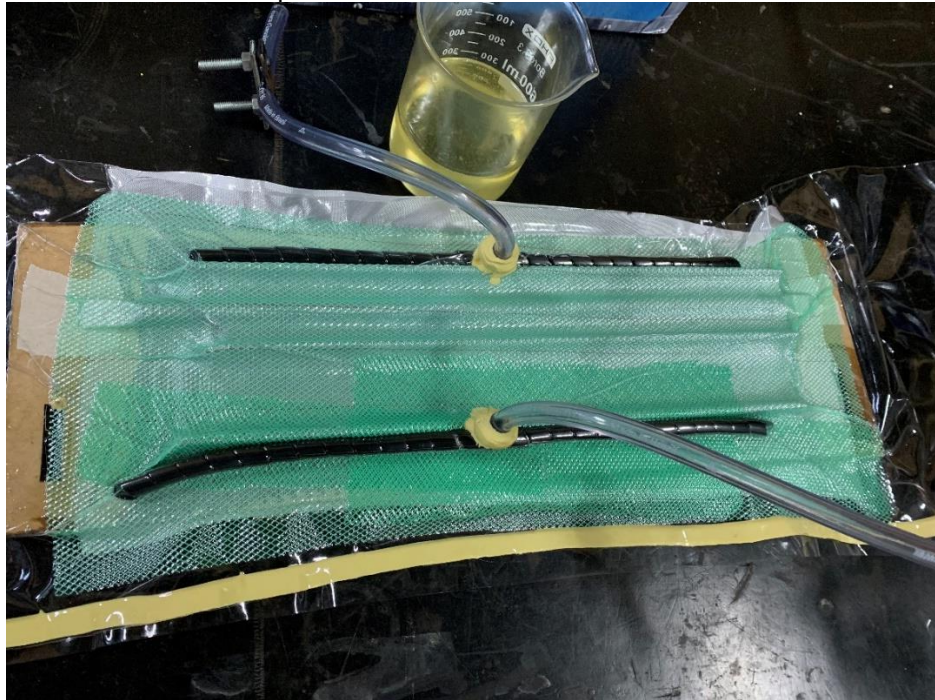
Figura 24 - Tubo espiral.



Fonte: Autor (2019).

Ele foi posicionado no sentido transversal ao fluxo da resina, contribuindo para uniformizar o espalhamento por toda a superfície, ilustrado na Figura 24.

Figura 25 - Posicionamento do tubo espiral.



Fonte: Autor (2019).

4.1.9 Conexão

O tubo espiral da entrada e também o de saída, são ligados nas mangueiras de alimentação e de descarga por meio conexões T, que são mostradas na Figura 26.

Figura 26 - Conexão "T".



Fonte: Autor (2019).

4.1.10 Plástico de alto vácuo

O plástico de auto vácuo é um material sintético de polietileno de baixa densidade (PEBD), transparente, resistente ao manuseio e isentos de microporos que possam afetar a estanqueidade do vácuo. Ver Figura 27.

Com esse material se faz uma sacola, cuja as bordas foram coladas com fita dupla face.

Figura 27 - Plástico de auto vácuo.



Fonte: Autor (2019).

A entrada e saída foram formados pelos conectores “T”, ficam em extremidades opostas e determinaram o espaço de formação do vácuo.

Cabe observar que nesse ponto, que uma primeira tentativa foi feita, colando o plástico diretamente sobre a base metálica dos moldes. Com este procedimento houve vazamento e não se conseguiu manter o vácuo. Ver Figura 28.

Figura 28 - Sistema de vácuo, tentativa 01.



Fonte: Autor (2019).

A segunda tentativa, foi feito uma sacola, dobrando o plástico e colando as bordas com uma fita dupla face, conforme ilustrado na Figura 29. Para isso, essa fita foi do tipo *tacky tape*.

Figura 29 - Sacola de vácuo em torno dos materiais.

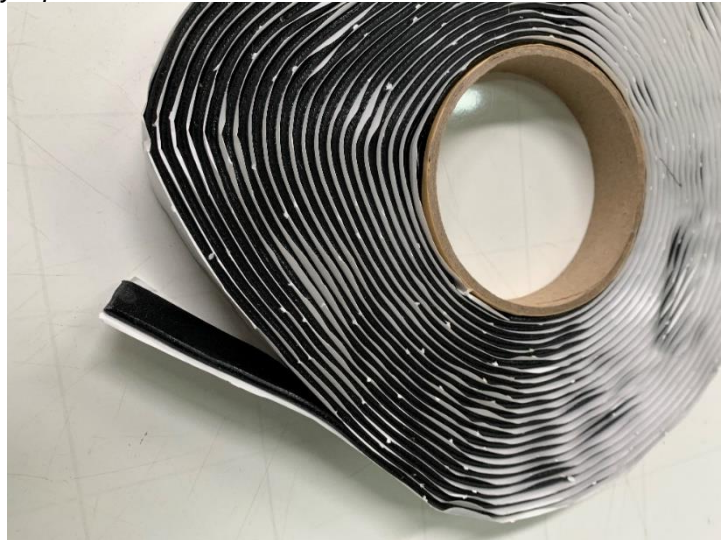


Fonte: Autor (2019).

4.1.11 Fita *tacky tape*

O *tacky tape* é uma fita adesiva usada para selar pontas plásticas, e apresentam grande flexibilidade, elasticidade, resistência as forças de cisalhamento e de alta aderência. A fita é mostrada na Figura 30.

Figura 30 - Fita *tacky tape*.



Fonte: Autor (2019).

No presente trabalho foram utilizados, dois rolos, de duas procedências diferentes e cores diferentes: amarela e preta. Os *tacky tapes* foram usados para selar os conectores “T” nas entradas e saídas de resina.

4.1.12 Mangueiras

As mangueiras utilizadas foram de cloreto de polivinila (PVC), translúcidos, o que facilitou a visualização da trajetória dos fluidos, e essa mangueira apresentou resistência, pois ela resistiu os esforços de pressão negativa contida no sistema. Mangueira ilustrada na Figura 31.

Figura 31 - Mangueira translúcida.



Fonte: Autor (2019).

Três pedaços de mangueiras foram utilizados. A primeira parte, ligou a bomba ao recipiente de depósito, contendo 400 mm e conduzia apenas ar. A segunda parte, com 800 mm, ligava o recipiente de depósito até *vacuum bag*. Conduzia o excesso de resina aplicada no sistema, até o recipiente de depósito. Já a terceira parte da mangueira, era menor, cerca de 300 mm, e serviu para conduzir a resina epóxi para dentro do *vacuum bag*. A Figura 32 mostra a posição das mangueiras no sistema.

Figura 32 - Posição das mangueiras no sistema.



Fonte: Autor (2019).

4.1.13 Torniquetes

Foram construídos dois torniquetes, com a função de barrar a circulação de fluido tanto na entrada quanto na saída do *vacuum bag*. Os torniquetes são ilustrados na Figura 33.

Figura 33 - Torniquete.



Fonte: Autor (2019).

Em dois casos os torniquetes foram usados, no primeiro caso, ainda sem resina, para testar a estanqueidade da sacola de vácuo durante 15 minutos. E no segundo caso, com a resina já injetada, para manter o vácuo durante todo o tempo de solidificação da resina.

4.1.14 Realização do vácuo

Com o auxílio de uma bomba de vácuo, foi sugado o ar contido na sacola, e conforme o ar era sugado, e com o auxílio das mãos, os materiais foram sendo ajustados sobre o molde. Quando o sistema atingiu -95 KPa, os torniquetes foram fechados e a estanqueidade testada por 15 minutos. Inicialmente verificou se havia entrada de ar. Encontrados os lugares, as falhas foram corrigidas, o sistema foi novamente testado. Após o sucesso do teste de vedação, o sistema foi considerado em alto vácuo e apto a receber a resina.

A correção das entradas de ar foi realizada pela repetição da operação manual de pressionar o plástico contra a fita *tacky tape*. A Figura 34 mostra o sistema com alto vácuo.

Figura 34 - Sistema de *vacuum bag*.



Fonte: Autor (2019).

4.1.15 Resina epóxi

Antes de ser injetada a resina, foi realizado a mistura da resina com o endurecedor nas quantidades mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 - Densidade da resina.

Compósito	Nome	Densidade	Quantidade
Resina	Araldite GY 279	0,941g / 1ml	200ml
Endurecedor	Aradur 1012	0,868g / 1ml	70ml

Fonte: Autor (2019).

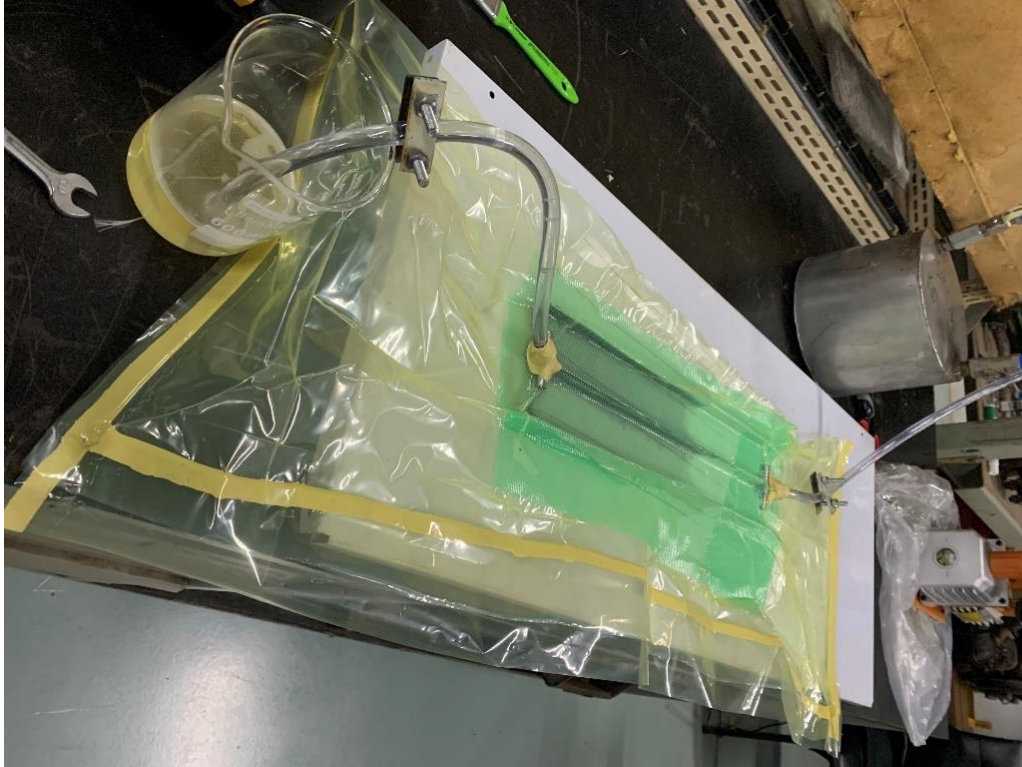
A solução de resina epóxi foi colocada num béquer, e misturada com o endurecedor e agitada por 5 minutos. Depois foi deixada em repouso por 10 minutos. Esse repouso, tem a função de reduzir as bolhas de ar presentes na solução.

Com o tempo de repouso concluído, o béquer foi ligado a sacola de vácuo.

Na sequência foi ligado a bomba de vácuo e aberto o torniquete de saída do sistema. Só então foi aberto o torniquete de entrada de resina.

Durante esse procedimento o vácuo oscilou entre -92 e -98 KPa. A Figura 35 ilustra essa operação.

Figura 35 - Aplicação de resina no sistema.



Fonte: Autor (2019).

Uma vez que a resina se espalhou por todo o sistema, e inclusive preencheu a mangueira que liga a sacola ao recipiente de depósito, os torniquetes foram fechados. Neste estado foram mantidos por 24 horas.

4.1.16 Utilização da estufa para os corpos de prova

Após 24 horas, abriu-se a sacola e se removeu o filme perfurado. O conjunto molde, fibra e *peel ply* foi levado para uma estufa, a 60° por 2 horas. A Figura 36 mostra a estufa utilizada para a secagem dos corpos de prova.

Figura 36 - Estufa para a cura dos corpos de prova.



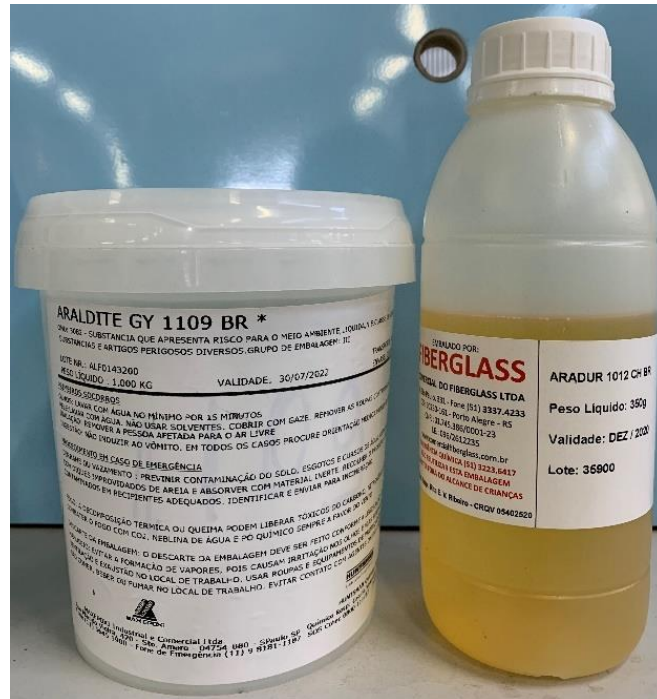
Fonte: Autor (2019).

E, por fim, foi retirada a camada de *peel ply*, e desmoldados os corpos de prova.

4.2 RESINA E ENDURECEDOR

As resinas recomendadas para processos de *vacuum bag* são de menor viscosidade. Para o presente trabalho a recomendação caiu sobre a resina ARALDITE GY 279 e do endurecedor ARADUR 1012 CH. Ilustrada na Figura 37.

Figura 37 - Resina e endurecedor.



Fonte: Autor (2019).

Foram realizados testes com as proporções de resina e endurecedor. Ao realizar o primeiro teste foi utilizada uma proporção de 200 ml da resina ARLDITE GY 279 e 70 ml da endurecedor ARADUR 1012 CH. Percebeu-se que após as 24 horas de secagem, a mistura de resina não se encontrava rígida. Para entender melhor o ocorrido, foram realizadas medições e descoberto que a densidade era diferente entre o endurecedor e resina. Isso levou a alterar as proporções em volume. Foram realizados alguns testes com outras proporções, mostradas na Tabela 3. A partir desses testes foi estabelecida a proporção 5,0 ml de resina para 1,9 ml de endurecedor.

Tabela 3 - Proporção entre resina e endurecedor.

Composito	Nome	Teste 01	Teste 02	Teste 03	Teste 04
Resina	Araldite GY 279	5ml	5ml	5ml	5ml
Endurecedor	Aradur 1012	1,9ml	2,0ml	2,25ml	2,4ml

Fonte: Autor (2019).

A Figura 38 mostra os corpos de prova dos testes de proporção.

Figura 38 - Amostras com variação da proporção de endurecedor.



Fonte: Autor (2019).

4.3 FIBRA DE CARBONO

Uma vez realizados testes com o processo de *vacuum bag* e com as proporções de resina, sempre utilizando fibra de vidro, passou-se a etapa seguinte utilizando fibra de carbono.

A tecelagem do tecido, foi do tipo sarja com fios 2K, isto é, 2.000 filamentos por cabo.

A Figura 39 ilustra o rolo de fibra de carbono utilizado, e a Figura 40 ilustra o detalhe do tecido.

Figura 39 - Folha de fibra de carbono.



Fonte: Autor (2019).

Figura 40 - Detalhe da fibra de carbono.



Fonte: Autor (2019).

4.3.1 Corpos de prova e teste de flexão

Foram construídos corpos de prova com as mesmas dimensões daqueles construídos com fibra de vidro, mas o número de camadas era diferente: 5 camadas e 10 camadas. O método de construção e tratamento térmico em estufa foram os mesmos do corpo de prova em fibra de vidro.

Para realizar os testes de flexão, foi usada uma mesa de desempenho, que garantiu planicidade nos corpos de prova. O sistema de fixação é mostrado na Figura 41.

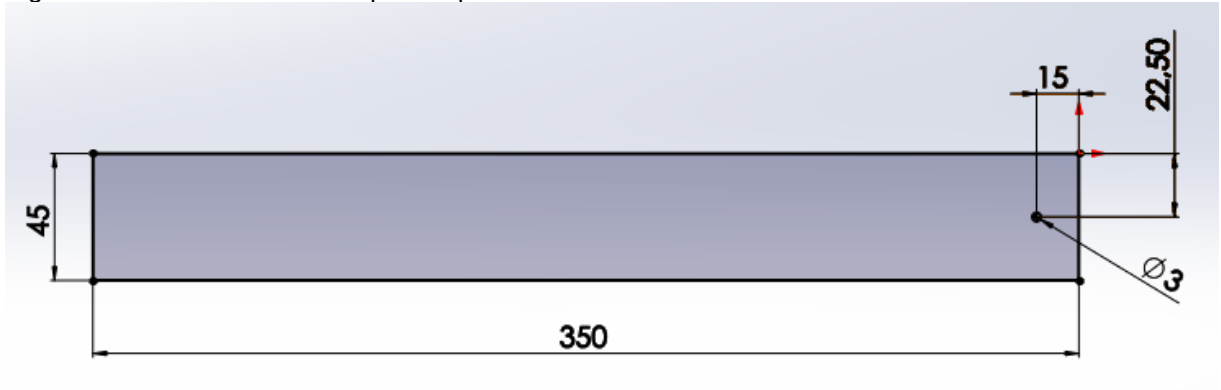
Figura 41 - Mesa utilizada para prender os corpos de provas.



Fonte: Autor (2019).

Os corpos de prova foram preparados inserindo um furo a 15 mm de uma das extremidades. Esse furo teve a função de ancorar o peso padrão para medir a flexão em todos os corpos. Ver a Figura 42.

Figura 42 - Dimensões dos corpos de prova.



Fonte: Autor (2019).

A mesa foi montada com quatro amostras, cada amostra estava separada por uma distância de 150 mm na horizontal, e foram fixadas a uma distância de 200 mm da mesa até o ponto de furação. Ao lado esquerdo foi posto uma régua para indicar as distâncias horizontais desejadas, esta régua também teve a função de auxiliar na medição verticais, dos valores gerados a partir do deslocamento da flexão. Ver Figura 41.

4.3.1.1 Amostra 01

O primeiro corpo de prova, nomeado como amostra 01, foi composto de 10 camadas de fibra de carbono. A espessura resultante foi de 2,5 mm.

Uma das extremidades foi fixada na mesa, na outra extremidade, 200 mm de distância, foi engastado um bloco de alumínio, com peso de 1,33 Kg. As medidas foram tomadas com um paquímetro universal de resolução 0,02 mm. Amostra 01 ilustrada na Figura 43.

Figura 43 - Amostra 01.



Fonte: Autor (2019).

A força aplicada resultou em uma flexão de 23,5 mm.

Os procedimentos descritos acima, se estenderam pelas 4 amostras, e em sequência, serão descritos os resultados obtidos.

4.3.1.2 Amostra 02

O segundo corpo de prova, nomeado como amostra 02, era composto por 5 camadas de fibra de carbono, e a soma dessas camadas resultava numa espessura de 1,3 mm. A Figura 44, ilustra a força aplicada e a flexão obtida.

Figura 44 - Amostra 02.



Fonte: Autor (2019).

Com a aplicação do peso de 1,33 Kg sobre a amostra, resultou em uma flexão de 96,8 mm.

4.3.1.3 Amostra 03

O terceiro corpo de prova, nomeado como amostra 03, era composto por 8 camadas de fibra de vidro, e a soma dessas camadas resultava em uma espessura de 2 mm. A Figura 45, ilustra o força aplicada e a flexão obtida.

Figura 45 - Amostra 03.



Fonte: Autor (2019).

Com a aplicação do peso de 1,33 Kg sobre a amostra, resultou em uma flexão de 94,8 mm.

4.3.1.4 Amostra 04

O quarto corpo de prova, nomeado como amostra 04, era composto por 4 camadas de fibra de vidro, e a soma dessas camadas resultava em uma espessura de 1 mm. A Figura 46, ilustra o força aplicada e a flexão obtida.

Figura 46 - Amostra 04.



Fonte: Autor (2019).

Com a aplicação do peso de 1,33 Kg sobre a amostra, resultou em uma flexão de 178,6 mm.

Os valores obtidos em cada amostra, estão na Tabela 4.

Tabela 4 - Dados de flambagem dos corpos de prova.

Teste	Fibra	Camadas	Flexão (mm)	Peso (Kgf)
1°	Carbono	10	23,5	1,33
2°	Carbono	5	96,8	1,33
3°	Vidro	8	94,8	1,33
4°	Vidro	4	178,6	1,33

Fonte: Autor (2019).

4.4 MANUFATURA DA BASE ROBÓTICA

Esta seção descreve os procedimentos realizados na fabricação dos componentes de fibra de carbono para a plataforma robótica.

4.4.1 Sistema de alto vácuo

Na construção das peças compostas de fibra de carbono para a base robótica, foi utilizado o sistema de *vacuum bag*. O sistema está mostrado na Figura 47.

O sistema foi dividido em três partes: bomba de vácuo, recipiente de depósito e sacola de vácuo.

Figura 47 - Sistema de alto vácuo.



Fonte: Autor (2019).

4.4.1.1 Bomba de vácuo

A bomba de vácuo utilizada na construção das peças da plataforma robótica foi a bomba DVR II, por alcançar os níveis de vácuo desejados. Vácuo nominal de 0.02 mbar, com deslocamento de 155 l/m / 5.5 cfm. A Figura 48 mostra a bomba de vácuo utilizada.

Figura 48 - Bomba de vácuo.



Fonte: Autor (2019).

4.4.1.2 Recipiente de depósito

O recipiente de depósito teve a finalidade de barrar a condução da resina epóxi. Assim sendo, o excesso de resina no *vacuum bag* é conduzido até o recipiente, evitando que a mesma seja direcionada até vacuômetro e a bomba de vácuo. Sistema ilustrado na Figura 49.

Figura 49 - Recipiente de depósito.



Fonte: Autor (2019).

4.4.1.3 Sacola de vácuo

A sacola de vácuo foi composta pelos mesmos componentes ilustrados na Figura 16.

O formato da peça base, se definiu através das características confeccionadas no molde. Assim sendo, a resina aplicada no *vacuum bag*, copiou as geometrias presentes no molde, resultando a peça desejada.

Para auxiliar na retirada da peça do molde, foi realizada a aplicação de cera e desmoldante, processo descrito nos procedimentos realizados com os corpos de prova.

Sobre o molde, foram aplicadas 6 camadas de fibra de carbono determinadas a partir dos estudos dos corpos de provas, que resultaram na espessura e rigidez a peça.

Sobre a fibra de carbono foi colocado uma camada de *peel ply*, conforme a experiência adquirida na construção dos corpos de prova.

Sobre o *peel ply* foi posicionado filme perfurado essa com a finalidade de auxiliar a espalhar a resina por todo o molde, mais complexo que os moldes dos corpos de prova. Na região de saída da resina, foi aplicada uma segunda camada de filme perfurado, facilitando que a resina se propagava da resina.

Por fim, foi colocada a sacola de vácuo. Para o fechamento da sacola plástica, foram utilizados dois tipos de fita dupla face: a *tacky tape* e a dupla face comum. As características da primeira foram apresentadas na seção 4.1.11. A falta momentânea do material de construção da sacola e da fita *tacky tape* criou a necessidade de experimentar outros materiais existentes no mercado local. Assim foi realizada a experiência com lâminas de cloreto de polivinila de espessura 0,2 mm e com fita dupla face 3M. Constatou-se que os resultados foram melhores se comparados com os materiais fornecidos pelas lojas especializadas.

A fita dupla face, é uma fita mais fina, composta por materiais poliméricos de propriedades translúcidas, porém, demanda uma maior atenção na hora de sua aplicação, e de estrema dificuldades para aplicar em regiões complexas. A sua vantagem é o baixo custo.

Após executar os procedimentos acima, foram feitos os testes de vedação da sacola, descrito na seção 4.1.14.

A resina foi introduzida para dentro do sistema de sacola, e mantida em alto vácuo por 24 horas, tempo em que a resina leva para enrijecer. E por fim a peça é levada a estufa.

4.4.2 Estufa da base

Para a secagem da base, peça principal da plataforma robótica, foi necessário desenvolver uma estufa. No interior da estufa, foi instalado um sensor ligado a um termostato, o qual informava a temperatura interna. Assim sendo, manualmente, a temperatura foi mantida em torno de 60°C pelo período de 2 horas. A Figura 50 ilustra o leitor da temperatura e parte da estufa.

Figura 50 - Sensor de temperatura interna da estufa.



Fonte: Autor (2019).

4.5 CONFECÇÃO DOS MOLDES

Durante esta seção é descrita a construção dos moldes da base e carenagem superior.

4.5.1 Molde inferior

O molde utilizado para a construção da base robótica, foi confeccionada em chapa de aço 1020, a qual foi dobrada nas medidas desejadas. Sobre o molde foram soldadas cantoneiras de 1/2". Essas cantoneiras serviram para estampar as dobras na fibra de carbono, que funcionaram para enrijeceram a fibra.

O molde inferior e base resultante, estão ilustrado na Figura 51 (a) e (b).

Figura 51 - Molde da base.



(a)

(b)

Fonte: (a) e (b) Autor (2019).

4.5.2 Molde superior

A construção do molde da carenagem superior foi dividida em duas etapas: molde 01 e molde 02.

O molde 01 foi construído sobre a peça base, que tinha sido confeccionada em fibra de vidro, com intuito de garantir as medidas de largura. A peça base está mostrada na Figura 52.

Figura 52 - Base de fibra de vidro.



Fonte: Autor (2019).

Usando a base de fibra de vidro, construiu-se em cima um molde cujo núcleo era isopor. O acabamento de sua superfície foi realizado com massa acrílica. A Figura 53 está ilustrando o molde 01.

Figura 53 - Molde 01.



Fonte: Autor (2019).

O molde 01 foi posicionado na sacola de vácuo, posto das camadas de fibra de vidro, os tecidos desmoldante e aplicado o sistema de vácuo. Este processo com fibra de vidro, resultaria no molde 02, porem as forças negativas de pressão, fizeram com que a massa corrida e o isopor quebrassem, assim, o molde foi retirado da sacola de vácuo, removido dos tecidos desmoldante e a fibra de vidro, e a parte interna do molde foi preenchida com areia. Molde 01 com areia ilustrado na Figura 54.

Figura 54 - Molde 01 com areia.



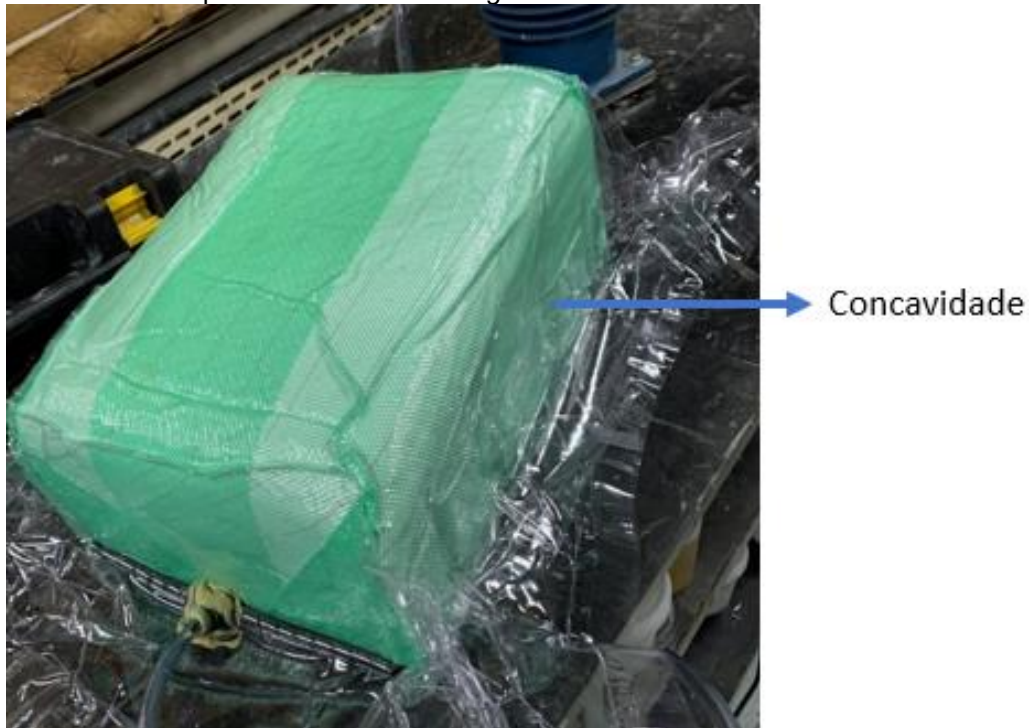
Fonte: Autor (2019).

Com o molde 01 concertado, foi iniciada a construção do que se começa a descrever como molde 02.

Durante a execução do processo *vacuum bag* no molde 02, as medidas permaneceram as mesmas, mas com o passar do tempo, foi observado que as laterais e a parte superior passaram por deformações, transformando as partes planas em côncavos.

Passado o período de secagem da resina epóxi, o molde foi retirado da sacola de vácuo, e diagnosticado que em algumas regiões a resina penetrou na massa corrida e entrou em contato com o isopor, dissolvendo-o, por isso gerou as deformações do molde 02. A Figura 55 mostra das deformações.

Figura 55 - Molde 02 no processo de *vacuum bag*.



Fonte: Autor (2019).

O molde 02 passou então por um retrabalho, e as suas partes que antes eram externas, foram cobertas por massa de cimento.

Diretamente sobre a argamassa foram aplicadas duas camadas de desmoldante, a primeira recobriu as porosidades e a segunda funcionou como desmoldante.

Para otimizar a utilização da fibra de carbono sobre o molde 02, a manta de fibra de carbono, foi cortado em duas formas. A primeira com mantas para cobrir a parte superior, a parede frontal e parede traseira, a segunda foram as mantas que recobriram as laterais direita e esquerda.

Foram recortados 6 pedaços de dimensões 314 x 745 mm, que foram sobrepostos sobre a região superior, parede frontal e parede traseira.

Outros 12 pedaços de 35 x 405 mm, foram distribuídos entre as faces direita e esquerda.

A união entre as camadas foi feita por costura com fios de fibra de carbono.

Sobre as camadas de fibra de carbono foram colocados o *peel ply*, o filme perfurado. Envolvendo todo o conjunto foi montada a sacola de vácuo. A seguir injetada a resina, deixada enrijecer por 24 horas e depois tratada na estufa do mesmo modo que nas peças anteriores.

A Figura 56 (a) ilustra o molde 02 em pleno desenvolvimento em cimento, e a Figura 56 (b) apresenta a carenagem superior.

Figura 56 - Molde 02 em pleno modelamento com cimento.



(a)

(b)

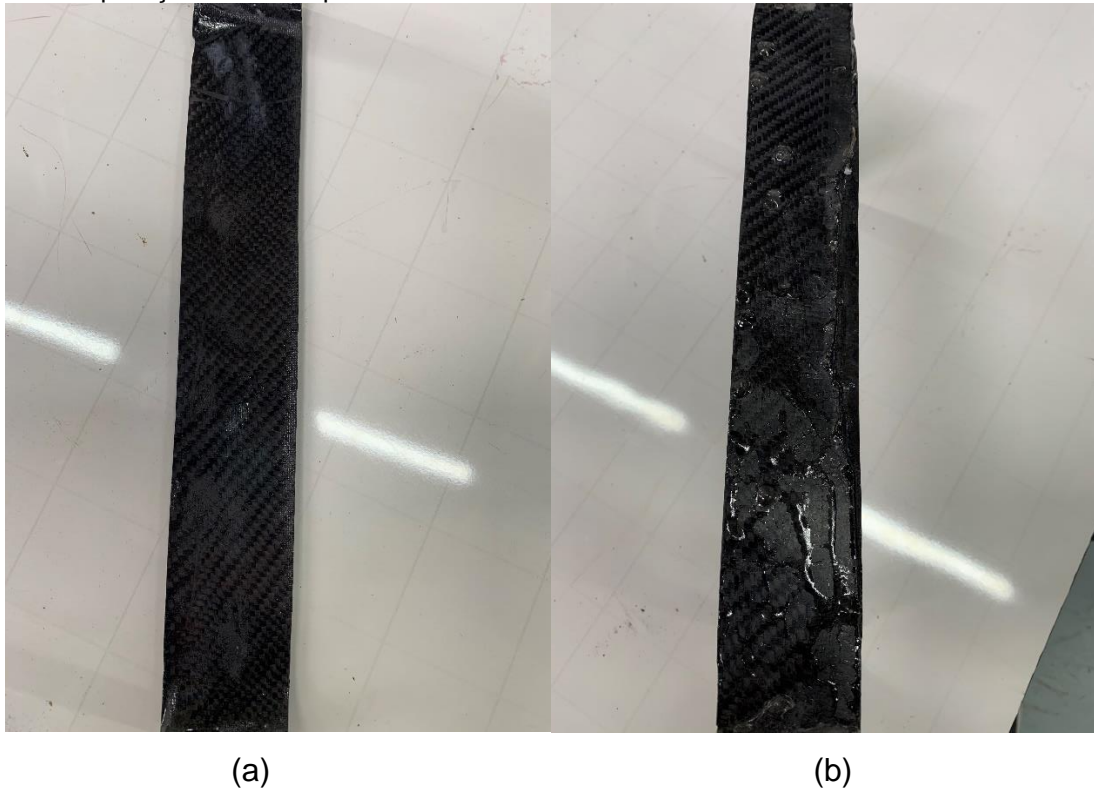
Fonte: (a) e (b) Autor (2019).

4.6 ACABAMENTO DAS PEÇAS

Dentre os procedimentos de fabricação realizados, das peças, sejam as de aço, polímero ou fibra de carbono, foram realizados com o auxílio de limas e lixas que garantiram um melhor acabamento nas peças.

Durante o recorte das peças de fibra de carbono, sobrou pedaços de material, que foi realizado testes para se obter um melhor acabamento. Foi aplicando uma fina camada de resina com o pincel, para ver como iria ficar após a secagem. A Figura 57 (a) mostra a resina aplicada na região da peça que estava em contato com o *peel ply*, a Figura 57 (b) mostra a resina aplicada na região que estava em contato com o molde.

Figura 57 - Aplicação de resina para acabamento.



Fonte: (a) e (b) Autor (2019).

O resultado obtido com o teste, mostra que as regiões que tem cera, não se tornam aderentes a resina. Portanto as regiões que contem cera, foram lixadas com lixa de 200 grãos para remover a cera.

4.7 MONTAGEM

Antes da montagem foi realizado a pesagem dos componentes mecânicos. Resultados de pesagem são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Peso dos componentes mecânicos.

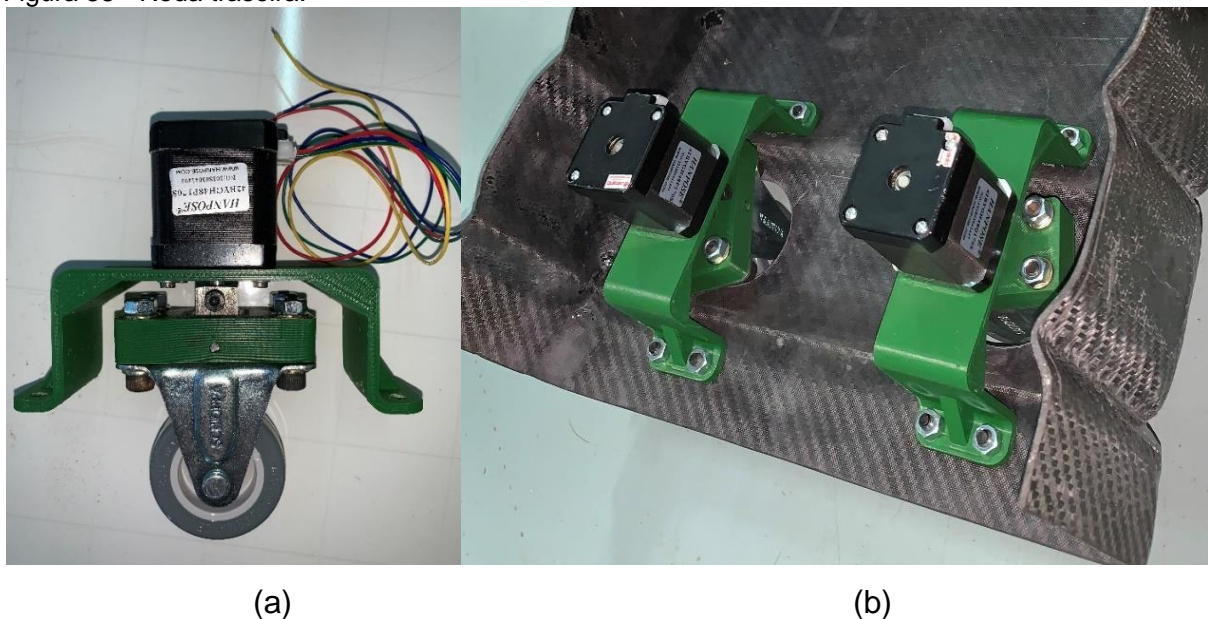
Peso dos conjuntos	Peso (g)	Quantidade	Peso somado (g)
Carenagem	824	1	824
Base	832	1	832
Bateria de lítio	814	1	814
Suporte bateria	9	2	18
Carregador	385	1	385
Conjunto roda traseira	654	2	1.308
Apenas motor de passo	362	2	724
Conjunto roda dianteira	3.058	2	6.116
Apenas motor de corrente contínua	1.426	2	2.852
Peso total			10.297
Peso total da plataforma anterior			22.560

Fonte: Autor (2019).

O processo de montagem começou com a furação da peça base, deixando a mesma preparada para receber os componentes.

O primeiro componente montado foi o conjunto de roda traseiros, a Figura 58 (a) está ilustrando o componente montado, e a Figura 58 (b) mostra o conjunto fixado na peça base.

Figura 58 - Roda traseira.



Fonte: Autor (2019).

As rodas dianteiras foram o segundo componente a ser montado. A Figura 59 (a) ilustra a montagem do componente com roda, e a Figura 59 (b) mostra a fixação do componente na peça base.

Figura 59 - Rodas dianteiras.



(a)

(b)

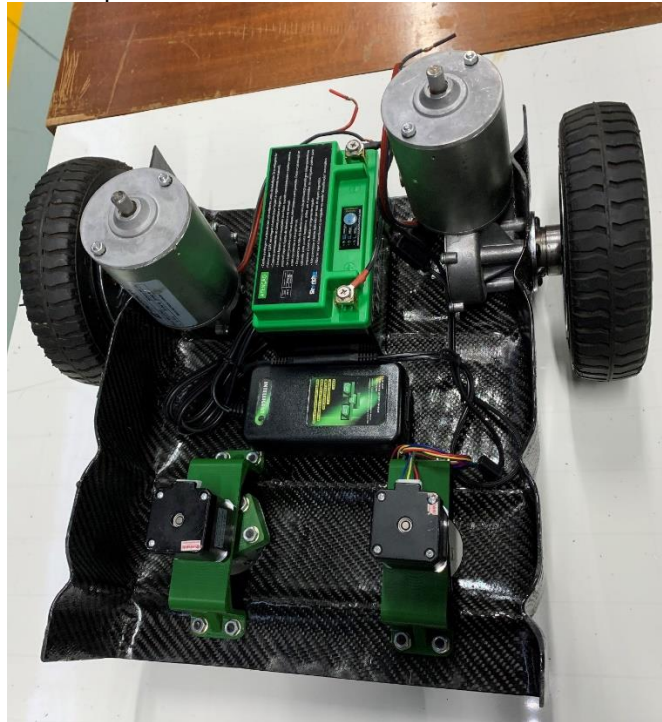
Fonte: Autor (2019).

Em sequência foi realizado a montagem da estrutura que fixa a bateria na base, e junto realizado a fixação do carregador.

O quarto componente foi a carenagem superior, que foi projetada e desenvolvida, para que tivesse uma pequena interferência nos encaixes, e assim eliminou-se os sistemas de fixação.

Por fim os componentes mecânicos estavam montados, na espera de receber os componentes eletrônicos e os programas, para assim, ver a plataforma robótica se movimentar remotamente. A Figura 60 ilustra a montagem dos componentes mecânicos.

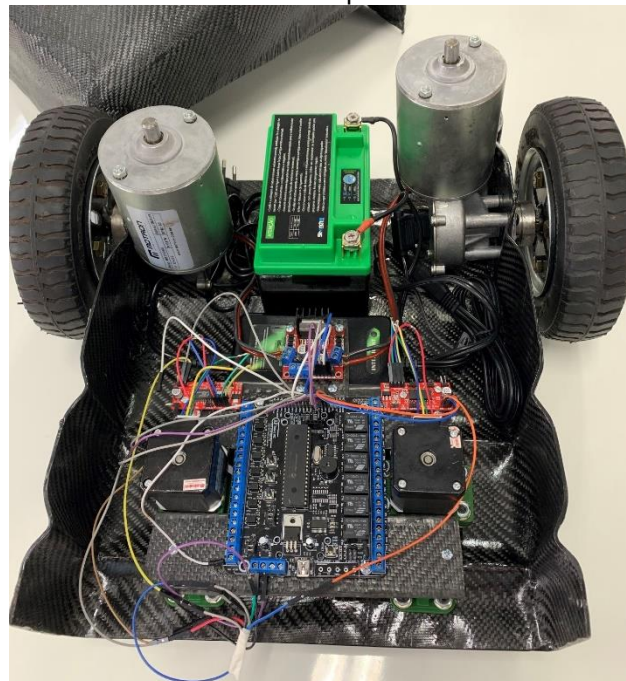
Figura 60 - Montagem dos componentes internos mecânicos.



Fonte: Autor (2019).

A Figura 61 mostra a montagem dos componentes eletrônicos.

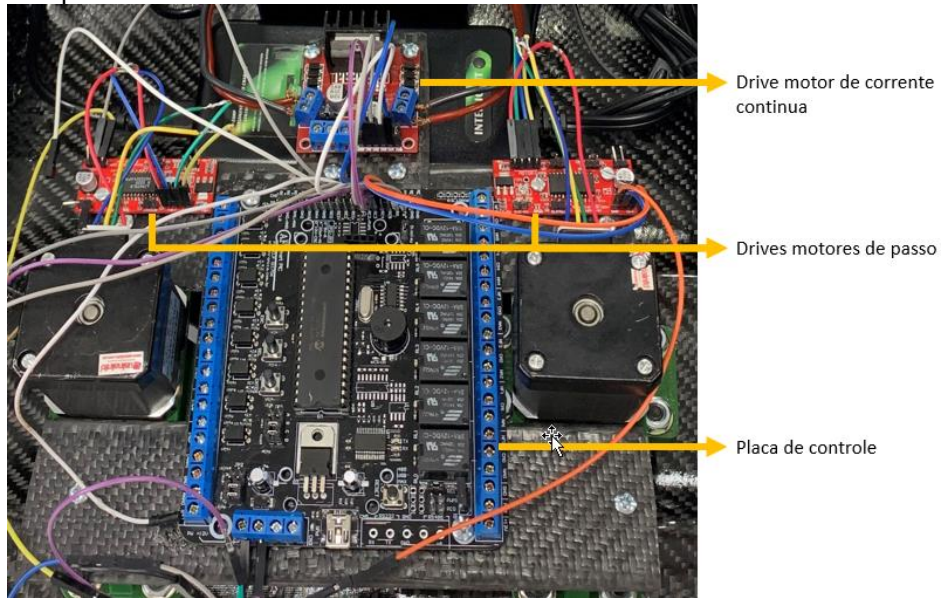
Figura 61 - Plataforma robótica montada com os componentes mecânicos e eletrônicos.



Fonte: Autor (2019).

Os componentes eletrônicos estão mostrados na Figura 62.

Figura 62 - Componentes eletrônicos.



Fonte: Autor (2019).

Os detalhes da parte inferior da plataforma robótica são mostrados na Figura 63.

Figura 63 - Detalhes inferiores da plataforma robótica.



Fonte: Autor (2019).

A Figura 64 mostrar a vista superior da montagem final da plataforma robótica.

Figura 64 - Vista superior da montagem final.



Fonte: Autor (2019).

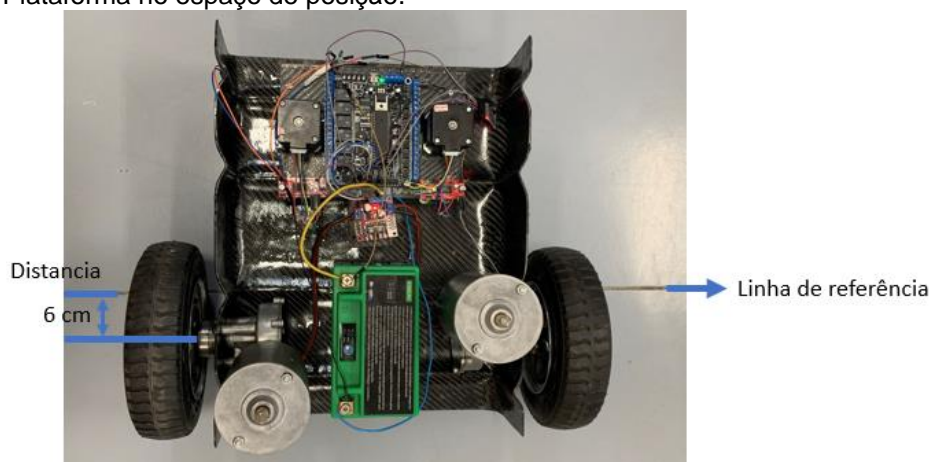
4.8 TESTES

Foram realizados testes de movimentação sobre condições de solo piso industrial.

Os primeiros testes foram realizados com as rodas suspensas, que serviram para testar e validar os programas de movimentação, e os comandos passaram a ser controlados por um aplicativo de telefone celular.

A plataforma se moveu sobre o piso industrial, corroborando que os comandos de parada se estabelecessem dentro da posição de espaço de 10 cm. A Figura 65 mostra a parada da plataforma no espaço de posição em 6 cm.

Figura 65 - Plataforma no espaço de posição.



Fonte: Autor (2019).

Por outro lado, os testes de girar no próprio eixo vertical e realizar curvas foram falseados por limitação técnica de componentes eletrônicos.

CONCLUSÃO

Durante as etapas de procedimento de plataforma robótica, teve-se por objetivo desenvolver conhecimentos sobre a fibra de carbono, para desenvolver uma estrutura mais leve e ao mesmo tempo rígida. Utilizando como método o artefato de design, pode ser definir as funções, os comportamentos e a estrutura.

Conclui-se, portanto, que com a realização deste estudo, buscou aumentar o conhecimento sobre os tipos e requisitos de robô de serviço. Observando as características mecânicas e técnicas de construção de estruturas em fibra de carbono e funcionalidade de direção ativa.

Após os testes serem realizados, constatou-se que a movimentação da plataforma na linearidade foi validada, falseando os acionamentos de controle sobre curvas.

A base robótica foi construída, e desenvolvidas as técnicas de construção utilizando fibra de carbono, e descrevendo cuidados que se deve ter com a construção dos moldes.

Para melhorias futuras, sugere-se realizar um dimensionamento para os motores, pois a plataforma robótica atual pesa cerca de 10,3Kg, sendo 34,7% correspondente ao peso dos motores. Além disso, realizar estudos de elementos finitos para identificar os pontos de maior tensão mecânica, e utilizar as quantidades necessárias de fibra de carbono em cada ponto.

Após a comparação dos resultados, constatou-se que a maioria dos requisitos foram atendidos, resultando em uma redução de 54,22% do peso comparada à plataforma anterior, resultando também em um melhor controle no espaço de posicionamento.

REFERÊNCIAS

- ABB ROBOTICS. ***The IRB1000 was believed to be the worlds fastest assembly robot with a pendulum configuration.*** 2014. Disponível em: <<https://twitter.com/abbrobotics/status/535372385638420481/>>. Acesso em 13 jun. 2019.
- AICIA. ***Nanotechnology.*** 2014. Disponível em: <<http://aicia.es/portfolio-item/nanotechnology/>>. Acesso em 19 jun. 2019.
- ARROW, K. J. ***Classificatory note on the production and transmission of technological knowledge.*** *The American economic review.* 1996. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.471.9736&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em 24 mai. 2019.
- ASADA, H. H. ***Introduction to robotics. Massachusetts: Department of mechanical engineering,*** 2005. Disponível em: <<https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-12-introduction-to-robotics-fall-2005/lecture-notes/chapter3.pdf>>. Acesso em 13 jun. 2019.
- BRITES, F. G.; & SANTOS, V. P. ***Motor de passo.*** Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2008. (Tutorial apresentado pelo grupo PET-Tele, Niterói). Disponível em: <<https://www.telecom.uff.br/pet/petws/downloads/tutoriais/stepmotor/stepmotor2k81119.pdf>>. Acesso em 30 jul. 2019.
- CLEANTECH CONCEPTS. ***Vartega: Recycled carbon fiber for auto, aerospace mass markets.*** 2019. Disponível em: <<http://www.cleantechconcepts.com/2016/08/vartega-brings-recycled-carbon-fiber-to-auto-aerospace-mass-markets/>>. Acesso em 18 jun. 2019.
- CRAIG, J. J. ***Introduction to Robotics.*** 3 ed. *Upper Saddle River: Pearson education nternational,* 2005. Disponível em: <http://www.mech.sharif.ir/c/document_library/get_file?uuid=5a4bb247-1430-4e46-942c-d692dead831f&groupId=14040>. Acesso em 11 jun. 2019.
- EBAY. ***CNC Metal robot ATV trac tank chassis susoension obstacle crossing crawler A.*** 2019. Disponível em: <<https://www.ebay.co.uk/itm/CNC-Metal-Robot-ATV-Track-Tank-Chassis-Suspension-Obstacle-Crossing-Crawler-A-/202420070670>>. Acesso em 14 jun. 2019.
- ISO. ***ISO 8373. Standard 8373 - Robots and robotic devices - Vocabulary.*** 2012.
- JERSEY EVENING POST. ***MIT researchers create the first four-legged robot to perform a backflip.*** 2019. Disponível em: <<https://jerseyeveningpost.com/news/viral-news/2019/03/04/mit-researchers-create-the-first-four-legged-robot-to-perform-a-backflip/>>. Acesso em 14 jun. 2019.
- JUNIOR, M. P. C. ***Projeto Mecânico de um Robô Humanóide.*** [Projeto de iniciação científica]. Disponível em: <<https://fei.edu.br/robofei/ics/IC-Cortez-2011.pdf>>. Acesso em 14 jun. 2019.

- MACHADO, J. A.; & SILVA, M. F. (2006). **An Overview of Legged Robots**. *International symposium on mathematical methods in engineering*. 2006. Disponível em:
<https://www.researchgate.net/publication/258972509_An_Overview_of_Legged_Robots_pdf>. Acesso em 13 jun. 2019.
- MACHADO, L.; FREITAS JUNIOR, J. C.; FREITAS, A. S.; & KLEIN, A. Z. **A Design Research como método de pesquisa de Administração: Aplicações práticas e lições aprendidas**. Trabalho apresentado no XXXVII Encontro do ANPAD, *Design Research*, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em:
<http://www.anpad.org.br/admin/pdf/2013_EnANPAD_EPQ748.pdf>. Acesso em 04 jun. 2019.
- MALLANETS. **Vacuum resin infusion layer scheme**. Disponível em:
<<https://www.mallanetstechtextile.com/flowmesh-infusion-mesh-composites/>>. Acesso em 31 Out. 2019.
- MIT NEWS. **First stop robot road race, next stop NASA**. 2015. Disponível em:
<<http://news.mit.edu/2015/first-stop-robot-road-race-next-stop-nasa-0508>>. Acesso em 16 jun. 2019.
- PRETI, J. **Projeto e Desenvolvimento de Robô Cartesiano de Baixo Custo para Manipulação de Produtos em Linhas de Média Cadência**. Dissertação – (Doutorado em engenharia elétrica / Robô) - UNESP, Bauru, 2014. Disponível em:
<<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/115741/000802124.pdf;jsessionid=CB5F6FDC50109B67090FD448E965146B?sequence=1>>. Acesso em 11 jun. 2019.
- RAHMANI, H.; NAJAFI, H. M.; & ASHORI, A. **Mechanical performace of epoxy/carbon fiber laminated composites**. *Polymer engineering and science*. 2014. Disponível em:
<https://www.researchgate.net/publication/259461841_Mechanical_Properties_of_Carbon_FiberEpoxy_Composites_Effects_of_Number_of_Plies_Fiber_Contents_and_Angle-Ply_Layers>. Acesso em 21 jun. 2019.
- REDDY, M. N.; & ZHAO, L. **International technology transfer: A review**. 1990. Disponível em:
<<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.458.5829&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em 24 mai. 2019.
- SANTOS, A. L. **Estudo da Modificação Superficial de Fibras de Carbono por Meio de Tratamentos a Plasma para o Aumento da Adesão na Interface de Compósitos de Fobra de Carbono/PPS**. 2015. Tese (Doutorado em engenharia mecânica / Materiais) - UNESP, Guaratinguetá, 2015. Disponível em:
<<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/123292/000825155.pdf?sequence=1>>. Acesso em 18 jun. 2019.
- SIEMENS. **Motores de corrente continua**. Disponível em:
<http://www.marioloureiro.net/tecnica/electrif/Motores_CC_ind1.pdf>. Acesso em 30 jul. 2019.

SPENCER, P.; & YANKELLO, B. **Carbon fiber**. Pensilvânia: By grace for glory publishing, 2017.

TAKEDA, H.; YOSHIOKA, M.; TOMIYAMA, T.; & SHIMOMURA, Y. **Analysis of design processes by function, behavior and structure**. *Preliminary reports*. 1996. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/2718296_Analysis_of_Design_Processes_by_Function_Behavior_and_Structure>. Acessado em: 25 set. 2019.

TECHNOSYS SYSTEMS. **1 Wheel balancing robot**. Disponível em: <<https://www.technosysindia.in/search.html?ss=1+Wheel+Balancing+Robot>>. Acesso em 16 jun. 2019.

UHLMANN, E. **Desenvolvimento dos componentes de movimentação de um robô**. 2017. Monografia – FAHOR, Horizontina, 2017.

WAHAB, S. A.; ROSE, R. C.; & OSMAN, S. I. **Defining the Concepts of Technology and Technology Transfer: A Literature Analysis**. *International business research*. 2012. Disponível em: <https://wbc-rti.info/object/document/15780/attach/Sazali_Abdul_Wahab_-_Defining_the_Concepts_of_Technology_and_Technology_Transfer.pdf>. Acesso em 11 jun. 2019.

WANG, W.; DUFFY, A.; BOYLE, I.; & WHITFIELD, R. I. **A critical realism view of design artefact knowledge**. *Journal of design research* 2013. Disponível em: <<https://strathprints.strath.ac.uk/45064/>>. Acessado em: 22 set. 2019.

ZAMANOV, V.; & DIMITROV, A. **Tracked Locomotion and Manipulation Robots**. *Bulgarian academy of sciences*. 2012. Disponível em: <<http://www.iict.bas.bg/PECR/65/Zamanov.pdf>>. Acesso em 13 jun. 2019.

APÊNDICE A – DETALHAMENTO MOTOR DE PASSO

FAHOR

ESTE DESENHO E AS INFORMAÇÕES NELE CONTIDAS SÃO DE NOSSA PROPRIEDADE E SO PODEM SER USADAS POR TERCIDOS QUANDO AUTORIZADO POR ESCRITO.

METRICO: MILIMETRO

DESENHADO POR: _____ DATA: _____

PESO: _____ ERA: _____ SIMILAR: _____

MATERIAL REF: _____

MATERIAL: _____

CA: _____ REV: _____ DATA: _____ DESCRICAO: _____ POR: _____ APROV: _____

DESCRIÇÃO: _____

CODIGO: _____

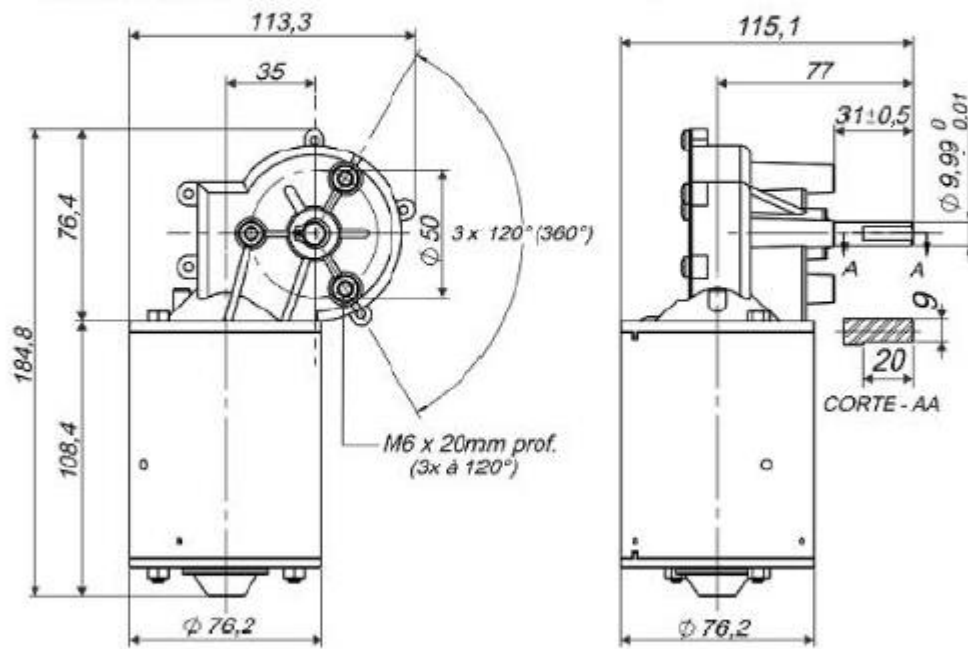
ESCALA: _____ REVISAO: _____ VERSAO: **A4**

Revisão	Descrição	Data
01	01	01/01/2019
02	02	01/01/2019
03	03	01/01/2019
04	04	01/01/2019
05	05	01/01/2019

Nome do produto	Ângulo do passo	Corrente	Resistencia do passe	Indução do passe	Torque
40BYGH48P170	1.8	1.8A	1.8 Ohm	3.2 MH	52N.cm

FONTE: Autor (2019).

ANEXO A



Controlador recomendados: CVE 2002 ou CVE 8701

Dimensões em milímetro (mm)

MODELO	VOLTS V	S / CARGA		MÁXIMA EFICIÊNCIA				TORQUE	
		RPM	A	RPM	A	TORQUE Kgf cm	POTENCIA W CONSUMO	ENTREGA	TRAVADO Kgf cm
MR 210-25	24	25	0,5	16	1,6	51	38	8,2	134
MR 210-45	24	45	0,8	36	2,8	58	67	21	179
MR 210-60	24	60	1	53	3,5	56	84	30	200
MR 210-120	24	120	1,5	108	5,6	42	134	45	225
MR 210-240	24	240	1,5	215	6	24	144	51	107

FONTE: Uhlmann (2017).