



Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA  
Projeto Integrador de Engenharias 2

## **Aspirador de pó autônomo**

Brasília, DF  
2016



Grupo 11

## **Aspirador de pó autônomo**

Projeto realizado durante a disciplina de Projeto Integrador 2 dos cursos de Engenharias da Universidade de Brasília.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof. Dr. Alex Reis

Prof. Dr. Rhander Viana

Prof. Dr. Sébastien Roland Marie Joseph Rondineau

Brasília, DF

2016

---

Grupo 11    Aspirador de pó autônomo/ Grupo 11. – Brasília, DF, 2016-      140  
p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.  
Orientador: Prof. Dr. Alex Reis  
Prof. Dr. Rhander Viana  
Prof. Dr. Sébastien Roland Marie Joseph Rondineau  
Relatório de Projeto de Engenharia – Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA , 2016.  
1. Robô. 2. Limpeza. I. Prof. Dr. Alex Reis  
Prof. Dr. Rhander Viana  
Prof. Dr. Sébastien Roland Marie Joseph Rondineau. II. Universidade de Brasília.  
III. Faculdade UnB Gama. IV. Aspirador de pó autônomo  
CDU 02:141:005.6

---

# **Lista de ilustrações**

Figura 1 – Aspirador de Pó Compacto Home UP.	13
Figura 2 – Aspirador de pó Ecovacs Beebot D35.	14
Figura 3 – Aspirador de pó robô Deboot 4.	14
Figura 4 – Aspirador Roomba 620 iRobot.	15
Figura 5 – Estrutura Analítica do Projeto do R2-PI2.	16
Figura 6 – Bateria de 14.4v.	21
Figura 7 – Bateria de 12.4v.	21
Figura 8 – Bateria de 18v.	21
Figura 9 – Rascunho da estrutura - Solução 1	23
Figura 10 – Kit motor redução.	25
Figura 11 – Roda do tipo esfera.	25
Figura 12 – Estrutura circular de integração dos subsistemas.	26
Figura 13 – Conectores magnético modelo Sony Xperia.	27
Figura 14 – Estrutura da base de recarga.	28
Figura 15 – Simulação do Ansys com o fluxo de massa de um cooler comercial.	29
Figura 16 – Modo de funcionamento do sensor de ultrassom.	31
Figura 17 – Posicionamento dos sensores de ultrassom no robô.	32
Figura 18 – Esquema de funcionamento do sensor de obstáculos por IR (infravermelho).	33
Figura 19 – Arquitetura do CI 4N25.	34
Figura 20 – Arduíno Mega.	35
Figura 21 – Módulo WiFi ESP8266	36
Figura 22 – Raspberry Pi 2 B.	36
Figura 23 – Diagrama de blocos do sistema de controle do R2-PI2. Fonte (MELLO, 2016).	37
Figura 24 – Configurações da Ponte H.	38
Figura 25 – Ponte H.	39
Figura 26 – Encoder Óptico. Fonte:(Newton Braga, 2016)	41
Figura 27 – Sinal gerado pelo encoder óptico. Fonte:(Newton Braga, 2016)	41
Figura 28 – Tipos de encoder. Fonte: Adaptado de Uno robótica educacional	42
Figura 29 – MPU6050 e seus graus de liberdade.	43
Figura 30 – Arquitetura de comunicação do sistema	44
Figura 31 – Interfaface Home.	45
Figura 32 – Interfaface Comando.	46
Figura 33 – Interfaface Histórico.	46
Figura 34 – Interfaface Programação.	47

Figura 35 – Estrutura analítica de riscos. . . . .	51
Figura 36 – Riscos identificados 1. . . . .	52
Figura 37 – Riscos identificados 2. . . . .	52
Figura 38 – Riscos identificados 3. . . . .	53
Figura 39 – Qualificação dos riscos. . . . .	54
Figura 40 – Riscos Identificados no PC2 1. . . . .	56
Figura 41 – Riscos Identificados no PC2 2. . . . .	56
Figura 42 – Riscos Identificados no PC2 3. . . . .	57
Figura 43 – Riscos Identificados no PC2 4. . . . .	57
Figura 44 – Qualificação dos riscos do PC2 1. . . . .	57
Figura 45 – Qualificação dos riscos do PC2 2. . . . .	58
Figura 46 – Resposta aos riscos PC2 1. . . . .	58
Figura 47 – Resposta aos riscos PC2 2. . . . .	58
Figura 48 – Tempo de resposta do servidor. . . . .	60
Figura 49 – Estratégia para identificação da direção da base. . . . .	62
Figura 50 – Estratégia para identificação da direção da base com pontos colineares. . . . .	62
Figura 51 – Vista superior. A esquerda em 3D e a direita desenho técnico. . . . .	63
Figura 52 – Primeiro corte realizado para confecção da base. . . . .	64
Figura 53 – Base com as rodas montadas. . . . .	65
Figura 54 – Os suportes feitos para fixar as rodas. . . . .	65
Figura 55 – Teste 1 para verificar a estabilidade do carrinho. . . . .	66
Figura 56 – Teste 2 – Verificando a resistência da estrutura. . . . .	66
Figura 57 – Vista isométrica. . . . .	67
Figura 58 – Vista explodida dos componentes. . . . .	67
Figura 59 – Vistas em corte. . . . .	68
Figura 60 – Bateria NK 18650 Ultrafire. . . . .	69
Figura 61 – Experiência de Faraday. . . . .	71
Figura 62 – Transformador elétrico. . . . .	72
Figura 63 – Diagrama elétrico. . . . .	72
Figura 64 – Circuito do tipo Retificador em ponte utilizado no carregador. . . . .	74
Figura 65 – Fios de entrada e saída do transformador. . . . .	75
Figura 66 – Medição para aferição da tensão de saída. . . . .	75
Figura 67 – Carregador sem o plug magnético. . . . .	76
Figura 68 – Teste de corrente. . . . .	76
Figura 69 – Resistor com potência de 5W. . . . .	77
Figura 70 – Peça 1 e Peça 2 Respectivamente. . . . .	77
Figura 71 – Interação entre os pólos magnéticos. . . . .	78
Figura 72 – Trilho que será guia para as rodas. . . . .	79
Figura 73 – Desenho da base de recarga. . . . .	80

Figura 74 – Vista isométrica e superior da montagem, onde os buracos representam a posição dos coolers. . . . .	81
Figura 75 – Montagem com cooler de 5 cm. . . . .	81
Figura 76 – Montagem com cooler de 14 cm. . . . .	82
Figura 77 – Protótipo com dois coolers de 14 cm. . . . .	82
Figura 78 – Hélices do ventilador centrífugo. . . . .	83
Figura 79 – Fluxo de ar em um ventilador de ar centrífugo. Republic Manufacturing	83
Figura 80 – Hélices construídas em alumínio. . . . .	84
Figura 81 – Vistas do protótipo feito com CD's. . . . .	84
Figura 82 – Motor de 52.8W instalado na estrutura de aspiração. . . . .	85
Figura 83 – Sistema de sucção com o compartimento de sujeira. . . . .	85
Figura 84 – Escova mágica conectada ao motor DC de 6V. . . . .	86
Figura 85 – Subsistema de sucção completo. . . . .	87
Figura 86 – Antes e depois do teste com o sistema de sucção pronto. . . . .	89
Figura 87 – Fluxograma do algoritmo de locomoção do R2-PI2, realizado pela equipe de eletrônica para testes iniciais. . . . .	90
Figura 88 – Aproximação das faixas de tensão apresentadas pelos LEDs. . . . .	91
Figura 89 – Divisor de tensão. . . . .	92
Figura 90 – Simulação do divisor de tensão. . . . .	94
Figura 91 – Simulação do divisor de tensão de 12.6V para 5V. . . . .	95
Figura 92 – Circuito do medidor de bateria. . . . .	95
Figura 93 – Circuito de proteção com acoplamento óptico. . . . .	96
Figura 94 – Sensor de velocidade e disco de encoder. . . . .	96
Figura 95 – Circuito de locomoção do aspirador. . . . .	98
Figura 96 – Esquema de redução de ruído do motor. . . . .	99
Figura 97 – Circuito de controle dos motores. . . . .	99
Figura 98 – Pinagem do MPU650 utilizado nos teste. . . . .	101
Figura 99 – Figura da serial obtida nos testes do MPU650. . . . .	102
Figura 100 – Esquemático do hardware implementado para realizar a comunicação entre os microprocessadores. . . . .	103
Figura 101 – Esquemático interno do CD4050.(Embarcados) . . . . .	104
Figura 102 – Kit de desenvolvimento ESP8266 WiFi 802.11 B/g/n.(AF Eletrônica) .	104
Figura 103 – Teste de comunicação Arduino/módulo Wifi. . . . .	107
Figura 104 – Teste de comunicação Arduino/Raspberry. . . . .	108
Figura 105 – Diagrama de domínio. . . . .	109
Figura 106 – Interface - Home. . . . .	109
Figura 107 – Interface - Login. . . . .	110
Figura 108 – Interface - Agendamento. . . . .	110
Figura 109 – Diagrama arquitetural do sistema R2-PI2. . . . .	111

Figura 110 – Plano geral de integração dos subsistemas para o robô.	113
Figura 111 – Plano geral de integração dos subsistemas para a base.	114
Figura 112 – Peça 1 e peça 2 respectivamente.	116
Figura 113 – Interação entre as peças.	117
Figura 114 – Base de Recarga.	118
Figura 115 – Teste de coleta de sujeira com o novo motor acoplado.	119
Figura 116 – Teste da coleta de sujeira com a abertura de parte da parede interna.	120
Figura 117 – Teste de coleta de sujeira após o acréscimo de pano a escova.	120
Figura 118 – Imagem dos novos cabos e da nova mangueira ligada ao aspirador.	121
Figura 119 – Roda com suporte largo.	121
Figura 120 – Roda com suporte justo.	122
Figura 121 – Base com furos centrais.	122
Figura 122 – Base com furos na parte traseira.	123
Figura 123 – Suporte com corte para o eixo do encoder.	123
Figura 124 – Alongamento do eixo com encoder.	124
Figura 125 – Fixação do sensor de velocidade.	124
Figura 126 – Encoder acoplado a estrutura do robô.	124
Figura 127 – Novo CAD.	125
Figura 128 – Fabricação da estrutura.	125
Figura 129 – Processo geral de desenvolvimento da solução.	133
Figura 130 – Processo metodológico de desenvolvimento da solução.	135
Figura 131 – Cronograma do projeto.	137
Figura 132 – Cronograma do projeto - Release 2	138

# **Lista de tabelas**

Tabela 1 – Descrição do Problema . . . . .	12
Tabela 2 – Equipe do projeto R2-PI2 . . . . .	17
Tabela 3 – Equipe - Áreas de atuação . . . . .	18
Tabela 4 – Requisitos do sistema . . . . .	20
Tabela 5 – Propriedades mecânicas do alumínio. Adaptado de Shockmetais . . . . .	24
Tabela 6 – Especificação motor de redução . . . . .	26
Tabela 7 – Especificações roda tracionada . . . . .	26
Tabela 8 – Valores das propriedades mecânicas do PVC. . . . .	27
Tabela 9 – Matriz de probabilidade de riscos do R2-PI2. . . . .	49
Tabela 10 – Matriz de impacto de riscos. . . . .	49
Tabela 11 – Matriz de probabilidade e impacto. . . . .	50
Tabela 12 – Legenda matriz de probabilidade . . . . .	50
Tabela 13 – Resposta aos riscos. . . . .	55
Tabela 14 – Riscos ocorridos e suas respostas. . . . .	59
Tabela 15 – Consumo energético. . . . .	70
Tabela 16 – Resultados do teste 1. . . . .	73
Tabela 17 – Resultados do teste 2. . . . .	73
Tabela 18 – Bateria vs supercondensador. . . . .	78
Tabela 19 – Dados do cooler . . . . .	80
Tabela 20 – Dados do motor DC 12 Volts. . . . .	83
Tabela 21 – Especificações do Motor . . . . .	84
Tabela 22 – Padrões de comunicação - Servidor-Robô . . . . .	105
Tabela 23 – Padrões de comunicação - Robô-Servidor . . . . .	106
Tabela 24 – Gems . . . . .	108
Tabela 25 – Custos eletrônica. . . . .	130
Tabela 26 – Estrutura chassi - solução 1 . . . . .	130
Tabela 27 – Estrutura chassi - solução 2 . . . . .	131
Tabela 28 – Custos base. . . . .	131
Tabela 29 – Custos da alimentação do sistema . . . . .	131
Tabela 30 – Tabela Final de Custos . . . . .	132

# Listas de abreviaturas e siglas

EAP	Estrutura Analítica do Projeto
UnB	Universidade de Brasília
Ni-Mh	Níquel-hidreto Metálico
PVC	Policloreto de vinila
LED	Light Emitting Diodo
IR	Infravermelho
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
CI	Circuito Integrado
Amp Op	Amplificador Operacional
I/O	Input/Output
PWM	Pulse Width Modulation
SRAM	Static Random Access Memory
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
CPU	Central Processing Unit
GPU	Graphics Processing Unit
USB	Universal Serial Bus
GPIO	General Purpose Input/Output
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
PAL	Phase Alternating Line
NTSC	National Television System Committee
LCD	liquid crystal display
DSI	Display Serial Interface
CSI	Camera Serial Interface
AES	Advanced Encryption Standard
IMU	Inertial Measurement Unit

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>1.1</b>	<b>Problema Geral</b>	<b>12</b>
1.1.1	Problemas Específicos	12
<b>1.2</b>	<b>Pesquisa de Mercado</b>	<b>13</b>
<b>1.3</b>	<b>Proposta</b>	<b>15</b>
<b>1.4</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>16</b>
1.4.1	Objetivos Específicos	17
<b>1.5</b>	<b>Equipe e Responsabilidades</b>	<b>17</b>
1.5.1	Política de Comunicação da Equipe	18
<b>1.6</b>	<b>Organização do Trabalho</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>SOLUÇÃO PROPOSTA</b>	<b>20</b>
<b>2.1</b>	<b>Requisitos do sistema</b>	<b>20</b>
<b>2.2</b>	<b>Alimentação</b>	<b>20</b>
<b>2.3</b>	<b>Navegação</b>	<b>22</b>
<b>2.4</b>	<b>Estrutura e Locomoção do robô</b>	<b>22</b>
2.4.1	Solução 1	23
2.4.2	Solução 2	24
<b>2.5</b>	<b>Estrutura da Base de Recarga</b>	<b>27</b>
2.5.1	Solução	27
<b>2.6</b>	<b>Sucção</b>	<b>28</b>
2.6.1	Solução	28
<b>2.7</b>	<b>Sensoriamento</b>	<b>30</b>
2.7.1	Contextualização	30
2.7.2	Instrumentação	30
2.7.2.1	Medição de distância	30
2.7.2.2	Medidor de Bateria	33
2.7.2.3	Proteção dos componentes	34
2.7.3	Hardware para Comunicação	34
2.7.3.1	ATMega 2560	34
2.7.3.2	Módulo de WiFi	35
2.7.3.3	Raspberry Pi	36
2.7.4	Controle	37
2.7.4.1	Sistema de Controle do R2-PI2	37
<b>2.8</b>	<b>Comunicação</b>	<b>43</b>

2.8.1	Base de recarga . . . . .	44
<b>2.9</b>	<b>Interface . . . . .</b>	<b>45</b>
<b>3</b>	<b>PLANO DE GERENCIAMENTO DE RISCOS . . . . .</b>	<b>48</b>
<b>3.1</b>	<b>Processo de Gerenciamento de Riscos . . . . .</b>	<b>48</b>
<b>3.2</b>	<b>Responsabilidade dos Riscos da Equipe do Projeto . . . . .</b>	<b>48</b>
<b>3.3</b>	<b>Probabilidade e Impacto de Riscos . . . . .</b>	<b>49</b>
3.3.1	Matriz de Risco e Probabilidade . . . . .	49
3.3.2	Matriz de Impacto dos Riscos . . . . .	49
<b>3.4</b>	<b>Planejamento de Resposta aos Riscos . . . . .</b>	<b>49</b>
<b>3.5</b>	<b>EAR (Estrutura Analítica de Riscos) . . . . .</b>	<b>50</b>
<b>3.6</b>	<b>Identificação dos Riscos . . . . .</b>	<b>51</b>
<b>3.7</b>	<b>Análise Qualitativa dos Riscos . . . . .</b>	<b>53</b>
<b>3.8</b>	<b>Controle e mudança de riscos . . . . .</b>	<b>54</b>
<b>3.9</b>	<b>Plano de Resposta aos Riscos . . . . .</b>	<b>54</b>
<b>3.10</b>	<b>Gerência de Riscos - Até Ponto de Controle 2 . . . . .</b>	<b>55</b>
<b>4</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO . . . . .</b>	<b>60</b>
<b>4.1</b>	<b>Navegação . . . . .</b>	<b>60</b>
4.1.1	Running . . . . .	61
4.1.2	De volta à base (Back) . . . . .	61
4.1.3	Testes . . . . .	62
<b>4.2</b>	<b>Estrutura do Robô . . . . .</b>	<b>63</b>
4.2.1	Fabricação . . . . .	63
4.2.2	Documentação em CAD . . . . .	67
<b>4.3</b>	<b>Alimentação . . . . .</b>	<b>68</b>
4.3.1	Bateria de íon-lítio (Li-Ion) . . . . .	68
4.3.1.1	Bateria utilizada . . . . .	69
4.3.1.2	Consumo energético . . . . .	69
4.3.2	Carregador . . . . .	70
4.3.3	Carregador com plug magnético . . . . .	74
4.3.4	Supercapacitores . . . . .	78
<b>4.4</b>	<b>Estrutura da Base . . . . .</b>	<b>79</b>
4.4.1	Documentação em CAD . . . . .	79
<b>4.5</b>	<b>Sucção . . . . .</b>	<b>80</b>
4.5.1	Metodologia de construção . . . . .	80
4.5.2	Validação experimental . . . . .	87
<b>4.6</b>	<b>Sensoriamento . . . . .</b>	<b>89</b>
4.6.1	Instrumentação . . . . .	90
4.6.1.1	Controle de distância . . . . .	90

4.6.1.2	Monitoramento da bateria . . . . .	91
4.6.1.3	Proteção dos componentes . . . . .	95
4.6.1.4	Encoder . . . . .	96
4.6.1.5	IMU . . . . .	96
4.6.2	Controle . . . . .	97
4.6.3	Validação experimental . . . . .	99
<b>4.7</b>	<b>Comunicação . . . . .</b>	<b>101</b>
4.7.1	Hardware . . . . .	102
4.7.2	Software . . . . .	105
4.7.3	Validação experimental . . . . .	106
<b>4.8</b>	<b>Interface . . . . .</b>	<b>108</b>
4.8.1	Validação experimental . . . . .	110
<b>4.9</b>	<b>Arquitetura do Sistema de Software . . . . .</b>	<b>110</b>
<b>5</b>	<b>INTEGRAÇÃO . . . . .</b>	<b>113</b>
<b>5.1</b>	<b>Plano de integração . . . . .</b>	<b>113</b>
<b>5.2</b>	<b>Testes de validação do plano de integração . . . . .</b>	<b>114</b>
<b>5.3</b>	<b>Modificações realizadas após os testes . . . . .</b>	<b>118</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .</b>	<b>128</b>
<b>6.1</b>	<b>Trabalhos Futuros . . . . .</b>	<b>128</b>
6.1.1	Navegação . . . . .	128
6.1.2	Sucção . . . . .	128
6.1.3	Sensoriamento . . . . .	129
<b>7</b>	<b>PLANEJAMENTO FINANCEIRO . . . . .</b>	<b>130</b>
<b>7.1</b>	<b>Gastos Finais do Projeto . . . . .</b>	<b>132</b>
<b>8</b>	<b>METODOLOGIA . . . . .</b>	<b>133</b>
<b>8.1</b>	<b>Metodologia . . . . .</b>	<b>133</b>
8.1.1	Cronograma . . . . .	136
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>139</b>

# 1 Introdução

A sujeira acumulada ao longo do dia nem sempre necessita de uma limpeza profunda, uma simples passada de vassoura ou um aspirador de pó resolve o problema. Porém muitas vezes há pouca disposição para executar esta tarefa ou até mesmo falta de tempo. Para evitar o acúmulo de poeira, manter o ambiente limpo e sem a interferência humana, será desenvolvido um mecanismo autônomo capaz de aspirar as impurezas: o R2-PI2. O equipamento será composto de um robô móvel que realizará a aspiração e uma base fixa. O robô voltará para a base quando a bateria estiver acabando o que permite que o usuário não tenha a necessidade de carregá-lo manualmente. O objetivo do aspirador robô é garantir a limpeza do ambiente de forma automática com o mínimo de interação com o usuário.

## 1.1 Problema Geral

Para a melhor compreensão do desenvolvimento do R2-PI2, foi elicitado com a equipe de desenvolvimento um problema principal que o robô irá solucionar. A tabela a seguir demonstra a descrição deste problema.

Tabela 1 – Descrição do Problema

<b>O problema de</b>	Sujeira acumulada nos cômodos da casa
<b>Afeta</b>	Residentes da moradia sem tempo pra limpezas
<b>Cujo impacto é</b>	Problemas de respiração e de saúde
<b>Uma solução seria</b>	Um aspirador de pó automatizado

### 1.1.1 Problemas Específicos

Para um melhor entendimento do problema, foram identificados os seguintes problemas específicos:

- Tempo perdido para limpeza da casa.
- Tempo perdido para remover os móveis para que o aspirador passe em todos os lugares.
- Carregar as baterias do aspirador de pó.
- Necessidade de estar em casa para realizar a limpeza.

## 1.2 Pesquisa de Mercado

Atualmente, já existem outros robôs que fazem a limpeza automatizada. Para fins de pesquisa de mercado, foram encontrados os seguintes robôs ([TECHTUDO, 2016](#)):

- **Aspirador de Pó Compacto Home UP:**

Aspirador de Pó Compacto Home UP: O aspirador de pó inteligente tem um design compacto que permite sua presença em locais de difícil acesso para remover a poeira, por exemplo: embaixo de sofás, criados, armários e camas. Este robô tem armazenamento de até 400 ml com saco coletor e contém escovas laterais. O aparelho funciona por bateria recarregável. A garantia do fornecedor é de 6 meses e ele tem dimensões de 400 x 345 x 135 mm, com peso de 2 Kg. O preço fica em torno de R\$ 819 em lojas online nacionais.



Figura 1 – Aspirador de Pó Compacto Home UP.

- **Aspirador de pó Ecovacs Beebot D35:**

O modelo da Ecovacs é equipado com sensores para evitar quedas ou bater em objetos, por exemplo. O aspirador de pó tem filtro bactericida e há uma bateria interna que dura cerca de 1 hora. É possível programar para fazer uma limpeza automática durante o dia e a garantia é de 1 ano. O design compacto permite entrar em espaços com 6 cm de altura e nas dimensões ele tem 300 x 290 x 50 mm, com peso de 2,2 kg. O aspirador robô pode ser comprado com preço a partir de R\$ 954.

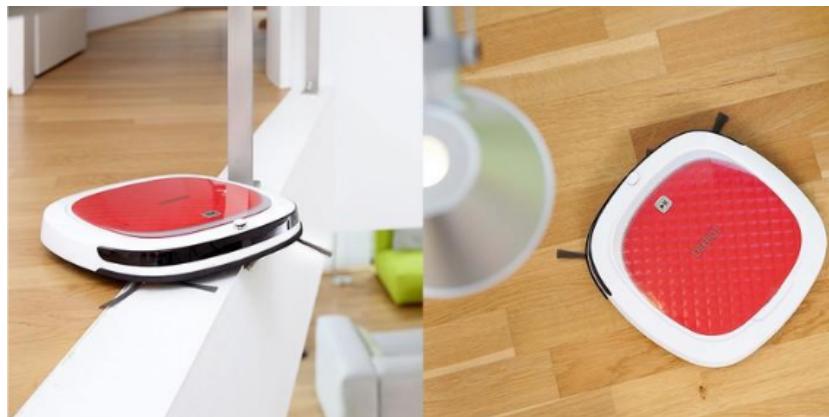


Figura 2 – Aspirador de pó Ecovacs Beebot D35.

- **Aspirador de pó robô Deboot 4:**

Com uma configuração mais completa, o modelo Deboot 4 da Ecovacs tem função dupla de limpeza à vácuo e permite aspirar, varrer e até passar pano no piso da casa, com ações simultâneas. Por dentro está uma bateria recarregável e permite limpar embaixo os móveis ou nos cantos, com luzes indicadoras no painel. As funções programáveis permitem fazer limpezas automáticas, oferece sensores anti-choque e tem funcionamento por controle remoto. O preço é de R\$ 1.399 em lojas virtuais brasileiras.

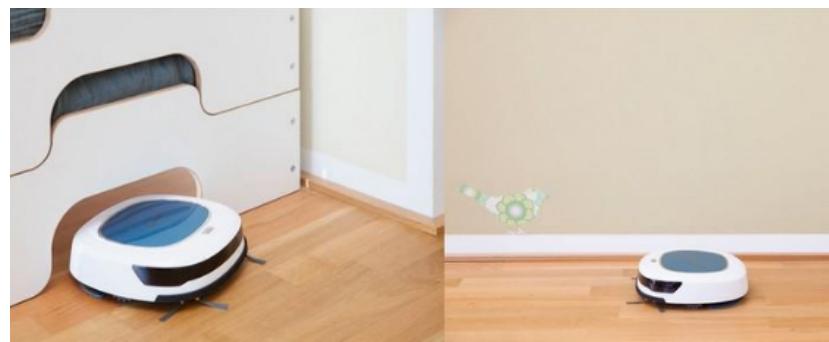


Figura 3 – Aspirador de pó robô Deboot 4.

- **Aspirador Roomba 620 iRobot:**

O modelo iRobot da Roomba permite ajustar funções smart e faz a limpeza em três etapas, de forma mais completa. A tecnologia AeroVac ajuda a recolher os resíduos durante o uso e a bateria dura cerca de 90 minutos. Estão disponíveis sensores para detectar poeira, o design tem laterais macias para não arranhar os móveis, além de identificar escadas. O aparelho pode ser usado em pisos de madeira, cerâmica e até carpetes. O tamanho é de 330,2 x 330,2 x 128 mm com peso de 3,6 kg e garantia de 12 meses. O preço fica em torno de R\$. 2.099 no Brasil, no modelo de cor branca.



Figura 4 – Aspirador Roomba 620 iRobot.

### 1.3 Proposta

O objetivo geral desse projeto é proporcionar ao usuário/cliente a oportunidade de limpar sua casa de forma cômoda e confortável. Este objetivo será alcançado através da remoção da poeira e/ou partículas de sujeira encontradas no cômodo da casa. A solução proposta neste projeto será a criação de um robô aspirador autônomo, que auxiliará na tarefa supracitada.

Tal robô terá capacidade de desviar os obstáculos encontrados durante seu percurso, além de ter autonomia de voltar à sua base quando necessário (ao término da tarefa ou quando sua bateria estiver prestes a acabar), a fim de se carregar.

Esta solução está organizada segundo a EAP (Estrutura analítica do projeto) apresentada na Figura 5, destacando os entregáveis e seus subsistemas ao longo de todo o projeto.

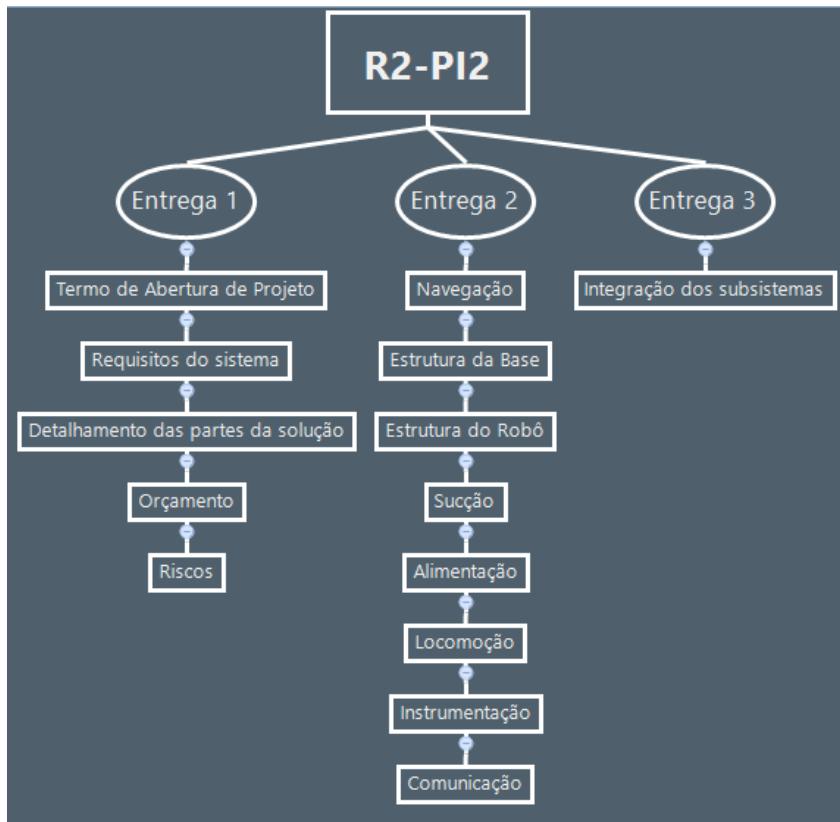


Figura 5 – Estrutura Analítica do Projeto do R2-PI2.

A primeira entrega consiste basicamente do gerenciamento do projeto. Esta etapa é de suma importância para o desenvolvimento do projeto, visto que nela será definida a solução para o problema exposto, bem como os requisitos necessários para garantir o êxito na conclusão do projeto. Analisando a EAP fica evidente como foi feita a separação dos subsistemas do produto final. O desmembramento das entregas facilita a realização de atividades ao longo do projeto. Vale ressaltar que mesmo produzidos separadamente os subsistemas devem se desenvolver em total harmonia, a fim de alcançar o objetivo final.

## 1.4 Objetivo Geral

Algumas pessoas costumam limpar suas residências de forma regular e outras que por motivos diversos só fazem isso esporadicamente. O desenvolvimento do R2-PI2 tem como alvo atender aos usuários que desejam manter o local limpo de modo automático e com o mínimo de intervenção humana. Alguns aspiradores robôs já fazem a limpeza do ambiente automaticamente, porém uma parcela deles necessita que o usuário tenha que procurá-los pela casa enquanto eles emitem um sinal sonoro indicando que a bateria está quase descarregada. O R2-PI2 será apto a voltar sozinho para a base e permanecer lá até que a bateria seja carregada, além de manter-se inativo na base ele poderá voltar a efetuar a higienização do local quando programado pelo utilizador. Outros objetivos que

devem ser atendidos pelo dispositivo aspirador, estão listados no item seguinte. Na figura 5 está apresentada a Estrutura analítica do projeto – EAP, onde destacam-se as entregas e seus subsistemas ao longo do projeto.

#### 1.4.1 Objetivos Específicos

- Controle a distância;
- Se locomover pelo cômodo e desviar de obstáculos;
- Comunicação entre o Robô e a central de processamento;
- Identificar e sinalizar status da bateria;
- Possuir sistema de acompanhamento do status do robô
- Conter acionamento de start/stop;
- Gerar relatório de atividades;
- Sistema de agendamento de limpezas.

### 1.5 Equipe e Responsabilidades

A equipe do projeto está distribuída de acordo com a Tabela 2. Ou seja, é uma equipe formada por 14 (catorze) estudantes, distribuídos em 5 (cinco) engenharias distintas, o que torna a gestão e distribuição do conhecimento uma tarefa bastante complicada.

Tabela 2 – Equipe do projeto R2-PI2

Nome	Matrícula	Engenharia
Kaio Diego de Araujo Coelho	12/0123673	Eletrônica
Laryssa Lorrany Olinda Costa	12/0060973	Eletrônica
Mônica Damasceno Cavalcante Castelo Branco	10/0037097	Eletrônica
Rafael Fazzolino Pinto Barbosa	11/0136942	Software
Ricardo Gonçalves Teixeira	12/0021561	Software
João Paulo Siqueira Ribeiro	12/0014378	Software
Thais Soares Monteiro	11/0066561	Energia
Pedro Henrique de Queiroz Rocha	11/0083890	Energia
Jair Jorge Medeiros	11/0013760	Energia
Hildoglas Botelho Chaves	11/0121104	Energia
Luan de Oliveira Noleto	11/0128419	Energia
Rafael de Souza Freitas	11/0019300	Automotiva
Yago Henrique Melho Honda	12/0042840	Aeroespacial
Márcia Aline Ribeiro Silva	12/0017806	Aeroespacial

Para o que o projeto seja encaminhado da melhor forma exista a necessidade de buscar maneiras que garantem o equilíbrio entre as engenharias na distribuição das equipes, seja por motivos de processo de desenvolvimento ou à áreas específicas de cada subsistema. Com isso adotou-se o papel de *Scrum master* como um mediador e facilitador das atividades a serem realizadas durante as sprints de desenvolvimento. Entretanto, a simples adoção deste papel pode não garantir a distribuição do conhecimento pela equipe, desse modo optou-se por rotacionar o papel de scrum master entre os integrantes. Fazendo com que cada integrante tenha a oportunidade de vivenciar esta experiência pelo período. A duração deste cargo é de um ciclo(*Sprint*), ou seja, 2 (duas) semanas. A distribuição das responsabilidades para o desenvolvimento da solução está de acordo com a Tabela 3, onde estão destacados os subsistemas:

Tabela 3 – Equipe - Áreas de atuação

<b>Eletrônica</b>	Sensoriamento
	Comunicação
<b>Software</b>	Navegação
	Interface
<b>Energia</b>	Alimentação
<b>Automotiva</b>	Estrutura
<b>e</b>	Locomoção
<b>Aeroespacial</b>	Sucção

### 1.5.1 Política de Comunicação da Equipe

Para a comunicação do grupo definiu-se algumas ferramentas de comunicação para facilitar a organização do grupo. De maneira informal adotou-se o aplicativo Whatsapp. Sabe-se que a metodologia de gerenciamento adotada é o Scrum. Utiliza-se o Trello<sup>1</sup> para organizar todas as atividades que serão realizadas na sprint, esta ferramenta permite a visualização das atividades que estão em andamento e que foram concluídas. Para compartilhar e editar documentos para os pontos de controle criou-se uma pasta no Google Drive<sup>2</sup>.

Por fim utiliza-se a plataforma Slack, que funciona como um chat, podendo criar canais de comunicação que apenas os interessados no assunto têm acesso ao canal facilitando a troca de informações sobre determinado assunto ou sobre partes integrantes do projeto. Além de um canal geral com todos os integrantes, onde ocorrem as discussões que exigem a opinião de todos. Um dos canais mais importantes criado no Slack é o daily, nele cada integrante deve, diariamente, descrever o que fez naquele dia para contribuir com o Projeto, para facilitar o controle do grupo.

<sup>1</sup> [www.trello.com](http://www.trello.com)

<sup>2</sup> [www.drive.google.com.br](http://www.drive.google.com.br)

## 1.6 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado de maneira a apresentar as sub divisões presentes no projeto, basicamente dividindo o sistema geral em diversos subsistemas independentes, que ao fim do projeto poderão ser integrados para o funcionamento ideal da solução. A solução está apresentada no capítulo [2.9](#), sub-dividida nas seções [2.1](#), onde são apresentados os requisitos do trabalho, [2.2](#), onde está apresentada a solução referente a sustentação energética do projeto, [2.3](#), onde são descritos os detalhes de navegação do robô, [2.4](#), onde são detalhadas as características da estrutura do robô e seu sistema de locomoção, [2.5](#), onde se encontram os detalhes referentes a estrutura da base, [2.6](#), o sistema de sucção, [2.7.2](#), onde estão detalhados os sensores utilizados, [2.7.3](#), onde se encontra o *hardware* para comunicação, [2.7.4](#), onde se encontra a solução relacionada ao controle do sistema, [2.8](#), possuindo a solução de comunicação do sistema e [4.8](#), possuindo os detalhes da interface do usuário.

Após a apresentação de toda a solução do projeto, é apresentado o plano de gerenciamento de riscos do projeto, na seção [3.10](#). Ao fim, é apresentado o processo de desenvolvimento do projeto, assim como a metodologia adotada pela equipe, na seção [8.1.1](#).

## 2 Solução Proposta

A proposta deste trabalho envolve a união dos cinco cursos de engenharia presentes no campus UnB - Gama, com o objetivo de solucionar os problemas apresentados acima. A proposta inicial de solução se baseia no desenvolvimento de um aspirador de pó autônomo, com capacidade de recarga de bateria automaticamente. A implementação desta proposta envolve diversas áreas de conhecimento e estará melhor detalhada nas seções seguintes.

A organização da apresentação da solução está baseada em subsistemas que integrados resultarão na solução como um todo.

### 2.1 Requisitos do sistema

Os requisitos do sistema estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Requisitos do sistema

<b>Requisitos Gerais</b>	<b>Requisitos Específicos</b>
Limpar um cômodo	Aspirar o pó
	Se locomover pelo ambiente
	Responder a obstáculos no ambiente
	Se comunicar com a central de processamento
Se recarregar sozinho	Retornar a base
	Gerenciar status da bateria
	Recarregar a bateria
Possuir sistema de controle a distância	Possuir sistema de acompanhamento do status do robô
	Possuir sistema de agendamento de limpeza
	Possuir sistema de start/stop
	Gerar relatório de atividades

### 2.2 Alimentação

A equipe de engenharia de energia tem como dimensionar e definir o sistema de alimentação para o funcionamento do robô aspirador. Existem diversas possibilidades de fornecer a energia necessária pra suprir a potência requerida pelo sistema. A forma mais usual é a utilização de baterias.

A fonte de alimentação ideal para o sistema segue alguns requisitos essenciais, como ter autonomia mínima de 30 minutos (tempo suficiente para aspirar um cômodo). Alguns parâmetros como tensão e corrente ainda não podem ser definidos nesta etapa do projeto. Para as alternativas disponíveis dentro desse universo têm-se como opção as baterias NiMH, que apresentam variações com diferentes valores de tensão e corrente.

A recarga dessas baterias varia de acordo com o valor de potência fornecida. Alguns fabricantes produzem carregadores que retiram a tensão alternada de 220v, 60Hz para a tensão contínua da bateria escolhida. O manual do carregador informa que o tempo máximo de recarga é de 45 minutos para os modelos mais potentes de bateria, este número pode ser reduzido para 15 minutos em alguns casos. Dentre as opções disponíveis estão dispostas três nas imagens abaixo (18v, 14.4v e 12.4v/ 3,3Ah e 2,6Ah).



Figura 6 – Bateria de 14.4v.



Figura 7 – Bateria de 12.4v.



Figura 8 – Bateria de 18v.

Outra alternativa para alimentar o aspirador é o uso de supercapacitores. Esta opção oferece valores consideravelmente maiores de ciclos de carga (10 000 contra 400-6000). Além disso, o tempo de recarga é reduzido se comparado com as baterias convencionais. A fragilidade que acarreta em um maior cuidado no manuseio, o elevado custo de mercado e a falta de informações técnicas disponíveis são algumas desvantagens ligadas ao uso de supercapacitores.

## 2.3 Navegação

A solução referente à navegação possui enfoque principal no algoritmo de controle que estabelece a trajetória a ser percorrida pelo aspirador. A identificação de obstáculos, replanejamento de trajetória e a lógica de controle para retorno à base. Diversas possibilidades foram estudadas e analisadas, desde rotas partindo com formato espiral até se locomover pelo cômodo aleatoriamente somente desviando de obstáculos.

A partir e comparações e estudo de concorrentes, como o robô *Roomba*<sup>1</sup>, por exemplo, observou-se que na grande maioria, o sistema de navegação escolhido pelos fabricantes é baseado em trajetórias aleatórias. Segundo (ABRANTES, 2015), a utilização de navegação aleatória garante um bom desempenho, já que com o passar do tempo, o robô consegue acessar o cômodo como um todo. Dessa forma, optou-se pela utilização de um algoritmo de navegação baseado em trajetória aleatória para o desenvolvimento do sistema R2-PI2.

Um dos grandes problemas encontrados na navegação é referente a volta à base por parte do robô. Identificar onde a base se encontra e traçar uma rota até a mesma é uma tarefa que necessita de algumas ferramentas, como a utilização de sinais e sensores para comunicação entre a base e o robô. Para isso, optou-se pela utilização de 3 (três) sensores infra-vermelho emitidos pela base com uma angulação de 45° entre eles, fazendo com que o robô possa identificar o sinal e navegar até sua fonte, a base.

## 2.4 Estrutura e Locomoção do robô

O robô, de forma autônoma, deve percorrer todo o cômodo escolhido para limpá-lo para isso deve ser desenvolvido todo o sistema de locomoção dele, incluindo as rodas, motor, caixa de redução e todo o estudo dinâmico relacionado. Foram cogitadas duas soluções para a estrutura do robô e sua forma de locomoção, de forma que a segunda solução foi escolhida. A escolha da segunda solução se justifica com base nos requisitos do sistema de sensoriamento quanto a posição de sensores pela estrutura e devido ao maior erro propagado pela primeira solução na navegação inercial do sistema.

---

<sup>1</sup> <https://www.irobot.com.br/>

### 2.4.1 Solução 1

O robô seria composto de uma chapa retangular de alumínio de 400mm x 300mm x 5mm, que servirá como base para a distribuição e união dos componentes do projeto. Essa base retangular poderá ser usinada para outra forma caso haja necessidade de diminuição do tamanho do robô. O material escolhido para a base foi o alumínio pela sua leveza, resistência e preço. Sua área de superfície é capaz de abrigar todos os componentes do aspirador e ainda possui espaços para criar novas soluções ou até mesmo de componentes para a refrigeração dos subsistemas do robô.

O sistema de tração dessa base será feito por uma esteira tipo lagarta, muito utilizada em tanques de guerra. Esse sistema é bastante robusto e aguentaria o peso de todo a estrutura sem problemas. Isso tiraria a necessidade de colocar um sistema de suspensão.

A estrutura do aspirador e seus componentes:

- 2 motores com caixa de redução ligados a chapa de alumínio;
- Os eixos que ligarão as rodas a chapa de alumínio serão feitos com aço e serão usinados nas pontas para fazer roscas que irão fixar as rodas;
- 4 engrenagens grandes que serão utilizadas como rodas;
- 2 engrenagens menores que irão ser ligadas direto nos dois motores;
- Conectores múltiplos, do tipo que se usa em chuveiros para ligar os eixos na chapa de alumínio;
- Correntes de bicicleta que ligaram as engrenagens e farão o papel de esteira.

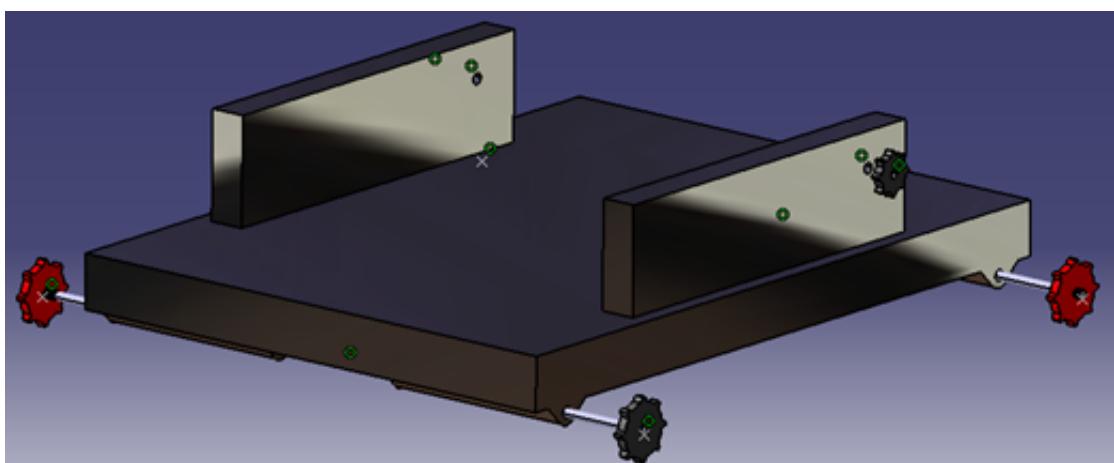


Figura 9 – Rascunho da estrutura - Solução 1

Tabela 5 – Propriedades mecânicas do alumínio. Adaptado de [Shockmetais](#)

Liga ABNT ASTM	1050
DIN	AI 99.5
Têmpera	O H14
Limite de Resistência à Tração Mpa(N/mm <sup>3</sup> )Min	55 95
Limite de Resistência à Tração Mpa(N/mm <sup>3</sup> )Max	95 130
Limite de Escoamento Mpa(N/mm <sup>3</sup> )Min	15 70
Alongamento Mínimo 50mm (%)	22 3
Dureza Brinnel (HB)	20 26

#### 2.4.2 Solução 2

O robô aspirador terá forma circular. Esse formato foi escolhido para facilitar as manobras de curvas, aumentando a área que ele irá percorrer. Outra vantagem que esse formato fornece é a questão do controle autônomo dele, assim facilita a distribuição dos sensores e o próprio controle do movimento do robô, pois resulta em menos erros. A estrutura do robô deve ser tal para suportar as cargas dos equipamentos do interior do robô como os sensores, motores, coolers e o sistema de sucção sem que sofra deformações. Além dessas forças deve-se também ser resistente à fadiga, já que estará sujeito a cargas contínuas e repetidas, e a impactos contra objetos ou paredes.

Em relação a movimentação do robô, três rodas estão sendo usadas para garantir o equilíbrio da estrutura, duas rodas com tração e uma livre, podendo ser adicionado uma segunda roda livre caso a disposição final dos componentes desequilibre o sistema. A roda livre possui um giro de 360° facilitando o deslocamento, enquanto as outras duas rodas utilizam um kit motor-caixa de redução. A mudança de direção e giro do robô é realizada alternando a potência fornecida em cada roda ou invertendo o sentido de rotação, por exemplo para fazer com que ele gire para a esquerda, deve diminuir a potência da roda esquerda e manter a potência da roda direita. As figuras seguintes ilustram as rodas e motores utilizados.

Um material que já é utilizado em muitas aplicações pois apresenta boas propriedades é o Alumínio. A tabela 5 mostra alguns valores das propriedades mecânicas do alumínio.

Então será construída uma base circular de alumínio de 40 cm de diâmetro.

Com relação a movimentação do robô 3 rodas serão suficientes para garantir o equilíbrio. Duas rodas serão tracionadas uma livre. A roda livre é do tipo esfera e as

outras duas serão de um kit motor redução, que junto à roda está montado o motor com uma caixa de redução para aumentar o torque. A mudança de direção e giro do robô é realizada alternando a potência fornecida em cada roda ou invertendo o sentido de rotação, por exemplo para fazer com que ele gire para a esquerda, deve diminuir a potência da roda esquerda e manter a potência da roda direita. As figuras seguintes ilustram as rodas e motores utilizados.



Figura 10 – Kit motor redução.

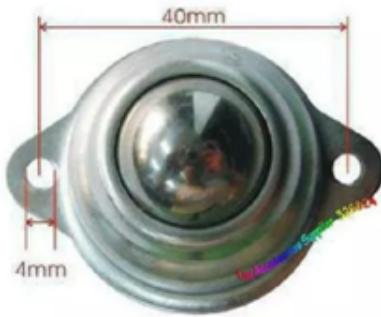


Figura 11 – Roda do tipo esfera.

As especificações da roda e do motor são mostradas na tabela 6:

Tabela 6 – Especificação motor de redução

Especificação Motor	
<b>Tamanho</b>	69x37x22,7mm
<b>Peso</b>	29g
<b>Formato</b>	90 graus
<b>Tensão de operação</b>	3 a 6V
<b>Relação de transmissão</b>	1:120
<b>Velocidade a 3V(sem carga)</b>	100 rpm
<b>Corrente a 3V(sem carga)</b>	60 mA
<b>Corrente a 3V(com carga)</b>	260 mA
<b>Torque a 3V</b>	1.20 kgf-cm
<b>Velocidade a 6V(sem carga)</b>	200 rpm
<b>Corrente a 6V(sem carga)</b>	71 mA
<b>Corrente a 6V(com carga)</b>	470 mA
<b>Torque a 6V</b>	1.92 kgf-cm
<b>Diâmetro externo do eixo</b>	5,4 mm "I"

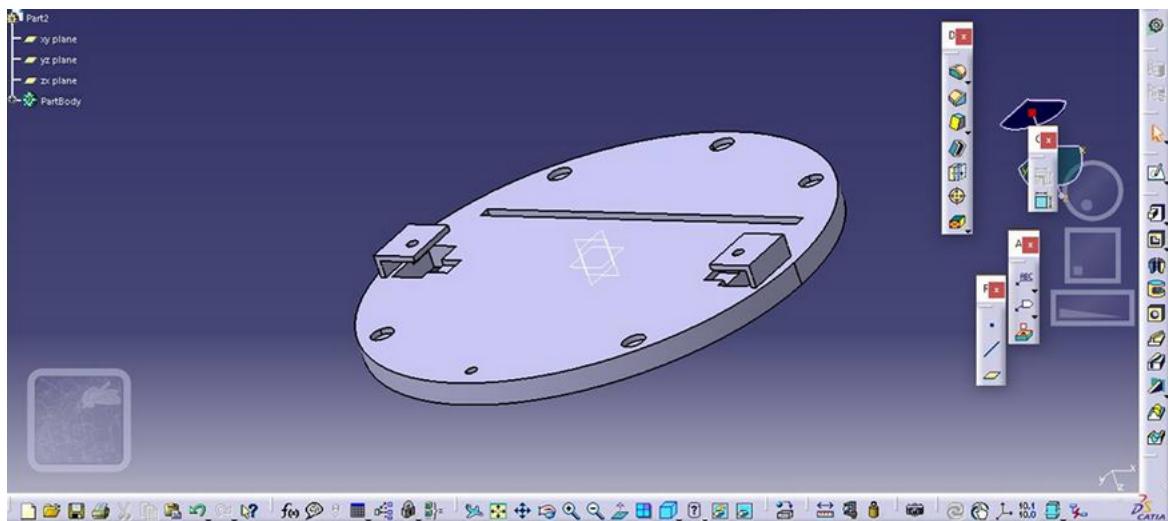


Figura 12 – Estrutura circular de integração dos subsistemas.

Tabela 7 – Especificações roda tracionada

Especificação da Roda	
<b>Material</b>	Roda plástica com pneu de borracha.
<b>Diâmetro externo</b>	65 mm
<b>Largura pneu</b>	26 mm
<b>Diâmetro interno para engate do eixo</b>	5,4 mm "I"

A parte superior da estrutura, ou seja, a tampa, será fabricada em PVC ou em acrílico. A escolha de um material plástico deve-se a facilidade de manuseio, facilitando moldá-lo à forma desejada. Deixa a estrutura mais leve, fazendo com que o motor realize menos trabalho, e pode suportar valores altos de cargas, resistindo a impacto.

Na tabela 8 são apresentados os valores referentes ao PVC.

Tabela 8 – Valores das propriedades mecânicas do PVC.

Materiais	Resistência a tração (N/mm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidade (kN/mm <sup>2</sup> )	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
PVC	55	3.5	1400

O PVC e o acrílico apresentam um módulo de elasticidade e resistência a tração compatíveis com as necessidades estruturais do projeto. O PVC possui um fácil manuseio, um preço compatível e é fácil de encontrar no mercado. O acrílico exige cuidados para a realização de usinagem, devido a alta fragilidade.

## 2.5 Estrutura da Base de Recarga

Uma base fixa é responsável por realizar a recarga do robô, além do carregador da bateria estará nessa estrutura a Raspberry Pi.

### 2.5.1 Solução

A base precisa armazenar o Raspberry Pi, o carregador do aspirador, o roteador Wireless e a fonte de energia para o Raspberry Pi. Para tal tarefa, a base terá uma carcaça retangular de dimensões 250x250x200mm. O material usado será o acrílico ou PVC.

Para realizar o encaixe do carregador à estrutura do robô, será utilizado um conector do tipo magnético, garantindo, assim, um encaixe mais preciso entre os conectores. A Figura 13, apresenta este conector, seguida da Figura 14, representando a base do robô.

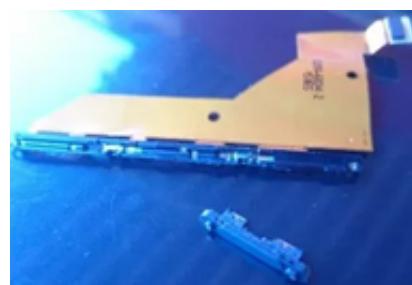


Figura 13 – Conectores magnético modelo Sony Xperia.

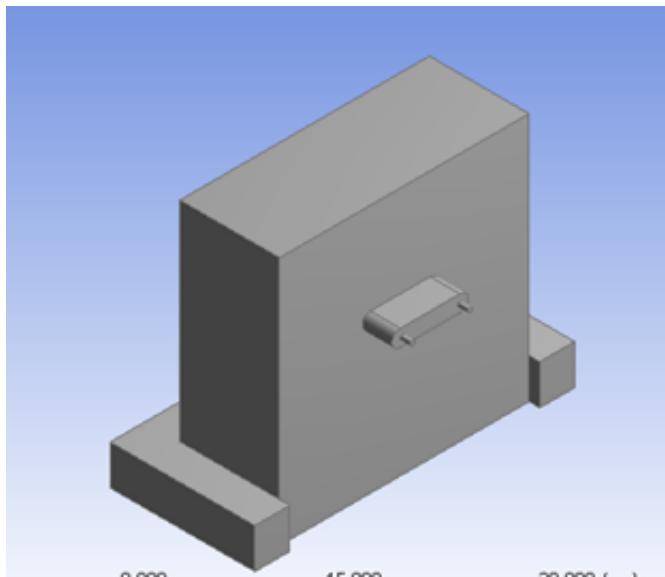


Figura 14 – Estrutura da base de recarga.

## 2.6 Sucção

O sistema de sucção tem a função de aspirar pequenas partículas de sujeira e restos de alimentos pequenos. Para tal objetivo, será construída uma bomba de ar que irá gerar uma diferença de pressão entre o exterior e o interior do sistema, fazendo com que se induza um fluxo de ar para dentro do sistema. Esse fluxo de ar precisará ter intensidade suficiente para puxar as partículas desejadas.

Dois modelos básicos foram estudados. Um deles utiliza hélices controladas por motores elétricos que induzem uma diferença de pressão pela quantidade de vazão de ar que o sistema pode expulsar. Um filtro é colocado para proteger o sistema de hélice e motor e para garantir o armazenamento das partículas aspiradas.

O outro modelo é chamado de ciclone, utilizando o mesmo princípio para gerar diferença de pressão. Esse modelo não necessita de um filtro, pois o ar é sugado em uma trajetória helicoidal em torno de um cone, gerando um efeito de força centrípeta que leva a poeira até as paredes do aspirador. Uma vez nas paredes, a poeira começa a se depositar na parte inferior do cone, enquanto o ar escapa pela parte superior do cone ([LAYTON, 2015](#)).

### 2.6.1 Solução

Para o projeto foi escolhido o primeiro modelo do ventilador com filtro, pois é uma solução com um custo menor e de fácil implementação se comparado ao sistema ciclone. Serão integradas nesse sistema escovas abaixo da linha de sucção, conhecidas como vassouras mágicas, que irão facilitar o transporte e direcionar a poeira para dentro

do aspirador. Serão escolhidos dois coolers comerciais com uma vazão de ar por volta de  $160 \text{ m}^3/\text{h}$ , que serão colocados lado a lado dentro de um sistema hermeticamente fechado.

A geometria do sistema busca diminuir a área de escoamento na ponta da sucção para aumentar a velocidade do fluído na entrada, utilizando o princípio de conservação do fluxo de massa do sistema. O sistema de vedação será construído utilizando acrílico colado e mangueiras sanfonadas. Também será utilizado um motor para o acionamento da escova. Para o armazenamento do pó, será projetada uma caixa retangular de plástico com tampa. No momento da limpeza do depositório, o proprietário do aspirado deve apenas desencaixar a parte móvel, retirar as impurezas e encaixar novamente na tampa.

Os dados relativos ao fluxo de massa e potência dos coolers comerciais é muito limitado. Assim o dimensionamento do sistema será realizado utilizando uma simulação de base no Ansys em conjunto com experimentos empíricos em protótipos simplificados. Para primeira análise, foi realizada uma simulação com as condições de contorno definidas pelo fluxo de massa constante na entrada e na saída, com um valor de  $0,026\text{Kg/s}$ , dados fornecidos por fabricantes de coolers. A simulação mostrou uma velocidade de saída do escoamento de  $5 \text{ m/s}$  e a velocidade de entrada do ar de  $19 \text{ m/s}$ .

A análise do fluxo de massa realizada no software *Ansys* está apresentada na Figura 15.

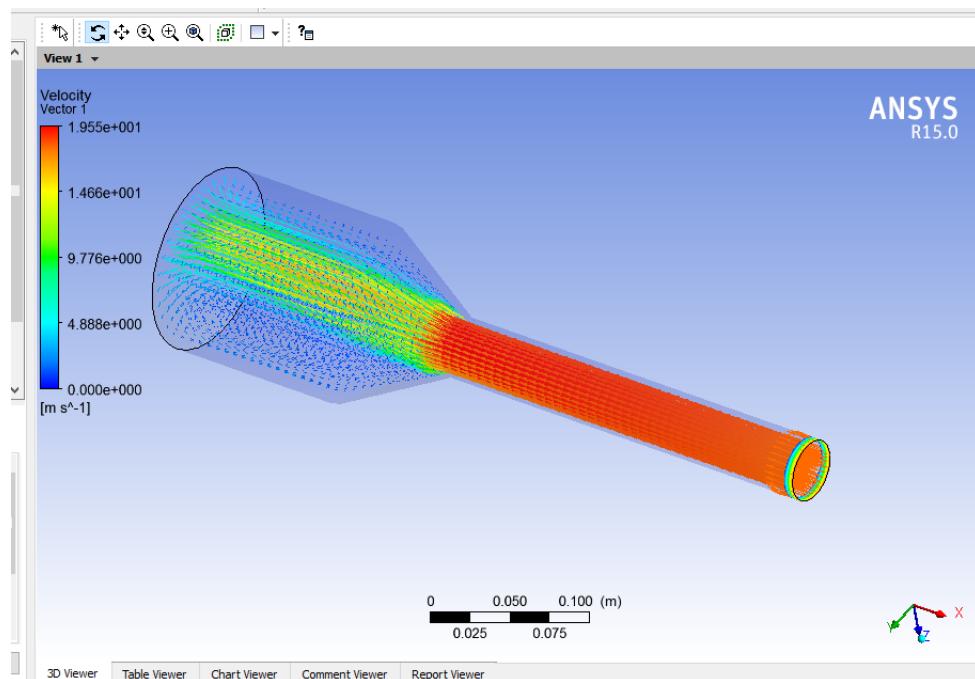


Figura 15 – Simulação do Ansys com o fluxo de massa de um cooler comercial.

## 2.7 Sensoriamento

### 2.7.1 Contextualização

Diante do projeto proposto, a equipe de eletrônica a princípio se propõe a desenvolver parte da automação e do controle do aspirador de pó, para isso o projeto eletrônico foi dividido em 3 partes, sendo elas:

- Instrumentação.
- Comunicação.
- Controle.

### 2.7.2 Instrumentação

Na robótica móvel um dos tipos mais importantes de sensores são os que medem distância (BRÄUNL, 2006). A parte de instrumentação do robô tem como principais objetivos auxiliar na navegação, solucionando o problema de colisão indesejada com a parede e outros móveis presentes na casa, e monitorar elementos vitais para certificar o funcionamento do mesmo.

Para isso, o robô do R2-PI2 será equipado com dois tipos de sensores de distância, apresentados na sessão 2.7.2.1, bem como um circuito medidor de bateria, apresentado na sessão 2.7.2.2

#### 2.7.2.1 Medição de distância

Os sensores de distância escolhidos para equipar o robô do R2-PI2 são apresentados a seguir.

##### 1. Sensor de distância por ultrassom:

Os sensores que medem distância por meio de ondas de ultrassom (acima de 20kHz para não ser percebido pela audição humana) tem como princípio de funcionamento a emissão de um sinal acústico que em um determinado intervalo de tempo, ao encontrar um obstáculo, retorna ao local de origem. Se o sinal retornar dentro de um tempo limite (determinado pelo sensor escolhido), significa que um objeto foi detectado e a distância do sensor ao obstáculo é calculada com base na velocidade de propagação da onda sonora (340 m/s) e o tempo decorrido entre a emissão e a recepção do sinal.

$$Distância = \frac{tempo\ de\ ida\ e\ volta\ do\ sinal * velocidade\ do\ som}{2} \quad (2.1)$$

O sensor de ultrassom escolhido para o robô R2-PI2 foi o HC-SR04 que envia um sinal sinal com duração de 10 microsegundos e envia 8 pulsos de 40KHz para aguardar o retorno do sinal pelo receptor. Esse sensor mede distâncias entre 2 centímetros e 4 metros, datasheet disponível em ([FREAKS](#), ). A escolha deste sensor foi motivada pela facilidade de acesso ao componente e pela faixa que ele mede. Para desviar com segurança dos obstáculos estima-se que ele deverá ser detectado a 5 centímetros de distância do robô permitindo que sejam executados movimentos que desviam do objeto com segurança.

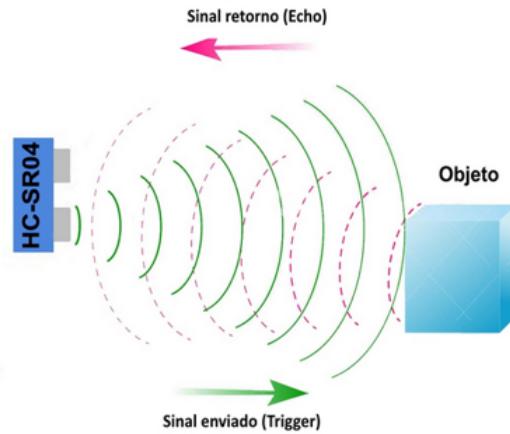


Figura 16 – Modo de funcionamento do sensor de ultrassom.

Além de detectar os objetos que estão a frente do caminho percorrido pelo robô, é importante que seja possível saber qual o menor caminho de retorno do robô a base. Isso significa que muitas vezes o robô deverá saber em qual dos lados há um obstáculo mais longe (direito ou esquerdo). Para facilitar essa tomada de decisão, o robô terá, além do sensor frontal, dois sensores laterais (um no lado direito e outro no lado esquerdo). Adicionalmente, será instalado um sensor na parte traseira do robô que facilitará a entrada dele na base de recarregamento. O sistemas de navegação será explorado melhor posteriormente.

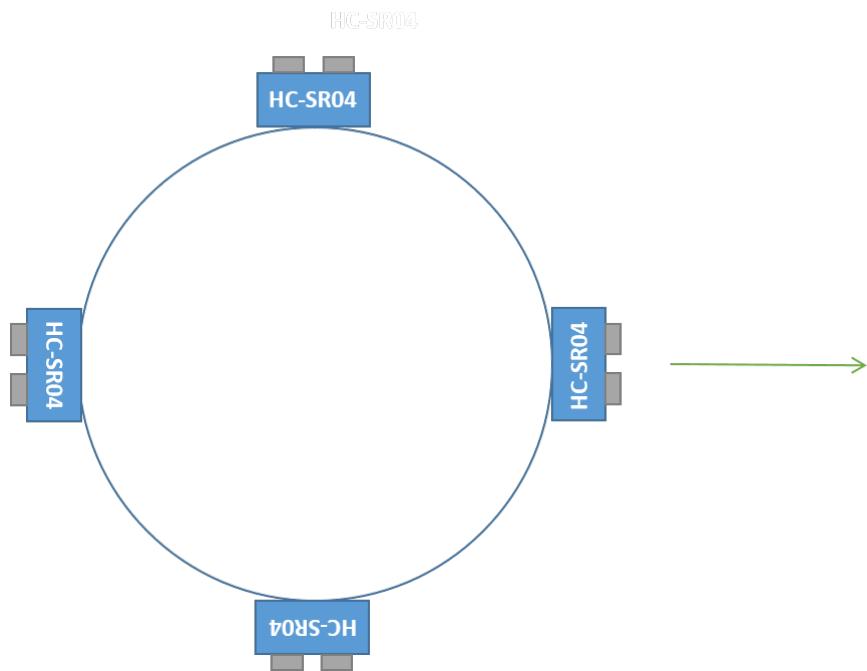


Figura 17 – Posicionamento dos sensores de ultrassom no robô.

Portanto, o robô terá quatro sensores ultrassom instalados na sua estrutura evitando o choque com obstáculos e permitindo a navegação dele no cômodo que será limpado.

## 2. Sensor de distância por infravermelho

O sensor infravermelho (IR) não utiliza o mesmo princípio de funcionamento do sensor ultrassom porque o tempo que um fóton leva para ir de um lugar a outro é muito pequeno. Ela também se baseia na emissão e detecção de um luz a uma determinada frequência. No entanto, ao invés de medir o tempo que isso leva, os sensores de IR medem o ângulo de detecção e a quantidade de luz refletida que varia de acordo com a distância entre o sensor e o objeto que refletiu a luz (Embedded Robotics). Assim, é possível utilizar um par formado por um LED emissor e um receptor de infravermelho para a detecção de obstáculos em robótica, como descrito por Lee e Chong (2011). Essa solução será adotada no presente projeto para a detecção de desniveis ou degraus no percurso do robô a fim de garantir a segurança do protótipo. ([LEE, 2011](#))

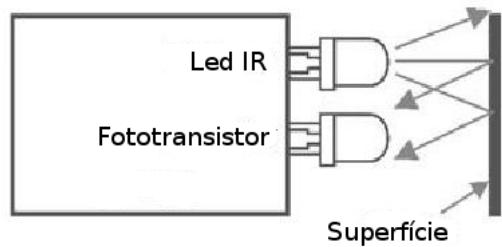


Figura 18 – Esquema de funcionamento do sensor de obstáculos por IR (infravermelho).

A luz infravermelha gerada pelo LED emissor é refletida pelo objeto onde ela incide e atinge o fototransistor receptor que entra na sua zona de condução. Dependendo da quantidade de luz refletida de volta para o fototransistor, ele detecta o objeto a frente.

O sensor de IR escolhido foi o TCRT5000 devido a facilidade de obtenção e baixo custo, além da possibilidade de projetar o sensor ao invés de realizar a compra do módulo pronto, diminuindo mais ainda os custos de produção do robô aspirador. Esse sensor mede até 2.5 centímetros, datasheet disponível em ([VISHAY](#), ), por isso, caso o sensor detecte que a distância entre ele e o chão supera 2.5 centímetros, o robô irá parar e recalcular sua rota.

#### 2.7.2.2 Medidor de Bateria

Um dos requisitos específicos do projeto é o gerenciamento do status da bateria permitindo que o robô retorne à base antes da sua bateria descarregar.

Para fazer esse gerenciamento será utilizado um circuito comparador de tensões com amplificadores operacionais. Apesar dessa solução retornar o nível da bateria de maneira discreta, serão projetados cinco intervalos que permitam uma boa análise da bateria.

Para verificar em qual das faixas a bateria está, optou-se por utilizar o CI TL084 que possui quatro amplificadores operacionais. Os amplificadores operacionais que operam sem realimentação comparam os sinais das entradas positivas ou não inversora (+) e negativa ou inversora (-). Caso o sinal da entrada não inversora seja maior do que o sinal da inversora, a saída do amplificador é nível lógico alto. Quando o sinal da entrada não inversora for menor do que o sinal da entrada inversora, o sinal é nível baixo.

Assim, se for montado um circuito tendo a tensão bateria nas entradas não inversoras (+), as saídas do divisor de tensão (tensão de referência) nas entradas inversoras (-) e LEDs nas saídas dos amplificadores, será possível ver por meio dos LEDs acesos ou apagados qual o nível de tensão da bateria

Além de acender ou não os LEDs, cada saída do comparador vai enviar um sinal para o controlador informando o nível da bateria para que ele possa interromper o ciclo de limpeza e enviar o robô para base.

#### 2.7.2.3 Proteção dos componentes

Os optoacopladores são compostos por um LED e um fototransistor encapsulados em um CI, tem como uma das suas finalidades isolar eletricamente duas partes de um circuito e, por isso, podem ser utilizados para proteger uma porção do circuito. A parte do circuito responsável por controlar a outra irá acender o LED interno do optoacoplador e, assim que o fototransistor captar a luz, irá ativar o sinal de saída.

Foi escolhido o CI4N25 pelo baixo custo e por isolar atender os requisitos de proteção do circuito, pois isola bem o arduino (corrente máxima 500mA) do circuito do motor (corrente máxima 8800mA). A arquitetura interna do CI pode ser observada na figura 19.

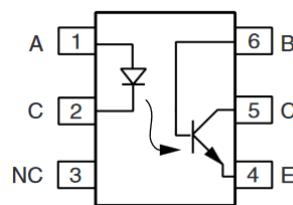


Figura 19 – Arquitetura do CI 4N25.

### 2.7.3 Hardware para Comunicação

A parte de comunicação tem como objetivo coletar informações vindas dos sensores já apresentados, interpretá-las e enviá-las para a base onde é feito o interfaceamento com o usuário através de um aplicativo para celular. Para essa comunicação serão utilizados 2 microprocessadores, são eles:

#### 2.7.3.1 ATMega 2560

Para controlar corretamente as informações obtidas por todos os sensores da parte de instrumentação do projeto é necessário um processador com uma grande quantidade de portas analógicas e digitais, sendo assim utilizaremos o ATMega 2560, que possui as seguintes características:

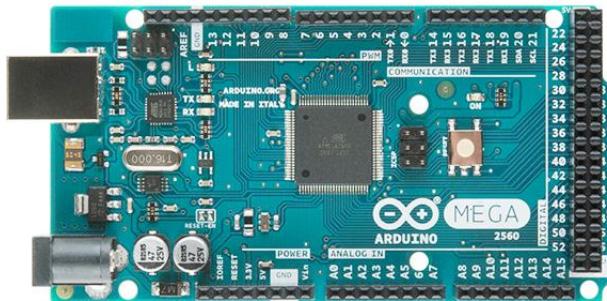


Figura 20 – Arduíno Mega.

### Características:

- Microcontrolador: ATmega2560
- Voltagem de Alimentação: 5V
- Voltagem de entrada (recomendada): 7-12V
- Voltagem de entrada (limites): 6-20V
- Pinos digitais I/O: 54 (dos quais 14 podem ser saídas PWM)
- Pinos de entrada analógica: 16
- Corrente contínua por pino I/O: 40 mA
- Corrente contínua para o pino 3.3V: 50 mA
- Memória flash: 256 KB com 4 KB usado para bootloader
- SRAM: 8 KB
- EEPROM: 4 KB
- Velocidade de Clock: 16Mhz

#### 2.7.3.2 Módulo de WiFi

Para que o Arduíno possa enviar as informações coletadas para a base é necessário que o mesmo se conecte à rede sem fio, para isso utilizaremos o módulo WiFi ESP8266, ilustrado na figura 21.

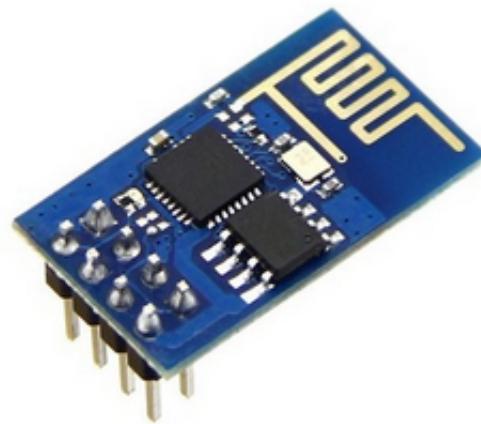


Figura 21 – Módulo WiFi ESP8266

#### 2.7.3.3 Raspberry Pi

Na base para o tráfego de dados, a placa escolhida foi a Raspberry Pi 2 modelo B, este modelo apresenta:



Figura 22 – Raspberry Pi 2 B.

#### Especificações:

- Chip: Broadcom BCM2836 SoC
- Arquitetura: Quad-core ARM Cortex-7
- CPU: 900Mhz
- Memória RAM: 1GB
- GPU Broadcom VideoCore IV
- Tensão de operação: Micro USB socket 5V/2<sup>a</sup>

- Dimensões: 85 x 56 x 17 mm

Com este modelo, é possível realizar conexões com a internet e enviar informações ao usuário ou a um banco de dados, por exemplo.

## 2.7.4 Controle

### 2.7.4.1 Sistema de Controle do R2-PI2

A parte de controle tem como objetivo desenvolver um sistema capaz de monitorar e controlar a movimentação do aspirador para garantir que os motores sejam devidamente alimentados e juntamente com a parte de instrumentação e comunicação possa garantir a locomoção do robô durante a limpeza sem riscos de colisão com obstáculos.

O controlador por ora escolhido, ATMega 2560, irá controlar o funcionamento dos motores carrinho e dos sensores. A figura 23 apresenta o diagrama de blocos para o sistema em malha fechada do controle do R2-P12.

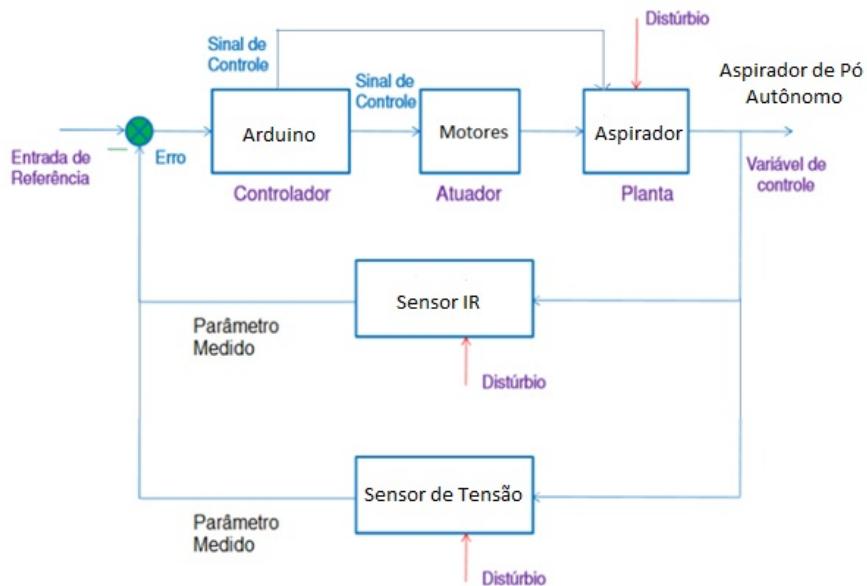


Figura 23 – Diagrama de blocos do sistema de controle do R2-PI2. Fonte ([MELLO, 2016](#)).

Como mostrado no diagrama, o controlador irá enviar sinais para os motores permitindo que eles sejam ligados ou desligados, fazendo o carrinho se movimentar de acordo com os parâmetros medidos pelos sensores infravermelhos (IR).

Serão utilizados também sensores de ultrassom configurados como detectores de proximidade, na parte frontal, lateral e traseira do aspirador, evitando possíveis colisões com obstáculos em seu caminho, e embaixo dele os sensores IR serão utilizados para evitar vãos como escadas e impedir a queda do robô. Encoderes serão utilizados como controle

de posição e também no auxílio da movimentação das rodas quando o aspirador girar para desviar de obstáculos. O monitoramento será contínuo, portanto sempre que houver algum obstáculo ao alcance dos sensores , o controlador enviará um sinal para os motores, impedindo que ocorra choques com objetos no caminho.

Será monitorado também, o nível de bateria do robô, quando ele estiver abaixo de um limite que será estabelecido, o controlador enviará um sinal para que o robô possa então retornar para a base e carregar sua bateria. Os componentes envolvidos nessa área são apresentados a seguir.

### 1. Ponte H:

Para que se possa controlar a direção e a velocidade dos motores, é necessário que a corrente elétrica possa fluir nas duas direções dentro de sua bobina com intuito de gerar campos magnéticos com intensidade e sentidos opostos. A configuração mais utilizada para controlar a corrente nesse projeto é um driver em ponte H.

O circuito da Ponte H é constituído por quatro transistores que atuam como chave e que, dependendo da configuração do chaveamento, determinam o sentido de rotação dos motores, como pode ser observado na Figura 24.

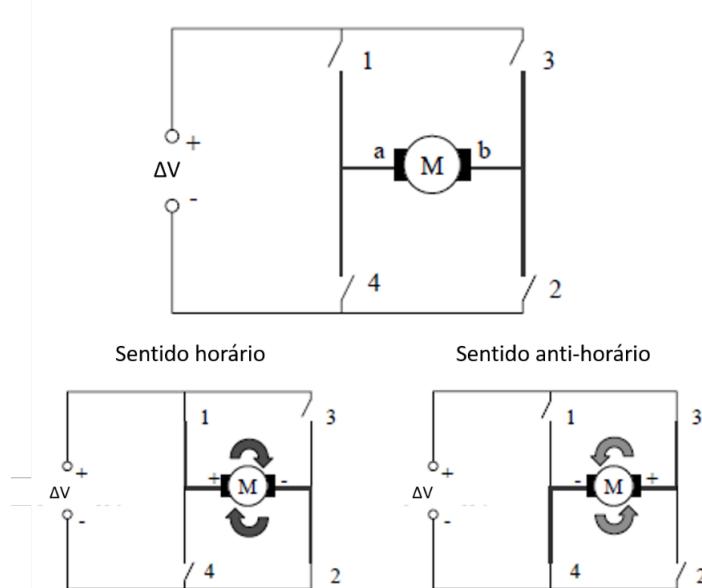


Figura 24 – Configurações da Ponte H.

A princípio a ponte H escolhida segue o modelo apresentado na Figura 25.

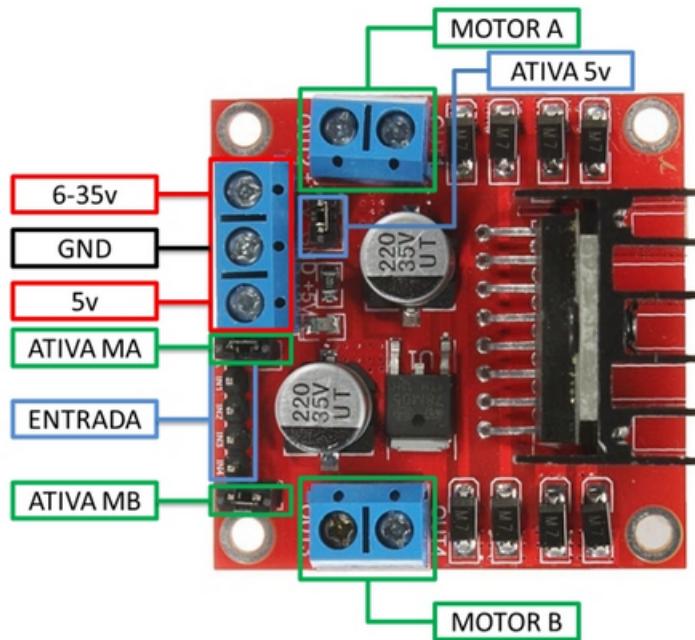


Figura 25 – Ponte H.

A escolha foi feita baseando-se na compatibilidade do drive com os motores que devem ser utilizados na movimentação do aspirador.

## 2. PWM:

O controle das velocidades dos motores será feito por meio de chaveamento em frequência constante, gerado pelas saídas digitais do controlador. Para isso utilize-se o conceito de Pulse-Width Modulation (Modulação por largura de pulso), ou PWM. Com uma onda quadrada com frequência constante e razão cíclica (duty cycle) ajustável, é possível transferir uma determinada quantidade de potência desejável através do valor médio de tensão do sinal (AHMEDI, 2006).

Segundo (AHMEDI, 2006), a tensão média de saída é dada por

$$V_0 = \frac{T_{on} \cdot v_i}{T} \quad (2.2)$$

Onde  $V_0$  é a tensão média de saída,  $T_{on}$  é o período em segundos em que o sinal fica em nível alto,  $T$  o período total do sinal e  $v_i$  a tensão de nível alto.

A potência de saída do sinal pode ser descrita como:

$$P = V_0 \cdot I_0 \quad (2.3)$$

Sendo P a potência de saída, V<sub>0</sub> a tensão de saída e I<sub>0</sub> a corrente de saída. Portanto a partir das equações anteriores pode-se afirmar que:

$$V_0 = Vi.d \quad (2.4)$$

onde:

$$d = \frac{T_{on}}{T}$$

sendo o duty cycle. A partir da lei de Ohm tem-se então que :

$$I_0 = \frac{d.Vi}{R} \quad (2.5)$$

E P<sub>0</sub> a potência de saída é dada por:

$$P_0 = \frac{(D.Vi)^2}{R} \quad (2.6)$$

Considerando uma carga totalmente resistiva, é possível controlar a potência entre-gue de maneira proporcional à largura de pulso ao quadrado.

Para a frequência de trabalho não ultrapassar os limites de hardware de potência na presença de cargas indutivas, como motores, é necessário pulsar um frequência que faça corrente estável para uma mesma largura de pulso, suavizando o movimento do motor.

### 3. Encoder:

Uma variável que influencia na navegação do robô é a velocidade. Para medi-la são necessárias informações do tempo que robô demorou para percorrer determinada distância, considerando um trecho de aceleração constante. O tempo pode ser determinado pelo próprio microcontrolador, mas a distância precisa ser determinada de alguma outra forma. A maneira mais convencional de se medir a distância percorrida por um robô é por meio de encoders.

O encoder é fundamental para ter um feedback do motor e para determinar a posição e a orientação do robô. Podem ser ópticos ou magnéticos e tem como finalidade contar a rotação do eixo das rodas ([BRAUNL, 2006](#)). A figura 26 mostra como funciona um encoder óptico e na 27 é possível observar como o sinal lido pelo sensor é transformado em sinal ou pulso digital.

O encoder pode ser simples, incremental, de quadratura ou absoluto. O encoder simples identifica o quanto a roda girou, mas não consegue dizer qual o sentido da rotação. O encoder incremental e o de quadratura reconhece o quanto a roda girou e em qual sentido, sendo o de quadratura mais preciso. Por fim, o encoder absoluto

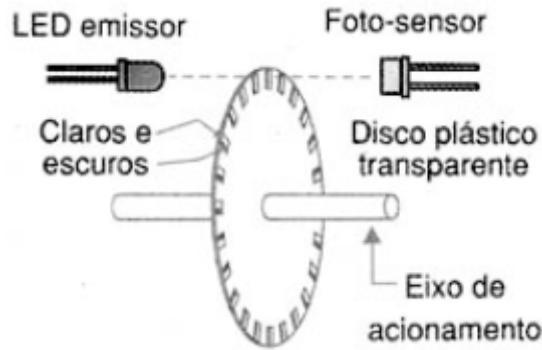


Figura 26 – Encoder Óptico. Fonte:([Newton Braga, 2016](#))

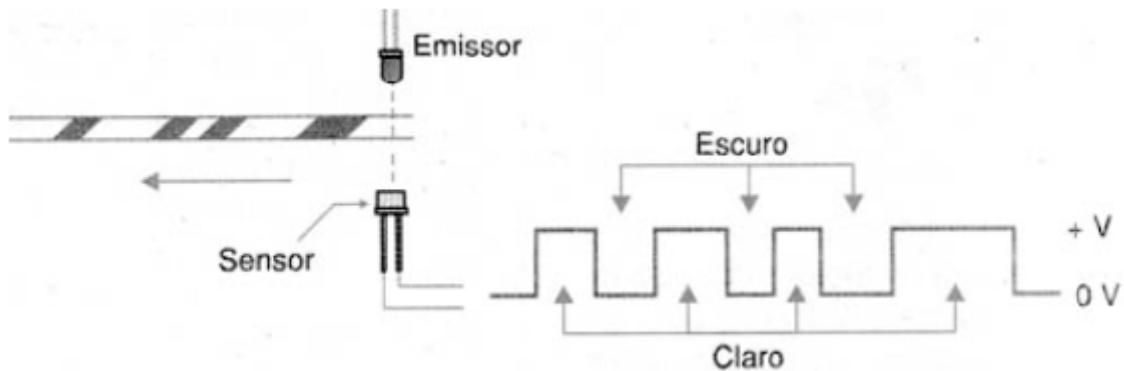


Figura 27 – Sinal gerado pelo encoder óptico. Fonte:([Newton Braga, 2016](#))

identifica o quanto a roda girou, o sentido da rotação e o ângulo do eixo, os quatro tipos de encoders são apresentados na figura 28.

Cada encoder tem uma quantidade específica de pulsos por rotação definida durante a sua fabricação. A partir da leitura da quantidade de pulsos que a roda girou tem-se um valor aproximado de quantos ângulos ela rotacionou. Combinando esse dado com o tempo entre as leituras inicial e final do sensor IR ( $\Delta t$ ), obtém-se a velocidade angular por meio das equações abaixo:

$$\text{ângulo de rotação da roda } (\Delta\theta) = 360^\circ * \frac{\text{pulsos lidos pelo sensor}}{\text{pulsos por rotação}} \quad (2.7)$$

$$\text{velocidade angular } (\Delta\omega) = \frac{\Delta\theta}{\text{variação do tempo} (\Delta t)} \quad (2.8)$$

A partir da velocidade angular obtém-se a velocidade angular (2.9) e a distância percorrida (2.10).

$$\text{velocidade linear } (\Delta v) = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (2.9)$$

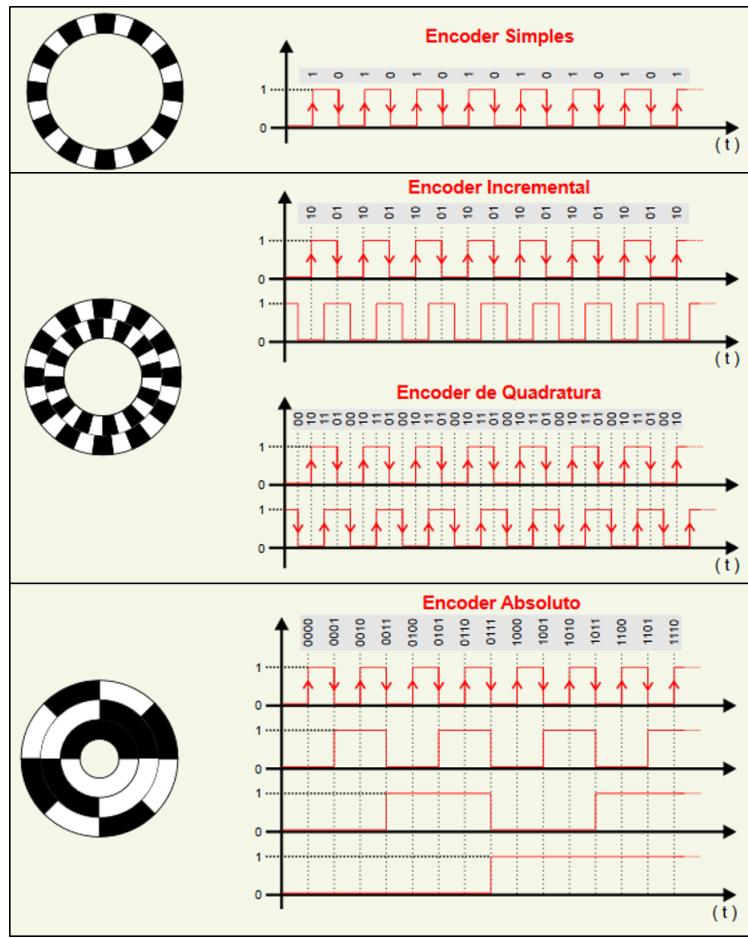


Figura 28 – Tipos de encoder. Fonte: Adaptado de [Uno robótica educacional](#)

$$Distância percorrida(\Delta d) = \Delta v * \Delta t \quad (2.10)$$

A equação 2.11 apresenta uma outra forma de se obter a distância percorrida sabendo o raio da roda ( $R$ ) na qual o encoder está ligado.

$$\Delta d = \frac{2\pi R * \text{pulsos lidos pelo sensor}}{\text{pulsos por rotação}} \quad (2.11)$$

#### 4. IMU

No espaço tridimensional, um corpo rígido qualquer pode efetuar translações e ou rotações em relação a cada um dos eixos de um sistema de coordenadas cartesianas: x, y e z. Identificar com precisão o deslocamento realizado por este corpo é fundamental para sistemas de navegação e posicionamento. Para conseguir suprir essa necessidade, é possível unir as informações obtidas através de um sensor de aceleração com os dados medidos por outro dispositivo: o giroscópio (CAO; ZU; LIN, 2004). O dispositivo capaz de fornecer essas medições é conhecido como Unidade de

Medida Inercial (*IMU – Inertial Measurement Unit*), e não precisa utilizar outro sinal externo para reconhecer o movimento realizado.

As *IMUs* são sensores iniciais formados por acelerômetros e giroscópios. Sendo que os primeiros fornecem as medidas dos componentes da aceleração linear, enquanto que os últimos fornecem os componentes da velocidade angular([CHEN; LEE; DE-BRA, 1994](#)).

A *IMU* escolhida para utilizar nesse trabalho foi o sensor MPU-6050 que contém no mesmo chip um acelerômetro e um giroscópio tipo MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*). São 3 eixos para o acelerômetro e 3 eixos para o giroscópio, sendo ao todo 6 graus de liberdade. A placa escolhida tem também um sensor de temperatura embutido no CI MPU6050, permitindo medições entre -40 e +85 °C. O MPU possui também uma alta precisão devido ao conversor analógico digital de 16-bits para cada canal. Portanto o sensor captura os canais X, Y e Z ao mesmo tempo.

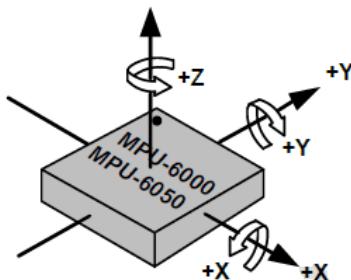
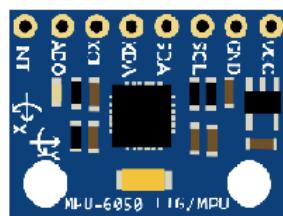


Figura 29 – MPU6050 e seus graus de liberdade.

## 2.8 Comunicação

De acordo com o apresentado nesta documentação de projeto, a solução proposta envolve diversos módulos funcionais, como o robô em si, a base fixa, e o sistema de controle. A partir de uma visão de alto nível do projeto, como a apresentada na Figura [30](#), é possível observar de maneira clara os módulos que deverão se comunicar para garantir o funcionamento do sistema como um todo.

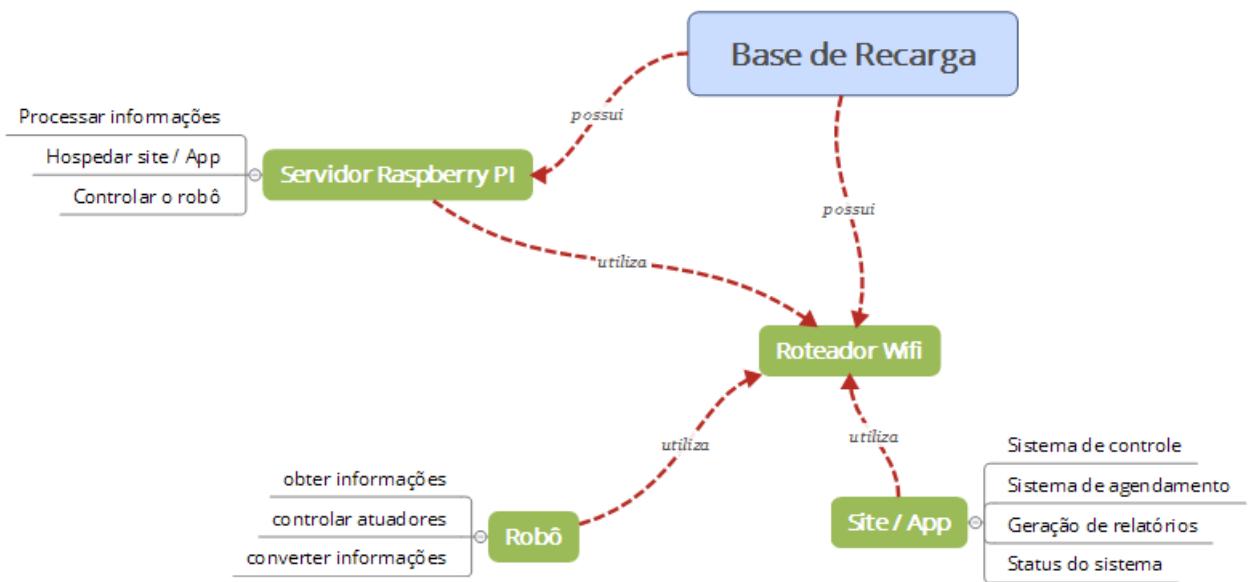


Figura 30 – Arquitetura de comunicação do sistema

Com o objetivo de garantir que a solução seja confiável e resistente a situações críticas, como a falta de internet, por exemplo, o sistema foi planejado para disponibilizar uma sub-rede interna, tendo como fonte a base de recarga do robô. Cada módulo que necessita de comunicação deverá se conectar a rede, viabilizando o funcionamento do sistema mesmo em momentos com falha de internet, já que todos os envolvidos compartilham o mesmo ambiente.

A comunicação entre o robô (*arduino*) e a base (*raspberry*) fará uso desta rede wifi, a partir da utilização de um módulo wifi, o *arduino* poderá acessar a rede, possibilitando a comunicação via tcp/ip. Já a *raspberry* se conectará a rede via cabo *ethernet*.

O roteador utilizado é da família D-link, seguindo o protocolo de certificação WPA2, que utiliza o EAS (Advanced Encryption Standard), como sistema de encriptação. Segundo (KUMKAR et al., 2003), este protocolo possui uma confiabilidade bem maior que a encontrada em seu antecessor, WPA. Ainda de acordo com (KUMKAR et al., 2003), este sistema de segurança envolve um algoritmo de criptografia robusto, utilizando chaves de 128 a 256 bits maximizando a segurança da rede.

O núcleo da rede, ou seja, o ponto central da comunicação do sistema se encontra na base de recarga do robô, que está detalhada no tópico a seguir.

### 2.8.1 Base de recarga

A base de recarga do robô sustentará todo o sistema de inteligência da solução, assim como a sub-rede que possibilitará a comunicação entre os módulos. Será utilizada

uma *raspberry PI* como servidor central do sistema, processando e controlando toda a solução. O servidor será implementado utilizando a tecnologia Ruby on Rails, no sistema operacional *Raspbian* (Debian).

Além da sustentação da *raspberry*, é necessário sustentar um roteador D-link 524 para implementação e sustentação da rede wifi que será utilizada como meio de comunicação do sistema, e 3 (três) emissores infra-vermelho, utilizados para retorno do robô à base.

## 2.9 Interface

A interface de usuário é onde ocorre a interação entre humanos e máquinas, o objetivo desta interação é a operação e controle efetivos da máquina pelo usuário e o feedback desta, que auxilia o operador na tomada de decisões operacionais. O aspirador terá uma plataforma web com uma interface amigável e intuitiva que facilita o acesso à diferentes dados e funções. Esta plataforma será responsiva, isto é, terá adaptação automática à largura de tela do dispositivo no qual estará sendo visualizado para que o sistema se comporte como uma ponte entre o usuário e o aspirador. Para essa primeira entrega foi construído um protótipo de média fidelidade com a ferramenta [Justmind](#). As figuras abaixo mostram os primeiros protótipos:



Figura 31 – Interfaface Home.

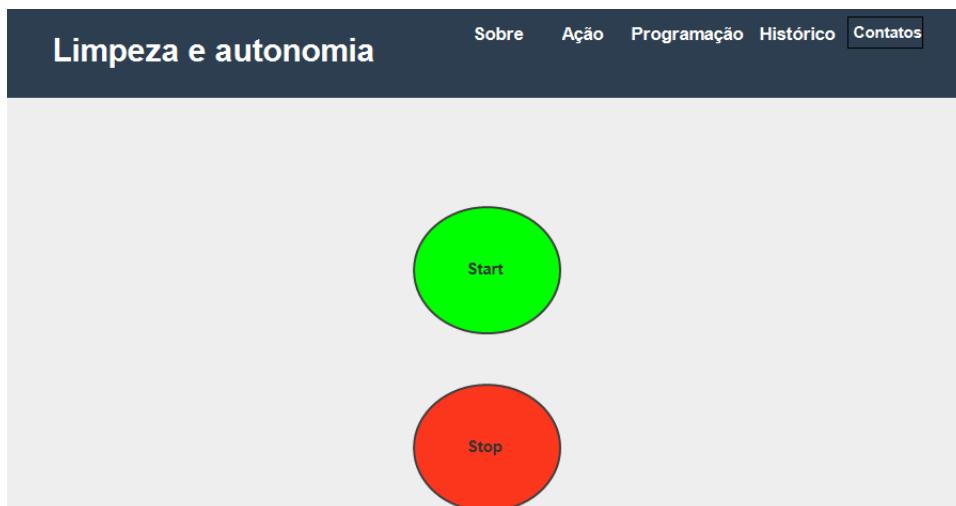


Figura 32 – Interfaface Comando.



Figura 33 – Interfaface Histórico.

## Programação de limpezas



Figura 34 – Interfaface Programação.

# 3 Plano de Gerenciamento de Riscos

O gerenciamento de riscos tem como objetivo orientar a equipe sobre os riscos presentes, como serão controlados e monitorados, além de aumentar a probabilidade e impacto de eventos positivos e reduzir a probabilidade e impacto dos eventos.

O processo consiste na realização de um plano de gerenciamento que descreva a análise e execução dos processos de riscos, iniciando-se pela identificação dos mesmos, suas análises quantitativas e qualitativas, plano de respostas e por fim a solução de como eles serão monitorados e controlados durante o ciclo de vida do projeto.

## 3.1 Processo de Gerenciamento de Riscos

O processo de gerenciamento de riscos nesse projeto, ocorrerá nas seguintes etapas:

1. Identificar os riscos e determinar quais deles podem afetar o projeto, documentando suas características.
2. Realizar a análise qualitativa dos riscos.
3. Avaliar a exposição ao risco para priorizar os que serão objeto de análise ou ação adicional.
4. Realizar a análise quantitativa dos riscos.
5. Efetuar a análise numérica do efeito dos riscos identificados nos objetivos gerais do projeto.
6. Planejar as respostas aos riscos, desenvolvendo opções e ações para aumentar as oportunidades e reduzir ameaças aos objetivos do projeto.
7. Controlar os riscos e monitorá-los durante o ciclo de vida do projeto.

## 3.2 Responsabilidade dos Riscos da Equipe do Projeto

Os processos de gerenciamento de riscos estão sendo realizados pelo *Scrum master* do projeto durante o período estabelecido, no entanto todos os membros da equipe de desenvolvimento do R2-PI2 são consultados com as devidas responsabilidades para o levantamento de riscos dos sistemas e subsistemas.

### 3.3 Probabilidade e Impacto de Riscos

Diferentes riscos possuem diferentes probabilidades de ocorrência e diferentes impactos no projeto. Tendo isso em vista, foi feita uma matriz de risco e probabilidade e uma matriz de impacto para auxiliar na qualidade e credibilidade da análise dos riscos, assim como na decisão de respostas e plano de controle.

#### 3.3.1 Matriz de Risco e Probabilidade

Na tabela 9, é apresentada a matriz de probabilidade dos riscos. A partir da utilização desta matriz, é possível quantificar a probabilidade de diversos riscos que sejam encontrados durante a realização deste projeto.

Tabela 9 – Matriz de probabilidade de riscos do R2-PI2.

<b>Probabilidade</b>	<b>% de certeza</b>
1- Muito baixa	0 a 20%
2- Baixa	20 a 40%
3- Média	40 a 60%
4- Alta	60 a 80%
5- Muito alta	>80%

#### 3.3.2 Matriz de Impacto dos Riscos

Para chegar em uma nota final de impacto para o risco, foram considerados 4 aspectos principais: Custo, Tempo, Escopo e Qualidade, como pode ser observado na tabela 10.

Tabela 10 – Matriz de impacto de riscos.

<b>Custo</b>	<b>Muito baixo (nota 1)</b>	<b>Baixo (nota 2)</b>	<b>Médio (nota 3)</b>	<b>Alto (nota 4)</b>	<b>Muito alto (nota 5)</b>
	Até 2% no orçamento	De 2 a 5% no orçamento	De 5 a 8% no orçamento	De 8 a 10% no orçamento	Acima de 10% no orçamento
<b>Tempo</b>	Até 2% no prazo total	De 2 a 5% no prazo	De 5 a 8% no prazo	De 8 a 10% no prazo	Acima de 10% no prazo
<b>Escopo</b>	Impacto insignificante na qualidade do projeto	Mudança impactará no custo	Mudança impactará no custo e no tempo	Mudança impactará no custo, tempo e qualidade	Produto final do projeto é inútil

### 3.4 Planejamento de Resposta aos Riscos

A partir das matrizes apresentadas anteriormente, é criada a matriz de probabilidade e impacto. As notas de impacto e probabilidade são multiplicadas para se chegar a

uma nota final de risco.

Tabela 11 – Matriz de probabilidade e impacto.

Probabilidade		5	10	15	20	25
	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5
Impacto		1	2	3	4	5

A cor verde na tabela representa risco mínimo. A cor amarela representa risco médio e a cor vermelha representa risco alto. A estratégia a ser adotada para cada escala de risco identificada está apresentada na tabela 12.

Tabela 12 – Legenda matriz de probabilidade

Zona	Prioridade	Pontuação	Estratégia
<b>Verde</b>	Baixa	de 0 a 4	Aceitação
<b>Amarelo</b>	Média	de 5 a 14	Aceitação ou mitigação
<b>Vermelho</b>	Alta	de 16 a 25	Eliminação, mitigação ou transferência

### 3.5 EAR (Estrutura Analítica de Riscos)

Para auxiliar na identificação das fontes riscos durante a execução do projeto, foi elaborado uma estrutura analítica de riscos (EAR), que pode ser visualizada na Figura 39.

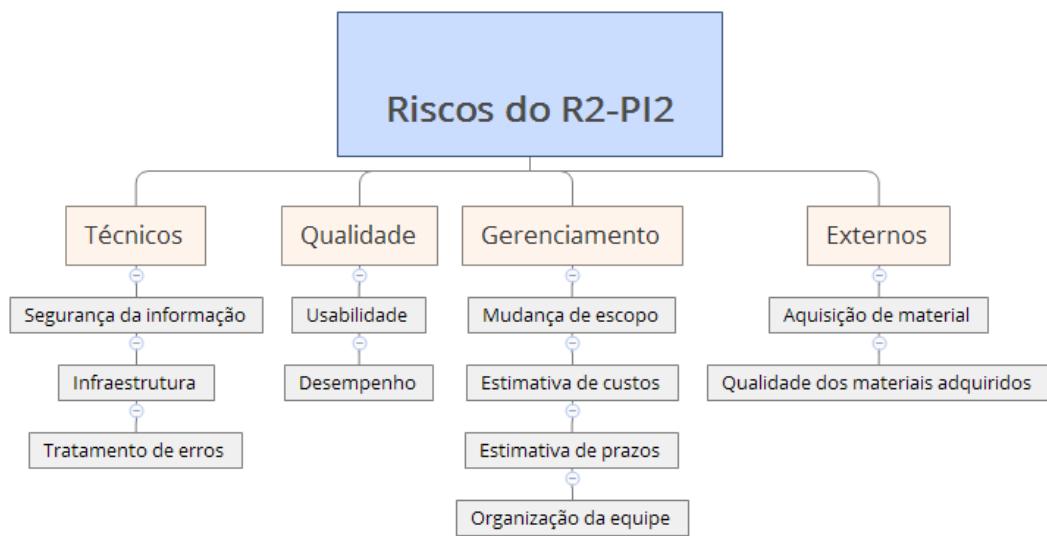


Figura 35 – Estrutura analítica de riscos.

Os principais tipos de riscos identificados no projeto são:

- **Técnicos:**

Riscos relacionados às tecnologias do sistema.

- **Qualidade:**

Riscos relacionados à qualidade final do sistema.

- **Externos:**

Riscos externos à equipe de desenvolvimento.

- **Gerenciamento de Projetos:**

Riscos relacionados às questões de gerência do projeto e organização interna.

### 3.6 Identificação dos Riscos

Foi utilizada a técnica de *Brainstorming* e reuniões em equipe para a identificação dos riscos do projeto, de modo que todas as áreas fossem analisadas e que os riscos principais do projeto fossem identificados a fim de dar uma nota para os aspectos “probabilidade” e “impacto” para avaliar a necessidade de um plano de resposta. A tabela abaixo mostra os riscos identificados e as suas atribuições de nota.

Por motivos de espaço, a tabela dos riscos identificados foi quebrada em 3 (três) imagens, apresentadas em [36](#), [37](#) e [38](#).

Tipo	ID	Causa	Risco	Efeito	Probabilidade	Impacto
Técnico	1	Falta de experiência com as tecnologias	Pouco domínio das tecnologias	Atrasos ou falta de entregas	Alta	Muito alto
Técnicos	2	Requisitos mal definidos	Software não atende as necessidades reais	Produto inútil	Baixa	Muito Alto
Técnicos	3	Sensoriamento de obstáculos não funciona	Aspirador irá se chocar com obstáculos	O produto poderá ser danificado, assim como móveis ou paredes	Média	Alto
Técnicos	4	Monitoramento da bateria não funciona	O aspirador não irá terminar de realizar a limpeza	A limpeza não será realizada e o aspirador não voltará para a base	Média	Alto
Técnicos	5	Ponte H não funciona	O aspirador não irá se mover	A limpeza não será realizada	Baixa	Alto
Técnicos	6	Algum sistema não é projetado	Projeto não irá atender todos os requisitos	Retrabalho ou aumento do custo	Alta	Alto
Técnicos	7	Corrente das rodas deslize no chão	O movimento do aspirador é prejudicado	Erros no controle autônomo do robô	Alto	Alto
Técnicos	8	Faltar torque por parte dos motores	O aspirador não irá andar	A limpeza não será realizada	Média	Muito alto
Técnicos	9	Dificuldade da construção da estrutura do aspirador circular	Dificuldade de juntar os componentes da plataforma e a própria construção da base	O projeto do aspirador será modificado para base retangular	Baixa	Baixo

Figura 36 – Riscos identificados 1.

Técnicos	10	Falta de espaço para a alocação de todos os subsistemas	Erros no momento do projeto	Será necessário aumentar a altura total do robô.	Baixa	Médio
Técnicos	11	Vazão de ar sugado pelo aspirador não seja suficiente	O sistema não será capaz de sugar as partículas de pó e sujeira	Falha em cumprir o requisito solicitado	Alta	Alto
Técnicos	12	Tempo de resposta da raspberry-arduino não seja suficiente	O aspirador não será capaz de se comunicar com a base	Quando a limpeza for concluída o aspirador não voltará para a base	Alta	Muito Alto
Técnicos	13	Dimensionamento errado das baterias	Queima do controlador e dos componentes do sistema de controle	Nenhum sistema do aspirador irá funcionar	Média	Muito Alto
Externos	14	Integrante Desiste da disciplina	A equipe ficará incompleta	Aumento do tempo de projeto	Média	Alto
Externos	15	Dificuldade na obtenção de componentes	Falta de materiais que precisam ser adquiridos	Atraso nas entregas do projeto, dificuldade de organização	Muito Baixa	Baixo
Externos	16	Material entregue com atraso	Falta de componentes para produção	Aumento do tempo e do custo de projeto	Alta	Muito Alto
Gerenciamento	17	Má definição de escopo	Mudanças excessivas de escopo	Atraso das entregas do produto	Baixa	Médio
Gerenciamento	18	Falta de experiência dos gerentes	Estimativas de prazo erradas	Atraso das entregas do produto	Média	Alto
Gerenciamento	19	Problemas entre membros de equipe	Mudanças na equipe	Retrabalho	Baixa	Alto
Gerenciamento	20	Incompatibilidade de horários	Atrasos e má comunicação entre equipe	Retrabalho	Alta	Alto

Figura 37 – Riscos identificados 2.

Gerenciamento	21	Planejamento inadequado do custo	Falta de dinheiro para compra de equipamentos	Prejuízo para a equipe	Alta	Alto
Gerenciamento	22	Atraso no cronograma	Reestruturação de prazos	Aumento do tempo de projeto	Alta	Alto
Gerenciamento	23	Falta de dinheiro para compra de materiais	Dificuldade na obtenção de componentes	Inviabilidade de produção	Baixa	Muito Alto
Gerenciamento	24	Mudanças no escopo	Alterações no projeto	Aumento do tempo de projeto	Alta	Alto
Qualidade	25	Material de produção é avariado	Sistema não funciona como deveria	necessidade de adquirir novo material	Media	Alto
Qualidade	26	Baixa qualidade de algum sistema	Sistema não funciona como deveria	Dificuldade de integração no projeto	Baixa	Baixo

Figura 38 – Riscos identificados 3.

### 3.7 Análise Qualitativa dos Riscos

Para realizar a priorização dos riscos, é necessário uma análise qualitativa dos riscos, avaliando a probabilidade de ocorrência e o impacto de cada risco que será descrito. A tabela a seguir mostra o resultado dessa análise.

ID do risco	Probabilidade	Impacto	Nota Final	Prioridade
1	Alta	Muito Alto	20	
2	Baixa	Muito Alto	10	
3	Média	Alto	12	
4	Média	Alto	12	
5	Baixa	Alto	8	
6	Alta	Alto	16	
7	Alta	Alto	16	
8	Média	Muito Alto	15	
9	Baixa	Baixo	4	
10	Baixa	Médio	6	
11	Alta	Alto	16	
12	Alta	Muito Alto	20	
13	Média	Muito Alto	15	
14	Média	Alto	12	
15	Muito Baixa	Baixo	2	
16	Alta	Muito Alto	20	
17	Baixa	Médio	6	
18	Média	Alto	12	
19	Baixa	Alto	8	
20	Alta	Alto	16	
21	Alta	Alto	16	
22	Alta	Alto	16	
23	Baixa	Muito Alto	10	
24	Alta	Alto	16	
25	Média	Alto	12	
26	Baixa	Baixo	4	

Figura 39 – Qualificação dos riscos.

### 3.8 Controle e mudança de riscos

Com relação ao controle de riscos, para o projeto do R2-PI2, foram decididas as seguintes ações:

- Os riscos serão controlados nas reuniões semanais
- Caso um novo risco seja identificado ou mesmo ocorrido, os gerentes devem reavaliar o risco qualitativamente e se ele atingir uma pontuação de 0,3 ou mais na matriz de impacto x probabilidade, deve-se planejar uma resposta para ele.
- Caso o item anterior ocorra, este plano de riscos deve ser atualizado.

### 3.9 Plano de Resposta aos Riscos

Para os riscos da zona amarela ( cuja estratégia não será aceitação) e os da zona vermelha, foram identificadas as seguintes ações de resposta:

Tabela 13 – Resposta aos riscos.

Risco	Ação	Estratégia	Responsável
Pouco domínio das tecnologias	Treinamento com membros mais experientes	Mitigar	Desenvolvedores
Algum sistema não é projetado	Alocar outros integrantes para realização da tarefa	Mitigar	Desenvolvedores
Corrente das rodas deslize no chão	Será dimensionado uma esteira embrorrachada para aumentar o atrito com o solo	Mitigar	Desenvolvedores
Faltar torque por parte dos motores	Aumentar a tensão de funcionamento do motor ou a substituição do mesmo	Mitigar	Desenvolvedores
Vazão de ar sugado pelo aspirador não seja suficiente	Aumentar a tensão sobre os motores elétricos do cooler ou aumentar o número de coolers em paralelo, até que o problema seja solucionado.	Mitigar	Desenvolvedores
Tempo de resposta da raspberry-arduino não seja suficiente	Utilizar de tecnologias mais velozes, ou com processamento local.	Mitigar	Desenvolvedores
Dimensionamento errado das baterias	Olhar especificações técnicas de todos os componentes ou trocar a bateria.	Mitigar	Externos
Material entregue com atraso	Antecipar o pedido dos materiais.	Mitigar	Desenvolvedores
Má definição de escopo	Redefinir escopo o mais rápido possível.	Mitigar	Gerentes e desenvolvedores
Incompatibilidade de horários	Reuniões via Google Hangout semanais em um horário onde todos podem.	Mitigar	Gerentes
Planejamento inadequado do custo	Realizar novo planejamento.	Mitigar	Gerentes
Atraso no cronograma	Aumentar o esforço do tempo de projeto restante.	Mitigar	Gerentes e desenvolvedores
Falta de dinheiro para compra de materiais	Buscar novas fontes de recurso.	Mitigar	Desenvolvedores

### 3.10 Gerência de Riscos - Até Ponto de Controle 2

Com o desenvolvimento do projeto, do ponto de controle 1 até o ponto de controle 2 foram identificados novos riscos ao projeto. Os riscos e suas análises seguem os mesmos padrões já estabelecidos anteriormente. Para manter consistência, os IDs foram continuados das tabelas anteriores. As figuras a seguir mostram os riscos identificados.

Tipo	ID	Causa	Risco	Efeito	Probabilidade	Impacto
Técnico	27	Pouco conhecimento da tecnologia	Não conseguir fazer o server do rails subir automaticamente após uma queda de energia	Robô para de funcionar.	Médio	Muito Alto
Técnico	28	Estrutura não suportar o peso dos equipamentos	A estrutura cede e pode causar danos no sistema	O sistema integrado fica sem estrutura	Baixa	Alto
Técnico	29	Programação de locomoção não responder bem com o sistema integrado	Locomoção do robô comprometida	O robô não responde ao código ou responde de maneira errada	Alta	Alto
Técnico	30	Montagem inadequada da escova na estrutura.	Parte do sistema de sucção com defeito	Apesar de aspirar, o sistema de sucção não realiza uma limpeza eficaz	Média	Médio

Figura 40 – Riscos Identificados no PC2 1.

Técnico	31	Integração do subsistema de forma inadequada	Danos ao sistema durante a fase de integração	Parte do sistema apresenta defeitos	Alta	Muito Alto
Técnico	32	Falha no controle do acionamento do sistema	O sistema de aspiração não liga	O aspirador sem funcionamento	Média	Médio
Técnico	33	Rodas mal fixada	A roda trava	O aspirador não se mover	Média	Alto
Técnico	34	Base circular	A simetria e o formato da base incorreto	Prejudica o planejamento de fixação das peças	Baixa	Baixo ▾
Técnico	35	Falha no motor do aspirador/escova mágica	Parte do sistema de sucção não funciona	A sucção não funciona adequadamente	Baixa	Alto
Técnico	36	A tensão e/ou corrente instalada não suprir a demanda	O aspirador ou alguns de seus componentes podem não funcionar	O aspirador não cumprirá sua função por completo	Alta	Muito Alto

Figura 41 – Riscos Identificados no PC2 2.

Técnico	37	A tensão e/ou corrente instalada ser maior que a demandada	Algum componente pode ser danificado	Atraso na entrega do projeto devido à substituição do componente	Alta	Muito Alto
Técnico	38	Alta descarga do sistema de alimentação	Comprometimento da autonomia	O aspirador não consegue limpar o cômodo (requisito)	Alta	Muito Alto
Técnico	39	Ineficiência do sistema de carga	A bateria não carrega por completo ou demora muito no processo	Não cumpre requisito	Alta	Muito Alto
Técnico	40	Encoder não funcionar	Propagação de erro na navegação do R2-PI2	O robô defeituoso	Alta	Alto

Figura 42 – Riscos Identificados no PC2 3.

Técnico	41	Implementação da navegação não funcionar na Raspberry	O aspirador não navega pelo ambiente de acordo com o algoritmo desenvolvido	Locomoção comprometida	Alta	Muito Alto
Técnico	42	Problemas com o RSSI	O aspirador não reconhece a localização da base	O aspirador apresenta problemas ao voltar para a base	Alta	Muito Alto
Técnico	43	Oscilação muito significativa nos sensores	O aspirador apresenta problemas no requisito desviar de obstáculo	Compromete a locomoção do robô	Alta	Alto

Figura 43 – Riscos Identificados no PC2 4.

As figuras 44 e 45 mostra quais são as análises qualitativas dos riscos identificados.

27	Médio	Muito Alto	15	
28	Baixa	Alto	8	
29	Alta	Alto	16	
30	Média	Médio	9	
31	Alta	Muito Alto	20	
32	Média	Médio	9	
33	Média	Alto	12	
34	Baixa	Baixo	4	

Figura 44 – Qualificação dos riscos do PC2 1.

35	Baixa	Alto	8	
36	Alta	Muito Alto	20	
37	Alta	Muito Alto	20	
38	Alta	Muito Alto	20	
39	Alta	Muito Alto	20	
40	Alta	Alto	16	
41	Alta	Muito Alto	20	
42	Alta	Muito Alto	20	
43	Alta	Alto	16	

Figura 45 – Qualificação dos riscos do PC2 2.

A seguir, as figuras mostram o plano de resposta para os novos riscos.

Risco	Ação	Estratégia	Responsável
Os motores da sucção não funcionam	Fornecer corrente e tensão necessários para funcionamento correto do motor.	Mitigar	Desenvolvedores
Parte do sistema de sucção com defeito	Reconstrução da parte com defeito.	Mitigar	Desenvolvedores
Danos ao sistema durante a fase de integração	Substituir ou consertar peças com defeitos.	Mitigar	Desenvolvedores
O sistema de aspiração não liga	Corrigir circuito de ativação dos motores da sucção	Mitigar	Desenvolvedores
Encoder não funciona	Utilizar outro tipo de encoder	Mitigar	Desenvolvedores
Implementação da navegação não funciona na Raspberry	Desenvolver outro algoritmo de navegação	Mitigar	Desenvolvedores

Figura 46 – Resposta aos riscos PC2 1.

Problemas com o RSSI	Utilizar outra forma de aquisição do sinal de potência	Mitigar	Desenvolvedores
Oscilação muito significativa nos sensores	Desenvolver outro algoritmo de filtragem	Mitigar	Desenvolvedores
Integração de subsistemas não funciona	Testar integração dos subsistemas com antecedência.	Mitigar	Desenvolvedores
Peças da sucção fabricadas com defeitos	Realizar nova fabricação ou buscar outra solução de construção	Mitigar	Desenvolvedores
Não conseguir fazer o server do rails subir automaticamente após uma queda de energia	Procurar soluções não ótimas para o problema	Mitigar	Desenvolvedores

Figura 47 – Resposta aos riscos PC2 2.

Adicionalmente, alguns dos riscos identificados ocorreram e a equipe de desenvolvimento precisou tomar ações de resposta. A tabela 14 mostra os riscos que ocorreram e quais foram as ações exatas que foram tomadas

Tabela 14 – Riscos ocorridos e suas respostas.

<b>ID</b>	<b>Risco</b>	<b>Forma como foi solucionado</b>
3	Sensoriamento de obstáculos não funciona	Trocou-se o sensor IR por sensores ultrassônicos.
11	Vazão de ar sugado pelo aspirador não é suficiente	Trocou-se a hélice e o motor utilizados para gerar a vazão de ar suficiente
25	Material de produção é avariado	Comprou-se novos materiais e em maior quantidade.
36	Problemas de fabricação dos componentes da sucção	Optou-se por comprar um modelo de hélice comercial
37	Não conseguir fazer o server do rails subir automaticamente após uma queda de energia	Colocou o terminal como programa inicial na raspberry e no .bashrc colocou para iniciar o server do rails.

# 4 Implementação da Solução

Este capítulo tem como objetivo apresentar o detalhamento da implementação dos subsistemas do R2-PI2. Ao longo do capítulo será possível analisar estratégias de solução, equipamentos utilizados, tecnologias incorporadas e o resultado obtido durante a segunda fase de desenvolvimento do projeto R2-PI2.

## 4.1 Navegação

Como o processamento de todas as informações obtidas durante a navegação ocorrerá na base, sabe-se que o tempo de resposta do servidor é uma variável importante quando se refere a um sistema de tempo real, como o proposto pelo projeto. Dessa maneira, fez-se necessária a implantação do *patch rt\_preempt* no kernel do linux presente na *raspberry*. Para isso, utilizamos como fonte de conhecimento a wiki oficial do projeto *RT\_preempt*, disponível [aqui](#).

Com a configuração e recompilação do kernel com este *patch*, obtivemos um tempo de resposta aproximado de 19 micro segundos, o que foi considerado bom pela equipe do projeto. Uma análise foi feita utilizando o *script cyclictest*, da mesma equipe *RT\_preempt*, para calcular o tempo mínimo, médio e máximo de resposta. Na simulação foi utilizado um processo com prioridade 80, com 100.000 (cem mil) *loops* a um intervalo de 500 micro segundos, obtendo o resultado apresentado na Figura 48.

```
pi@raspberrypi:~/rt-tests$ sudo ./cyclictest -m -t1 -p 80 -n -i 500 -l 100000
# /dev/cpu_dma_latency set to 0us
policy: fifo: loadavg: 1.09 0.45 0.22 2/221 3940
T: 0 ( 3858) P:80 I:500 C: 100000 Min:    13 Act:   21 Avg:   19 Max:   115
```

Figura 48 – Tempo de resposta do servidor.

Após a implantação deste requisito de tempo real, buscou-se definir uma estratégia de navegação que conte com os requisitos iniciais do projeto. Para isso, o sistema de navegação foi dividido em 2 contextos. A navegação pode estar no contexto de *running*, onde estará rodando pelo ambiente de maneira aleatória, ou *back*, no qual o robô deverá retornar para base.

Nos sub-tópicos a seguir estão detalhadas as estratégias de navegação nos dois contextos.

### 4.1.1 Running

O algoritmo de navegação utilizado durante este contexto é bastante simples, o qual envolve uma estratégia de navegação aleatória. Basicamente, o robô sempre tenderá a andar para frente, quando for encontrado um obstáculo, o servidor enviará uma ordem para desviar daquele obstáculo, levando em consideração as distâncias laterais do robô. Para isso, o robô utiliza 4 sonares, um apontado para a frente, e os outros dois apontados um para cada lado do robô.

Esta navegação aleatória ocorre até que seja determinado o recuo à base, seja por falta de bateria ou por entrada *stop* por parte do usuário.

### 4.1.2 De volta à base (Back)

O retorno à base deve levar em consideração o tempo disponível de bateria, ou seja, o caminho para base deve ser razoavelmente eficiente. Porém, a utilização da potência de sinal do *wifi* gerou problemas relacionados a precisão destes dados. Por este motivo, o retorno a base também se encontra em estado de implementação.

De acordo com o apresentado no plano de gerenciamento de risco, disposto no capítulo [3.10](#), foi identificado um risco que afeta todo o planejamento inicial para retorno a base. Este risco está ligado a precisão dos resultados obtidos com o uso da potência do sinal wifi para retorno a base. A partir de diversos testes, foi observado que a margem de erro deste sinal é muito elevada para utilização em um algoritmo de navegação. Desse modo, sua implementação foi deixada para a terceira etapa do projeto, onde serão utilizados outros meios, seja para calibrar o erro deste sinal, ou para substituir esta estratégia.

Durante esta etapa do trabalho, a estratégia para retorno a base envolve a utilização de um emissor na base, com um receptor no robô identificando a distância do emissor. Com esta informação, é possível navegar pelo ambiente realizando comparações de resultados para traçar uma direção até a base. De acordo com análises experimentais, é possível identificar a direção da base utilizando apenas 3 pontos distintos no ambiente. Estes pontos devem estar separados a uma distância inversamente proporcional a precisão deste sinal analisado.

Visualizando cada distância como um raio de uma circunferência, com 3 pontos obtidos pode-se analisar 3 circunferências que deverão possuir um ponto de intersecção, o qual deverá apontar para a base. Com o objetivo de simplificar a explicação, a Figura [49](#) apresenta uma simulação da estratégia de retorno a base.

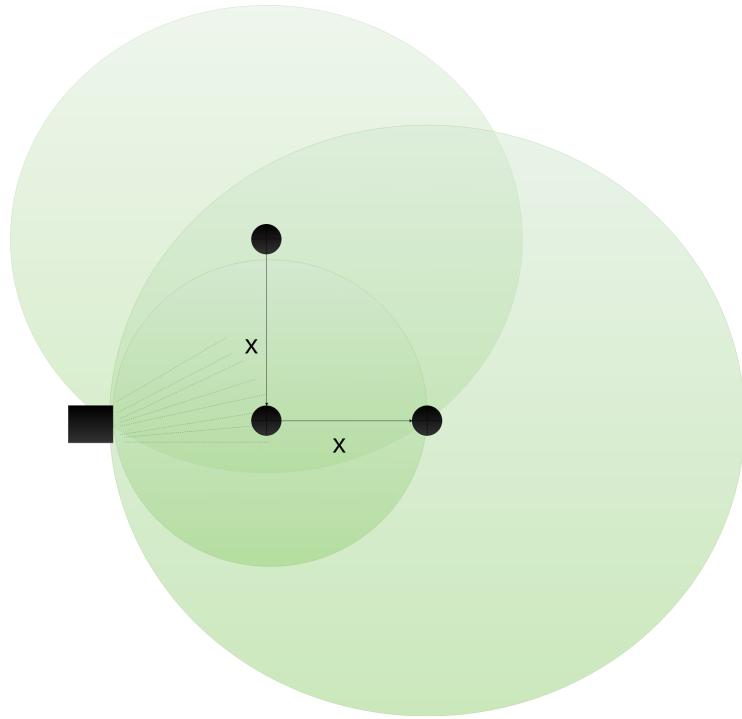


Figura 49 – Estratégia para identificação da direção da base.

É importante ressaltar que para que a estratégia funcione, os 3 pontos não podem ser colineares, pois se forem o resultado das leituras pode acabar gerando dois pontos possíveis de intersecção, como mostrados no exemplo da figura 50

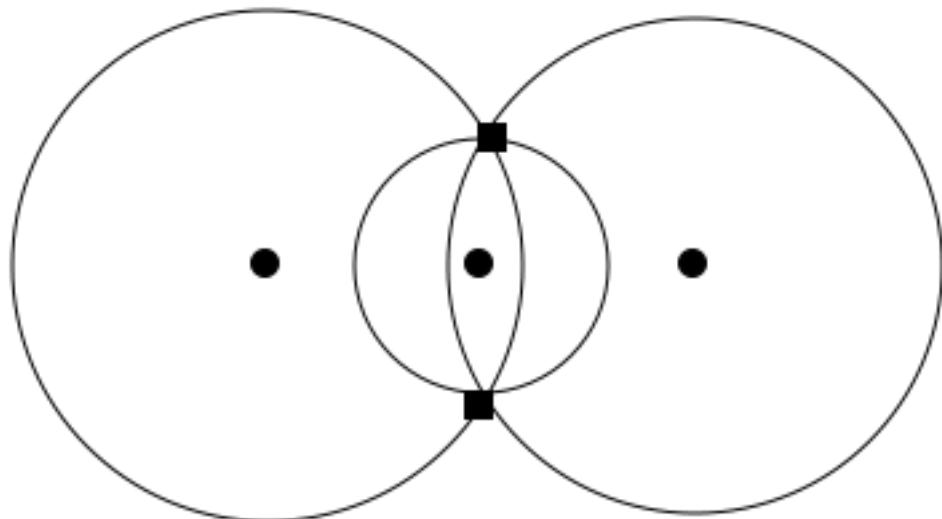


Figura 50 – Estratégia para identificação da direção da base com pontos colineares.

#### 4.1.3 Testes

Ainda não foram realizados testes neste subsistema. Os testes com relação ao running não será realizado pois o robô irá andar de forma aleatória. Com relação ao back,

o teste será feito colocando o robô com alguns obstáculos em diferentes disposições e o robô deverá chegar à base sem se perder.

## 4.2 Estrutura do Robô

Nesta seção pode-se visualizar os processos que levaram a construção da base do robô, componente responsável pela locomoção e a integração de todos os componentes. E as soluções que foram tomadas para a melhoria da construção baseadas em testes feitos com a estrutura.

### 4.2.1 Fabricação

Ocorreram, durante o processo de fabricação da estrutura, mudanças relacionadas ao material empregado na construção da base. A princípio, seria utilizado uma chapa de alumínio, porém foi verificado que a chapa de alumínio, além de possuir algumas dificuldades para serem usinadas e soldadas, deveria possuir uma espessura um pouco maior para não vibrar muito com a ação do sistema de sucção. Uma chapa de metal, mesmo sendo de alumínio, de 2 cm é extremamente pesada, o que se tornaria um problema para os sistemas de navegação e locomoção do robô. Por esse motivo, o alumínio foi substituído por uma chapa de aço de 2mm de espessura. A base construída possui 39 cm de diâmetro e uma área útil de 1100 cm<sup>2</sup>, espaço suficiente para alocar todos os componentes do robô.

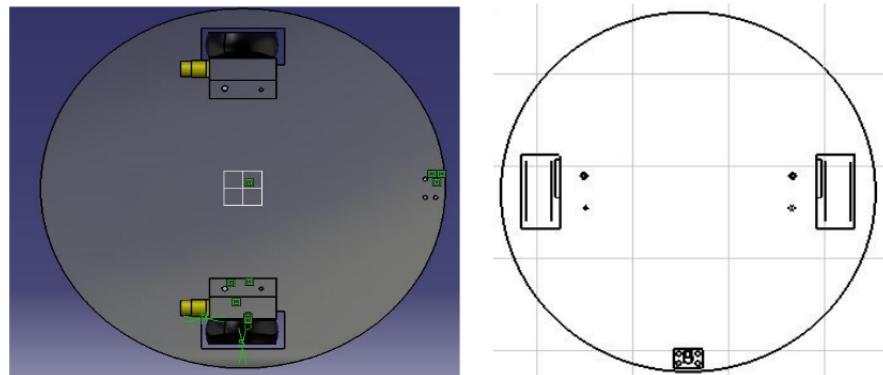


Figura 51 – Vista superior. A esquerda em 3D e a direita desenho técnico.

O primeiro passo do processo de fabricação da estrutura foi a construção de um molde com as exatas dimensões da base, feito em madeira. Esse molde foi usado para verificar se o diâmetro de 39 cm seria suficiente para todos os componentes do robô e como seria feita a locação de cada componente, visando evitar erros no uso do material definitivo. Estando seguros do tamanho escolhido, foi feito o desenho circular em uma chapa de aço retangular utilizando um tipo de compasso, feito de prego e um lápis amarrado a uma

linha de 20 cm. Em seguida, o corte circular foi feito com uma lixadeira. O diâmetro final da peça foi de 39 cm por causa da espessura da ferramenta que foi usada para o corte.



Figura 52 – Primeiro corte realizado para confecção da base.

Com a base circular já pronta, foram feitas as marcações para os novos cortes e parafusos que entraram na estrutura, tudo isso, utilizando régulas e esquadros para se obter o melhor paralelismo possível para a peça final. Os cortes para o encaixe das rodas, foram feitos em formato retangular e exatamente do meio da peça. Para isso foi utilizado uma serra Tico Tico.



Figura 53 – Base com as rodas montadas.

Tendo finalizado a estrutura principal da base, foi desenvolvido um suporte para fixar as rodas. Foram fabricados de tubo de aço retangular, “metalon”, de 30x25mm chapa 18.



Figura 54 – Os suportes feitos para fixar as rodas.

Com todos os componentes já produzidos, foram realizadas as furações na chapa com uma broca de 4mm para todos os parafusos e por fim os componentes foram montados

e testados sua resistência e a capacidade de locomoção desse sistema.



Figura 55 – Teste 1 para verificar a estabilidade do carrinho.

Com o carrinho em movimento, a parte da estrutura que não possui roda livre era empurrada para baixo e se verificava o comportamento. Em todos os momentos o sistema voltava ao normal indicando que o uso de três rodas é viável dependendo da disposição dos componentes.



Figura 56 – Teste 2 – Verificando a resistência da estrutura.

O teste consistia em colocar peso em cima da estrutura, aproximadamente 2 kg, e se empurrou o carrinho para ver seu comportamento.

#### 4.2.2 Documentação em CAD

Durante o processo de fabricação da estrutura ocorreram alguns retrabalhos na documentação feita no CATIA, alguns sketches feitos eram mais complicados de serem usinados e poderiam nos trazer diversos erros de paralelismo na estrutura. Os desenhos finais da estrutura da base do motor são apresentados a seguir.

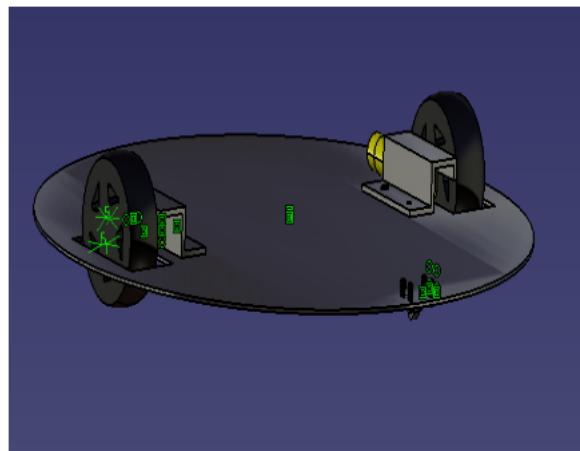


Figura 57 – Vista isométrica.

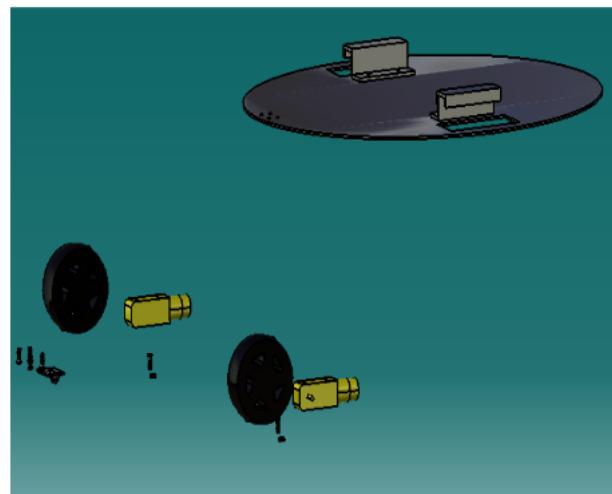


Figura 58 – Vista explodida dos componentes.

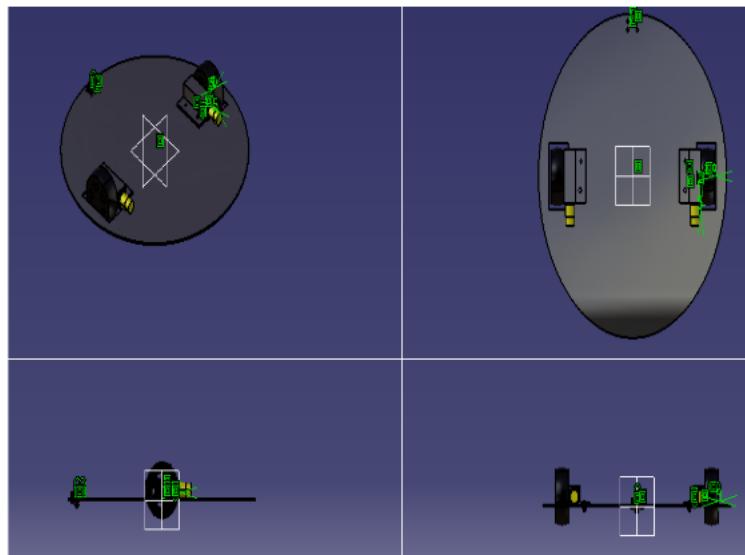


Figura 59 – Vistas em corte.

## 4.3 Alimentação

O sistema de alimentação pode ser dividido em 2 grandes grupos: *Bateria* e *Carregador*, os quais estão descritos nas sub-seções dispostas a seguir.

### 4.3.1 Bateria de íon-lítio (Li-Ion)

De todos os tipos de baterias esta é, sem dúvida, a melhor. Suas vantagens são diversas e variadas e não é justamente por isso que elas são empregadas em larga escala nos novos eletrônicos.

Não-tóxicas, com capacidade de carga duas vezes maior que as de Ni-MH e três vezes maior que as de NiCd, sem efeito memória (ou seja, a bateria não vai “viciar”) e também mais leves, afinal o lítio é um dos metais mais leves já conhecidos. A densidade do lítio também permite a criação de baterias com maior capacidade.

Outro ponto que dá muito mais vantagens às baterias de Li-Ion é o fato de estas baterias dispensarem ciclos completos de cargas, ou seja, não é necessário esperar a carga acabar para carregá-la novamente e quando carrega não precisa esperar que ela seja preenchida por completo. Além disso, ao estar carregada por completo a bateria cessa automaticamente o recebimento de energia para evitar sobrecargas.

Estas baterias, porém, demandam um cuidado maior por parte de seus usuários, como por exemplo, a não exposição a altas temperaturas que podem causar danos definitivos e até mesmo sua explosão.

#### 4.3.1.1 Bateria utilizada

A 18650 é uma bateria de 4.2V e possui 8.8Ah. É de Li-íon assim como as baterias de celular, no entanto possuindo maior capacidade energética. A figura 60 mostra a bateria NK 18650.



Figura 60 – Bateria NK 18650 Ultrafire.

O Li-ion tem melhor relação de peso e potência que as baterias de Ni-MH ou Ni-Cd, tendo apenas o problema da tensão ser mais elevada.

Usando o princípio da associação de fontes de tensão, resultará em um somatório das tensões das fontes. Quando 3 baterias de 4.2V são associadas em série temos o equivalente a um bateria de 12.6V, internamente em uma bateria é possível distinguir 3 células de 4.2V. Mas é preciso atentar que para resultar neste somatório todas as células ou fontes tem de estar com as polaridades sempre entre positivo para negativo ou vice versa.

#### 4.3.1.2 Consumo energético

Foi realizada uma relação de consumo e capacidade de energia dos componentes para a escolha da bateria ideal, onde os motores consomem a maior parte da corrente.

Tabela 15 – Consumo energético.

Componente	Quantidade	Corrente unitária (mA)	Corrente total (mA)	Tensão (V)
Ponte H	1	36	36	6
AtMega	1	500	500	5
Motor DC	3	470	1410	6
Módulo ESP8266	1	1000	1000	3.3
Motor DC				
12V Aspiração	1	4400	4400	12
<b>TOTAL</b>			<b>7421</b>	

De acordo com a tabela 15, é possível analisar a corrente e tensão de cada componente utilizado no projeto. Os componentes utilizados trabalharão com uma média de 7Ah, sendo que, um dos requisitos do robô é ter de aspirar um cômodo de maneira autônoma durante 30 minutos, com isto a corrente diminui para 3.5Ah.

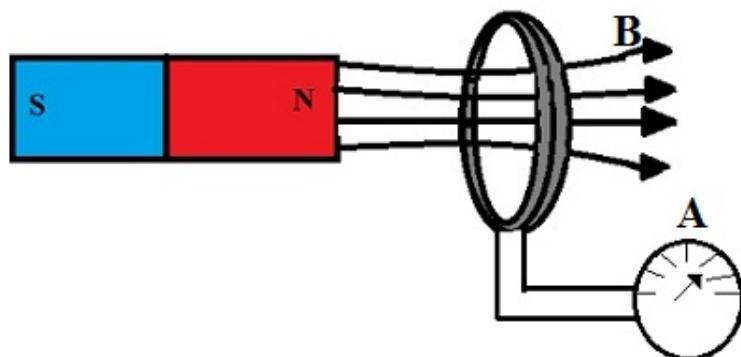
#### 4.3.2 Carregador

Uma das grandes dificuldades na aplicação do sistema de alimentação em um projeto de eletrônico portátil é a forma com que se vai fornecer os ciclos de carga ao aparelho. No que tange as especificidades do projeto, por ser um aspirador de pó que opera de forma autônoma, o maior desafio foi encontrar uma maneira de fazer com que o robô, após notar a necessidade, se dirigisse a sua base e começasse a se recarregar da forma mais simples e prática possível.

Depois de diversas pesquisas e muitas hipóteses consideradas, chegou-se em consenso de que o princípio de carregamento por indução eletromagnética é o que se adequa ao projeto, já que não é necessário a conexão de cabos/conectores.

A indução eletromagnética consiste basicamente no surgimento de uma corrente elétrica oriunda de um fluxo magnético próximo de um condutor. O conceito é antigo e teve o princípio do raciocínio em 1820, quando Hans Christian Oesterd descobriu que cargas elétricas em movimento davam origem a um campo magnético.

Tal descoberta levou diversos estudiosos da época a creer que o inverso também deveria ser possível de acontecer, ou seja: a variação do campo magnético levaria a uma produção de corrente elétrica. Michael Faraday, também dinamarquês, em 1931, batizou esse comportamento como indução eletromagnética e comprovou tal teoria através daquela que é conhecida até hoje com a Lei de Faraday.



Na experiência de Faraday, as linhas de campo magnético do imã geram uma corrente induzida na espira

Figura 61 – Experiência de Faraday.

A Lei de Faraday diz que uma força eletromotriz é produzida por condutores elétricos que se movimentam num campo magnético uniforme, ou então por um campo magnético variável. Tem uma melhor exemplificação da seguinte forma:

$$Fem = \frac{-d\phi}{dt}$$

Sendo Fem a força eletromotriz (V),  $\phi$  o fluxo magnético e t o tempo. Algum tempo depois James Clerk Maxwell, analisando o experimento de Faraday, escreveu uma outra lei que relaciona os campos elétrico e magnético, como podemos ver abaixo:

$$\nabla \times E = \frac{-dB}{dt}$$

Sendo  $\nabla$  o operador nabla, E o campo elétrico e B o campo magnético. Analisando essa formulação conclui-se que o rotacional do campo elétrico é igual ao oposto da variação do campo magnético no tempo.

Esse conceito já é frequentemente utilizado em transformadores elétricos, motores, máquinas de indução em geral que hoje também englobam os carregadores mais modernos, afim de fornecer correntes de carga para baterias, especialmente para aparelhos como notebooks, tablets, smartphones e etc.

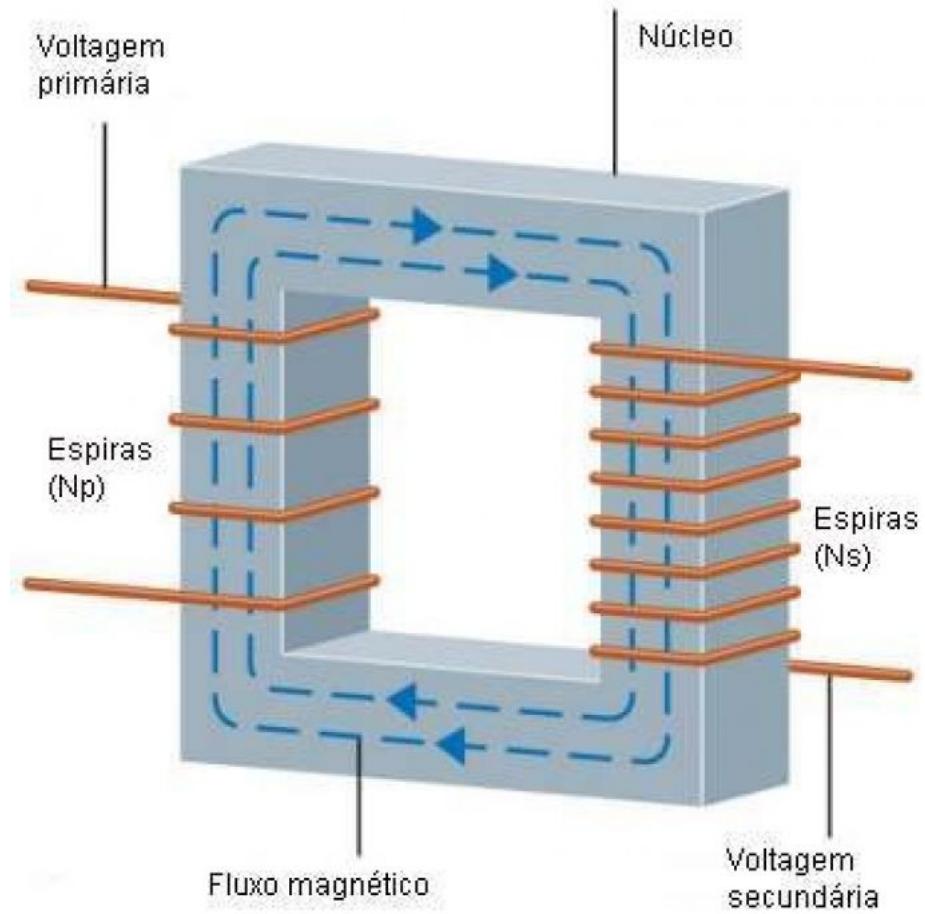


Figura 62 – Transformador elétrico.

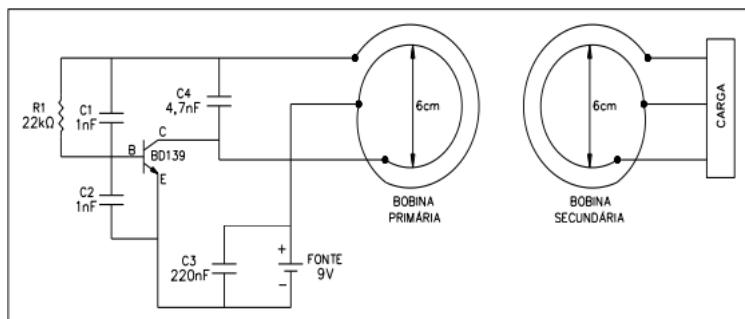


Figura 63 – Diagrama elétrico.

A função do circuito da figura 63 é transformar *direct current* - DC em *alternating current* – AC. Sabe-se que para carregar as baterias o sistema deve fornecer uma corrente contínua, para isso utilizou-se uma ponte de diodo entre a conexão da bobina secundária e o elemento que se deseja alimentar. Os primeiros testes foram realizados na estrutura supracitada, que representa o protótipo de um carregador por indução. Para isso foram utilizados três capacitores, um resistor, um transistor, vários indutores (bobinas). Os

Tabela 16 – Resultados do teste 1.

	Nº de espiras	Tensão (v)	Corrente (mA)
<b>Bobina 1 (6 mm)</b>	6	9.8	-
<b>Bobina 2 (0.6 mm)</b>	20	6.2	0.7

Tabela 17 – Resultados do teste 2.

	Nº de espiras	Tensão (v)	Corrente (mA)
<b>Bobina 1 (0.6 mm)</b>	20	5.6	-
<b>Bobina 2 (0.6 mm)</b>	20	2.62	2.2

testes realizados objetivaram observar o comportamento das perdas na primeira parcela e verificar a tensão e corrente entregues na segunda parcela do sistema a fim verificar a eficiência e a viabilidade do modelo pré-estabelecido. As tabelas 16 e 17 expõe os resultados obtidos.

Nos testes iniciais foi possível analisar o desempenho do sistema para que as devidas alterações pudessem ser feitas. Identificou-se que a bobina secundária deveria estar posicionada no inferior da estrutura da base do robô, visto que esta, devido ao material que a compõe, interfere de forma prejudicial ao fluxo que chega à segunda bobina. Além da necessidade de se aumentar a tensão e a corrente a serem entregues pela ponte de diodo, pois necessitamos de uma tensão de 14.8V e uma corrente de 2A para alimentar a bateria. De fato pode-se constatar que a corrente obtida a partir dos testes realizados não é suficiente para realizar a recarga das baterias. Uma busca por novas alternativas para aumentar os parâmetros contínuos de saída na bobina secundária ainda estão sendo implementadas. De forma paralela uma nova solução, carregador com plug magnético, está sendo desenvolvida.

Algumas alterações nos componentes do circuito se fizeram necessárias para se iniciar a segunda fase de testes, como: a substituição do transistor P2N2 por um transistor de potência IRF04A a fim de aumentar a capacidade do circuito, além da troca da resistência, na tentativa de atingir os valores necessários para a carga da bateria. Os testes efetuados na etapa dois tinham como objetivo, verificar a corrente e a tensão alternadas na bobina primária e os valores de tensão e corrente contínua que estavam sendo entregues pela ponte de diodo. Verificou-se experimentalmente que só a troca dos componentes não bastou para constatação desses valores, pois utilizamos uma protoboard que limitava a corrente em 1A, desta forma verificamos que a estrutura mais adequada para realização de testes futuros seria uma placa impressa feita especialmente para o nosso circuito. Descartamos a possibilidade de carregar as baterias com o carregador por indução, pois mesmo que conseguíssemos alcançar o valor da tensão desejada seria um desafio entregar a corrente solicitada pela bateria, além de que levando em consideração os testes realizados na primeira etapa, constatou-se que a corrente que deveria ser entregue para bateria deve ser 500 vezes maior do que a corrente entregue pelo primeiro protótipo. Concluiu-se que o

carregador com plug magnético é a melhor solução para o carregamento da bateria, porém os testes com o carregador por indução irão permanecer a fim de se atingir melhorias do sistema e possíveis resultados para atividades futuras do *R2-PI2*.

#### 4.3.3 Carregador com plug magnético

Este carregador deverá ser capaz de fornecer uma tensão próxima de 16V e corrente de 2A, sendo que o mesmo foi feito para garantir o carregamento das baterias já que existe o risco de que o carregador por indução não entregue a tensão necessária. A tensão fornecida pela concessionária de energia elétrica é alternada ao passo que os dispositivos eletrônicos operam em tensão contínua. Então é necessário retificá-la e isto é feito por meio de circuitos retificadores que convertem corrente alternada em corrente contínua. Temos os retificadores monofásicos para uso em aparelhos eletrônicos de um modo geral e os retificadores polifásicos para uso em circuitos industriais de alta potência. No circuito deste carregador é utilizado um retificador em ponte, um circuito elétrico com o objetivo de converter as tensões de alternadas para contínuas, por meio de um processo de conversão de elementos semicondutores, tais como a conexão com pontes de diodo, dispositivos eletrônicos feitos de silício ou germânio capazes de converter ac em dc. A corrente fornecida pela tomada é alternada, ou seja, muda sua polaridade entre positivo e negativo com uma frequência de 60 Hz, porém para se carregar uma bateria é necessário fornecer corrente com contínua.

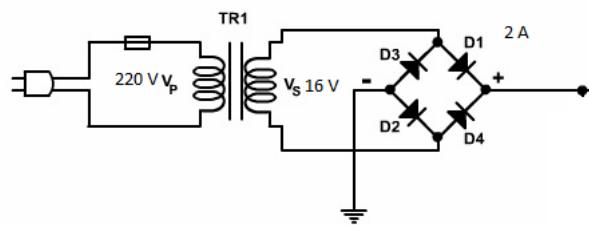


Figura 64 – Circuito do tipo Retificador em ponte utilizado no carregador.

Materiais utilizados:

- 1 Transformador de 16Vac com capacidade de 2A da marca Hayama;
- 4 Diodos 2A;
- 1 chave liga desliga;
- 1 cabo de força.



Figura 65 – Fios de entrada e saída do transformador.

Em resumo, o sistema começa a funcionar a partir do momento em que o cabo de força é conectado a tomada normal, a chave liga/desliga é acionada para a passagem de corrente e a tensão é rebaixada pelo transformador, sendo retificada através da disposição de 4 diodos na saída de baixa tensão. A tensão de 110V não foi utilizada por conta de utilizarmos apenas as tomadas de entrada de 220V em Brasília, que por conta do transformador sofre uma queda para 13.13V como é possível ver na figura abaixo:

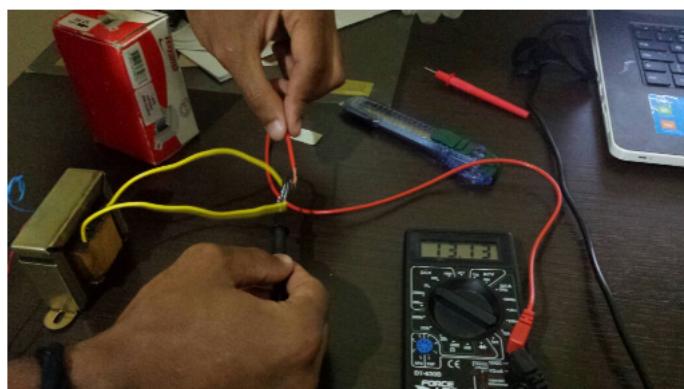


Figura 66 – Medição para aferição da tensão de saída.

Observou-se que a tensão transformada, no lado de baixa, que deve ser entregue pelo carregador não foi de exatamente 16V. Essa queda de tensão pode ser explicada pelas perdas ocasionadas pelas resistências dos condutores bem como durante o processo de retificação em si.



Figura 67 – Carregador sem o plug magnético.

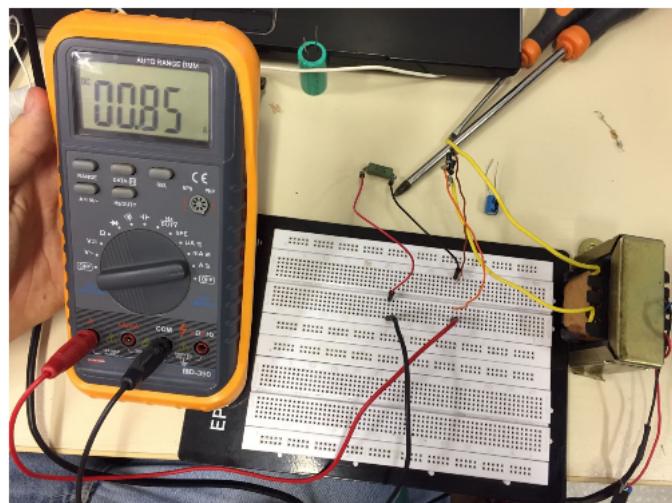


Figura 68 – Teste de corrente.

Foi feito um teste para visualizar a corrente a ser entregue usando um resistor com potência de 5W, de acordo com a figura abaixo, obtém-se uma corrente de 0,85A em uma tensão de 13,3V. Se aumentar a potência do resistor é possível aumentar a corrente.



Figura 69 – Resistor com potência de 5W.

Quanto ao conector com a carga a ser alimentada, no caso as baterias, escolheu-se que o mesmo seria do tipo plug magnético visando facilitar a conexão e honrar a proposta inicial do projeto de ser um dispositivo de funcionamento autônomo. O cabo de conexão está passando por testes e ajustes para poder ser acoplado à base do sistema já obtido a fim de disponibilizar mais uma solução viável para o suprimento de carga energética do sistema. O plug magnético é formado por duas peças. A primeira é um pequeno conector que é acoplado na entrada do robô. A segunda é um pequeno adaptador no qual é conectado o cabo do carregador e que possui uma extremidade magnética que se encaixa de forma natural e fluida na outra ponta, iniciando na hora a recarga. Os cabos ainda não foram implementados na estrutura do plug.



Figura 70 – Peça 1 e Peça 2 Respectivamente.

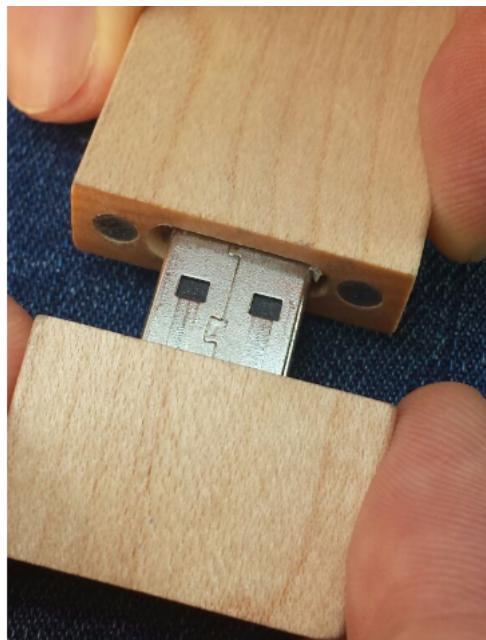


Figura 71 – Interação entre os pólos magnéticos.

#### 4.3.4 Supercapacitores

Supercapacitores vêm sendo cada vez mais utilizados para o armazenamento de energia de curta duração, mesmo em situações onde pulsos intermitentes de alta energia são necessitados ([CAMPOS, 2014](#)). Das aplicações usuais pode-se destacar a utilização em flashes fotográficos e veículos de transporte público, como trens e metrôs, onde a frenagem libera energia que é armazenada nos supercapacitores que, por sua vez, transferem essa energia ao motor durante a arrancada, gerando mais potência nesses momentos. Na tabela [18](#) é mostrado um comparativo entre baterias e supercapacitores, também chamados de supercondensadores.

Tabela 18 – Bateria vs supercondensador.

	<b>Bateria</b>	<b>Supercondensador</b>
Tempo de carga	1 a 5 horas	0,3 a 30 segundos
Tempo de descarga	0,3 a 3 horas	0,3 a 30 segundos
Densidade de Energia (Wh/kg)	10 a 100	1 a 10
Ciclo de vida	1000	>500000
Densidade de Potência (W/kg)	<1000	<10000
Eficiência de carga e descarga	0,7 a 0,85	0,85 a 0,98
Temperatura de operação	-20 a 100 oC	-40 a 65 oC

Analizando a tabela nota-se claramente que supercapacitores são melhor utilizados

quando sua aplicação se da em curto espaços de tempo. A tensão dos supercapacitores diminui, com a descarga, de forma linear, o que acarreta em um não aproveitamento do espectro energético do dispositivo ([SANTOS, 2014](#)). Ainda temos que supercapacitores perdem maior quantidade de energia com a auto descarga ([SANTOS, 2014](#)). O projeto em questão necessita de um tempo longo (quando comparado ao tempo de descarga de um supercapacitor) de uso, além disso, os outros fatores supracitados influenciam de forma desfavorável ao supercapacitor, acarretando na não escolha desse método de armazenamento de energia.

## 4.4 Estrutura da Base

Nesta seção será avaliada a base de recarga do robô, que deve ser fabricada de acordo com as características da estrutura que integra todos os sistemas.

### 4.4.1 Documentação em CAD

Com a escolha de um carregamento através de indução, problemas com a usinagem dos encaixes entre o robô e seu sistema de carregamentos são solucionados. No sistema que será usado, a tolerância dimensional na fabricação se resume aos pneus do robô tendo um encaixe suave no trilho que serve de guia.

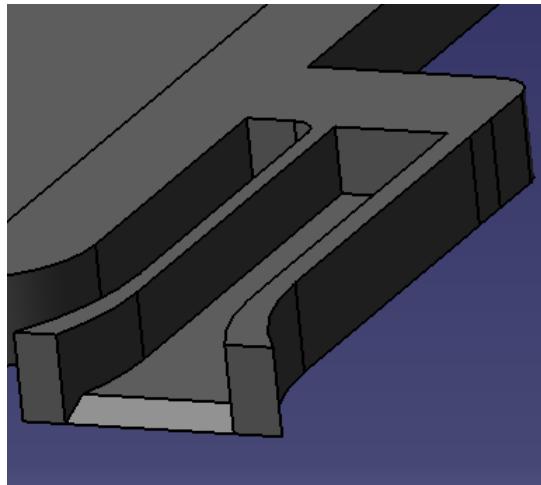


Figura 72 – Trilho que será guia para as rodas.

A ideia é que o robô seja guiado por esses trilhos e fique acomodado em cima da base de recarga. Além disso ao final do trilho fica a exata posição em que o sistema de recarga fica mais próximo dos conectores da bateria do robô, já que a proximidade entre os dois é fator muito importante para o tempo de recarga do robô.

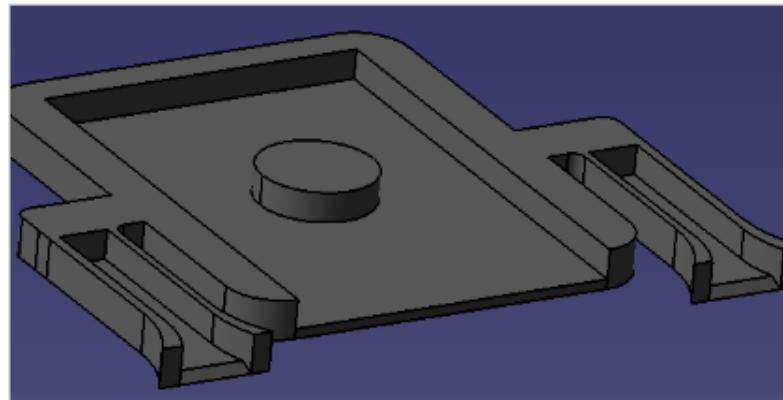


Figura 73 – Desenho da base de recarga.

## 4.5 Sucção

Essa seção visa documentar o método de construção do sistema de sucção do robô, descrevendo a construção dos protótipos e as decisões tomadas com base em testes realizados em cada protótipo.

### 4.5.1 Metodologia de construção

Para a execução do projeto proposto foram adquiridos três coolers comerciais de 14 cm com as seguintes especificações.

Tabela 19 – Dados do cooler

Potencia	1.44 W
Voltagem	12 V
Velocidade	1200+-10% RPM
Fluxo de ar	$1.36 \text{ m}^3/\text{min}$ (48 CFM)

O projeto baseava-se em apenas dois coolers, mas foram adquiridos três caso o resultado com dois não retornasse uma boa sucção. A montagem deste primeiro protótipo consiste nos coolers ligados lado a lado dentro de uma caixa hermeticamente fechada. Foi feita a estrutura da caixa em papelão, seguindo a estrutura mostrada na figura 74. Com a caixa pronta e selada, foram feitos os furos para encaixar os coolers. Na parede oposta aos coolers foi feito um furo de pequeno diâmetro por onde entra o ar que deve ser sugado pelas hélices do cooler.

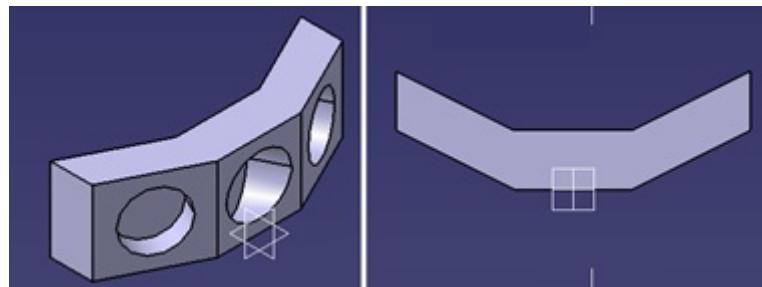


Figura 74 – Vista isométrica e superior da montagem, onde os buracos representam a posição dos coolers.

Para testar a funcionalidade de um novo modelo de construção e também a eficiência de apenas um cooler da eficiência de apenas um cooler, foi feito um protótipo em menor escala utilizando um cooler menor de 5 cm e um compartimento de plástico de formato cilíndrico. Foi fixado o cooler no topo do cilindro e foi feito um furo de diâmetro menor abaixo dele. Foi feito um furo na lateral do cilindro para encaixar um tubo por onde o ar é sugado. O protótipo 2 é mostrado na figura 75.



Figura 75 – Montagem com cooler de 5 cm.

Após a validação do protótipo 2, o mesmo modelo foi construído em maior escala utilizando o cooler maior a fim de verificar a funcionalidade dele. Utilizando um compartimento maior, desta vez de metal, e uma mangueira de maior diâmetro na entrada do ar. O protótipo 3 é mostrado na figura 76.



Figura 76 – Montagem com cooler de 14 cm.

O protótipo 4 foi construído para aumentar a potência do sistema construindo-o com dois coolers utilizando o mesmo esquema de construção. Também para reduzir a alimentação fornecida aos motores. Foi reduzida a altura do sistema, a fim de reduzir perdas de carga e adicionado um cooler em uma das paredes. Ao final obteve o seguinte protótipo:



Figura 77 – Protótipo com dois coolers de 14 cm.

Para a tentativa de construção um novo tipo de protótipo, foram estudadas a opção de utilizar novas hélices. As hélices são um tipo de “ventilador axial”, que força o ar a passar por elas, gerando um fluxo de ar que segue transversal à direção do cooler. Existe também outro tipo de ventilador, conhecido como “ventilador centrífugo”, onde suas hélices são dispostas de forma diferente, mostradas na figura 78.



Figura 78 – Hélices do ventilador centrífugo.

O “ventilador centrífugo” acelera o ar radialmente, fazendo com que a energia cinética da rotação das hélices aumente a pressão do ar, resultando em um fluxo de alta velocidade na saída. Foi escolhida essa hélice para a construção de novos protótipos.

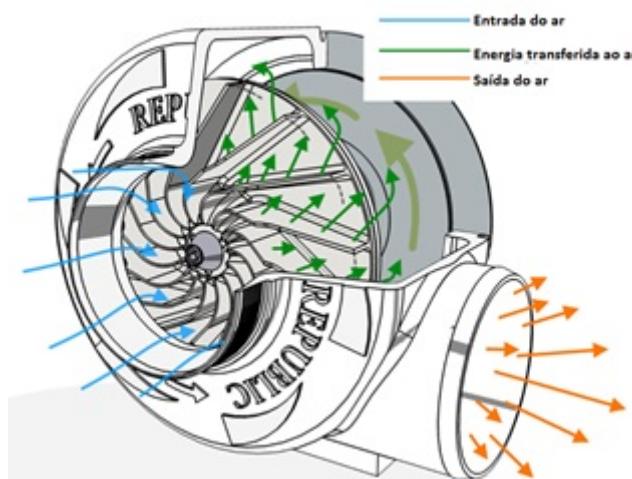


Figura 79 – Fluxo de ar em um ventilador de ar centrífugo.[Republic Manufacturing](#)

Para evitar o problema de falta de potência, foi escolhido um motor com maior potência e rotação nominal se comparado ao motor do cooler. Foi escolhido um motor DC 12V com as especificações apresentadas na tabela 20.

Tabela 20 – Dados do motor DC 12 Volts.

Potencia	40.55W
Voltagem	13.5 V
Velocidade	28086+-10% RPM
Torque	55.19 mN.m

As hélices foram construídas em alumínio. Todas foram cortadas com o mesmo tamanho e levemente curvadas. Para encaixá-las no eixo do motor foi feito uma pequena base de formato hexagonal também em alumínio com um furo no centro do tamanho do eixo do motor. As hélices foram coladas na base com epóxi.

Tabela 21 – Especificações do Motor

Potencia	52.8 W
Voltagem	12 V
Corrente	4.4 A



Figura 80 – Hélices construídas em alumínio.

Seguindo o modelo da figura 79, foi construída a estrutura para encaixar a hélice construída. Utilizando CD's, papelão, plástico em formato cilíndrico a estrutura final do protótipo 5 é mostrada na figura 81:



Figura 81 – Vistas do protótipo feito com CD's.

Para aprimorar a construção utilizando esse tipo de hélice, foi construído um protótipo final utilizando uma hélice comercial e motor com especificações mostradas na Tabela 21.



Figura 82 – Motor de 52.8W instalado na estrutura de aspiração.

Foi realizada a montagem do protótipo utilizando a nova hélice. Foram utilizados dois compartimentos de plásticos, em um foi acoplado o conjunto hélice motor, como mostra a figura 82. Nas laterais foram feitos furos para a saída de ar. Foi colocada uma divisão entre os dois compartimentos com um filtro para a sujeira. Foi feito um furo no segundo compartimento para encaixar a mangueira a qual irá ser a ponta da sucção.



Figura 83 – Sistema de sucção com o compartimento de sujeira.

Para aumentar a eficiência de limpeza, foi adicionado ao sistema de sucção uma vassoura mágica. A fricção dela com o solo faz com que a sujeira seja carregada para seu compartimento interno, mas para garantir uma boa limpeza ela deve passar pelo mesmo

local várias vezes. Como o robô irá percorrer a trajetória em linha reta com velocidade constante sem realizar muitas passagens pelo mesmo local, foi acoplado um motor DC de 6V e 0.1 A no eixo da vassoura para garantir um aumento na eficiência na coleta da sujeira.



Figura 84 – Escova mágica conectada ao motor DC de 6V.

Foi feita a conexão entre eles por uma mangueira sanfonada, para que ela sugue as partículas de sujeiras que a vassoura colhe. Foi feito um furo na parte superior da estrutura da vassoura da forma da ponta de mangueira, que foi achataada para aumentar o comprimento de aspiração da sujeira que fica interna a vassoura mágica. O resultado do protótipo final é mostrado na figura 85.



Figura 85 – Subsistema de sucção completo.

#### 4.5.2 Validação experimental

- **Protótipo 1**

Após a finalização da construção do protótipo 1, os coolers foram ligados à voltagem de 12V com corrente de 1.5 A. O resultado não foi satisfatório. Não houve nenhuma sucção mesmo alterando o diâmetro do buraco por onde entra o ar e sua posição. Foi suposto que o problema seriam os coolers. Então foi planejada uma montagem utilizando apenas um deles para verificar seu funcionamento isolado, para isso foi construído o protótipo 3.

- **Protótipo 2**

Antes de realizar testes com o protótipo 3, foi realizado o teste do protótipo 2 a fim de testar o funcionamento do novo modelo de construção. Foi ligado na fonte a 12 V. O teste apresentou resultados positivos, apesar da sucção fraca por conta da voltagem e corrente do cooler serem baixos. De posse dos bons resultados com o modelo, seguiu-se a construção e testes do protótipo 3.

- **Protótipo 3**

Foi fornecido a tensão de 12V e corrente de 1.5 A ao cooler do protótipo 3. O resultado foi negativo, pois apresentou uma eficiência muito baixa, com sucção quase imperceptível. Utilizando uma fonte de tensão, foi-se elevando a tensão até que ele indicasse uma melhora. Foi observado que enquanto a tensão era modificada, as

hélices passavam a girar com maior velocidade e consequentemente sugavam com maior força. Ao fornecer o valor de tensão de 30 V, foi que o sistema alcançou um resultado que seria ótimo para o projeto. Mas seria inviável a fabricação do robô com uma bateria que fornecesse tal tensão.

- **Protótipo 4**

O último teste utilizando estes coolers consistiu em ligá-los a 12 V e 1 A cada. Era esperado que com essa nova montagem a eficiência fosse aumentada, pois a potência do sistema foi dobrada. Mas o resultado foi negativo, pois não apresentou mudanças com relação ao modelo utilizando apenas um cooler. Com base nos resultados obtidos com os protótipos mostrados, o grupo chegou à conclusão de que os coolers não seriam utilizados, pois não mostraram resultados bons que fossem viáveis ao projeto. Os motores elétricos dos coolers possuíam uma potência incompatível com o tipo e o tamanho da hélice do mesmo, gerando um fluxo de massa baixo, menor que o indicado pelos fabricantes.

- **Protótipo 5**

Foi realizado o teste com o protótipo utilizando a hélice que foi construída. Mas por defeitos de fabricação, as hélices durante a rotação colidiam com a estrutura, assim o ar era soprado com menor velocidade, consequentemente sugava um fluxo baixo de ar. Foi feita outro protótipo utilizando o mesmo modelo de hélice construída com CD seguindo o mesmo modelo de estrutura, mas novamente, as hélices não giravam livremente, pois colidiam com as outras partes da estrutura. Graças à essas assimetrias e defeitos de fabricação foi observado uma grande vibração do sistema. Diante da dificuldade de construir uma estrutura sem defeitos e visando reduzir as vibrações, para que ela não danifique a estrutura do robô e aumentar a eficiência do ventilador, foi construído o protótipo 6.

- **Protótipo 6**

Os testes com esse protótipo foi feito ligando-a fonte de 12V e 4.4 A. O resultado foi positivo apresentando uma sucção forte, sugando toda a sujeira que foi disponibilizada para o teste. O teste com a vassoura mágica também foi realizado, ligando o motor do eixo à fonte. Observou-se que por conta da grande velocidade de rotação do motor, as partículas de sujeiras eram lançadas para longe, ao invés de serem carregadas para seu interior. Foi colocado um tecido com pelos atrás da vassoura, limitando o movimento de partículas naquela direção, garantindo que elas fossem depositadas no interior da vassoura. Com esses dois subsistemas de limpeza prontos e funcionando, foi feita a conexão entre eles e realizado o teste. Os dois motores foram ligados à tensão de 12V e 6V e simulou-se o movimento do robô passando-o

apenas uma vez por cima da sujeira. O resultado foi positivo, o sistema foi capaz de colher cerca de 60% das partículas que foram colocadas para teste.

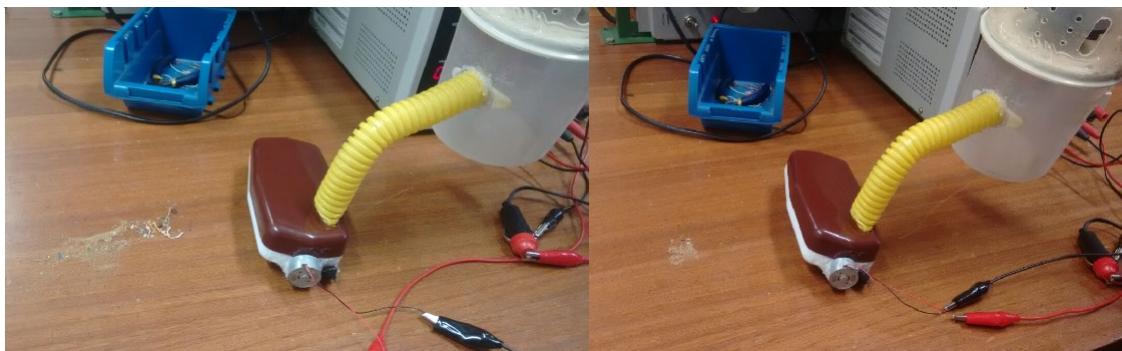


Figura 86 – Antes e depois do teste com o sistema de sucção pronto.

Para a próxima etapa do projeto em que é feita a integração dos sub sistemas, serão realizados os testes:

1. Integração com a parte da Energia:

Alimentar o aspirador com a bateria e testar a eficácia de aspiração de partículas.

2. Integração com a parte da eletrônica:

- Alimentar o motor da escova e garantir que ele esteja rodando;
- Testar os transistores do motor da escova e do aspirador;
- Testar o sinal de controle do arduino até os transistores.

3. Integração com a parte da estrutura:

Com a base do robô pronta, fixar o aspirador e a vassoura mágica na estrutura e testar o funcionamento das duas partes, principalmente a parte da escova se está em uma distância suficiente do chão para que funcione sem problemas.

4. Integração total:

Ligar a aspiração e a escova com o sistema funcionando em 100%.

## 4.6 Sensoriamento

Após definir as especificações dos componentes na sessão [2.7](#), será descrito a seguir de forma detalhada as estratégias seguidas pelo grupo para atender aos requisitos do projeto. Também serão apresentadas as simulações realizadas para validar os conceitos aplicados, resultados práticos serão apresentados em um momento posterior.

A parte do projeto de eletrônica responsável pela comunicação será apresentada na sessão [4.7.1](#).

#### 4.6.1 Instrumentação

A instrumentação foi dividida em três subgrupos, cada um com um foco específico para garantir a integridade do robô R2-PI2, esses subgrupos são apresentados a seguir.

##### 4.6.1.1 Controle de distância

A estratégia de controle utilizada na locomoção do R2-PI2, analisa as seguintes situações, o robô se locomoverá sempre para a frente enquanto não encontrar obstáculos em seu caminho. Na detecção de um objeto, os sensores posicionados a direita e a esquerda do robô farão a medição de distância. O aspirador tomará a decisão de desviar para o lado contrário da menor distância medida ou na ausência da mesma. Na possibilidade de ausência de distância ou impossibilidade de cálculos, o desvio será feito a direita por padrão. A figura 87 mostra o fluxograma do algoritmo utilizado na locomoção do aspirador.

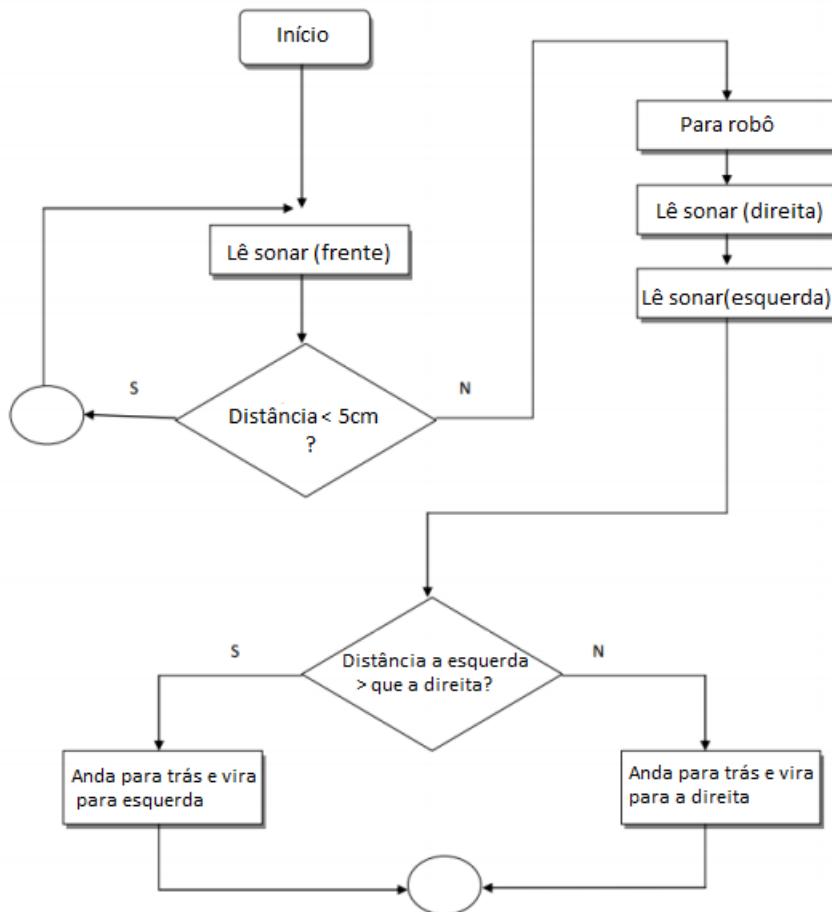


Figura 87 – Fluxograma do algoritmo de locomoção do R2-PI2, realizado pela equipe de eletrônica para testes iniciais.

No caso da identificação de degraus ou desniveis o algoritmo consiste na simples análise de obstáculos ou não. Por limitação do sensor IR, a distância máxima medida é de 2.5 cm, então enquanto uma distância escolhida como aproximadamente 1cm estiver

sendo medida, o que significa que o robô está em contato com o chão, ele continuará se movimentando normalmente, quando essa distância medida for maior que 1 cm, o aspirador irá parar, dar uma ré e escolher a melhor rota para continuar seguindo.

Tanto no código de medição de distância com o ultrassom, quanto no com sensor IR utilizou-se a técnica de filtragem por médias móveis que consiste em fazer várias amostragens de um parâmetro e depois tirar a média das mesmas. O filtro ajudou bastante no problema de leituras oscilantes nos sensores.

#### 4.6.1.2 Monitoramento da bateria

Com carga máxima, a bateria escolhida terá 12,6V e ela deixará de fornecer a corrente adequada ao circuito quando chegar a 8,25V (aproximadamente 66% da bateria total). Para evitar que a bateria chegue a 8,25V no meio da execução da limpeza, um circuito comparador de tensão irá verificar continuamente qual a voltagem da bateria.

Além de enviar o sinal para o microcontrolador, será feita uma interface visual com 5 LEDs que vão indicar quando a bateria está com carga total e quando a bateria está perto da carga mínima (8,25V), conforme a figura 88.

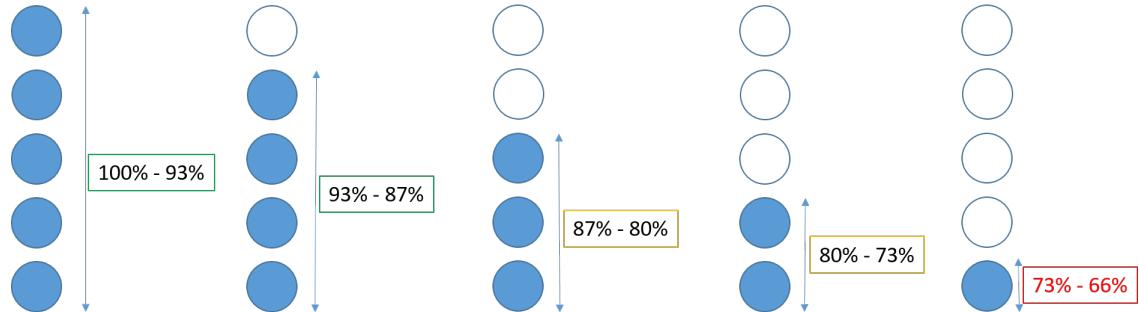


Figura 88 – Aproximação das faixas de tensão apresentadas pelos LEDs.

A queda de tensão será apresentada em cinco LEDs que foram divididos em faixas muito próximas de tensão útil. Conforme os seguintes cálculos:

$$\frac{\text{Tensão máxima} - \text{tensão mínima}}{5} \quad (4.1)$$

Substituindo os valores em (4.1), temos:

$$\frac{100 - 66}{5} = 6,8 \quad (4.2)$$

As faixas então foram definidas como:

- **Faixa 1:** 100% ~ 93,2%

- **Faixa 2:** 93,2% ~ 86,4%
- **Faixa 3:** 86,4% ~ 79,6%
- **Faixa 4:** 79,6% ~ 72,8%
- **Faixa 5:** 72,8% ~ 66%

Considerando que o sistema de sucção consome cerca de seis vezes mais corrente do que o sistema de navegação do robô e que são cinco faixas de tensão, estimou-se que um quinto da tensão útil é suficiente para o robô voltar para a base de carregamento com o sistema de sucção desligado. No entanto, sabendo que a curva de descarga de uma bateria não é linear, apenas após os testes empíricos será possível determinar com maior segurança se um ou dois quintos da tensão útil serão colocados à disposição do sistema de navegação para o robô poder retornar à base.

Assim, enquanto a tensão da bateria estiver dentro das quatro faixas de tensão, o robô estará executando a rotina de limpeza e quando estiver na última faixa ele estará retornando para a base.

As faixas de tensão foram projetadas a partir de um divisor de tensão com cinco saídas sendo que cada saída é o limite inferior da faixa.

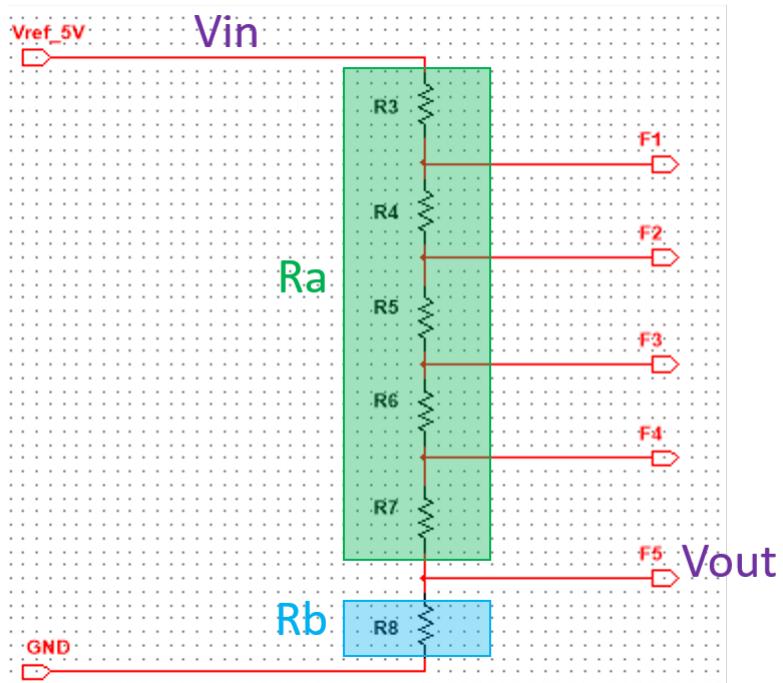


Figura 89 – Divisor de tensão.

Fazendo o divisor de tensão com Ra e Rb, tem-se que:

$$V_{out} = \frac{Rb * Vin}{Ra + Rb} \quad (4.3)$$

Sabendo que  $V_{out} = 0,66 * Vin$ , substituimos  $V_{out}$  na equação 4.3:

$$0,66 * Vin = \frac{Rb * Vin}{Ra + Rb} \quad (4.4)$$

Que resulta em:

$$0,66 * Ra + 0,66 * Rb = Rb \quad (4.5)$$

Se  $Rb=10K\Omega$ , substituimos na equação 4.5 e obtemos:

$$Ra = \frac{10K - 0,66 * 10K}{0,66} \simeq 5K \quad (4.6)$$

Como as faixas devem ter a aproximadamente a mesma variação de tensão, os resistores R3, R4, R5, R6 e R7 devem ter o mesmo valor e sua associação em série deve ser igual a  $5K\Omega$  (Ra), assim os valores das resistências do divisor de tensão devem ser:

$$R3 + R4 + R5 + R6 + R7 = 5K \Rightarrow R3 = R4 = R5 = R6 = R7 = 1K \quad (4.7)$$

$$Rb = Rc = 10K \quad (4.8)$$

Para confirmar se o divisor proposto realmente cumpre os requisitos do projeto, foi realizada a simulação utilizando o software MultiSim do divisor aplicando uma tensão de 10V e o resultado obtido foi satisfatório.

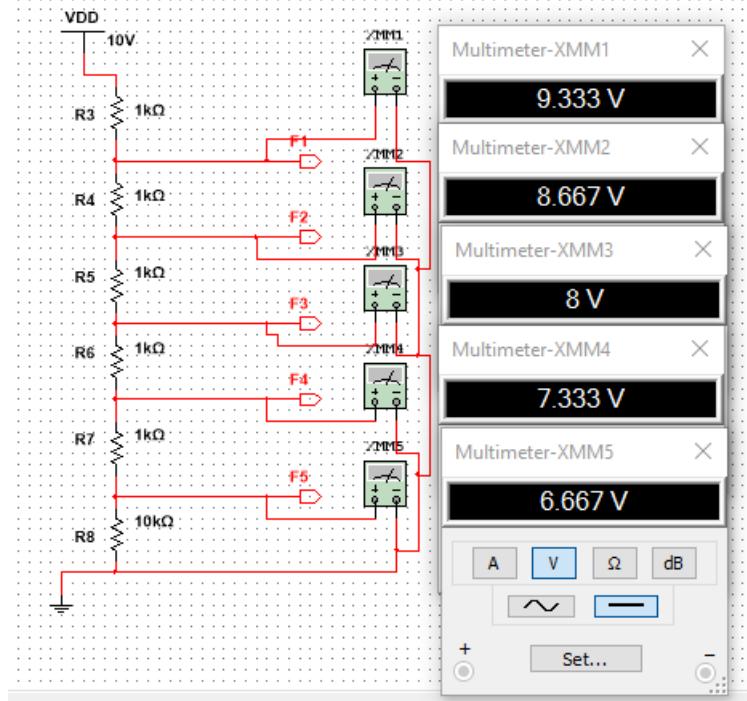


Figura 90 – Simulação do divisor de tensão.

Para o circuito acima funcionar bem, a tensão de entrada do divisor de tensão deverá ser igual a tensão máxima da bateria. Como a tensão máxima da bateria é de 12.6V, fica inviável gerar um sinal constante de 12.6V apenas para servir como referência do divisor. Sabendo que o ATMega gera um sinal de 5V, a tensão da bateria passará por um divisor de tensão que será projetado para transformar os 12.6V em 5V de modo que seja possível utilizar os 5V do ATMega no medidor de bateria.

Sabendo que a tensão de saída do novo resistor (Vout2) deve ser 5V e que a tensão de entrada (Vin2) é de 12.6V as resistências ( $R_c$  e  $R_d$ ) utilizadas podem ser calculadas pela seguinte expressão:

$$V_{out2} = \frac{R_c * V_{in2}}{R_c + R_d} \quad (4.9)$$

Substituindo os valores em 4.9, temos:

$$5 = \frac{R_c * 12.6}{R_c + R_d} \Rightarrow 7.6 * R_c = 5 * R_d \quad (4.10)$$

Se  $R_c=1K\Omega$ , logo:

$$R_d = \frac{7.6}{5} \simeq 1.5K \quad (4.11)$$

Para verificar o divisor projeto se adequa às necessidades do projeto, foi feita a simulação no software MultiSim e o resultado encontrado foi satisfatório. A variação de

0,04V corresponde a 0,3% da tensão máxima e, portanto, não prejudicará o sistema de medição da bateria.

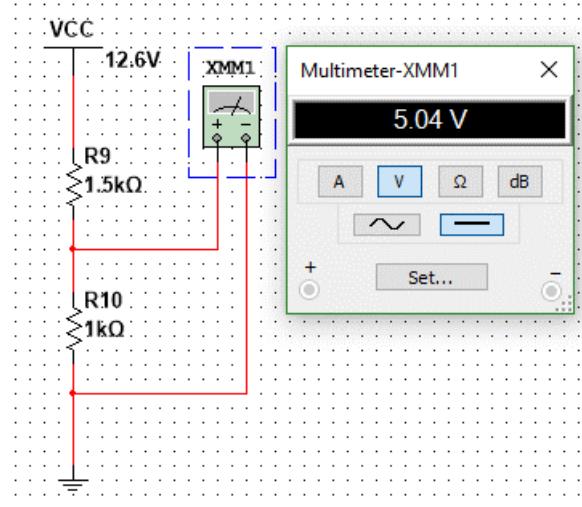


Figura 91 – Simulação do divisor de tensão de 12.6V para 5V.

O circuito completo do medidor de bateria é apresentado na figura 92.

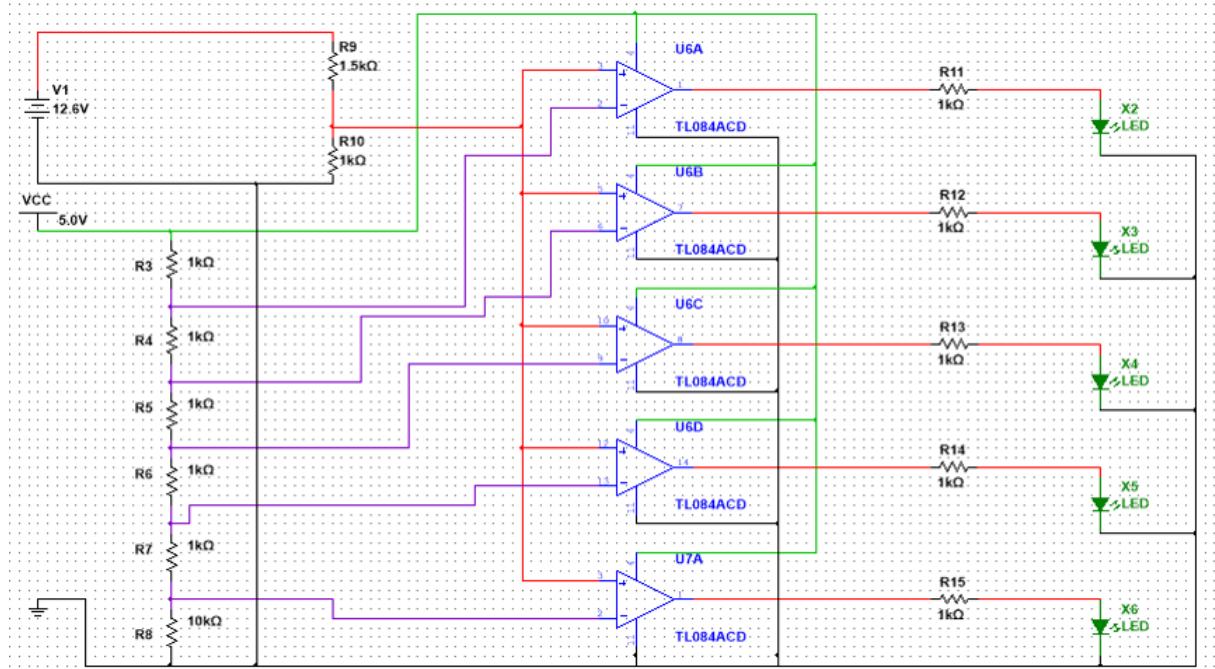


Figura 92 – Circuito do medidor de bateria.

#### 4.6.1.3 Proteção dos componentes

A porta lógica do ATMega envia até 40mA de corrente a 5V, para limitar a corrente que irá acionar o LED interno do acoplador óptico utilizaremos uma resistencia de  $220\Omega$ . O

outro lado do optoacoplador terá uma resistor pull-up de  $10\text{K}\Omega$  para garantir que quando o fototransistor capte a luz, a corrente fluia para o terra e ligue o motor do sistema de sucção.

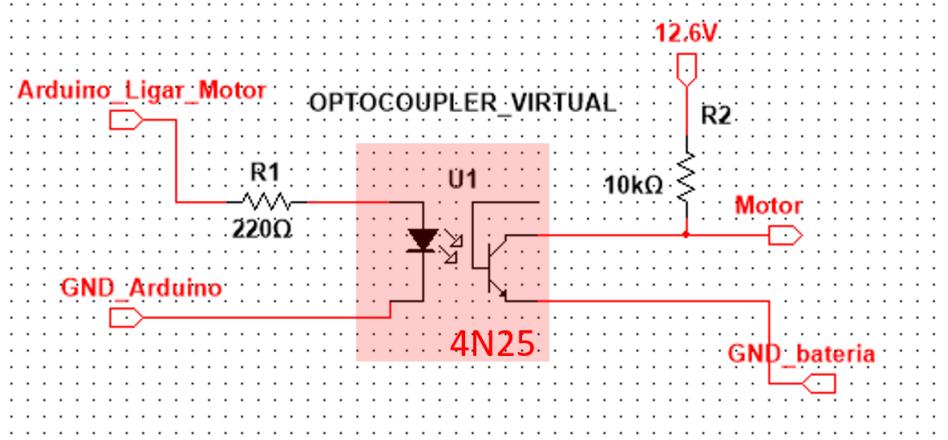


Figura 93 – Circuito de proteção com acoplamento óptico.

#### 4.6.1.4 Encoder

Para medir a velocidade e auxiliar na navegação, foram instalados dois discos de encoder, uma em cada roda. Para realizar a leitura do encoder, cada um deles tem um sensor de velocidade composto por um LED IR e um fototransistor e um comparador. A figura 94 ilustram os componentes utilizados.

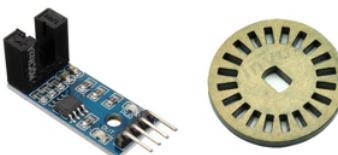


Figura 94 – Sensor de velocidade e disco de encoder

O disco utilizado tem 20 furos, o que significa que a sua resolução é de  $9^\circ$ , com ele é possível enviar comando de giro e verificar se o robô está girando essa quantidade de graus.

#### 4.6.1.5 IMU

Para auxiliar na navegação do robô, utilizou-se a unidade de medida inercial MPU-6050 que contém um acelerômetro e um giroscópio embutidos. O MPU foi utilizado para atuar como sensor de posição do robô, podendo assim identificar com precisão o deslocamento realizado por ele durante o processo de locomoção. É importante ressaltar que a escolha desse sensor foi feita apenas para complementar o algoritmo de navegação, uma

vez que as medidas via RSSI são pouco precisas pois há muitas interferências no sinal recebido. O sensor no entanto está sujeito a falha no rastreamento de posição, se por exemplo houver uma mudança brusca de posição devido a um choque ou movimento inesperado do aspirador e de um instante para outro ele for levado para outro lugar por influências externas, acontecerá o que se chama de robô sequestrado (*kidnapped robot problem*) onde o sensor não irá perceber essa mudança brusca e manter os dados da sua localização anterior.

#### 4.6.2 Controle

O sistema de controle descrito por meio do diagrama de blocos foi implementado utilizando-se os componentes e microcontrolador apresentados na proposta de solução. Abaixo encontra-se o esquemático detalhado do sistema de locomoção e desvio de obstáculos do aspirador. Como explicado anteriormente, foram utilizados quatro sensores ultrassônicos HC-SR04 que posicionam-se a 90° de distância um do outro. Os sensores possuem um ângulo de alcance de 15° e na forma como estão posicionados não cobrem todo o diâmetro do aspirador, no entanto, através de testes experimentais, percebeu-se que a quantidade e distribuição de sensores utilizados, assim como o algoritmo que foi implementado, atendem o requisito de desvio da maior parte dos obstáculos de um cômodo.

Pode-se observar também no esquemático, o sensor TCRT5000 que foi posicionado na frente da roda boba afim de identificar algum degrau ou desnível que possa impedir o movimento do aspirador ou danificá-lo.

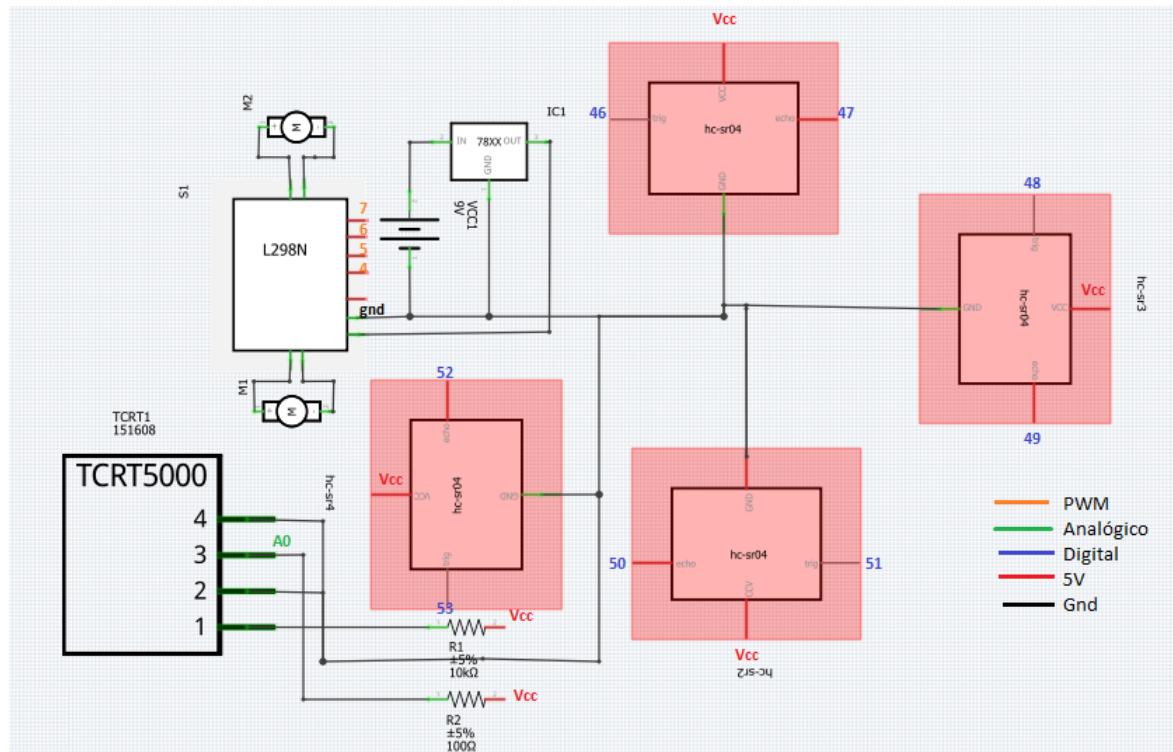


Figura 95 – Circuito de locomoção do aspirador.

Na montagem do circuito utilizou-se entradas analógicas, digitais e PWM. A legenda da figura identifica a natureza dos sinais utilizados de acordo com a pinagem do controlador.

Os motores são controlados pela ponte H (L298N) que está conectada ao controlador por meio de entradas PWM. A ponte H permite a rotação dos motores nos dois sentidos e o controle de velocidade do mesmo. Sendo assim o aspirador pode se movimentar em todas as direções desviando-se de obstáculos e em uma velocidade adequada para que o sistema de sucção funcione de forma eficiente.

Durante os testes de locomoção em conjunto com os sensores de obstáculos, observou-se que os sensores ultrassônicos e IR estavam variando muito, atrapalhando assim o movimento do aspirador. Após pesquisas concluiu-se que os motores estavam gerando ruído nos sensores e uma solução encontrada foi utilizar três capacitores cerâmicos de 100nF, um entre as escovas e os outros dois, cada um entre uma escova e a carcaça do motor. O esquema realizado para os dois motores se encontra na figura 96.

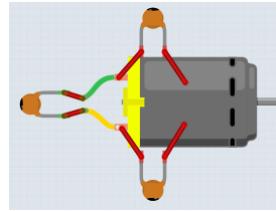


Figura 96 – Esquema de redução de ruído do motor.

O controlador ATMega 2560 controla também o sistema de sucção do aspirador que conta com dois motores. Esse controle foi implementado por meio do chaveamento de transistores. O esquemático apresentado na figura 97 mostra o circuito de controle genérico dos motores do sistema.

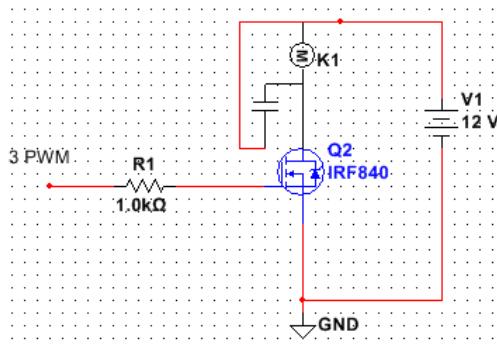


Figura 97 – Circuito de controle dos motores.

O circuito é ativado por uma saída pwm do controlador que polariza o gate do transistor permitindo que ele conduza corrente através do motor. Por operar com uma corrente alta, utilizou-se um transistor de potência NMOS IRF840 que suporta uma corrente máxima de 8A e 500 V de tensão.

O motor que ativa o sistema de sucção drena uma corrente muito alta, cerca de 4,4A. Caso haja uma corrente de fuga dos motores para o ATmega, o microcontrolador irá queimar instantaneamente, pois ele suporta até 500mA. Para garantir que essa situação não aconteça, será utilizado um circuito de proteção com optoacopladores, descrito na sessão 4.6.1.3, que irá isolar o microcontrolador do motor.

#### 4.6.3 Validação experimental

- **Teste do controle sistema de controle + sistema de distância**

Para testar o sistema de controle e validar seu funcionamento adequado, conectou-se os sensores ultrassônicos ao ATMega assim como a ponte H e os motores acoplados as rodas. Depois disso criou-se funções de locomoção com as direções básicas para os motores: frente, ré, esquerda, direita e parar. E criou-se um algoritmo para

implementar o fluxograma feito no controle de distância. O algoritmo encontra-se disponível em [Teste ultrassom](#).

Estando prontos os projetos de hardware e software, carregou-se o código no AT-Mega e ligou-se a fonte da ponte H. O carrinho então começou a andar e colocou-se obstáculos em sua frente observando que o controle e sensores estavam trabalhando de forma eficaz e desviando da maior parte dos obstáculos conforme o esperado.

- **Teste Medidor de Bateria**

Com o circuito todo montado em uma *protoboard*, sem o divisor de tensão inicial, inseriu-se uma tensão de 12V na entrada. Todos os cinco LEDs acenderam e conforme a tensão de entrada ia mudando de faixa de tensão, os LEDs respectivos iam apagando. O teste mostrou que o circuito funciona como o esperado.

No entanto, esse circuito foi montado em uma placa impressa e ainda não foi testado com a bateria que será utilizada no protótipo.

Para ajudar a faixa crítica de tensão, é necessário saber qual a tensão mínima real com todo o sistema do robô em funcionamento.

Após integrar todo o sistema do robô, será necessário deixar todos os subsistemas funcionando até a bateria parar de fornecer a corrente necessária. Esse teste permitirá conhecer o seu tempo máximo de funcionamento e a tensão mínima para calibrar o medidor.

- **Teste do circuito de proteção**

O circuito de proteção óptica foi testado colocando um arduino controlar um sistema alimentado a 9V.

Nesse teste, foi possível perceber que o arduíno controla muito bem o circuito de 9V por meio do optoacoplador, mesmo sem o contato elétrico com os fios.

O circuito ainda precisará ser testado com o sistema de sucção na fase de integração dos subsistemas. Nesse teste, será enviado um pulso do arduíno para acionar o motor do sistema de sucção.

- **Teste do sensor IR para detecção de desnivelamento do piso**

O sensor IR se baseia na reflexão da luz no obstáculo. Além do sensor ser muito sensível aos raios solares, se o obstáculo for de um material que reflete pouco ou muito a luz emitida, a leitura terá muitos erros.

Foram realizados testes como sensor apontando para o chão a fim de testar se ele estava detectando bem possíveis desniveis. O teste inicial, realizado em um mesmo piso, foi satisfatório e retornou dados coerentes com os testes. No entanto, quando

o robô foi para uma área de um piso mais reflexivo, sem alterar a altura do piso, houve uma mudança muito grande na detecção da distância pelo sensor.

Para solucionar o problema, o sensor foi envolvido por uma fita escura para evitar a influência da luz do sol e serão aplicados filtros para pegar não apenas o valor instantâneo, como um valor médio medido em cerca de 10us para garantir que nenhum objeto mais ou menos reflexivo está interferindo nos dados.

- **Teste da IMU**

A unidade de medida inercial foi conectada ao sistema de controle do R2-PI2 por meio do Atmega, utilizando-se comunicação com interface I2C, e por meio do algoritmo desenvolvido e do diagrama mostrado na figura 98 observou-se as coordenadas x, y e z do acelerômetro e do giroscópio. Os testes de mudança de coordenadas foram feitos colocando-se o MPU em cima do aspirador e observando-se a variação dos parâmetros, exibidos na serial, enquanto ele se locomovia pelo cômodo. A imagem da serial obtida nos testes pode ser vista na Fig.99.

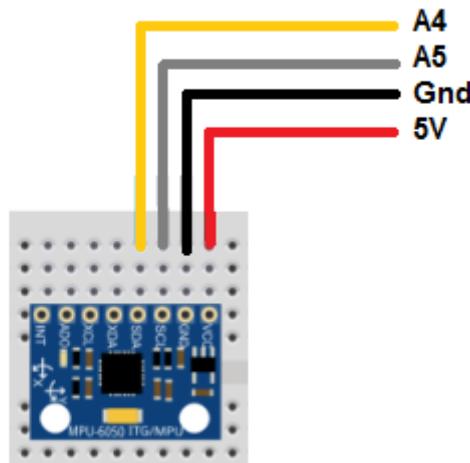


Figura 98 – Pinagem do MPU650 utilizado nos teste.

Utilizou-se também o sensor de temperatura do MPU para monitorar a temperatura das baterias do sistema de sucção evitando assim problemas de superaquecimento.

## 4.7 Comunicação

Com o objetivo de detalhar com maior clareza a implementação do sistema de comunicação do projeto, optou-se por utilizar a estratégia *bottom-up*, apresentando toda a especificação técnica dos equipamentos de *hardware* utilizados na solução, seguido da especificação em nível de *Software*.

```

AcX = 76 | AcY = 168 | AcZ = 16344 | Tmp = 25.24 | GyX = -419 | GyY = 91 | GyZ = -103
AcX = 68 | AcY = 24 | AcZ = 16396 | Tmp = 25.33 | GyX = -411 | GyY = 73 | GyZ = -125
AcX = 68 | AcY = 152 | AcZ = 16396 | Tmp = 25.24 | GyX = -437 | GyY = 77 | GyZ = -121
AcX = 136 | AcY = 124 | AcZ = 16388 | Tmp = 25.33 | GyX = -392 | GyY = 88 | GyZ = -108
AcX = 88 | AcY = 84 | AcZ = 16344 | Tmp = 25.24 | GyX = -441 | GyY = 93 | GyZ = -106
AcX = 72 | AcY = 172 | AcZ = 16416 | Tmp = 25.24 | GyX = -398 | GyY = 69 | GyZ = -114
AcX = 72 | AcY = 204 | AcZ = 16244 | Tmp = 25.28 | GyX = -421 | GyY = 73 | GyZ = -125
AcX = 32 | AcY = 44 | AcZ = 16316 | Tmp = 25.52 | GyX = -397 | GyY = 93 | GyZ = -101
AcX = 108 | AcY = 192 | AcZ = 16360 | Tmp = 25.28 | GyX = -429 | GyY = 72 | GyZ = -123
AcX = 72 | AcY = 212 | AcZ = 16440 | Tmp = 25.42 | GyX = -423 | GyY = 89 | GyZ = -116
AcX = 44 | AcY = 88 | AcZ = 16404 | Tmp = 25.28 | GyX = -438 | GyY = 78 | GyZ = -125
AcX = -48 | AcY = 72 | AcZ = 16564 | Tmp = 25.42 | GyX = -435 | GyY = 76 | GyZ = -113
AcX = 0 | AcY = 148 | AcZ = 16296 | Tmp = 25.42 | GyX = -406 | GyY = 83 | GyZ = -114
AcX = 20 | AcY = 152 | AcZ = 16408 | Tmp = 25.38 | GyX = -409 | GyY = 80 | GyZ = -127
AcX = 92 | AcY = -4 | AcZ = 16432 | Tmp = 25.38 | GyX = -407 | GyY = 59 | GyZ = -117
AcX = 64 | AcY = 152 | AcZ = 16336 | Tmp = 25.42 | GyX = -398 | GyY = 76 | GyZ = -117

```

Rolagem automática      Sem fim de linha.      9600 baud

Figura 99 – Figura da serial obtida nos testes do MPU650.

#### 4.7.1 Hardware

Um dos requisitos mais críticos do projeto é o da comunicação entre a base e o robô, pois todas as informações colatadas pelo robô são enviadas para a base realizar o processamento, já que a base possui um poder de processamento muito superior ao do próprio robô.

A implementação do sistema com os *hardwares* especificados na sessão 2.7.3 é apresentada na figura 100.

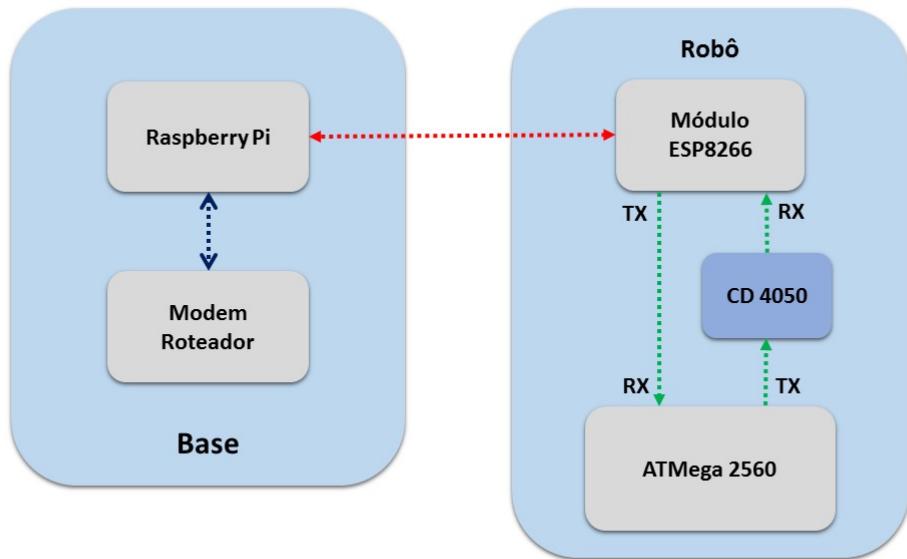


Figura 100 – Esquemático do hardware implementado para realizar a comunicação entre os microprocessadores.

O sistema projetado para a base consiste em um modem roteador conectado a *raspberry pi*, essa conexão é feita por meio de um cabo *ethernet* e dessa forma o sistema é capaz de gerar uma subrede que deve ser acessada pelo robô e pelo usuário quando necessário. A seta vermelha na figura 100 representa essa comunicação entre o robô e a base que é feita via *WiFi* utilizando o protocolo TCP/IP, a seta azul representa a conexão via cabo *ethernet* realizada entre o modem roteador e a *raspberry pi*.

Para o robô foi necessário realizar alguns ajustes no projeto inicial que não contemplava o CI CD4050, ao consultar o datasheet do módulo ESP8266 foi constatado que o mesmo trabalha com tensões máximas de ate 3.3V e o controlador utilizado no robô gera sinais com ate 5V, a solução encontrada para resolver esse problema foi utilizar o CI CD4050, que consiste em um buffer não inversor que foi utilizado nesse contexto para converter o nível lógico alto de 5V para 3.3V, a figura 101 mostra o esquemático interno do CI.

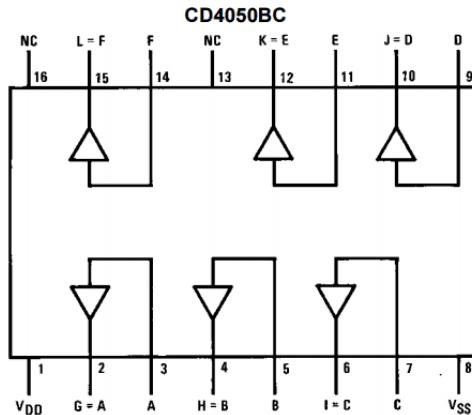


Figura 101 – Esquemático interno do CD4050.([Embarcados](#))

Por falha de observação, durante a primeira tentativa de montagem desse sistema, accidentalmente foi inserido no RX do módulo uma tensão de 5V, como mencionado anteriormente o módulo trabalha com tensões máximas de 3.3V o que resultou na queima do RX do componente impossibilitando a comunicação serial entre o módulo e o microprocessador, como solução foi adquirido outro módulo igual para continuar o processo de montagem, porém o módulo comprado apresentou falhas na sua inicialização de forma que não foi possível configura-lo da forma desejada, então como última solução foi adquirido um kit de desenvolvimento que garante a correta alimentação exigida pelo ESP8266 facilitando a utilização do mesmo, este foi devidamente configurado de acordo com o projeto e posteriormente será incorporado ao protótipo do projeto, a figura 102 apresenta o kit adquirido.

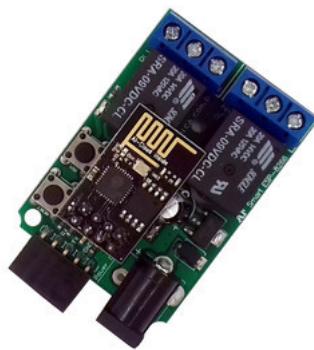


Figura 102 – Kit de desenvolvimento ESP8266 WiFi 802.11 B/g/n.([AF Eletrônica](#))

Este kit necessita de uma alimentação de 9V/1A, sua alimentação será realizada pela bateria do robô e somente os pinos correspondentes ao RX e ao TX serão utilizados pelo microprocessador para realizar a comunicação serial. Essa comunicação serial é representada na figura 100 pelas setas verdes.

#### 4.7.2 Software

Para realização da comunicação, está sendo utilizado o protocolo de comunicação TCP, enviando e recebendo dados a partir de uma conexão via *sockets* em uma rede criada por um roteador fixo na base. A estratégia de comunicação foi pensada com o objetivo de possibilitar o funcionamento de diversos robôs em uma residência, utilizando a mesma base de processamento. Desse modo, o servidor executado na *raspberry*, em C, aguarda por conexões que podem ser feitas por qualquer cliente que deseje conectar na porta correta (definida neste projeto como 8090).

Ao identificar uma conexão, uma *thread* é gerada para tratar aquela conexão, entrando em um loop infinito até que o cliente ou o servidor opte por encerrar a conexão. Toda a comunicação realizada entre o robô e a base é feita a partir desta *thread*.

Quando a *thread* para tratamento da conexão é lançada, a mesma faz a criação de uma nova *thread* que executará paralelamente a ela, que será responsável por enviar comandos ao robô. Ou seja, são criadas duas *threads* para tratar uma mesma conexão, uma *thread* responsável por obter os dados enviados pelo robô e outra responsável por processar estes dados e enviar comandos ao robô.

Como apenas um canal de comunicação é utilizado, foi necessário utilizar um protocolo que define os padrões de comunicação entre o servidor e o robô. Este protocolo envolve duas partes, onde a primeira representa o *tipo de informação* e a segunda parte representa a *informação* em si. A tabela 22 apresenta os padrões já definidos e implementados no sistema em relação a comunicação do servidor para o robô.

Tabela 22 – Padrões de comunicação - Servidor-Robô

Servidor ->Robô	
Padrão	Descrição
<i>L 90</i>	Virar 90° a esquerda
<i>R 90</i>	Virar 90° a direita
<i>F 10</i>	Andar 10cm a frente
<i>S</i>	Stop
<i>R</i>	Run
<i>B 10</i>	Andar 10cm para trás
<i>B</i>	Voltar para base

Já na tabela 23 estão apresentados os padrões referentes a comunicação do robô para o servidor.

Tabela 23 – Padrões de comunicação - Robô-Servidor

Robô ->Servidor	
Padrão	Descrição
L 90	Distância esquerda: 90cm
R 90	Distância direita: 90cm
F 10	Distancia frente: 10cm
B 10	Distancia ré: 10cm
A 45	Bateria 45%
P 42	Potência do sinal wifi: 42

Com a utilização destes padrões de comunicação, ficou fácil implementar um *porta-roteiro* de cada lado que seja capaz de distribuir as informações para seus respectivos contextos. Esta é a estratégia básica de comunicação entre os dois módulos, mas para isso, uma estrutura foi inicialmente desenvolvida.

Para realização da comunicação entre os módulos e cliente, faz-se necessário um sistema de autenticação na rede e no sistema de gerenciamento de limpezas. Para isso, foi levantada uma base LDAP de autenticação, utilizando o protocolo RADIUS para conexão na rede. O sistema de gerenciamento de limpezas pode cadastrar novos usuários, incluindo-os na base LDAP, para que o mesmo cadastro realizado no sistema possa ser utilizado para login na rede.

A arquitetura do sistema, apresentada na seção 4.9 registra de maneira clara o funcionamento do sistema de comunicação do projeto.

#### 4.7.3 Validação experimental

Com o objetivo de apresentar a realização dos testes e procedimentos relacionados a comunicação do sistema, tanto para o sistema de *Hardware* quanto para *Software*, segue exemplos dos testes realizados para tal.

- **Comunicação entre módulo ESP8266 e ATMega**

O teste inicial da comunicação entre o ATMega e o ESP8266 foi realizado utilizando um código que envia ao módulo comandos com o padrão *AT+comando*, ao receber tal comando o módulo deveria responder de acordo com sua programação de fábrica, sendo assim nesse teste foram enviados os comandos *AT+GMR*, *AT+CIFSR* e *AT+CWLAP*. Os retornos esperados pelo ATMega eram, respectivamente, a versão do *firmware*, o *IP* adquirido ao conectar na rede WiFi e uma lista com todas as redes WiFi detectadas.

Os resultados desse teste estão apresentados na figura 103, o código utilizado para esse teste está disponível em [Teste ESP8266](#).

```

Iniciizando modulo
Versao do firmware: AT+GMR
00200.9.5(b1)
compiled @ Dec 25 2014 21:40:28
AI-THINKER Dec 25 2014

OK
Modo STA ok
Conectado com sucesso a rede wireless
IP: AT+CIFSR
+CIFSR:STAIP,"192.168.0.21"
+CIFSR:STAMAC,"18:fe:34:82:c1:39"

OK
*** Fim ***
Wifi disponiveis:
AT+CWLAP
+CWLAP:(4,"GVT-8F38",-59,"5c:dc:96:93:8f:39",1)
+CWLAP:(3,"GVT-ED23",-82,"48:ee:0c:1f:ed:23",2)
+CWLAP:(4,"netvirtua42d24fd",-42,"94:2c:b3:0a:34:f2",4)
+CWLAP:(3,"galileia",-91,"ec:22:80:0c:3f:7f",3)
+CWLAP:(4,"GVT-2307",-83,"48:ee:0c:1a:23:07",7)
+CWLAP:(4,"Adriana_24",-58,"70:54:d2:53:6d:a1",7)
+CWLAP:(3,"GVT-27AB",-85,"9c:d6:43:7d:27:ab",8)
+CWLAP:(4,"GVT-5B08",-80,"6c:19:8f:03:5b:08",11)
+CWLAP:(3,"Dyego 2",-88,"00:e0:20:81:33:80",11)
+CWLAP:(3,"GVT-D392",-89,"54:b8:0a:f7:d3:92",11)
+CWLAP:(3,"GIGANTE II",-81,"78:44:76:9f:94:18",11)
+CWLAP:(3,"GVT-942F",-93,"2c:e4:12:c0:94:33",11)
+CWLAP:(3,"VictorWifi",-88,"78:44:76:9f:a6:6c",11)

```

Figura 103 – Teste de comunicação Arduino/módulo Wifi.

- **Comunicação entre ATMega e Raspberry Pi**

Com a comunicação concluída entre o Arduino e o Módulo Wifi, é possível trabalhar em um nível de abstração maior, partindo para a lógica de software e comunicação do sistema. Tendo acesso a rede wifi, foi possível implementar uma comunicação via TCP/IP, utilizando o protocolo de comunicação apresentado nas tabelas 22 e 23.

Na Figura 104, é apresentada a comunicação sendo feita entre o Arduino e a Raspberry, onde o Arduino envia informações sobre 3 sonares, a raspberry processa essas informações e retorna os comandos necessários para desviar de obstáculos e se locomover pelo ambiente.

```

Front =[11], Right =[24], Left =[28] Received: [R 90
socket = [4] _socket_send(msg); Received: [R 90
Entrou <15 send((const uint8_t*)msg, strlen(msg)); Received: [L 90
Virando esquerda.. Received: [L 90
eita fi Received: [L 90
Front =[11], Right =[24], Left =[27] Received: [L 90
socket = [4] _infos(); Received: [L 90
Entrou <15 buffer[128] = {0}; Received: [L 90
Virando esquerda.. wifi.recv(buffer, sizeof(buffer), 1000) Received: [L 90
eita fi Received: [L 90
socket = [4] _socket_recv(); Received: [L 90
Front =[11], Right =[24], Left =[13] ++); Received: [L 90
socket = [4] Serial.print((char)buffer[1]); Received: [R 90
Entrou <15 Received: [R 90
Virando direita..Front =[11], Right =[23], Left =[14] Received: [R 90
socket = [4] Received: [R 90
Entrou <15 Received: [R 90
Virando direita..Front =[11], Right =[23], Left =[14] Received: [L 90
socket = [4] Received: [R 90
Entrou <15 Received: [R 90
Virando direita..Front =[11], Right =[23], Left =[28] Received: [R 90

```

Figura 104 – Teste de comunicação Arduino/Raspberry.

## 4.8 Interface

Para a realização da interface com o usuário, foi criado uma aplicação web, utilizando o *framework* livre, Ruby on Rails([RAILS](#), ). Esse *framework* permite desenvolvimento de sites e usa como linguagem o Ruby. Sua arquitetura padrão é o MVC(*Model-View-Controller*), que basicamente separa a aplicação em 3 camadas. A camada de interação do usuário(*view*), a camada de manipulação dos dados(*model*) e a camada de controle(*controller*)([RAMOS](#), ). O rails permite adicionar bibliotecas com funções especiais, essas bibliotecas tem o nome de *gem*. Para a aplicação, além das gems padrões, também serão utilizadas as gems descritas na tabela 24.

Tabela 24 – Gems

Gem	Descrição
devise_ldap_authenticatable	Para autenticar junto com uma base LDAP
cancancan	Para autorização
rolify	Para criar funções de usuários
fullcalendar-rails	Para mostrar calendário de agendamento
momentjs-rails	Auxílio ao calendário
bootstrap-sass	Para layout das páginas
rails-erd	Para gerar diagrama de classe

A figura 105 mostra o diagrama de domínio do projeto

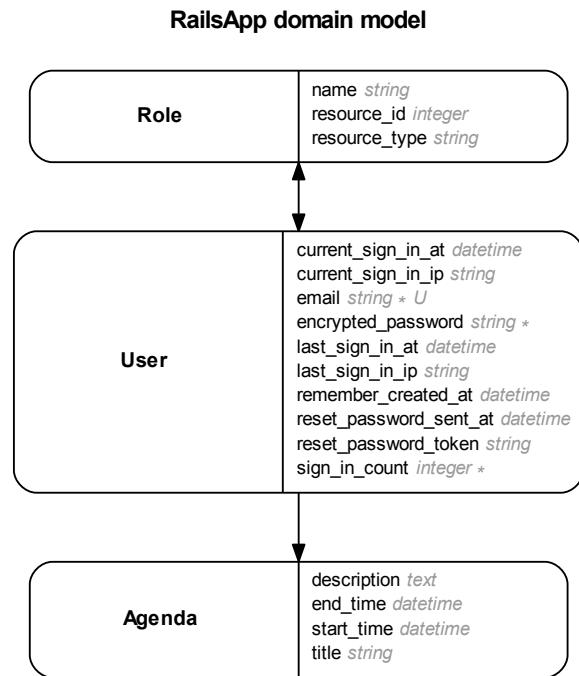


Figura 105 – Diagrama de domínio.

A classe *User* foi criada para realizar o login na aplicação, sendo utilizada em conjunto com a *gem devise\_ldap\_authenticable*. Ela possui um relacionamento com a classe *Role* que atribui uma função ao usuário. Atualmente, só está sendo utilizado a função de administrador. Por fim, a classe *Agenda* é responsável por guardar os agendamentos feitos pelo usuário. O código da interface do R2-PI2 está no [Github](#).

As imagens a seguir mostram como está a interface.

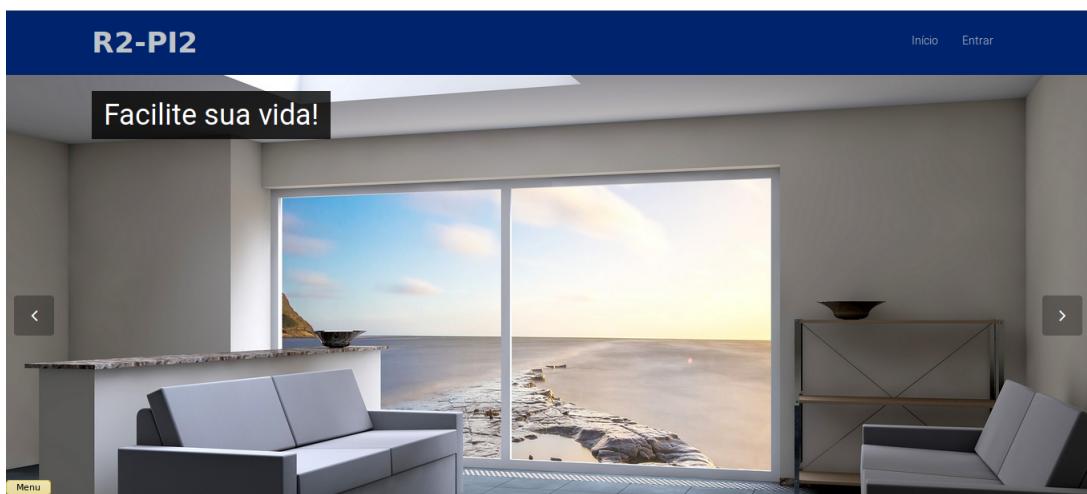


Figura 106 – Interface - Home.

Figura 107 – Interface - Login.

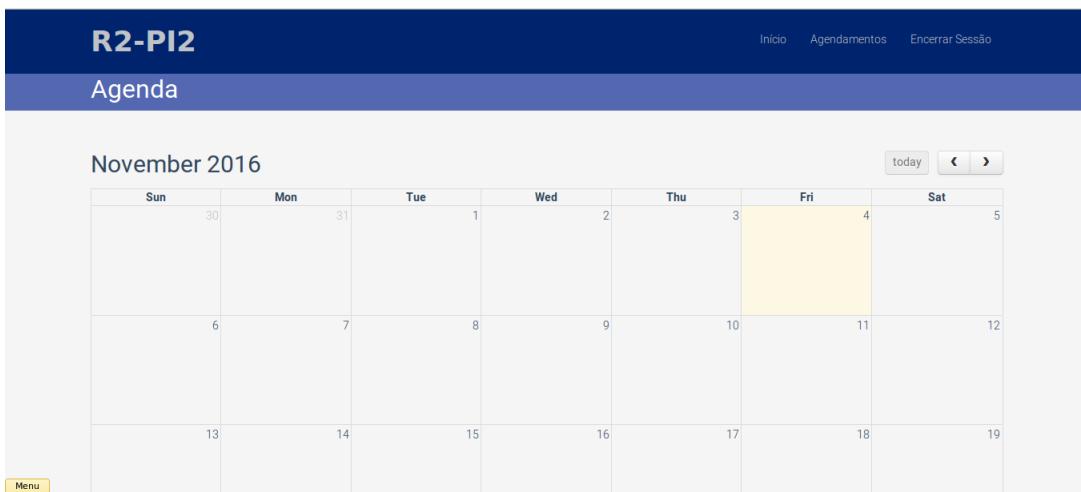


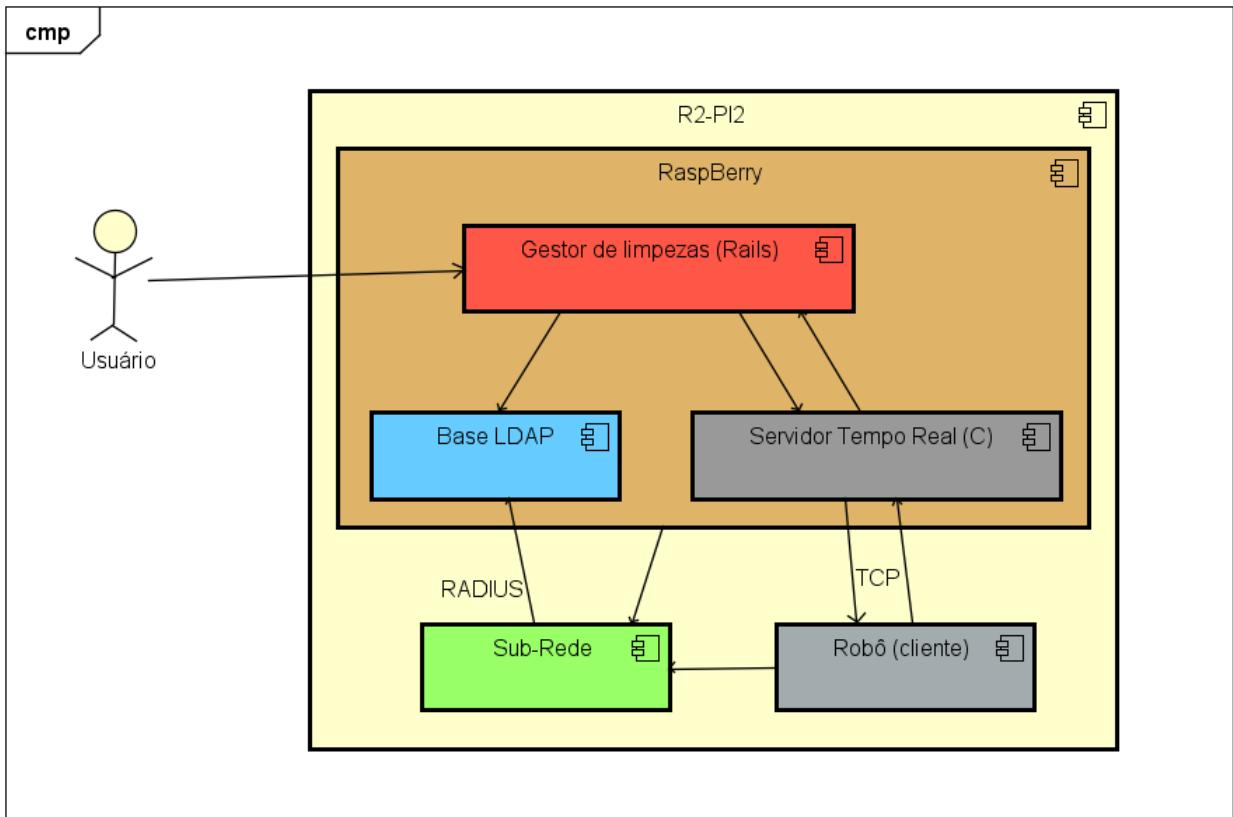
Figura 108 – Interface - Agendamento.

#### 4.8.1 Validação experimental

Para a validação, não utilizamos nenhuma ferramenta que o rails possui devido a alteração constante da interface. Porém fizemos vários testes manuais, e por fim estabilizamos a interface do site, podendo ser acrescentado para a próxima entrega, uma ferramenta que auxilie e facilite tais testes.

### 4.9 Arquitetura do Sistema de Software

Em relação a arquitetura do sistema, a mesma foi definida em módulos, contemplando 5 módulos distribuídos. A comunicação entre os principais módulos é feita a partir da utilização de *sockets* por conexão TCP. De modo geral, a arquitetura pode ser representada pela Figura 109.



powered by Astah

Figura 109 – Diagrama arquitetural do sistema R2-PI2.

O *Servidor Tempo Real* gerencia diversas *threads* para processar e instruir informações ao robô. O escalonamento destas *threads* segue o padrão de sistemas em tempo real, a partir da configuração do *patch RT\_Preempt* no Kernel utilizado no servidor. Desse modo, o tempo de resposta a requisições advindas do robô é otimizado, buscando evitar falhas de controle relacionadas ao atraso do sistema.

A comunicação entre Robô e Servidor Tempo Real segue uma arquitetura cliente-servidor, onde o cliente e o servidor acabam trocando de papéis em determinadas ocasiões. Em alguns instantes o robô fará requisições ao servidor, que lhe retorna uma resposta, já em outros instantes o servidor fará requisições ao robô, obtendo também uma resposta.

O principal motivo da escolha desta arquitetura se refere ao poder de processamento presente no servidor, em relação ao processamento encontrado no robô (ATMega). Como o sistema é caracterizado como um sistema de tempo real, necessitou-se da utilização deste mecanismo de processamento.

Como interface do sistema para o cliente, foi desenvolvido o sistema Gestor de Limpezas, em rails. Este sistema faz comunicação com o Sistema Tempo Real e a base de registro de usuários (LDAP). Neste sistema é possível agendar limpezas, iniciar e parar

uma limpeza e analisar *status* de limpeza. A comunicação entre os dois sistemas é feita a partir de sockets locais, já que os dois serão executados na mesma máquina (raspberry pi).

# 5 Integração

Este capítulo tem como objetivo apresentar o plano de integração dos subsistemas que compõem o R2-PI2, os testes realizados e as modificações realizadas a partir dos resultados dos testes.

## 5.1 Plano de integração

Após implementar os subsistemas é necessário planear a maneira como será realizada a integração entre eles, as figuras 110 e 111 apresentam de maneira geral as relações existentes entre os subsistemas de acordo com as implmementações realizadas.

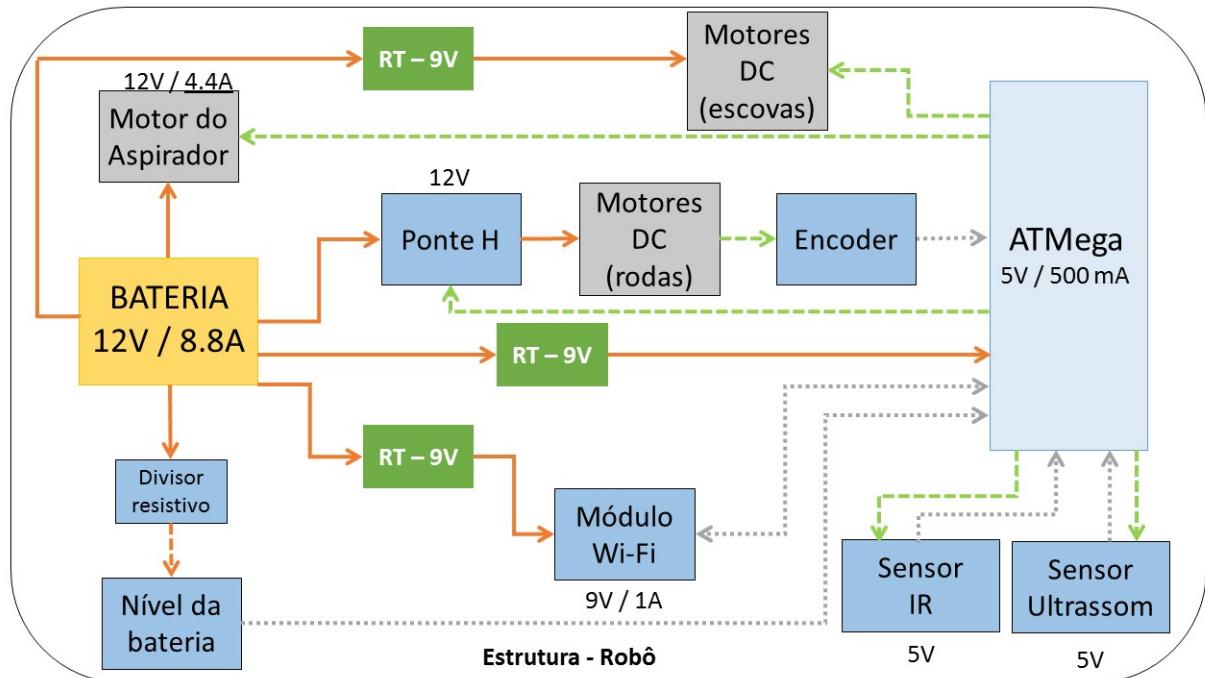


Figura 110 – Plano geral de integração dos subsistemas para o robô.

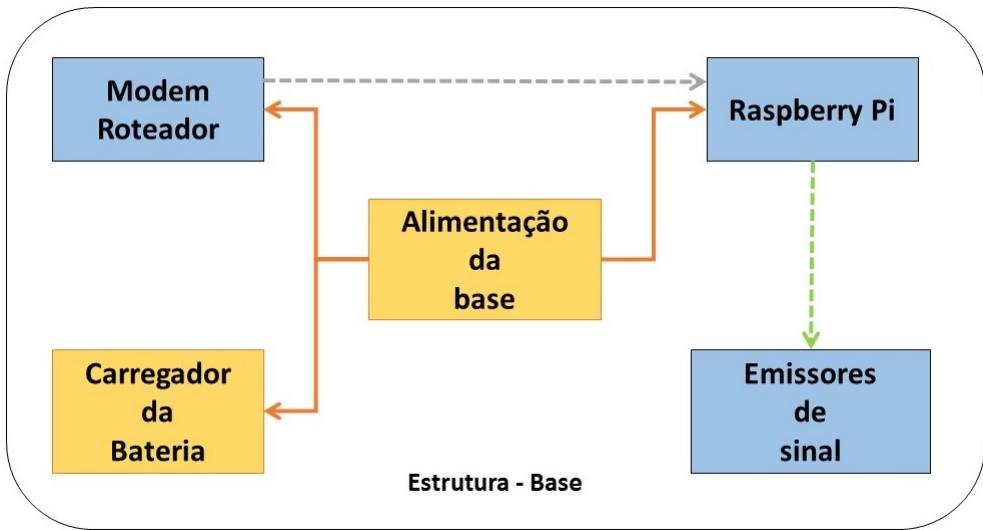


Figura 111 – Plano geral de integração dos subsistemas para a base.

#### Legenda:

- Setas de cor verde* - simbolizam que determinado bloco tem controle sobre um outro bloco.
- Setas de cor laranja* - simbolizam a alimentação necessária para os componentes.
- Setas de cor cinza* - simbolizam que há comunicação entre os blocos (os sentidos das setas indicam os caminhos dos dados).

## 5.2 Testes de validação do plano de integração

- Sistema de Sucção

1. Alimentar o aspirador com a bateria e testar a eficácia de aspiração de partículas

O aspirador ao ser ligado a bateria obteve uma boa sucção, assim como nos testes de bancada utilizando a fonte de tensão. Entretanto, depois de alguns minutos ligados, a bateria começa a perder diferença de potencial, fazendo com que o aspirador comece a perder eficiência. Após 12 minutos, a bateria já não possuía tensão para manter o sistema funcionando de forma eficiente. Constatou-se também uma alta temperatura nas baterias.

Outro teste realizado com as baterias escolhidas foi utilizando um regulador de tensão, para fornecer a potência necessária ao aspirador. Foi integrado o circuito regulador ao aspirador e ligado utilizando as baterias. O resultado foi positivo, verificando que elas forneciam 12 V, e o aspirador funcionando de modo esperado.

2. Alimentar o motor escova e garantir que ele esteja rodando

A alimentação foi suficiente para garantir a rotação do motor. Verificou-se que após um tempo grande de funcionamento, o temperatura do motor amolece a cola utilizada para sua fixação. Durante os testes com a escova, o motor DC utilizado teve um travamento repentino do eixo. Acredita-se que parte da sujeira entrou no motor, causando o seu travamento completo.

### **3. Testar os transistores do motor da escova e do aspirador**

Não foi possível realizar esse teste devido ao mal funcionamento das baterias.

### **4. Testar o sinal de controle do arduino até os transistores**

Não foi possível realizar esse teste devido ao mal funcionamento das baterias.

### **5. Ligar a aspiração e a escova com o sistema funcionando em 100%**

Esse teste não foi realizado devido ao mal funcionamento que ocorreu nas novas baterias adquiridas. No dia do teste de integração, o aspirador conectado a um regulador de voltagem, para ajustar a tensão para 12 V funcionou individualmente. Mas ao conectar o aspirador ao resto do sistema e ligar os componentes do robô às baterias, nenhum componente do sistema ligou. Depois de analisar cuidadosamente para identificar o problema, constatou-se que a bateria não fornecia tensão nem corrente. Para resolver esse problema, foram adquiridas mais 3 baterias que serão destinadas para o uso exclusivo para a alimentação do sistema de sucção.

## **• Estrutura do robô**

Ao iniciar a parte de integração dos subsistemas, a estrutura do robô apresentou problemas para se locomover conforme os comandos enviados a ele. De maneira geral, a equipe de estrutura identificou 3 principais problemas:

1. O suporte desenvolvido era largo e não estava tão justo as rodas, sendo que para compensar esta folga e melhorar o amortecimento tal espaço foi preenchido com borracha, porém com a adição do peso dos demais subsistemas a base as rodas acabaram por sair do alinhamento. Com isso o robô passou a não se mover mais em linha reta, e sim em círculos, o que ocasionaria vários problemas em outras áreas.
2. A posição das rodas, que foram fixadas inicialmente no centro da base, porém esse modelo não ofereceu a estabilidade necessária para a alocação dos subsistemas, além de dificultar a movimentação, que ocorreu também devido aos furos que não ficaram perfeitamente alinhados.
3. Originalmente não seriam utilizados encoders nas rodas, porém foi detectado que seriam necessários para melhorar o controle. Com isso o projeto original dos suportes das rodas e da base deveriam passar por algumas mudanças estruturais para poder adaptar tais componentes. O suporte feito originalmente

não tinha os cortes necessários, então foi redesenhado para que pudesse ter, sem comprometer sua capacidade de fixação.

- **Estrutura da base de recarga**

1. **Aproximação entre o robô e base de recarga:**

O principal teste aplicado é o de encaixe entre o robô e a base, as baterias devem estar o mais próximo possível do carregador quando o veículo estacionar para a recarga. Além disso a altura da base de recarga deve ser menor que a altura do robô do chão para que o robô possa ficar em cima.

2. **Acoplamentos dos componentes da base de recarga:**

O projeto da base de recarga possui um volume total de aproximadamente 2000 cm<sup>3</sup>. O sistema deve integrar além do carregador de bateria outros 2 objetos, um modem que ocupa um volume de 450 cm<sup>3</sup>, a raspberry que ocupa um volume de 140 cm<sup>3</sup>. Tirando esses dois objetos o resto do espaço é reservado para o carregador e fios elétricos para as ligações. Ou seja, o teste de acoplamento mostra que o subsistema atende as especificações do projeto.

- **Carregador com plug magnético**

1. O plug magnético é formado por duas peças. A primeira é um pequeno conector que é acoplado na entrada do robô. A segunda é um pequeno adaptador no qual é conectado o cabo do carregador e que possui uma extremidade magnética que se encaixa de forma natural e fluida na outra ponta, iniciando na hora a recarga. Os cabos ainda não foram implementados na estrutura do plug.



Figura 112 – Peça 1 e peça 2 respectivamente.

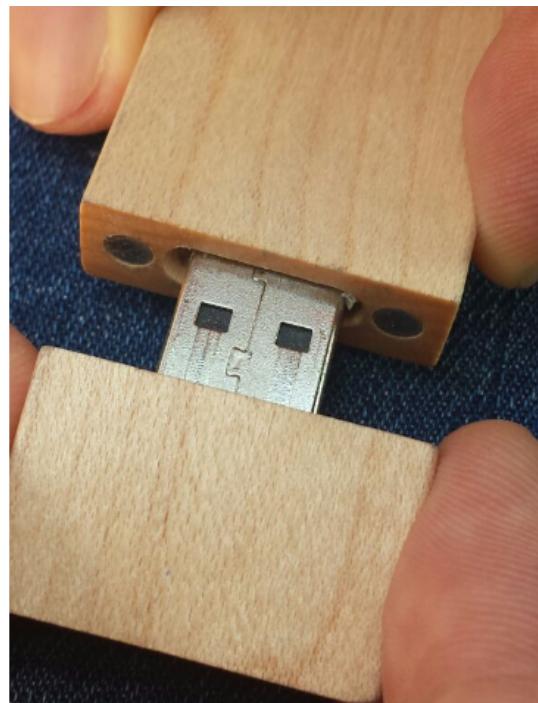


Figura 113 – Interação entre as peças.

2. Quanto ao conector com a carga a ser alimentada, no caso as baterias, escolheu-se que o mesmo seria do tipo plug magnético visando facilitar a conexão e honrar a proposta inicial do projeto de ser um dispositivo de funcionamento autônomo. O cabo de conexão está passando por testes e ajustes para poder ser acoplado à base do sistema já obtido a fim de disponibilizar mais uma solução viável para o suprimento de carga energética do sistema.
3. Conforme a figura 114, é perceptível que o carregador é acoplado à base de recarga. A base de recarga encontra-se no estágio final de sua adaptação, assim como o cabeamento do conector com plug magnético.



Figura 114 – Base de Recarga.

É possível visualizar a posição do plug magnético na saída do diodo nesta integração entre carregador e base, facilitando para o encontro com o plug magnético conectado ao robô.

### 5.3 Modificações realizadas após os testes

- Troca do motor da escova:

Devido ao travamento do motor da escova, foi necessário realizar a troca do mesmo. O novo motor DC colocado possui 9V de tensão nominal e 0.5 A de corrente nominal quando o eixo está carregado.



Figura 115 – Teste de coleta de sujeira com o novo motor acoplado.

- Troca dos cabos do aspirador e da escova:

Foram adicionados cabos mais grossos e resistentes devido a quantidade de corrente que está sendo utilizada no circuito.

- Acréscimo de mais pano na escova:

Foi adicionado mais pano a escova com o objetivo de aumentar a eficiência do sistema de sucção. O pano adicionado garante que a sujeira seja varrida e contida ao alcance das cerdas da escova, de forma a garantir mais tempo para o sistema coletar a sujeira.



Figura 116 – Teste da coleta de sujeira com a abertura de parte da parede interna.

- Modificação estrutural interna da escova

Foi aberto um vão na parte interna da escova que fica próxima ao cano do aspirador. Essa modificação aumentou drasticamente a eficiência na coleta de sujeira por parte da escova.



Figura 117 – Teste de coleta de sujeira após o acréscimo de pano a escova.

- Troca da mangueira do aspirador:

A mangueira antiga utilizada no aspirador era sanfonada, o que prejudica o desempenho do aspirador. Foi adicionada uma mangueira de borracha com superfície interna lisa, com o objetivo de diminuir a perda de carga do sistema.



Figura 118 – Imagem dos novos cabos e da nova mangueira ligada ao aspirador.

- Adaptação do suporte das rodas:

Para solucionar este problema, uma adaptação ao suporte foi feita para que as rodas não ficassem tão folgadas na estrutura, garantindo que não ficassem desalinhadas quando sujeitas a carga. Nas figuras 119 e 120 temos a comparação do primeiro suporte com o adaptado, que se mostrou muito mais eficiente nos testes.



Figura 119 – Roda com suporte largo.



Figura 120 – Roda com suporte justo.

- Posicionamento das rodas:

Para solucionar este problema, uma nova posição para as rodas foi definida de modo que esta pudesse oferecer uma estabilidade melhor, consequentemente aguentando uma distribuição mais uniforme de peso. As rodas foram deslocadas um pouco, não ficando mais no centro, mas na parte traseira da base. O resultado das modificações são mostrados nas figuras 121 e 122.



Figura 121 – Base com furos centrais.



Figura 122 – Base com furos na parte traseira.

- Adição dos encoders na estrutura:

Feitos os furos constatou-se que o eixo que seria fixado o encoder deveria ser alongado, caso contrário não seria possível a adaptação. Para alongar o eixo, foram utilizados raios de bicicleta, que foram parafusados ao eixo e tiveram o encoder preso em sua ponta com massa plástica, garantindo uma fixação segura. Os sensores foram presos a base com parafusos. Os resultados da adaptação são apresentados nas figuras 123, 124, 125 e 126.



Figura 123 – Suporte com corte para o eixo do encoder.

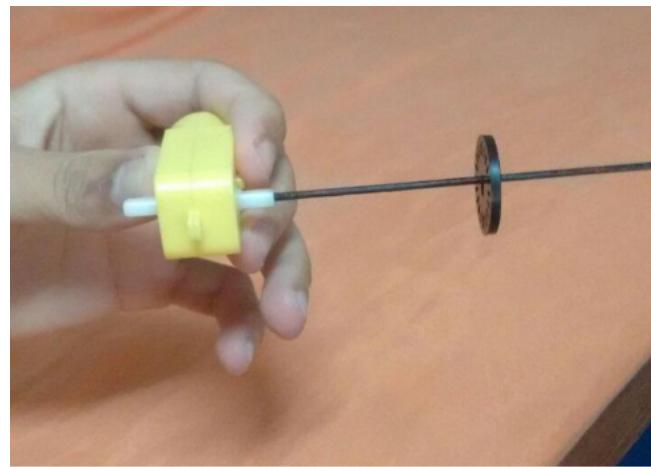


Figura 124 – Alongamento do eixo com encoder.

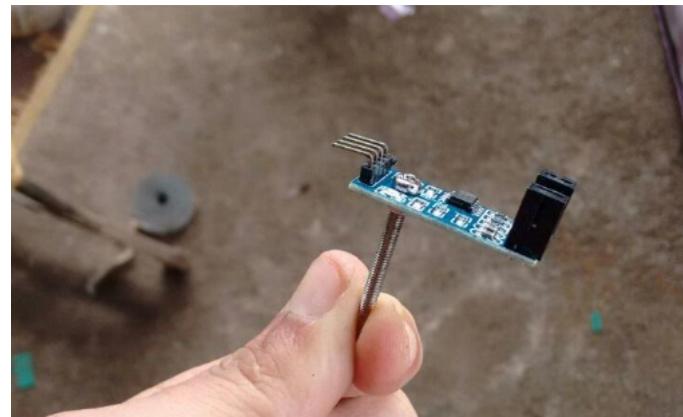


Figura 125 – Fixação do sensor de velocidade.



Figura 126 – Encoder acoplado a estrutura do robô.

- Mudanças na base de recarga:

O tipo de carregamento das baterias do robô ainda é por indução, porém ocorreram adaptações nos desenhos da base de recarga para se adaptar a uma possível troca para um carregamento via tomada convencional. O sistema perdeu em dimensões, mas ainda consegue abrigar todos os componentes que deveria, como o carregador das baterias, o modem wifi e a Raspberry. As mudanças deixaram a base de recarga menor, mais versátil e com uma economia de materiais.

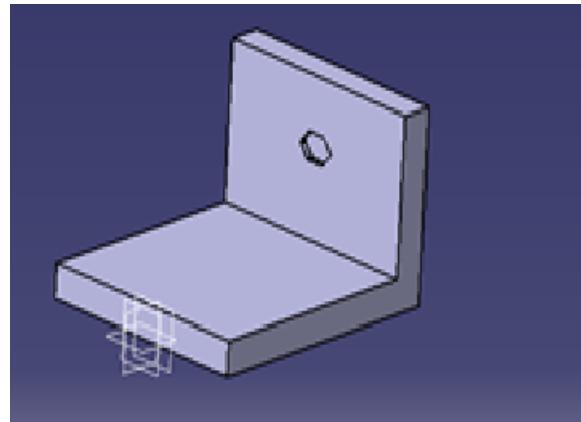


Figura 127 – Novo CAD.

A ideia desse novo conceito é que ele esteja disponível para acoplar tanto um carregador por indução, que ficaria localizado na parte inferior da peça, como um carregador comum, onde o encaixe para tomadas ficaria localizado na parte superior do objeto.



Figura 128 – Fabricação da estrutura.

A fabricação da peça está sendo feita utilizando recipientes de plástico, unidos em formato de “L”, como mostra a figura 128. A questão mais difícil para a fabricação desse item está relacionada a junção dos dois recipientes.

Melhorias podem ser incorporadas ao projeto. Primeiramente uma melhoria estética, através de pinturas e melhora na qualidade da junção das peças. Outro aspecto é o aumento da rigidez da estrutura que pode ser feito através da aplicação de alguns materiais por dentro da estrutura. Essa mudança irá tirar um pouco de espaço para os componentes, porém caso a base de recarga venha sofrer impactos, poderá resistir mais ao tempo.

- Não integração do algoritmo de volta à base

Para realizar a volta do robô à base de recarga, seriam necessárias informações confiáveis de dados a respeito do giro dos motores e dos sensores de distância da base. Dado o curto período de integração, não foi possível ameziar o erro desses dados para torná-los confiáveis o suficiente para garantir o retorno da base. O algoritmo que calcularia o ângulo necessário para o robô retornar à base se encontra no GitHub.

- Alteração na forma de processamento da navegação do robô

Originalmente, o plano para a navegação do robô era fazer com que a base de recarga, que possui uma Raspberry Pi, fizesse o processamento das informações coletadas pelo AT-Mega que se encontra no robô. Porém, quando foram realizados os testes de integração, percebeu-se que o robô não conseguia processar as informações dos sonares suficientemente rápido para evitar colisões. Com isso, viu-se necessário passar a responsabilidade de processamento dos sonares frontais para o próprio robô e os laterais continuam sendo processados na base. Assim, o robô faz a identificação das informações do ambiente e caso seja necessário parar, ele próprio faz esse processamento. Quando o robô precisa tomar uma decisão a partir dos sonares laterais sobre para qual lado é necessário fazer a curva, a decisão é processada na base e enviada para o robô.

- Redimensionamento dos condutores

Durante a fase de integração e testes foi necessário realizar algumas alterações na parte de eletrônica. A bateria dimensionada fornece uma corrente muito alta para os condutores que estavam sendo utilizados, por isso foi necessário redimensionar os condutores para um diâmetro maior e também realizar os testes de circuitos em placas de fenolite com trilhas de estanho mais grossas , uma vez que as trilhas da protoboard não suportavam a corrente da bateria. Trocou-se também os resistores de 1/4 de Watt por resistores de potência maior. Devido a utilização da placa de circuito impresso com trilhas de estanho, foi necessário também adicionar um

material isolante entre as trilhas e a base metálica da estrutura do robô para evitar curtos.

- Mudança nos transistores de chaveamento

Foi realizada a mudança dos transistores de chaveamento do circuito de controle dos motores por transistores de potência, que suportam uma corrente maior. Adicionou-se também um dissipador de calor na bateria dos motores e um sensor de temperatura para evitar acidentes com superaquecimento

- Adição do encoder

Como citado anteriormente, o sistema de navegação está sujeito a problemas devido a interferências no sinal *wi-fi* captado pelo módulo, por isso adicionou-se o encoder e a unidade de medida inercial como forma de melhorar a precisão de movimento e localização da posição do robô, auxiliando assim na sua volta autônoma para a base.

# 6 Considerações Finais

Os objetivos do projeto não foram totalmente alcançados, de acordo com a seção [1.4](#), o robô deveria retornar à base sozinho para recarregar-se, entretanto, não foi possível implementar essa funcionalidade devido a falhas não previstas pelos subsistemas, dessa forma, os testes do algoritmo desenvolvido para volta à base não foi devidamente validado utilizando o sistema completo, devido a uma falha no cumprimento do cronograma estabelecido. Além dos atrasos de alguns subsistemas, encontrou-se dificuldades para realizar a integração dos subsistemas funcionais, pois os mesmos começaram a funcionar de forma indevida, tomando muito tempo de trabalho da equipe para solucionar os problemas.

Apesar de não cumprir alguns objetivos, foi possível realizar a integração das 5 engenharias em um protótipo funcional do aspirador, que se move de maneira autônoma, desvia de obstáculos e se comunica com a central de processamento possibilitando o envio de informações diretamente para o usuário.

## 6.1 Trabalhos Futuros

### 6.1.1 Navegação

Como dito na seção de integração, foi necessário, devido ao tempo de entrega, remover a funcionalidade de volta à base autônoma. Para realizar essa volta em trabalhos futuros, serão necessários filtros para os dados coletados de giro de motor e dados dos sensores de distância do robô e a base. Com esses dados, será utilizado o algoritmo implementado para descobrir onde se encontra a base em relação ao robô e girar confiavelmente o robô na direção da base. Após esse giro, o robô deverá seguir em linha reta até a base ou até encontrar um obstáculo. Após desviar do obstáculo, o robô começará o procedimento de descoberta da localização da base novamente.

### 6.1.2 Sucção

- **Melhorar a construção geral da escova.**

As cerdas da escova possuem muito atrito ao rodar devido a problemas de construção, alinhamento e fixação do eixo da cerdas até o motor. De uma maneira geral a construção está muito rústica e imprecisa.

- **Modificar a geometria das cerdas da escova.**

Modificar a geometria das cerdas para reproduzir uma espiral de parafuso aumentaria a eficiência da escova na coleta de sujeira para seu compartimento interno.

- **Trocar o material utilizado para varrer a sujeira.**

Trocar o pano utilizado por um material impermeável e mais resistente.

- **Isolar o eixo do motor da sujeira.**

Atualmente a sujeira tem formas de chegar ao eixo do motor, o que pode eventualmente causar o travamento devido ao excesso de sujeira em volta do eixo.

### 6.1.3 Sensoriamento

Visando auxiliar um futuro retorno a base, as seguintes mudanças se fazem necessárias:

- Adicionar a base emissores de sinal capazes de enviar mensagens moduladas.
- Adicionar ao robô um receptor desse sinal que seja capaz de interpretar as modulações e auxiliá-lo na volta a base, indicando em que posição o robô se encontra de acordo com o sinal modulado que foi captado.

# 7 Planejamento Financeiro

O planejamento financeiro do projeto leva em consideração o custo de aquisição dos materiais necessários para desenvolvimento da solução proposta, assim como a estratégia de recolhimento do orçamento necessário. Como a solução proposta está dividida em subsistemas, utilizou-se da mesma lógica para determinar o custo dos materiais. O subsistema referente a solução de software não possui custo, já que não será necessária a aquisição de nenhum componente.

Na tabela 25 estão dispostos os componentes, o preço dos mesmos, a quantidade necessária e o preço total.

Tabela 25 – Custos eletrônica.

<b>Componente</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço</b>	<b>Total</b>
Emissor IR	8	R\$ 0,61	R\$ 4,88
Receptor IR	5	R\$ 0,48	R\$ 2,40
CD 4051	1	R\$ 1,30	R\$ 1,30
AMP OP (LM3324)	3	R\$ 0,61	R\$ 1,83
Arduíno Mega	1	R\$ 137,50	R\$ 137,50
Raspberry PI 2B	1	R\$ 299,90	R\$ 299,90
Módulo Wifi	1	R\$ 23,00	R\$ 23,00
Ponte H 298N	1	R\$ 21,90	R\$ 21,90
Módulo encoder	2	R\$ 6,44	R\$ 12,88
Resistores, Leds e outros	-	-	R\$ 10,00
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 515,59</b>

Em relação a solução da estrutura, duas soluções possíveis estão em estudo, os componentes da primeira solução podem ser observados a partir da tabela 26.

Tabela 26 – Estrutura chassi - solução 1

<b>Componente</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço</b>	<b>Total</b>
Motores	2	R\$ 37,00	R\$ 74,00
Roldanas pequenas	2	R\$ 2,50	R\$ 5,00
Roldanas grandes	4	R\$ 4,00	R\$ 16,00
Corrente de bicicleta	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Parafusos	-	-	R\$ 20,00
Multifixadores	-	-	R\$ 5,00
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 130,00</b>

já em relação a segunda solução, temos a tabela 27.

Tabela 27 – Estrutura chassi - solução 2

<i>Componente</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Preço</i>	<i>Total</i>
Kit motor redução	2	R\$ 24,90	R\$ 49,80
Roda esférica	1	R\$ 17,95	R\$ 17,95
Chapa de alumínio	1	R\$ 24,90	R\$ 24,90
Chapa de PVC	1	R\$ 17,00	R\$ 17,00
Chapa de acrílico	1	R\$ 54,90	R\$ 54,90
<b>TOTAL</b>			R\$ 164,55

Em relação aos componentes da base, 28.

Tabela 28 – Custos base.

<i>Componente</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Preço</i>	<i>Total</i>
Cooler	2	R\$ 10,00	R\$ 20,00
Chapa de poliestireno cristal	1	R\$ 40,00	R\$ 40,00
Cola para acrílico	1	R\$ 26,00	R\$ 26,00
Mangueira	-	-	R\$ 52,00
Vasilha de plástico	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Anéis de vedação	4	R\$ 8,00	R\$ 32,00
Espuma para filtro	1	R\$ 10,00	R\$ 10,00
<b>TOTAL</b>			R\$ 190

Em relação a alimentação do sistema, pode-se observar a tabela 29.

Tabela 29 – Custos da alimentação do sistema

<i>Componente</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Preço</i>	<i>Total</i>
Bateria	1	200-500	200-500
<b>TOTAL</b>		Entre 200 e 500 R\$ a depender da bateria escolhida	

O valor total estimado para a produção do robô utilizando a solução de chassi 1 e a estimativa mais cara de bateria, que seria em torno de 500 R\$, seria de 1325,59 R\$. Caso seja escolhida a solução de chassi 2, e a bateria mais cara, o preço do projeto passa a ser 1360,14 R\$.

Tabela 30 – Tabela Final de Custos

<b>PC1</b>	<b>PC2</b>	<b>PC3</b>
R\$ 189,00	R\$ 336,00	R\$ 145,00

O dinheiro para a compra dos materiais utilizados durante o processo de fabricação será dividido de forma igualitária entre todos os integrantes do grupo.

Contudo, integrantes da equipe já possuem diversos componentes necessários para a produção, como rodas, motores, caixas de redução, arduino e raspberry, o que acaba reduzindo bastante o orçamento.

## 7.1 Gastos Finais do Projeto

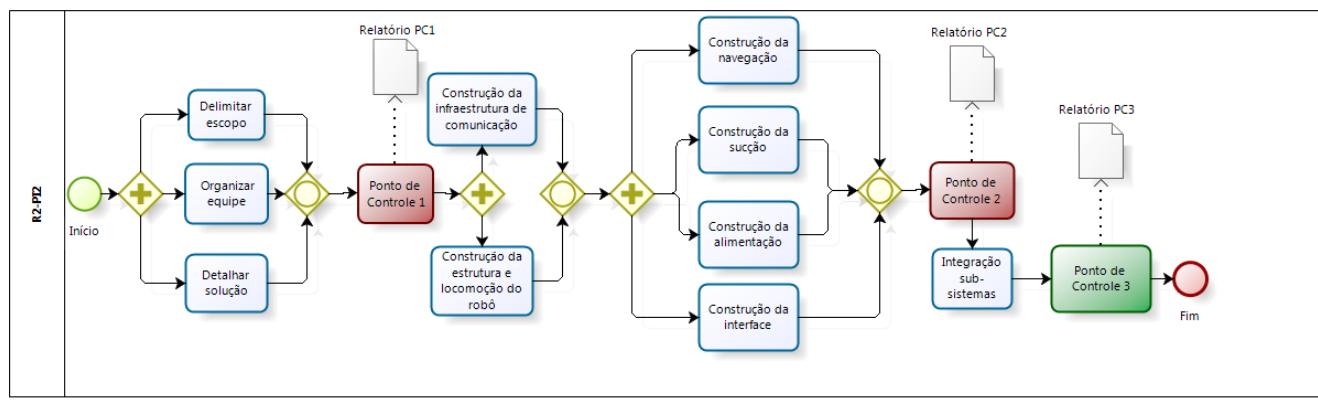
A tabela 30 representa o dinheiro investido pela equipe para a realização do trabalho. Os gastos foram apenas de partes do projeto que foram divididos entre a equipe. Peças e equipamentos que a equipe já possuia previamente e doações da equipe para o projeto não entraram na conta. Cada coluna representa o gasto que ocorreu durante cada ponto de controle. Todos os gastos foram divididos igualmente pela equipe.

# 8 Metodologia

## 8.1 Metodologia

O processo metodológico escolhido para desenvolvimento do R2-PI2 é baseado em uma metodologia ágil, mais especificamente, no *Scrum*. Dessa forma, o processo como um todo será dividido *releases*, contemplando *sprints* de 2 semanas, em média. Antes de definirmos o processo de maneira específica, é necessário apresentar uma visão alto nível do projeto inteiro, destacando os pontos de controle e deixando claras as atividades críticas para o sucesso do projeto.

Com este objetivo, o processo apresentado na Figura 129 foi modelado, utilizando a ferramenta *Bizagi Modeler*<sup>1</sup>.



Powered by  
**bizagi**  
Modeler

Figura 129 – Processo geral de desenvolvimento da solução.

As atividades presentes no processo estão descritas abaixo.

- **Delimitar escopo:**

Etapa de levantamento dos requisitos, onde é definido tudo que está dentro do projeto, que será implementado, e tudo que está fora, ou seja, que não será implementado.

- **Organizar equipe:**

<sup>1</sup> <http://www.bizagi.com/pt/>

Etapa que busca definir uma política de comunicação da equipe, discute e define com todos os integrantes a metodologia e a rotina de trabalho que serão seguidas e define papéis e/ou responsabilidades.

- **Detalhar solução:**

Etapa onde são divididos subsistemas que integrados solucionarão o problema inicial. Cada equipe responsável por determinado subsistema deverá identificar soluções viáveis, apresentar a solução mais adequada e detalhar a mesma. Com a união do detalhamento de todos os subsistemas, obtém-se o detalhamento geral do sistema.

- **Ponto de Controle 1:**

Primeiro ponto de controle do projeto, etapa onde é entregue o relatório 1, contemplando toda a organização da equipe e da metodologia de trabalho, o escopo bem definido, a solução planejada (de forma detalhada) e o plano de riscos do projeto.

- **Construção da infraestrutura de comunicação:**

Esta etapa envolve uma das duas atividades consideradas críticas durante este projeto. Esta característica se dá pois o seu resultado sustentará o desenvolvimento das soluções seguintes, assim como a próxima etapa a ser apresentada. Nesta etapa será implementada a rede de comunicação entre a *raspberry* e o *arduino*, possibilitando o envio e recebimento de informações de ambos os lados.

- **Construção da estrutura e locomoção do robô:**

Durante esta etapa, que também é uma etapa crítica do projeto, está envolvida a construção da estrutura do robô, ou seja, a estrutura que sustentará todos os equipamentos presentes no robô, e o sistema de locomoção do mesmo. Possuindo o sistema de locomoção e a estrutura prontos, o robô já será capaz de responder a sinais vindos da *raspberry*, de acordo com a etapa anterior.

- **Construção da navegação:**

Esta etapa se refere à construção do algoritmo de navegação utilizado na solução, ou seja, se preocupa com o controle do robô em relação a sua trajetória de locomoção pelo cômodo.

- **Construção da sucção:**

Esta etapa envolve a construção de todo o sistema de sucção, possibilitando a limpeza do cômodo.

- **Construção da alimentação:**

Esta etapa envolve a implementação de toda a solução referente à alimentação energética do sistema, tanto em relação à bateria quanto à recarga da mesma.

- **Construção da interface:**

Esta etapa se preocupa com a interação Humano-Computador envolvida nesta solução. como resultado desta atividade, espera-se uma interface amigável e de fácil aprendizado, seja no modo site ou físico.

- **Ponto de Controle 2:**

Segundo ponto de controle do projeto, referente a entrega dos subsistemas prontos, funcionando separadamente. Envolve a entrega do relatório 2, constando todo o processo de desenvolvimento e a solução utilizada até o momento.

- **Integração subsistemas:**

Esta etapa tem como objetivo integrar todos os subsistemas já construídos, gerando a solução com funcionamento geral.

- **Ponto de Controle 3:**

Entrega final do projeto, apresentação da solução final.

O processo apresentado acima contempla todo o caminho a ser percorrido durante o projeto R2-PI2, porém é necessário também especificar o processo metodológico utilizado pela equipe, o qual será baseado no *Scrum* e é apresentado na Figura

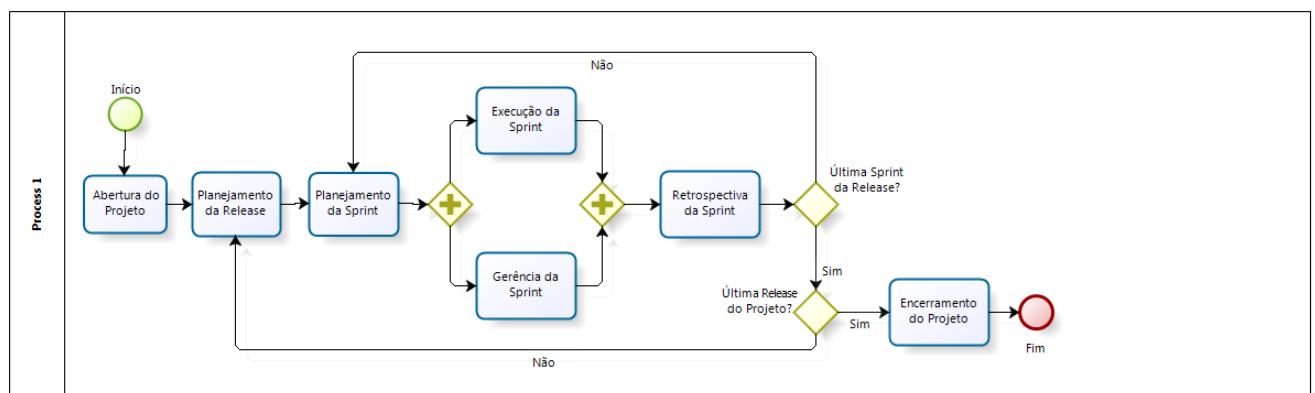


Figura 130 – Processo metodológico de desenvolvimento da solução.

As atividades presentes no processo estão descritas abaixo.

- **Abertura do projeto:**

Etapa inicial do projeto, onde são definidos o escopo do projeto, a equipe de desenvolvimento, a quantidade de releases, a divisão dos entregáveis de cada release e os rituais do scrum a serem seguidos.

- **Planejamento da Release:**

Etapa onde são definidos quais são as tarefas a serem realizadas durante a release, incluindo tarefas que cumpram o objetivo da release e eventuais dívidas técnicas.

- **Planejamento de Sprint:**

Etapa onde são definidas e distribuídas as tarefas da sprint para os desenvolvedores de acordo com suas capacidades e potenciais.

- **Execução da Sprint:**

Etapa que dura 2 semanas, onde são desenvolvidas as tarefas definidas no planejamento da sprint.

- **Gerência da Sprint:**

Paralelo à execução da sprint, a gerência da sprint é a etapa onde o scrum master ajuda os desenvolvedores a realizar suas tarefas e a garantir que as atividades processuais sejam feitas corretamente.

- **Retrospectiva da Sprint:**

Etapa onde os desenvolvedores expõem para o resto da equipe os fatores positivos e negativos e pontos de melhoria para que as próximas sprints não cometam os mesmos erros e sigam com as coisas boas.

- **Encerramento do Projeto:**

Nesta etapa, é realizada a formalização da entrega do produto final.

### 8.1.1 Cronograma

O cronograma do projeto foi desenvolvido com a utilização da ferramenta *Gantter*, que pode ser acessado via [Google Drive](#), e está visível na Figura 131.

		Nome	Duração	Ínicio	Fim
1		Release 1	13d?	08/17/2016	09/02/2016
2		Definição do Escopo do Projeto	1d?	08/17/2016	08/17/2016
3		Formulação do Problema	1d?	08/17/2016	08/17/2016
4		Definição de Metodologia de Trabalho	1d?	08/17/2016	08/17/2016
5	1	Construção da EAP	1d?	08/18/2016	08/18/2016
6	2	Organização da equipe	1d?	08/18/2016	08/18/2016
7	3	Definição da política de comunicação da equipe	1d?	08/18/2016	08/18/2016
8	4	Especificação de requisitos	1d?	08/18/2016	08/18/2016
9	5	Definição de solução detalhada de Instrumentação	5d?	08/19/2016	08/25/2016
10	6	Definição de solução detalhada de Estrutura	5d?	08/19/2016	08/25/2016
11		Definição de solução detalhada de Comunicação	5d?	08/19/2016	08/25/2016
12	7	Definição de solução detalhada de Navegação	5d?	08/19/2016	08/25/2016
13	8	Definição de solução detalhada de Sucção	5d?	08/19/2016	08/25/2016
14	9	Definição de solução detalhada de Alimentação	5d?	08/19/2016	08/25/2016
15	10	Definição de solução detalhada de Interface	5d?	08/19/2016	08/25/2016
16	11	Definição de solução detalhada de Locomoção	5d?	08/19/2016	08/25/2016
17		Levantamento de Riscos	2d?	08/26/2016	08/29/2016
18		Elaboração Relatório 1	2d?	08/30/2016	08/31/2016
19		Elaboração Apresentação Ponto de Controle 1	2d?	09/01/2016	09/02/2016
20		Release 2	31d?	09/05/2016	10/17/2016
21	12	Construção da Instrumentação	30d?	09/05/2016	10/14/2016
22	13	Construção da Comunicação	30d?	09/05/2016	10/14/2016
23	14	Construção da Estrutura	30d?	09/05/2016	10/14/2016
24	15	Construção da Navegação	30d?	09/05/2016	10/14/2016
25	16	Construção da Sucção	30d?	09/05/2016	10/14/2016
26	17	Construção da Alimentação	30d?	09/05/2016	10/14/2016
27	18	Construção da Interface	30d?	09/05/2016	10/14/2016
28	19	Construção da Locomoção	30d?	09/05/2016	10/14/2016
29		Elaboração Relatório 2	1d?	10/17/2016	10/17/2016
30		Elaboração Apresentação Ponto de Controle 2	1d?	10/17/2016	10/17/2016
31		Release 3	34d?	10/18/2016	12/02/2016
32	20	Integração dos subsistemas	33d?	10/18/2016	12/01/2016
33		Elaboração do Relatório 3	1d?	12/02/2016	12/02/2016
34		Elaboração Apresentação Ponto de Controle 3	1d?	12/02/2016	12/02/2016

Figura 131 – Cronograma do projeto

Durante a segunda release, foram elicitadas mais atividades do cronograma e reajustadas as datas de entrega, como é visto na Figura 132

20		☒ Release 2	65d?	09/05/2016	12/02/2016	
21		☒ Construção da Instrumentação	11d?	09/05/2016	09/19/2016	18,19
22	☒	Definir Comparador de Tensão	11d?	09/05/2016	09/19/2016	
23	☒	Testar Sensores	11d?	09/05/2016	09/19/2016	
24	☒	Definir esquemático de ligação	11d?	09/05/2016	09/19/2016	
25		☒ Construção da Comunicação	21d?	09/05/2016	10/03/2016	18,19
26	☒	Definir Protocolo de comunicação AT-Mega - Raspberry	11d?	09/05/2016	09/19/2016	
27	☒	Definir Script para iniciar o server do rails automaticamente	21d?	09/05/2016	10/03/2016	
28	☒	Definir comunicação Rails - LDAP	11d?	09/05/2016	09/19/2016	
29	☒	Montar Base LDAP Serviço RADIUS	11d?	09/05/2016	09/19/2016	
30		☒ Construção da Estrutura	44d?	09/05/2016	11/03/2016	18,19
31	☒	Fabricação da base do robô	44d?	09/05/2016	11/03/2016	
32	☒	Fixar periféricos na estrutura	44d?	09/05/2016	11/03/2016	
33		☒ Construção da Navegação	24d?	10/03/2016	11/03/2016	18,19
34	☒	Configurar Kernel RT Preempt na Raspberry	24d?	10/03/2016	11/03/2016	
35	☒	Definir estratégia de navegação (running)	24d?	10/03/2016	11/03/2016	
36	☒	Definir estratégia de navegação (back)	24d?	10/03/2016	11/03/2016	
37		☒ Construção da Sucção	44d?	09/05/2016	11/03/2016	18,19
38	☒	Desenvolver sistema de filtragem de sucção	44d?	09/05/2016	11/03/2016	
39	☒	Desenvolver sistema de escova da sucção	44d?	09/05/2016	11/03/2016	
40	☒	Usinagem das peças do sistema de sucção	44d?	09/05/2016	11/03/2016	
41		☒ Construção da Alimentação	44d?	09/05/2016	11/03/2016	18,19
42	☒	Definir Carregador	44d?	09/05/2016	11/03/2016	
43	☒	Definir Bateria	44d?	09/05/2016	11/03/2016	
44		☒ Construção da Interface	44d?	09/05/2016	11/03/2016	18,19
45	☒	Desenvolver aplicação de login e agendamento	44d?	09/05/2016	11/03/2016	
46		☒ Construção da Locomoção	44d?	09/05/2016	11/03/2016	18,19
47	☒	Montagem de rodas na base do motor	44d?	09/05/2016	11/03/2016	
48		☒ Elaboração do Relatório 2	19d?	11/07/2016	12/01/2016	
49	☒	Elaboração Apresentação Ponto de Controle 2	3d?	11/07/2016	11/09/2016	
50	☒	Integração dos subsistemas	17d?	11/09/2016	12/01/2016	
51	☒	Elaboração do Relatório 3	1d?	12/02/2016	12/02/2016	
52	☒	Elaboração Apresentação Ponto de Controle 3	1d?	12/02/2016	12/02/2016	

Figura 132 – Cronograma do projeto - Release 2

## Referências

- ABRANTES, T. M. Robos de limpeza doméstico e performance de cobertura de modelagem de limpeza de alguns robôs domésticos em cenários reduzidos. *Universidade da Beira Interior, Portugal*, 2015. Disponível em: <<http://docsslide.com.br/technology/trabalho-de-robotica.html>>. Citado na página 22.
- AHMEDI, A. *Eletrônica de potência*. [S.l.: s.n.], 2006. Citado na página 39.
- BRAUNL, T. *Embedded Robotics: Mobile robot design and applications with embedded systems*. 2. ed. USA: Springer, 2006. Citado na página 40.
- BRÄUNL, T. *Embedded Robotics: Mobile Robot Design and Applications with Embedded Systems*. [S.l.: s.n.], 2006. Citado na página 30.
- CAMPOS, F. C. e. a. Armazenadores de energia. 2014. Citado na página 78.
- CAO, Y.-h.; ZU, J.; LIN, Z.-s. Review of the gyroscope free strap-down inertial navigation system. *Journal of Test and Measurement Technology*, CHINESE SOCIETY OF MODERN TECHNICAL EQUIPMENT NORTH CHINA INSTITUTE OF TECHNOLOGY, v. 18, p. 269–273, 2004. Citado na página 42.
- CHEN, J.-H.; LEE, S.-C.; DEBRA, D. B. Gyroscope free strapdown inertial measurement unit by six linear accelerometers. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, v. 17, n. 2, p. 286–290, 1994. Citado na página 43.
- FREAKS, E. Ultrasonic ranging module hc - sr04. Disponível em: <<http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>>. Citado na página 31.
- KUMKAR, V. et al. Vulnerabilities of wireless security protocols (wep and wpa2). 2003. Disponível em: <<http://ijarcet.org/wp-content/uploads/IJARCET-VOL-1-ISSUE-2-34-38.pdf>>. Citado na página 44.
- LAYTON, J. Como funciona o aspirador-robô. 2015. Disponível em: <<http://casa.hsw.uol.com.br/aspirador-robo.htm>>. Citado na página 28.
- LEE, N. Y. C. G. *Low-cost dual rotating infrared sensor for mobile robot swarm applications*. *Industrial Informatics*. [S.l.]: IEEE Transactions on, v. 7, 2011. Citado na página 32.
- MELLO, C. A. *SISTEMA DE CONTROLE I*. [s.n.], 2016. Disponível em: <<http://www.cin.ufpe.br/~cabm/servo/Aula00.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 37.
- Newton Braga. *Como funcionam os encoders*. 2016. Acessado em 07 de novembro de 2016. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 41.
- RAILS. Rails. Disponível em: <<http://rubyonrails.org/>>. Citado na página 108.
- RAMOS, A. Mvc – afinal, é o quê ? Disponível em: <<http://tableless.com.br/mvc-afinal-e-o-que/>>. Citado na página 108.

SANTOS, N. P. Supercondensadores – o que são? como funcionam? 2014. Citado na página 79.

TECHTUDO. *Os principais robôs com função aspirador de pó do Brasil*. 2016. Disponível em: <<http://www.techtudo.com.br/listas/noticia/2015/12/lista-traz-os-principais-robos-com-funcao-aspirador-de-po-do-brasil.html>>. Citado na página 13.

VISHAY. Reflective optical sensor with transistor output. Disponível em: <<http://www.vishay.com/docs/83760/tcr5000.pdf>>. Citado na página 33.