

FRANCISCO DE ASSIS VASCONCELOS MIRANDA NETO

Desenvolvimento de hardware de robôs autônomos de sumô 3kg.

Guaratinguetá - SP
2017

Francisco de Assis Vasconcelos Miranda Neto

Desenvolvimento de Hardware de robôs autônomos de sumô 3kg.

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador (a): Daniel Julien B. da S. Sampaio

Guaratinguetá - SP
2017

M672D

Miranda Neto, Francisco de Assis Vasconcelos

Desenvolvimento de hardware de robôs autônomos de sumô 3kg /
Francisco de Assis Vasconcelos Miranda Neto – Guaratinguetá, 2017.

65 f : il.

Bibliografia: f. 53

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Julien Barros da Silva Sampaio

1. Robótica. 2. Hardware. 3. Robôs. I. Título

CDU 007.52

unesp  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

DESENVOLVIMENTO DE HARDWARE DE ROBÔS AUTÔNOMOS DE SUMÔ DE 3kg.

FRANCISCO DE ASSIS VASCONCELOS MIRANDA NETO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM NOME DO CURSO”

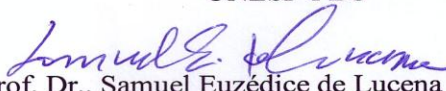
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM NOME DO CURSO

Prof. Dr. Leonardo Mesquita
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Daniel Julien Barros da Silva Sampaio
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. Fernando Ribeiro Filadelfo
UNESP-FEG


Prof. Dr.. Samuel Euzédice de Lucena
UNESP-FEG

Fevereiro 2017

Dedico este trabalho de à minha família,
a meus melhores amigos e à equipe FEG – Robótica.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus. Agradeço pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos,

ao meu orientador, Prof. Dr. Daniel Julien Barros da Silva Sampaio e demais professores da instituição que de alguma forma colaboraram com a minha formação, em especial ao Prof. Dr. Samuel Euzédice de Lucena, ao Prof. Dr. Fernando Filadelfo e ao Prof. Dr. Leonardo Mesquita.

aos meus pais José Francisco e Conceição Célia, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre me incentivaram em todas minhas escolhas de vida.

ao amigo, e companheiro mais uma vez nessa jornada na conclusão do curso, Rodolfo Egon Pehrs.

aos amigos mais que especiais, Ana Julia, Felipe, Fred, Glauco, Léo, Yuri, e moradoras da república Bem Me Quer.

às funcionárias e aos funcionários da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá de maneira geral que sempre foram atenciosos e prestativos.

RESUMO

Este trabalho fundamenta-se no desenvolvimento do hardware completo de um robô autônomo para combate na categoria sumô com até 3kg. A realização do hardware completo do robô engloba todo o planejamento e desenvolvimento dos sistemas mecânicos e eletrônicos. O objetivo da construção de um robô para tal aplicação extrapola a participação em uma competição de combate. O desenvolvimento de robôs autônomos vai além, proporciona aplicações que partem do mesmo princípio, mas tem uma gama de aplicações extensa.

Robôs autônomos são usados mundialmente hoje nos campos da medicina, astronomia, automobilismo, das mais diversas formas, fazendo com que a aplicação deste projeto siga às tendências mundiais no campo da robótica autônoma.

O sistema eletrônico utilizado engloba conceitos de Sistemas Embarcados, também uma tendência global recente e que abre ainda mais possibilidades para a evolução contínua do presente projeto.

A equipe de robótica FEG Robótica, do campus de Guaratinguetá, da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP, tornou possível a implementação deste trabalho, executando a montagem de todas as partes necessárias para uma versão real do robô.

Este projeto conta ainda com a possibilidade de acionamento remoto via Bluetooth, feita através de um aplicativo para smartphones com sistema operacional Android, também idealizado e executado pela equipe FEG Robótica.

PALAVRAS-CHAVE: Robótica autônoma. Robô Sumô. Sistemas Embarcados.

ABSTRACT

This work sustains itself in the development of a complete hardware of a 3 kilograms Sumo Robot for combat competitions. The project covers all the researches and development of electronic and mechanic systems of the robot. The purpose of constructing a Sumo Robot goes beyond the participation on combat competitions. The development of autonomous robots provides applications that have the same principles but have a extensive gamma of possibilities to apply it.

Autonomous Robots are nowadays applied worldwide at most of the technological fields, like Medical, Automobilist and Astronomy fields, in different ways, making that the implementation of this project follows the current world technological and autonomous robot field trends.

The electronic system implemented on the project uses Embedded Systems concepts, also a recent global trend that allows many possibilities for a constant evolution for the robot.

The FEG Robotica robotics team, from Guaratinguetá Campus of Guaratinguetá Engineering College - UNESP, made real the implementation and construction of the robot, buying and building all the necessary parts for a real version of the robot.

This project can be remotely attached, via Bluetooth, through an Android smartphone App, also entirely developed by the FEG Robotica team.

KEYWORDS: Autonomous robotics. Sumo Robot. Embedded Systems.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Montagem de robô autônomo completo	15
Figura 2 – Circuito exemplo de uma ponte H controlada por chaves	18
Figura 3 – Sensor de distância SHARP GP2Y0A21YK e sua curva característica	20
Figura 4 – Sensor de distância Omron E3FB-DP13 (à esquerda, com encapsulamento de plástico) e E3FB-DP23 (à direita, com encapsulamento metálico).....	21
Figura 5 – Gráficos de resposta em frequência dos sensores Omron E3FB-DP13 e E3FB-DP23	21
Figura 6 – Circuito do sensor de linha (terminal Q1 indica sinal que irá para o microcontrolador) e curva característica de corrente de saída conforme a distância do objeto detectado.....	23
Figura 7 – Comparação entre tensão de alimentação com e sem capacitor de bypass.....	24
Figura 8 – Componentes de proteção na alimentação da placa de potência.....	25
Figura 9 – Diodos de descarga rápida para proteção da ponte H	26
Figura 10 – Diagrama em blocos do robô de sumô autônomo 3kg.....	27
Figura 11 – Configurações dos pinos do PIC18F2550 na placa de controle.....	28
Figura 12 – Sensores de distância.....	29
Figura 13 – Sensores de linha.....	30
Figura 14 – Circuito de Clock	30
Figura 15 – Conexão do jumper de estratégia	31
Figura 16 – LED para verificação de status da placa	31
Figura 17 – Compartilhamento da placa de controle com a placa de potência	32
Figura 18 – Alimentação independente da placa.....	32
Figura 19 – Conector para gravação do PIC.....	33
Figura 20 – Configuração dos pinos do PIC18F4431 na placa de potência.....	34
Figura 21 – Configuração do circuito integrado BTN7970.....	35
Figura 22 – Sensor de corrente do circuito BTN7970.....	36
Figura 23 – Comunicação entre a placa de controle e a placa de potência	36
Figura 24 – Circuito de Clock	37
Figura 25 – LEDs para verificação do funcionamento dos motores	37
Figura 26 – Conector para gravação do PIC.....	38
Figura 27 – Configuração dos pinos GPIO	38
Figura 28 – Regulador de tensão	39

Figura 29 – Motor RS775-18V	40
Figura 30 – Curvas características do motor RS755-18V.....	41
Figura 31 – Montagem Motor-Redução.....	43
Figura 32 – Redução 64:1 Banebots	43
Figura 33 – Exemplo do uso de embuxados	44
Figura 34 – Exemplo do uso de pastilhas	45
Figura 35 – Montagem transmissão tanque com eixos paralelos.....	46
Figura 36 – Transmissão tanque com eixos paralelos.....	47
Figura 37 – Teste de dureza dos pneus	48
Figura 38 – Design da estrutura da base	49
Figura 39 – Desenho 3D da rampa.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Corrente exigida pelos motores devido a ação de imãs e a dureza das rodas.....33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	Analógico Digital
ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene
AC	Alternate Current
CI	Circuito Integrado
FEG	Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
LED	Light Emitting Diode
LiPo	Lithium Polymer
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
PIC	Peripheral Interface Controller (Interface Controladora de Periféricos)
PLA	Poliácido Láctico
PWM	Pulse Width Modulation
TVS	Transient Voltage Suppressor
UHMWPE	Ultra High Molecular Weight Polyethylene
USB	Universal Serial Bus
WC XII	Winter Challenge 12 (Campeonato de robôs)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	O SURGIMENTO E A ESTRUTURA DA EQUIPE FEG ROBÓTICA	13
2	DESENVOLVIMENTO (REVISÃO TEÓRICA)	14
2.1	REGRAS E LIMITES PARA O COMBATE DE ROBÔS DE SUMÔ AUTÔNOMO	14
2.2	ANÁLISE MECÂNICA	15
2.2.1	Peso	15
2.2.2	Agilidade e força	16
2.2.3	Viabilidade de custo	16
2.2.4	Ergonomia da manutenção	16
2.3	DISPOSITIVOS DE CONTROLE E POTÊNCIA	16
2.3.1	Microcontroladores	16
2.3.2	Ponte H	17
2.4	SENSORIAMENTO	19
2.4.1	Sensores de distância	19
2.4.1	Sensores de linha	23
2.5	DISPOSITIVOS E CIRCUITOS DE PROTEÇÃO	26
3	DESENVOLVIMENTO	27
3.1	DIAGRAMA DO SISTEMA ELETRÔNICO	29
3.2	DESENVOLVIMENTO DA PLACA DE CONTROLE	33
3.3	DESENVOLVIMENTO DA PLACA DE POTÊNCIA	39
3.4	MOTORES, REDUÇÃO E CÁLCULO DA VELOCIDADE	39
3.4.1	Motores	39
3.4.2	Cálculo da velocidade	41
3.4.3	Caixa de redução	43
3.5	IMÃS	45
3.6	ESTRUTURA DE SUPORTE PARA O SISTEMA ELETRÔNICO E PARA OS SENSORES	45
3.7	RODAS E PNEUS	48
3.8	ESTRUTURA DE BASE DO ROBÔ	49
3.9	RAMPA FRONTAL	50
4	CONCLUSÃO	51
	REFERÊNCIAS	52

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	53
ANEXO – REGRAS ROBOCORE	54

-

1 INTRODUÇÃO

Criado em 1948 - muito mais recente se comparado às primeiras citações de robótica convencional -, por Grey Walter na Universidade de Bristol, Inglaterra, o primeiro robô autônomo eletrônico não foi produzido em escala industrial e sequer foi comercializado, assim como o primeiro protótipo de humanóide, o Elektro, criado pela empresa de eletrodomésticos Westinghouse em 1939.

“Os robôs são um veículo para que os estudantes aprendam importantes habilidades de vida” DEAN KAMEN (1991).

A necessidade da evolução de robôs autônomos existe devido à ambientes e condições imprevisíveis e hostis, como em alguns setores fabris, desastres naturais, ou até mesmo no espaço por exemplo.

“Transformar nossa cultura criando um mundo onde ciência e tecnologia são celebrados e onde jovens sonham em tornar-se líderes da ciência e tecnologia.” DEAN KAMEN (1991).

A autonomia pode ser vista como uma interação do robô com o ambiente em que se encontra, sem nenhuma intervenção humana. Um robô pode receber e transmitir dados do ambiente, se deslocar de um ponto A para um ponto B, e executar auto reparos sem ajuda externa.

Conforme a evolução da tecnologia e de seu desenvolvimento em larga escala, se fez possível o acesso, do ponto de vista econômico, ao conhecimento e materiais necessários para que se popularizasse a criação de diversos sistemas autônomos, que hoje são comumente usados para lazer e conforto pessoal.

“Conforme olhamos para o horizonte, vemos um futuro onde a ciência fundamental possibilita novos conhecimentos e libera inovações sem precedentes.” L. RAFAEL REIF, MIT PRESIDENT (2016)

Com a popularização da tecnologia, diversas instituições de ensino, possuem, hoje, equipes de robótica, que são criadas tanto para pesquisa e evolução da tecnologia, quanto para diversão e disseminação do conhecimento de robótica desde cedo em escolas infantis.

1.1 O SURGIMENTO E A ESTRUTURA DA EQUIPE FEG ROBÓTICA

Primordial para a complementação de uma graduação convencional, a criação da equipe FEG Robótica tornou possível o desenvolvimento não de projetos de robótica, mas também de melhorias para a comunidade ao redor, de maneira geral.

Criada em 2011, a equipe surgiu com princípios e ideias para não ser apenas um grupo de jovens que compra e monta dispositivos para competir e visar resultados estatísticos. Acima de resultados em competições, a criação de novas tecnologias, solução de problemas de forma mais rentável e com recursos escassos, melhor aproveitamento de tecnologias já existentes, e disseminação de conhecimento para favorecer a comunidade, são ideias e regras básicas que ainda regem a forma de trabalho da equipe até os dias de hoje.

Com suporte financeiro e ferramental do próprio campus de Guaratinguetá - que também forneceu o local de pesquisa e execução para a equipe - e de patrocinadores, a equipe conta com melhores recursos hoje, mostrando seus resultados nas mais diversas formas.

Em sua estrutura a equipe se divide em Capitania, que conta com 2 membros, Mecânica, Eletrônica, Programação e Comunicação. Todos os membros são convidados a participar de todas as áreas disponíveis, comprovando mais uma vez o compromisso com uma formação mais completa dos membros.

A equipe se divide ainda entre os projetos de competição, os projetos de cunho acadêmico e sua área social, fundamental, que aplica diversos cursos e palestras na comunidade, buscando uma visão diferente da sociedade em relação à ciência e tecnologia.

“A verdade é que, um robô bem planejado pode vencer um robô de qualquer tipo.”
MARCO ANTONIO MEGGIOLARO (2009).

2 DESENVOLVIMENTO (REVISÃO TEÓRICA)

2.1 REGRAS E LIMITES PARA O COMBATE DE ROBÔS DE SUMÔ AUTÔNOMO

No caso do desenvolvimento de um robô exclusivamente feito para uma competição com regras e limites específicos, como o desenvolvido neste trabalho, se faz necessário o conhecimento dessas regras e limites, e portanto, todo o projeto eletro-mecânico do robô se molda nos limites impostos.

Este trabalho se molda nas regras impostas na competição Winter Challenge XII, criada e realizada pela empresa RoboCore.

As regras vão desde o aspecto ético e postura pessoal, chegando aos limites mecânicos e eletrônicos do robô.

O combate de sumô autônomo na categoria 3kg é realizado em uma arena circular, de aço coberta com poliuretano, com bordas brancas e interior na cor preta. com 5,0mm de espessura e 154,0cm de diâmetro.

O robô precisa estar dentro dos limites mecânicos impostos, sendo eles a largura e o comprimento, de 20cm cada, e seu peso máximo de 3kg. A altura é ilimitada. Durante o combate, que tem no máximo 3 rounds de 1 minuto cada, os robôs não podem ter peças desprendidas que somem mais de 10g, resultando na derrota no round caso ocorra a situação.

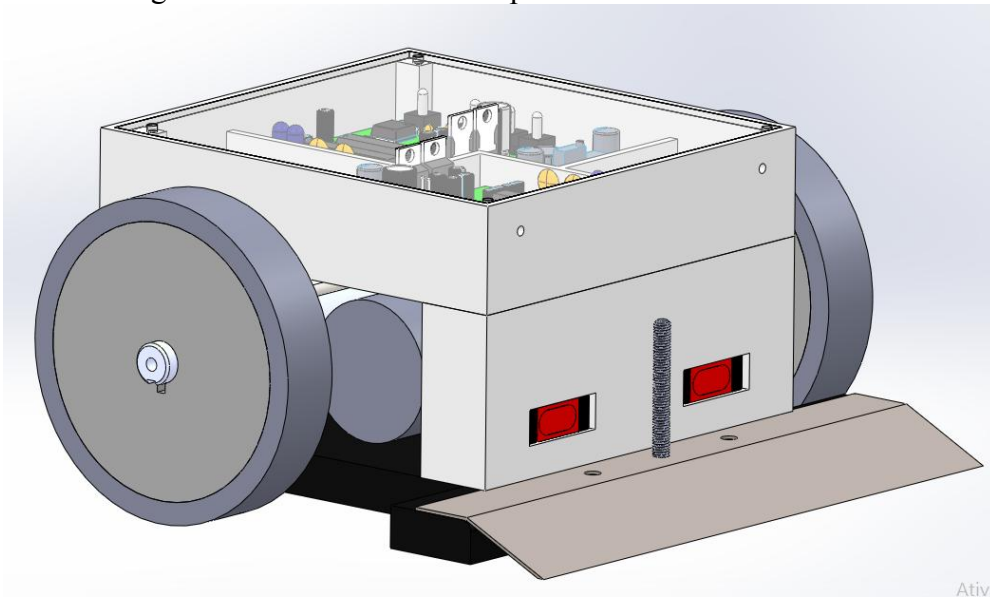
Os robôs devem começar a se movimentar em não menos que 5 segundos e não podem emitir sinais de interferência que visem danificar sensores adversários, utilizar de dispositivos inflamáveis e armazenar substâncias com a finalidade de lançar sobre os adversários.

O manual de regras, completo, da competição, fornecido pela RoboCore, segue no anexo A deste trabalho.

2.2 ANÁLISE MECÂNICA

Na hora de se projetar um robô autônomo – como o desenvolvido neste trabalho, e que segue na Figura 1 abaixo - de sumô algumas relações são muito importantes para o sucesso do projeto, as quais são descritas abaixo.

Figura 1 – Montagem de robô autônomo completo



Fonte: Produção do próprio autor

2.2.1 Peso

As categorias são divididas por peso e dimensões. Para esse projeto, os limites impostos para o robô são: possuir no máximo 3kg, caber em uma caixa com 20 cm por 20 cm de base com altura ilimitada

Logo, para conseguir construir o melhor robô possível o desafio está em utilizar todo o peso e volume permitido. Para isso investe-se em motores potentes de baixo peso e volume, materiais estruturais leves, resistentes e de fácil manuseio e usinagem. Como exemplo de materiais têm-se ligas de alumínio, alguns polímeros como poliacetal e UHMW e fibra de carbono.

É importante frisar que todos os itens são interdependentes. Como exemplo, ao fazer a escolha de um motor é necessário possuir uma bateria que lhe forneça a energia demandada. Por consequência o peso e dimensões dessa bateria devem ser levados em consideração.

2.2.2 Agilidade e Força

Uma pergunta frequente em competições de sumô autônomo é: qual o melhor robô: o mais rápido ou mais forte?

A resposta depende da estratégia adotada. Ambos os estilos já foram campeões mundiais, fica a cargo do projetista fazer o melhor possível em função da estratégia adotada.

Este projeto teve foco em equilibrar força e agilidade.

2.2.3 Viabilidade de Custo

Um dos limitantes do projeto é o orçamento disponível. Este projeto teve o apoio da universidade, a qual fornece uma verba anual, e de patrocinadores que colaboram com o fornecimento de peças e serviços.

2.2.4 Ergonomia na manutenção

Ao projetar um robô é muito importante a preocupação com a manutenção e montagem do mesmo, pois os itens mais passíveis de dano precisam ser acessíveis para caso seja necessário o reparo de algum dano entre os rounds das lutas, momento em que é exigido rapidez no trabalho. Para exemplificar a situação, pode-se citar a troca do conjunto de rodas após o seu desgaste pelo atrito com a arena durante o confronto e a recarga da bateria, que deve ser feita com frequência.

2.3 DISPOSITIVOS DE POTÊNCIA E CONTROLE

2.3.1 Microcontroladores

A eletrônica do robô é dividida entre controle e potência, dispostas em placas distintas.

Para a parte de controle, o controlador deve dispor de suficientes portas de entrada de dados analógicos para a leitura dos sensores de distância e de linha e processá-los de maneira simultânea com pouco tempo de aquisição de dados. Para tal, o PIC18F2550 foi escolhido, primariamente devido à sua capacidade de capturar até 10 canais de dados e converter as informações analógicas dos sensores para dados digitais de 10 bits de resolução. Além disso, ele também implementa várias facilidades para a área da Programação ser mais flexível na elaboração do código do programa a ser usado, tais como a praticidade em sua programação em linguagem C++, compatibilidade com interface USB, oscilador interno ajustável e uso de até três interrupções externas independentes.

Já para a parte de potência, é necessário que a saída do microcontrolador atenda satisfatoriamente os requisitos para o chaveamento do motor, tanto pela frequência quanto pelo nível de corrente. Com isso, usa-se o PIC18F4431 para se encarregar da parte de potência, uma vez que o mesmo é especializado em gerenciar dados em PWM (pulse width modulation, ou modulação por largura de pulso) necessários para o interfaceamento entre a parte lógica e a ponte H que controla o acionamento do motor. Tal modelo do controlador, diferentemente do usado na placa de controle, dispõe de um módulo de controle de PWM de potência (suportando maiores níveis de corrente) de 14 bits para até 4 canais, além de

conversores A/D com taxa de amostragem de até 200.000 aquisições por segundo e amostragem simultânea e sincronizada para dois canais independentes, o que permite o controle de dois motores de alta corrente ao mesmo tempo. Em caso de falha em algum dos pinos para o controle de alta corrente, o microcontrolador ainda conta com pinos simétricos, que fornecem os mesmos sinais de seu pino de referência, porém de forma invertida, em casos de aplicação com mais de um par de motores.

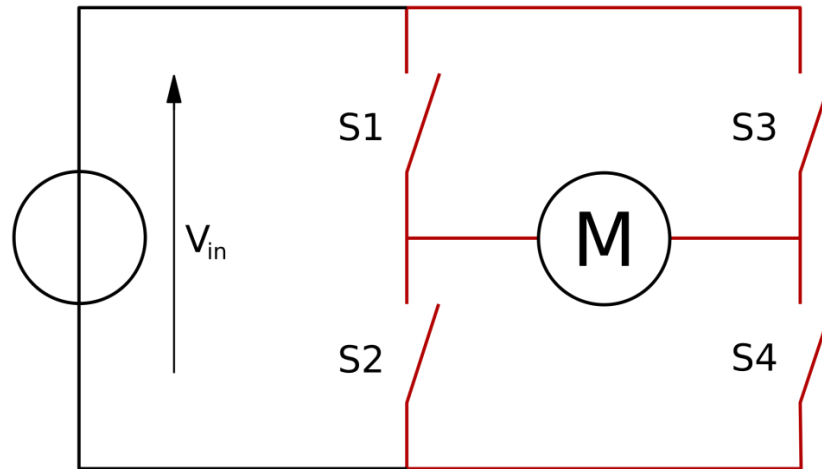
2.3.2 Ponte H

Na placa de potência do robô, o sinal de modulação por largura de pulso que o microcontrolador envia para o motor possui baixíssima intensidade de corrente elétrica (25mA) frente à corrente elétrica necessária para sequer executar a partida do motor (no caso do RS-550, 10,9A). Uma solução seria ligar o motor diretamente com a bateria a apenas chaveá-la por relés que teriam suas entradas controladas pelo microcontrolador, no entanto, tal solução se mostra insuficiente uma vez que é desejável o controle do sentido de rotação do motor ao invés de apenas ligá-lo ou desligá-lo.

Para isso, emprega-se o circuito de ponte H, ilustrado de maneira superficial pela Figura 2. Sua função é, de acordo com a posição das chaves do circuito, possibilitar o giro do motor no sentido horário ou anti-horário dependendo do sentido que a corrente elétrica percorre o motor. À exemplo da figura, fechando-se as chaves S1 e S4, deixando as demais chaves abertas, fará com que o motor gire em um dado sentido, enquanto que ao se fechar S2 e S3 e abrir as demais fará o mesmo motor girar no sentido oposto.

É evidente que o controle usando chaves manuais é impossível em robôs autônomos, logo, pode-se empregar relés eletromecânicos ou transistores para transformar a ponte H em um circuito controlável por microcontroladores ou circuitos integrados dedicados. Uma desvantagem em usar relés é o seu lento tempo de resposta para abrir ou fechar seus contatos e relativamente baixo tempo de vida útil se comparado com transistores bipolares e MOSFETs.

Figura 2– Circuito exemplo de uma ponte H controlada por chaves.



Fonte: Produção do próprio autor

Com uma grande gama de escolhas possíveis em se tratando de transistores, preferiu-se aqueles que possuem menor tempo de resposta possível a fim de diminuir ao máximo o tempo de resposta entre o sinal enviado do microcontrolador e o efetivo chaveamento da ponte H. Em livros de eletrônica, verifica-se que os transistores do tipo MOSFET são aqueles que possuem menor tempo de resposta uma vez que seu estado de operação é definido pela diferença de potencial entre seus terminais de porta (gate) e fonte (source), ao passo que transistores bipolares têm seu estado definido pela corrente recebida pelo terminal de base. Mesmo que a tensão de operação de MOSFETs tenham limites máximos menores que transistores BJT (junção bipolar), ele é mais que suficiente para rápido chaveamento até 30V, o que é mais que necessário para competições de nível internacionais.

Para economia de espaço na placa de circuito impresso, resolveu-se colocar dois pares de CIs BTN7970, da Infineon, cada um contendo uma meia ponte H composta por dois MOSFETs internos, com subsistemas de detecção de sobretensão, subtensão, sobrecorrente e sobretemperatura, além de possibilidade de habilitação eletrônica de sua operação para aplicações de soft starter. Além desta conveniência, seu uso minimiza o acontecimento do efeito shoot-through, que ocorre quando ambos os transistores do mesmo lado de uma ponte H (referindo-se à figura 7, seria o par de chaves S1 e S2 e o par S3 e S4) fecham seus contatos, causando um efetivo curto-circuito na bateria e podendo danificar outros componentes da placa. Para se certificar que isto não aconteça, a programação deve ser meticulosa para garantir o sincronismo no chaveamento dos circuitos integrados de cada ponte H, ou então forçar um atraso ao realizar tal chaveamento.

2.4 SENSORIAMENTO

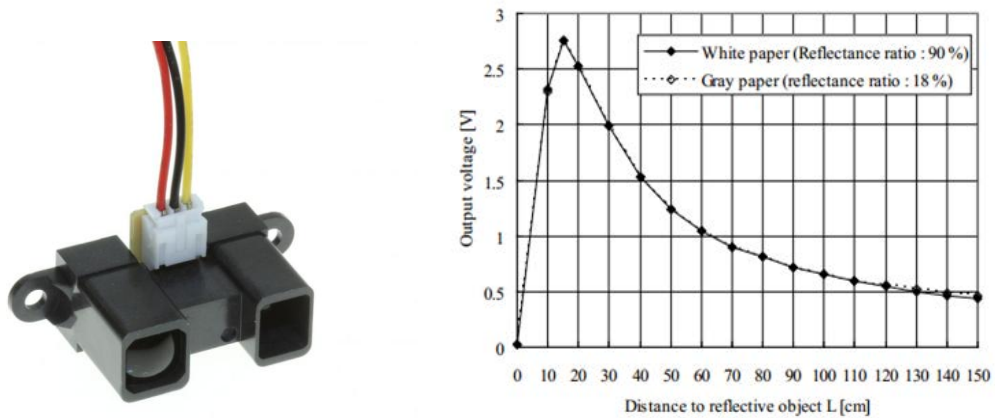
Para as competições de sumô de robôs autônomos, dois tipos de sensores são primordiais para o funcionamento inteligente do robô: sensores de distância e sensores de linha. O primeiro tipo de sensor se encarregará em verificar se há algum adversário em uma dada direção (normalmente sua frente ou nas laterais) para que o robô possa virar naquela direção no menor tempo possível, enquanto o segundo tipo de sensor é usado para evitar que o robô saia do dojô por conta própria durante a sua busca pelo oponente.

2.4.1 Sensores de distância

Os sensores de distância mais usados são os ultrassônicos (que usam um emissor e um receptor de ondas ultrassônicas para, de acordo com o tempo que leva para uma onda emitida ser recebida pelo receptor, calcula a distância entre o sensor e um obstáculo) e os infravermelhos (que usam, em um mesmo encapsulamento ou não, emissor e receptor de raios infravermelhos que, ao se deparar com algum obstáculo, faz com que tais raios alcancem o receptor e reporte a distância de acordo com o tempo transcorrido). Demais tipos de sensores, tais como sonares, laser e sensores de imagem, são evitados devido ao seus custos relativamente altos (além da complexidade na programação, no caso dos sensores de imagem). Mesmo que sensores ultrassônicos sejam considerados bons sensores na detecção de pequenos objetos de maneira precisa e ainda possuir uma resposta linear entre o sinal obtido e a distância real entre o sensor e o objeto detectado, este tipo de sensor apenas possui boa resposta na detecção de superfícies densas. Algumas superfícies como espuma e tecidos são capazes de absorver as ondas emitidas pelo sensor, fazendo com que o sensor não veja um robô adversário que esteja revestido com algum material semelhante.

Sensores infravermelhos, por trabalharem com luz, não sofrem tanto em seu tempo de resposta com diferentes materiais que o robô possa ser construído, ainda que materiais opacos e escuros absorvam e emitam radiação em taxas maiores, algo que afeta o tempo de resposta do sensor, ainda que pouco. Em sua primeira iteração, o robô usava sensores infravermelho da SHARP, modelo GP2Y0A21YK, ilustrado pela Figura 3, que conta também com uma curva de resposta do sensor de acordo com a distância entre o mesmo e o objeto detectado.

Figura 3– Sensor de distância SHARP GP2Y0A21YK e sua curva característica



Fonte: Pololu website

Nota-se que sua resposta possui aspecto bem característico para distâncias maiores 20cm, no entanto, em competições onde o dojô mede 77cm de raio (segundo regras do 11° Winter Challenge) , uma zona de 20cm de raio é uma distância bem considerável para se ter como área em que a resposta do sensor é ambígua. Assim, para a nova iteração do robô, empregou-se sensores industriais da Omron, modelos E3FB-DP23 e E3FB-DP13, como pode ser visto na figura 4, com seus gráficos de resposta ilustrados na Figura 5.

Figura 4– Sensor de distância Omron E3FB-DP13 (à esquerda, com encapsulamento de plástico) e E3FB-DP23 (à direita, com encapsulamento metálico)

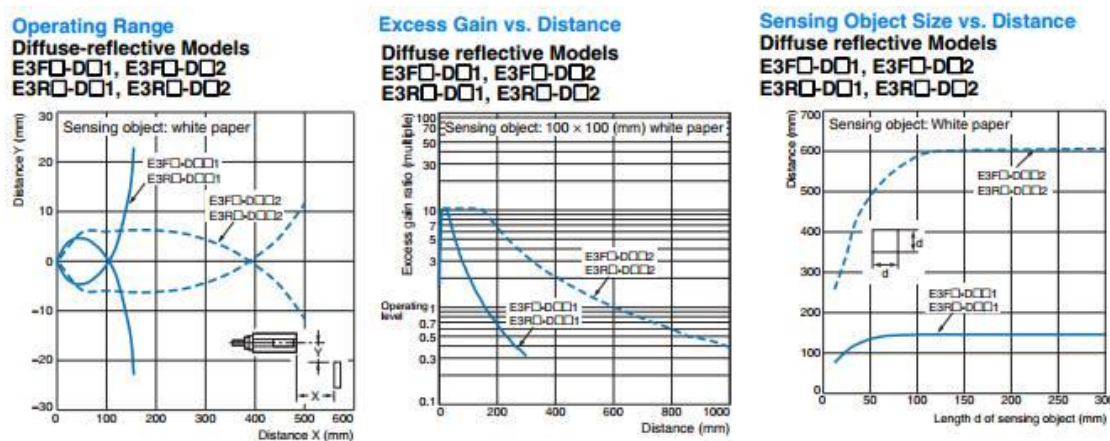


Fonte: Omron website

Tal sensor se trata de um sensor fotoelétrico difuso (com ambos o emissor e receptor no mesmo encapsulamento), que usa um diodo laser que emite luz visível para fácil diagnóstico da área detectada pelo sensor. Ainda, o mesmo conta com rápido tempo de resposta (0,5ms entre consecutivas aquisições), grande faixa de detecção de distância (até 1000mm) e proteção contra luz ambiente, em comparação com a resposta relativamente lenta do sensor SHARP (~39ms), sua distância máxima de detecção (150mm) e ausência de

proteção contra iluminação ambiente (ou seja, sua resposta é afetada de acordo com a intensidade luminosa do local e iluminação indireta).

Figura 5– Gráficos de resposta dos sensores Omron E3FB-DP13 e E3FB-DP23



Fonte: Omron website

Pelos gráficos, vê-se que o sensor da Omron possui excelente desempenho em detectar objetos bem próximos da direção que o mesmo aponta, além de sua distância máxima de detecção ser constante para objetos de no mínimo 100cm², o que é muito comum em competições de robôs autônomos. Ainda, este sensor possui um mecanismo para restringir a distância máxima que o mesmo detectará, evitando que tal detecte objetos que estejam localizados muito além do dojô, como pessoas e móveis, o que é muito conveniente uma vez que se trata de um sensor digital (que apenas detecta a presença ou ausência de objeto) ao invés de ser propriamente um sensor que mede a distância entre ele e o objeto detectado, simplificando a programação.

2.4.2 Sensores de linha

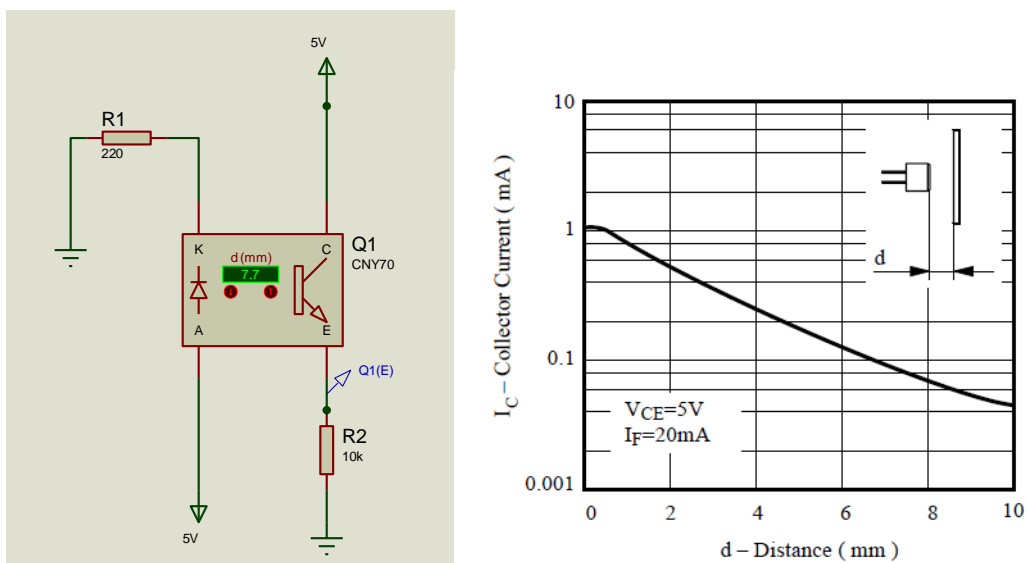
Ainda que existam estratégias que evitam ao máximo que o robô saia do dojô por conta própria, o robô adversário pode estar perto da linha de borda do dojô de tal forma que o tempo de resposta entre o sensor de distância perceber que não há objeto detectado à sua frente e a efetiva mudança de rotação dos motores para a rotina de busca de oponente possa ser tão significativa (ou, mesmo que rápida, caso a velocidade do robô seja bem elevada) que uma ou ambas as rodas do robô podem sair do dojô neste meio tempo, colocando o robô em extrema desvantagem.

Para evitar que isto aconteça, empregam-se sensores de linha em localizações estratégicas na parte inferior do robô (normalmente em suas diagonais frontais) para que o

mesmo, caso detecte a borda do dojô, possa executar uma subrotina para se distanciar da mesma e evitar que o adversário possa empurrá-lo para fora do dojô. O circuito de um sensor de linha convencional pode ser encontrado na Figura 6, onde utiliza-se o sensor óptico reflexivo CNY70, da Vishay, que conta com proteção contra iluminação ambiente e curva característica de corrente altamente linear para distâncias de até 10mm.

Em essência, o sensor de linha funciona de maneira similar ao sensor de distância da SHARP, com a ressalva que o sensor de linha é feito para detectar pequenas distâncias a fim de aumentar seu tempo de resposta ($\sim 50\mu\text{s}$). Portanto, se o código do programa for enxuto e for dada prioridade para o sensor de linha, tal sensor pode ser corretamente acionado até mesmo para motores de alta velocidade.

Figura 6– Circuito do sensor de linha (terminal Q1 indica sinal que irá para o microcontrolador) e curva característica de corrente de saída conforme a distância do objeto detectado.



Fonte: Produção do próprio autor

Há de se atentar que o sensor de linha, apesar de suas vantagens, pode ser facilmente “enganado” por diversas contraestratégias, tal como se a rampa do robô adversário seja revestida em material da mesma cor que a borda do dojô. Para que suas funções vitais não sejam desprezadas com tal estratégia, é importante o emprego de uma programação mais complexa que possa diferenciar se a borda detectada pelo sensor de linha é realmente a borda do dojô ou simplesmente uma superfície destinada a confundir o robô.

Ainda assim, as limitações podem ou não impedir a aplicação, o que geralmente pode ser superado através da escolha de equipamentos, devidamente instalados, de acordo com

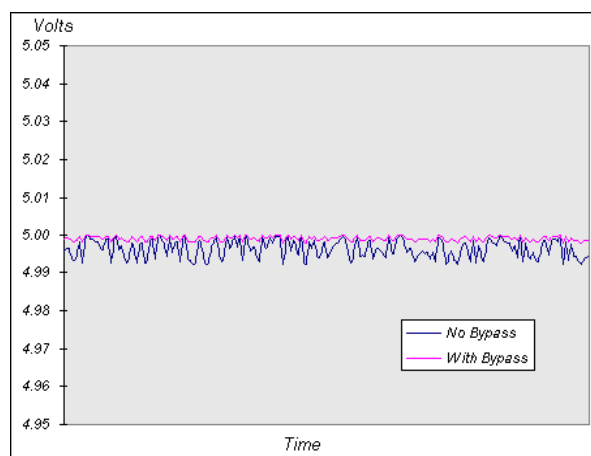
cada situação. Isto se afirma facilmente ao depararmos com os inúmeros exemplos de comunicação wireless que abrangem toda a extensão do planeta como: Rádio Broadcast, Telefonia móvel, Infravermelho, Bluetooth, Comunicação via satélite, Internet via Wi-Fi.

2.5 DISPOSITIVOS E CIRCUITOS DE PROTEÇÃO

Para garantir a longa vida útil dos componentes, é necessário que hajam adequações e dispositivos extras a fim de evitar que transientes de tensão e corrente derivados da operação dos motores comprometam o comportamento dos demais componentes do circuito, bem como adequar os níveis de alimentação para evitar que informações errôneas sejam transmitidas para o microcontrolador de forma a fazê-lo processar informações que não condizem com a condição real em que o robô se encontra.

Primeiramente, emprega-se um filtro na saída de cada regulador de tensão para ambas as placas de circuito, denominado capacitor de bypass, cuja funcionalidade é remover o sinal AC oriundo da saída do regulador de tensão, fornecendo um sinal com menor ripple para os circuitos integrados conectados a ele. Um exemplo de sua eficácia é mostrada na Figura 7.

Figura 7 – Comparação entre tensão de alimentação com e sem capacitor de bypass



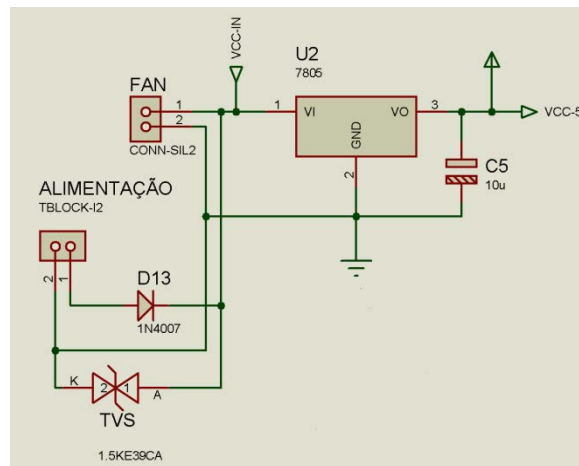
Fonte: Produção do próprio autor

Apesar de não parecer uma mudança muito relevante para o projeto, o capacitor de bypass tem grande valia em projetos com cargas que requerem altas correntes e quando ocorrem chaveamento em alta frequência, uma vez que uma elevada frequência de chaveamento fará com que os harmônicos gerados possam influenciar significativamente a operação dos circuitos integrados. Atenta-se ainda quanto às variações na tensão de alimentação, que conforme a corrente demandada pelos circuitos integrados alcança o

máximo que pode ser fornecido pelo regulador de tensão acabam por estabilizar a tensão de alimentação em um nível abaixo do estabelecido pela operação normal do componente. Para remediar tal situação, emprega-se um capacitor de filtro com capacitância suficiente para garantir a tensão desejada pela alimentação.

Há também a presença de um diodo TVS (Transient Voltage Suppression) usado na placa de potência para evitar com que componentes sensíveis a picos de tensão (no caso, os MOSFETs internos de cada BTN7970) sejam danificados durante a partida dos motores, uma vez que a partida dos mesmos geram uma corrente de pico significativamente maior que a corrente nominal do motor. A função deste componente é de limitar a taxa de variação de tensão no tempo (dv/dt) entre os terminais da bateria, assegurando que tal variação máxima respeitará o respectivo limite dos circuitos integrados empregados na placa. Há ainda um diodo polarizado diretamente no terminal positivo da alimentação da bateria para evitar com que, na conexão física dos terminais da bateria com a placa de potência, evita-se que a inversão de polaridade danifique os componentes da placa. A Figura 8 ilustra os dispositivos supracitados.

Figura 8 – Componentes de proteção na alimentação da placa de potência

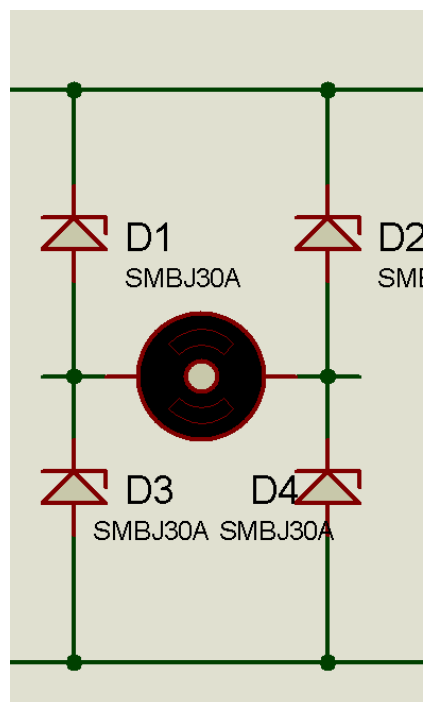


Fonte: Produção do próprio autor

Por fim, incluem-se também componentes adicionais para a proteção da ponte H de cada motor, ilustrado desta vez pela Figura 9. Sempre que o motor tem seu sentido de rotação invertido, por se tratar de uma carga indutiva, o campo magnético armazenado em suas bobinas internas é mudado de maneira rápida de acordo com a frequência de chaveamento. Tal variação rápida causará uma inversão do campo magnético gerado pelo motor, que por sua vez gerará uma rápida variação de tensão dv/dt em seus terminais e cuja descarga poderá

danificar componentes sensíveis a picos de tensão tão significativos. A instalação dos diodos D1, D2, D3 e D4, denominados de diodos flyback, ajudam a fornecer um “caminho” para a descarga de corrente gerada pela grande variação da força eletromotriz (emf) do chaveamento do motor, além de limitar a tensão de pico de tal descarga. Com isso, se os diodos instalados suportarem descargas rápidas (geralmente diodos Schottky), pode-se considerar que as partes eletrônicas conectadas ao motor estarão protegidas contra tais picos de tensão.

Figura 9 – Diodos de descarga rápida para proteção da ponte H



Fonte: Produção do próprio autor

3 DESENVOLVIMENTO

A presente seção deste trabalho tratará da concepção e desenvolvimento dos sistemas de eletrônica e mecânica do robô de sumô autônomo de classe 3kg, montado pela equipe de robótica FEG Robótica, do campus de Guaratinguetá da UNESP.

Desenvolvidos ambos sistemas, haverá um melhor entendimento dos detalhes estudados para a montagem de um robô de nível competitivo com base nos conhecimentos teóricos aprendidos pelas matérias dos diversos cursos de engenharia presentes na universidade.

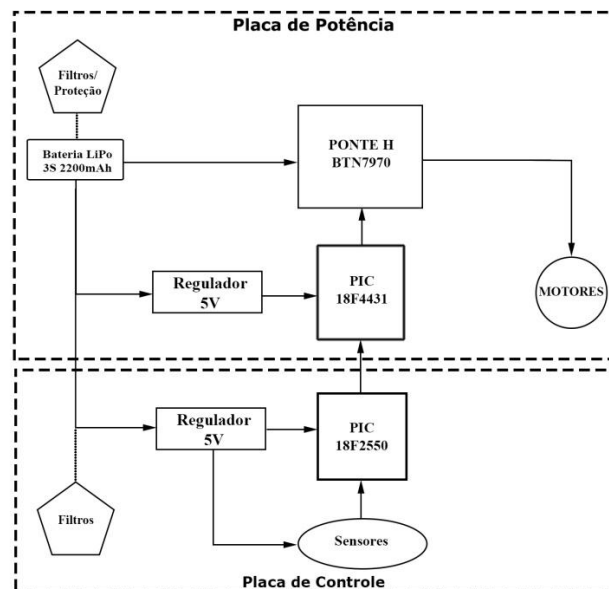
Para que o robô possa ter vantagem frente ao seu oponente, é necessário que o mesmo possua sensores com rápido tempo de resposta, motores com torque suficiente para empurrar massas muito maiores que a dele próprio, meios para detectar as linhas limítrofes do dojô, e elementos externos que possam indicar o estado atual do robô para facilitar a parte de solução de erros. Para que isso ocorra, há inúmeros fatores e prioridades que devem ser considerados pela eletrônica e pela mecânica a fim de que o projeto final possa ter um diferencial que o possibilite se destacar frente aos demais, seja desde sua capacidade de força devido aos motores utilizados até a capacidade de monitorar os movimentos do adversário para execução de uma rotina de contra-ataque.

Como nota, ressalta-se que à este trabalho destinou-se apenas o desenvolvimento dos sistemas de hardware do robô em questão. O software que rege as ações e contém as estratégias de combate, foram devidamente realizados pela área de programação da equipe de robótica FEG Robótica.

3.1 DIAGRAMA DO HARDWARE ELETRÔNICO

A elaboração de um diagrama é de fundamental importância para se especificar as necessidades do projeto de maneira visual e como cada parte do hardware irá interagir com a outra. A Figura 10 mostra como foi feita a divisão, em blocos, dos circuitos necessários para o robô de sumô.

Figura 10 – Diagrama em blocos do robô de sumô autônomo 3kg



Fonte: Produção do próprio autor

Como a parte do circuito que cuidará do acionamento dos motores exige uma corrente significativamente maior que a parte dos circuitos integrados e do microcontrolador, tomou-se a decisão de dividir ambos em duas placas de circuito impresso separadas de forma a evitar grandes distúrbios causados na trilha de alimentação na parte lógica. Além disso, a bateria LiPO (Polímero de Lítio) fornecerá alimentação para ambas as placas, cada qual contará com reguladores lineares de tensão responsáveis por converterem a tensão da bateria a níveis aceitáveis tanto para a parte lógica (microcontrolador, sensores e LEDs, que trabalham usando a lógica transistor-transistor, ou TTL) quanto para a parte de acionamento (ponte H e motores, que trabalham com 12V para geração de maiores torques e velocidades).

3.2 DESENVOLVIMENTO DA PLACA DE CONTROLE

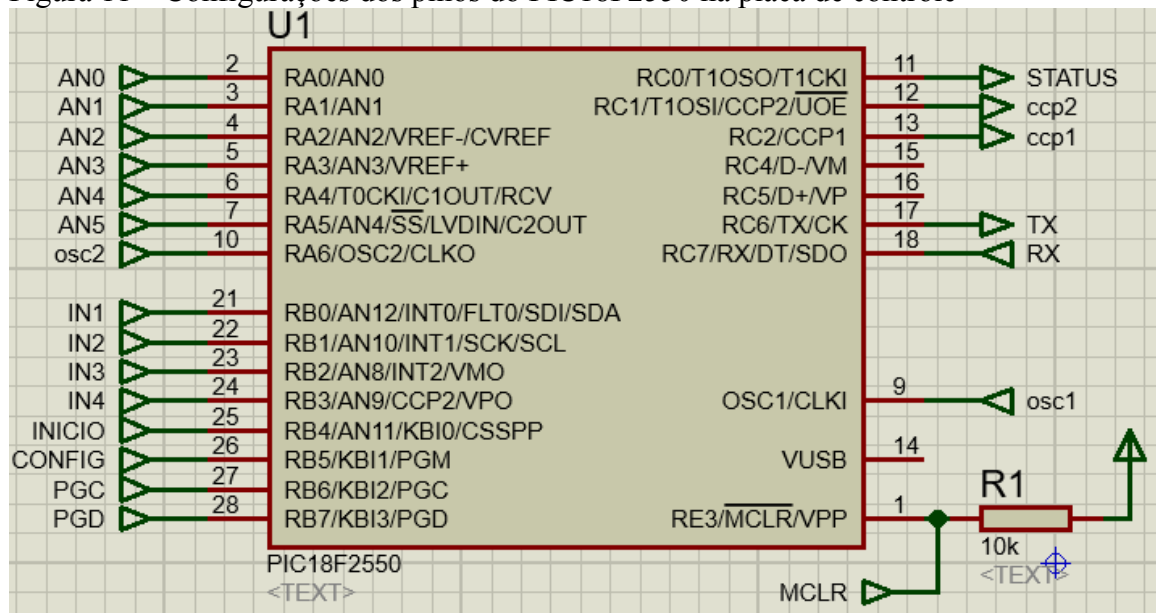
A placa de controle é responsável por todo processamento de informações recebidas dos periféricos e sensoriamento conectado à eletrônica. Desse modo, é possível através dela, receber as informações vindas dos sensores utilizados e utilizá-las para enviar sinais e comandos para que a placa de potência possa acionar os motores e controlar o robô, conforme a necessidade e a programação realizada pelo desenvolvedor.

A parte principal da placa de controle é a qual se encontra o microcontrolador, ao qual foi escolhido para ser utilizado nessa placa, o PIC18F2550, conforme dito no tópico de Microcontroladores anteriormente. Ele é responsável por toda essa leitura de informações, por

receber a programação e assim, trabalhar conforme as informações recebidas dos sensores, e assim enviar os comandos corretos para a placa de potência.

Partindo da configuração dos pinos encontrada no PIC na Figura 11, irá ser descrito todo o princípio de funcionamento da placa de controle.

Figura 11 – Configurações dos pinos do PIC18F2550 na placa de controle



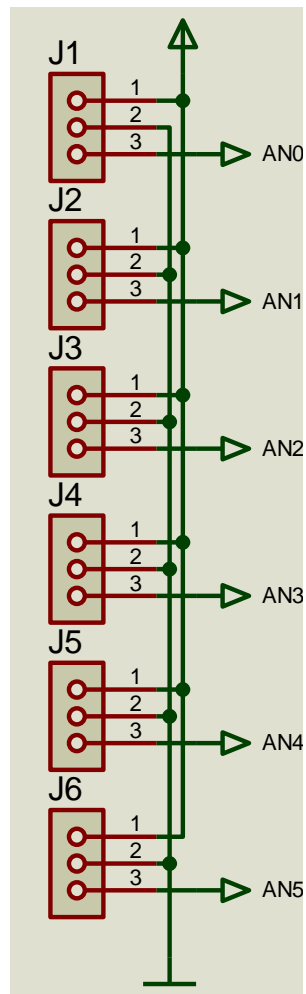
Fonte: Produção do próprio autor

Conforme observado na Figura 11, tem-se que do pino 2 ao pino 7, tem-se entradas analógicas do pino conectadas ao pino de sinal dos sensores de distância, para que o PIC possa receber os sinais de tensão dos sensores e realizar a leitura dos mesmos analogicamente. Lembrando-se que é possível utilizar tanto sensores analógicos como digitais conectados a essa placa, já que se pode trabalhar com os dois métodos através desses pinos.

No pino 21 ao pino 24, têm-se entradas dos sensores de linha, que trabalham de maneira semelhante aos sensores de distância, já que ambos são infravermelhos e trabalham de maneira analógica.

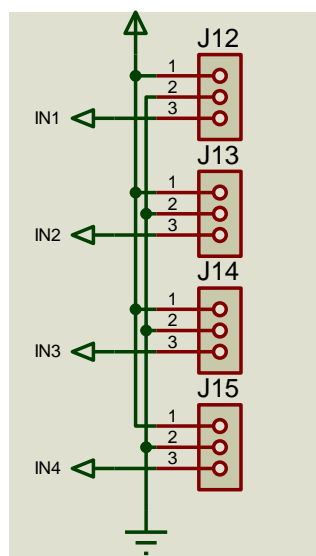
As configurações dos sensores podem ser vistas na Figura 12 e na Figura 13, onde se encontra as ligações realizadas nos conectores que receberão os sensores de distância e de linha, de modo a alimentá-los e receber o sinal enviado por eles.

Figura 12 – Sensores de distância



Fonte: Produção do próprio autor

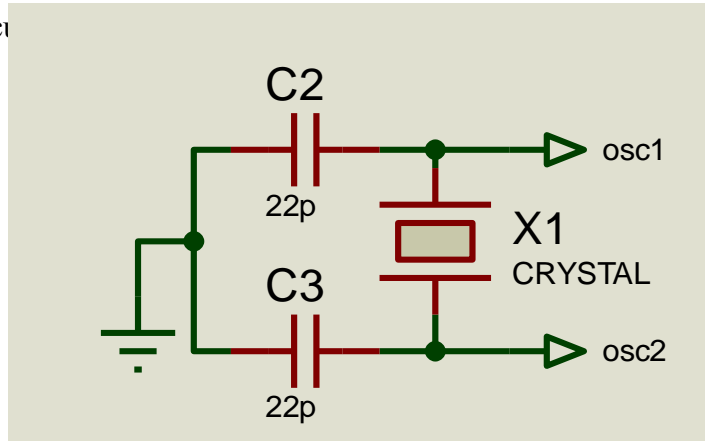
Figura 13 – Sensores de linha



Fonte: Produção do próprio autor

Nos pinos 9 e 10, tem-se os pinos de CLOCK do PIC, que estão conectados em um circuito oscilador com a utilização de um cristal de 20MHz, que é responsável pela frequência de processamento do PIC, conforme visto na Figura 14.

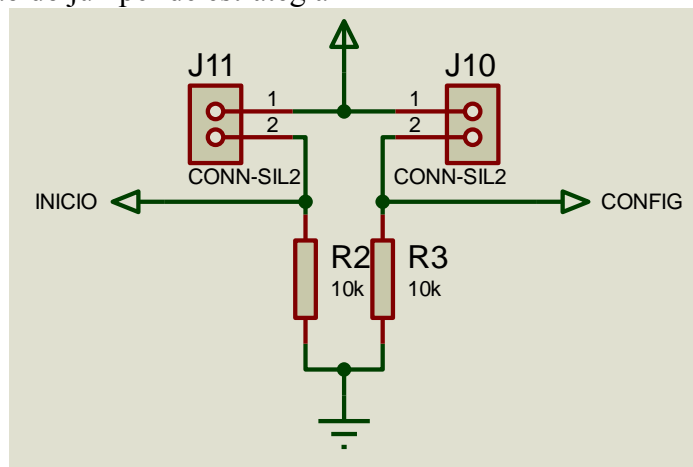
Figura 14 – Circuito



Fonte: Produção do próprio autor

Nos pinos 25 e 26, chamados de “INICIO” e “CONFIG”, são propriamente utilizados para estratégias específicas do desenvolvedor da programação do circuito. No caso do controle do robô, pode ser utilizado, através de um jumper de conexão, para a seleção do lado que o robô irá girar assim que for ligado, com ele indo para uma direção com o jumper conectado (alimentação aplicada no pino, sinal em alta), e ele indo a outra direção com o jumper desconectado (sem alimentação no pino, sinal em baixa), ou para qualquer outro tipo de comando específico desejado pelo usuário. Essa conexão pode ser vista na Figura 15.

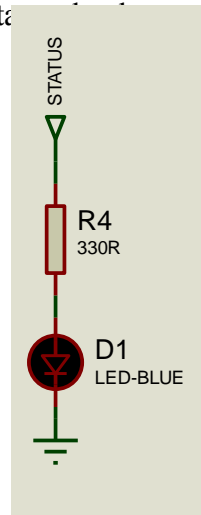
Figura 15 – Conexão do jumper de estratégia



Fonte: Produção do próprio autor

O pino 11 é chamado de “STATUS”, pois é apenas utilizado para ter um feedback do funcionamento da placa, através do acionamento de um LED, conforme mostrado na Figura 16.

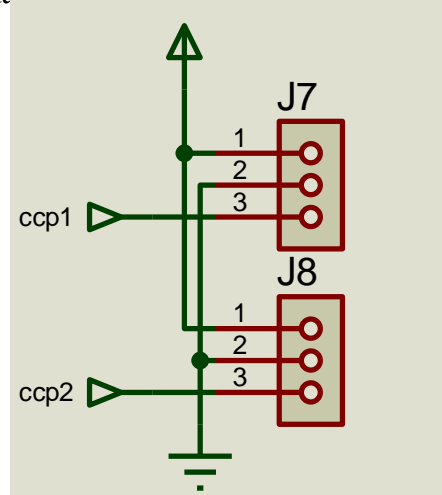
Figura 16 – LED para verificação de status



Fonte: Produção do próprio autor

Os pinos 12 e 13 são responsáveis por realizarem a comunicação da PIC utilizado na placa de controle com o PIC utilizado na placa de potência. Ou seja, todas as informações, comandos e sinais tratados pelo PIC na placa de controle são enviados para a placa de potência através desses dois pinos, fazendo com que a placa de potência possa realizar as ações determinadas pela lógica tratada na placa de controle. Além disso, a alimentação é compartilhada através do conector que contém essas ligações entre os pinos, ou seja, a bateria alimenta a placa de potência, que por sua vez compartilha essa alimentação diretamente com a placa de controle através do conector, mostrado na Figura 17.

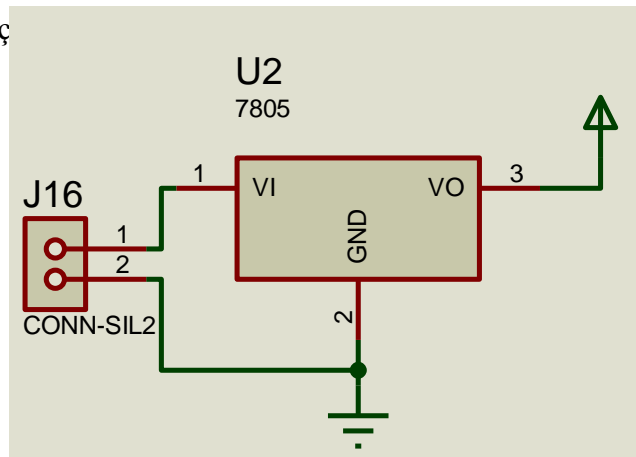
Figura 17 – Compartilhamento da placa de controle com a placa de potência



Fonte: Produção do próprio autor

Sabendo que a alimentação de toda a placa de controle é vinda da placa de potência, foi criada também uma maneira de alimentar apenas a placa de controle separadamente, como um sistema independente. Para isso foi utilizado um regulador de tensão linear de 5V, já que o PIC e os sensores são alimentados com esse valor de tensão. Esse sistema pode ser visto na Figura 18.

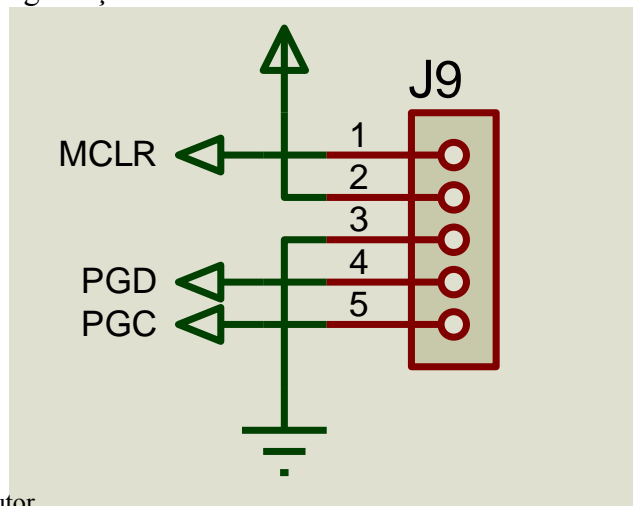
Figura 18 – Alimentação



Fonte: Produção do próprio autor

Os pinos 1, 27 e 28, respectivamente, “MCLR”, “PGC” e “PGD” são pinos especificamente utilizados para realizar a gravação do PIC. Ou seja, eles são utilizados, juntamente com a alimentação do PIC, para realizar o processo de gravação do arquivo de programação (geralmente no formato .HEX) no PIC. Eles estão colocados juntos em um conector de 5 pinos, conforme mostrado na Figura 19.

Figura 19 – Conector para gravação do PIC



Fonte: Produção do próprio autor

E por fim, têm-se os pinos 17 e 18, que são os pinos “TX” e “RX”, respectivamente, responsáveis pela comunicação serial do PIC com elementos externos, como módulo Bluetooth, por exemplo, que pode ser utilizado para acionamento do robô e para diversos tipos de telemetria.

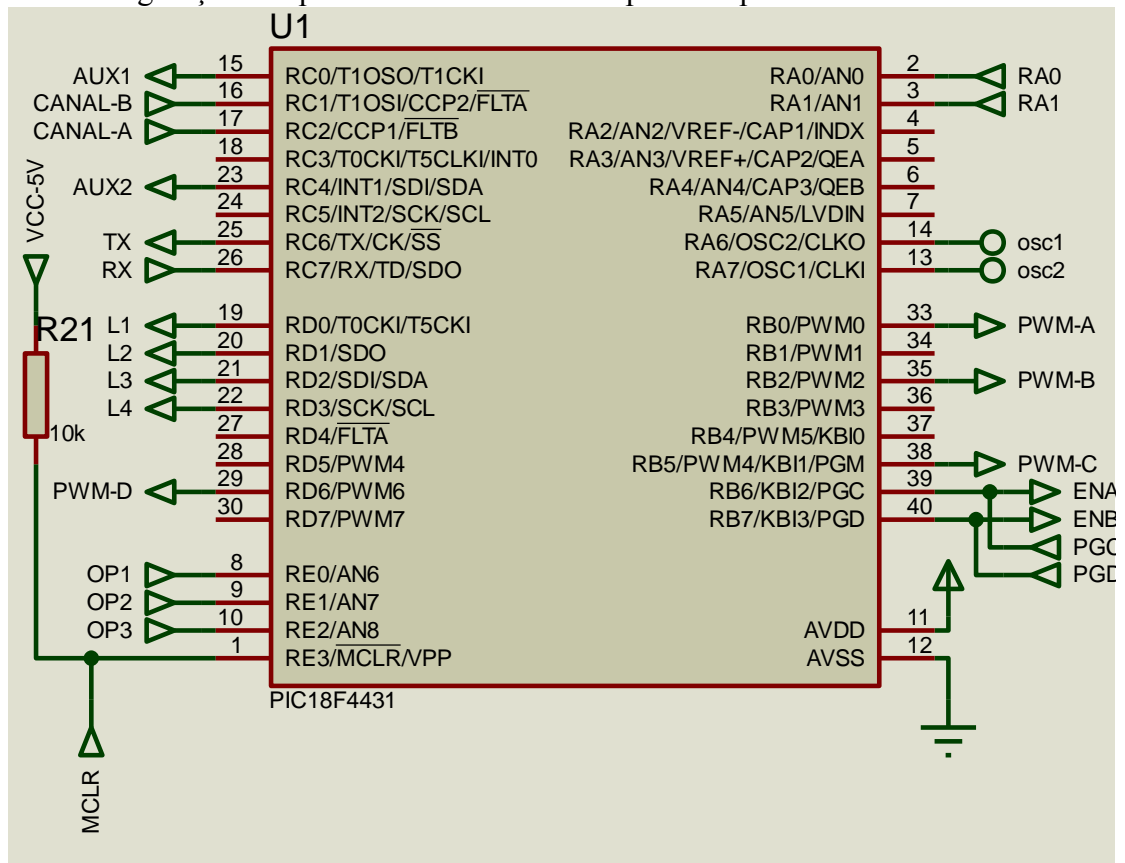
3.3 DESENVOLVIMENTO DA PLACA DE POTÊNCIA

A placa de potência é responsável por acionar os motores e realizar os comandos enviados pela placa de controle. Como é uma placa que possui correntes muito altas circulando, ela possui diversos dispositivos de proteção e componentes mais preparados para suportar tais correntes. Além disso, utiliza-se o método de chaveamento de ponte H, para realizar o acionamento e a inversão da rotação dos motores.

Assim, como na placa de controle, a parte principal da placa de potência é o seu microcontrolador, o PIC18F4431, conforme dito anteriormente no tópico de Microcontroladores. Ele é responsável por receber as informações e comandos vindos do PIC da placa de controle, e dessa forma, transformar esses sinais em potência, ou seja, controlar os motores de acordo com o esperado. Para isso, esse PIC trabalha com pinos de sinal PWM, que é um sistema de modulação através da largura de pulso, que torna viável o controle da velocidade do motor através do controle PWM.

Partindo da configuração dos pinos encontrada no PIC na Figura 20, irá ser descrito todo o princípio de funcionamento da placa de potência.

Figura 20 – Configuração dos pinos do PIC18F4431 na placa de potência

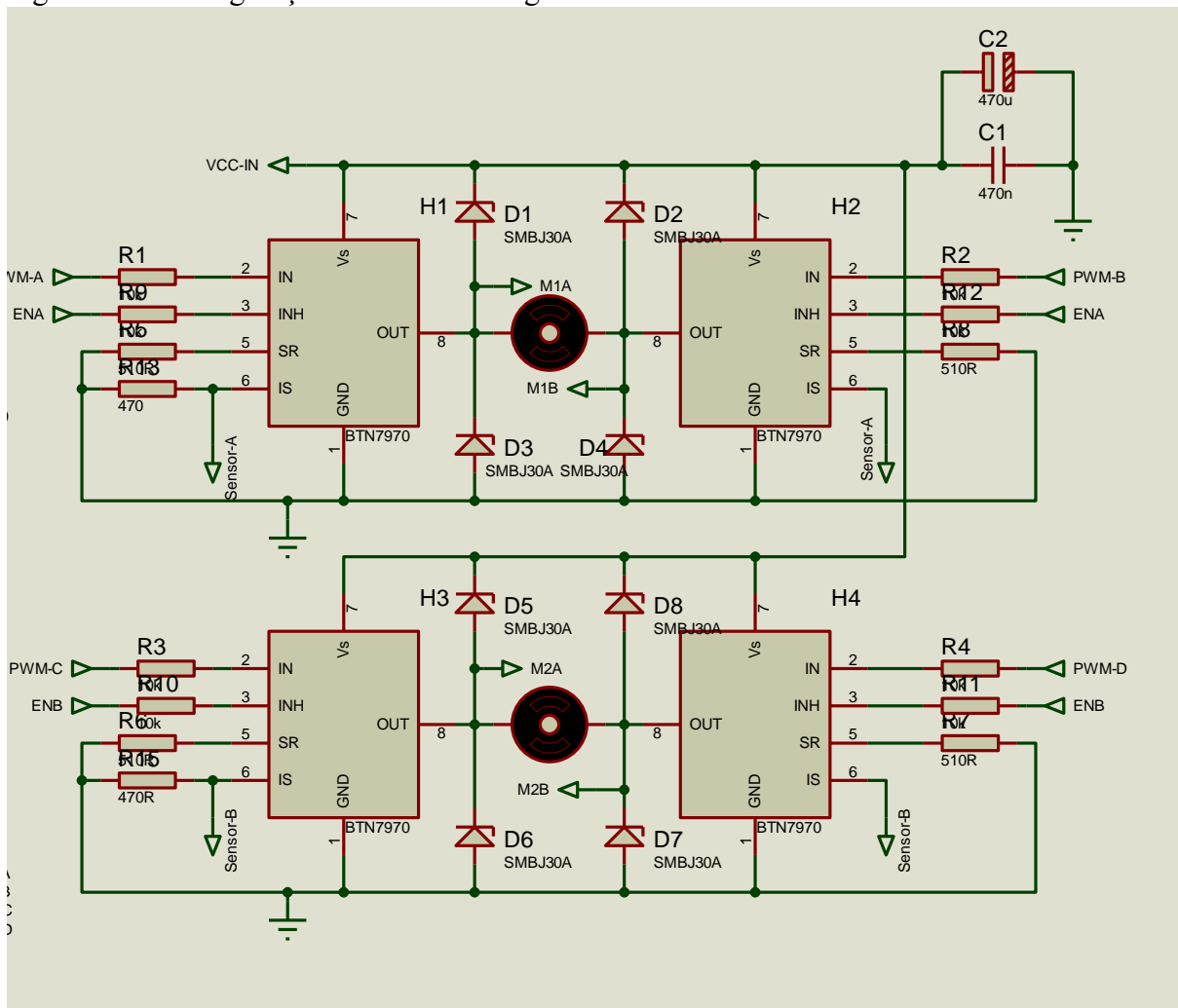


Fonte: Produção do próprio autor

Os pinos 33, 35, 38 e 29, respectivamente, “PWM-A”, “PWM-B”, “PWM-C” e “PWM-D” são pinos especificamente para utilizar a modulação PWM. Nesse projeto, eles estão conectados nos circuitos integrados responsáveis pelo chaveamento do motor, os componentes BTN7970, que contém em seu circuito metade de uma ponte H, ou seja, contém dois transistores do tipo MOSFET, além de diodos de proteção dentro de seu circuito integrado.

Além disso, para maior proteção, são colocados diodos externamente ao componente, para evitar picos de corrente e capacitância parasita, além de capacitores e resistores funcionando como filtros. Portanto, são utilizados nesse projeto quatro componentes BTN7970 para se obter duas pontes H completas, de modo a poder controlar dois motores. Assim, com os pinos de PWM do PIC conectados nas entradas desse componente, é possível realizar o controle da velocidade e da potência utilizada de cada motor. A configuração e conexão desse componente podem ser vista na Figura 21.

Figura 21 – Configuração do circuito integrado BTN7970

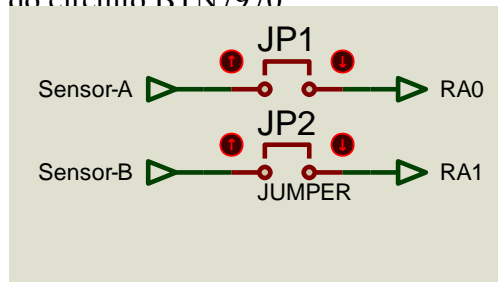


Fonte: Produção do próprio autor

Além disso, os pinos 39 e 40, “ENA” e “ENB”, respectivamente, são responsáveis pela habilitação do componente, ou seja, conforme o sinal enviado pelo PIC através deles, serão os responsáveis pelo acionamento de um determinado motor ou de ambos os motores.

Outro elemento importante, encontrado no circuito do BTN7970, é um sensor de corrente, que faz com que seja possível, através de um datalog ou telemetria, obter o valor de corrente que está circulando nesse componente, e conseqüentemente no motor. Isso é um elemento de grande ajuda para poder ter um controle dos elementos da placa e aumentar o seu desempenho. Esse sensor de corrente está conectado no PIC através dos pinos 2 e 3, “RA0” e “RA1”, juntamente com um circuito conectando o PIC e o BTN7970, através de um jumper para habilitação do sensor. Essa configuração pode ser vista na Figura 22.

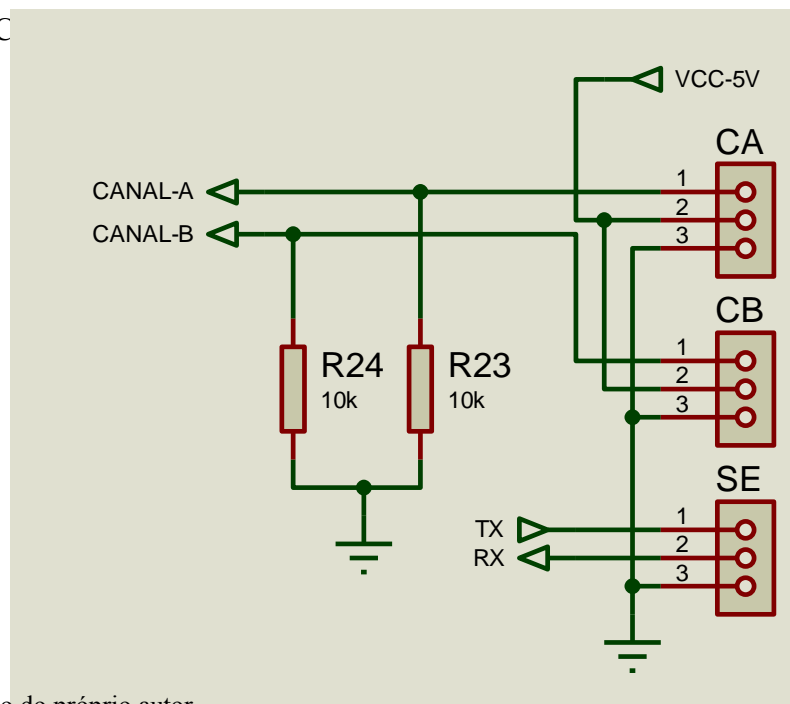
Figura 22 – Sensor de corrente do circuito RTN7970



Fonte: Produção do próprio autor

Assim como na placa de controle, a placa de potência possui conectores com os pinos de comunicação entre o PIC da placa de controle com o PIC da placa de potência. Esses pinos são os pinos 16 e 17, “CANAL-A” e “CANAL-B”, que são responsáveis por receber os sinais da placa de controle, tratando essas informações no PIC da placa de potência. Esses pinos estão conectados juntamente com a alimentação do circuito, que é compartilhada com a placa de controle, conforme dito anteriormente no tópico Placa de controle. Além disso, possui também pinos de comunicação serial que se encontram nos pinos 25 e 26, “TX” e “RX”, do PIC, conforme visto na Figura 23.

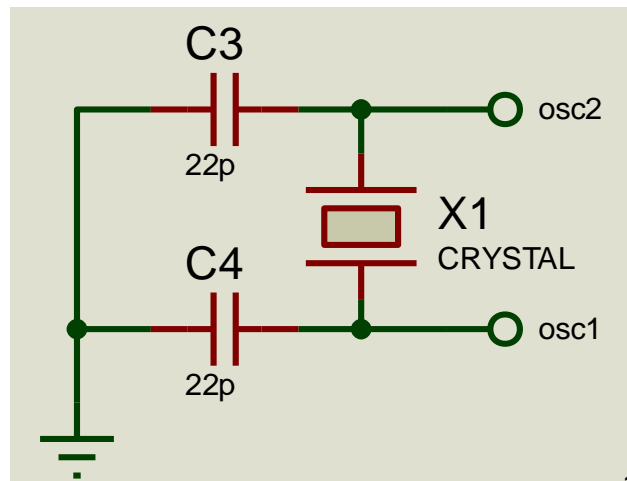
Figura 23 – C



Fonte: Produção do próprio autor

Os pinos 13 e 14 são responsáveis pelo CLOCK do PIC, que estão conectados em um circuito oscilador com a utilização de um cristal de 20MHz e é responsável pela frequência de processamento do PIC, conforme visto na Figura 24.

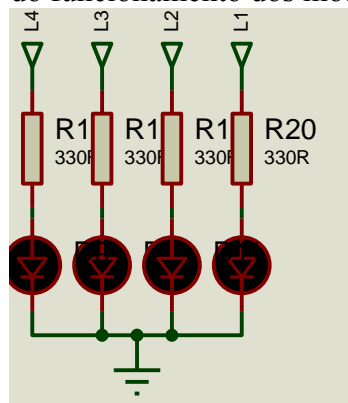
Figura 24 – Circuito de Clock



Fonte: Produção do próprio autor

Os pinos 19, 20, 21 e 22 são utilizados para ter um feedback do funcionamento dos motores, ou seja, estão conectados a quatro LEDs, onde cada LED representa um sentido de rotação de cada motor, dando a possibilidade de controlarmos melhor para qual lado o robô está girando ou para qual lado ele deve girar, assim como qual motor deve girar para um lado ou para o lado inverso. Pode ser visto na Figura 25.

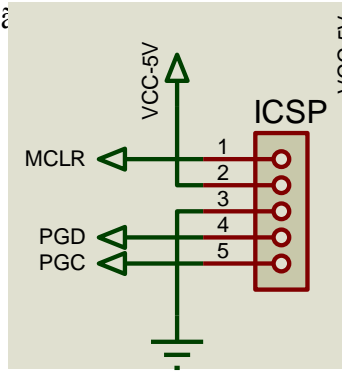
Figura 25 – LEDs para verificação do funcionamento dos motores



Fonte: Produção do próprio autor

Assim como na placa de controle, há os pinos específicos para gravação do PIC, que são os pinos 1, 39 e 40, “MCLR”, “PGC” e “PGD”, que estão conectados em um conector de cinco vias, para serem utilizados na gravação do PIC, como na Figura 26.

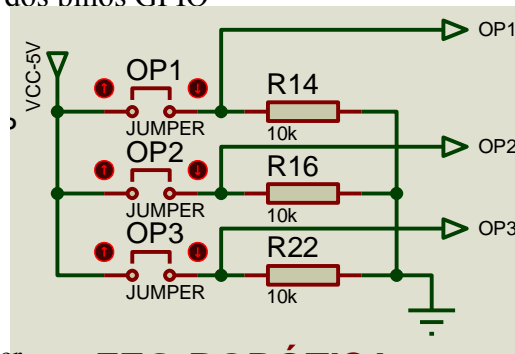
Figura 26 – Conector para gravação



Fonte: Produção do próprio autor

Os pinos 8, 9 e 10 são entradas ou saídas digitais de uso geral, mais conhecidos como “GPIO”, ou seja, General Purpose Input/Output, que podem ser utilizados para diversas funções, como por exemplo, entrada de sensores e entre outros recursos. Eles possuem uma configuração com jumpers de habilitação, conforme mostrado na Figura 27.

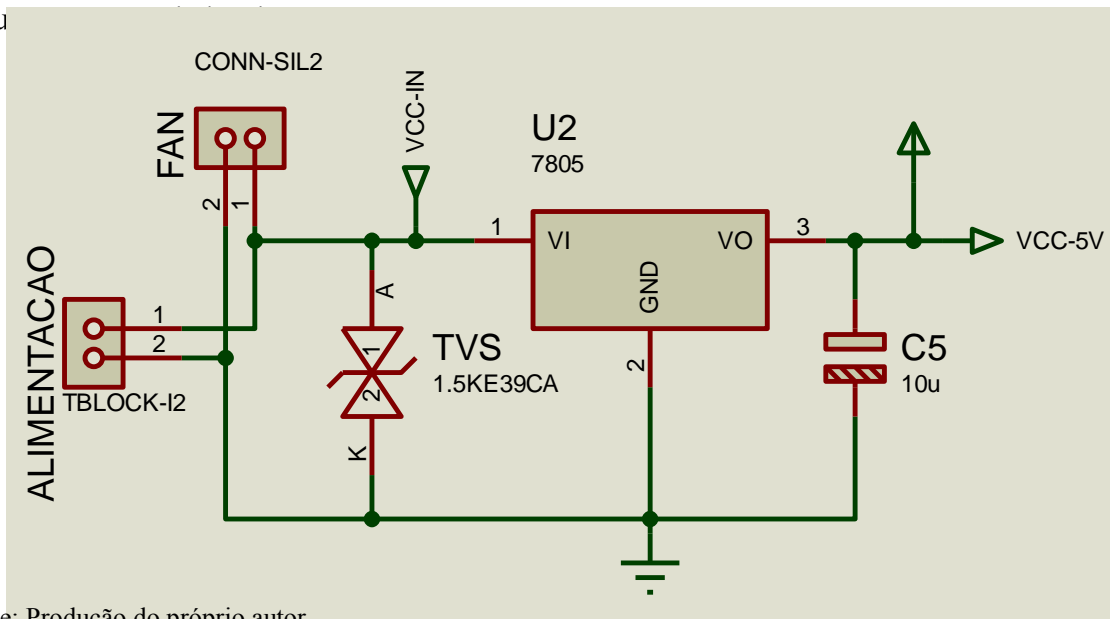
Figura 27 – Configuração dos pinos GPIO



Fonte: Produção do próprio autor

Por fim, tem-se a alimentação de todo o circuito e dos motores. Os motores são alimentados por uma bateria do tipo LiPo (Polímero de Lítio), possui as características de 3s (3 células), ou seja, possui, aproximadamente, 12V. Sua corrente é de 2200mAh, com uma taxa de descarga de 65-130C. Essa bateria foi escolhida de maneira a se obter um bom desempenho, juntamente com um bom tempo de duração em funcionamento. Como todos os circuitos encontrados na placa são alimentados com 5V, então foi necessário utilizar um regulador de tensão linear de 5V, assim como na placa de controle, para linearizar a tensão que alimentará ambas as placas. Além disso, foi colocando um conector juntamente com a alimentação para a possibilidade de colocar uma ventoinha conectada ao circuito para melhorar o resfriamento do seu circuito, conforme visto na Figura 28.

Figu



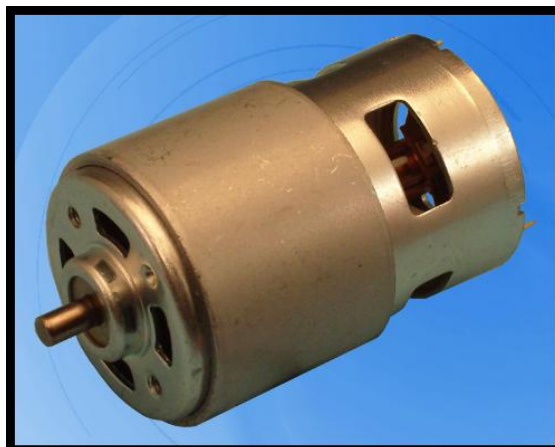
Fonte: Produção do próprio autor

3.4 ESCOLHA DOS MOTORES, REDUÇÃO E CÁLCULO DA VELOCIDADE

3.4.1 Motores

O robô de sumo autônomo 3kg está equipado com um motor Brushed (com escovas) RS775-18V, Figura 29, comumente encontrado em parafusadeiras, e cada unidade pesa aproximadamente 338g, suas características mecânicas podem ser vistas a seguir:

Figura 29 - Motor RS775-18V



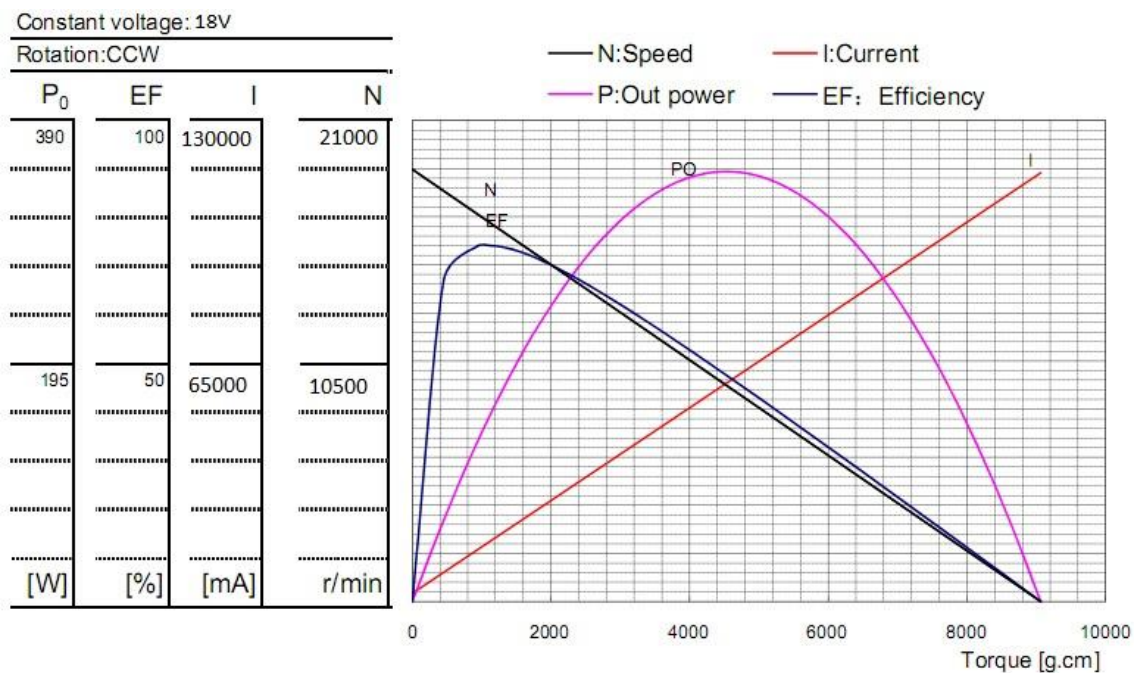
Fonte: Banebots website

- Tensão de Operação: 6V – 20V
- Tensão Nominal: 18V
- RPM sem carga: 19500rpm
- Corrente sem Carga: 2.7A

- Torque de Stall (eixo travado): 1.18 N.m
- Corrente de Stall (eixo travado): 130A
- Eficiência: 78%
- RPM- Eficiência Max. : 17040 rpm
- Torque- Eficiência Max. : 0.148 N.m/A
- Corrente- Eficiência Max. : 18.7A

Os motivos que levaram a escolha desse motor foi por ele possuir ótima relação RPM/volts, e conseguir atingir bons níveis de torque, apesar de sua eficiência ser regular ele possui um ótimo custo benefício, custando por volta de U\$15,00, o que é um grande diferencial e motivo de orgulho para nossa equipe, pois conseguimos com um baixo orçamento competir no mesmo nível contra robôs que utilizam motores de U\$500,00.

Figura 30 - Curvas características do Motor RS 755-18V



Fonte: Banebots website

3.4.2 Cálculo da Velocidade Linear máxima

Em nosso robô fazemos uso do chamado overvolt nos motores (é aplicado uma tensão acima da tensão nominal), uma prática que não é muito aconselhada devido a diminuir a vida útil dos motores, mas que proporciona um aumento de velocidade e torque. Isso é feito, pois os motores são usados por um curto espaço de tempo, e não representa um problema para nós, mesmo em longo prazo, pois se trata de uma peça relativamente barata e de fácil reposição.

Sabendo que a velocidade angular do eixo do motor é diretamente proporcional a tensão aplicada, conseguimos através de regra de três calcular o valor da rotação final em função da tensão, da seguinte forma, na Equação 1:

Equação 1 – Rotações do motor (1)

$$rpm_{motor} = \frac{rpm_{sem_carga}}{Tensão_{nominal}} * Tensão_{aplicada}$$

Como o motor sozinho não seria capaz de gerar o torque necessário a mover o robô e muito menos empurrar o adversário da arena, fazemos uso de caixas de redução (a qual será explicitada mais á frente), o que faz com que aumente o torque e diminua a velocidade. Para o presente projeto foi utilizado uma caixa de redução com relação de 64:1, isso quer dizer que a velocidade do eixo de saída será 64 vezes menor, e o torque 64 vezes maior.

Como utilizamos uma bateria de 24V, temos que a velocidade no eixo de saída da caixa de redução será de 406,25 rotações por minuto.

Agora para sabermos a velocidade linear do robô, basta sabermos o raio da roda utilizada, que para este caso foi de 49mm, e através da equação a seguir podemos definir a velocidade linear máxima do robô em metros por segundo.

Equação 2 – Velocidade linear (2)

$$Velocidade = \frac{rpm_{redução} * 2 * \pi * raio}{60000}$$

E assim chegamos a uma velocidade máxima de aproximadamente 2,1m/s, o que é uma velocidade regular, lembrando que esse projeto foi construído visando equilíbrio entre força e agilidade como dito anteriormente.

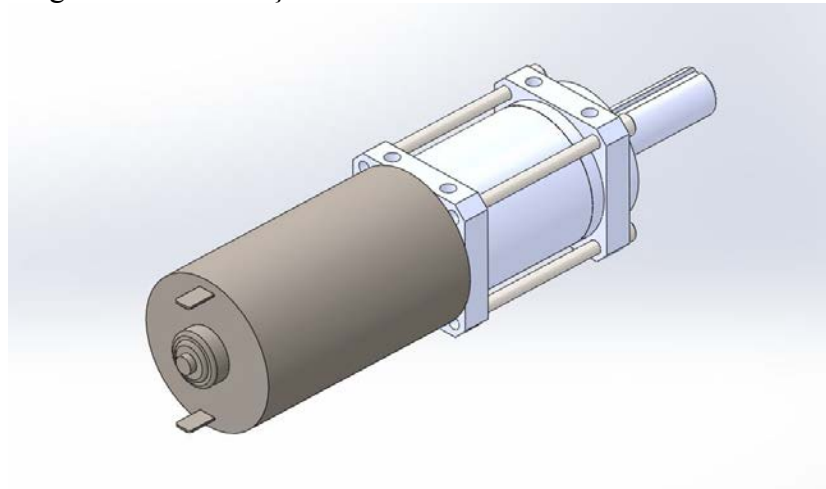
3.4.3 Caixa de Redução

As reduções ou caixa de reduções podem ser definidas como uma combinação, geralmente de engrenagens, cuja função é reduzir a velocidade angular e aumentar o torque. Essa redução de velocidade é importante na locomoção, assim o robô não fará movimentos bruscos que o prejudicarão. Já o aumento do torque colabora para que o limite de peso dos outros componentes do robô seja mais amplo. O número de engrenagens, quando combinadas ao motor e a roda, é inversamente proporcional a velocidade angular e diretamente proporcional ao torque.

As reduções apresentam uma “nomenclatura” como esta, por exemplo, 4:1. Mas o que significa esses números? Simples, o primeiro número se refere ao numero de rotações do motor (eixo de entrada) e o segundo, das rodas (eixo de saída), ou seja, neste caso, a cada quatro rotações do motor haverá uma rotação das rodas.

Nesse projeto decidimos utilizar caixas de redução planetária com engrenagens de dentes retos, pois a mesma apresenta eficiência acima de 90%, mas acima de tudo por que para conseguirmos atingir as relações de redução que queríamos (64:1) era a melhor opção em termos de espaço. Já que possibilita uma montagem axial entre motor e redução, como pode ser visto na Figura 31 a seguir.

Figura 31 - Montagem Motor-Redução



Fonte: Produção do próprio autor

A redução utilizada foi uma Banebots P60 64:1 de 3 estágios (4:1, 4:1, 4:1), que suporta até 47,5 N.m de torque, o que era perfeito para nosso caso, já que em testes o torque máximo nunca ultrapassou os 30 N.m (essa constatação foi feita através do valor de corrente máximo atingido em testes, e como a corrente apresenta relação direta com o torque é possível saber o valor do mesmo).

Figura 32 - Redução 64:1 Banebots:



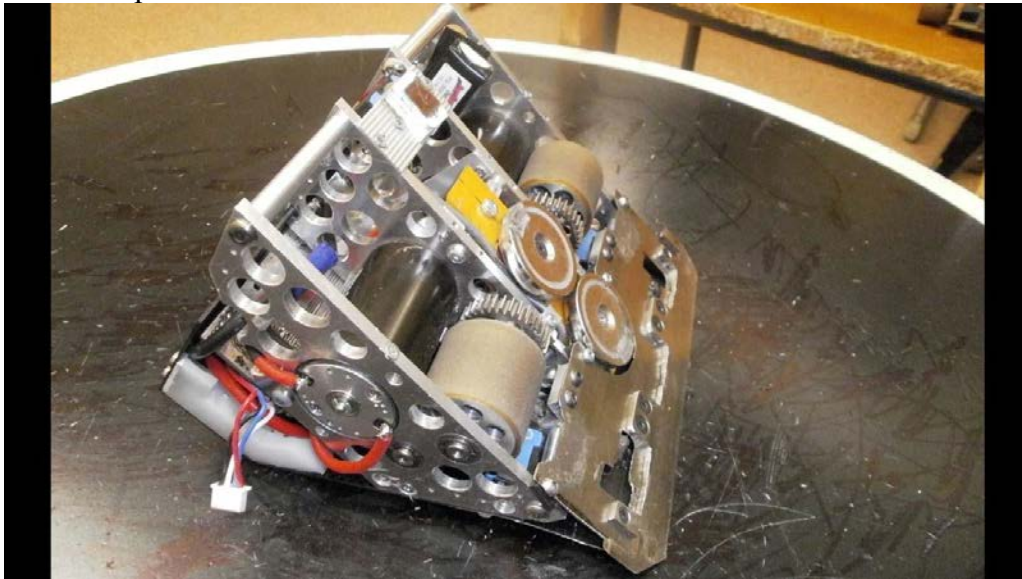
Fonte: Banebots website

3.5 IMÃS

Como a disputa entre os robôs ocorre em uma superfície metálica é usual utilizar imãs para aumentar a força normal dos robôs e assim aumentar sua tração. Neste projeto foi utilizado imãs de Neodímio, ou também conhecido como imãs de terras raras, que são feitos de uma composição de Neodímio Ferro e Boro, escolhemos esse tipo pois eles possuem uma enorme força magnética em pequenos volumes, e são mais baratos quando comparados com imãs de Samário-Colbalto. É importante ressaltar que esses imãs podem perder irreversivelmente suas características magnéticas se expostos a temperaturas acima de 120 °C, por isso deve se tomar cuidado tanto no manuseio quanto no uso, pois como é desejável que eles fiquem o mais próximo possível da superfície da arena (já que a força de atração magnética é inversamente proporcional ao quadrado da distância), temos que ter cuidado para o mesmo não ter contato direto, evitando assim atrito, e não o aquecendo.

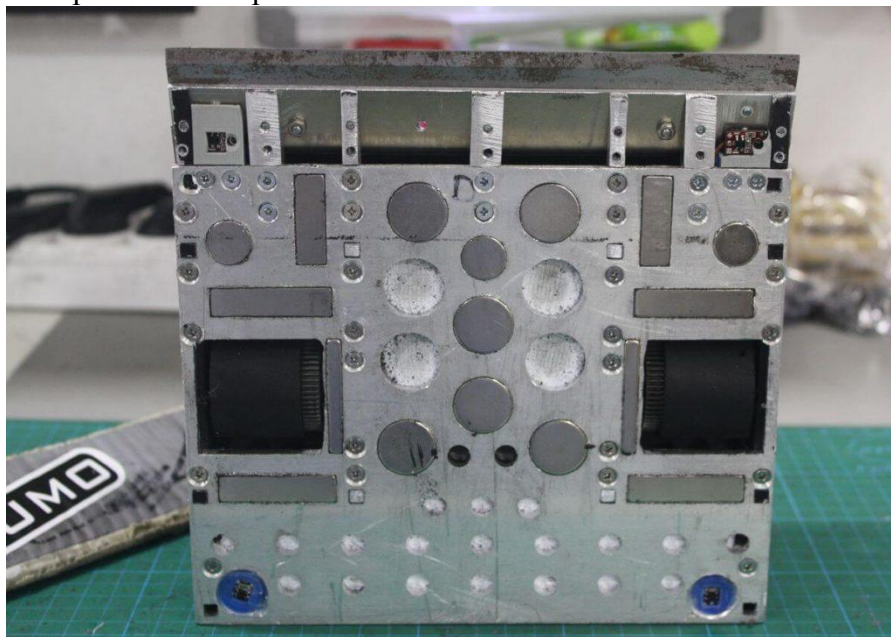
Uma vez escolhido o tipo de imã é necessário escolher sua forma, e também sua grade magnética. A forma escolhida foi de pastilha, pois apresentam relação força/volume maior que os em forma de “embuxados” (que possuem um furo no centro, para fixação através de parafusos). E também devido a pequena dimensão é possível dosar de forma fácil a força normal do robô, bastando apenas mudar a quantidade de imãs.

Figura 33 - Exemplo do uso de embuxados



Fonte: JSumo website

Figura 34 - Exemplo do uso de pastilhas



Fonte: JSumo Website

A grade do ímã é uma boa medida da força de um ímã. Em geral, os números mais altos indicam um ímã mais forte. E esse número é proporcional a força de atração do ímã, ou seja, se dobrar esse número, também dobrará a força de atração do ímã.

O número vem de uma propriedade do material, que é a energia máxima oriunda do material magnético, expresso em MGOe (Mega Gauss Oerstedes). Ela representa o ponto mais forte sobre a curva de desmagnetização do ímã, ou curva BH.

No mercado é comum encontrar ímãs com grade magnética entre N35 e N52, sendo N52 o mais forte, como dito anteriormente.

Nesse projeto foram utilizado oito ímãs de 22mm de diâmetro por 10mm de espessura, com grade magnética N45, sendo cada um responsável por uma força normal de aproximadamente 10kg, gerando assim no total uma força normal de 80kg.

3.6 ESTRUTURA SUPORTE PARA O SISTEMA ELETRÔNICO E SENSORES

Por ser uma categoria em que os robôs não sofrem impactos mecânicos fortes decidimos fazer todo o suporte da eletrônica e sensores em impressora 3D, pois apresenta um baixo custo, e uma possibilidade infinita de modelagem. Os materiais normalmente utilizados por impressoras 3D são: PLA (Ácido Polilático) e ABS (Acrilonitrilabutadieno estireno), sendo o PLA biodegradável, e o ABS oriundo do petróleo.

Utilizamos o PLA, pois tínhamos acesso a uma impressora que só utilizava PLA, mas o ideal seria o uso de ABS, por ser mais resistente a impactos e aumento de temperatura, e ter uma durabilidade maior.

3.7 RODAS

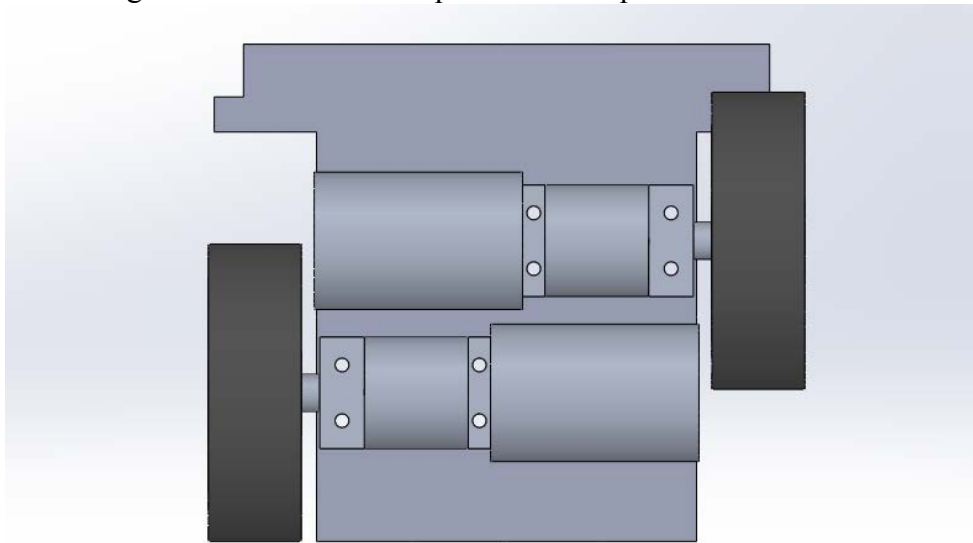
As duas formas de se acionar veículos com rodas mais comuns são do tipo Ackerman ou tipo tanque, Ackerman é o tipo usado em automóveis, onde um motor é responsável por mover o veículo para frente e para trás e outro motor é responsável pela direção. É ótimo para grandes velocidades, mas um modelo muito complexo e ineficaz para esta aplicação, onde é preciso constantemente girar o robô no próprio eixo.

Então o modelo escolhido foi o tipo tanque, onde existe tração independente em cada roda, o que facilita e muito para fazer curvas, assim como no projeto do mesmo, pois somente é necessário associar um motor e um conjunto de engrenagens para cada roda.

Fazendo um paralelo com a eletrônica, vê-se que, para fazer curvas, precisa apenas aplicar sinais de PWM diferentes em cada motor, ou seja, o controle de curvas fica a cargo da eletrônica, simplificando assim o projeto mecânico.

Outra vantagem a se observar nesse modelo, é que o robô ganha e muito no fator agilidade, uma vez que é possível girá-lo no próprio eixo sem ter que movimentá-lo radialmente em nenhuma direção.

Figura 35 – Montagem da transmissão tanque com eixos paralelos



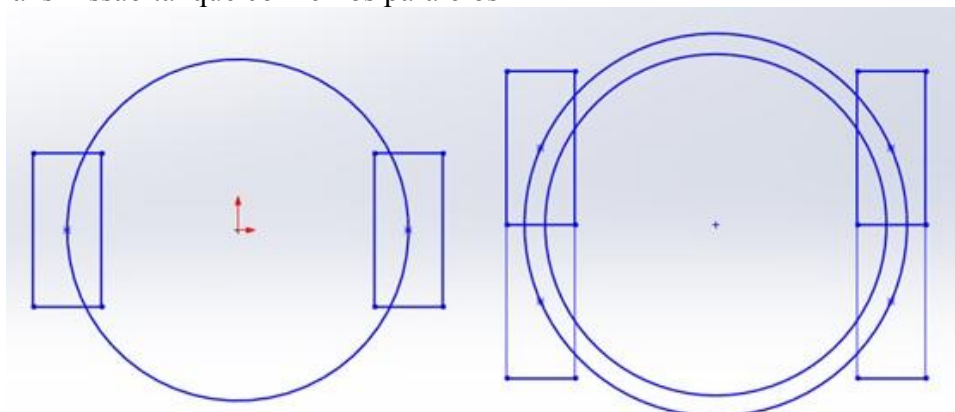
Fonte: Produção do próprio autor

Como o tipo de transmissão escolhido foi o tipo tanque foi necessário escolher a quantidade de rodas, e então alguns fatores se tornam limitantes.

Para efeito de análise, limita-se o estudo em dois casos: quatro ou duas rodas.

Qualquer outro caso se torna evidente a partir do mesmo. O Primeiro fator a ser analisado é a agilidade, quanto maior a quantidade de rodas menos ágil o robô se torna, e isso é fácil de entender ao se observar a Figura 36 a seguir.

Figura 36 - Transmissão tanque com eixos paralelos



Fonte: Produção do próprio autor

Na imagem à esquerda se vê um sistema com duas rodas e o percurso feito por essas rodas para girar o robô no próprio eixo, já na imagem à direita com o sistema de tração feito

por quatro rodas, analisando o melhor dos casos que seria com as rodas frontais tangenciando as rodas traseiras, o percurso feito por cada roda pra poder fazer o robô girar no próprio eixo é maior, logo mais lento. Então foi escolhido o sistema com duas rodas, que ainda se mostrou uma escolha melhor devido ao fator peso.

Nesse projeto foram utilizadas rodas fabricadas pela própria equipe, devido a inexistência de soluções eficazes no mercado nacional. Visando resistência e leveza foi utilizada Nylon na confecção da roda, um plástico de engenharia muito utilizado devido a seu baixo custo e propriedades interessantes, como baixo coeficiente de atrito e fácil usinagem.

Para o pneu as características que se buscou foi durabilidade e a maior fricção possível entre pneu e arena, mas infelizmente são fatores que se contradizem, uma vez que para aumentar a fricção é necessário que o pneu seja mais macio, mas se isso for aumentado muito causa o desgaste prematuro das rodas, então foi necessário encontrar um equilíbrio entre esses dois fatores. Foi utilizado silicone apropriado para confecção de pneus miniatura, normalmente encontrado em carros de controle remoto de competição. O silicone vem em duas partes, uma solução pastosa e o catalisador que, juntos, geram uma pasta que após seca se solidifica no molde, gerando um novo pneu. A borracha utilizada foi da marca “Redelease” umas das empresas patrocinadoras da equipe.

Para a dureza do pneu foram feitos diversos testes com durezas diferentes, e para escolha foram analisados dois fatores, a tração e o desgaste, para análise da tração foi observado o valor da corrente exigido pelos motores no caso dos robôs postos contra a parede, não havendo deslocamento linear, sendo assim perfeito para parametrizar e uniformizar a análise. Os dados colhidos podem ser vistos na tabela X a seguir.

Tabela 1 - Corrente exigida pelos motores devido a ação de ímãs e a dureza das rodas

50 Shore A	20 Shore A	
Corrente (A)		
25	18	Sem ímãs
40	28	Com ímãs

Fonte: Produção do próprio autor

A dureza escolhida no final foi de 50 Shore A, o que além de proporcionar uma margem de segurança no momento das lutas, onde ocorre o maior esforço devido aos altos valores de carga tangencial, é considerada intermediária quando tratamos de sumô de robôs,

pois a tração é um fator muito importante para o sucesso do robô, quesito que pode ser maximizado utilizando rodas de menor dureza e maior largura.

Figura 37 - Testes de dureza dos pneus.



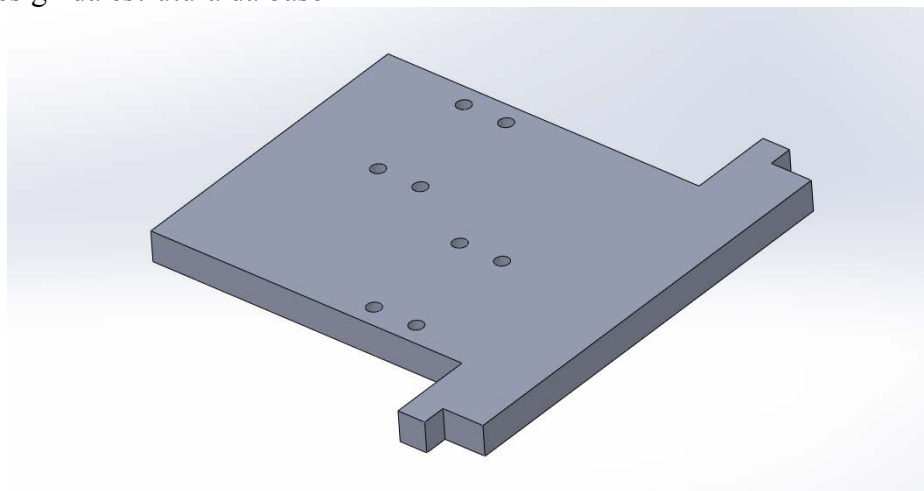
Fonte: Produção do próprio autor

3.8 DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA DA BASE DO ROBÔ

A base é a peça central do robô que une todo o conjunto, servindo de chassi para o projeto, o maior esforço que ela sofre é devido a força dos ímãs que podem gerar deformação na peça caso muitos ímãs sejam utilizados, ou o material correto não seja escolhido.

Foi utilizada uma base de UHMWPE(Ultra High Molecular WeightPolyethylene), um polímero que, devido ao alto peso molecular, possui excelentes propriedades mecânicas, como elevada resistência a abrasão, baixo coeficiente de atrito e grande resistência.

Figura 38 – Design da estrutura da base



Fonte: Produção do próprio autor

Sua grande resistência a esforços mecânicos é ideal para compor a estrutura de um robô de sumô, uma vez que há grandes impactos e o sistema de locomoção é extremamente forte para um robô de somente 3kg. Além disso, o uso desse material facilita muito, pois é de fácil usinagem e também de baixa densidade, sendo possível economizar massa e realocá-la para outros locais. Essa propriedade possibilitou o uso de um sistema de locomoção extremamente robusto, como veremos a frente.

Outros materiais têm sido estudados e utilizados nos robôs mais novos da equipe como alumínio aeronáutico, que possibilita confeccionar bases mais finas, diminuindo peso, e dimensões do robô.

3.9 DESENVOLVIMENTO DA RAMPA FRONTAL

O objetivo de se utilizar uma rampa é conseguir atingir o adversário de baixo pra cima, pois uma vez que consegue se erguer o oponente alguns centímetros que sejam, fica muito mais fácil tira-lo da arena, já que o efeito dos ímãs decresce rapidamente com o aumento da distância.

É talvez umas das partes mais essenciais de um robô de sumô, um bom projeto de rampa muitas vezes é o que determina o campeão de uma luta, por isso é necessário muito cuidado ao se projetar.

Características que são importantes a serem observadas são: material a ser utilizado, ângulo de ataque da lâmina, e o quão próximo essa lâmina fica do chão, nesse ponto os ímãs são de grande ajuda, pois os mesmos garantem que ela fique “colada” ao chão.

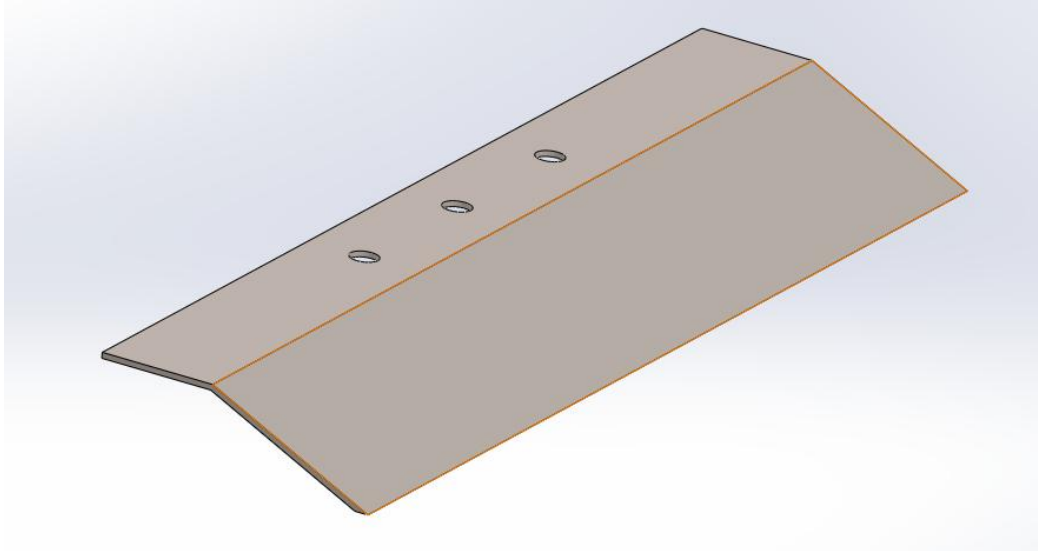
Foi utilizada uma lâmina dobrada a partir de uma chapa de 1.5mm de aço galvanizado, cortada e furada em ferramentas manuais, o que comprometeu, em parte, a precisão da peça. O material se mostrou muito bom para a aplicação, pois após vários choques mecânicos contra inúmeros adversários não apresentou nenhuma deformação, talvez o único ponto negativo ficasse por conta da dificuldade de usinagem do mesmo.

O ângulo de ataque implica em dois fatores, o quanto de força seu robô terá que fazer para tirar o adversário da arena, pois uma vez que ocorre o contato frontal e consegue se erguer o adversário, há uma decomposição de forças devido ao ângulo da rampa, e a dificuldade de entrar de baixo do mesmo, esse último item ainda não se possui uma resposta perfeita, tendo sido objeto de estudo da equipe. Para o presente projeto foi escolhido um valor

de 28°, o que durante as lutas se mostrou ser um valor alto, e a equipe tem estudado utilizar valores de ângulos menores e a influência do mesmo.

A versão final computadorizada da rampa pode ser visto na Figura 39 abaixo.

Figura 39 - Desenho 3D da rampa.



Fonte: Produção do próprio autor

4 CONCLUSÃO

A robótica, um campo em constante expansão e avanço tecnológico requer cuidados em sua implementação para que a mesma seja eficiente. Com este trabalho, foram discutidos diversos pontos que devem ser atentados para a confecção de um exemplar desta modalidade, abrindo espaço para questionamentos a respeito da construção de robôs com outras finalidades também.

O projeto como um todo é um balanço entre eficiência, custo e ajustes aos requisitos, no qual o autor deve estar atento para que o melhoramento de algum destes itens não extrapole os limites dos outros.

Ao ser colocado à prova durante a competição Winter Challenge XII, a tecnologia desenvolvida pelo autor e executada pela equipe de robótica FEG Robótica, mostrou-se bem sucedida na relação entre eficiência, custo e ajuste aos requisitos.

O projeto não apresentou falha mecânica durante os combates, tendo fácil acesso às baterias e rodas para as suas respectivas substituição durante o pequeno espaço de tempo entre um round e outro. A mecânica do robô se mostrou competitiva com relação aos oponentes, resistindo aos impactos sofridos, às tentativas de arrasto pela rampa dos robôs oponentes e uma grande fixação à arena por parte dos ímãs. O ataque também teve um sucesso considerável levando-se em consideração que o robô autônomo conseguiu arrastar o adversário com a sua rampa em grande parte das tentativas. A eletrônica robusta não apresentou falhas e não teve que passar por reparos.

REFERÊNCIAS

REIF, L. R. **About the Campaing**. Disponível em <betterworld.mit.edu> Acesso em: 08 jan. 2017.

KAMEN, D. **Vision and Mission**. Disponível em <www.firstinspires.org> Acesso em: 13 jan. 2017.

KAMEN, D. **History First**. Disponível em <www.firstinspires.org> Acesso em: 13 jan. 2017.

MEGGIOLARO, M. A. **RioBotz Combot Tutorial**. Disponível em <www.riobotz.com> Acesso em: 16 jan. 2017.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

TCHAPEK, K. **A Fábrica de Robôs**. São Paulo: Ed. Hedra, 2010.

NORTON, R. L. **Projeto de máquinas : uma abordagem integrada**. 4. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

MEGGIOLARO, A.M. **Tutorial em robôs de combate**. Disponível em
<[http://www.robot.bmstu.ru/files/books/\[Robotic\]%20Tutorial%20RioBotz.pdf](http://www.robot.bmstu.ru/files/books/[Robotic]%20Tutorial%20RioBotz.pdf)> Acesso em:
09 fev. 2017.

LOUREIRO, M. **Motores CC 2**. Disponível em
<<http://www.marioloureiro.net/tecnica/electrif/motoresCC2.pdf>> Acesso em: 07 fev. 2017.

**ANEXO – REGRAS WINTER CHALLENGE XII
ROBOCORE**



Regras SUMÔ

Documento Revisado 28/06/2016 17:30

1. Introdução	03
2. Especificações dos Participantes	03
3. Especificações dos Robôs	03
4. O Dohyô (Ringue de Sumô)	05
5. A Partida de Sumô	06
6. Início, Paralisação, Continuação e Término de uma Partida	07
7. Duração das Partidas	08
8. Yukô	08
9. Penalidades	09
10. Lesões e Acidentes Durante a Partida	09
11. Declaração de Objeções	10

1. Introdução

- Nome da Modalidade: Sumô
- Número de Robôs por Partida: Dois
- Duração da Partida: 3 minutos
- Classes Disponíveis: 25g-3 kg (1oz-6.6 lbs) *
- Dimensões máximas dos Robôs: Verificar item 2: "Especificações dos Robôs"
- Especificações do Dohyō: Verificar item 4.2: "Especificações"
- Especificações de Controle: Autônomos ou Rádio-Controlados **

* Verifique a disponibilidade de classes para cada evento.

** Autônomos competem contra autônomos e rádio-controlados contra rádio-controlados, são classes separadas e não competem uma contra a outra.

ATENÇÃO: Cada robô poderá participar apenas de uma única categoria durante o evento, por exemplo: um robô inscrito na categoria de combate não poderá participar na categoria do hockey e vice-versa.

2. Especificações dos Participantes

- 2.1. As modalidades Junior são única e exclusivamente destinada aos alunos do Ensino Fundamental e Médio com idade inferior a 18 anos;
- 2.2. Qualquer outro participante que não se enquadre nas condições estabelecidas no item 2.1 não poderá ser inscrito nas categorias Junior;
- 2.3. Todos os participantes da categoria Junior deverão apresentar uma autorização de seus pais ou responsáveis permitindo a participação no evento;
- 2.4. Não existe uma quantidade máxima de integrantes por equipe;
- 2.5. Na categoria Junior, é permitida a participação de um orientador com idade superior a 18 anos, responsável pela equipe, porém qualquer interferência do orientador na construção ou programação identificada pela organização da competição resultará na eliminação da equipe.

3. Especificações dos Robôs

3.1 Especificações

- 3.1.1 O robô deverá caber em um cubo ou quadrado com as dimensões referentes à sua classe.
- 3.1.2 A massa total do robô no início da partida deverá ser menor ou igual ao peso designado para sua respectiva classe:

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

- 3.1.3 Robôs das classes Nano (25g), Micro (100g), Mini (500g), Lego (1000g) deverão ser obrigatoriamente autônomos. Robôs de 3 kg ou Humanóides poderão ser tanto autônomos quanto rádio-controlados.
- 3.1.4 Para robôs autônomos qualquer método de controle poderá ser empregado, desde que esteja completamente contido no robô e que não interaja com um sistema de controle externo (humano ou máquina).

- 3.1.5 Os robôs autônomos deverão entrar em operação automaticamente em não menos do que cinco (5) segundos após autorização do juiz e comando dado por um membro da equipe.
- 3.1.6 As classes de 3 kg e Humanóide podem ser rádio-controladas, conforme as regras da FCC (*Federal Communications Commission*) e aprovação dos organizadores do evento. Robôs rádio controlados deverão iniciar ao sinal dado pelo juiz principal.
- Abaixo seguem as frequências e modulações permitidas:
- Frequências: 27MHz, 72MHz, 75MHz, 333MHz, 433MHz, 900MHz e 2.4GHz;
 - Modulações: AM, FM, PCM, PPM e enlaces únicos, como DSM e outras;
 - Demais frequências e modulações deverão ser aprovadas pela organização.
- No caso de dois robôs que possuam a mesma frequência virem a se enfrentar, a preferência será do primeiro a ter feito a inscrição.
- 3.1.7 É obrigatória a fixação do nome do robô em uma superfície visível, permitindo que os espectadores e organizadores do evento possam identificar facilmente os robôs envolvidos na partida.
- 3.1.8 Os robôs poderão expandir seu tamanho após o início da partida, porém não será permitido se separar fisicamente devendo continuar como um único robô. A violação desta regra implicará na perda da partida. O desprendimento de peças, cujo o somatório de suas massas, seja inferior a 10g, não implicará na perda da partida. Caso um robô seja prejudicado por uma peça que tenha se desprendido de seu adversário, a ele será dado um ponto de Yuko.

3.2 Restrições

- 3.2.1 Dispositivos para interferência, tais como, porém, não limitados a sistemas de LEDs infravermelhos (IR) com intenção de saturar os sensores dos oponentes, não são permitidos.
- 3.2.2 Peças que possam quebrar ou danificar o *Dohyō* não são permitidas, tais peças serão avaliadas pelos juizes na inspeção de segurança, podendo ou não ser liberada para o uso. Não utilize peças que tenham, ou não, a intenção de danificar o robô adversário, seu operador e/ou *Dohyō*. Impactos e colisões normais não serão considerados como danos intencionais.
- 3.2.3 Dispositivos que possam armazenar líquido, pó, gás ou outras substâncias com intenção de lançá-las no oponente não são permitidos.
- 3.2.4 Nenhum dispositivo inflamável será permitido.
- 3.2.5 Dispositivos que lancem quaisquer objetos no oponente não são permitidos.
- 3.2.6 Substâncias para melhorar a tração não são permitidas. Pneus e outros componentes do robô que entrem em contato com a arena não devem ser capazes de pegar e segurar um cartão de 80 x 130 mm, com gramatura 180gr (cartolina) por mais de 2 (dois) segundos.
- 3.2.7 Dispositivos para aumentar a força normal, tais como bombas de vácuo ou ímãs, somente são permitidos na classe de 3 kg, não sendo permitidos nas outras classes.
- 3.2.8 Todas as quinas, incluindo, porém não limitado, a pá frontal, não podem ser afiladas o suficiente para arranhar ou danificar o *Dohyō*, outros robôs ou membros das equipes.

4. O *Dohyō* (Ringue de Sumô)

4.1 Interior

O interior do *Dohyō* é a superfície onde são realizadas as partidas, circundada por uma linha de borda, que também é parte integrante do *Dohyō*. Qualquer lugar fora dessa área delimitada é chamado de parte exterior.

4.2 Especificações

4.2.1 O *Dohyō* terá formato circular, e deve ser de tamanho e material apropriados para as respectivas classes de peso:

Detalhes do Dohyô

Classe	Espessura	Diâmetro	Material
3 kg/Humanóide	5,00 mm	154,0 cm	Placa de aço
Mini/Lego	2,50 cm	77,0 cm	Placa de MDF
Micro	1,25 cm	38,5 cm	Placa de MDF
Nano	0,625 cm	19,25 cm	Placa de MDF

4.2.2 As Shikiri (linhas de início) consistem em duas linhas marrons (ou equivalentes para absorção de luz infravermelha - IR) centradas no Dohyô com espessura e espaçamento para a respectiva classe. A distância de separação entre as linhas é medida pelos limites externos das mesmas.

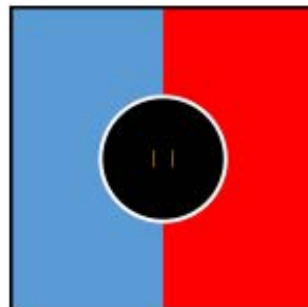
4.2.3 A linha de borda é uma faixa circular com a largura apropriada para a respectiva classe na extremidade externa da superfície de disputa. A área do Dohyô se estende até a borda externa dessa faixa circular.

Pintura do Dohyô

Classe	Largura da Shikiri	Comprimento da Shikiri	Separação da Shikiri	Largura da Borda
3 kg/Humanóide	2 cm	20 cm	20 cm	5 cm
Mini/Lego/Sumô	1 cm	10 cm	10 cm	2,5 cm
Micro Sumô	0,5 cm	5 cm	5 cm	1,25 cm
Nano Sumô	0,25 cm	2,5 cm	2,5 cm	0,625 cm



4.3 **Exterior do Dohyô:** Deverá haver um espaço apropriado para a classe em questão além da borda exterior do Dohyô. Esse espaço pode ser de qualquer cor, material ou formato, contanto que os conceitos básicos dessas regras não sejam violados. Esta área, em cujo meio fica o Dohyô, deverá ser chamada de "área do Dohyô". Quaisquer partes da plataforma do Dohyô além das dimensões mínimas serão consideradas como dentro da área do Dohyô. Durante a realização de um round não será permitido a nenhum competidor entrar na área do Dohyô.



5. A Partida de Sumô

- 5.1. A partida é disputada por duas equipes, cada uma composta por um ou mais integrantes. Apenas é permitido dois membros de cada equipe na área de realização das partidas, enquanto os demais

membros deverão assistir a disputa junto ao público. Cada equipe competirá no *Dohyō* com um robô construído de acordo com as especificações do item 3. A partida será iniciada ao comando do juiz principal e continua até um competidor conquistar dois pontos de Yukō. O vencedor da partida é determinado pelo juiz.

- 5.2. Uma partida consistirá em 3 (três) *rounds*, cada *round* terá um tempo nominal de 1 (um) minuto, podendo ser acrescentado, a critério do juiz, 30 segundos totalizando um tempo total de 1 minuto e 30 segundos (1' 30").
- 5.3. O juiz poderá decretar o fim de um *round* ao perceber que não está ocorrendo qualquer tipo de evolução por parte dos dois robôs competidores, sendo decretado empate nesse *round*.
- 5.4. A equipe que ganhar dois *rounds* ou receber 2 (dois) pontos de Yukō primeiro, dentro do tempo limite, será declarada vencedora. Uma equipe recebe um ponto de Yukō quando vence um *round*. Caso o tempo limite seja atingido antes de uma equipe atingir dois pontos de Yukō e uma das equipes tenha recebido um ponto de Yukō, enquanto a outra não tiver ganhado pontos, esta será a vencedora.
- 5.5. Caso a partida não for vencida por nenhuma equipe dentro do tempo limite, a decisão será realizada pelos juizes, por meio de pontuação seguindo critérios apresentados no item 8.3.
- 5.6. Um ponto de Yukō será dado ao vencedor quando a decisão dos juizes ou por pontos for empregada.
- 5.7. É permitido ao competidor um tempo máximo de 5 minutos para troca de baterias dos robôs entre dois *rounds*.
- 5.8. É permitido ao competidor alterar a programação de seus robôs entre duas partidas, porém, é proibida qualquer tipo de alteração durante a partida, ou seja, entre cada um dos *rounds*.

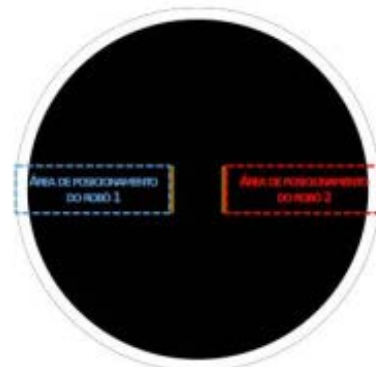
6. Início, Paralisação, Continuação e Término de uma Partida

- 6.1 **Início:** Mediante as Instruções do juiz, as duas equipes se cumprimentam com uma reverência ao lado do *Dohyō*, se aproximam do *Dohyō* e posicionam o seu robô dentro da sua metade do *Dohyō*, atrás da linha *Shikiri* e/ou de acordo com as instruções do juiz.

Ao sinal do juiz os dois robôs devem ser simultaneamente posicionados com pelo menos uma parte de sua estrutura dentro da região delimitada pela linha *Shikiri* de sua metade do *Dohyō*, não sendo mais possível alterar o posicionamento dos robôs.

Não existe qualquer tipo de restrição quanto a orientação dos robôs, desde que respeitando as características supracitadas.

Robôs da categoria Lego® serão colocados no *Dohyō* de acordo com a indicação do juiz.



Nas partidas entre robôs autônomos, quando o juiz principal anunciar o início do *round*, um membro de cada time ativará os robôs e após uma pausa de 5 segundos os robôs podem começar a funcionar. Durante esses 5 segundos os membros das equipes devem deixar a área do *Dohyō*. Caso o robô necessite de qualquer tipo de dispositivo externo para iniciar ou finalizar o programa de controle do robô, este dispositivo deverá ficar dentro do recipiente posicionado no chão do lado de fora da área do

Dohyô.

Nas partidas entre robôs rádio controlados os pilotos deverão estar posicionados fora da área do *Dohyô* juntamente com os juizes. Assim que for anunciado o início da rodada pelo juiz, os robôs poderão começar a funcionar. Somente neste caso não é necessário haver o intervalo de 5 segundos.

- 6.2 **Paralisação e Continuação:** A partida é paralisada ou retomada conforme os anúncios dos juizes.
- 6.3 **Término:** A partida termina quando anunciado pelo juiz principal. Então as duas equipes recolherão os seus respectivos robôs da área do *Dohyô*.

7. Duração das Partidas

- 7.1. Uma partida será disputada por um total de 3 (três) minutos, iniciando e terminando mediante o comando do juiz, exceto nas partidas em que ocorrerem *rounds* com extensão.
- 7.2. Um *round* estendido, quando concedido pelo juiz, deverá durar no máximo 1 minuto e 30 segundos.
- 7.3. Os seguintes períodos não são incluídos no tempo da partida:
 - 7.3.1. O tempo entre o anúncio de um *Yukô* pelo juiz e a continuação da partida. O intervalo padrão entre os *rounds* será de 30 (trinta) segundos.
 - 7.3.2. O tempo decorrido entre o anúncio da paralisação e a continuação da partida.

8. Yukô

- 8.1 Um ponto de *Yukô* será concedido quando:
 - 8.1.1. Um robô legalmente forçar o corpo do robô oponente a tocar o espaço fora do *Dohyô*.
 - 8.1.2. Quando o robô adversário tocar o espaço externo ao *Dohyô* por si mesmo.
 - 8.1.3. No caso do sumô humaníde, qualquer parte do robô adversário exceto a sola de seus pés (mãos, joelhos, costas, tórax, etc.) toque o *Dohyô*, quando ele é empurrado ou jogado para fora do *Dohyô*.
 - 8.1.4. Qualquer uma das situações acima ocorra ao mesmo tempo em que o fim da partida é anunciado.
 - 8.1.5. Quando o robô adversário perder uma ou mais peças com somatório de massas superior a 10g.
- 8.2 Um ponto de *Yukô* não será concedido quando:
 - 8.2.1. Um robô movido por rodas capotar no *Dohyô*, um ponto de *Yukô* não será contado e o *round* continuará até que aconteça uma das situações previstas no item 8.1.
- 8.3. Quando a decisão dos juizes for necessária para decidir o vencedor, os seguintes pontos serão levados em consideração, porém, prevalecendo sempre a decisão final do juiz:
 - 8.3.1. Méritos técnicos na movimentação e operação do robô
 - 8.3.2. Penalidades durante a partida
 - 8.3.3. Peso dos robôs
 - 8.3.4. Atitude dos competidores durante a partida
- 8.4. Um *round* em progresso será terminado sob as seguintes condições:
 - 8.4.1. Os robôs estarem presos ou orbitando um ao outro sem progresso perceptível por 5 (cinco) segundos. Em caso de dúvida quanto ao progresso da partida, o juiz poderá estender o tempo limite de observação por até 30 segundos.

- 8.4.2. Ambos o robôs se moverem sem fazer progresso ou pararem exatamente ao mesmo tempo, sem se tocar, por 5 (cinco) segundos. Entretanto, caso um robô pare de se movimentar antes, depois de 5 (cinco) segundos será declarado como sem vontade de lutar, neste caso o oponente receberá um ponto de Yukô, mesmo que depois este pare de funcionar. Caso ambos os robôs estejam se movendo e não esteja claro se há progresso, o juiz poderá estender o tempo da partida até 30 (trinta) segundos.
- 8.4.3. Caso ambos os robôs toquem o lado de fora do *Dohyô* ao mesmo tempo, não podendo ser determinado qual o fez primeiro.
- 8.5. **Violações:** Competidores fazendo qualquer uma das ações descritas nos itens 3.2, 8.6 ou 8.7, estarão violando as regras.
- 8.6. **Insultos:** Um competidor que insulte seu oponente ou os juizes, coloque um dispositivo de voz em seu robô com intenção de insultar, escreva palavras de teor ofensivo no corpo do robô ou faça qualquer ação ofensiva, estará violando essas regras.
- 8.7. **Violações Brandas:** Uma violação branda é declarada se um competidor:
- 8.7.1. Entrar na área do *Dohyô* durante a partida, exceto quando o competidor o faça para retirar o seu robô mediante o anúncio, feito pelo juiz, de um ponto de Yukô ou paralisação da partida. Entrar na área do *Dohyô* significa:
- 8.7.1.1. Uma parte do corpo do competidor está dentro da área do *Dohyô*
- 8.7.1.2. Um competidor coloca qualquer dispositivo mecânico dentro da área do *Dohyô* para apoiar o seu corpo.
- 8.7.2. Faça as seguintes ações:
- 8.7.2.1. Peça a paralisação da partida sem razões apropriadas
- 8.7.2.2. Demore mais de 30 segundos para retomar a partida, exceto caso o juiz anuncie uma extensão de tempo
- 8.7.2.3. Cujo robô comece a operar antes de 5 (cinco) segundos após o juiz principal anunciar o início da partida
- 8.7.2.4. Faça ou fale algo que ponha em risco a equidade da partida

9. Penalidades

- 9.1. Competidores que violarem os itens 3.2 e 8.6 dessas regras perderão a partida. O Juiz dará dois pontos de Yukô ao oponente e pedirá ao(s) violador(es) que saiam da área do *Dohyô*. O(s) violador(es) não terá(ão) nenhum direito.
- 9.2. Cada violação branda descrita no item 8.7 será acumulativa. Duas destas violações serão convertidas em um ponto de Yukô para o adversário.
- 9.3. As violações descritas no item 8.7 deverão ser acumuladas apenas durante a partida em vigência.
- 9.4. Qualquer dano causado ao *Dohyô* de maneira intencional será punida com dois pontos de Yukô ao oponente decretando o fim da partida.

10. Lesões e Acidentes Durante a Partida

- 10.1. **Requisição de Paralisação da Partida:** Um competidor pode requerer a paralisação da partida quando ele ou algum membro de sua equipe sofrer uma lesão ou sofrer um acidente e não puder continuar a partida. Lesões e acidentes causados propositalmente para paralisar a partida implicarão na desclassificação da equipe da competição.
- 10.2. **Impossibilidade de Continuar a Partida:** Quando uma partida não puder continuar devido à lesão ou acidente com um competidor, o causador dessa lesão ou acidente perderá a partida. Quando não for

claro qual equipe é a responsável, aquela que não puder continuar a partida ou que solicite a paralisação será declarada a perdedora.

- 10.3. **Requisição por Parte de uma Equipe para Cuidar de uma Lesão ou Acidente:** A decisão sobre a continuação de uma partida paralisada em caso de lesão ou acidente ficará a cargo dos juizes. Tal processo não poderá demorar mais de 5 (cinco) minutos.
- 10.4. **Yukô Dado ao Competidor que Não Continuará:** O vencedor determinado de acordo com o Item 10.2 deverá ganhar dois pontos de Yukô. O perdedor que já tiver conquistado um ponto de Yukô será computado como tal. Quando a situação descrita no Item 10.2 ocorrer durante uma partida estendida, o ganhador receberá apenas um ponto de Yukô.

11. Declaração de Objeções

- 11.1. Nenhuma objeção deverá ser declarada contra a decisão dos juizes.
- 11.2. O Capitão de uma equipe pode apresentar objeções aos organizadores do evento antes do fim da partida, se houver dúvidas quanto à correta aplicação dessas regras. Caso não haja nenhum membro da organização do evento presente, as objeções poderão ser apresentadas aos juizes antes do fim da partida.

12. Aspectos Gerais

- 12.1. Todas as quinas afiladas do robô deverão estar por todo o tempo protegidas, até que seja solicitado a sua remoção para início do round.
- 12.2. Todos os robôs devem manter suas rodas suspensas por todo o tempo.