

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- 68
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

Listas de ilustrações

Figura 1 – Aspirador de Pó Compacto Home UP.	10
Figura 2 – Aspirador de pó Ecovacs Beebot D35.	11
Figura 3 – Aspirador de Pó robô Fun Clean.	11
Figura 4 – Aspirador de Pó Ropo Glass.	12
Figura 5 – Aspirador de pó robô Deboot 4.	12
Figura 6 – Aspirador de pó Ecovacs D63.	13
Figura 7 – Aspirador Roomba 620 iRobot.	13
Figura 8 – Estrutura Analítica do Projeto do R2-PI2.	14
Figura 9 – Bateria de 14.4v.	19
Figura 10 – Bateria de 12.4v.	19
Figura 11 – Bateria de 18v.	20
Figura 12 – Rascunho da estrutura - Solução 1	22
Figura 13 – Kit motor redução.	23
Figura 14 – Roda do tipo esfera.	23
Figura 15 – Estrutura circular de integração dos subsistemas.	24
Figura 16 – Conectores magnético modelo Sony Xperia.	26
Figura 17 – Estrutura da base de recarga.	26
Figura 18 – Demonstração da equação da continuidade, equação que descreve a conservação de massa do escoamento.	28
Figura 19 – Simulação do Ansys com o fluxo de massa de um cooler comercial.	29
Figura 20 – Esquema de funcionamento do sensor de obstáculos por IR (infravermelho).	31
Figura 21 – Arduíno Mega.	32
Figura 22 – Módulo WiFi ESP8266	33
Figura 23 – Raspberry Pi 2 B.	34
Figura 24 – Diagrama de blocos do sistema de controle do R2-PI2. Fonte (MELLO, 2016).	35
Figura 25 – Configurações da Ponte H.	36
Figura 26 – Ponte H.	36
Figura 27 – Sistema de funcionamento de um encoder absoluto.	38
Figura 28 – Módulo encoder.	39
Figura 29 – Arquitetura de comunicação do sistema	39
Figura 30 – Interfaface Home.	41
Figura 31 – Interfaface Comando.	41
Figura 32 – Interfaface Histórico.	42
Figura 33 – Interfaface Programação.	42

Figura 34 – Tempo de resposta do servidor.	43
Figura 35 – Diagrama arquitetural do sistema R2-PI2.	50
Figura 36 – Estrutura analítica de riscos.	54
Figura 37 – Riscos identificados 1.	56
Figura 38 – Riscos identificados 2.	56
Figura 39 – Riscos identificados 3.	57
Figura 40 – Qualificação dos riscos.	58
Figura 41 – Processo geral de desenvolvimento da solução.	63
Figura 42 – Processo metodológico de desenvolvimento da solução.	65
Figura 43 – Cronograma do projeto	67

Lista de tabelas

Tabela 1 – Descrição do Problema	9
Tabela 2 – Equipe do projeto R2-PI2	16
Tabela 3 – Equipe - Áreas de atuação	16
Tabela 4 – Requisitos do sistema	18
Tabela 5 – Propriedades mecânicas do alumínio. Adaptado de Shockmetais	23
Tabela 6 – Especificação motor de redução	24
Tabela 7 – Especificações roda tracionada	24
Tabela 8 – Valores de propriedades mecânicas do Acrílico	25
Tabela 9 – Valores das propriedades mecânicas do PVC.	25
Tabela 10 – Padrões de comunicação - Servidor-Robô	48
Tabela 11 – Padrões de comunicação - Robô-Servidor	49
Tabela 12 – Matriz de probabilidade de riscos do R2-PI2.	53
Tabela 13 – Matriz de impacto de riscos.	53
Tabela 14 – Matriz de probabilidade e impacto.	54
Tabela 15 – Legenda matriz de probabilidade	54
Tabela 16 – Resposta aos riscos.	59
Tabela 17 – Custos eletrônica.	60
Tabela 18 – Estrutura chassi - solução 1	60
Tabela 19 – Estrutura chassi - solução 2	61
Tabela 20 – Custos base.	61
Tabela 21 – Custos da alimentação do sistema	61

Lista 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

Sumário

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Problema Geral	9
1.1.1	Problemas Específicos	9
1.2	Pesquisa de Mercado	10
1.3	Proposta	14
1.4	Objetivo Geral	15
1.4.1	Objetivos Específicos	15
1.5	Equipe e Responsabilidades	15
1.5.1	Política de Comunicação da Equipe	17
1.6	Organização do Trabalho	17
2	SOLUÇÃO PROPOSTA	18
2.1	Requisitos do sistema	18
2.2	Alimentação	18
2.3	Navegação	20
2.4	Estrutura e Locomoção do robô	21
2.4.1	Solução 1	21
2.4.2	Solução 2	22
2.5	Estrutura da Base de Recarga	25
2.5.1	Solução	25
2.6	Sucção	26
2.6.1	Solução	27
2.7	Sensoriamento	29
2.7.1	Contextualização	29
2.7.2	Instrumentação	29
2.7.2.1	Medição de distância	30
2.7.2.2	Medidor de Bateria	31
2.7.3	Hardware para Comunicação	32
2.7.3.1	ATMega 2560	32
2.7.3.2	Módulo de WiFi	33
2.7.3.3	Raspberry Pi	34
2.7.4	Controle	34
2.7.4.1	Sistema de Controle do R2-PI2	34
2.8	Comunicação	39
2.8.1	Base de recarga	40

2.9	Interface	40
3	IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO	43
3.1	Navegação	43
3.1.1	Running	44
3.1.2	De volta à base (Back)	44
3.2	Sensoriamento	44
3.2.1	Instrumentação	44
3.2.1.1	Controle de distância	44
3.2.1.2	Monitoramento da bateria	44
3.2.2	Controle	47
3.3	Comunicação	47
3.3.1	Hardware	48
3.3.2	Software	48
3.4	Arquitetura do Sistema de Software	49
4	PLANO DE GERENCIAMENTO DE RISCOS	52
4.1	Processo de Gerenciamento de Riscos	52
4.2	Responsabilidade dos Riscos da Equipe do Projeto	52
4.3	Probabilidade e Impacto de Riscos	53
4.3.1	Matriz de Risco e Probabilidade	53
4.3.2	Matriz de Impacto dos Riscos	53
4.4	Planejamento de Resposta aos Riscos	53
4.5	EAR (Estrutura Analítica de Riscos)	54
4.6	Identificação dos Riscos	55
4.7	Análise Qualitativa dos Riscos	57
4.8	Controle e mudança de riscos	58
4.9	Plano de Resposta aos Riscos	58
5	PLANEJAMENTO FINANCEIRO	60
6	METODOLOGIA	63
6.1	Metodologia	63
6.1.1	Cronograma	66
	REFERÊNCIAS	68

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

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

1.1.1 Problemas Específicos

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

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

1.2 Pesquisa de Mercado

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

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

O aspirador de pó inteligente tem um design compacto que permite entrar embaixo de sofás e camas, para remover a poeira. A opção tem armazenamento de até 400 ml com saco coletor e oferece escovas laterais. O aparelho funciona por bateria recarregável e está disponível na cor preto. 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.

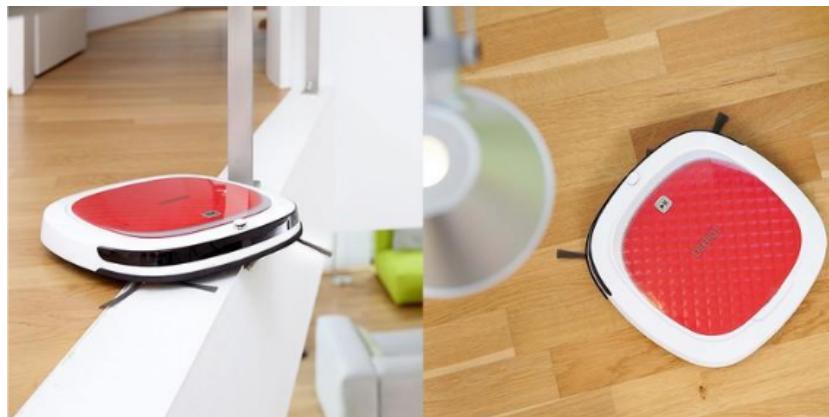


Figura 2 – Aspirador de pó Ecovacs Beebot D35.

- **Aspirador de Pó robô Fun Clean:**

O aspirador inteligente da Fun Clean tem funções programáveis para limpeza automática, é equipado com controle remoto, sensores para evitar quedas e bateria recarregável na base. O design circular na cor vermelha oferece luzes e tem funcionamento bivolt. A garantia é de 3 meses e nas dimensões estão 340 x 340 x 90 mm, com peso de 2,8 kg. Sobre o preço, o aparelho pode ser encontrado a partir de R\$ 991 em lojas online nacionais.



Figura 3 – Aspirador de Pó robô Fun Clean.

- **Aspirador de Pó Ropo Glass:**

A opção da Ropo Glass também oferece funções smarts para ajudar na limpeza da casa. Está disponível controle remoto e limpeza programável, podendo ser usado em diferentes tipos de piso como madeira, cerâmicos e até carpetes. Por dentro está uma bateria recarregável que dura cerca de 2 horas, lâmpada UV de esterilização, painel touch iluminado e sensores para evitar batidas e quedas. Nas medidas estão

500 x 320 x 160 mm com peso de 3,1 kg. A garantia é de 6 meses e o preço a partir de R\$ 1.393 em lojas online na cor preto.



Figura 4 – Aspirador de Pó Ropo Glass.

- **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.

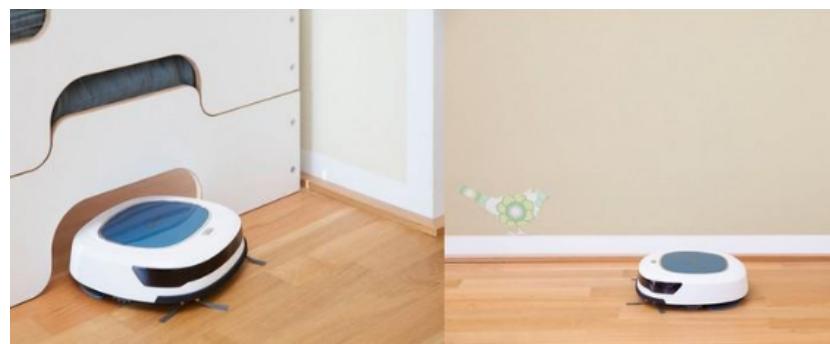


Figura 5 – Aspirador de pó robô Deboot 4.

- **Aspirador de pó Ecovacs D63:**

O modelo D63 da Ecovacs vem recursos extras no aspirador de pó inteligente, com filtro antibactericida e detectores inteligentes de poeira e anti-choque. O usuário consegue programas horário da limpeza e tem quatro modos automáticos, para todo

o local, ambientes específicos ou cantos. Permite uso em piso de madeira cerâmica, mármore e carpete, com dimensões de 340 x 340 x 100 mm e peso de 2,7 kg. O modelo tem preço a partir de R\$ 1.872 em lojas online.



Figura 6 – Aspirador de pó Ecovacs D63.

- **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 7 – 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 para o mesmo. 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 8, destacando os entregáveis e seus subsistemas ao longo de todo o projeto.

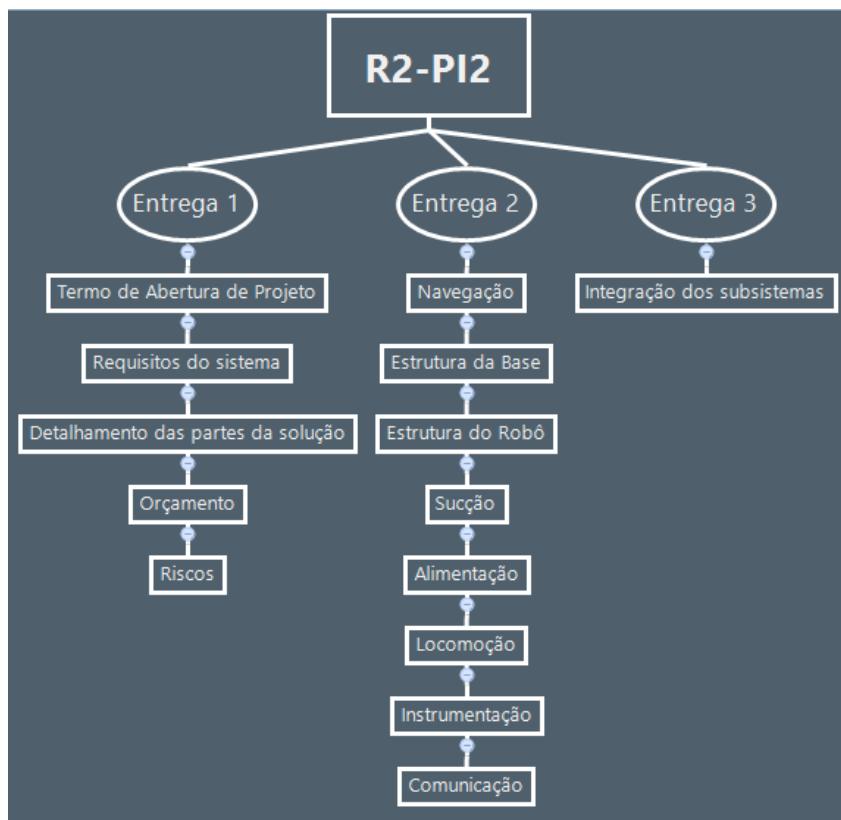


Figura 8 – Estrutura Analítica do Projeto do R2-PI2.

A primeira entrega trata basicamente do gerenciamento do projeto. Tal etapa é de suma importância para o andamento do projeto, visto que nela será definida a solução para o problema exposto, assim como os requisitos necessários para atingir tal objetivo com total eficiência.

Vale observar que, analisando a EAP, fica evidente como foi feita a separação dos

subsistemas do produto final (a ser obtido na Entrega 3). O desmembramento facilita o trabalho ao longo do curso do projeto. Porém vale lembrar que os subsistemas, mesmo produzidos separadamente, devem andar 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.

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

Como estamos trabalhando com áreas de conhecimento distintas, vê-se a necessidade de buscar maneiras que possam garantir maior equilíbrio de conhecimento na equipe, seja relacionado ao processo de desenvolvimento ou à áreas específicas de cada sub-sistema. Com este objetivo, adotamos o papel de *Scrum master* como um facilitador 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 de uma *sprint*, ou seja, 2 (duas) semanas.

A distribuição das responsabilidades em relação ao desenvolvimento da solução estão de acordo com a Tabela 3, onde estão destacados os sub-sistemas presentes na solução.

Tabela 3 – Equipe - Áreas de atuação

Eletrônica	Sensoriamento
	Comunicação
Software	Navegação
	Interface
Energia	Alimentação
	Estrutura
Automotiva e Aeroespacial	Locomoção
	Sucção

1.5.1 Política de Comunicação da Equipe

Para a comunicação do grupo foram escolhidas algumas ferramentas de comunicação para facilitar a organização do grupo. De maneira informal foi adotado o aplicativo *Whatsapp*. Como foi adotado o *Scrum*, para o gerenciamento do projeto, está sendo utilizado o *Trello*¹ para organizar todas as atividades a serem feitas e registrar as que já estão prontas, utilizando a técnica de Kanban. Para compartilhar e editar documentos para os pontos de controle foi criada uma pasta no *Google Drive*².

A última ferramenta para a comunicação do grupo é a plataforma *Slack*³, que funciona como um chat, podendo criar canais de comunicação que apenas os interessados no assunto entram no canal facilitando a troca de informações sobre determinado assunto ou sobre determinada parte do projeto. Além do canal geral com todos os integrantes onde ocorre a discussão com o grupo todo, um canal criado no *Slack* e bastante importante é o *daily*, onde cada um deve, diariamente, descrever o que fez no dia para o Projeto, para facilitar o controle do grupo.

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 sub-sistemas 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 2.9, 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 4.9. Ao fim, é apresentado o processo de desenvolvimento do projeto, assim como a metodologia adotada pela equipe, na seção 6.1.1.

¹ www.trello.com

² www.drive.google.com

³ www.slack.com

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 regarga 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 sub-sistemas 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

<i>Requisitos Gerais</i>	<i>Requisitos Específicos</i>
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 meta desenvolver 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, sendo que a mais usual seria a utilização de baterias, que podem ser sintetizadas como um conjunto de pilhas responsável por transformar energia química em energia elétrica, por meio de duas placas de composição diferente, chamadas eletrodos, sendo sempre um positivo e um negativo.

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. Buscando as alternativas disponíveis dentro desse universo nos deparamos com a opção das baterias NIMH, que apresenta uma gama com alguns modelos disponíveis e com valores variáveis de tensão e corrente.

A recarga dessas baterias varia de acordo com a potência fornecida por cada uma, no entanto alguns fabricantes produzem carregadores que retiram a tensão alternada de 220v, 60Hz para a tensão contínua da bateria escolhida. O manual do carregador informa o tempo máximo de recarga de 45 minutos para o modelo mais potente de bateria, número esse que pode ser de apenas 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 9 – Bateria de 14.4v.



Figura 10 – Bateria de 12.4v.



Figura 11 – Bateria de 18v.

Uma outra alternativa para suprir a alimentação do aspirador seria o uso de supercapacitores. Tal opção oferece um valor consideravelmente maior de ciclos de carga (10 000 contra 400-6000), além um tempo de recarga muito reduzido se comparado com as baterias. Entre os fatores desfavoráveis pode-se citar a fragilidade, que acarreta em um maior cuidado no manuseio, o elevado custo de mercado além da falta de informações técnicas obtidas até o momento.

2.3 Navegação

A solução referente à navegação possui enfoque principal no algoritmo de controle que trabalhará a trajetória a ser percorrida, a identificação de obstáculos e replanejamento da trajetória e a lógica de controle para retorno à base. Diversas possibilidades foram estudadas e analisadas, desde o planejamento de rota partindo com formato espiral, até trajetórias aleatórias com simples desvios de obstáculos.

A partir e comparações e estudo de concorrentes, como o robô *Roomba*¹, 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.

¹ <https://www.irobot.com.br/>

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.

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 ligaram 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.

Entre esses dois sistemas foi escolhido o segundo pela sua construção ser mais robusta e suporta mais os esforços que será submetido o robô. Um grande problema do primeiro sistema é que a sustentação da estrutura se daria no próprio eixo do motor,

que é de plástico, o que poderia causar a quebra do sistema, já no segundo sistema a sustentação é feita nos eixos, que são feitos de aço.

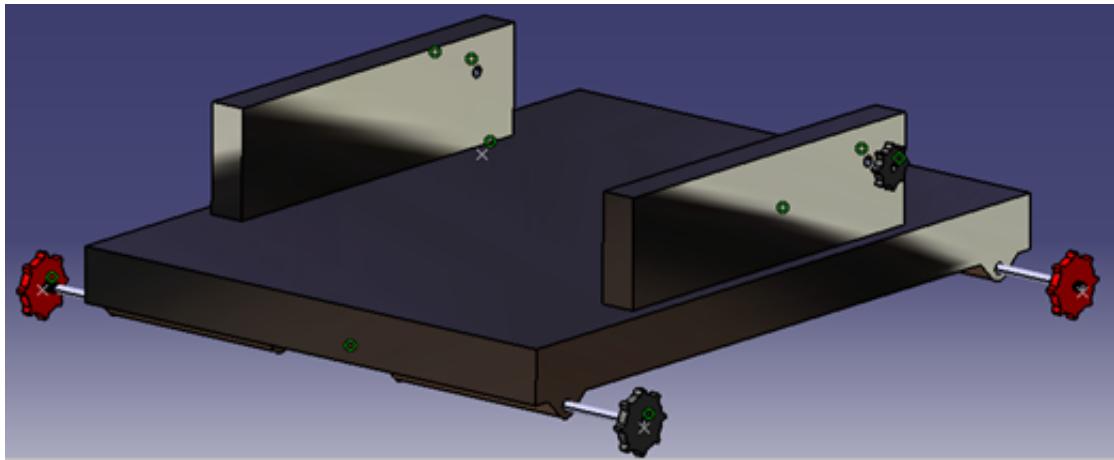


Figura 12 – Rascunho da estrutura - Solução 1

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. Um material que já é utilizado em muitas aplicações pois apresenta boa propriedades é o Alumínio. A tabela a seguir 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.

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 ³)Min	55 95
Limite de Resistência à Tração Mpa(N/mm ³)Max	95 130
Limite de Escoamento Mpa(N/mm ³)Min	15 70
Alongamento Mínimo 50mm (%)	22 3
Dureza Brinnel (HB)	20 26



Figura 13 – Kit motor redução.

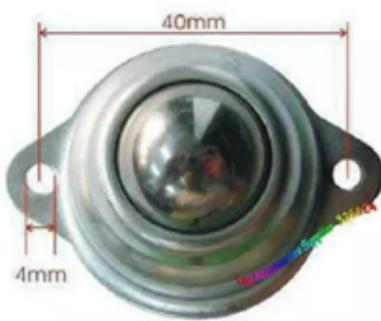


Figura 14 – Roda do tipo esfera.

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

Tabela 6 – Especificação motor de redução

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

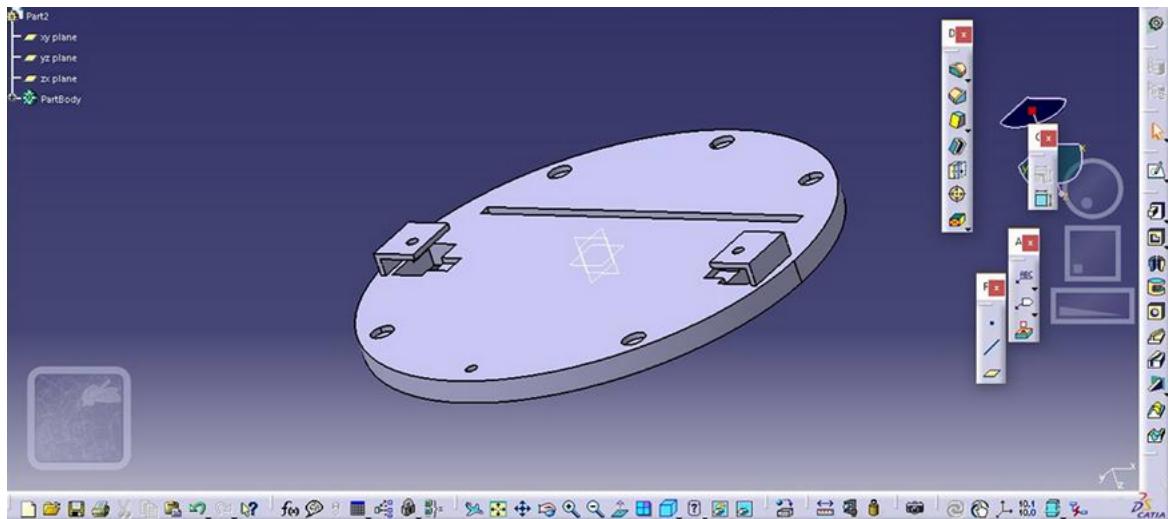


Figura 15 – Estrutura circular de integração dos subsistemas.

Tabela 7 – Especificações roda tracionada

Especificação da Roda	
Material	Roda plástica com pneu de borracha.
Diâmetro externo	65 mm
Largura pneu	26 mm
Diâmetro interno para engate do eixo	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 impactos. O material acrílico (METACRILATO DE METILA) possui (densidade relativa de 1.19 g/cm³), resistente a água e boa resistência segundo a Figura ??:

Tabela 8 – Valores de propriedades mecânicas do Acrílico. Adaptado de [Indac](#).

Mecânicas	Método de Ensaio	Unidade	Valores Chapas Cast	Valores Extrusadas
Resistência à Tração	ISO 527	MPa	min 70	min 60
Resistência à Flexão	ISO 178	MPa	110	110 a 115
<i>Resistência ao impacto Charpy</i>	ISO 179/1fU	KJ/m ²	min 13	min 8
Dureza Rockwell	ISO 2039-2	Escala M	100	90 a 95

Na tabela 9 são apresentados os valores referentes ao PVC.

Tabela 9 – Valores das propriedades mecânicas do PVC.

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

Ambos os materiais apresentam boa resistência à tração e podem ser aplicados ao projeto e irão proteger os circuitos, baterias, motores e outros equipamentos sensíveis em seu interior. A placa de acrílico ou de PVC cortado e usinado para se encaixar na estrutura montada utilizando parafusos e porcas. Os parafusos irão facilitar o trabalho de encaixe e desencaixe da tampa de acrílico para ajustes e limpezas das peças, além de fixar melhor. Se a tampa fosse colada na estrutura não haveria essa possibilidade.

2.5 Estrutura da Base de Recarga

O robô terá uma base de recarga automática responsável pelo guiamento do sistema pelo ambiente, pelo recarregamento da bateria e por abrigar e alimentar o Raspberry Pi que fará os cálculos de movimento do sistema.

2.5.1 Solução

O requisito é que o robô ao identificar que está com bateria baixa irá seguir para a base seguindo o sinal emitido por ela. A estrutura da base não necessita ter grande porte, por ser fixa e possuir menos equipamentos em seu interior. A base terá uma carcaça quadrada de dimensões 250x250x200mm, como se fosse uma caixa e assim como o robô aspirador, será feito em acrílico ou PVC pela leveza, resistência e custo. Como é uma peça de plástico também evitará condução de corrente, mantendo a proteção do usuário contra choques. O conector será do tipo magnético, pois no momento em que for ocorrer

o encaixe entre as peças do conector, esta possa ser feita de modo mais certeiro e ficará na face oposta à que fica apoiada na parede.



Figura 16 – Conectores magnético modelo Sony Xperia.

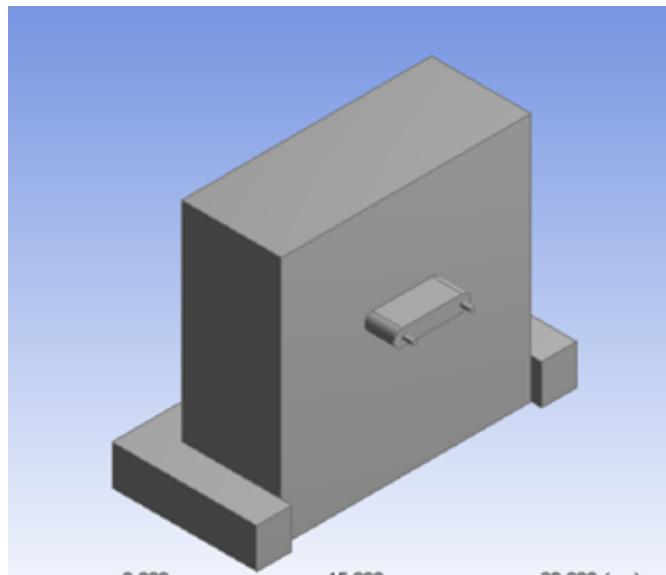


Figura 17 – Estrutura da base de recarga.

2.6 Sucção

Dentro dos principais objetivos, é necessário construir de forma objetiva um aspirador de pó. Deve-se projetar um sistema de sucção eficiente para que sugue desde de partículas de poeiras a resto de alimentos, estudo da dinâmica do processo, ou seja, o fluxo de ar dentro do motor do aspirador. Há dois tipos principais de modelos para ser utilizado em aspiradores de pó, um é o mais clássico utilizando ventiladores controlados por motores elétricos fazendo com que a pressão no interior do motor seja menor que a do ambiente e a diferença de pressão force o ar a entrar no aspirador seguindo até encontrar uma saída. Um filtro é colocado antes do ventilador para que seja separado a poeira do ar. O outro tipo é chamado de ciclone e não necessita de um filtro, pois pelo mesmo princípio da diferença de pressão o ar é sugado mas segue em uma trajetória helicoidal em torno de um cone e por efeito de força centrípeta a poeira é jogada para as paredes do aspirador e

depois se depositam do inferior do aspirador onde são removidas, enquanto o ar percorre na direção contrária. (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 succão, 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 m³/h, que serão colocados lado a lado dentro de um sistema hermeticamente fechado.

A geometria do sistema busca diminuir a área de escoamento para aumentar a velocidade do fluído na ponta de succão, utilizando do principio 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.

O dispositivo de succão da poeira está baseado na predição fornecida pela Equação da Continuidade. A equação descreve que o fluxo de massa que entra no sistema e o que sai no sistema é igual, de forma que a diminuição da seção transversal da tubulação causa um aumento da velocidade do escoamento, que por sua vez vai ter uma capacidade maior de arrastar partículas para dentro do sistema. Por sua vez, uma velocidade maior em um escoamento causa uma diminuição da pressão pelo princípio de Bernoulli e essa variação da pressão causa uma força que auxilia a aspiração de partículas.

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 0,026Kg/s ou cerca de 50 CFM. A simulação mostrou uma velocidade de saída do escoamento de 5 m/s e a velocidade de entrada do ar de 19 m/s.

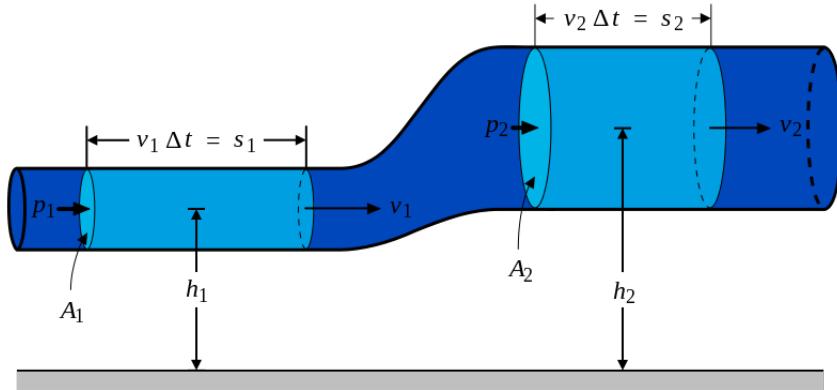


Figura 18 – Demonstração da equação da continuidade, equação que descreve a conservação de massa do escoamento.

$$\frac{v^2}{2} + gh + \frac{p}{\rho} = constante \quad (2.1)$$

ou

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = constante \quad (2.2)$$

v = velocidade do fluido ao longo do condutor

g = aceleração da gravidade

h = altura em relação a um referencial

p = pressão ao longo do recipiente

ρ = massa específica do fluido

Segue a equação da continuidade na sua forma de integral:

$$\frac{dq}{dt} + \iint_s j \cdot dS = \sum \quad (2.3)$$

onde S é qualquer superfície fechada imaginária, com um volume V ;

$\iint_s dS$ se refere a integral de superfície sobre a superfície fechada

q é o amontoado total do volume

j é o fluxo de q

t é o tempo

A análise do fluxo de massa realizada no software *Ansys* está apresentada na Figura 19.

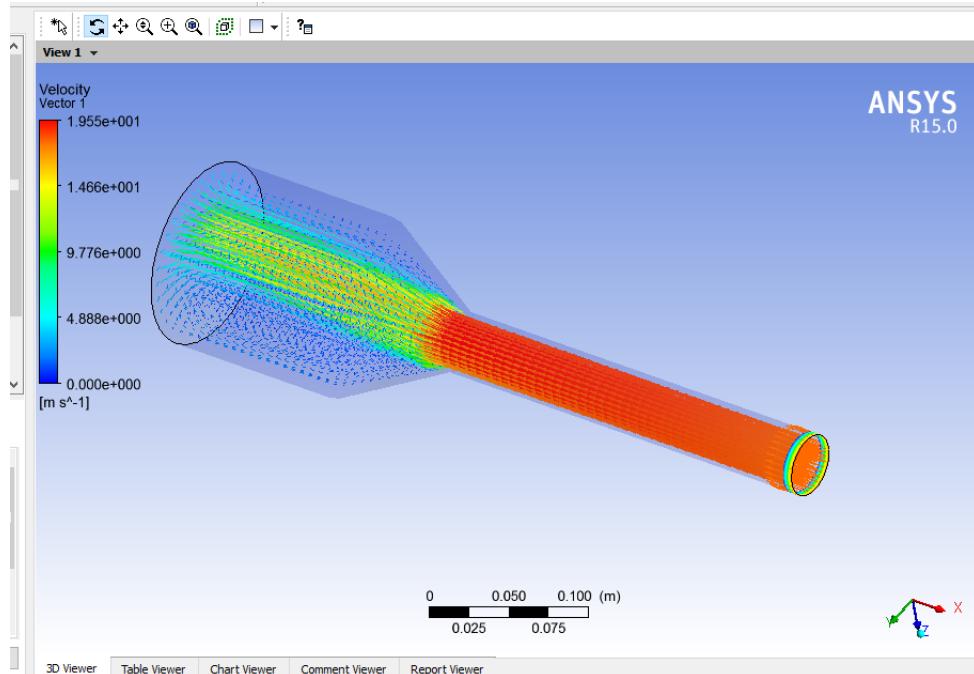


Figura 19 – Simulação do Ansys com o fluxo de massa de um cooler comercial.

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 (Brauml, 2006)(inserir referência). 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.

$$Distância = \frac{tempo\ de\ ida\ e\ volta\ do\ sinal * velocidade\ do\ som}{2} \quad (2.4)$$

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 10 centímetros de distância do robô permitindo que sejam executados movimentos que desviam do objeto com segurança.

(inserir figura ultrassom aqui)

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.

(inserir figura aqui modelo aqui)

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 desníveis ou degraus no percurso do robô a fim de garantir a segurança do protótipo. (LEE, 2007)

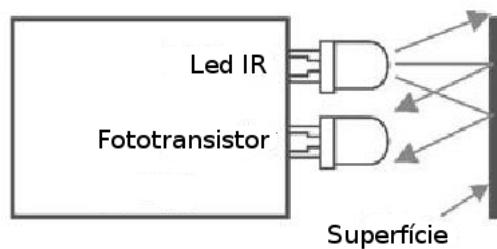


Figura 20 – Esquema de funcionamento do sensor de obstáculos por IR (infravermelho).

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

O aspirador de pó não pode ficar sem bateria no meio da execução da limpeza. Para conferir o nível de bateria, será utilizado um comparador de tensão. De forma que, assim que o medidor verificar que o nível da bateria está ficando muito reduzido, um sinal será enviado ao microprocessador que irá interromper o ciclo de limpeza e enviar o robô para a base de carregamento.

Escolheu-se um circuito comparador que irá comparar a tensão da bateria com até 10 níveis de referência determinados de acordo com a tensão máxima da bateria e o mínimo aceitável para que o robô retorne à base. Essa comparação irá ocorrer por meio de amplificadores operacionais (Amp Op) que irão comparar a tensão que está vindo da bateria com aos níveis de referência. A saída do Amp Op será 1 se o sinal da bateria for maior do que a referência daquele amplificador ou será 0 se o sinal da bateria for menor do que a referência. Para tornar visível o nível da bateria, na saída de cada comparador será adicionado um LED.

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.

2.7.3 Hardware para Comunicação

A parte de comunicação tem como objetivo coletar informações vindas dos sensores já apresentados, interpreta-las e envia-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:

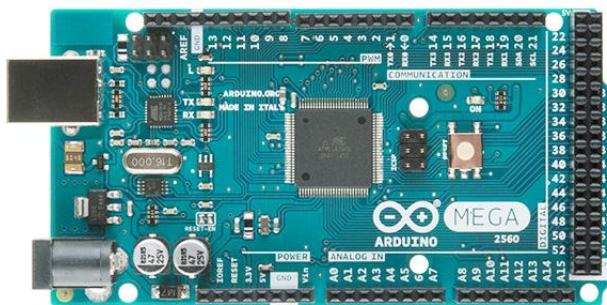


Figura 21 – Arduíno Mega.

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 a rede sem fio, para isso utilizaremos o módulo WiFi ESP8266, ilustrado na figura 22.

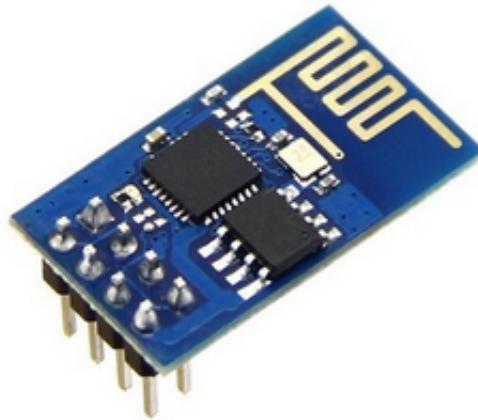


Figura 22 – Módulo WiFi ESP8266

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 23 – 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^a
- Dimensões: 85 x 56 x 17 mm

Com esse 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 24 apresenta o diagrama de blocos para o sistema em malha fechada do controle do R2-P12.

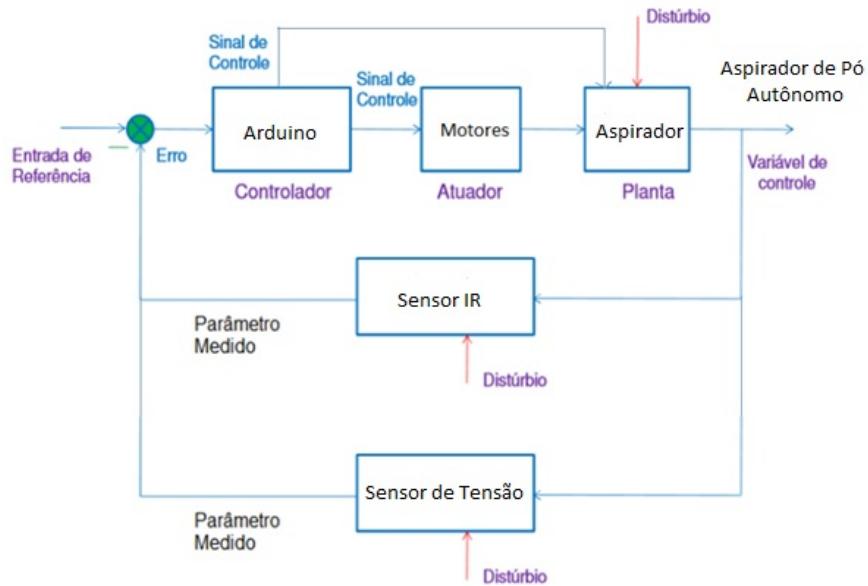


Figura 24 – Diagrama de blocos do sistema de controle do R2-PI2. Fonte ([MELLO, 2016](#)).

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 sensores IR configurados como detectores de proximidade, na parte frontal e lateral do aspirador, evitando possíveis colisões com obstáculos em seu caminho, e embaixo dele 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.

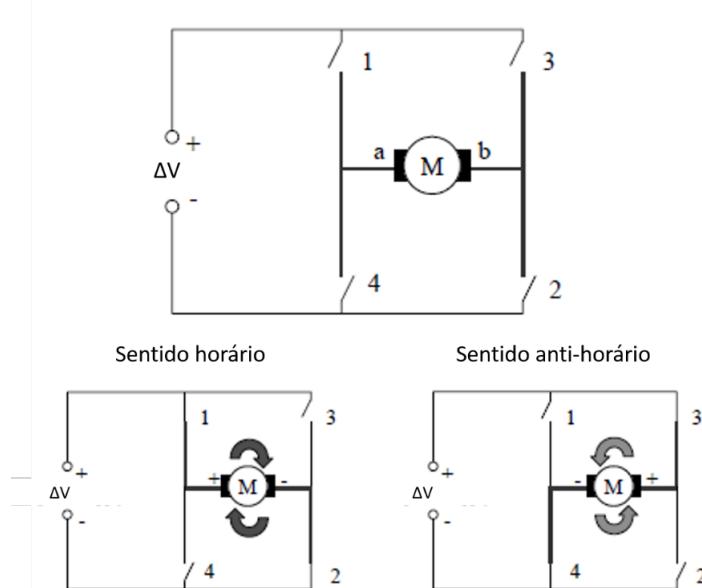
Será monitorado também, o nível de bateria do robô, quando ele estiver abaixo de um limite que será estabelecido, o controlador enviará um sinal para que o robô possa então retornar para a base e carregar sua bateria. Os componentes envolvidos nessa área são apresentados a seguir.

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, gerando campos magnéticos com intensidade e sentidos opostos. A configuração mais utilizada para

controlar a corrente nesse projeto é um driver em ponte H (INOUE e OSUKA, 2004).

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 25.



A princípio a ponte H escolhida segue o modelo apresentado na Figura 26.

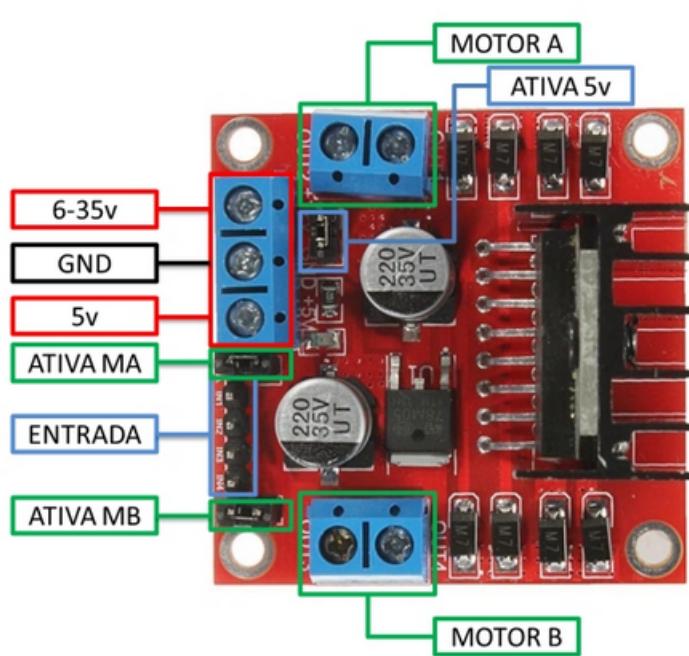


Figura 26 – Ponte H.

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

$$V_0 = \frac{T_{on} \cdot V_i}{T} \quad (2.5)$$

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:

$$P = V_0 \cdot I_0 \quad (2.6)$$

Sendo P a potência de saída, V_0 a tensão de saída e I_0 a corrente de saída. Portanto a partir das equações anteriores pode-se afirmar que:

$$V_0 = V_i \cdot d \quad (2.7)$$

onde:

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

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

$$I_0 = \frac{d \cdot V_i}{R} \quad (2.8)$$

E a potência de saída é dada por:

$$P_0 = \frac{(D \cdot V_i)^2}{R} \quad (2.9)$$

Considerando-se uma carga totalmente resistiva, pode-se controlar a potência entregue de maneira proporcional a largura de pulso ao quadrado.

Deve-se observar a frequência de trabalho, para não ultrapassar os limites do hardware de potência em casos onde há carga indutivas, como motores, é necessário pulsar uma frequência que faça a corrente estável para uma mesma largura de pulso, suavizando assim o movimento do motor.

3. Encoder:

Os encoders são sensores acoplados no motor para medir a velocidade e posição angular de acordo com a rotação sensoriada por ele. A especificação dos encoders absolutos são medidas em contagem por rotação, CPR, pois de acordo com o número de divisões do encoder e o tamanho da roda conhecem as velocidades, angular e linear, e também a trajetória percorrida ([BRAGA](#),).

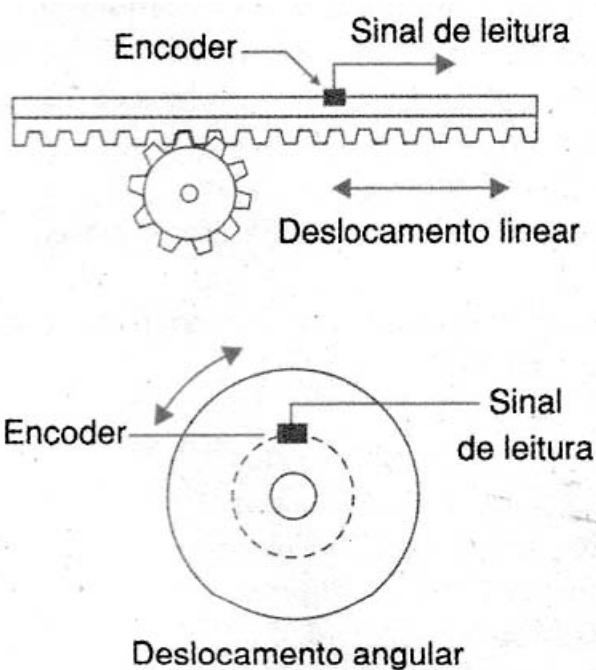


Figura 27 – Sistema de funcionamento de um encoder absoluto.

A posição relativa do aspirador de pó é uma variável muito importante para a navegação e localização que pode ser medida através do uso de encoders [3]. Fixado junto ao motor, o encoder rotacional irá medir a quantidade de rotações do motor e, portanto, possibilitar a obtenção de informações sobre a velocidade angular e posição relativa.

Para esse projeto escolheu-se o módulo encoder P17, mostrado na figura 28, que realiza a leitura do sentido do giro e pode ser integrado ao Arduíno.



Figura 28 – Módulo encoder.

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 29, é possível observar de maneira clara os módulos que deverão se comunicar para garantir o funcionamento do sistema como um todo.

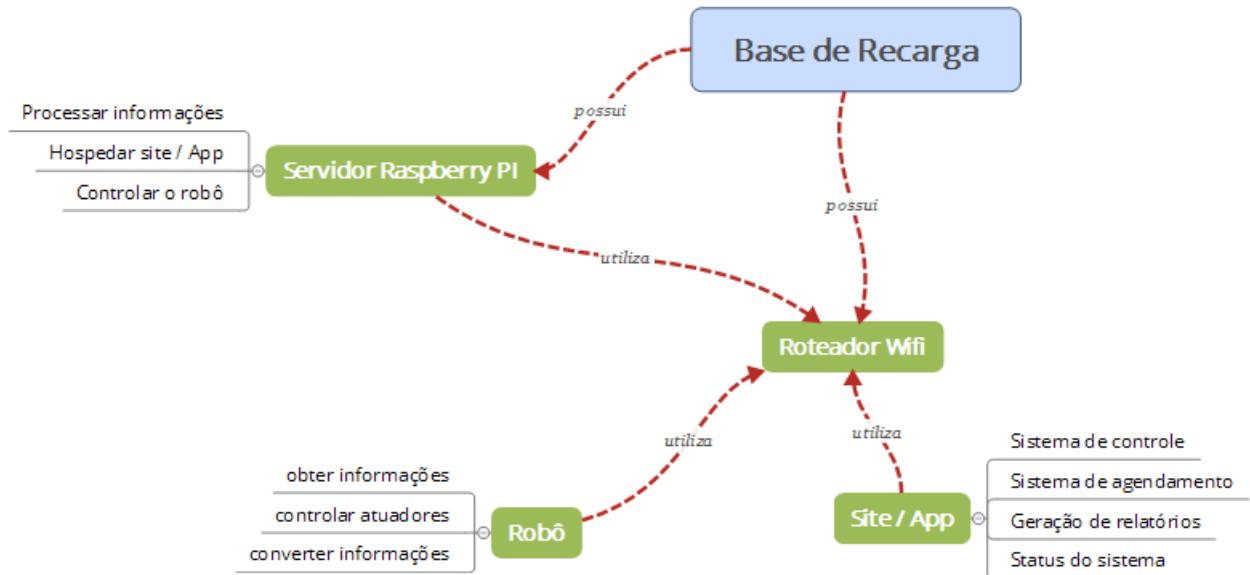


Figura 29 – Arquitetura de comunicação do sistema

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.

Tendo em vista isso o aspirador terá uma plataforma web que contará com uma interface amigável e intuitiva facilitando o acesso à diferentes dados e funções. Essa plataforma será responsiva, isto é, se adaptará automaticamente à largura de tela do dispositivo no qual ele estará sendo visualizado. Assim o sistema se comportará como ponte entre o usuário e o aspirador.

Para essa primeira entrega foi construído um protótipo de médica fidelidade com a ferramenta [Justmind](#). As figuras abaixo mostram os primeiros protótipos:



Figura 30 – Interfaface Home.

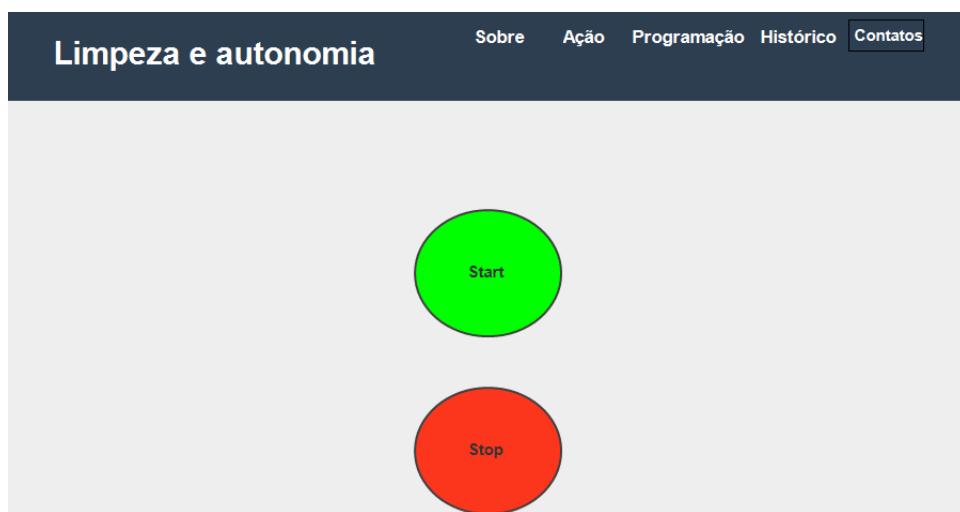


Figura 31 – Interfaface Comando.

Limpeza e autonomia

Sobre Ação Programação Histórico Contato

Histórico de atividades



Figura 32 – Interfaface Histórico.

Limpeza e autonomia

Sobre Ação Programação Histórico Contatos

Programação de limpezas



Figura 33 – Interfaface Programação.

3 Implementação da Solução

Este capítulo tem como objetivo apresentar o detalhamento da implementação dos sub-sistemas 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.

3.1 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 34.

```
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 34 – 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.

3.1.1 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 3 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.

A utilização de *encoders* é necessária para minimizar a margem de erro na angularização de curvas e distâncias percorridas. Porém, sua utilização está suspensa durante esta segunda fase do projeto, sendo implementado apenas na terceira etapa, fase de integração dos sub-sistemas.

3.1.2 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.

3.2 Sensoriamento

Inserir texto introdutorio...

A parte do projeto de eletrônica responsável pela comunicação será apresentada na sessão [3.3.1](#).

3.2.1 Instrumentação

Apresentar aqui os detalhes de do projeto de instrumentação.

3.2.1.1 Controle de distância

3.2.1.2 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 [leds].

(inserir figura aqui)

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

$$\frac{\text{Tensão máxima} - \text{tensão mínima}}{5} \quad (3.1)$$

Substituindo os valores em 3.1, temos:

$$\frac{100 - 66}{5} = 6,8 \quad (3.2)$$

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 (4750mA - 836mA) 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.

(inserir figura divisor de tensão)

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

$$V_{out} = \frac{Rb * Vin}{Ra + Rb} \quad (3.3)$$

Sabendo que $V_{out} = 0,66 * Vin$, substituimos V_{out} na equação 3.3:

$$0,66 * Vin = \frac{Rb * Vin}{Ra + Rb} \quad (3.4)$$

Que resulta em:

$$0,66 * Ra + 0,66 * Rb = Rb \quad (3.5)$$

Se $Rb=10K\Omega$, substituimos na equação 3.5 e obtemos:

$$Ra = \frac{10K - 0,66 * 10K}{0,66} = 5K \quad (3.6)$$

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:

$$R3 = R4 = R5 = R6 = R7 = 1K \quad (3.7)$$

$$R8 = 10K \quad (3.8)$$

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.

(inserir figura da simulação)

Para verificar continuamente 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 compararam os sinais das entradas positiva 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 lógico baixo.

Assim, se for montado um circuito tendo a tensão da bateria nas entradas não inversoras (+), as saídas do divisor de tensão (tensões 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.

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 geral um sinal constante de 12.6V apenas para servir como referência do divisor. Sabendo que o Arduino Mega 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 arduino no medidor de bateria.

Sabendo que a tensão de saída do novo resistor (V_{out2}) deve ser 5V e que a tensão de entrada (V_{in2}) é de 12.6V as resistências (R_c e R_d) utilizadas podem ser calculadas pela seguinte expressão:

$$V_{out2} = \frac{R_c * V_{in2}}{R_c + R_d} \quad (3.9)$$

Substituindo os valores em 3.9, temos:

$$5 = \frac{R_c * 12.6}{R_c + R_d} \Rightarrow 7.6 * R_c = 5 * R_d \quad (3.10)$$

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

$$R_d = \frac{7.6}{5} = 1.5K \quad (3.11)$$

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.

(inserir figura da simulação)

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

(inserir figura)

3.2.2 Controle

Apresentar aqui os detalhes de controle...

3.3 Comunicação

Com o objetivo de detalhar com maior clareza a implementação do sistema de comunicação do projeto, este detalhamento ocorrerá de maneira *bottom-up*, apresentando toda a especificação técnica dos equipamentos de *hardware* utilizados na solução,seguido da especificação em nível de *Software*.

3.3.1 Hardware

Apresentar aqui os detalhes de hardware utilizados para comunicação.

3.3.2 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 10 apresenta os padrões já definidos e implementados no sistema em relação a comunicação do servidor para o robô.

Tabela 10 – Padrões de comunicação - Servidor-Robô

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

Já na tabela 11 estão apresentados os padrões referentes a comunicação do robô para o servidor.

Tabela 11 – 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 45	Bateria 45%
P 42	Potência do sinal wifi: 42

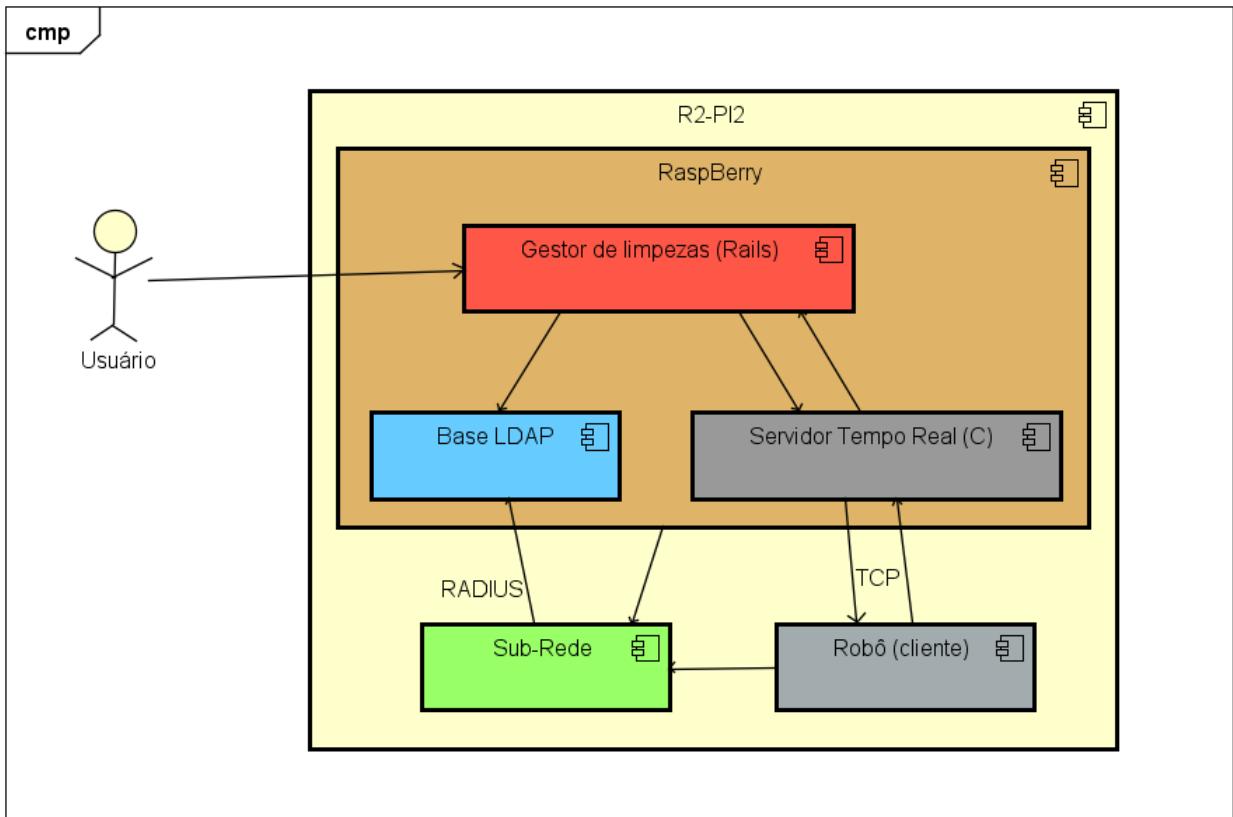
Com a utilização destes padrões de comunicação, ficou fácil implementar um *portfólio* de cada lado que seja capaz de distribuir as informações para seus respectivos contextos. Esta é a estratégia básica de comunicação entre os dois módulos, mas para isso, uma estrutura foi inicialmente desenvolvida.

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 3.4 regista de maneira clara o funcionamento do sistema de comunicação do projeto.

3.4 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 35.



powered by Astah

Figura 35 – 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).

4 Plano de Gerenciamento de Riscos

O gerenciamento de riscos em um projeto tem como objetivo orientar a equipe do 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 negativos.

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.

4.1 Processo de Gerenciamento de Riscos

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

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

4.2 Responsabilidade dos Riscos da Equipe do Projeto

Os processos de gerenciamento de riscos serão realizados pelo Scrum master de projeto, durante o período, no entanto todos os membros da equipe de desenvolvimento do R2-I2 serão consultados nesse processo para o levantamento de riscos dos sistemas e subsistemas pelos quais estão responsáveis, assim como as formas de controle dos mesmos.

4.3 Probabilidade e Impacto de Riscos

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

4.3.1 Matriz de Risco e Probabilidade

A tabela 12 mostra a matriz de probabilidade dos riscos com uma pontuação para a análise qualitativa.

Tabela 12 – Matriz de probabilidade de riscos do R2-PI2.

Probabilidade	% de certeza
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%

4.3.2 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.

Tabela 13 – Matriz de impacto de riscos.

Custo	Muito baixo (nota 1)	Baixo (nota 2)	Médio (nota 3)	Alto (nota 4)	Muito alto (nota 5)
	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
Tempo	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
Escopo	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

4.4 Planejamento de Resposta aos Riscos

A partir das outras matrizes apresentadas anteriormente, é criada a matriz de probabilidade e impacto. As notas de impacto e probabilidade foram multiplicadas para chegar a uma nota final de risco.

Tabela 14 – 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 15.

Tabela 15 – Legenda matriz de probabilidade

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

4.5 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 40.



Figura 36 – 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.

4.6 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 [37](#), [38](#) e [39](#).

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 37 – 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 38 – 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 39 – Riscos identificados 3.

4.7 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 seguir. 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 40 – Qualificação dos riscos.

4.8 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.

4.9 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 16 – 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

5 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 sub-sistemas, utilizou-se da mesma lógica para determinar o custo dos materiais. O sub-sistema referente a solução de software não possui custo, já que não será necessária a aquisição de nenhum componente.

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

Tabela 17 – Custos eletrônica.

Componente	Quantidade	Preço	Total
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
TOTAL			R\$ 515,59

Em relação a solução da estrutura, duas soluções possíveis estão em estudo, os componentes da primeira solução podem ser observados a partir da tabela 18.

Tabela 18 – Estrutura chassi - solução 1

Componente	Quantidade	Preço	Total
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
TOTAL			R\$ 130,00

já em relação a segunda solução, temos a tabela 19.

Tabela 19 – 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
TOTAL			R\$ 164,55

Em relação aos componentes da base, 20.

Tabela 20 – 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
TOTAL			R\$ 190

Em relação a alimentação do sistema, pode-se observar a tabela 21.

Tabela 21 – Custos da alimentação do sistema

<i>Componente</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Preço</i>	<i>Total</i>
Bateria	1	200-500	200-500
TOTAL		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\$.

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

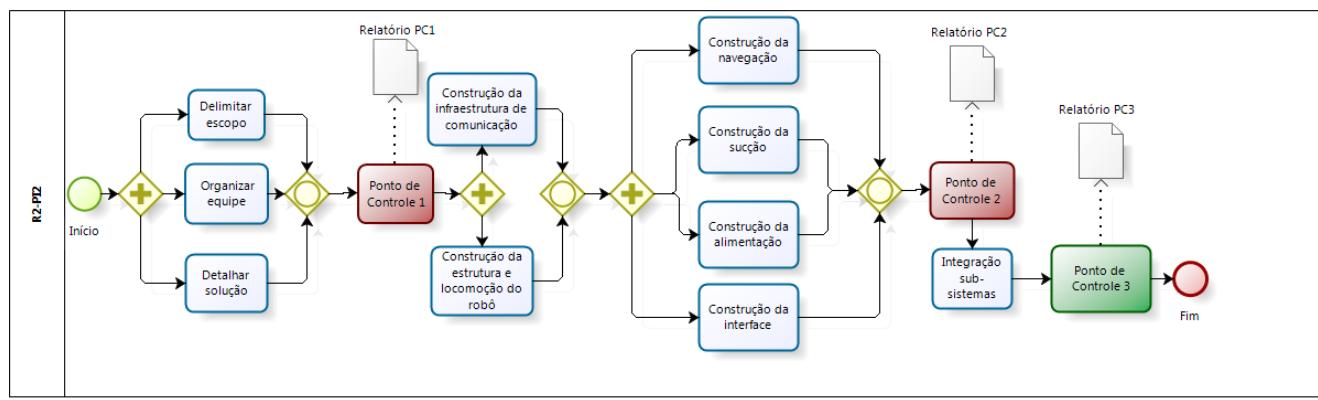
Contudo, integrantes da equipe já possuem diversos componentes necessários para a produção, como rodas, motores, caixas de redução, arduino e raspberry, o que acaba reduzindo bastante o orçamento.

6 Metodologia

6.1 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 41 foi modelado, utilizando a ferramenta *Bizagi Modeler*¹.



Powered by
bizagi
Modeler

Figura 41 – 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:**

¹ <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 sub-sistemas que integrados solucionarão o problema inicial. Cada equipe responsável por determinado sub-sistema deverá identificar soluções viáveis, apresentar a solução mais adequada e detalhar a mesma. Com a união do detalhamento de todos os sub-sistemas, 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 a 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 a alimentação energética do sistema, tanto em relação a 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 sub-sistemas prontos, funcionando separadamente. Envolve a entrega do relatório 2, constando todo o processo de desenvolvimento e a solução utilizada até o momento.

- **Integração sub-sistemas:**

Esta etapa tem como objetivo integrar todos os sub-sistemas 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

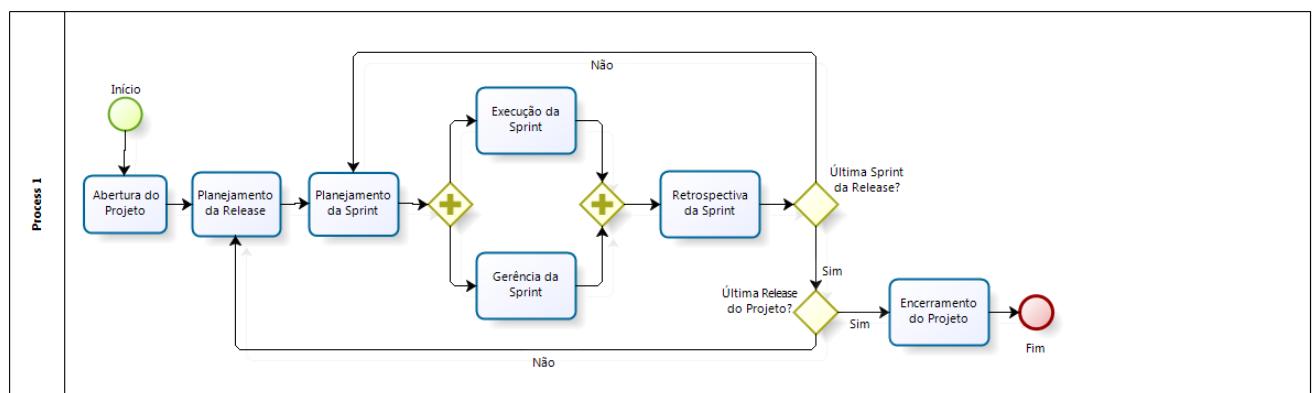


Figura 42 – Processo metodológico de desenvolvimento da solução.

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.

6.1.1 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 43.

		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		Construção da EAP	1d?	08/18/2016	08/18/2016
6		Organização da equipe	1d?	08/18/2016	08/18/2016
7		Definição da política de comunicação da equipe	1d?	08/18/2016	08/18/2016
8		Especificação de requisitos	1d?	08/18/2016	08/18/2016
9		Definição de solução detalhada de Instrumentação	5d?	08/19/2016	08/25/2016
10		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		Definição de solução detalhada de Navegação	5d?	08/19/2016	08/25/2016
13		Definição de solução detalhada de Sucção	5d?	08/19/2016	08/25/2016
14		Definição de solução detalhada de Alimentação	5d?	08/19/2016	08/25/2016
15		Definição de solução detalhada de Interface	5d?	08/19/2016	08/25/2016
16		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		Construção da Instrumentação	30d?	09/05/2016	10/14/2016
22		Construção da Comunicação	30d?	09/05/2016	10/14/2016
23		Construção da Estrutura	30d?	09/05/2016	10/14/2016
24		Construção da Navegação	30d?	09/05/2016	10/14/2016
25		Construção da Sucção	30d?	09/05/2016	10/14/2016
26		Construção da Alimentação	30d?	09/05/2016	10/14/2016
27		Construção da Interface	30d?	09/05/2016	10/14/2016
28		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		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 43 – Cronograma do projeto

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 20.
- AHMEDI, A. *Eletrônica de potência*. [S.l.: s.n.], 2006. Citado na página 37.
- BRAGA, N. C. Conheça o 4051. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/elettronica/52-artigos-diversos/4447-art617>>. Citado na página 38.
- FREAKS, E. Ultrasonic ranging module hc - sr04. Disponível em: <<http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>>. Citado na página 30.
- 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 40.
- LAYTON, J. Como funciona o aspirador-robô. 2015. Disponível em: <<http://casa.hsw.uol.com.br/aspirador-robo.htm>>. Citado na página 27.
- 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, 2007. Citado na página 31.
- 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 35.
- 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 10.
- VISHAY. Reflective optical sensor with transistor output. Disponível em: <<http://www.vishay.com/docs/83760/tcr5000.pdf>>. Citado na página 31.