

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE INFORMÁTICA
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

KALLIL MIGUEL CAPARROZ ZIELINSKI

**APRIMORAMENTO DE UM ROBÔ LUTADOR DE SUMÔ
AUTÔNOMO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2018

KALLIL MIGUEL CAPARROZ ZIELINSKI

**APRIMORAMENTO DE UM ROBÔ LUTADOR DE SUMÔ
AUTÔNOMO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia de Computação do Departamento Acadêmico de Informática - DAINF - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de “Engenheiro em Computação”.

Orientador: Prof. Dr. César Rafael Claire
Torrice

PATO BRANCO

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

Às 15 horas e 50 minutos do dia 03 de dezembro de 2018, na sala V108, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, reuniu-se a banca examinadora composta pelos professores Cesar Rafael Claire Torrico (orientador), Kathya Silvia Collazos Linares e Marcelo Teixeira para avaliar o trabalho de conclusão de curso com o título **Aprimoramento de um Robô Lutador de Sumô Autônomo**, do aluno **Kallil Miguel Caparroz Zielinski**, matrícula 01587366, do curso de Engenharia de Computação. Após a apresentação o candidato foi arguido pela banca examinadora. Em seguida foi realizada a deliberação pela banca examinadora que considerou o trabalho aprovado.

Prof. Cesar Rafael Claire Torrico
Orientador (UTFPR)

Profa. Kathya Silvia Collazos Linares
(UTFPR)

Prof. Marcelo Teixeira
(UTFPR)

Profa. Beatriz Terezinha Borsoi
Coordenador de TCC

Prof. Pablo Gauterio Cavalcanti
Coordenador do Curso de
Engenharia de Computação

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Pró-Reitoria de Graduação e Educação Profissional – PROGRAD, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR pelos recursos referentes ao Edital 012/2018, relacionado a projetos nas áreas de Engenharia destinados à competições nacionais e internacionais, e também ao agradecimento ao Pró-Reitor de Relações Empresariais e Comunitárias - PROREC, pelos recursos relacionados ao edital de Apoio à Execução de Trabalhos de Conclusão de Curso, ambos possibilitaram a compra de diversos materiais referentes ao projeto.

“N3o tenha medo de falhar. Esse 3o o caminho para o sucesso.”

-LeBron James

RESUMO

Zielinski, Kallil M. C.. Aprimoramento de um robô lutador de sumô autônomo. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

A robotização automatizada na produção industrial é um dos fatores fortemente alterados no processo de globalização dos últimos anos. Os robôs, apesar de passarem por manutenções, são mais benéficos para as empresas, pois possuem notável precisão de resultados, maior rapidez de produção, baixos custos de mão de obra, produção ininterrupta, melhor qualidade de finalização, entre outros vários fatores. Pesquisadores em robótica concentram esforços para que os robôs móveis reajam adequadamente ao ambiente, o que abre um vasto campo de novas aplicações e conseqüentemente, muitos desafios. Este projeto detalha o aperfeiçoamento de um robô de sumô autônomo alterando desde sua estrutura mecânica até sua lógica de locomoção, utilizando a teoria de controle supervisorio proposta por Ramadge e Wonham em 1989 para tal, substituindo sensores e atuadores, melhorando o acionamento dos motores e aplicando estratégias de defesa a fim de se obter o melhor resultado possível.

Palavras-chave: Sistemas a Eventos Discretos. Robótica. Automação. Sensores. Motor. Microcontrolador.

ABSTRACT

Zielinski, Kallil M. C.. Enhancement of an autonomous sumo robot fighter. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

The automated robotization in the industrial production is one of the factors that have been strongly altered in the globalization process of the last few years. The robots, even going through maintenance, are more beneficial to the enterprises, because they have remarkable precision of results, faster production, low labor costs, uninterrupted production, better finishing quality, among many other factors. Robotics researchers focus their efforts on mobile robots to react appropriately to the environment, opening a vast field of new applications and consequently many challenges. This project details the improvement of an autonomous sumo robot, changing from its mechanical structure to its logic of locomotion, using the supervisory control theory proposed by Ramadge and Wonham in 1989 for this, replacing sensors and actuators, improving the motor drivers and applying defense strategies in order to obtain the best possible result.

Keywords: Discrete Event Systems. Robotics. Automation. Sensors. Motor. Microcontroller.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– Área de combate dos robôs(Dojô)	16
FIGURA 2	– Exemplo de autômato para uma máquina simples	17
FIGURA 3	– Malha fechada de um SED	19
FIGURA 4	– Placa de desenvolvimento STM32F407VET6	20
FIGURA 5	– Servo motor SG90	21
FIGURA 6	– Motor Banebots RS-550 com caixa de redução 20:1	23
FIGURA 7	– Módulo Bluetooth HC-05	24
FIGURA 8	– Sensor Óptico BA2M-DDT	25
FIGURA 9	– Sensor de faixa QTR-1A	25
FIGURA 10	– Esquemático do circuito interno do sensor QTR-1A	26
FIGURA 11	– Esquema básico de uma ponte H	27
FIGURA 12	– Módulo de acionamento BTN7970	28
FIGURA 13	– Arranjo especial de ímãs Halbach Array	29
FIGURA 14	– Sistema integrado	31
FIGURA 15	– Projeto das rodas	33
FIGURA 16	– Eixo dos motores e devidas dimensões	34
FIGURA 17	– Base e recursos utilizados	35
FIGURA 18	– Face lateral e recursos utilizados	36
FIGURA 19	– Face traseira e recursos utilizados	37
FIGURA 20	– Tampa para fixação das placas de controle	38
FIGURA 21	– Face frontal e recursos utilizados	39
FIGURA 22	– Conjunto de todas as peças montadas	40
FIGURA 23	– Nomenclatura e posicionamento dos sensores e motores do robô	43
FIGURA 24	– Modelagem de inicialização do processo a partir do sinal <i>bluetooth</i>	45
FIGURA 25	– Modelagem do sensor frontal esquerdo p1	46
FIGURA 26	– Modelagem do sensor frontal direito p2	46
FIGURA 27	– Modelagem do sensor lateral esquerdo p3	47
FIGURA 28	– Modelagem do sensor lateral direito p4	47
FIGURA 29	– Modelagem do sensor traseiro p5	47
FIGURA 30	– Modelagem do sensor de faixa esquerdo s1	48
FIGURA 31	– Modelagem do sensor de faixa direito s2	49
FIGURA 32	– Modelagem da especificação de ataque frontal	51
FIGURA 33	– Modelagem da especificação para afastamento da borda do Dojô	52
FIGURA 34	– Modelagem da especificação para tratamento dos sensores de presença não-frontais	53
FIGURA 35	– Modelagem da especificação de coordenação	54
FIGURA 36	– Esquemático da aquisição de dados dos sensores de presença	56
FIGURA 37	– Esquemático da aquisição de dados dos sensores de faixa	57
FIGURA 38	– Esquemático do acionamento dos servo motores	58
FIGURA 39	– Esquemático do circuito de acionamento das pontes H	58
FIGURA 40	– Esquemático do circuito de acionamento do módulo <i>bluetooth</i>	59
FIGURA 41	– Aplicação para monitoramento das transições do supervisor	60

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	– Subcategorias do sumô de robôs da Winter Challenge	15
TABELA 2	– Massa e peso específico dos respectivos metais	41
TABELA 3	– Principais Ligas de alumínio e suas características	42
TABELA 4	– Nome e descrição dos eventos utilizados na modelagem	44
TABELA 5	– Número de estados e transições de cada autômato utilizado	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	11
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo Geral	13
1.2.2 Objetivos Específicos	13
1.3 JUSTIFICATIVA	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 AS COMPETIÇÕES	15
2.2 MODELAGEM E CONTROLE DE SISTEMAS A EVENTOS DISCRETOS	17
2.2.1 Representação de SED por Autômatos	17
2.2.2 Composição de Autômatos	17
2.2.3 Teoria de Controle Supervisório	18
3 MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS	20
3.1 MICROCONTROLADOR STM32F407VET6	20
3.2 SERVO MOTOR SG90	21
3.3 MOTOREDUTOR BANELOTS	22
3.4 MÓDULO BLUETOOTH HC-05	23
3.5 SENSOR FOTOELÉTRICO BA2M-DDT	24
3.6 SENSOR DE REFLETÂNCIA QTR-1A	25
3.7 MÓDULO DE ACIONAMENTO COM DRIVERS BTN7970	26
3.8 BLOCOS MAGNÉTICOS	28
3.9 METODOLOGIA	29
4 DESENVOLVIMENTO	32
4.1 PROJETO DA ESTRUTURA MECÂNICA	32
4.1.1 Rodas	32
4.1.2 Eixo dos motores	33
4.1.3 Base	34
4.1.4 Faces laterais	35
4.1.5 Face Traseira	36
4.1.6 Tampa	37
4.1.7 Face Dianteira	38
4.1.8 Montagem do conjunto	39
4.1.9 Escolha do Material	40
4.2 PROJETO DA LÓGICA DE CONTROLE DE SISTEMAS A EVENTOS DISCRETOS	43
4.2.1 Modelagem de inicialização do processo	45
4.2.2 Modelagem dos sensores de presença	45
4.2.3 Modelagem dos sensores de faixa	48
4.2.4 Modelagem das especificações	49
4.2.5 Composição e síntese	54
4.3 PROJETO DO CIRCUITO ELETRÔNICO	55

4.3.1 Aquisição de dados dos Sensores de Presença	56
4.3.2 Aquisição de dados dos Sensores de Faixa	56
4.3.3 Acionamento dos motores e bandeiras	57
4.3.4 Comunicação e monitoramento via bluetooth	58
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
REFERÊNCIAS	64
Apêndice A – CIRCUITO DE CONTROLE	65

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta o que será estudado e observado durante o desenvolvimento do projeto, iniciando com uma breve introdução aos sistemas de automação, entre eles a robótica, e indicando quais benefícios ela traz no cotidiano, e também comentar os principais aprimoramentos a serem realizados nesse projeto em comparação com trabalhos anteriores.

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Com o desenvolvimento da tecnologia, vários sistemas de automação vêm sendo criados com o intuito de facilitar e melhorar a vida cotidiana. A robótica é uma das aplicações desses sistemas de automação.

A robótica é um ramo da tecnologia que engloba muitas áreas de conhecimento, entre elas a mecânica, a eletrônica e a computação, com a finalidade de desenvolver máquinas capazes de tomar suas próprias decisões, tornando-as autônomas, os robôs. É comum hoje em dia ver robôs industriais que soldam, pintam, e movimentam grandes peças. Há também robôs que desativam minas, procuram por sobreviventes em zonas devastadas e que realizam tarefas agrícolas. Isso tudo permite à robótica se instalar no entorno trazendo segurança e qualidade.

Com o passar dos anos foi introduzido na indústria, de modo significativo, os robôs manipuladores, cujo trabalho consiste frequentemente em tarefas repetitivas sem que os mesmos se movessem além da área máxima de extensão de suas articulações. De modo a assumir outra linha de atuação alternativa a dos robôs manipuladores, foram criados os primeiros Veículos Guiados Automaticamente (*Auto Guided Vehicles* - AGVs), responsáveis pelo transporte de carga no interior de fábricas. Desse modo, havia vários veículos navegando o ambiente estrutural, com capacidade sensorial e raciocínio mínimos, fazendo com que fosse executada uma sequência de ações que, após concluída, o veículo supõe que alcançou o objetivo a qual estava programado (SECCHI, 2008).

Assim, surgem os robôs móveis, caracterizados como capazes de determinar a relação com seu ambiente de trabalho através do sistema sensorial que possui. A capacidade de

percepção do robô se baseia em toda a informação que os sensores o oferecem, com o objetivo de gerar um mapa do ambiente na qual há uma sequência de ações para cada diferente informação sensorial. Existem vários tipos de robôs móveis com diferentes funções, entre elas se encontra a de lutador de sumô, na qual se baseia este projeto. Existem, atualmente, várias competições de robótica nas quais se encontra a categoria de sumô, dentre elas, a Winter Challenge que é organizada pela RoboCore e é a principal competição de robótica da América Latina, realizada anualmente no Brasil.

A categoria de sumô na Winter Challenge se baseia em um combate entre dois robôs com o objetivo de empurrar o adversário para fora da área compartilhada por ambos, denominada Dojô.

O projeto a ser abordado consiste na melhoria de um robô lutador de sumô que está sendo desenvolvido até então como sendo um dos robôs da equipe Patobots da UTFPR câmpus Pato Branco e é uma continuação de projetos anteriores abordados com o mesmo robô. Entre esses trabalhos anteriores se encontra o Trabalho de Conclusão de Curso de David Lima Marinho, desenvolvido em 2015 na mesma universidade.

Durante o desenvolvimento do robô, David Marinho encontrou problemas que ainda persistem, tais como: número reduzido de entradas e saídas do microcontrolador, sistema de acionamento de baixa potência, distribuição de sensores inadequada para novas estratégias implementadas recentemente, controlador com tempo de resposta inadequado e sobrepeso por conta de distribuição inadequada de ímãs.

A lógica de controle atual, realizada com base em SEDs, permite que um simples circuito de acionamento implementado com relés seja suficiente para o controle do robô. Mas isso limita a movimentação do robô por não ter um sinal que faça com que ele varie sua velocidade nas diversas situações de luta. O acionamento com sinal Modulado por Largura de Pulso (*Pulse Width Modulation* – PWM) permite que a velocidade do robô varie de acordo com o estado em que ele se encontra, seja atacando, se defendendo ou apenas procurando o adversário. Esse tipo de acionamento permitiria ao robô deslocar-se em curva e, assim, surpreender o oponente (MARINHO, 2015).

A substituição dos atuais componentes, tais como motores, sensores, sistemas de acionamento e até a própria estrutura mecânica se fazem necessários, pois os mesmos estão sendo utilizados desde 2009. Além disso, a implantação de um mecanismo de bandeiras será bastante benéfico, visto que possui uma utilidade semelhante à uma capa vermelha em uma tourada.

1.2 OBJETIVOS

Aqui se encontram os objetivos gerais e específicos a serem abordados no projeto.

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Aprimorar, tanto em hardware quanto em software, um robô de sumô autônomo.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Substituir os materiais e componentes atuais a fim de obter maior precisão e desempenho;
- Adicionar um novo mecanismo automático de bandeiras com o objetivo de interferir no campo de visão do robô adversário;
- Projetar uma nova estrutura mecânica de acordo com os novos materiais utilizados, de modo a facilitar o acesso e o manuseio na parte interna do robô;
- Definir nova distribuição de sensores para compatibilizar com a instalação do sistema de bandeiras da nova estrutura mecânica;
- Utilização de um novo sistema embarcado com mais entradas e saídas com o objetivo de ampliar o número de funcionalidades;
- Obter um arranjo de ímãs adequado a fim de conseguir uma elevada intensidade do campo magnético com um peso reduzido;
- Implantação de um sistema de acionamento remoto;
- Uso de um novo sistema de acionamento de motores com maior potência;
- Aprimorar a modelagem de SEDs, garantindo uma maior flexibilidade do sistema.

1.3 JUSTIFICATIVA

Ao desenvolver um robô autônomo, percebe-se que é um projeto que pode ser espelhado em diversas áreas, tais como a agricultura, a indústria, a medicina, serviços domésticos, entre outros. Com isso, a experiência desenvolvida ao se criar um robô autônomo pode servir para múltiplos fins, tanto para projetos atuais quanto para projetos futuros.

O desenvolvimento deste projeto também se justifica pelo interesse em participar de competições como a Winter Challenge da Robocore, visando obter um melhor desempenho e divulgar o nome da UTFPR Câmpus Pato Branco para a América Latina.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 AS COMPETIÇÕES

Atualmente existem muitos eventos que reúnem construtores de robôs que competem entre si para mostrar qual deles consegue fazer com que seu robô cumpra da melhor forma um determinado objetivo. Nesses eventos, as competições de robótica, o objetivo é fazer com que seus participantes desenvolvam seus conceitos científicos e acadêmicos de forma prática, permitindo a eles desenvolver uma série de habilidades e estimulando, muitas vezes, o trabalho em equipe.

Nesses eventos existe uma diversidade de categorias de robôs. A nível nacional a RoboCore proporciona as categorias de: Seguidor de linha, trekking, combate, hockey e o sumô. Enquanto que no nível internacional existem mais categorias sendo disputadas, um exemplo disso é a RoboCup, que organiza categorias de futebol com humanóides, agentes de simulação de resgate, entre muitas outras (ROBOCUP, 2017).

A Winter Challenge, organizada pela RoboCore, é um dos maiores eventos de robótica na América Latina e sua última edição contou com mais de 400 robôs divididos em 15 categorias. Entre elas o sumô, que se divide em mais 7 subcategorias detalhadas de acordo com a Tabela 1 (ROBOCORE, 2017).

Tabela 1 – Subcategorias do sumô de robôs da Winter Challenge

Classe	Altura	Largura	Comprimento	Peso
3 kg	Ilimitada	20 cm	20 cm	3000 g
Mini	Ilimitada	10 cm	10 cm	500 g
Micro	5 cm	5cm	5cm	100 g
Nano	2.5 cm	2.5 cm	2.5 cm	25g
Lego	Ilimitada	15.2 cm	15.2 cm	1000 g
Lego Junior	Ilimitada	15.2 cm	15.2 cm	1000 g
Humanóide	50 cm	20 cm	20 cm	3000 g

Fonte: RoboCore

Os robôs das classes Nano, Micro, Mini, Lego e Lego Junior devem ser obrigatoriamente autônomos. Enquanto que os robôs de 3 kg ou Humanóides poderão ser tanto autônomos quanto rádio-controlados (ROBOCORE, 2017). O robô abordado nesse trabalho se encontra na categoria de 3 kg autônomo.

As partidas de sumô disputadas na Winter Challenge consistem de 3 rounds, a equipe que ganhar 2 rounds será declarada vencedora. Entre cada round é permitida a pausa de 5 minutos por parte de ambas as equipes para a troca de baterias e manutenção do robô.

O objetivo da competição é empurrar o robô adversário para fora da área de combate, denominada Dojô. Para a categoria de 3 kg, ele mede 5 mm de espessura e 154 cm de diâmetro. Também possui o formato de um círculo preto com contorno branco para facilitar percepção da borda pelo robô.

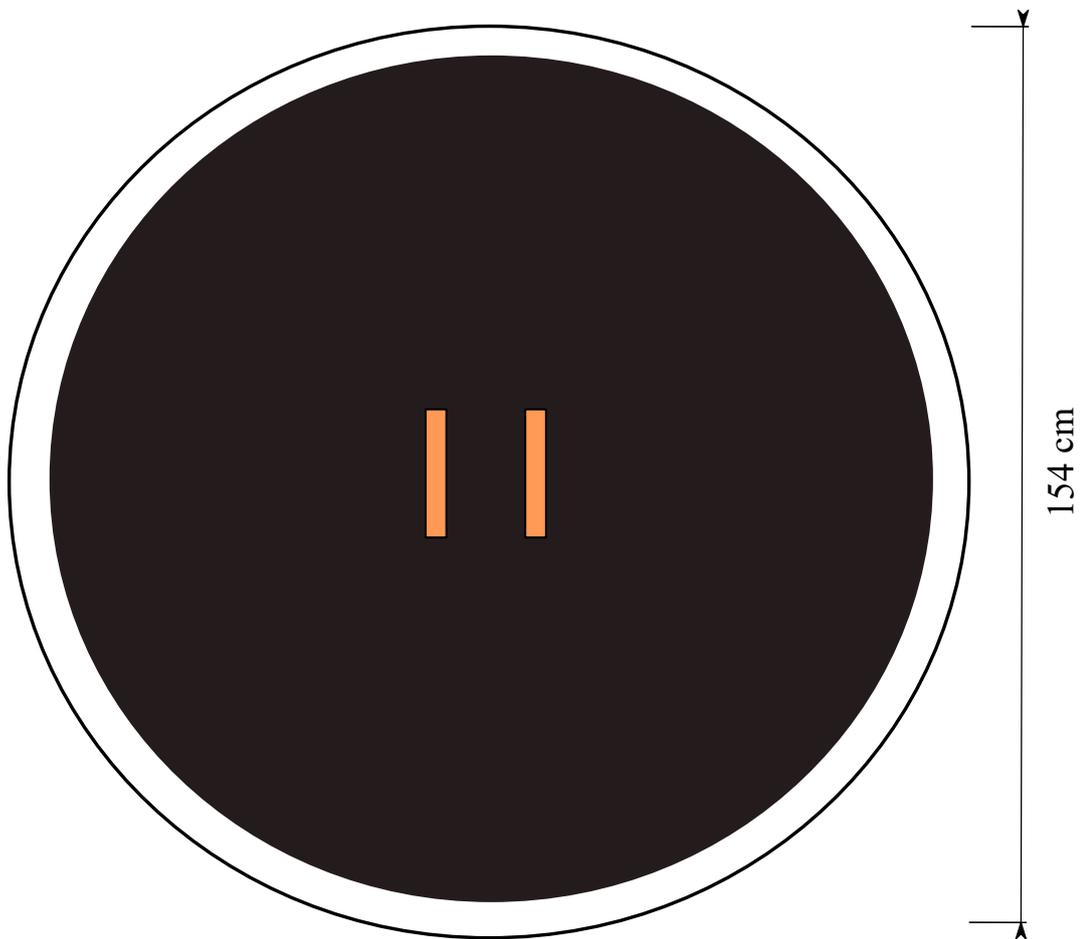


Figura 1 – Área de combate dos robôs(Dojô)

Adaptado de: RoboCore (2017)

Vale lembrar que o dojô é revestido com um material metálico, sendo comum a utilização de ímãs para aumentar a força normal dos robôs e assim potencializar a sua tração.

2.2 MODELAGEM E CONTROLE DE SISTEMAS A EVENTOS DISCRETOS

De um ponto de vista formal, um Sistema a Eventos Discretos (SED) pode ser pensado como um sistema dinâmico que evolui de acordo com a ocorrência abrupta de eventos físicos, em intervalos de tempo em geral irregulares e desconhecidos (RAMADGE; WONHAM, 1982), Ao contrário de sistemas que possuem eventos ocorrendo de maneira contínua no tempo. SEDs surgem em aplicações que requerem controle e coordenação para garantir o fluxo ordenado de eventos.

2.2.1 REPRESENTAÇÃO DE SED POR AUTÔMATOS

É possível representar o modelo de um SED utilizando autômatos, que podem ser formalmente representados por uma quintupla $G = (X, \Sigma, f, x_0, X_m)$ em que:

- X é o conjunto de estados do autômato;
- Σ é o conjunto de símbolos que formam o alfabeto;
- $f : X \times \Sigma \rightarrow X$ é a função parcial de transição;
- x_0 é o estado inicial do autômato;
- X_m é o conjunto de estados marcados ou finais, $X_m \subseteq X$.

A figura 2 representa o modelo de uma máquina simples que pode ser ligada por um evento α e desligada por um evento β . Percebe-se que o estado em que a máquina se encontra desligada é um estado marcado, o que significa que o sistema concluiu uma tarefa.

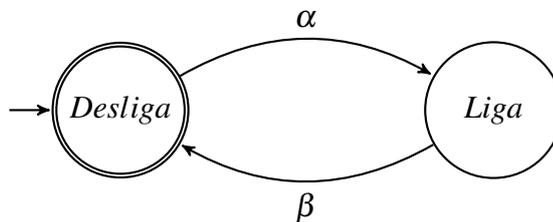


Figura 2 – Exemplo de autômato para uma máquina simples

2.2.2 COMPOSIÇÃO DE AUTÔMATOS

Para a integração de mais máquinas(subsistemas) do sistema, será necessário fazer a composição dos autômatos para observar o comportamento global de ambas as máquinas

trabalhando simultaneamente. Para isso, considera-se dois autômatos $G1 = (X, \Sigma_1, f_1, x_0, X_m)$ e $G2 = (Y, \Sigma_2, f_2, y_0, Y_m)$, a composição síncrona de ambos $G1||G2$ define-se como:

$$G1||G2 = (X \times Y, \Sigma_1 \cup \Sigma_2, f_{1||2}, (x_0, y_0), X_m \times Y_m)$$

onde $X \times Y$ representa o conjunto de estados de ambos os autômatos X e Y , $\Sigma_1 \cup \Sigma_2$ é a união de ambos os alfabetos de eventos, (x_0, y_0) é o estado inicial do autômato composto, $X_m \times Y_m$ é o conjunto de estados marcados após a composição e $f_{1||2}$ é a função de transição do autômato composto.

Ao realizar a composição síncrona de dois ou mais autômatos, é necessário verificar de qual conjunto de símbolos dado evento pertence. Sendo (x_a, y_a) o estado precedente à transição, (x'_a, y'_a) o estado posterior e σ o evento da transição a ser observada, a função de transição de um autômato composto é dada por:

- $(x_a, y_a) \xrightarrow{\sigma} (x'_a, y'_a)$ se $\sigma \in \Sigma_1 \wedge \sigma \in \Sigma_2$
- $(x_a, y_a) \xrightarrow{\sigma} (x'_a, y_a)$ se $\sigma \in \Sigma_1 \wedge \sigma \notin \Sigma_2$
- $(x_a, y_a) \xrightarrow{\sigma} (x_a, y'_a)$ se $\sigma \notin \Sigma_1 \wedge \sigma \in \Sigma_2$

2.2.3 TEORIA DE CONTROLE SUPERVISÓRIO

Os eventos ocorridos na composição formarão uma sequência de ações que um SED realizou desde seu estado inicial. Ao implementar uma estrutura de controle para esses eventos, é possível variar essa sequência de ações gerada impondo restrições nos eventos. O desempenho desejado de um sistema controlado terá de ser especificado de forma que não prejudique o funcionamento de um dado autômato, dessa forma as especificações de controle são modeladas em autômatos diferentes, a fim de se obter um comportamento global minimamente restritivo, tal forma de controle é conhecida como a Teoria de Controle Supervisório (TCS) (RAMADGE; WONHAM, 1989). Dessa forma, haverá autômatos representando não só as plantas do sistema como também as especificações, que atuarão diretamente nas plantas do sistema de forma a obter o comportamento desejado.

Para a modelagem de tais estruturas de controle, o alfabeto de eventos Σ é dividido em $\Sigma_c \cup \Sigma_u$ onde Σ_c é o alfabeto de eventos controláveis e Σ_u é o alfabeto de eventos não controláveis. Os eventos controláveis podem ser inibidos a qualquer momento, ao contrário dos não controláveis. Alguns exemplos de eventos não controláveis são: a quebra de uma máquina, perda de um pacote em um canal de comunicação, ruídos externos em um circuito elétrico, etc.

Dessa forma pode-se caracterizar os eventos não controláveis como sendo eventos nas quais não se pode evitar sua ocorrência, enquanto que os eventos controláveis são possíveis de serem evitados pelo agente de controle.

Um supervisor controlável, denotado por S, é um agente de controle que desabilita eventos indesejáveis de acordo com as especificações modeladas, garantindo um comportamento adequado do sistema mesmo no caso em que uma especificação deseje inibir um evento não controlável. Nesses casos, todos os eventos controláveis precedentes daquele evento serão inibidos, assim o supervisor controlável garante que não seja possível chegar a qualquer estado em que aquele evento não controlável esteja habilitado a ocorrer.

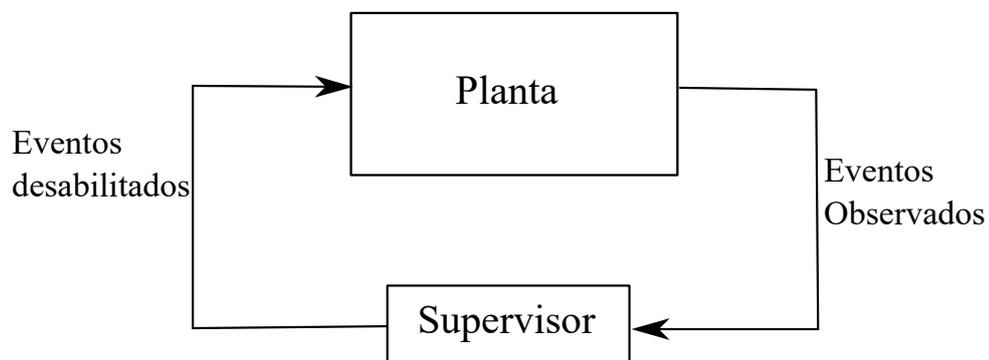


Figura 3 – Malha fechada de um SED

Adaptado de: Cury (2001)

Para este trabalho, será necessário o uso de um supervisor controlável para que o sistema atue de acordo com as especificações modeladas e, ao mesmo tempo minimamente restritivo e não bloqueante. Nesse caso o agente de controle será implementado em um microcontrolador, os eventos não controláveis serão os eventos externos: tais como os sensores e botões de início, e os eventos controláveis serão ativados pelas saídas do microcontrolador: acionamento dos motores, bandeiras, turbo, etc.

3 MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

3.1 MICROCONTROLADOR STM32F407VET6

Fabricado pela empresa STMicroelectronics, este microcontrolador dispõe de um processador ARM Cortex M4 de 32 bits com uma memória Flash de 1 Mbyte, uma memória RAM de 192 Kbytes e um clock que pode chegar até 168 MHz. Será utilizado um kit contendo o microcontrolador STM32F407VET6, conforme apresentado na Figura 4. Este kit ainda possui 92 pinos configuráveis.

Escolhido como substituto do MSP430G2553 fabricado pela Texas Instruments utilizado nos trabalhos anteriores, esse microcontrolador supera o antigo em termos de memória, processamento, frequência de clock e quantidade de entradas e saídas.



Figura 4 – Placa de desenvolvimento STM32F407VET6

https://www.banggood.com/pt/STM32F407VET6-ARM-Mini-Version-Core-Board-Cortex-M4-STM32-Minimum-System-Board-p-1140339.html?cur_warehouse=CN
(2018)

3.2 SERVO MOTOR SG90

Um servo motor é nada menos que um motor de corrente contínua controlado em malha fechada para ajuste da sua posição de acordo com um sensor de posição. Ele trabalha com um mecanismo de realimentação que controla sua posição final e velocidade. Esse sinal de realimentação é comparado com a posição do comando de entrada e produz o sinal de erro, que, se não for suficiente para acionar o motor, ele alimenta um servo amplificador que eleva a tensão e o nível de potência do sinal de erro e então gira o motor para a posição desejada .

Há vários tipos de servo motores presentes na indústria, entre eles se encontram os servo motores de corrente contínua CC, incluindo o micro servo motor SG90, utilizado nesse projeto.

O SG90 pode rotacionar até 180° (90 em cada direção), e funciona como os servo motores padrões, mas seu porte é menor. Pode ser acionado com um sinal PWM de período equivalente a 20 ms, e suas posições são definidas pelo ciclo de trabalho do sinal. Por exemplo: um período de trabalho de 1ms equivale a -90°, enquanto 1,5 ms o motor se encontra em 0° (no meio) e 2 ms está em 90°.



Figura 5 – Servo motor SG90

Fonte: <http://handsontec.com/wp-content/uploads/2017/05/SG90-6.png> (2017)

Para interferir no campo de visão do robô adversário, é permitido usar bandeiras para confundi-lo, entretanto ao se levar em consideração as regras da competição de sumô da RoboCore, o robô não pode ultrapassar os 20 cm tanto na largura quanto no comprimento.

Para atender o regulamento da competição, é possível começar o combate com as bandeiras na posição vertical, inicialmente fazendo parte de sua altura, e logo depois de iniciado o round, elas abaixarem para a posição horizontal. Essa idéia pode ser implementada colando as bandeiras em servo motores e acionando-os após os 5 segundos de espera que o robô deve ter após pressionar o botão de iniciar.

3.3 MOTOREDUTOR BANELOTS

Os motores elétricos são dispositivos que transformam energia elétrica em energia mecânica. Essa energia mecânica é desenvolvida através da rotação de um eixo que gira com uma determinada velocidade e torque. Os motores de corrente contínua são muito utilizados em robótica, possuem um par de terminais que devem ser ligados em uma fonte de alimentação na qual sua polaridade determina o sentido de rotação do motor.

Um robô de sumô de 3 kg exige motores com torque elevado para sustentar o peso e a força de seus oponentes. Portanto o motor escolhido para o projeto foi o RS-550 da fabricante Banebots, que possui uma velocidade de rotação de 19300 rpm e um torque de 4,98 kgf x cm.

Entretanto, a velocidade de rotação é muito elevada para o dojô, nesse caso é necessária uma caixa de redução, cuja principal função é diminuir a velocidade de rotação a partir de um sistema de engrenagens aumentando, dessa forma, o torque. A própria fabricante do motor possui uma caixa de redução compatível com o motor.

O conjunto da caixa de redução acoplada com o motor é denominado motoredutor e é demonstrado na Figura 6. O resultado disso é um motor com uma velocidade de rotação 20 vezes menor que o motor sem a caixa de redução e um torque 20 vezes maior.



Figura 6 – Motor Banebots RS-550 com caixa de redução 20:1

3.4 MÓDULO BLUETOOTH HC-05

A probabilidade do robô causar lesões ao ligá-lo e desligá-lo através de um botão é muito alta, devido ao fato de os motores possuírem uma alta potência e o robô atacar quem quer que esteja na frente. Para contornar esse problema, um acionamento à distância é a alternativa ideal. Com um aplicativo de smartphone e utilizando este módulo bluetooth, o acionamento pode ser feito através do celular.

Este módulo, representado na Figura 7, pode ser alimentado na faixa de 3,3 a 6V. E possui os pinos TX e RX que, transmitem e recebem, respectivamente, cadeias de caracteres a fim de comunicar o aplicativo do celular com o sistema embarcado. Dessa forma, sendo também possível que o próprio microcontrolador possa enviar informações, como por exemplo os eventos que foram disparados.

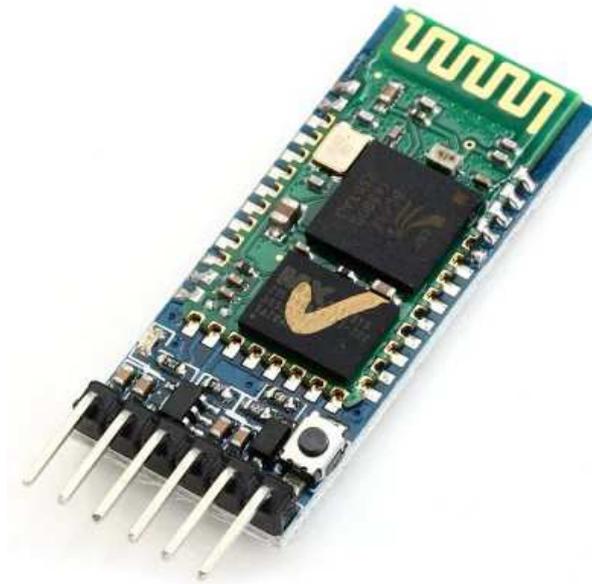


Figura 7 – Módulo Bluetooth HC-05

Fonte: https://br.gearbest.com/other-accessories/pp_227678.html

3.5 SENSOR FOTOELÉTRICO BA2M-DDT

Sensor do tipo reflexivo pequeno, difuso e com uma distância de detecção longa. Por adotar múltiplas lentes com tecnologia óptica especial, esse sensor pode detectar até uma distância de 2 metros.

Para identificar o robô adversário, foram utilizados estes sensores na frente, nas laterais e na traseira do robô, de modo que, de acordo com cada sensor sendo ativado, os motores se acionariam de modos distintos, sendo girando para os lados em caso de o robô adversário ser identificado pelos sensores laterais ou traseiros, ou andando para a frente caso seja identificado pelos sensores frontais.

O sensor possui 3 pinos, sendo eles: Alimentação, terra e saída. A alimentação pode ser entre 12 e 24 volts e a saída funciona da seguinte forma: Caso o sensor venha a captar a presença de algum objeto ele eleva a saída para nível lógico 1. Caso contrário a saída será de 0 volts.



Figura 8 – Sensor Óptico BA2M-DDT

Fonte: http://www.autoniconline.com/product/product&product_id=686 (2017)

3.6 SENSOR DE REFLETÂNCIA QTR-1A

Nesse tipo de sensor, há um emissor e um receptor de luz que se encontram bem próximos e apontando paralelamente. Quanto maior a luz captada pelo receptor, menor será a tensão de saída nos terminais da placa. Vale lembrar que superfícies brancas refletem muito mais luz do que superfícies pretas, o que faz com que a tensão de saída desse sensor ao captar uma área branca seja bem maior do que com uma área preta. A Figura 9 mostra o sensor em questão.

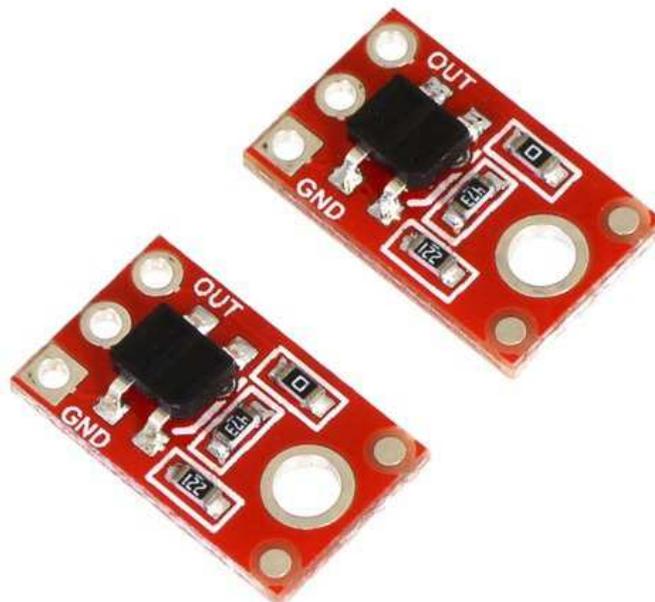


Figura 9 – Sensor de faixa QTR-1A

Fonte: <https://www.pololu.com/product/2458>

O circuito interno do sensor, representado na Figura 10, utiliza um fototransistor como receptor de luz e um LED como emissor. O fototransistor é conectado a um resistor de pull-up que forma um divisor resistivo para que a tensão de saída do circuito seja entre 0 V e a tensão de alimentação da placa, quanto menor for a tensão de saída, maior é a reflexão da superfície. Já o LED é conectado a um resistor que limita a corrente que passa pelo mesmo em torno de 17 mA para uma tensão de alimentação de 5V.

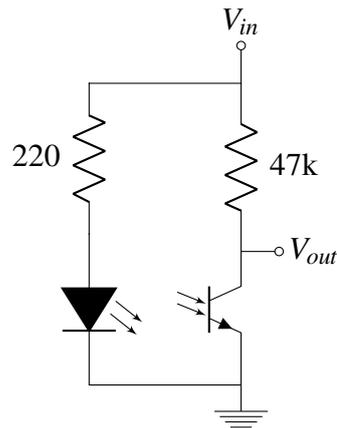


Figura 10 – Esquemático do circuito interno do sensor QTR-1A

Extremamente útil para identificar a borda do dojô, visto que ela é branca. A desvantagem desse sensor é que a distância de detecção da superfície em questão é mínima, exigindo que ela fique próxima do dispositivo. Porém não haverá problemas se estiver acoplado junto à base do robô.

3.7 MÓDULO DE ACIONAMENTO COM DRIVERS BTN7970

Para o acionamento de motores se faz necessário o uso de uma ponte H, que possui este nome devido à forma em que as chaves da carga estão dispostas no circuito como mostra a Figura 11, sendo V a tensão de alimentação.

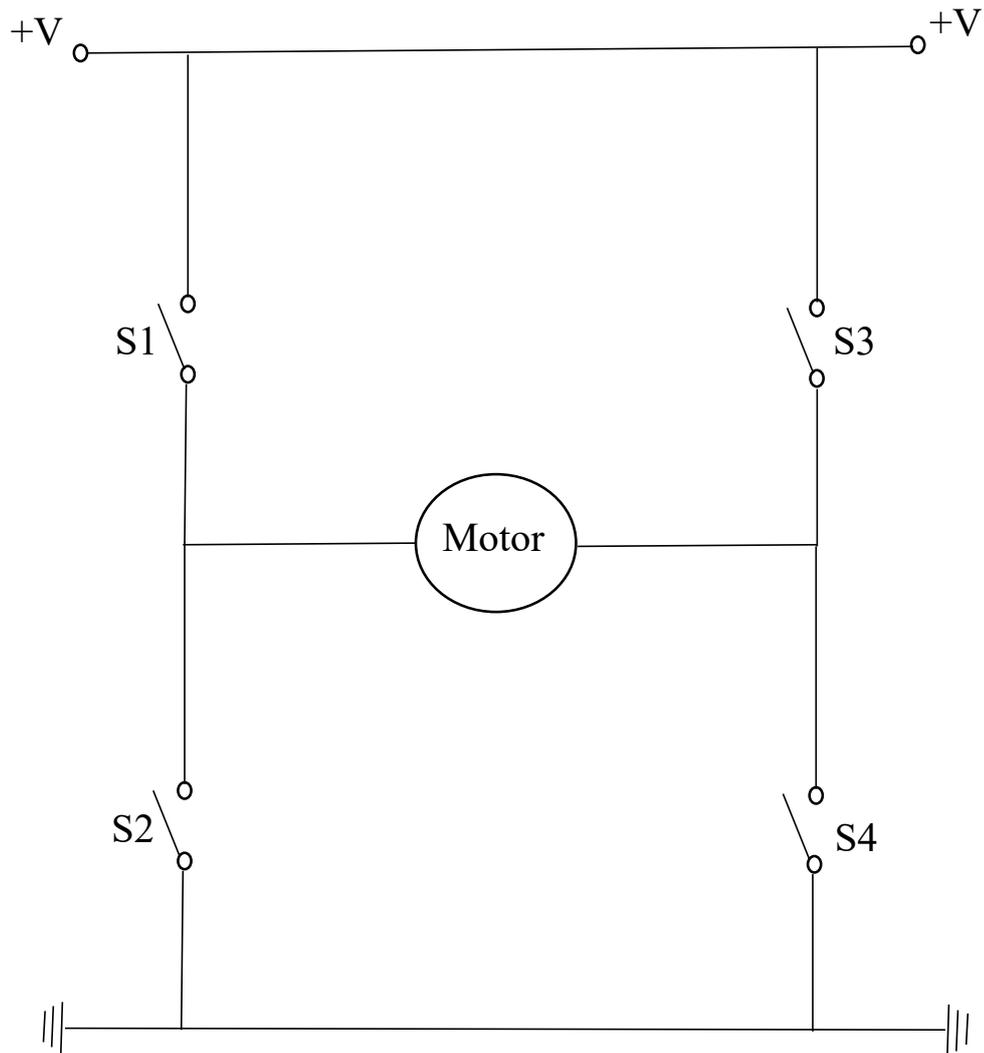


Figura 11 – Esquema básico de uma ponte H

A lógica de comutação das chaves deve garantir que ou S1 e S4 estejam fechadas, ou S2 e S3 fechem-se, e nunca S1 e S2 ou S3 e S4 simultaneamente. Esse tipo de operação simultânea não deve ser permitida, pois causaria um curto-circuito (RASHID, 2001). Para cada caso de chaveamento, pode-se fazer com que motor gire para frente ou para trás, ou também frear. As chaves também podem ser substituídas por transistores, fazendo com que suportem altas correntes, tendo uma frequência de chaveamento elevada e sendo baratos e acessíveis.

Este circuito de acionamento possui dois drivers de alta potência BTN7970 que possuem cada um em seus circuitos dois MOSFETs que podem, juntos, acionar um motor, também suportam uma corrente de até 70 A. O driver de acionamento também possui um optoacoplador A2630 utilizado para efetivamente proteger o microcontrolador isolando o circuito de alta potência.

Como cada módulo possui apenas um canal de saída, serão usados dois módulos para

o projeto, um para o acionamento do motor esquerdo e outro para o acionamento do motor direito. A Figura 12 mostra a placa do driver em questão.



Figura 12 – Módulo de acionamento BTN7970

Fonte: <http://www.aliexpress.com> (2017)

3.8 BLOCOS MAGNÉTICOS

Como mencionado na seção 2.1, a área de combate dos robôs é uma estrutura metálica, o que permite a utilização de ímãs para dificultar ainda mais que o adversário empurre o robô para fora da arena devido ao campo magnético intensificado. Para obter uma força normal forte o suficiente para que o robô não seja empurrado com facilidade para fora do dojô, serão testados arranjos diferentes com cubos magnéticos de arestas entre 3 mm a 5 mm de forma a obter o maior campo magnético possível.

Dentre essas distribuições se encontra o *Halbach Array*, como mostra a Figura 13.

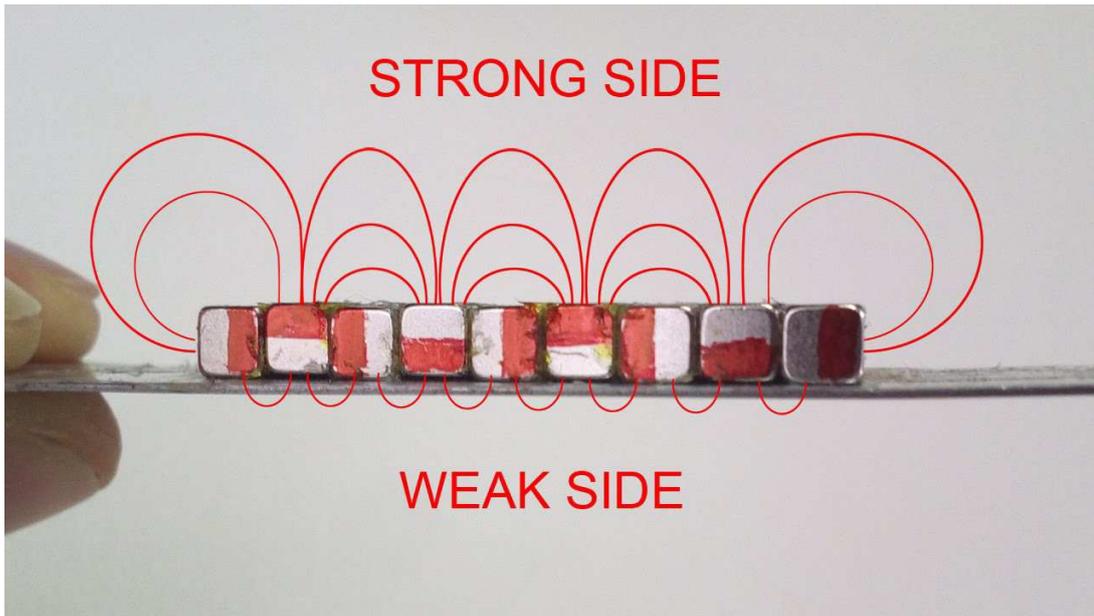


Figura 13 – Arranjo especial de ímãs Halbach Array

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=uQWHjj6ofwo>

Essa distribuição foi descoberta primeiramente por John C. Mallison em 1973 e a denominou de “Estrutura de Fluxo Unilateral” (*One-Sided Structure*) (MALLINSON, 1973), pois possui como principal função fazer com que um lado da estrutura tenha um campo magnético ampliado, enquanto cancela o campo do outro lado da estrutura fazendo-o tender a zero.

Essa implementação seria muito útil para o projeto, dificultando as partidas para os robôs adversários sem que o circuito interno do robô seja prejudicado por alguma interferência magnética advinda dos ímãs grudados no mesmo.

3.9 METODOLOGIA

O desenvolvimento de um robô de sumô de 3 kg exige um conhecimento em diversas áreas de engenharia, sendo assim, para o projeto ser realizado, pode se dividir o trabalho em subtarefas, que vão desde sua estrutura mecânica até a sua lógica de locomoção, sendo tais subtarefas:

- **Estrutura Mecânica:** Será realizado um projeto utilizando um software de desenho de peças em 3D e cada face do robô será montada de acordo com os componentes que serão utilizados. Após o término da modelagem da estrutura, o próximo passo é usinar as peças de acordo com o desenho produzido, escolhendo os materiais adequados para a proposta;

- **Lógica de Locomoção:** será desenvolvida por sistemas a eventos discretos, utilizando autômatos e a teoria de controle supervísório de Ramadge e Wonham (RAMADGE; WONHAM, 1989). Todo o sistema será modelado através do software Supremica (MALIK et al., 2017);
- **Sistema Embarcado:** Tendo a lógica de locomoção do robô obtida a partir da teoria de controle supervísório, o próximo passo é a tradução do modelo para uma linguagem de programação que possa ser interpretado por um sistema embarcado. Nesse caso o microcontrolador utilizado será o STM32F407VET6 desenvolvido pela empresa STMicroelectronics, substituindo um MSP430 da Texas Instruments dos projetos desenvolvidos anteriormente. Para essa tradução da lógica será utilizado o software Deslab, desenvolvido pelo professor Dr. César Torrico, orientador desse projeto;
- **Eletrônica:** Este item é a ponte entre os sensores e o sistema embarcado. Responsável por tratar os sinais advindos de todos os sensores e transformá-los em sinais compatíveis com a entrada do microcontrolador. Assim como realizar a instrumentação dos sistemas de aquisição de dados pelos sensores de presença e faixa;
- **Integração do Sistema:** Montagem de todo o sistema, desde sua estrutura mecânica até a eletrônica do robô. Os sensores de presença e faixa enviarão os sinais para o microcontrolador, que irá acionar os motores direito e esquerdo e também as bandeiras de acordo com a lógica de locomoção desenvolvida anteriormente. Essa integração do sistema pode ser observada com mais detalhe na Figura 14.

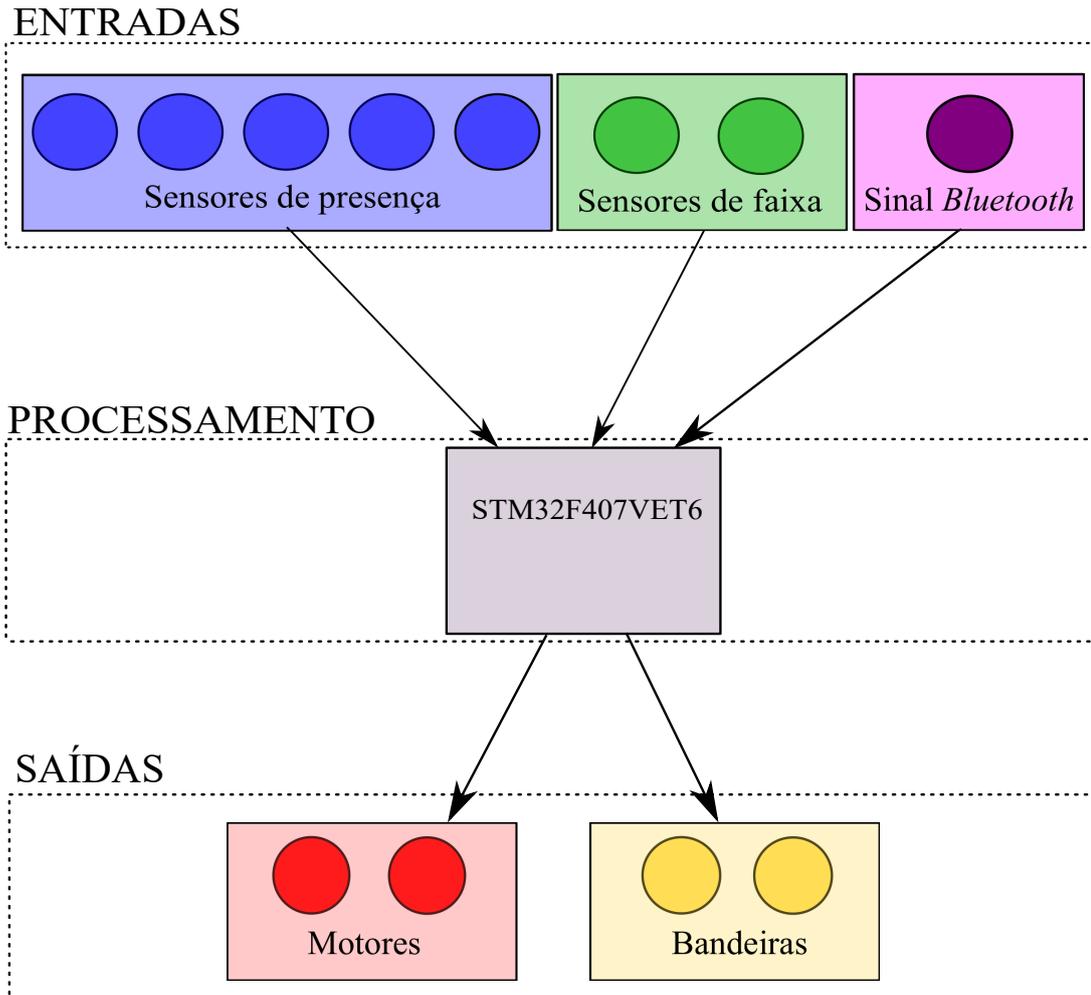


Figura 14 – Sistema integrado

4 DESENVOLVIMENTO

Após ter sido realizado o estudo do referencial teórico, da melhor disposição de sensores, motores, bandeiras e sistemas embarcados, foi iniciado o projeto da estrutura mecânica do robô de sumô na qual teve como objetivo a criação de várias peças separadamente, com o propósito de que, ao fim do projeto, elas se encaixassem formando um robô de acordo com a proposta do trabalho, tomando o devido cuidado para que todas as peças em conjunto não causassem interferência entre si.

4.1 PROJETO DA ESTRUTURA MECÂNICA

Foi utilizado um software de produção de peças CAD para realizar o projeto, criando cada parte do conjunto separadamente. A estrutura dos motores, sensores e caixas de redução foram obtidos de bibliotecas disponibilizadas pelos fabricantes de cada um, para ser possível uma montagem adequada com os mesmos sem causar interferências nos circuitos eletrônicos.

4.1.1 RODAS

Como o uso de mais de 2 motores acarretaria em sobrepeso considerando as regras da Winter Challenge, foram utilizadas 2 rodas idênticas para o projeto, ambas não concêntricas, suficientemente separadas para que não ocupassem o mesmo espaço e respeitando as dimensões máximas permitidas.

As rodas possuem também um furo central com um corte para o encaixe da chaveta que possui como finalidade fixá-la junto à caixa de redução. O projeto das rodas pode ser visto com mais detalhes na Figura 15.

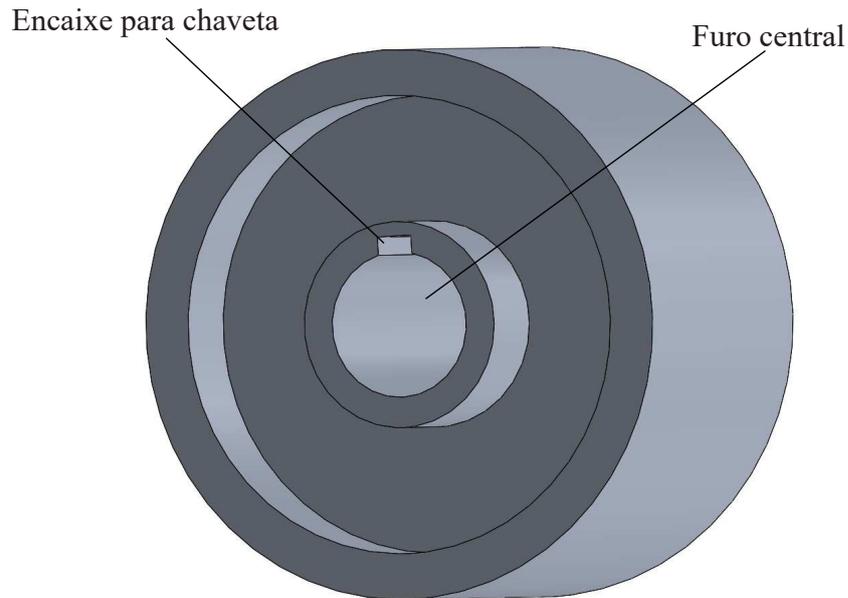


Figura 15 – Projeto das rodas

Fonte: Autoria própria

4.1.2 EIXO DOS MOTORES

Utilizando as bibliotecas de projetos disponibilizados pela fabricante *Banebots* para os motores e as caixas de redução e criando um projeto de uma roda foi realizada uma montagem dessas peças de forma a criar um eixo. Após o posicionamento correto das peças, foi realizada a medida do comprimento de dois conjuntos, com o objetivo de analisar a possibilidade de os dois motorredutores serem colineares. A medida foi de aproximadamente 30,5 cm como mostra a Figura 16.

Como a regra permite que o robô tenha uma largura de no máximo 20 cm (ROBOCORE, 2017), a possibilidade de duas rodas no mesmo eixo foi descartada.

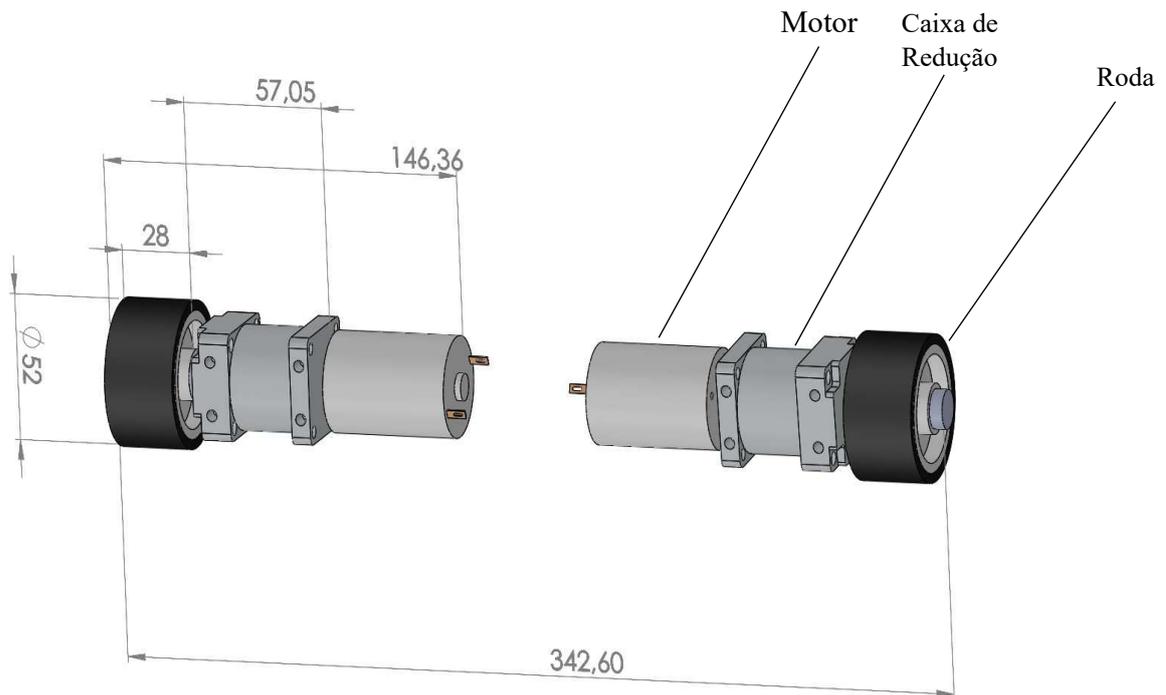


Figura 16 – Eixo dos motores e devidas dimensões

Fonte: Autoria própria

4.1.3 BASE

A base foi projetada com duas extrusões próximas à parte frontal com profundidade de 2,5 mm para o encaixe dos ímãs, assim como 4 furos para fixação de cada uma das caixas de redução, totalizando 8 furos mais ao centro.

Também foram realizados cortes passantes para a passagem das rodas e também alguns furos laterais para o encaixe das cantoneiras que viriam a fixar as laterais.

A Figura 17 mostra os detalhes dos recursos aplicados na face inferior.

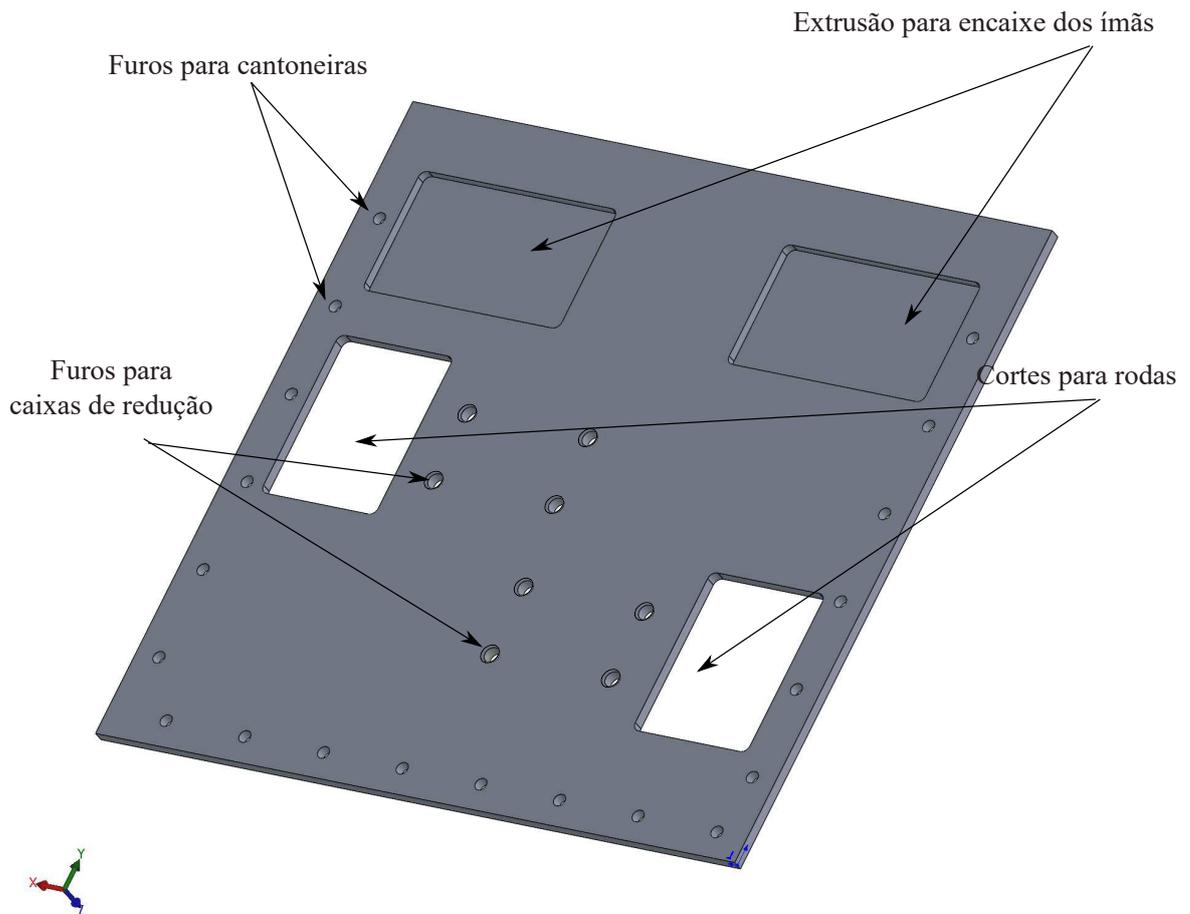


Figura 17 – Base e recursos utilizados

Fonte: Autoria própria

4.1.4 FACES LATERAIS

Fixadas à base, as faces laterais, tanto da esquerda quanto da direita, são idênticas e possuem cortes para o encaixe dos sensores ópticos, assim como furos para os parafusos de fixação dos mesmos. Para a fixação dessas faces na base e na face traseira, foram projetados furos para serem usados em conjunto com as cantoneiras. Fazendo com que ambas as faces se juntassem.

Vale observar que, como os sensores ópticos não são simétricos tomando como referência uma linha horizontal, foram utilizados furos maiores que os utilizados nas faces dianteira e traseira para o encaixe dos parafusos dos sensores, de forma a facilitar a usinagem da chapa, realizando os devidos cortes com ambas as chapas sobrepostas.

As faces laterais podem ser visualizadas com mais detalhe na Figura 18.

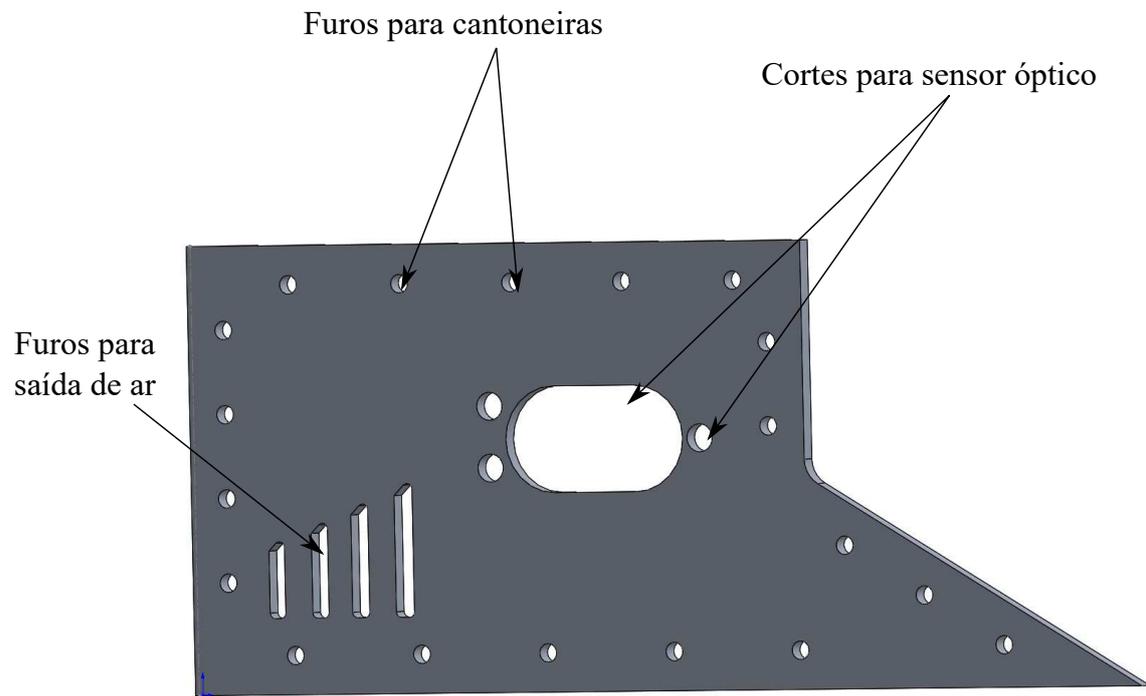


Figura 18 – Face lateral e recursos utilizados

Fonte: Autoria própria

4.1.5 FACE TRASEIRA

Com o projeto das faces laterais realizado, a peça traseira foi criada de forma que se fixasse na base e nas laterais através de cantoneiras. Possui cortes para que seja encaixado outro sensor de presença e os devidos parafusos de fixação do mesmo, assim como cortes para saída de ar e entrada dos botões para ativar as baterias.

O desenho da face traseira é mostrado com mais detalhes na Figura 19

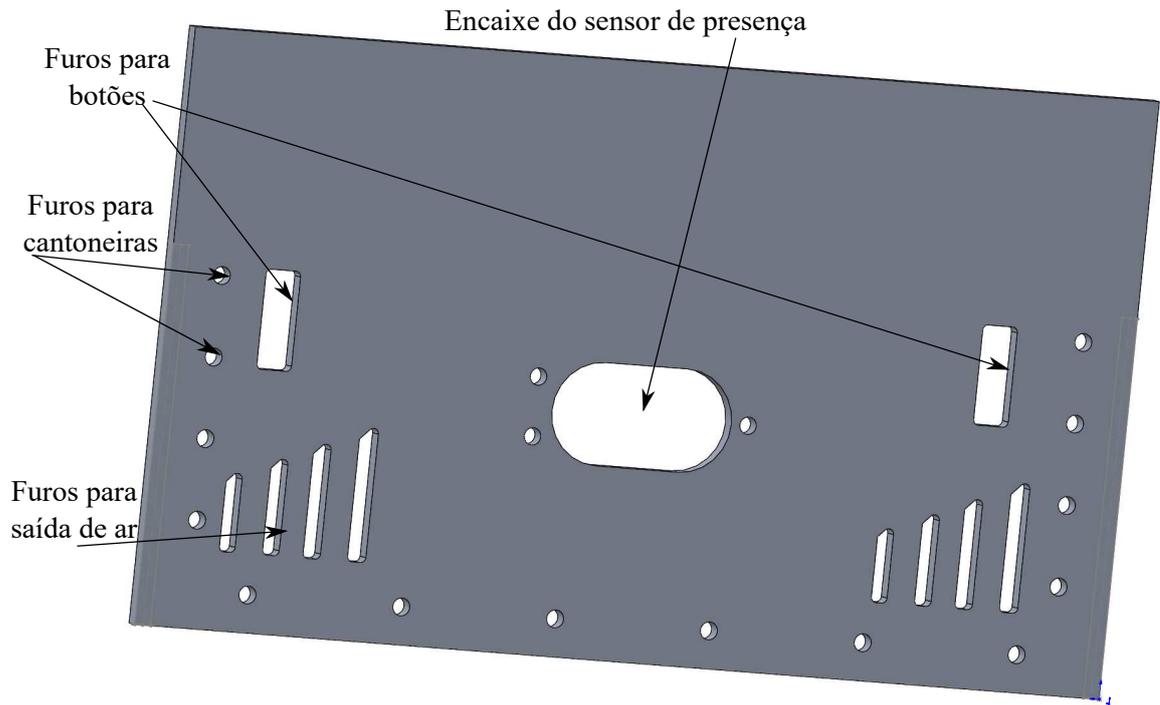


Figura 19 – Face traseira e recursos utilizados

Fonte: Autoria própria

4.1.6 TAMPA

Para a fixação do microcontrolador e do circuito de controle, fez-se necessária a criação de um plano horizontal, similar a uma tampa. Vale lembrar que este plano também possui a função de uma tampa, sendo a primeira face a ser removida caso seja necessário realizar manutenções internas no robô.

Dessa forma, foram realizados vários cortes passantes em formato tanto horizontal quanto circular para a passagem dos fios dos demais componentes como mostra a Figura 20. Os demais furos são para a fixação com as faces laterais através de cantoneiras.

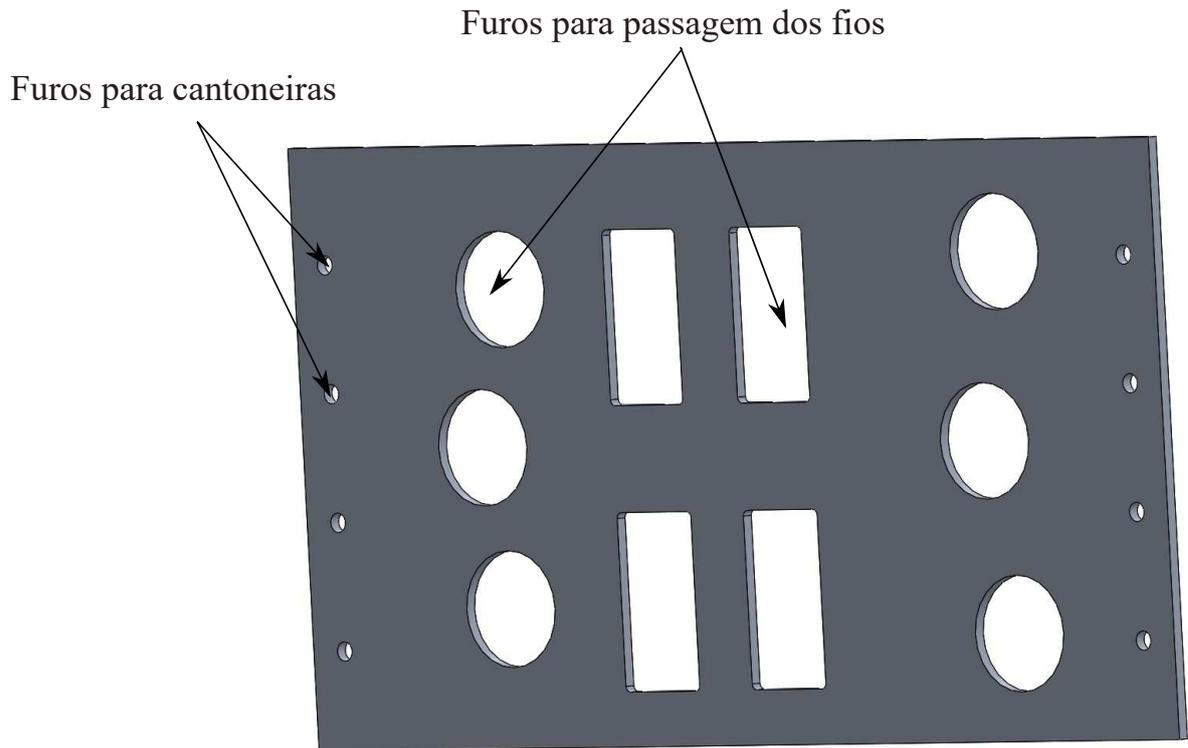


Figura 20 – Tampa para fixação das placas de controle

Fonte: Autoria própria

4.1.7 FACE DIANTEIRA

A face frontal foi projetada de forma inclinada, com o objetivo de retirar o contato do oponente da arena, diminuindo dessa forma a força com que o mesmo precisa ser empurrado. Há também, diferente das outras faces, dois sensores ópticos e também furos para o encaixe das cantoneiras.

Abaixo uma visão detalhada da face dianteira demonstrada na Figura 21

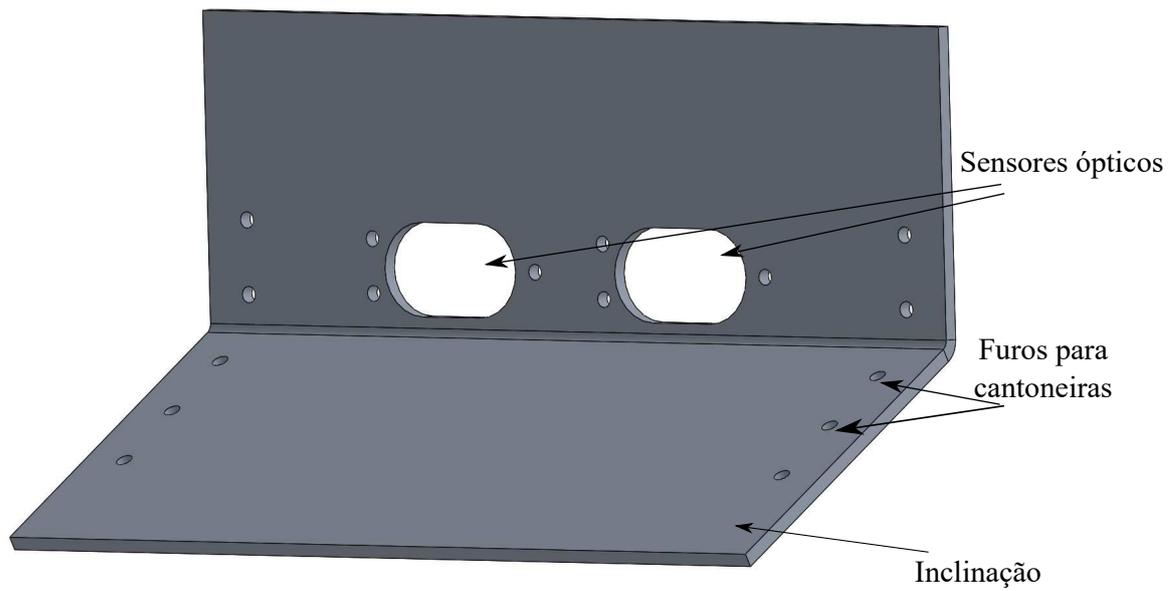


Figura 21 – Face frontal e recursos utilizados

Fonte: Autoria própria

4.1.8 MONTAGEM DO CONJUNTO

Com todas as peças projetadas de forma que não houvesse interferências, foi realizada a montagem de todo o conjunto desde a base com motores até a tampa do robô.

O resultado dessa montagem é demonstrado na Figura 22.

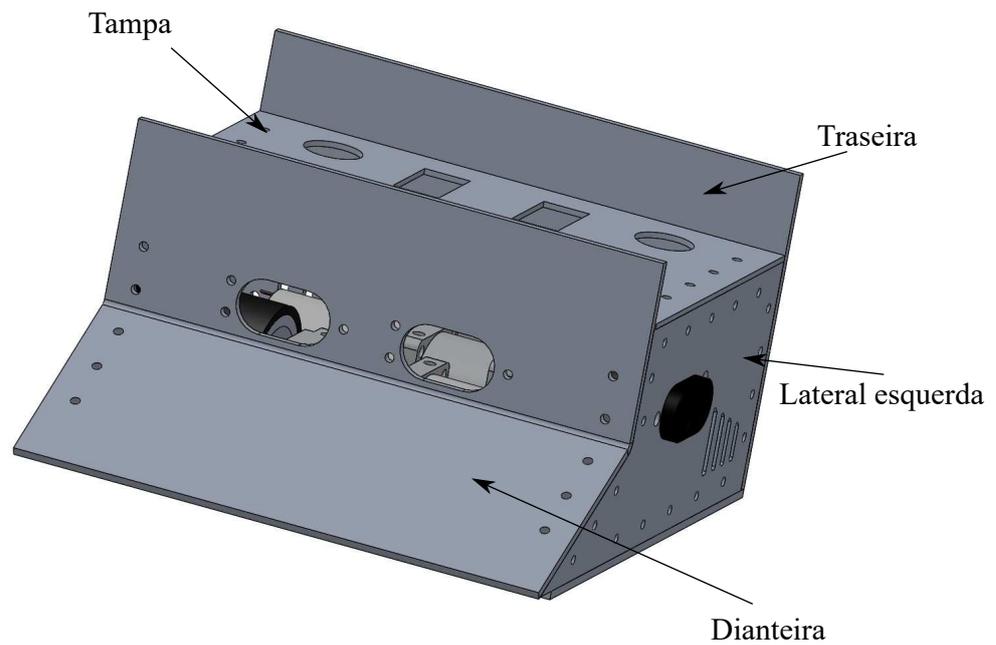


Figura 22 – Conjunto de todas as peças montadas

Fonte: Autoria própria

Para os furos de encaixe dos parafusos foi utilizado o assistente de furação do software, que disponibilizou as dimensões do diâmetro e do comprimento dos parafusos a serem utilizados. No caso dos sensores de presença e das fixações com cantoneiras entre as peças foram utilizados furos com padrão ISO de tamanho M4.

4.1.9 ESCOLHA DO MATERIAL

Para a realização dos cortes e usinagem das rodas, foi necessário escolher um material que tivesse como característica uma baixa densidade para não causar sobrepeso e também uma boa resistência mecânica.

Tabela 2 – Massa e peso específico dos respectivos metais

Metal	Massa Específica (kg/m^3)	Peso Específico (kgf/m^3)
Aço	7 830	7 912,02
Alumínio	2 690	2 718,248
Chumbo	11 370	11 487,8
Cobre	8 910	8 996,08
Ferro	7 210	906,08
Ouro	19 300	19 496,9

Adaptado de: Meriam, Kraige (2000)

Como mostra a Tabela 2, em comparação com os outros metais, o alumínio possui uma massa específica ao menos 3 vezes menor, o que nos leva à afirmação de que o material é ideal para a proposta em questão. Entretanto vale lembrar que, apesar de ser mais leve que os outros metais, o alumínio também possui uma menor resistência ao impacto.

Diversas ligas de alumínio foram estudadas com o objetivo de termos a melhor relação entre massa e resistência, de forma que o robô não ultrapassasse o limite de 3 kg e ao mesmo tempo resistisse aos impactos causados pelas colisões provocadas pelos robôs adversários.

A Tabela 3 mostra as ligas de alumínio mais utilizadas pelas indústrias.

Tabela 3 – Principais Ligas de alumínio e suas características

Número da Associação do Alumínio	Composição (%p)	Propriedades Mecânicas		Aplicações / Características Típicas
		Limite de Resistência à Tração (MPa)	Limite de Escoamento (MPa)	
Ligas Forjadas, que Não São Tratáveis Termicamente				
1100	0,12 Cu	90	35	Equipamentos para manuseio & armazenamento de alimentos e produtos químicos, trocadores de calor, refletores de luz.
3003	0,12 Cu 1,2 Mn 0,1 Zn	110	40	Utensílios de cozinha, vasos e tubulação de pressão.
5052	2,5 Mg 0,25 Cr	230	195	Linhas de combustível e de óleo em aeronaves, tanques de combustível, utensílios, rebites e arames.
Ligas Forjadas, Tratáveis Termicamente				
2024	4,4 Cu 1,5 Mg 0,6 Mn	470	325	Estruturas de aeronaves, rebites, rodas de caminhão, produtos de máquinas de fazer parafusos.
6062	1,0 Mg 0,6 Si 0,3 Cu 0,2 Cr	240	145	Caminhões, canoas, vagões de trem, móveis, tubulações.
7075	5,6 Mn 2,5 Mg 1,6 Cu 0,23 Cr	570	505	Peças estruturais de aeronaves e outras aplicações submetidas a tensões elevadas.

Adaptado de: Callister (2000)

Para a usinagem das faces, foram utilizadas chapas, que entram no grupo das ligas que não são tratadas termicamente. A liga escolhida foi a 5052, que possui maior resistência mecânica do que as demais ligas é a que mais se adapta para a estrutura do robô de sumô.

Já para a usinagem da roda, foi necessário escolher alguma liga que fosse tratável termicamente, pois essa usinagem deve ser feita a partir de um cilindro de alumínio. A liga 6062 foi a que mais se encaixou na proposta, pois além de possuir propriedades mecânicas resistentes o suficiente para esse tipo de usinagem, as demais ligas são moldadas para estrutura de aeronaves e acabam sendo financeiramente caras para serem usadas em um robô de sumô.

Com os materiais aplicados em cada peça montada pelo software, tanto a liga 5052 para as faces e a liga 6062 para as rodas, e juntamente com as bibliotecas internas dos fabricantes dos motores e caixas de redução, foi realizada uma avaliação das propriedades de massa, com um cálculo interno que o próprio software realiza em suas montagens. Este cálculo indicou que a estrutura como um todo possui um volume de $616,86 \text{ cm}^3$ e um peso de aproximadamente 1543 g. Vale lembrar que esse não é o peso final do robô, visto que ainda há o peso de baterias e placas de circuitos a serem adicionados ao decorrer do projeto.

4.2 PROJETO DA LÓGICA DE CONTROLE DE SISTEMAS A EVENTOS DISCRETOS

De modo que o robô seguisse uma lógica de automação adequada para seus objetivos, foram considerados como eventos controláveis todos os movimentos do robô, no caso, o acionamento dos motores esquerdo e direito em duas possibilidades: para frente ou para trás. Já os eventos não controláveis são os sinais dos sensores e também do sinal bluetooth indicando o início da rodada. São não controláveis pois não se sabe o momento na qual esses sinais irão disparar, apenas podemos gerar eventos controláveis de acordo com a combinação dos sensores que serão disparados.

Para a nomenclatura de tais eventos, foi considerado o arranjo de sensores da Figura 23, sendo os sensores p1 a p5 os sensores ópticos para captar a presença do oponente e os sensores s1 e s2 os sensores para captar a faixa do dojô.

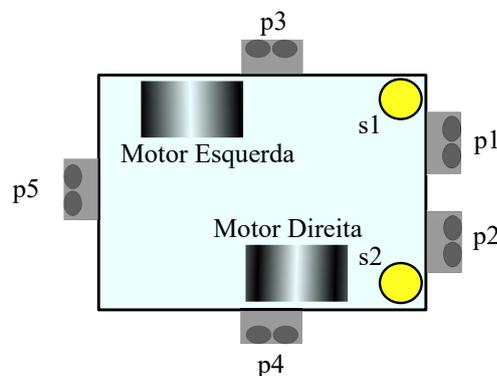


Figura 23 – Nomenclatura e posicionamento dos sensores e motores do robô

A tabela abaixo mostra a nomenclatura adotada para os eventos da modelagem dos autômatos.

Tabela 4 – Nome e descrição dos eventos utilizados na modelagem

Nome do Evento	Descrição do Evento
Eventos Controláveis	
<i>f</i>	Anda para a frente
<i>ge1</i>	Gira à esquerda travando o motor da direita
<i>ge2</i>	Gira à esquerda no eixo por 90 graus
<i>ge3</i>	Gira à esquerda no eixo por 120 graus
<i>ge4</i>	Gira à esquerda no eixo por 180 graus
<i>gd1</i>	Gira à direita travando o motor da esquerda
<i>gd2</i>	Gira à direita no eixo por 90 graus
<i>gd3</i>	Gira à direita no eixo por 120 graus
<i>gd4</i>	Gira à direita no eixo por 180 graus
<i>r</i>	Anda para trás
Eventos não controláveis	
<i>Bl</i>	Sinal Bluetooth para iniciar
<i>p1a</i>	Borda de subida do sensor p1
<i>p1p</i>	Borda de descida do sensor p1
<i>p2a</i>	Borda de subida do sensor p2
<i>p2p</i>	Borda de descida do sensor p2
<i>p3a</i>	Borda de subida do sensor p3
<i>p4a</i>	Borda de subida do sensor p4
<i>p5a</i>	Borda de subida do sensor p5
<i>s1</i>	Borda de subida do sensor s1
<i>s2</i>	Borda de subida do sensor s2

Utilizando os eventos apresentados na Tabela 4, foram gerados os autômatos das plantas e das especificações de forma que o sistema se comportasse da maneira desejada. Para isso cada sensor do sistema teve de ser modelado de forma individual, sendo os autômatos de cada sensor plantas do sistema.

Para a modelagem de cada autômato foi utilizado o *software* Supremica (MALIK et al., 2017), que faz de forma prática a composição, síntese e minimização dos autômatos.

4.2.1 MODELAGEM DE INICIALIZAÇÃO DO PROCESSO

O autômato da Figura 24 representa uma planta na qual todos os eventos pertencentes ao alfabeto de eventos que está sendo utilizado nesse sistema sejam ignorados até que seja disparado o evento *Bl*. Dessa forma os eventos só irão ser tratados pelo microcontrolador após o sinal *bluetooth* (evento *Bl*) que indica o início da partida ser enviado para o microcontrolador.

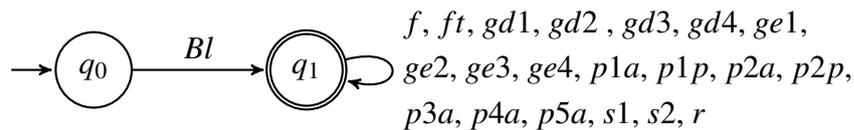


Figura 24 – Modelagem de inicialização do processo a partir do sinal *bluetooth*

4.2.2 MODELAGEM DOS SENSORES DE PRESENÇA

Cada sensor de presença possui dois eventos próprios, que são suas bordas de subida e de descida, indicando a presença e a ausência, respectivamente, do oponente. Esses eventos são nomeados *pxa* para caso o sensor capte o oponente, ou *pxp* caso o perca, na qual *x* indica o respectivo sensor.

Para o sensor *p1*, representado fisicamente pelo sensor frontal da esquerda, a modelagem foi realizada de acordo com a Figura 25. No estado *q0*, todos os eventos são ignorados até que seja disparado o evento *Bl*, que é o sinal *bluetooth* que o microcontrolador irá receber para que seja iniciado a contagem de 5 segundos para o início da rodada.

Após disparado o evento *Bl*, a transição leva ao estado *q1*. Nesse estado, o evento *p1a* é possível de acontecer, de forma que caso o sensor capte algum objeto externo, no caso seu adversário, o autômato migre para o estado *q2*. Enquanto estiver no estado *q2*, os eventos *p3a*, *p4a* e *p5a*, estão descartados por fazerem parte da transição de auto-laço em *q1*, isso indica que os sensores *p3*, *p4* e *p5* estarão fisicamente impossibilitados de encontrar o oponente visto que um dos sensores frontais já o encontrou, e nesse caso não é necessário tratar o disparo dos eventos desses sensores. No estado *q2*, caso seja disparado um evento *p1p* indicando que o sensor *p1* perdeu o oponente, o autômato volta ao estado *q1* possibilitando novamente ocorrer o evento *p1a*.

O evento *r* é previsto em todos os estados em que o robô já está se movimentando, pois esse evento deve ser priorizado, de forma que se algum dos sensores de faixa forem acionados, esse evento não pode ser ignorado por nenhuma outra planta, só assim o robô poderá tratar o sensor de faixa e evitar que saia dos limites do Dojô. Após disparado o evento *r*, o autômato migrará para o estado *q1*.

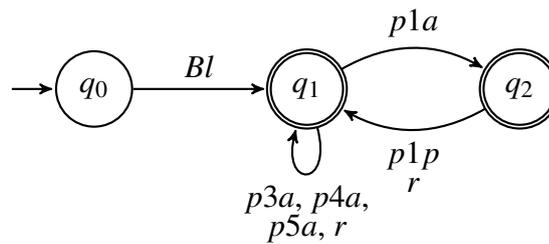


Figura 25 – Modelagem do sensor frontal esquerdo p1

O autômato do sensor $p2$ da Figura 26 se comporta de forma semelhante ao do sensor $p1$, pois descarta a ocorrência dos sensores $p3$, $p4$ e $p5$ justamente por ser impossível de encontrar o oponente com um desses sensores enquanto estiver no estado $q2$. O que difere entre ambos são as transições entre os estados $q1$ e $q2$, na qual $p2a$ e $p2p$ farão essas transições ao invés de $p1a$ e $p1p$.

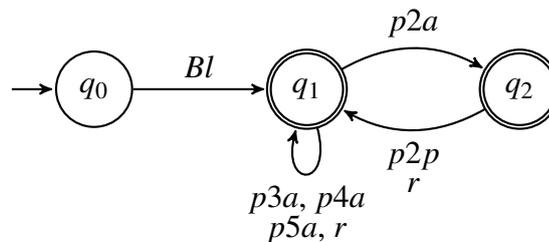


Figura 26 – Modelagem do sensor frontal direito p2

A modelagem do autômato do sensor $p3$ é mostrada na Figura 27, esse autômato é representado fisicamente pelo sensor lateral esquerdo e segue uma lógica semelhante à dos autômatos apresentados até aqui. Enquanto no estado $q1$, a transição para $q2$ será feita após o sensor ser disparado com uma borda de subida, representada pelo evento $p3a$. Como o sensor $p3$ encontrou o oponente, os outros sensores ficam impossibilitados de encontrar o oponente simultaneamente, por isso os eventos disparados pelos demais sensores são descartados nesse estado por causa do auto laço em $q1$. Porém nesse sensor $p3$ não foi considerado um evento de borda de descida como os anteriores. Nesse caso a transição para o estado $q1$ é feita a partir de um evento controlável, que será disparado automaticamente pelo microcontrolador caso esse estado seja alcançado. Para o sensor $p3$, o evento $ge2$ será disparado, que faz com que, caso o sensor lateral esquerdo capte o oponente, seja feito um giro de 90° à esquerda de forma que o robô se mantenha de frente para o adversário.

O evento r continua sendo possível de acontecer em todos os estados em que o robô se movimenta, devido à prioridade do sensor de faixa.

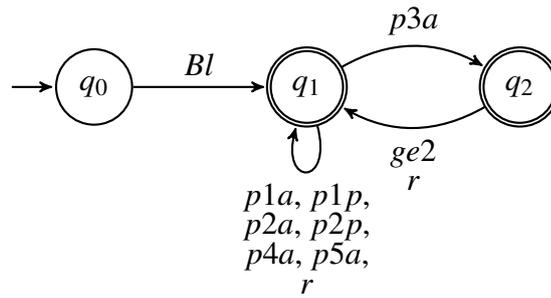


Figura 27 – Modelagem do sensor lateral esquerdo p3

O autômato do sensor $p4$, representado na Figura 28 se comporta de maneira análoga ao sensor $p3$. A diferença é que caso seja disparado um evento $p4a$, o que fisicamente significa que o sensor lateral direito captou o oponente, será gerado pelo microcontrolador um evento $gd2$, na qual o robô fará um giro de 90° à direita para que fique de frente para o adversário.

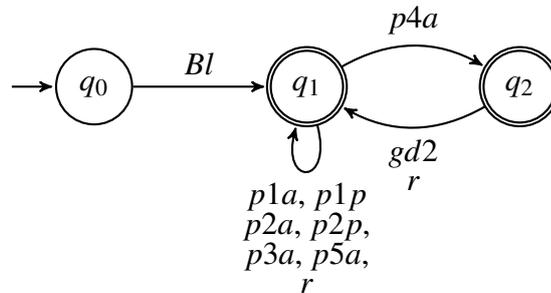


Figura 28 – Modelagem do sensor lateral direito p4

Assim como os dois últimos autômatos, o sensor $p5$ é modelado de acordo com a Figura 29 de forma que se faça um giro ao captar um oponente, nesse caso um giro de 180° , pois o sensor $p5$ é a representação do sensor traseiro. Para que o robô faça esse giro, os eventos $gd4$ ou $ge4$ terão de ser disparados, e nesse caso a escolha será feita aleatoriamente pelo microcontrolador, que ao migrar para esse estado, irá gerar o próximo evento controlável disponível.

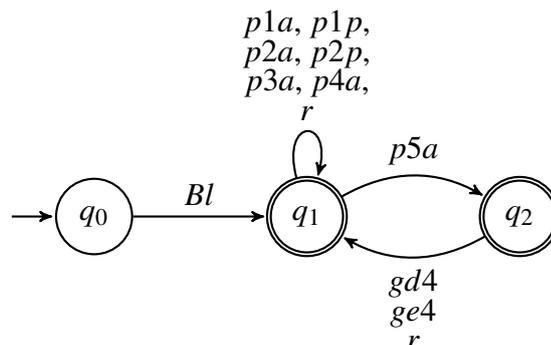


Figura 29 – Modelagem do sensor traseiro p5

4.2.3 MODELAGEM DOS SENSORES DE FAIXA

A planta dos sensores $s1$ e $s2$ são necessárias para que o robô não ultrapasse os limites do Dojô. Dessa forma é feita uma sequência de ações que fazem com que ele volte para dentro da arena ao captar uma faixa.

O autômato do sensor $s1$, representado na Figura 30, assim como os autômatos vistos até então, possui um estado q_0 em que todos os eventos, com exceção de Bl são ignorados. Ao fazer a transição para q_1 , há algumas outras transições em forma de auto laço que impede eventos importantes de serem ignorados nesse estado. Caso o evento $s1$ dispare, o que significa que o sensor de faixa esquerdo captou uma borda, o autômato migra para o estado q_2 . Em q_2 , há um auto laço que permite o evento $s2$, seguido por uma transição que leva ao estado q_3 gerada pelo evento controlável r , isso significa que sempre que o microcontrolador receba uma borda de subida do sensor de faixa esquerdo, o robô irá andar de ré para retornar ao centro do Dojô. Essa transição de q_2 a q_3 faz com que todos os autômatos dos sensores de presença voltem ao estado q_1 quando for disparada, pois o evento r foi tratado com prioridade na modelagem de cada um e é sempre possível de acontecer de forma que se possa tratar o caso do sensor de faixa quando um evento $s1$ ou $s2$ for disparado.

No estado q_3 , qualquer sensor de presença que receber uma borda de subida indicando a presença do oponente fará o autômato migrar novamente para o estado q_1 , e se caso nenhum sensor receber esse sinal, será gerado um evento controlável $gd3$, que faz com que o robô realize um giro de 120° à direita.

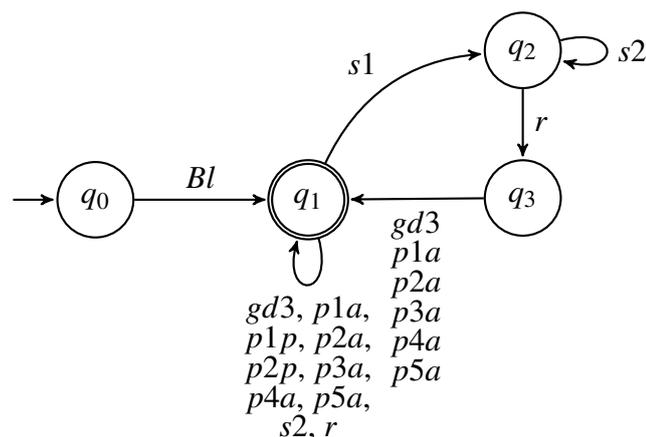


Figura 30 – Modelagem do sensor de faixa esquerdo $s1$

O autômato do sensor $s2$ foi modelado de maneira semelhante como mostra a Figura 31. A principal diferença é a orientação do giro após o evento de ré. Que nesse caso é disparado um evento $ge3$, fazendo com que o robô faça um giro de 120° à esquerda.

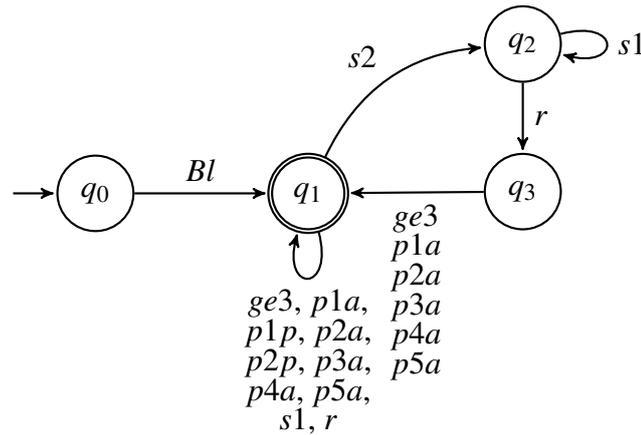


Figura 31 – Modelagem do sensor de faixa direito s2

4.2.4 MODELAGEM DAS ESPECIFICAÇÕES

A especificação de ataque demonstrada na Figura 32 foi modelada com o objetivo de, após o oponente ser detectado por ambos os sensores frontais, o microcontrolador gere o evento controlável ft , na qual o robô anda para a frente com o dobro da velocidade que é utilizada em outros casos. Todos os estados possuem o evento r , gerado pelo tratamento do sensor de faixa, habilitado, de forma que, ao ser disparado, o autômato migra para o estado q_0 , que é o estado inicial da especificação.

Quando no estado q_0 , o autômato pode migrar para o estado q_1 ao disparar um evento $p1a$, ou para o estado q_4 caso seja disparado $p2a$. Se caso nenhum dos dois sensores gerarem uma borda de subida, então o microcontrolador irá gerar um evento controlável f , que faz com que o robô ande para a frente e o autômato migre para o estado q_9 . Os eventos $ge3$ e $gd3$ estão em uma transição em forma de auto laço nesse estado para habilitar o giro de 120° gerado pelo tratamento do sensor de faixa.

A representação física do estado q_1 indica que o sensor $p1$ encontrou o oponente, entretanto o outro sensor frontal $p2$ ainda não conseguiu encontrá-lo. Nesse estado, caso o evento $p1p$ dispare, indicando que o sensor $p1$ perdeu o oponente, o autômato retorna ao estado inicial q_0 , na qual nenhum dos dois sensores frontais encontrou o oponente. Caso no estado q_1 o evento $p2a$ disparar, o autômato fará a transição para o estado q_7 , mas se caso o sensor $p2$ não encontrá-lo, será gerado um evento controlável $ge1$, que faz com que o robô gire à esquerda travando o motor da direita, para facilitar com que o sensor $p2$ capte a presença do oponente. Ao gerar $ge1$, o autômato migra para q_2 que pode fazer a transição para q_7 caso o sensor $p2$ capte a presença do oponente, ou para q_3 caso o sensor $p1$ perca a presença do oponente. Em q_3 , caso nenhum dos dois sensores estiver captando a presença do oponente, o autômato irá gerar o

evento controlável $ge3$ para voltar ao estado q_0 . Ainda no estado q_3 , caso o sensor $p1$ gere uma borda de subida, o autômato migrará novamente para q_1 e caso seja $p2$ ele fará a transição para q_4 .

Os estados q_4 , q_5 e q_6 são semelhantes aos estados q_1 , q_2 e q_3 , respectivamente, o que difere entre eles são a ordem em que ambos os sensores são disparados. Pois enquanto no estado q_1 o sensor $p1$ captou a presença do oponente, mas $p2$ ainda não captou, no estado q_4 ocorre o inverso, sendo acionada a borda de subida apenas do sensor $p2$ e não de $p1$. A transição de q_4 a q_5 ocorre ao ser disparado o evento controlável $gd1$, que gira para a direita travando o motor da esquerda, de forma que o robô seja posicionado adequadamente para que o sensor $p1$ também capte a presença do oponente.

Quando o autômato se encontra no estado q_7 , ambos os sensores frontais captaram a presença do oponente. Caso o sensor $p1$ perca o adversário, o autômato retorna ao estado q_1 e caso o sensor $p2$ o perca, o estado de retorno é q_4 . Caso nenhum dos dois eventos ocorra, o evento controlável ft será gerado, o que faz com que o robô ande para a frente com uma velocidade 2 vezes maior do que a sua velocidade normal de locomoção, denominada velocidade turbo. Ao gerar ft , o autômato migra para o estado q_8 . Nesse estado há duas transições que podem ser acionadas com exceção de r , uma delas corresponde ao disparo do evento $p1p$, que faz o autômato retornar ao estado q_4 e a outra é disparada pelo evento $p2p$ na qual o estado de retorno é q_1 .

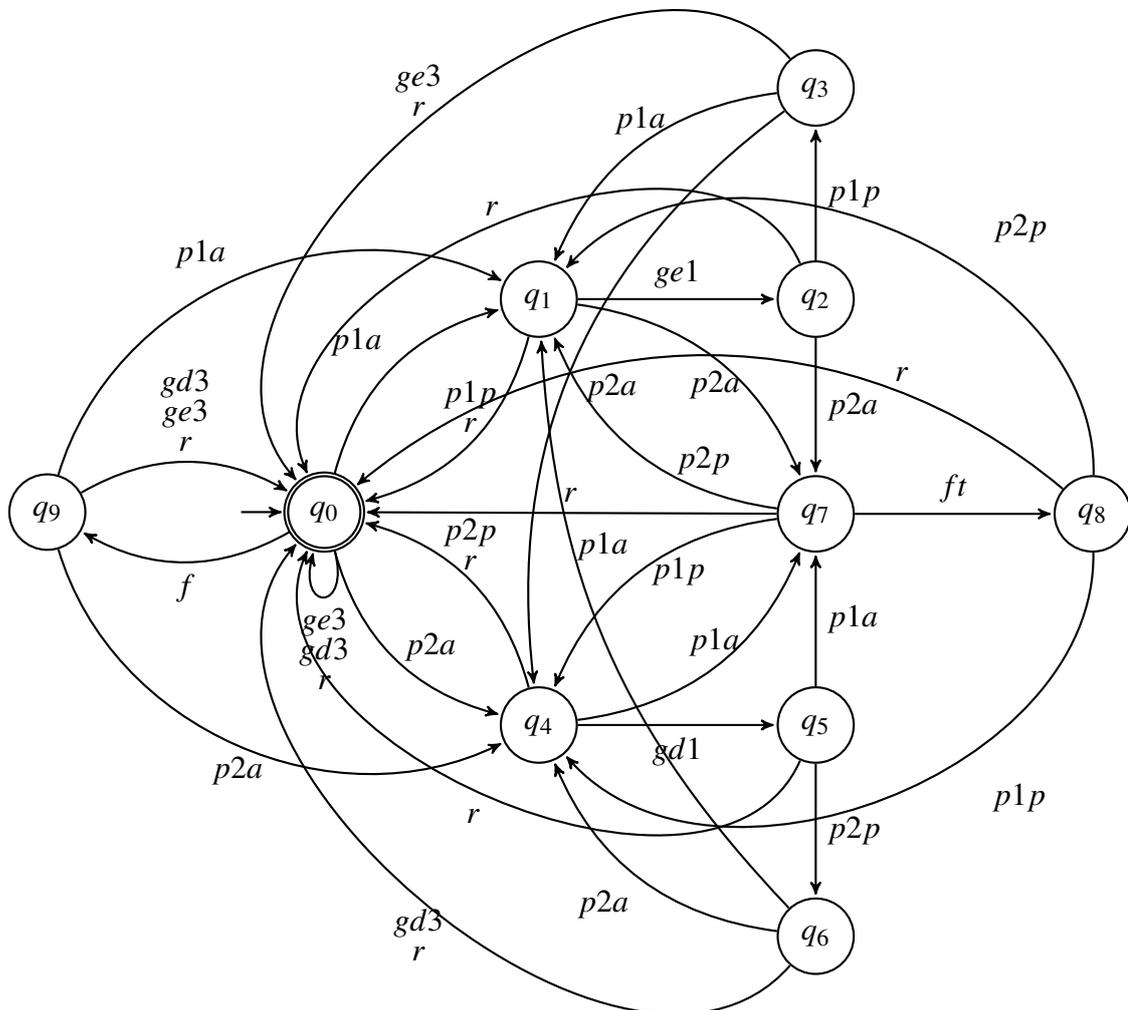


Figura 32 – Modelagem da especificação de ataque frontal

A especificação de afastamento da borda do dojô apresentada na Figura 33 mostra que os sensores de faixa $s1$ e $s2$ são disparados, no caso quando um desses sensores encontra a borda no limite da arena, todos os sinais de borda de subida dos sensores de presença são desabilitados até que o robô consiga dar ré para poder voltar ao centro da arena.

Quando no estado q_0 , o autômato pode fazer a transição para q_1 através de $s1$ ou para q_3 através de $s2$. Quando em um desses estados, os eventos em auto laço no estado q_0 são bloqueados até que o evento controlável r seja gerado, fazendo com que o robô desista do que estava fazendo anteriormente para poder dar ré de forma que não ultrapasse os limites da arena.

Após o evento r ser gerado, todas as plantas e especificações irão retornar ao estado em que o robô inicia seus movimentos.

Nos estados q_2 e q_4 , todos os sensores de presença serão novamente habilitados. Se caso nenhum sensor disparar sua borda de subida, um evento controlável será gerado de acordo com o sensor de faixa que for disparado anteriormente. Para o caso do estado q_2 (sensor $s1$ disparado) o evento controlável será $gd3$ e para o caso do estado q_4 (sensor $s2$ disparado), esse evento será $ge3$.

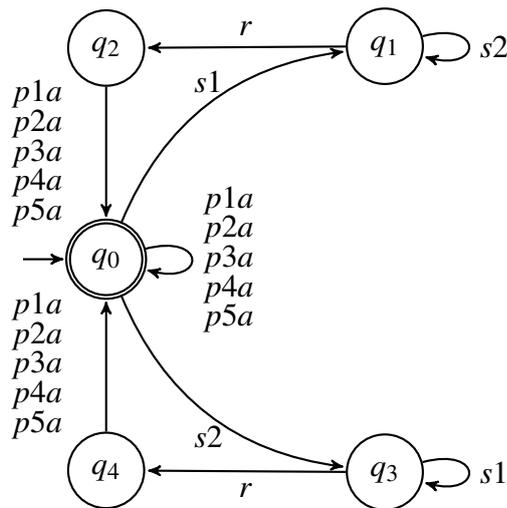


Figura 33 – Modelagem da especificação para afastamento da borda do Dojô

A especificação da Figura 34 mostra um autômato que faz o tratamento dos sinais emitidos pelos sensores de presença não-frontais. Caso algum desses sensores capte a presença do oponente, o robô fará um giro de acordo com o sensor que emitiu o sinal. Todos os estados possuem uma transição de retorno ao estado q_0 a partir do evento controlável r emitido pelo tratamento do sensor de faixa.

No estado q_0 , caso $p3$ encontre o oponente, o autômato migra para q_1 e retorna a q_0 disparando o evento $ge2$ e fazendo com que o robô realize um giro de 90° para a esquerda. Caso o sensor que dispare seja $p4$ o estado de transição será q_2 e o evento a ser gerado será $gd2$, fazendo o robô dar um giro de 90° à direita. Por último, caso $p5$ seja disparado, será feito um giro de 180° para a direita ou esquerda ao serem gerados os eventos $gd4$ e $ge4$.

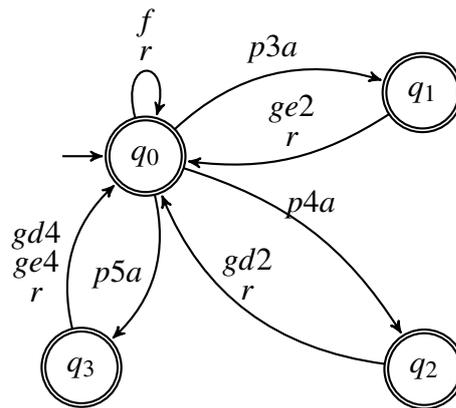


Figura 34 – Modelagem da especificação para tratamento dos sensores de presença não-frontais

Por último, o autômato da Figura 35 representa a especificação de coordenação do sistema. Sua principal função é a de fazer o chaveamento entre as configurações representadas pelos autômatos das Figuras 32, 33 e 34.

Enquanto no estado q_0 , a configuração de ataque da Figura 32 está ativada, o alfabeto de eventos utilizado nessa especificação está em auto laço nesse evento. Caso algum evento s_1 ou s_2 dispare, o autômato migra para o estado q_1 , na qual a configuração de faixa da Figura 33 se ativa, e a configuração de ataque é temporariamente desabilitada até que todos os eventos de faixa sejam tratados. Ainda no estado q_0 , caso algum dos eventos p_{3a} , p_{4a} ou p_{5a} dispare, a configuração habilitada será a representada na Figura 34, que faz o tratamento dos sensores de presença não frontais.

No estado q_1 , o alfabeto de eventos utilizado está na transição em auto-laço. Após o tratamento dos sensores de faixa, os eventos de borda de subida dos sensores de presença serão habilitados. Caso algum dos sensores frontais capte a presença do oponente, o autômato migrará para o estado q_0 , e se os sensores não frontais o captarem o estado de transição será q_2 . Se por acaso nenhum sensor de presença for ativado, um dos eventos controláveis gd_3 ou ge_3 serão ativados de acordo com o sensor de faixa que captou a borda.

Já no estado q_2 , os eventos utilizados na configuração de tratamento de sensores de presença não frontais e o alfabeto de eventos utilizados se encontra em auto laço. Os eventos s_1 e s_2 fazem a transição para o estado q_1 , onde a configuração de tratamento do sensor de faixa será ativada e os eventos f , p_{1a} e p_{2a} fazem a transição para o estado de configuração de ataque q_0 .

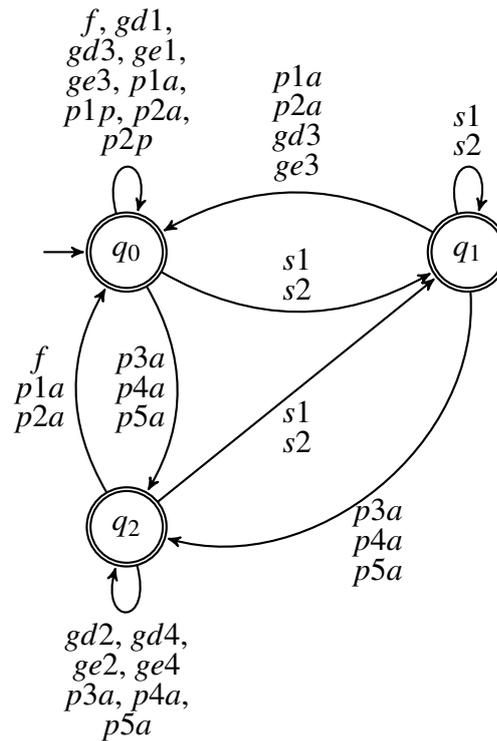


Figura 35 – Modelagem da especificação de coordenação

4.2.5 COMPOSIÇÃO E SÍNTESE

Abaixo segue a tabela com o número de estados e transições de cada autômato utilizado na modelagem do sistema. Sendo NF a especificação para tratamento dos sensores de presença não-frontais, CD a especificação de coordenação, G a composição de todas as plantas do sistema, K a composição de todas as especificações, D a composição de G com K, Sup a síntese com base na TCS do autômato D, e $\text{Min}(\text{Sup})$ é o autômato Sup minimizado, considerando uma linguagem gerada equivalente.

Tabela 5 – Número de estados e transições de cada autômato utilizado

Nome	Tipo	Estados	Transições
P1	Planta	3	8
P2	Planta	3	8
P3	Planta	3	11
P4	Planta	3	11
P5	Planta	3	12
S1	Planta	4	20
S2	Planta	4	20
Mov	Planta	2	20
Ataque	Especificação	10	40
Afast. Borda	Especificação	5	23
NF	Especificação	4	12
CD	Especificação de Coordenação	3	35
G	Planta	32	133
K	Especificação	160	575
D	Planta	123	308
Sup	Supervisor	123	308
Min (Sup)	Supervisor minimizado	29	114

4.3 PROJETO DO CIRCUITO ELETRÔNICO

Realizada a lógica de controle de sistemas a eventos discretos, o próximo passo foi a construção do sistema de sensoriamento de dados conforme as especificações de cada componente utilizado.

O objetivo deste passo é fazer a ponte entre as entradas e as saídas do sistema em questão, tratando os sinais advindos dos sensores e transformando-os em uma tensão compatível com as entradas do microcontrolador para que o mesmo faça o processamento desses sinais de acordo com a lógica de controle projetada na Seção 4.2 e acione as os motores e as bandeiras de acordo com as transições disparadas.

O esquemático da placa de circuito impresso com todos os periféricos se encontra no Apêndice A.

4.3.1 AQUISIÇÃO DE DADOS DOS SENSORES DE PRESENÇA

Foram utilizados ao todo cinco sensores de presença, cada um com uma alimentação de 15V. Entretanto, essa tensão não é adequada para que seja utilizada nas entradas do microcontrolador, tendo que, nesse caso, ser reduzida para uma tensão entre 1,8V e 3,6V, que é a faixa de voltagem que o sistema embarcado reconhece como um sinal lógico verdadeiro em suas entradas.

Para que a saída dos sensores estivessem dentro dessa faixa de tensão, foi utilizado um simples divisor resistivo em cada um dos sensores, fazendo com que sua tensão de saída fosse reduzida para um valor adequado para a leitura do microcontrolador. A Figura 36 mostra o esquemático do circuito de aquisição dos sinais dos sensores de presença, sendo Gnd , V_{out} e V_{cc} os três pinos do sensor. É possível notar que além do divisor resistivo dos resistores de $10k\Omega$ e $2,7k\Omega$, ainda há um capacitor de $470nF$ para diminuir o ruído gerado pelos motores e circuitos de acionamento.

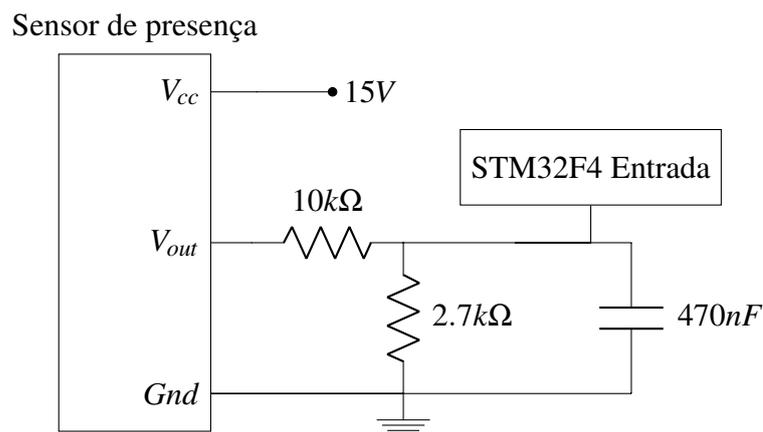


Figura 36 – Esquemático da aquisição de dados dos sensores de presença

Vale lembrar que o sensor possui valores binários como saída, ou seja, o valor de V_{out} é igual a V_{cc} quando há presença do adversário no alcance do sensor, e quando não há, o valor de V_{out} é igual a Gnd .

4.3.2 AQUISIÇÃO DE DADOS DOS SENSORES DE FAIXA

Diferente dos sensores ópticos, os sensores de faixa QTR-1A possuem valores de saída variando de 0 V até a sua tensão de alimentação dependendo da intensidade da reflexão da superfície em questão. Para que o microcontrolador captasse as bordas de subida e descida foi necessário utilizar um comparador, para que os sinais de saída do sensor de faixa se tornassem valores binários.

A Figura 37 mostra o circuito de aquisição de dados dos sensores de faixa utilizando um amplificador operacional LM358N como comparador. A tensão V_{out} é a saída do sensor de faixa, que varia de 0 V até o valor de V_{cc} . Considerando um V_{cc} de 5 V, tem-se que a alimentação no comparador é de aproximadamente 4,3 V devido à queda de tensão de 0,7 V do diodo. Este comparador gera em sua saída um sinal lógico alto em torno de 3V devido à queda de tensão decorrente do modelo do amplificador operacional, o que faz com que esse sinal esteja adequado para ser processado pelo microcontrolador, portanto essa saída do comparador é conectada diretamente nas portas de entrada do sistema embarcado. Há também um capacitor para diminuir o ruído dos motores e sistemas de acionamento na saída do comparador.

O resistor variável, conectado à porta não inversora do amplificador operacional juntamente com dois capacitores para redução de interferências, serve para ajuste da sensibilidade dos sensores. O terminal desse resistor conectado ao comparador é filtrado através de dois capacitores, um de poliéster e um eletrolítico, ambos com a função de reduzir interferências causadas por ambos os motores.

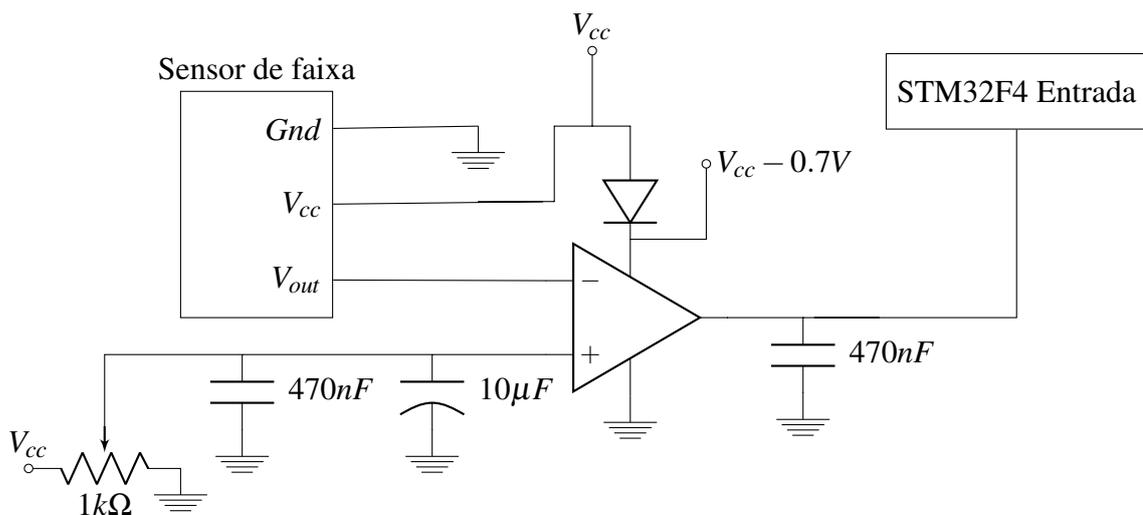


Figura 37 – Esquemático da aquisição de dados dos sensores de faixa

4.3.3 ACIONAMENTO DOS MOTORES E BANDEIRAS

Para que tanto as pontes H quanto os servo motores fossem disparados a partir das portas de saída do microcontrolador, foram configuradas saídas PWM para ajuste da velocidade dos motores e angulação dos servo-motores das bandeiras. Estas saídas foram conectadas diretamente nas pontes H, pelo fato de que as mesmas já possuem resistor de limitação de corrente acoplados na placa. Já os servo motores foram conectados com um resistor de 220Ω entre a saída do microcontrolador. Ambas as pontes H e os servos motores foram alimentados com uma tensão de 5 V.

A Figura 38 detalha o circuito para acionamento dos servo motores. O sinal PWM sai por uma das portas de saída do microcontrolador, passa por um resistor que limita a corrente e aciona o servo motor através do sinal V_{in} . A frequência desse PWM é de 50 Hz e seu ciclo de trabalho varia de 40% a 60% de acordo com a angulação desejada para as bandeiras.

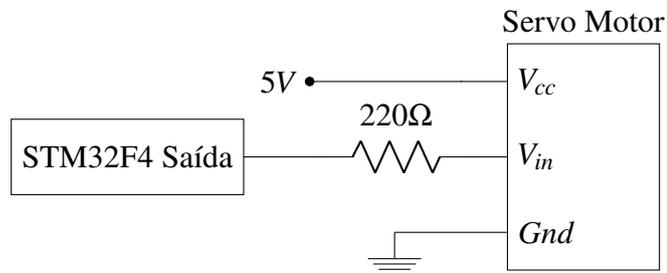


Figura 38 – Esquemático do acionamento dos servo motores

Já a Figura 39 detalha o esquemático de acionamento das pontes H. A saída 1 aciona o respectivo motor para a frente, já a saída 2 aciona a ré. Ambas são sinais PWM com uma frequência de 3,3 kHz para chaveamento do opto acoplador contido na placa da ponte H.

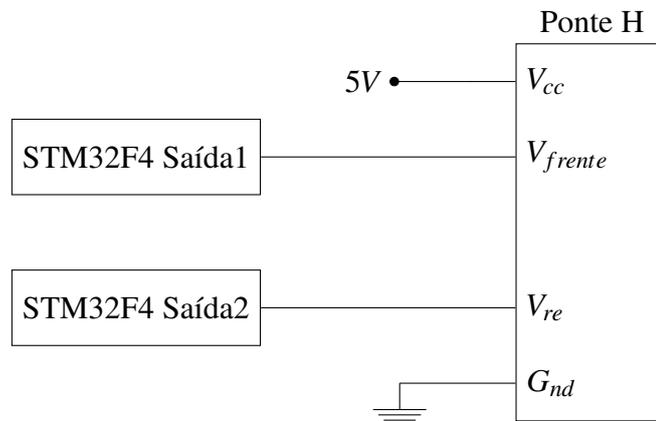


Figura 39 – Esquemático do circuito de acionamento das pontes H

4.3.4 COMUNICAÇÃO E MONITORAMENTO VIA BLUETOOTH

De forma que o circuito comunicasse os sinais enviados para o sistema embarcado, foi utilizado o módulo *bluetooth* HC-05 nas portas seriais do microcontrolador. A Figura 40 mostra como foi feita a conexão para tal, sendo TX o pino de transmissão de sinal do respectivo componente, seja o HC-05 ou o STM32F4, e o pino RX é o pino de recepção de sinal.

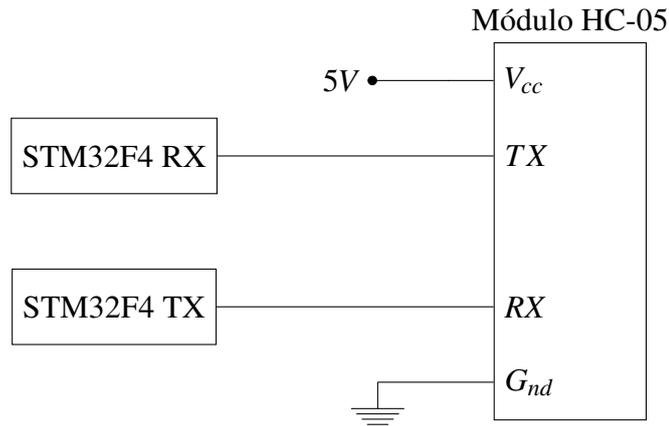


Figura 40 – Esquemático do circuito de acionamento do módulo *bluetooth*

Para que o microcontrolador se comunicasse com o HC-05 e vice versa, foi utilizado um aplicativo de *smartphone* para que fossem enviados sinais para o microcontrolador, dessa forma, o robô só poderia ser ligado através de uma sequência de caracteres específica que daria início para a contagem de 5 segundos para o robô se movimentar. Já o código do sistema embarcado foi programado para serem enviadas cadeias de caracteres após cada transição ser disparada na máquina de estados, possibilitando, dessa forma, o monitoramento das transições que foram disparadas durante uma luta entre dois robôs.

A Figura 41 mostra uma tela do aplicativo, na qual possui os botões de liga e desliga que enviam as sequências de caracteres específicas para realizar ambos os comandos. A aplicação também possui um campo para leitura de textos, para a qual o microcontrolador envia todas as transições disparadas no decorrer da execução.

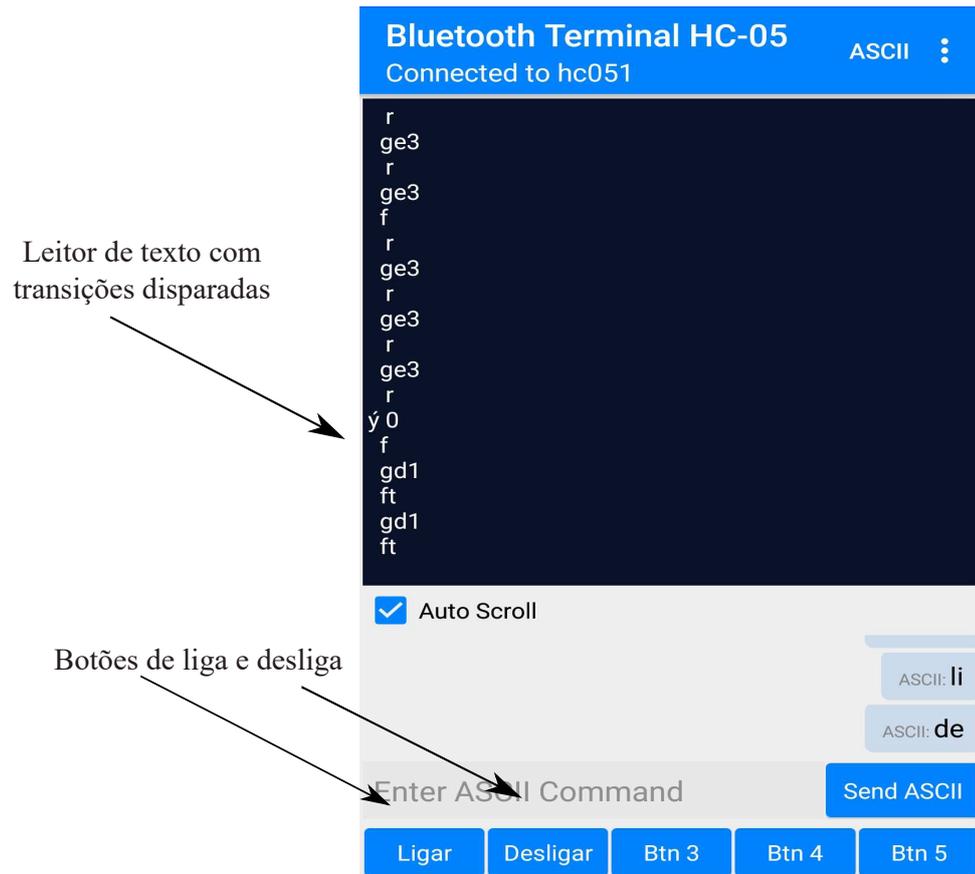


Figura 41 – Aplicação para monitoramento das transições do supervisor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em comparação com a antiga versão do robô de sumô, a nova versão melhorou em vários aspectos. Dentre os quais podemos destacar:

- A estrutura mecânica criada facilitou o ajuste e manutenção dos componentes, não precisando remover nenhum parafuso para tal. Todos os sensores podem ter sua sensibilidade ajustada sem que precise remover a tampa do robô, esta só irá se movimentar em caso de troca das baterias. A resistência à colisão também aumentou, passando de uma estrutura de MDF e chapas de zinco dobradas para um alumínio utilizado principalmente na indústria naval;
- A lógica de Sistemas a Eventos Discretos ficou mais enxuta, reduzindo o número de estados do comportamento global em relação à versão anterior. Isso se deve ao fato de o atual supervisor eliminar estados na qual não são possíveis de se alcançar na prática, como três sensores de presença captarem o oponente. Também se pode destacar que o acionamento com sinal PWM permitiu que pudéssemos variar a velocidade do robô em diferentes transições, o que fez com que a quantidade de eventos que pudessem ser disparados aumentasse;
- O novo sistema embarcado utilizado possibilita a inclusão de mais componentes, tais como motores, sensores e bandeiras. Isso se deve ao fato de o microcontrolador atual possuir uma grande quantidade de pinos configuráveis, fazendo com que se possa apenas adicionar uma configuração extra ao código do microcontrolador, sem alterar os demais periféricos que estão sendo utilizados;
- O uso dos motoredutores da banebots permitiu que o robô possuísse mais torque e velocidade que o antigo robô, mesmo usando apenas dois motores em comparação com os seis motores utilizados na versão anterior;
- As bandeiras foram uma boa opção para aplicar dribles nos adversários que utilizem sensores ópticos, visto que a luz refletida por elas é maior que a refletida pelo próprio

robô, entretanto há uma vantagem menor no uso delas contra adversários que utilizem sensores ultrassônicos;

- O acionamento pelo módulo *bluetooth* HC-05 permitiu que fosse possível monitorar todas as transições disparadas na lógica de SEDs enquanto a luta estivesse ocorrendo, permitindo uma maior facilidade para a percepção de erros e melhorias na lógica de locomoção;
- Para uma maior aderência do robô no dojô foram utilizados ímãs de neodímio, que é um dos tipos de ímãs mais fortes encontrados na indústria. Possibilitaram uma maior aderência do robô em chapas metálicas, e essa força de atração foi ampliada pelo arranjo do halbach array comentado na Seção 3.8.

Entretanto, algumas dificuldades foram encontradas no decorrer do projeto, entre elas se destacam:

- A procura por alumínio de boa qualidade e resistência para a estrutura mecânica do robô, pois poucas indústrias no Brasil trabalham com a venda de diferentes tipos de alumínio;
- Gasto de tempo para procurar serviços de corte de chapas de qualidade e com prazo de entrega curto, sem deixar as chapas com muita rebarba e também com uma precisão de corte adequada para o âmbito do projeto;
- Devido ao ruído eletromagnético excessivo, foram testadas várias alterações no circuito para que a interferência fosse reduzida, entre elas: Remoção e troca de resistores por outros de menor resistência, troca de sensores de faixa, uso de capacitores nos terminais dos motores e diminuição das resistências variáveis para a sensibilidade dos sensores de faixa. Dessa forma, a interferência eletromagnética foi reduzida a ponto de não disparar nenhuma transição indevida durante uma luta.

O projeto e implementação de um robô de sumô se mostrou uma tarefa bastante desafiadora, principalmente pelo fato de envolver muitas áreas de engenharia para que o projeto fosse bem sucedido, e mesmo com todas as melhorias citadas, otimizações ainda podem ser aplicadas.

O uso de um sensoriamento para a direção em que o robô está se locomovendo possibilitaria que evitasse ser empurrado pelo adversário. Para que isso fosse possível, teria de ser modelada uma nova planta para a lógica de locomoção, colocando como eventos todas as direções nas quais o robô pode se locomover. A especificação para isso seria o disparo de

eventos controláveis para driblar o adversário caso dispare algum evento que confirme que o robô adversário está empurrando-o.

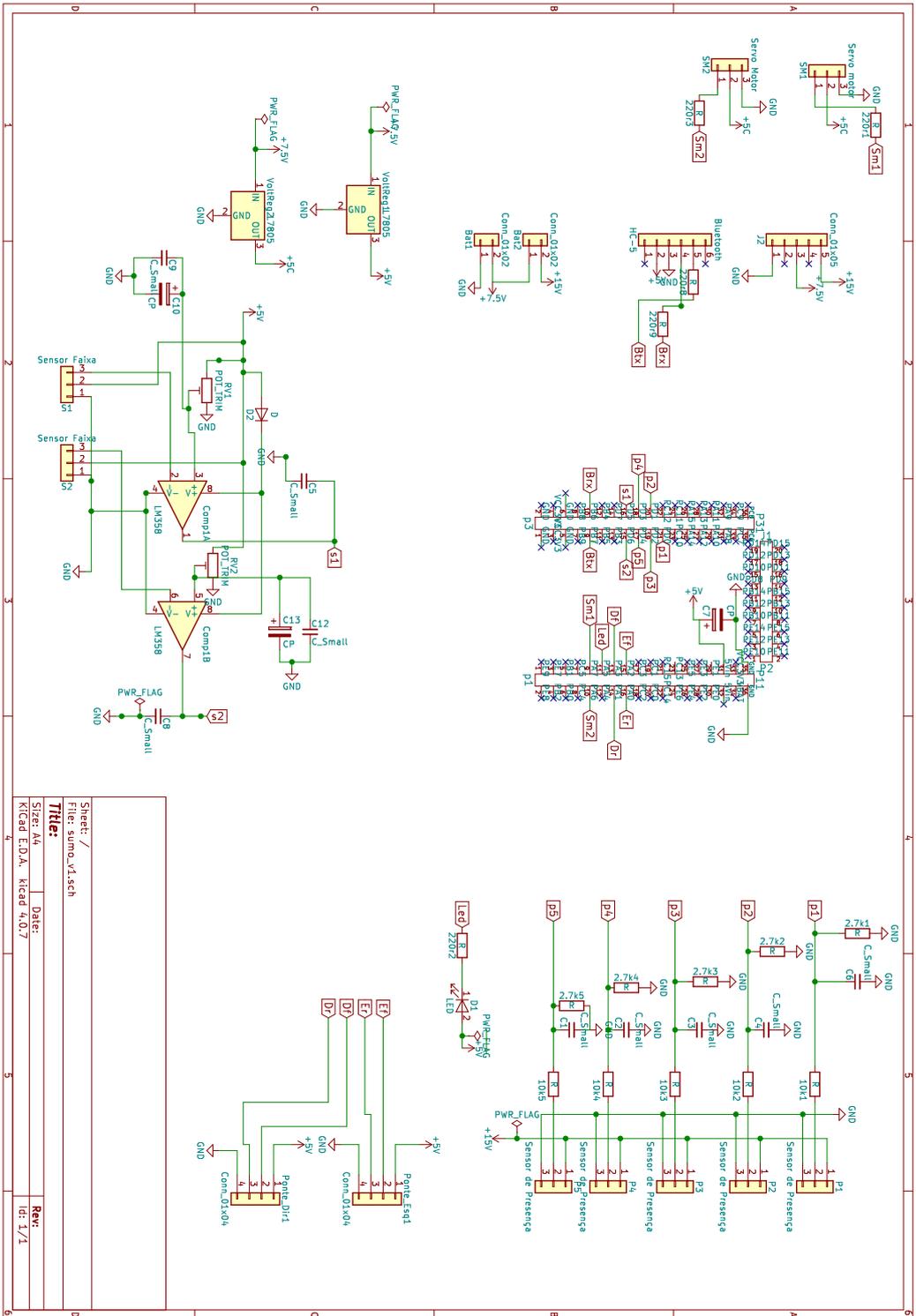
Uma outra forma de melhorar o trabalho atual seria a tentativa de uma outra lógica de locomoção, um exemplo disso é um método de aprendizado por reforço. Esse tipo de aprendizado é semelhante à forma como nós seres humanos aprendemos, pois o agente aprende quais ações deve tomar em um ambiente de acordo com seus resultados obtidos. O robô escolheria uma sequência de ações para cada estado que se encontra de acordo com suas informações sensoriais com o objetivo de maximizar seus resultados.

A dificuldade envolvendo essa técnica se encontra nas milhares de execuções que o robô precisa realizar para que aprenda a se locomover de forma inteligente até que derrote o adversário. Isso envolveria o programador posicionando e ligando os robôs em cada execução, excluindo o tempo para troca e carregamento das baterias utilizadas e também o desgaste das peças dos robôs em cada colisão entre eles. Portanto, as execuções precisam ser realizadas utilizando simulações computacionais, de forma que economize tempo e materiais para que o aprendizado seja bem sucedido.

REFERÊNCIAS

- CALLISTER, W. **Ciência E Engenharia de Materiais: Uma Introdução** . [S.l.]: Grupo Gen-LTC, 2000.
- CASSANDRAS, C. G.; LAFORTUNE, S. **Introduction to discrete event systems**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2009.
- CITISYSTEMS. **Servo motor: Veja como funciona e quais tipos**. 2011. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/servo-motor/>>. Acesso em: 16 out. 2017.
- K & J Magnetics. **Halbach Arrays**. Disponível em: <<https://www.kjmagnetics.com/blog.asp?p=halbach-arrays>>. Acesso em: 9 set. 2017.
- MALIK, R. et al. Supremica, an efficient tool for large-scale discrete event systems. **IFAC-PapersOnLine**, v. 50, n. 1, p. 5794–5799, jul 2017. ISSN 24058963. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405896317307772>>.
- MALLINSON, J. One-sided fluxes – A magnetic curiosity? **IEEE Transactions on Magnetics**, v. 9, n. 4, p. 678–682, dec 1973. ISSN 0018-9464. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1067714/>>.
- MARINHO, D. L. Aperfeiçoamento de um robô de sumô autônomo. Pato Branco, p. 67, 2015.
- MERIAM, J. L.; KRAIGE, L. G. **Mecânica Para Engenharia: Estática. Volume 1** . [S.l.]: Grupo Gen-LTC, 2000.
- RAMADGE, P.; WONHAM, W. The control of discrete event systems. **Proceedings of the IEEE**, v. 77, n. 1, p. 81–98, 1989. ISSN 00189219. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/21072/>>.
- RAMADGE, P. J.; WONHAM, W. M. Supervision of discrete event processes. In: **1982 21st IEEE Conference on Decision and Control**. IEEE, 1982. p. 1228–1229. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4047454/>>.
- RASHID, M. H. **Power Electronics Handbook**. 2. ed. Penascola, FL: Academic Press, 2001.
- ROBOCORE. **Regras Sumô**. 2017. 8 p. Disponível em: <https://www.robocore.net/upload/attachments/robocore/_regras_sum>. Acesso em: 14 set. 2017.
- ROBOCUP. **A Brief History of Robocup**. 2017. Disponível em: <http://www.robocup.org/a_brief_history_o>.
- SECCHI, H. A. Uma introdução aos robôs móveis. Argentina, p. 81, 2008.

APÊNDICE A - CIRCUITO DE CONTROLE



Sheet: /	Date:
File: sumo.v1.sch	Rev:
Title:	ids: 1/1
Size: 141	KiCad E.D.A. - KiCad 4.0.7