



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO - CEC AU



SÁVIO NAZARENO JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE UM ROBÔ OMNIDIRECIONAL PARA PARTICIPAÇÃO
EM COMPETIÇÕES DE FUTEBOL – CATEGORIA *IEEE VERY SMALL SIZE***

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

Ouro Preto, 2019

SÁVIO NAZARENO JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE UM ROBÔ OMNIDIRECIONAL
PARA PARTICIPAÇÃO EM COMPETIÇÕES DE FUTEBOL –
CATEGORIA IEEE *VERY SMALL SIZE***

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientadora: Profa Dra Karla Boaventura Pimenta Palmieri

Coorientadora: Érica Silva Pinto

**Ouro Preto
Escola de Minas – UFOP
Julho/2019**

N335d Nazareno Júnior, Sávio.
Desenvolvimento de um robô omnidirecional para participação em competições de futebol - Categoria IEEE Very Small Size [manuscrito] / Sávio Nazareno Júnior. - 2019.

89f.: il.: color; tabs.

Orientadora: Profª. Drª. Karla Boaventura Pimenta Palmieiri.
Coorientadora: Profª. MScª. Érica Silva Pinto.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Controle e Automação e Técnicas Fundamentais.

1. Robôs omnidirecionais. 2. RODETAS. 3. Futebol de robôs. 4. IEEE Very Small Size. I. Palmieiri, Karla Boaventura Pimenta. II. Pinto, Érica Silva. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br CDU: 681.5

Monografia intitulada **DESENVOLVIMENTO DE UM ROBÔ OMNIDIRECIONAL PARA PARTICIPAÇÃO EM COMPETIÇÕES DE FUTEBOL – CATEGORIA IEEE VERY SMALL SIZE** defendida e aprovada, em 15 de Julho de 2019, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:

Karla Palmieri

Profa. Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri – Orientadora

Érica Silva Pinto

Engenheira Érica Silva Pinto – Co-Orientadora

Arthur Caio Vargas e Pinto

Prof. Ms. Arthur Caio Vargas e Pinto – Professor Convidado

Thomas Vargas B. e Pinto

Prof. Thomás Vargas Barsante Pinto – Professor Convidado

—

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha família, aos amigos,
à equipe RODETAS e a todos que o tornaram possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço o apoio incondicional da minha família.

À Equipe RODETAS, a todos os integrantes com que tive a oportunidade de trabalhar direta e indiretamente, por todo aprendizado e crescimento ao longo desses anos.

À minha coorientadora, engenheira Érica Silva Pinto por todo apoio, dedicação e ajuda para o desenvolvimento deste trabalho.

À Professora orientadora da Equipe RODETAS Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri por todas as oportunidades, pelo carinho e por sempre estar disposta a ajudar e aconselhar os melhores caminhos.

RESUMO

O conceito de robôs autônomos está cada dia mais presente na sociedade, desde a utilização em indústrias para produção em grande escala até a simples utilização em afazeres domésticos. Logo, o desenvolvimento de todo tipo de robôs é constante objeto de pesquisa e estudo para distintas finalidades. Neste contexto, serão abordados os principais aspectos para o desenvolvimento de um robô autônomo omnidirecional, uma evolução dos robôs atuais, com o objetivo de ser utilizado pela equipe de futebol de robôs da Universidade Federal de Ouro Preto, Equipe Rodetas Robô Clube, para a participação na *Latin American Robotic Competition (LARC)* e Competição Brasileira de Robótica (CBR) na categoria *IEEE Very Small Size*. Em conformidade com as regras que regem a categoria, é apresentado todo o projeto mecânico e o projeto elétrico do robô, bem como os componentes e o *software* utilizados para esse desenvolvimento. Como forma de contextualização também são apresentadas as regras e objetivos pelos quais é definida a categoria *IEEE Very Small Size*.

Palavras-chave: Robôs omnidirecionais, Rodetas, Futebol de robôs, *IEEE Very Small Size*, VSS, LARC e CBR.

ABSTRACT

The concept of autonomous robots is increasingly present in society, from industries use for large-scale production to simple use in domestic activities. Therefore, the development of all types of robots is a constant object of research and study for different purposes. In this context, the main aspects for the development of an autonomous robot, an omnidirectional robot, will be address, with the objective of being used by the team Rodetas Robô Clube, for participation in the Latin American Robot Competition (LARC) and Brazilian Robotics Competition (CBR) in the IEEE Very Small Size category. In accordance with the rules governing this category, the entire mechanical and electrical design of the robot is presented, as well as the components and software used for this development. As a form of contextualization also the objective rules by which the category IEEE Very Small Size.

Keywords: Omnidirectional robots, Rodetas, Robots Soccer, IEEE Very Small Size, VSS, LARC, CBR.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 2.1 - Foto tirada durante uma partida da equipe Rodetas.....	17
Figura 2.2 - Posicionamento dos robôs de acordo com as paralizações do jogo.....	19
Figura 2.3 - Dimensões do Campo onde ocorrem as partidas	20
Figura 2.4 – Vista superior (esquerda) e lateral (direita) da profundidade máxima permitida para o chanfro dos robôs.	21
Figura 2.5 - Troféu conquistado pela equipe RODETAS na LARC 2012.....	23
Figura 2.6 – Troféu conquistado pela equipe RODETAS na LARC 2013.	23
Figura 2.7 – Troféu conquistado pela equipe RODETAS na LARC 2017.	24
Figura 2.8- Arduino Nano.	25
Figura 2.9 - Driver para Motores TB6612FNG.....	26
Figura 2.10 - Conversor CC/CC baseado no MP1584.	27
Figura 2.11 – Módulo XBee.	29
Figura 2.12 – Representação de restrição não-holonômica.	30
Figura 2.13 – Disposição das rodas no robô omnidirecional.	31
Figura 2.14 – Diagrama de movimentos de um robô omnidirecional com rodas mecanum.	32
Figura 2.15 – Representação das variáveis na roda mecanum.	34
Figura 3.1 – Bateria utilizada na alimentação do robô.	37
Figura 3.2 - Micro Metal Gearmotor HP utilizado no sistema de movimentação dos robôs.	37
Figura 3.3 – Exemplo de rodas mecanum..	38
Figura 3.4 – Projeto de roda mecanum desenvolvido e acoplado com braçadeira e motor.	40
Figura 3.5 – Estrutura do robô omnidirecional projetado.	41
Figura 3.6– PCI desenvolvida no ARES para a aplicação de um robô omnidirecional.	42
Figura 3.7 – Representação no ISIS da alimentação da PCI.	43
Figura 3.8– Representação no ISIS do Arduino NANO contido PCI.	44
Figura 3.9– Representação no ISIS do circuito de comunicação da PCI utilizando o XBEE..	44

Figura 3.10– Representação no ISIS dos driver para motores contidos na PCI.	45
Figura 3.11– Representação no ISIS do regulador de tensão contido na PCI.	45
Figura 3.12– Representação no ISIS das conexões que permitiram conectar a PCI aos micromotores.	46
Figura 3.13– Representação no ISIS da PCI desenvolvida.	46
Figura 4.1 – Robô omnidirecional desenvolvido.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Parâmetros de desenvolvimento da roda mecanum.....	38
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivo	14
1.2	Justificativa.....	15
1.3	Estrutura do trabalho	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Sobre a <i>Latin American Robotics Competition</i> e Competição Brasileira de robótica:.	16
2.1.1	A categoria <i>IEEE Very Small Size</i>	16
2.2	Regras da categoria <i>IEEE Very Small Size</i>	17
2.2.1	Sobre os jogadores.....	17
2.2.2	Sobre a partida	18
2.2.3	Sobre o Campo	19
2.2.4	Sobre a bola	20
2.3	Outras competições de futebol de robôs.....	21
2.4	A equipe RODETAS	22
2.4.1	Conquistas	22
2.5	Componentes eletrônicos.....	24
2.5.1	Arduino	24
2.5.2	<i>Driver</i> para motores TB6612FNG.....	26
2.5.3	Módulo conversor CC/CC – MP1584	27
2.5.4	<i>Software</i> PROTEUS VSM	27
2.6	Comunicação sem fio	28
2.6.1	Módulo de comunicação sem fio XBEE	28
2.7	Robôs omnidirecionais	29
2.7.1	Mobilidade omnidirecional.....	30
2.7.2	Rodas Omnidirecionais	32
2.8	<i>Software</i> SolidWorks®	34
2.9	Impressão 3D.....	35
3	DESENVOLVIMENTO.....	36
3.1	Sistema de alimentação e locomoção dos robôs.....	36
3.1.1	Bateria de polímero de lítio	36
3.1.2	Micro Metal Gearmotor HP Pololu	37

3.1.3	Rodas Mecanum	37
3.2	Estrutura projetada para o robô	40
3.3	Placa de circuito impresso - PCI	41
3.3.1	Desenvolvimento do circuito eletrônico.....	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
5	CONCLUSÃO.....	49
	REFERÊNCIAS	50
	ANEXOS	52
	APÊNDICES	56

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais pessoas utilizam robôs para desempenhar suas tarefas, pois eles não descansam e não sentem, estão sempre aptos a realizar tarefas cada dia mais variadas. Não é exagero dizer que, em um futuro bem próximo, os robôs serão a nova ferramenta do ser humano, tanto na área profissional como no meio pessoal, desempenhando tarefas cada vez mais amplas e complexas.

Buscando esse desenvolvimento, cada vez mais ideias e desafios são difundidos e é nesse contexto que se enquadra o futebol de robôs. O futebol é um esporte bastante popular em quase todo o mundo e apresenta desafios científicos bastante importantes, isto porque é um jogo coletivo com problemas individuais (identificação e localização de jogadores, da bola, de si próprio, dribles, remates e etc.) e, ao mesmo tempo, problemas coletivos (estratégia, passes e etc.). A existência de um ambiente dinâmico e o fato de ser jogado contra um adversário cujo objetivo é exatamente o oposto, são aspectos que obrigam a uma grande sofisticação dos intervenientes (robôs).

Segundo Kim et al. (1997) um jogo de futebol de robôs é uma aplicação complexa, envolvendo processamento de imagem em tempo real, controle dos robôs, comunicação sem fio, gerenciamento de vários robôs, além da construção de uma eletrônica boa o suficiente para desempenhar todos os comandos com velocidade e exatidão.

Neste trabalho serão abordados os principais aspectos para o desenvolvimento de um robô autônomo omnidirecional, uma evolução dos robôs atuais, com o objetivo de ser utilizado pela equipe de futebol de robôs da Universidade Federal de Ouro Preto, Equipe Rodetas Robô Clube, para a participação na *Latin American Robotic Competition (LARC)* e Competição Brasileira de Robótica (CBR) categoria *IEEE Very Small Size*.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é estudar, planejar e desenvolver um projeto de robô omnidirecional capaz de participar da *Latin American Robotic Competition (LARC)* e Competição Brasileira de Robótica (CBR) na categoria *IEEE Very Small Size*. De forma a dar continuidade no processo de inovação e desenvolvimento de novas tecnologias realizado pela equipe Rodetas Robô Clube, este trabalho é desenvolvido tendo como objetivo final se consagrar campeão nas competições disputadas.

1.2 Justificativa

A partir deste trabalho pretende-se desenvolver o projeto de um novo tipo de robô para a equipe Rodetas. O projeto desenvolvido neste trabalho é uma inovação pouco presente no cenário atual das competições de futebol de robôs e poderá levar a equipe a um novo nível de desenvolvimento, recorrendo novas ideias e soluções a problemas conhecidos e incentivando a pesquisa e a inovação, de forma a se manter sempre atualizada e garantir um nível de atuação condizente com as melhores equipes da América Latina.

1.3 Estrutura do trabalho

O presente trabalho foi dividido em 5 capítulos.

No Capítulo 1 apresenta-se uma breve contextualização e introdução acerca do conceito de futebol de robôs e da equipe Rodetas, apresentando os principais objetivos, as justificativas e como o trabalho foi dividido.

No Capítulo 2 retrata-se o referencial bibliográfico no qual o trabalho foi embasado, abordando a competição e a categoria, suas respectivas regras, na qual a equipe Rodetas participa além de citar um breve histórico sobre a equipe. Também são abordados os principais conceitos e aplicações de robôs omnidirecionais, elucida os componentes eletrônicos e ainda, apresenta os *softwares* utilizados nesse desenvolvimento.

No Capítulo 3 aborda-se os principais aspectos que compõe os robôs omnidirecionais, a movimentação dos robôs, a constituição do *hardware* e como a estrutura física foi projetada.

No Capítulo 4 apresentam-se os resultados obtidos, o robô final projetado, além de sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, no Capítulo 5 apresenta-se uma breve conclusão frente aos resultados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção será apresentado um pouco mais sobre a competição de futebol de robôs, disputada pela equipe RODETAS e as regras que regem as partidas disputadas pela liga *IEEE Very Small Size*. Também são apresentados os conceitos necessários para o entendimento do projeto. Será abordado o conceito de robôs omnidirecionais, sistemas embarcados e *software* de modelagem 3D, bem como, alguns componentes e suas características. Além disso, um breve histórico sobre a equipe RODETAS Robô Clube é apresentado.

2.1 Sobre a *Latin American Robotics Competition* e Competição Brasileira de robótica:

Organizada anualmente por variadas instituições da América Latina, a Competição Latino Americana de Robótica (em tradução livre) e a Competição Brasileira de Robótica são promovidas por renomadas instituições, como por exemplo: *IEEE Robotics & Automation Society*, SBA (Sociedade Brasileira de Automática), *Robocup* e SBC (Sociedade Brasileira de Computação). Estes eventos englobam categorias diversas de competições, nesse trabalho é abordada a categoria *IEEE Very Small Size* de futebol de robôs.

2.1.1 A categoria *IEEE Very Small Size*

Em concordância com Pinto et al.(2016), a categoria de futebol de robôs *IEEE Very Small Size* (VSS) tem por objetivo a construção de robôs autônomos que sejam capazes de receber e processar comandos a eles enviados por meio de uma central de processamento de imagens, interpretá-los e executá-los sem nenhuma intervenção humana.

De acordo com as regras da categoria, que serão melhor discutidas no decorrer deste trabalho, cada equipe pode possuir o máximo de três robôs, cada um com dimensões máximas de 75x75x75mm. Esses robôs disputam uma partida com duração total de 10 minutos divididos entre dois tempos de 5 minutos cada e cujo o objetivo final é marcar o maior número de gols.

Duas câmeras posicionadas acima do campo são responsáveis pela “visão”, em outras palavras elas realizam o processo de captura de marcações, posicionadas acima de cada robô e posicionadas no campo de jogo, em tempo real e enviam a um computador que processa os dados e define os comandos. É importante destacar que todo processo acontece de forma autônoma. Uma situação de jogo é mostrada na Figura 2.1.

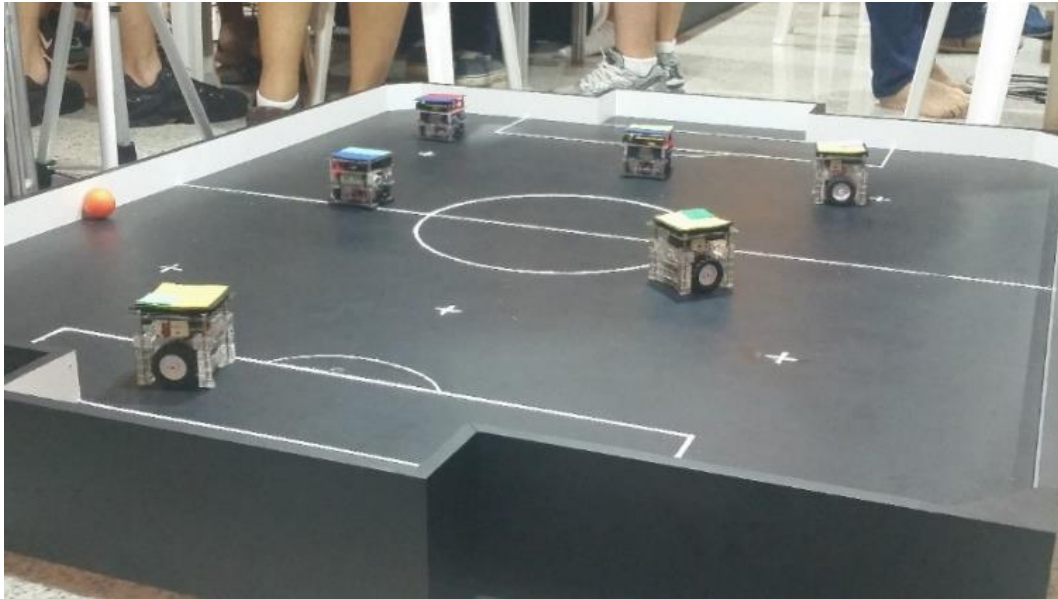


Figura 2.1 - Foto tirada durante uma partida da equipe Rodetas.

Fonte: Pinto (2017).

2.2 Regras da categoria *IEEE Very Small Size*

Segundo os princípios que ditam a categoria, é necessária a adequação dos robôs a algumas regras e, assim como em qualquer jogo ou competição são estabelecidas diversas situações que podem ocorrer durante uma partida de futebol de robôs.

De acordo com IEEE (2008), as regras da categoria *IEEE Very Small Size* foram baseadas na categoria de futebol de robôs FIRA® a MIROSOT. Ainda de acordo com IEEE (2008), pode-se destacar os pontos salientados nas seções a seguir:

2.2.1 Sobre os jogadores

A partida é disputada obrigatoriamente por dois times de até três robôs cada. A cada robô é permitida a dimensão máxima de 75x75x75mm sendo a parte superior deste reservado para identificação dos robôs. Essa identificação é feita através de duas cores não sendo permitida a cor preta e o sendo o azul ou amarelo obrigatórias à identificação de cada uma das equipes.

De acordo com IEEE (2008), cada robô deve ser totalmente autônomo e com sistemas de locomoção, alimentação e comando autossuficientes, sendo proibida qualquer intervenção humana durante a partida.

Não é permitido durante a partida controlar sob nenhuma hipótese direta ou indiretamente os robôs usando as teclas do computador ou *joystick*, assim, os robôs devem possuir inteligência artificial que permita-os disputar a partida sozinhos sem a intervenção humana.

2.2.2 Sobre a partida

Segundo IEEE (2008), a partida deve ter duração total de 10 minutos, sendo dividida em 2 tempos de 5 minutos cada com um intervalo de 10 minutos entre os dois tempos. Cada time ainda tem direito a duas pausas de 2 minutos que podem ser solicitadas a qualquer momento durante a partida.

Ainda de acordo com IEEE (2008), existem algumas situações passíveis de paralisação, as quais serão descritas a seguir:

- *Free Kick* (FK): Ocorre quando um robô empurra o outro do time adversário;
- *Penalty-Kick* (PK): Ocorre em duas situações: quando a bola permanece dentro da área por 10 segundos e não é tocada ou quando a equipe defende com mais de um jogador dentro da área do gol;
- *Goal Kick* (GK): Ocorre quando o robô atacante empurra o goleiro na área do time adversário, quando mais de um atacante entra na área do adversário ao mesmo tempo e quando um robô oponente bloqueia a passagem do goleiro na área do gol;
- *Free-Ball* (FB): Quando a bola fica parada por mais de 10 segundos fora das áreas do gol.

As situações acima citadas são representadas na Figura 2.2.

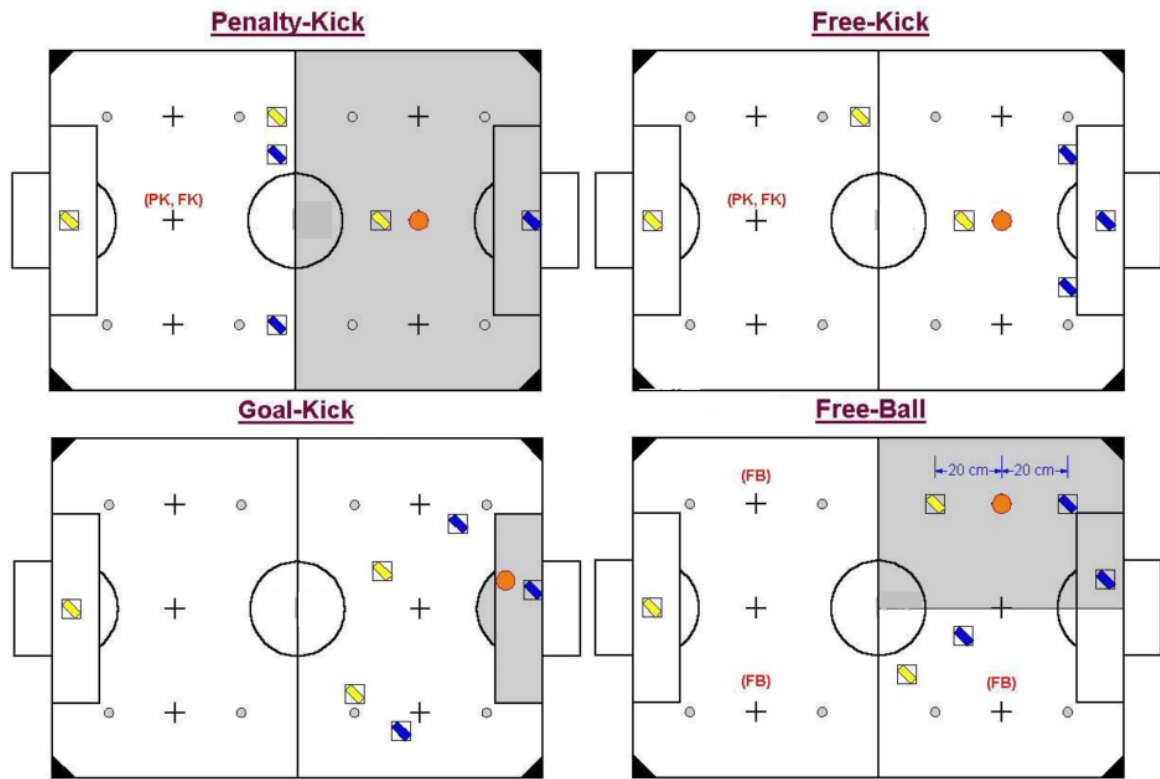


Figura 2.2 - Posicionamento dos robôs de acordo com as paralizações do jogo.

Fonte: IEEE (2008).

Como em qualquer partida de futebol, o vencedor é definido pelo número de gols marcados e, em caso de empate, 3 minutos de prorrogação serão disputados, seguindo para uma disputa de *Penalty-Kick* caso o empate permaneça.

2.2.3 Sobre o Campo

De acordo com IEEE (2008), o campo deverá ser preto e não flexível, de madeira retangular com 150cm de largura e 130cm de comprimento, tendo 5cm de altura e 2.5cm de espessura nas paredes laterais.

O campo deverá conter também marcações que delimitem seu centro, as áreas de ataque e defesa, as áreas dos gols e as marcações onde será posicionada a bola para as situações descritas no Item 2.2.2. O campo bem como as marcações descritas podem ser observadas na Figura 2.3.

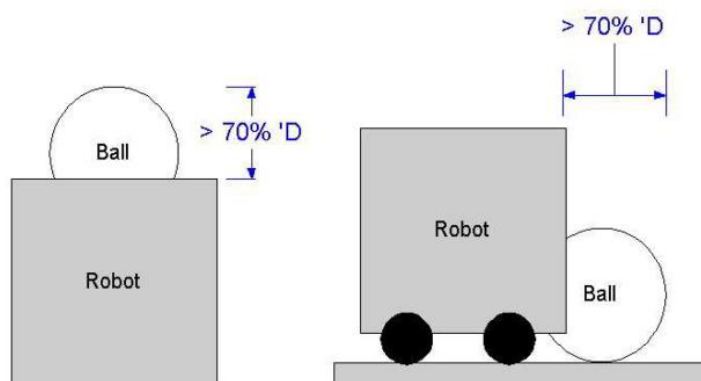


Figura 2.4 – Vista superior (esquerda) e lateral (direita) da profundidade máxima permitida para o chanfro dos robôs.

Fonte: IEEE (2008).

2.3 Outras competições de futebol de robôs

Organizadas todos os anos por universidades de toda a América Latina, a Competição Latino Americana de Robótica (LARC) e a Competição Brasileira de Robótica (CBR) possuem diversas categorias. No que se refere ao futebol de robôs também existem outras ligas além da *IEEE Very Small Size*, sendo elas:

- **RoboCup Small-Size (F180):** Dois times contendo seis robôs autônomos cada, disputam uma partida. “Os robôs possuem um tamanho limitado a 150mm de altura e 180mm de diâmetro e são controlados remotamente por um computador” (CBROBOTICA, 2019). Possui os mesmos princípios da VSS, com a exceção de que o processamento de imagem da F180 é fornecido pela organização.
- **RoboCup Simulation 2D:** Categoria de simulação, dois times contendo onze jogadores autônomos cada, disputam a partida em duas dimensões. “Cada um dos agentes criados representa um jogador e recebem informações limitadas sobre a situação do jogo, incumbindo a cada um a tomada de decisão em tempo real” (CBROBOTICA, 2019).
- **RoboCup Simulation 3D:** Duas equipes de onze agentes autônomos e humanoides cada, disputam a partida. “O objetivo da competição, além do comportamento estratégico de jogar futebol em uma simulação, é adicionar comportamentos básicos como caminhar e chutar” (CBROBOTICA, 2019).

- *RoboCup Humanoid League*: Robôs autônomos com a aparência e sentidos parecidos com o corpo humano disputam uma partida de futebol. Segundo CBROBOTICA (2019), os robôs são divididos em três categorias: *KidSize* os robôs possuem 40 a 90cm de altura, *TeenSize* os robôs possuem 80 a 140cm de altura) e *AdultSize* os robôs possuem 130 a 180cm de altura). Os robôs possuem um processamento de imagem embarcado, cada um dispõe de uma câmera para que os jogadores identifiquem a bola e o campo.

2.4 A equipe RODETAS

Criada em 2011 a partir de uma iniciativa da Professora Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri do Departamento de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto e de alguns alunos do curso de Controle e Automação da Escola de Minas, a equipe RODETAS tem como objetivo principal a criação de robôs autônomos para participação em competições nacionais e internacionais de futebol de robôs. Além disso, outro objetivo da equipe é empregar na prática os ensinamentos obtidos em sala nos cursos oferecidos na Universidade Federal de Ouro Preto.

O APÊNDICE F, APÊNDICE G, APÊNDICE H, APÊNDICE I e APÊNDICE J demonstram os artigos publicados pela equipe como pré-requisito para participação em competições de futebol de robôs na categoria VSS, validando a evolução que a equipe obteve ao longo dos anos e de várias participações em competições internacionais.

2.4.1 Conquistas

Em sua primeira participação, realizada em 2012 na cidade de Fortaleza (Ceará) na XI *Latin American Robotics Competition* (LARC), a equipe conquistou o segundo lugar na categoria *IEEE Very Small Size*. Na Figura 2.5 é representado o troféu recebido pela equipe em 2012.



Figura 2.5 - Troféu conquistado pela equipe RODETAS na LARC 2012.

Em 2013 a equipe decidiu por participar da XII LARC, realizada na cidade de Arequipa localizada no Peru, se consagrando campeã Latino Americana da categoria *IEEE Very Small Size* 2013. Na Figura 2.6 é representado o troféu conquistado pela equipe em 2013.



Figura 2.6 – Troféu conquistado pela equipe RODETAS na LARC 2013.

Em 2017, a competição Latino Americana de robótica foi realizada na cidade de Curitiba (PR) e mantendo seu bom histórico de participações a equipe RODETAS alcançou o segundo lugar na categoria *Very Small Size*. Na Figura 2.7 é representado o troféu conquistado em 2017.



Figura 2.7 – Troféu conquistado pela equipe RODETAS na LARC 2017.

2.5 Componentes eletrônicos

Nesta seção serão abordados os principais aspectos teóricos acerca dos componentes utilizados no desenvolvimento do robô omnidirecional bem como as particularidades sobre o *software* utilizado para o desenvolvimento do circuito elétrico.

2.5.1 Arduino

Projetado na Itália em 2005 por Massimo Banzi e David Cuartielles o Arduino é uma placa com a finalidade de ser uma solução barata para o estudo de eletrônica e programação. O arduino é uma ferramenta poderosa na introdução de linguagens básicas de programação, tornando o aprendizado de engenharia mais simples e didático.

“Devido à características construtivas, projetos envolvendo a placa arduino servem como uma boa forma de se iniciar os estudos na área de eletrônica, uma vez que não é necessário ter conhecimentos prévios nem em eletrônica ou em linguagens de programação para se utilizar a plataforma Arduino (..)” (PINTO, 2016).

De acordo com Pinto (2017), com o Arduino é possível receber informações de dispositivos de entrada, como sensores, e atuar em sistemas acionando motores, *displays*, *led's* e outros

equipamentos. A interface responsável por integrar entradas e saídas dos sistemas desenvolvidos por usuários desse sistema embarcado é a *IDE*, uma plataforma de código aberto em que se pode criar algoritmos nas linguagens de programação C e C++.

Com o objetivo de facilitar o desenvolvimento de aplicações envolvendo projetos eletrônicos de baixo custo e fácil programação existem, atualmente, disponíveis no mercado, diversos modelos de plataforma Arduino como o MEGA, LEONARDO, 101, ESPLORA, MICRO, NANO, DUE e o UNO que se diferenciam pela capacidade de processamento, memória, tamanho efetivo da plataforma, número de entradas e saídas e custo.

2.5.1.1 Arduino NANO

Baseado no microcontrolador ATmega328 o Arduino NANO, atualmente utilizado nos robôs da equipe Rodetas é uma placa compacta, de fácil manipulação alta performance e baixo custo (ARDUINO, 2016) que atende bem as necessidades dos robôs produzidos.

A Figura 2.8 ilustra o Arduino NANO.



Figura 2.8- Arduino Nano.

Fonte: ARDUINO® (2019).

Principais especificações técnicas de acordo com Arduino® (2019):

- A alimentação pode ser feita por meio da conexão MINI-B USB, alimentação externa limite de 6 a 20V e recomendada de 7 a 12V pelo pino 30 ou, ainda, utilizar uma tensão regulada de 5V no pino 27. A fonte de alimentação é automaticamente selecionada de acordo com a fonte de tensão mais alta;
- Memória flash de 32KB dos quais 2KB são utilizados para o *bootloader*, 2KB de SRAM e memória EEPROM de 1KB;
- Velocidade de *clock* de 16MHz;

- Oito pinos de entrada analógica com opção de referencial externa que fornecem uma resolução de até 10 bits;
- Corrente máxima de 40mA nos pinos de entrada e saída;
- Quatorze pinos digitais de entrada e saídas que operam a 5V. Alguns dos pinos possuem funções especializadas como comunicação serial, interrupções externas, PWM, comunicação SPI e I2C;
- Consumo de 19mA;
- Tamanho de 18x45mm.

O Arduino NANO pode ser programado por meio do *software* da própria desenvolvedora da plataforma. O microcontrolador ATmega328 possui um *bootloader* pré-instalado que permite fazer o *upload* do programa que se deseja executar de acordo com a aplicação escolhida sem utilizar um programador externo, ou seja, é possível programar a plataforma por meio do MINI-B USB contido na placa (ARDUINO®, 2019).

2.5.2 Driver para motores TB6612FNG

O *Driver* para motores TB6612FNG é um módulo de interface entre o microcontrolador e no máximo dois motores pequenos de corrente contínua que permite o controle de velocidade e direção. Os MOSFET com base em pontes H como é o caso do módulo TB6612FNG são muito mais eficientes que os BJT utilizados em outros *drivers*, pois permite a entrega de mais corrente para os motores e menos drenagem da fonte de alimentação (TOSHIBA, 2008). A Figura 2.9 ilustra o módulo TB6612FNG fabricado pela Toshiba.

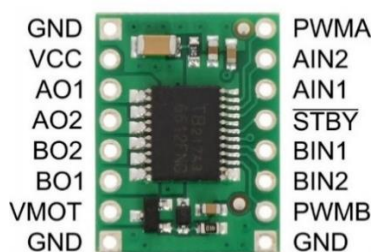


Figura 2.9 - Driver para Motores TB6612FNG.

Fonte: TOSHIBA (2008).

Nessa plataforma as conexões físicas de alimentação são feitas de um lado e as de controle de outro e, assim o módulo possui dois canais diferentes que comportam o controle independente

de dois motores, permitindo a mudança de direção e uma entrada PWM de até 100kHz. De acordo com a fabricante Toshiba (2008), uma consideração importante é de que o pino STBY deve estar em nível lógico alto antes de se iniciar a aplicação com os motores, desta forma, o *driver* sai do modo *standby*.

Principais especificações técnicas de acordo com Toshiba (2008):

- Tensão recomendada no pino VMOT de 4,5 a 13,5V, com a possibilidade de operar a 2,5V com performance depreciada;
- Tensão de operação (VCC) de 2,7 a 5,5V;
- Corrente máxima por canal de 3A;
- Circuito de desligamento térmico interno;
- Filtros capacitivos em todas as linhas de alimentação.

2.5.3 Módulo conversor CC/CC – MP1584

O MP1584 é um regulador ajustável e chaveado de alta frequência com circuito *step-down* (abaixador de tensão) de conversão corrente contínua para corrente contínua (CC/CC). É utilizado a fim de proporcionar uma tensão constante para o PWM empregue no controle da velocidade dos motores (ANDRADE et al., 2018). Desta forma, de acordo com Andrade et al. (2018), é possível ajustar a tensão nominal entregue pela bateria aos motores de 7,4V (podendo atingir de 8,5V quando a bateria está totalmente carregada a 6,5V quando quase descarregada) para 6V fixos. A Figura 2.10 ilustra o módulo conversor.



Figura 2.10 - Conversor CC/CC baseado no MP1584.

Fonte: (MPS @, 2019).

2.5.4 Software PROTEUS VSM

É um *software* para criação, *design* e simulação de circuitos eletrônicos, podendo também atuar na criação de placas de circuito impresso (PCB). Segundo Santos (2014) é uma ferramenta para

uso por estudantes e profissionais que tem por objetivo aperfeiçoar suas habilidades no desenvolvimento de aplicações em sistemas embarcados.

Neste *software* pode-se citar duas características básicas:

- ISIS – *Intelligent Schematic Input System* (Sistema de Entrada Esquemático Inteligente): Criação de circuitos, testes e simulações de funcionamento;
- ARES – *Advanced routing and Editing Software* (Roteamento Avançado e Edição de Software): Alocação dos componentes e desenvolvimento da placa de circuito impresso.

2.6 Comunicação sem fio

No tópico a seguir é abordada a tecnologia *wireless* utilizada para estabelecer a comunicação entre os robôs e a central de comando (computador) e que permite toda a mobilidade dos jogadores.

2.6.1 Módulo de comunicação sem fio XBEE

O Zigbee é um padrão que define um conjunto de protocolos de comunicação para redes sem fios de curto alcance com taxas reduzidas de dados (MAYALARP et al., 2010). Em concordância com Mayalarp et al. (2010), dispositivos sem fio baseados nesse padrão operam em faixas de frequência de 868MHz, 915MHz ou 2,4GHZ e, ainda, possuem uma taxa máxima de dados de 250kbps. O padrão Zigbee é voltado para aplicações de baixa taxa de dados, baixo custo e alimentado por uma bateria e, ainda é capaz de oferecer aos usuários uma gama diversificada de topologias de rede que variam desde ponto a ponto, estrela até topologia de malhas.

O XBee são módulos de Rádio Frequência RF compatíveis com o padrão de rede Zigbee. Projetados para atender aos padrões IEEE 802.15.4, esses dispositivos suportam as necessidades de aplicações que utilizam redes sem fio de baixo custo e baixo consumo de energia.

Principais especificações técnicas de acordo com Digi International inc. (2009):

- Tensão de operação de 2,8 a 3,4V;

- Comunicação ocorre por meio de dois pinos: TX (pino de transmissão de dados) e RX (pino de recepção de dados). Ambos operam a 3,3V;
- Para aplicações *Indoor* ou em ambientes urbanos o alcance máximo é de 30m, já para aplicações *Outdoor* o alcance da linha de visão do módulo RF é de 90m;
- A taxa de transmissão RF é de 250000b/s;
- Banda de frequência de operação ISM 2,4GHz;
- Temperatura de operação de -40 a 85°C;
- Existem disponíveis no mercado opções de módulo com e sem antenas integradas;
- Suporta vários tipos de topologia de rede como ponto a ponto, ponto a multiponto e P2P;
- Possui suporte para até 16 canais de transmissão por módulo.

A Figura 2.11 ilustra o módulo XBee.



Figura 2.11 – Módulo XBee.

Fonte: Digi International Inc. (2009).

2.7 Robôs omnidirecionais

Os robôs omnidirecionais possuem a habilidade de se mover em qualquer direção de um plano 2D, independente de sua orientação. A rotação das rodas é realizada sobre seu eixo principal, mas podem mover-se com pouco atrito em todas as direções, devido à sua forma e devido aos pequenos roletes que constituem a roda maior (INDIVERI, 2009).

A mobilidade possibilitada pelas rodas modificadas permite que um robô omnidirecional atue de forma mais rápida e precisa do que um robô comum, uma vez que exige menos movimentos e deslocamentos para alcançar a posição desejada.

2.7.1 Mobilidade omnidirecional

Segundo Doroftei, Grosu e Spinu (2007), entende-se por omnidirecional a capacidade de um sistema se mover instantaneamente em qualquer direção a partir de qualquer configuração. Considerando um espaço bidimensional o corpo humano possui três graus de liberdade podendo, por exemplo, girar em torno de seu centro de gravidade e seguir na direção desejada. A maioria dos veículos convencionais, entretanto, não são capazes de controlar cada grau de liberdade de forma independente, uma roda convencional não é capaz de se mover em uma direção paralela ao seu próprio eixo, essa característica pode ser definida como restrição não-holonômica da roda, como pode ser observado na Figura 2.12.

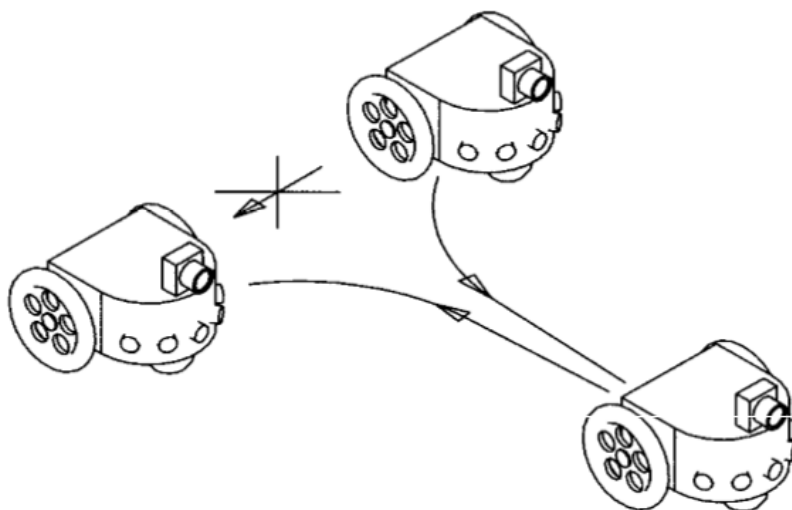


Figura 2.12 – Representação de restrição não-holonômica.

Fonte: Doroftei, Grosu e Spinu (2007).

Quando um veículo não possui restrições não-holonômicas, ele pode se movimentar em todas as direções sob qualquer orientação. A essa capacidade de movimentação é dada o nome de mobilidade omnidirecional.

Os veículos omnidirecionais têm grandes vantagens em relação às plataformas convencionais (não-holonômicas), eles podem seguir trajetórias complexas em pequenos espaços, podendo se movimentar lateralmente ou em diagonal, um descolamento em linhas retas. Em contraste, os robôs não-holonômicos podem andar em algumas direções, mas possuem a limitação de necessitarem realizar algumas curvas para alcançar um mesmo ponto.

A configuração do robô consiste em quatro rodas localizadas de forma semelhante à de um automóvel. Estas rodas devem estar dispostas em um formato específico, como mostra a Figura 2.13.

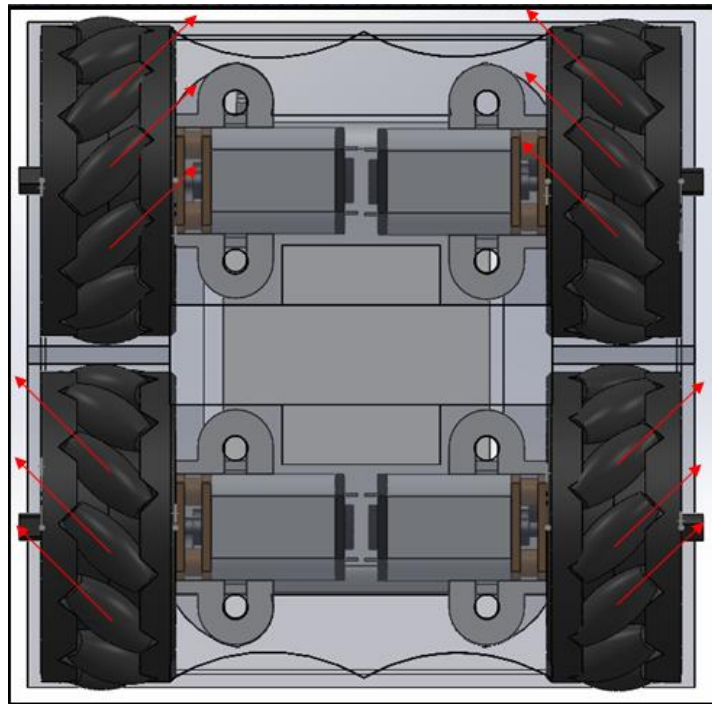


Figura 2.13 – Disposição das rodas no robô omnidirecional.

As forças devidas à direção e velocidade de cada uma das quatro rodas podem ser somadas em um vetor de força total, este vetor final permite a translação do veículo em qualquer direção e a partir de diversas combinações de direção e velocidade de cada roda é possível criar variadas configurações de movimentação, como observado na Figura 2.14.

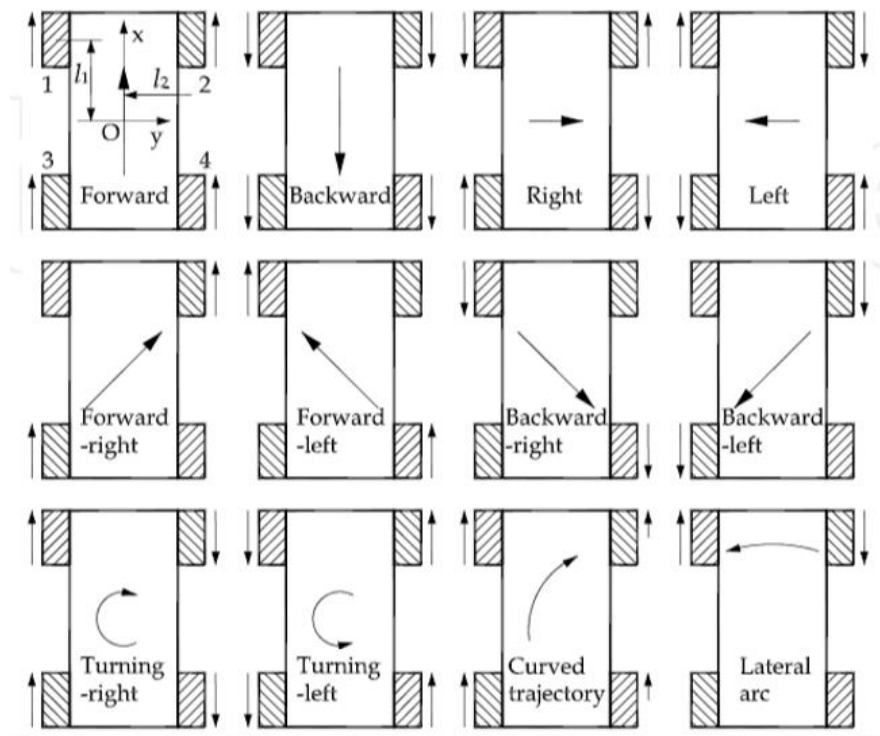


Figura 2.14 – Diagrama de movimentos de um robô omnidirecional com rodas mecanum.

Fonte: Doroftei, Grosu e Spinu (2007).

O robô é capaz de se movimentar em qualquer direção, para a frente ou para trás, mas também lateralmente para a esquerda/direita e girando no local, graças às suas rodas especiais,

“dependendo da direção e velocidade individual de cada roda, a combinação resultante de todas essas forças produz um vetor de força total em qualquer direção desejada, permitindo que a plataforma se mova livremente na direção do vetor de força resultante, sem alterar as próprias rodas” (DOROFTEI; GROSU; SPINU, 2007).

2.7.2 Rodas Omnidirecionais

Um dos desenhos mais comuns de rodas utilizadas ao se falar de robôs omnidirecionais é o das rodas mecanum. Essa roda tem sua invenção datada em 1973 por um engenheiro da empresa sueca Mecanum AB chamado Bengt Llon, assim originou-se a nomenclatura rodas suecas (DOROFTEI, GROSU E SPINU, 2007). Com o uso de quatro dessas rodas é possível fornecer ao um robô um deslocamento omnidirecional, diferente da movimentação comum amplamente utilizada atualmente.

Segundo Doroftei, Grosu e Spinu (2007) a roda mecanum é formada ao se acoplar vários roletes de movimento livre angulados em torno de uma circunferência. Na roda sueca, em sua concepção original, deve-se manter um ângulo de 45° entre o eixo central do rolo e o eixo central da roda.

É possível desenvolver a forma de uma roda tendo o diâmetro externo da mesma e um plano angulado em γ (o ângulo entre o eixo do rolete e o plano da circunferência). Segundo Doroftei, Grosu e Spinu (2007), a concepção original da roda sueca possui $\gamma = 45^\circ$, assim esse foi o ângulo utilizado no desenvolvimento deste trabalho.

Para o planejamento dos roletes, em concordância com Doroftei, Grosu e Spinu (2007), deve-se respeitar na construção do rolete a equação elíptica, como mostra a Equação 1:

$$\frac{1}{2}x^2 + y^2 - R^2 = 0 \quad (1)$$

Em que, R é o raio externo da roda.

Se o comprimento do rolete, L_r , for muito menor que o raio externo da roda, R, então a forma do rolete pode ser aproximada com um arco circular tendo 2R como raio (DOROFTEI, GROSU E SPINU, 2007).

Para obter uma silhueta circular para a roda, um número mínimo de roletes deve ser calculado. Se o comprimento do rolete for escolhido, L_r , obtêm-se o número mínimo de roletes n, como mostra a Equação 2:

$$n = \frac{2\pi}{\varphi} \quad (2)$$

Já a Equação 3 explicita como a variável φ é calculada e pode ser observada:

$$\varphi = 2\arcsen\left(\frac{L_r}{2Rsen\gamma}\right) \quad (3)$$

Pode-se assumir que o número n de roletes é conhecido, então é possível encontrar o comprimento do rolete por meio da Equação 4:

$$L_r = 2R\left(\frac{sen\frac{\pi}{n}}{sen\gamma}\right) \quad (4)$$

A espessura da roda, L_w , pode ser definida pela Equação 5:

$$L_w = L_r \cos \gamma = 2R \left(\frac{\sin \frac{\pi}{n}}{\tan \gamma} \right) \quad (5)$$

Desta forma, é possível observar todas as variáveis na Figura 2.15.

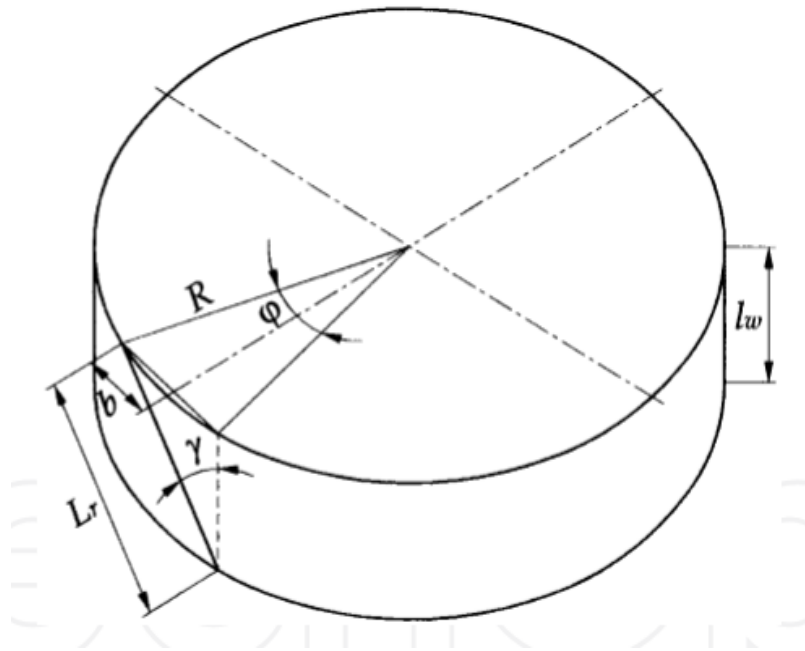


Figura 2.15 – Representação das variáveis na roda mecanum.

Fonte: Doroftei, Grosu e Spinu (2007).

2.8 Software SolidWorks®

Este *software* de modelagem 3D tem como finalidade auxiliar no desenvolvimento de soluções para ajudar projetistas, engenheiros e fabricantes a criar e desenvolver novos produtos. Em concordância com SOLIDWORKS (2019), essa plataforma abrange soluções do início ao fim do processo de desenvolvimento, por exemplo:

- Projeto mecânico 3D;
- Projetos de esquemáticos elétricos e projetos eletromecânicos integrados;
- Simulação para análise de parâmetros estruturais, de moldagem de injeção plástica, ambientais e de movimento;
- Gerenciamento de dados para pesquisa e armazenamento seguros e eficazes;

- Aplicativos e ferramentas de comunicação técnica para a criação de conteúdo gráfico dinâmico, documentação de inspeção e informações sobre fabricação e produtos (*Product and Manufacturing Information* - PMI) 3D com base em modelos.

2.9 Impressão 3D

Também conhecida como fabricação aditiva, é possível entender o conceito de impressão 3D como o processo de criação de objetos físicos através da deposição de materiais em camadas, tendo como base um modelo digital previamente criado em um *software* de edição.

A tecnologia de impressão 3D pode ser utilizada para os mais diversos fins e está cada dia mais difundida e presente em todos segmentos da sociedade, desde pequenas peças até construção de casas inteiras e sustentáveis.

3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo são abordados os principais aspectos da plataforma omnidirecional projetada para este trabalho, a movimentação dos robôs e como a estrutura física foi desenvolvida. Além disso, de forma análoga, também é apresentado o projeto de PCI desenvolvido, bem como os componentes e software utilizado para este fim.

3.1 Sistema de alimentação e locomoção dos robôs

É entendido por sistema de alimentação os componentes que darão autonomia energética para o robô, ele alimentará todo o circuito eletrônico e os motores. O sistema de locomoção permite que os robôs realizem movimentos pré-programados de forma correta e é composto pelos micromotores e pelas rodas. Cada sistema é necessário para que o robô funcione corretamente, assim como os demais componentes já abordados.

3.1.1 Bateria de polímero de lítio

A bateria é o componente principal do sistema de alimentação. É capaz de alimentar todo o circuito eletrônico durante as partidas e garantir a autonomia necessária para disputa dos jogos. Nesse sistema é utilizada uma bateria constituída de duas células de Polímero de Lítio (LiPo) de 7,4V cada uma, possui uma capacidade de carga de até 1000mAh, pesa 60g e possui 52x30x19mm de dimensões. A Figura 3.1 representa a bateria utilizada para alimentar os circuitos eletrônicos e motores dos robôs.



Figura 3.1 – Bateria utilizada na alimentação do robô.

3.1.2 Micro Metal Gearmotor HP Pololu

O motor escolhido para ser utilizado no sistema de locomoção dos robôs são quatro *Gearmotors* de corrente contínua HP (*high-power*). De acordo com a fabricante Pololu Robotics & Electronic © (2019), esse motor possui as seguintes especificações:

- Alimentação de 6V;
- Peso de 9,5g;
- Quando livre de carga e alimentado a uma tensão de 6V uma rotação de até 400rpm.

O motor explicitado é representado pela Figura 3.2.



Figura 3.2 - Micro Metal Gearmotor HP utilizado no sistema de movimentação dos robôs.

Fonte: Pololu Robotics & Electronic © (2019)

Este motor é perfeito para aplicações como o futebol de robôs, pois possui pequenas dimensões e uma alta performance e respondem com agilidade a estímulos externos e, ao mesmo tempo, possui um elevado torque.

3.1.3 Rodas Mecanum

São baseadas em um conceito que “ativa a tração em uma direção e permite o movimento passivo em outra, permitindo maior flexibilidade em ambientes congestionados” (YU; SPENKO; DUBOWSKY, 2004). A roda mecanum é formada ao se acoplar vários rolos de

movimento livre angulados em 45° em torno de uma circunferência como exemplifica a Figura 3.3.

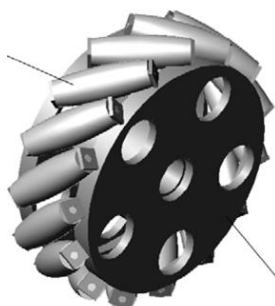


Figura 3.3 – Exemplo de rodas mecanum.

Fonte: Yu, Spenko e Dubowsky (2004).

Observando as regras que regem a categoria VSS para as quais o robô é planejado, é necessário respeitar a limitação de tamanho máximo do robô (75x75x75mm), logo as quatro rodas precisam ter um tamanho que permita sua acomodação dentro da estrutura, bem como a acomodação dos motores e de componentes de fixação dos mesmos.

Para atender essas questões, foi observada a Figura 2.15 e utilizada a Equação 2, para a estimativa do número de roletes n , a Equação 3, mostrando o ângulo φ que cada rolete ocupa em relação a circunferência principal, a Equação 4 onde pode-se obter o comprimento máximo do rolete e a Equação 5 sendo possível obter uma estimativa da espessura da roda, de forma a desenvolver o projeto de roda ideal e coerente com o tamanho limitado dos robôs.

De forma a realizar uma análise mais ampla dos resultados foi desenvolvida a Tabela 3.1 com diferentes configurações de ângulo e os respectivos valores das demais variáveis obtidas por meio das equações presentes na seção 2.7.2:

Tabela 3.1 – Parâmetros de desenvolvimento da roda mecanum.

φ Graus	φ rad	n	L_r	L_w
15	0,261799	24	7,75286	5,4821
16	0,279253	22,5	8,26646	5,84527
17	0,296706	21,17647	8,779431	6,207995
18	0,314159	20	9,291733	6,570248
19	0,331613	18,94737	9,803328	6,931999
20	0,349066	18	10,31418	7,293223

21	0,366519	17,14286	10,82424	7,653892
22	0,383972	16,36364	11,33348	8,013978
23	0,401426	15,65217	11,84185	8,373453
24	0,418879	15	12,34932	8,732291
25	0,436332	14,4	12,85586	9,090464
26	0,453786	13,84615	13,36141	9,447944
27	0,471239	13,33333	13,86595	9,804705
28	0,488692	12,85714	14,36943	10,16072
29	0,506145	12,41379	14,87181	10,51596
30	0,523599	12	15,37307	10,8704
31	0,541052	11,6129	15,87315	11,22401
32	0,558505	11,25	16,37202	11,57677
33	0,575959	10,90909	16,86965	11,92864
34	0,593412	10,58824	17,36599	12,27961
35	0,610865	10,28571	17,86101	12,62964
36	0,628319	10	18,35467	12,97871
37	0,645772	9,72973	18,84694	13,3268
38	0,663225	9,473684	19,33776	13,67386
39	0,680678	9,230769	19,82712	14,01989
40	0,698132	9	20,31496	14,36485
41	0,715585	8,780488	20,80126	14,70871
42	0,733038	8,571429	21,28597	15,05145
43	0,750492	8,372093	21,76906	15,39305

A partir da análise desta tabela ficou definido que a melhor configuração para o projeto pode ser realizada com uma roda com $n = 12$, ou seja, 12 roletes (APÊNDICE A) de diagonal aproximada $L_r = 16$ mm com variação $\gamma = 45^\circ$ entre si dispostos em uma circunferência de raio 17.5mm.

Com o número de roletes e seu tamanho definidos foi possível desenvolver o projeto da roda mecanum com dimensões específicas para que o robô possa competir em partidas de futebol da categoria VSS. Para atender a necessidade de tamanho máximo do robô, foi necessário desenvolver uma roda de forma que parte do motor, da braçadeira que o fixa e da própria estrutura geral do robô adentrassem em parte à circunferência da roda como mostra a Figura 3.4.

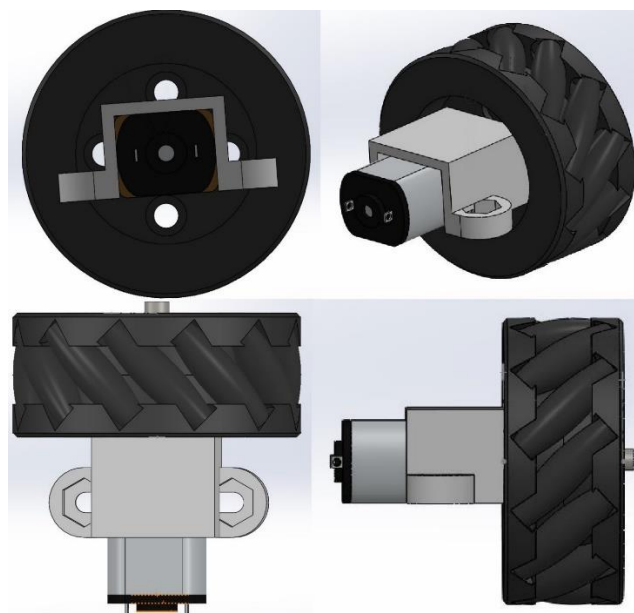


Figura 3.4 – Projeto de roda mecanum desenvolvido e acoplado com braçadeira e motor.

3.2 Estrutura projetada para o robô

O desenvolvimento do projeto estrutural do robô omnidirecional foi totalmente feito no *software* SOLIDWORKS 2019,

“um programa de modelagem em 3D que abrange todos os níveis do processo de desenvolvimento de um produto, permitindo o usuário tanto criar um projeto quanto simular o seu comportamento em um ambiente real. Possui uma interface intuitiva ao usuário acelerando o processo de design e aumentando a produtividade” (PINTO, 2017).

O material escolhido para a produção da estrutura dos robôs foi o *Acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), por ser altamente resistente, robusto e, ainda sim, leve e de fácil manuseio em impressões 3D. A produção é feita por jatos camada a camada, criando no final uma peça maciça completa.

Para desenvolver este projeto foram necessárias adaptações para seguir as regras da categoria. A estrutura principal do robô tem uma dimensão máxima de 75x75x75mm, podendo ser dividida em três subestruturas principais com as seguintes funções:

- Subestrutura inferior: responsável por acomodar dois chanfros na parte frontal e traseira, para melhor condução da bola, e acomodações para 4 micromotores (ANEXO A) e suas

respectivas braçadeiras de fixação (ANEXO B) e 4 rodas mecanum, responsáveis pela locomoção do sistema (APÊNDICE B).

- Subestrutura media: responsável por acomodar a bateria de 1000mah, responsável pela alimentação de todo sistema (ANEXO C).
- Subestrutura superior: responsável por acomodar a PCI e todos circuitos responsáveis pelo sistema de inteligência do robô, recebendo os dados e enviando os respectivos comandos ao sistema de movimentação.

A estrutura final (APÊNDICE C) projetada é apresentada na Figura 3.5:

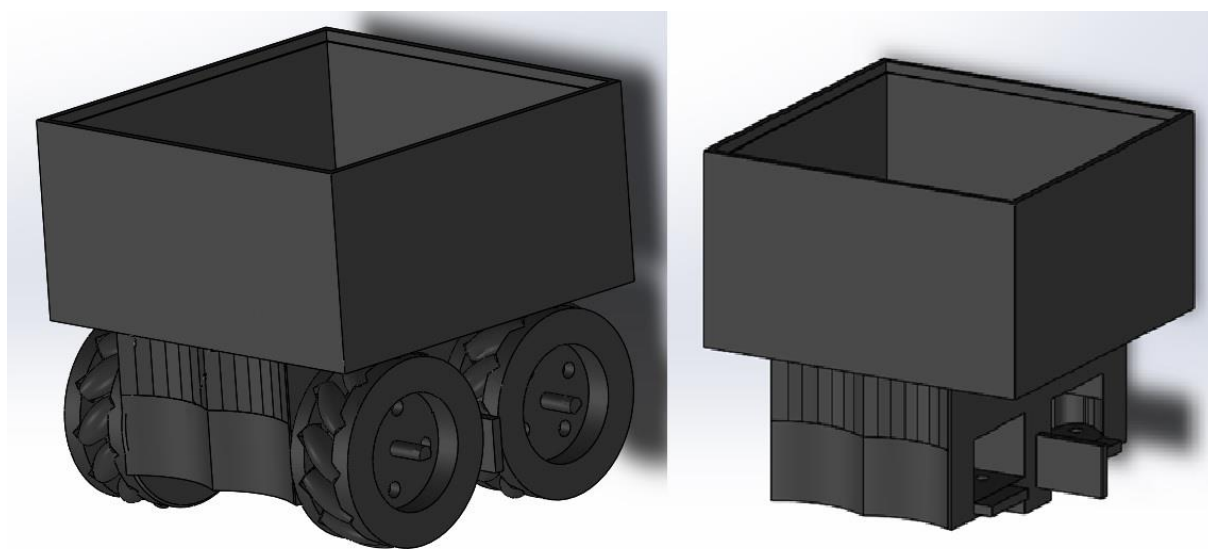


Figura 3.5 – Estrutura do robô omnidirecional projetado.

3.3 Placa de circuito impresso - PCI

O *design* da placa de circuito impressa desenvolvida para a aplicação de um robô omnidirecional para participação em competições de futebol de robôs na categoria VSS foi concebido por meio do *software* de desenvolvimento e simulação de circuitos eletrônicos Proteus. Este *software* permite o desenho de circuitos eletrônicos em uma plataforma gráfica que possibilita tanto simular circuitos eletrônicos sem o risco de causar danos a componentes como criar o *layout* de placas a serem fabricadas. De acordo com Santos (2014), esse *software* é dividido em duas ferramentas: Sistema de Entrada Esquemático Inteligente (ISIS), ambiente de simulação e criação esquemática dos circuitos eletrônicos; e o Roteamento Avançado e Software de Edição (ARES), ferramenta através da qual é possível criar o *layout* de uma PCI e fazer as conexões físicas entre os componentes. Ambos os ambientes foram utilizados no

desenvolvimento do projeto das PCIs apresentadas, assim o projeto efetuado no ambiente do ISIS é representado no APÊNDICE D e o projeto efetuado no ambiente do ARES é representado no APÊNDICE E.

O APÊNDICE D é o projeto da placa contento todas as ligações que o circuito eletrônico possui, bem como o nome de todos os componentes que a PCI integra, somente por meio dela é possível fazer simulações e criar o projeto de *design* no ARES representados no APÊNDICE E, que constituem, respectivamente, os *bitmaps* das vistas superior, inferior contendo as trilhas e inferior contendo os furos da placa. A PCI desenvolvida também é ilustrada na Figura 3.6.

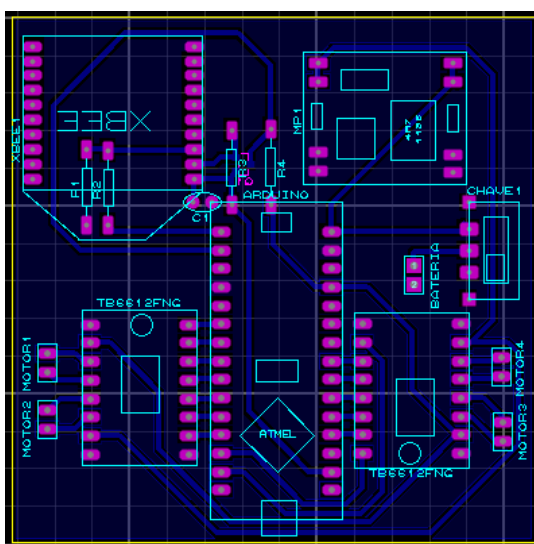


Figura 3.6– PCI desenvolvida no ARES para a aplicação de um robô omnidirecional.

A PCI consiste em uma plataforma que abarca todos os componentes eletrônicos necessários para o funcionamento do robô em um único dispositivo de forma otimizada e compacta. Possui base para comportar o dispositivo que possibilita a comunicação sem fio entre o *software* processador de imagens contido no computador e robô. Além disso, ela contempla conexões para o uso do Arduino NANO, dois *driver* de motores TB6612FNG que comportam quatro micromotores de corrente contínua, chave *on/off* e o módulo de conversão CC/CC baseado no circuito integrado MP1854 para regular a tensão de entrada de todos os quatro motores para a sua tensão nominal de operação de 6V.

3.3.1 Desenvolvimento do circuito eletrônico

A alimentação do circuito é representada no ARES pela Figura 3.7. Nessa figura é possível observar que há um conector “BATERIA” utilizado com o objetivo de ligar o sistema de alimentação à placa, em que “VIN” é o positivo e o pino 2 é o GND ou negativo da bateria. O componente caracterizado como “CHAVE 1” é uma chave deslizante de duas posições, ideal para comutar circuitos de alimentação e que permite ligar ou desligar a PCI sem precisar de desconectar a bateria da placa, sendo assim, quando a chave está posicionada entre o pino 1 e 2 o circuito está ligado e quando está posicionada entre os pinos 2 e 3 a PCI está desligada.

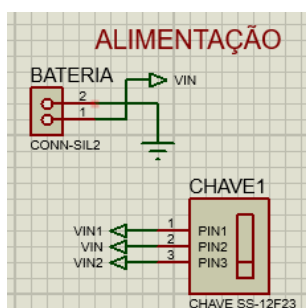


Figura 3.7 – Representação no ISIS da alimentação da PCI.

O Arduino NANO do circuito é representado no ARES pela Figura 3.8. Esse sistema embarcado recebe o programa que permite o controle de movimentação dos robôs e, também, recebe os dados de comando do computador por meio da saída “TX” e da entrada “RX” que são os pinos digitais usados para a comunicação entre o ARDUINO e o XBEE. As saídas D3, D4, D5, D6, D7, D8 e D9 são pinos digitais que permitem o controle da direção e do PWM de dois dos motores e são ligados diretamente a um dos *driver* TB6612FNG, já as saídas D10, D11, A0, A1, A2, A3 e A4, muito embora alguns sejam analógicos e podem ser transformados em pinos digitais via *software*, são pinos que permitem o controle da direção e do PWM dos outros dois dos motores e são ligados diretamente ao outro *driver* TB6612FNG. O pino “VIN1” representa a alimentação do circuito já explicitada anteriormente, o pino “5V” e “3V3” simbolizam tensões de saída de 5 e 3,3V, respectivamente.

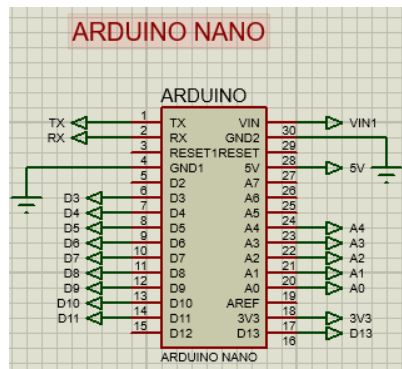


Figura 3.8– Representação no ISIS do Arduino NANO contido PCI.

O Módulo de comunicação sem fio XBEE do circuito é representado no ARES pela Figura 3.9, onde pode ser observado o componente “C1” representa um capacitor de desacoplamento de 100nF que tem por objetivo manter estável a alimentação do XBEE de 3,3V, os componentes “R2” e “R1” são resistores de, respectivamente 10kΩ e 18kΩ, utilizados como divisor de tensão visto que o pino “TX” de transmissão de dados do Arduino opera a 5V e o pino “RX” de recepção de dados do XBEE opera a 3,3V. Já os componentes “R4”, “R3” e “Q1” representam, respectivamente, dois resistores de 10kΩ cada e um transistor para assegurar que a informação transmitida pelo “TX” do XBEE seja recebida no “RX” do Arduino, visto que, o transistor assegura a elevação de tensão de 3,3V para 5V (tensão de operação nos pinos do Arduino).

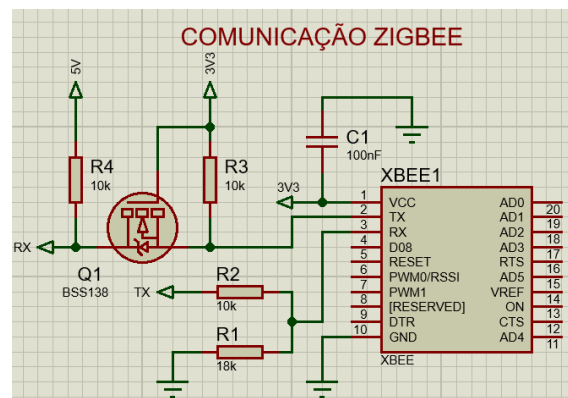


Figura 3.9– Representação no ISIS do circuito de comunicação da PCI utilizando o XBEE.

Os módulos de controle dos motores do circuito são representados no ARES pela Figura 3.10. Os lados esquerdos dos *drivers* representam conexões de alimentação tanto para o terminal dos micromotores quanto para a alimentação do módulo em si, já os lados direitos representam os pinos de controle de direção e velocidade dos quatro motores utilizados na movimentação do robô omnidirecional.

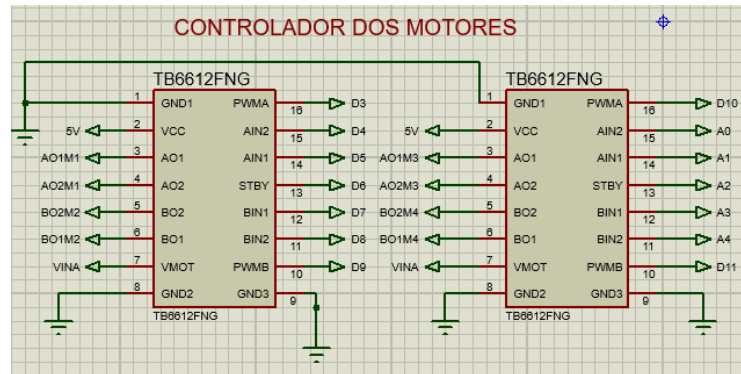


Figura 3.10– Representação no ISIS dos driver para motores contidos na PCI.

O conversor regulador de tensão de alimentação dos motores do circuito é representado no ARES pela Figura 3.11, onde, “VIN1 é a tensão nominal de entrada da bateria” e “VINA é o pino de saída do regulador” que vai alimentar os motores de forma fixa em 6V, independente da tensão entregue pela bateria.

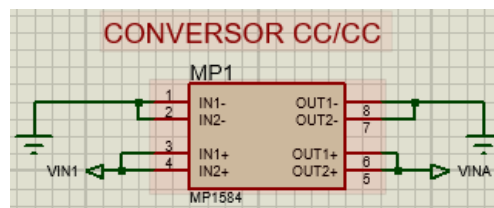


Figura 3.11– Representação no ISIS do regulador de tensão contido na PCI.

As conexões de interface entre os motores e a PCI são representadas no ARES pela Figura 3.12, sendo que cada conector representa um dos quatro motores que são utilizados na movimentação do robô omnidirecional.

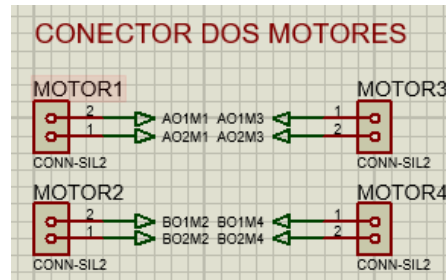


Figura 3.12– Representação no ISIS das conexões que permitiram conectar a PCI aos micromotores.

O projeto de PCI como um todo é representada no ISIS pela Figura 3.13 e, também, pode ser observada com maior riqueza de detalhes no APÊNDICE E.

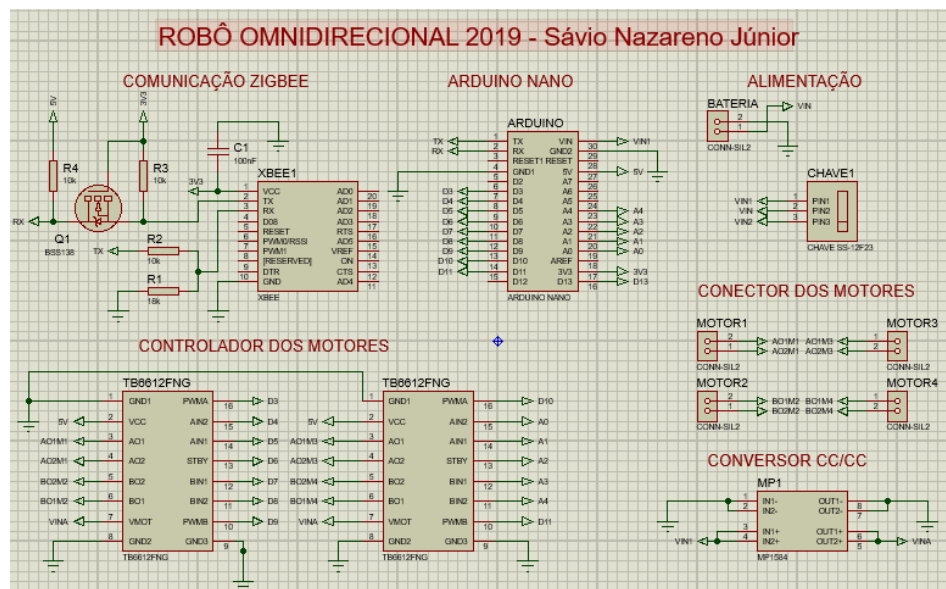


Figura 3.13– Representação no ISIS da PCI desenvolvida.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A proposta do presente trabalho é desenvolver o projeto de um robô omnidirecional capaz de disputar um jogo de futebol que esteja de acordo com as regras propostas pela categoria VSS e esteja apto a vencer partidas na *Latin American Robotic Competition (LARC)* e Competição Brasileira de Robótica (CBR) categoria *IEEE Very Small Size*. Também tem como objetivo ser um projeto que complemente a experiência acadêmica e traga um conceito até então não explorado pela equipe RODETAS ou por quase nenhuma outra equipe que disputa a categoria VSS.

O robô projetado é representado pela Figura 4.1. Este robô é considerado como uma alternativa aos robôs utilizados em anos anteriores para competição, sendo uma nova oportunidade de estudo e testes para as competições que estão por vir.

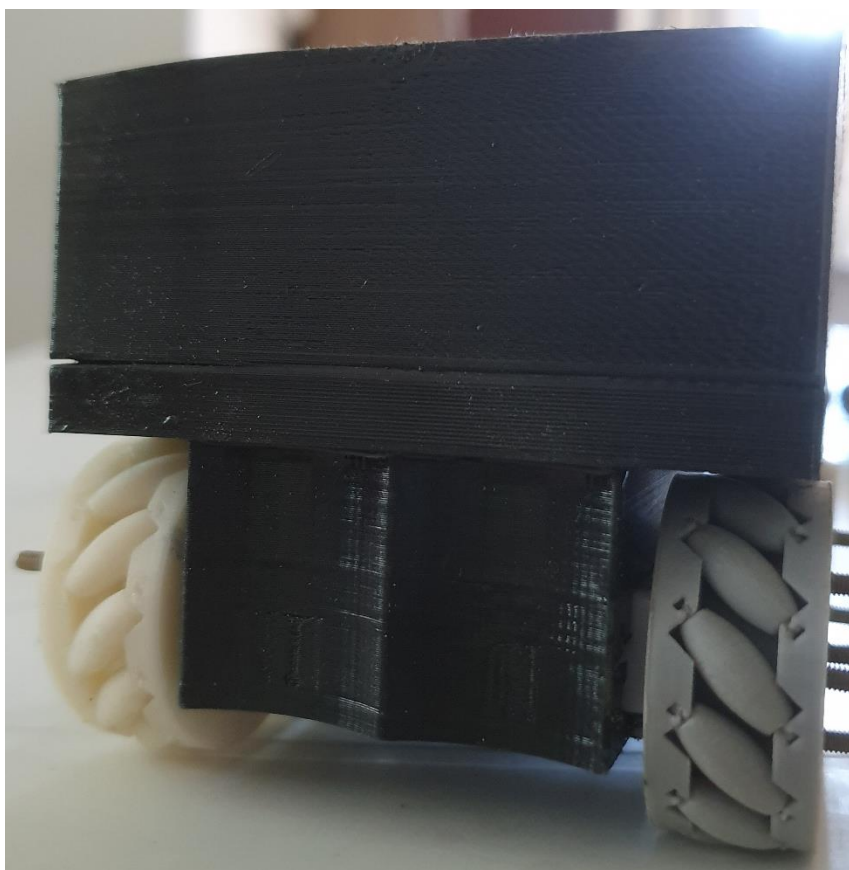


Figura 4.1 – Robô omnidirecional desenvolvido.

Os veículos com rodas omnidirecionais com rodas mecanum apresentam também algumas deficiências. De acordo com (NAGATANI et al., 2000), um veículo com rodas mecanum é

suscetível a escorregamentos e, como resultado, com a mesma quantidade de rotação de rodas, a distância de deslocamento lateral é diferente da distância de deslocamento longitudinal. Outra desvantagem é que o escorregamento das rodas impede que o método de contagem estimada mais popular, usando *encoders* de eixo rotativo (EVERETT, 1995 e BORENSTEIN et al., 1997), seja executado bem em um veículo com rodas mecanum. Para resolver o problema, é sugerido como trabalho futuro o cálculo visual. Essa técnica, que já foi utilizada em outros robôs pela equipe Rodetas também é empregada em mouses ópticos. Ela consiste em utilizar a mesma câmera de vídeo que realiza o processamento de imagem dos robôs, assim, é possível capturar continuamente os quadros do campo em que se encontra o jogador, determinando a velocidade e a direção em que o quadro atual se moveu em relação ao quadro anterior, permitindo assim que a velocidade e a direção desse ponto de referência sejam calculadas.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram abordados os principais aspectos que constituem o projeto de robô omnidirecional para a participação na LARC/CBR. Foi abordado o projeto do *hardware* especificando todos os componentes eletrônicos e o *software* utilizados na sua concepção, o projeto estrutural especificando quais os materiais e *software* utilizados para construir e projetar a estrutura dos robôs. Também foram retratados os principais aspectos e regras que regem as partidas da categoria *IEEE Very Small Size* e a história da equipe Rodetas.

Analisando os resultados obtidos no desenvolvimento dessa estrutura, assim como no projeto otimizado de eletrônica, fica evidente o potencial de estudo desse novo conceito bem como sua latente capacidade para participação em uma futura competição.

A realização desse trabalho proporciona um novo leque de alternativas, motivadas por inúmeras possibilidades de movimentação que esse novo robô apresenta. É possível afirmar que com o projeto foi possível aplicar diversos conceitos vistos durante a graduação, bem como inserir novas possibilidades que servem como objeto de estudo para futuros trabalhos.

Para um trabalho futuro, é sugerido a implementação de um sistema de controle de velocidade que se adapte a esse tipo de roda. Da mesma forma, é sugerido novos estudos e testes nos circuitos eletrônicos, na estrutura e nos componentes, tendo como objetivo a constante pesquisa e desenvolvimento de novas soluções para estar a par das necessidades cada dia mais exigentes da competição VSS.

2 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, W. F. et al. Team Description Paper Equipe Rodetas Robô Clube Universidade Federal de Ouro Preto. 2018.
- ARDUINO®. **Arduino Nano**. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>>. Acesso em: 21 maio. 2019.
- ARDUINO. **Arduino Nano**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>>. Acesso em: 23 jan. 2017.
- BORENSTEIN, J. et al. Mobile robot positioning: Sensors and techniques. **Journal of Robotic Systems**, v. 14, n. 4, p. 231–249, 1 abr. 1997.
- CBROBOTICA. **Categorias – Competição Latino Americana e Brasileira de Robótica 2016**. Disponível em: <http://www.cbrobotica.org/?page_id=2>. Acesso em: 28 maio. 2019.
- DIGI INTERNATIONAL INC. **XBee® / XBee-PRO® RF modules Datasheet**, 2009. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Datasheet.pdf>>. Acesso em: 1 jul. 2019
- DOROFTEI, I.; GROSU, V.; SPINU, V. **Omnidirectional Mobile Robot – Design and Implementation**. Vienna, Austria, EU: [s.n.].
- EVERETT, H. R. **Sensors for Mobile Robots**. [s.l.] A K Peters/CRC Press, 1995.
- IEEE. **Rules for the IEE Very Small Competition**. Disponível em: <http://www.cbrobotica.org/wp-content/uploads/2014/03/VerySmall2008_en.pdf>. Acesso em: 28 maio. 2019.
- INDIVERI, G. Swedish wheeled omnidirectional mobile robots: Kinematics analysis and control. **IEEE Transactions on Robotics**, v. 25, n. 1, p. 164–171, 2009.
- KIM, K.-H. et al. The Development of a Micro Robot System for Robot Soccer Game. **Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation**, v. 1, n. April, p. 626–631, 1997.
- MAYALARP, V. et al. **Wireless mesh networking with XBee**, 2010. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/228621105>>. Acesso em: 24 maio. 2019
- MPS®. **MP1584 Converters**. Disponível em: <<https://www.monolithicpower.com/en/mp1584.html>>. Acesso em: 21 maio. 2019.
- NAGATANI, K. et al. **Improvement of odometry for omnidirectional vehicle using optical flow information**. Proceedings. 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2000) (Cat. No.00CH37113). **Anais...IEEE**, 2000Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/894648/>>. Acesso em: 10 jun. 2019
- PINTO, A. C. V. E. **DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO DE GÁS LP COM ALARME POR SMS**, Monografia de conclusão de curso, Universidade Federal de Ouro Preto,Ouro Preto, 2016.
- PINTO, É. S. et al. Team Description Paper Equipe Rodetas Robô Clube Universidade Federal de Ouro Preto. 2016.
- PINTO, É. S. **DESENVOLVIMENTO DE ROBÔS CAPAZES DE DISPUTAR UMA PARTIDA DE FUTEBOL NA CATEGORIA IEEE VERY SMALL SIZE**. Monografia de conclusão de curso, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

POLOLU ROBOTICS & ELECTRONIC ©. **Pololu - 75:1 Micro Metal Gearmotor HP 6V.** Disponível em: <<https://www.pololu.com/product/2361>>. Acesso em: 28 maio. 2019.

SANTOS, K. O. **O software PROTEUS e sua viabilidade no processo de ensino de circuitos elétricos** Campina Grande, 2014. Disponível em: <http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/8292/1/PDF_Kleiton_Oliveira_Santos.pdf>. Acesso em: 11 maio. 2019

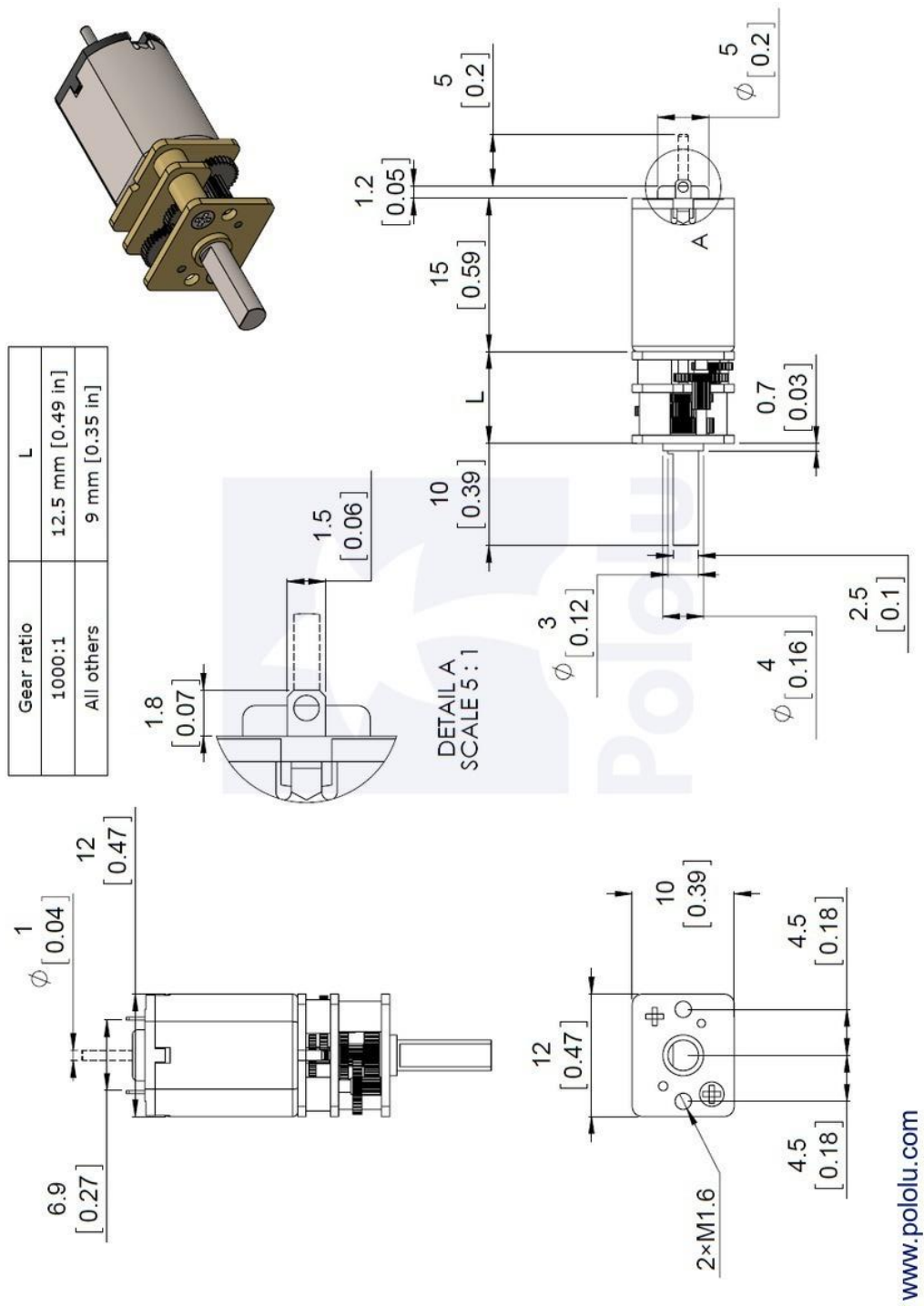
SOLIDWORKS. **Software de projeto CAD 3D.** Disponível em: <<https://www.solidworks.com/pt-br>>. Acesso em: 28 maio. 2019.

TOSHIBA. **Tb6612Fng Driver IC for Dual DC motor Datasheet.** Disponível em: <https://www.pololu.com/file/download/TB6612FNG.pdf?file_id=0J86>. Acesso em: 28 maio. 2019.

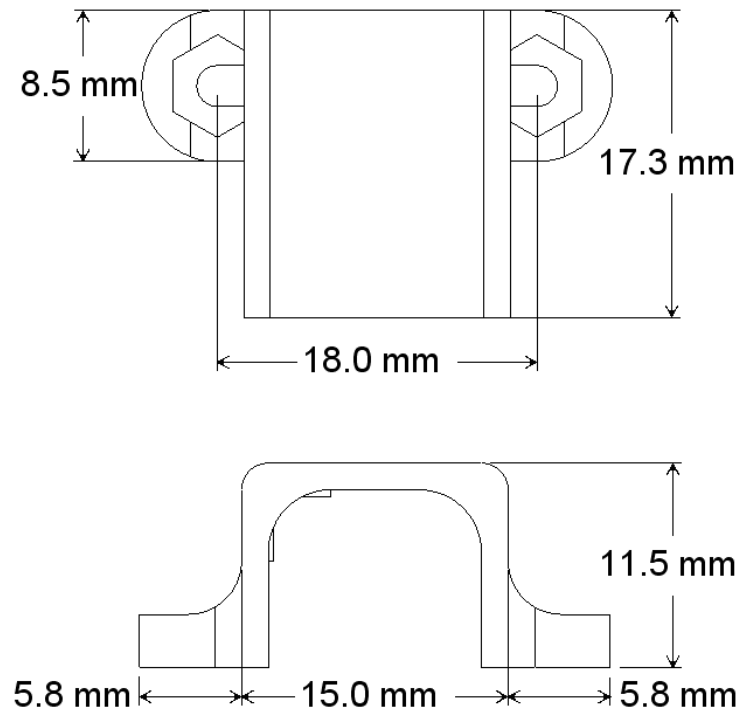
YU, H.; SPENKO, M.; DUBOWSKY, S. **Omni-Directional Mobility Using Active Split Offset Castors,** 2004. Disponível em: <<http://mechanicaldesign.asmedigitalcollection.asme.org/pdfaccess.ashx?url=/data/journals/jmdedb/27792/>>. Acesso em: 28 maio. 2019

ANEXOS

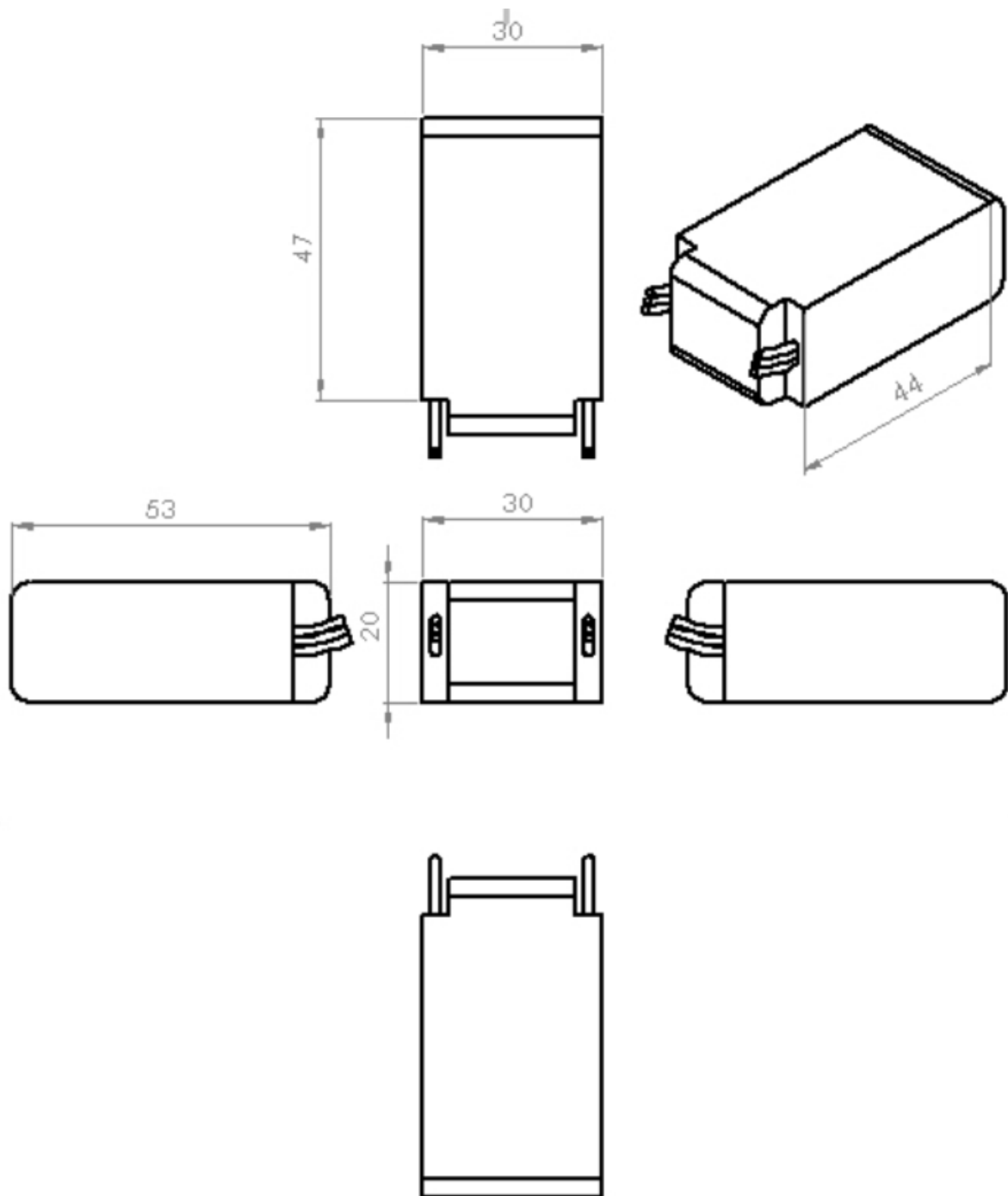
ANEXO A – Dimensões do motor utilizadas na concepção do projeto estrutural dos robôs.



ANEXO B – Dimensões da braçadeira para motores utilizados na concepção do projeto estrutural dos robôs.

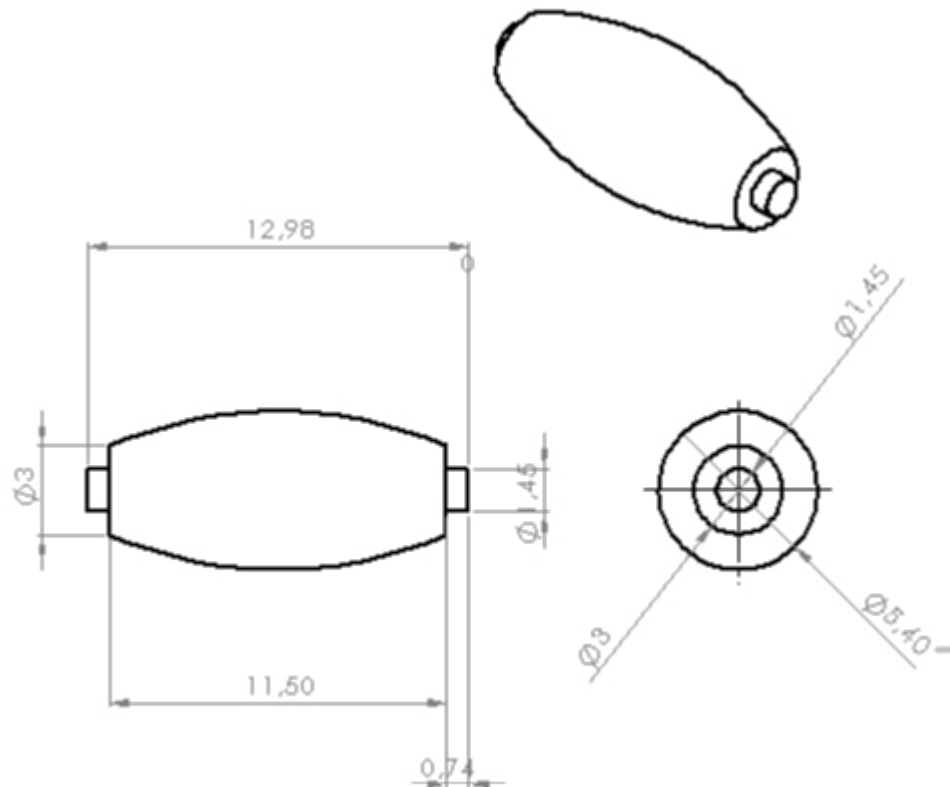


ANEXO C – Dimensões da bateria utilizada no projeto do robô.

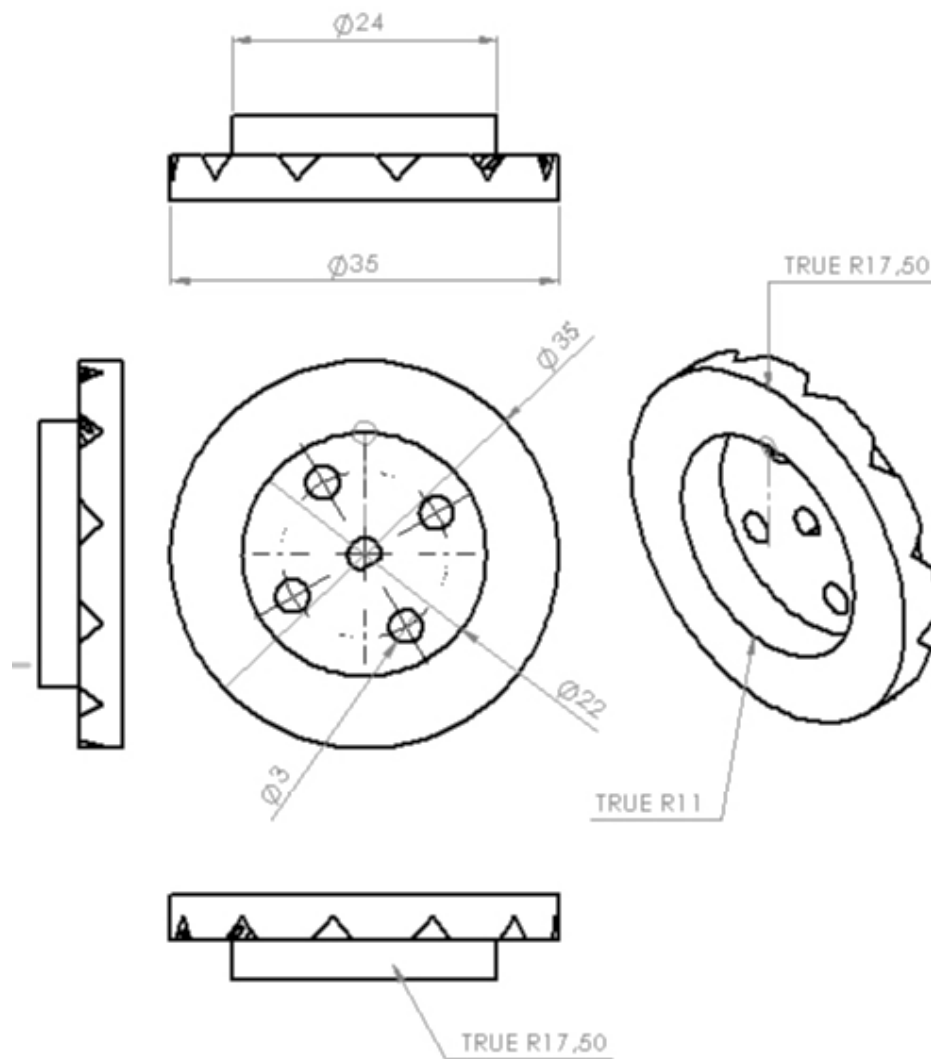


APÊNDICES

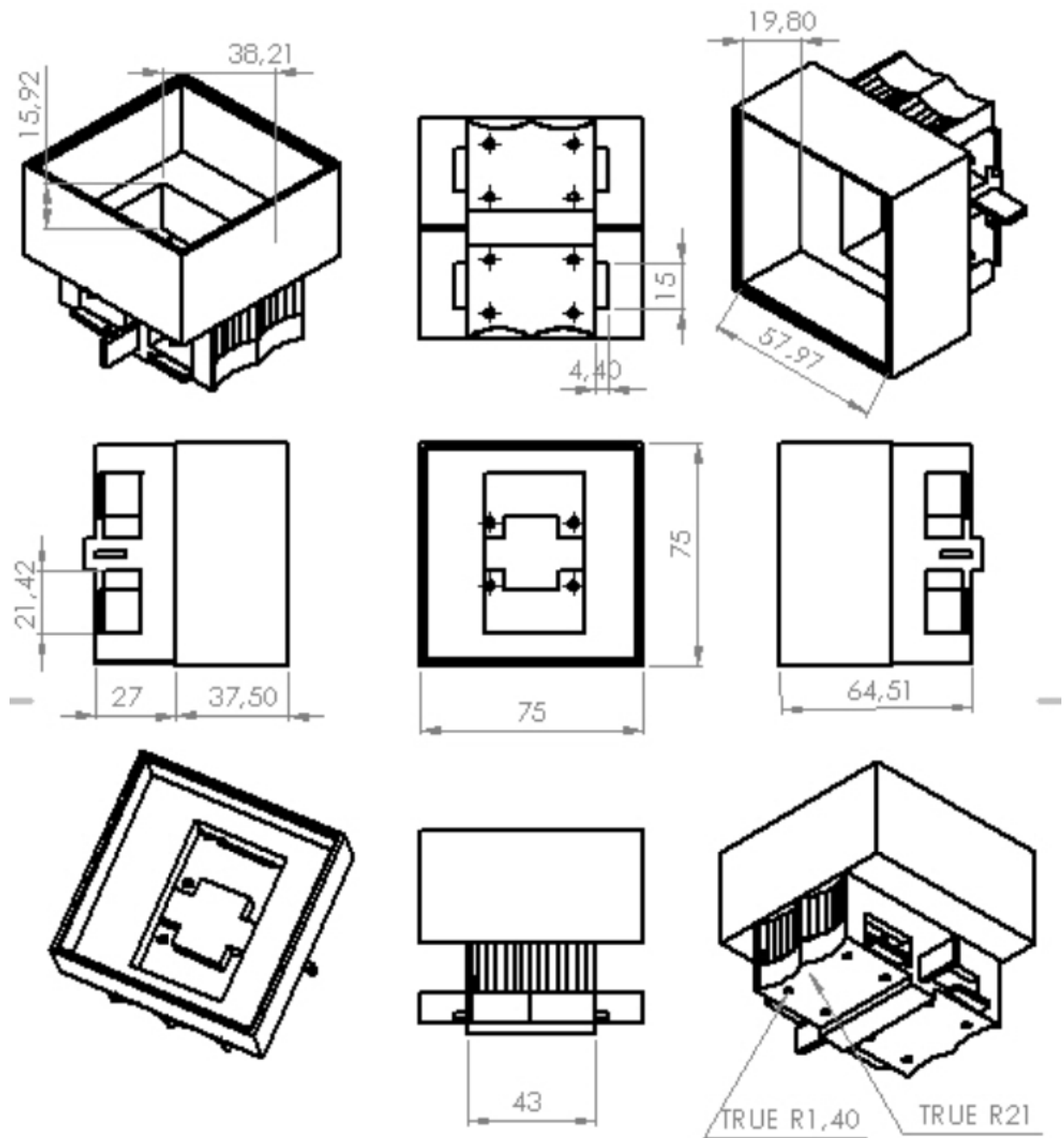
APÊNDICE A – Dimensões dos roletes utilizados na concepção do projeto de roda omnidirecional.



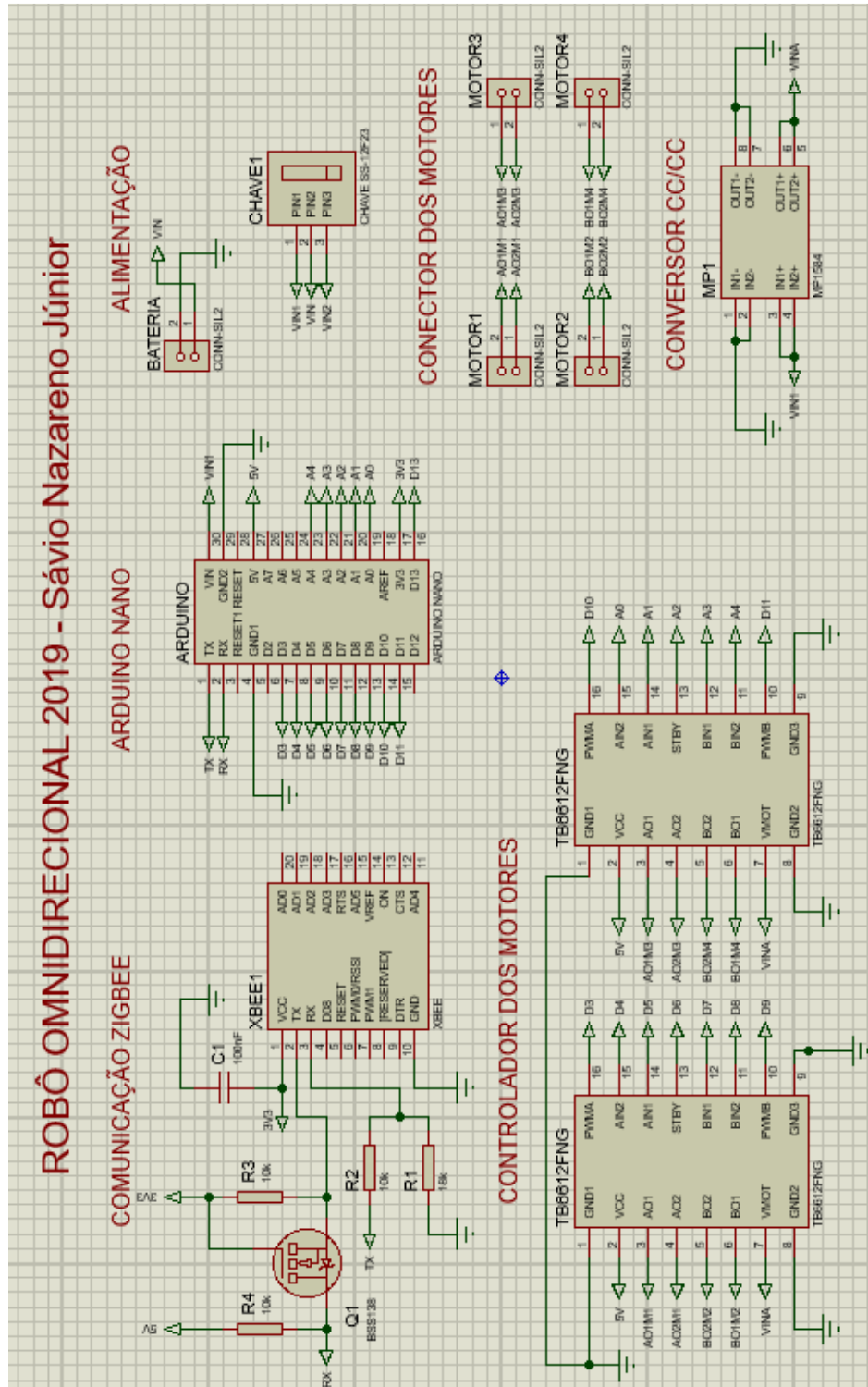
APÊNDICE B – Dimensões da peça principal utilizada na concepção do projeto estrutural de rodas omnidirecionais mecanum.



APÊNDICE C – Dimensões da estrutura utilizada na concepção do projeto de robô omnidirecional.

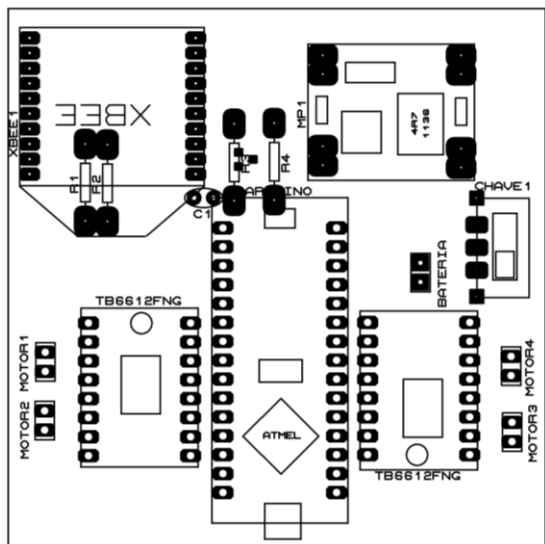


APÊNDICE D – Desenho esquemático da PCI projetada pela equipe Rodetas no ambiente do ISIS do *software* PROTEUS.

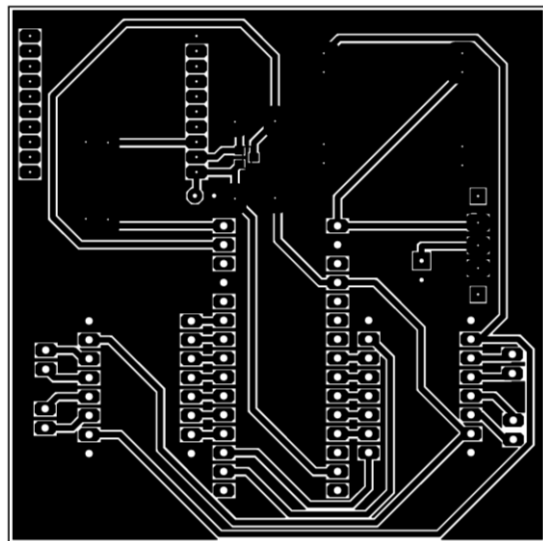


APÊNDICE E – Desenho esquemático da PCI projetada pela equipe Rodetas no ambiente do ARES do *software* PROTEUS.

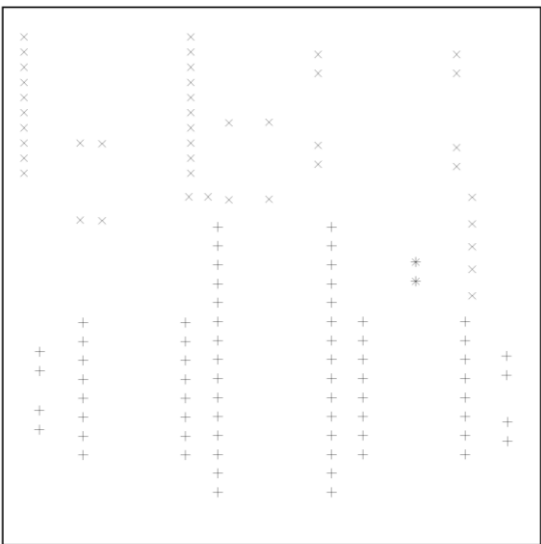
B.1 – Parte superior da placa



B.2 – Parte inferior da placa (trilhas)



B.3 – Parte inferior da placa (furos)



SYM	SIZE	PLATED	QTY
+	1mm	YES	70
x	30th	YES	43
*	40th	YES	2

APÊNDICE F – *Team Description Paper 2014* (TDP).

Rodetas Robô Clube IEEE Very Small Team Description Paper

Leonardo Henrique Pinho¹, Érica Silva Pinto¹, João Paulo Gonçalves Simim¹, João Paulo Ferreira¹, Fernando dos Santos Alves Fernandes¹, Jonathan Alves Melquiades¹, Sávio Nazareno Júnior¹, Beatriz Caroline Pedrosa Rosa¹, Dênia Amélia Vilaça Lima¹, Daniel Augusto Salles Cordeiro¹, Vinícius Augusto Pereira Queiroz¹, Profa. Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri¹

Abstract — This paper presents the Team Description Paper IEEE Very Small developed during 2013-14 by the Rodetas Robotics group from the Universidade Federal de Ouro Preto. This project is a fused of the best features from older projects developed. As novelty, it brings a new acrylic structure with a new robust control system, and an efficient encoding device.

I. INTRODUCTION

This paper describes the current hardware, the software modules which compose the strategy system of the team. The control system is composed of three “robot” agents, plus a controller agent, a vision agent, a referee agent and a communication agent.

The group counts with about 15 members students of Control and Automation Engineering and Computer Science and develops robotics technologies. Applying most of them at the robot soccer, learning and gaining since its beginning 3 years ago the LARC championships, based on the foundation of cooperation, where they divide tasks and can be specialists in certain tasks. Research in robotics usually have to design, build and use multiple simple robots besides design and build a complex robot. Depending on the number of robots used, the cost can also be optimized.

II. MECHANICAL STRUCTURE

The mechanical structure was designed to accommodate the locomotion system, with its two Metallic micro motor 30:1 HP [1] with extended spindle, wheels in 30mm diameter and omnidirectional spheres, with two bevels near its axis to carry the ball and dribble.

The upper part houses the three electronic boards and battery below. Besides that, it contains ducts for wiring and the robot mechanical frame is also designed to be practical.

For instance, for easy assembling and disassembling of the electronic boards, was made so that it can be opened briefly during a game.

Resulting in a robot with 75 mm and a cap with 80mm, all mechanical structure is made of acrylic was designed by the group members, targeting a robust, yet light, robot.

More details on the mechanical design can be found on Rodetas Robô Clube 2013 Team Description Paper.

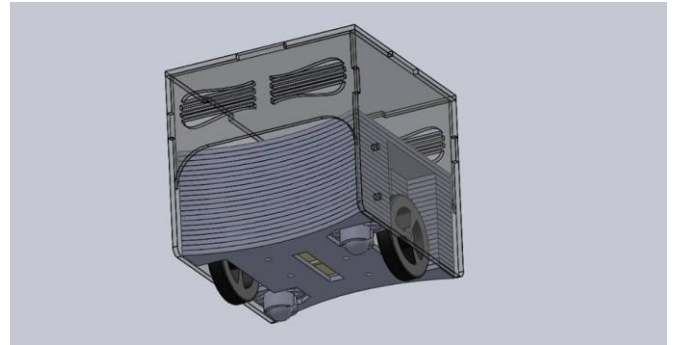


Figure 1 Soccer Robot Model Structure (developed by Rodetas)

III. ELETRONIC DEVICES AND DESIGN

In order to fulfil the essential requirements of a robot soccer, the team shared the electronic scheme in three parts: Arduino Nano, Motor Controller Part and Communication Part. The camera in a real game, receives the images from the field and sends the data positions and IDs of the robots and the ball) to the software. The task is find out the real position of the players and the ball, given it is approximated information by the camera, receive the actions of the AI, simulating the results and sending them to the software, this actions are send to the robots, relaying feedback from the robots (speed in PWM) to the software. More details on the mechanical design can be found on Rodetas Robô Clube 2013 Team Description Paper.

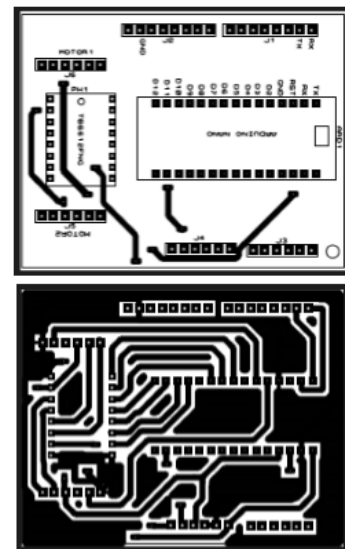


Figure 2 Main electronic board easy handling (developed by Rodetas)

¹. Universidade Federal de Ouro Preto- UFOP
Rua Diogo de Vasconcelos, 122 – Centro
Ouro Preto – MG – CEP 35400-000
E-mail: rodetas.ufop@gmail.com
Departamento de Controle e Automação

A. Arduino Nano [2]

The Arduino Nano is a small, complete, and breadboard-friendly board based on the ATmega328 [3].

We chose to use the ATmega328 due to experiences in past competitions, IC A. Nano® fills all the needs of the team and has a smaller size than the other IC's used.

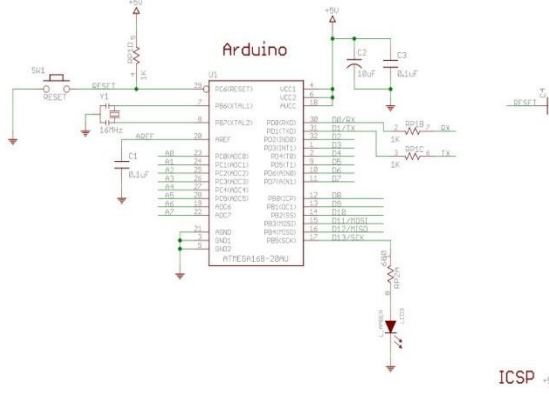


Figure 3 Arduino Nano 3.0 (ATmega328): schematic [3]

The platform involved has allowed us to refine some tools used without presenting undesirable effects. Using the Arduino PID library we can calculate an error value as the difference between the measured input value and the desired set point, the IC has RX /TX entries that are linked with the Zigbee shield board® and are the connection route of the speed values and control commands from the system (UART TTL (5V) serial communication) .

B. Motor Controller Part

Both wheels of the robot are released by two metal Micromotors 30:1 HP with extended spindle 3-9 Volts and 120 mA. Each motor is controlled for CI driver TB6612FNG [4].

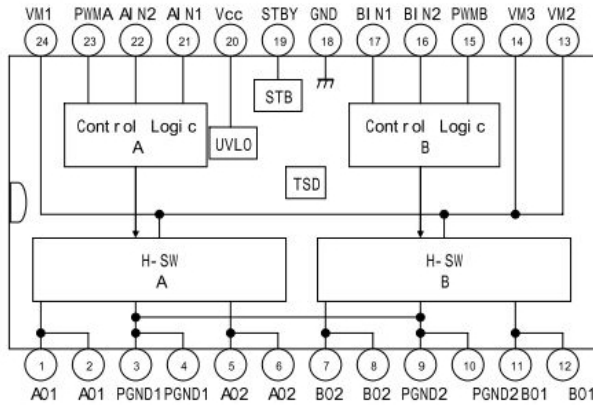


Figure 4 TB6612FNG Block Diagram [4]

As can be seen in Figure 2, the main circuit board carries all the connections between separately parts of the design, permitting the handling and eventual maintenance. The tiny motor controller board (use the Toshiba's TB6612FNG dual motor driver) is a MOSFET-based H-bridges which are much more efficient than the BJT-based H-bridges used in older versions such as the L298N.

C. Communication Part

The communication used on the board is a ZigBee® mode transceiver operating at 50 mA in 3.3Volts and has a maximum data rate of 250kbps. The board used, XBee Shield, allows an IC with ATMEGA328 communicate using Zigbee (Xbee Max Stream) [5] module through a serial (TX / RX) interface.

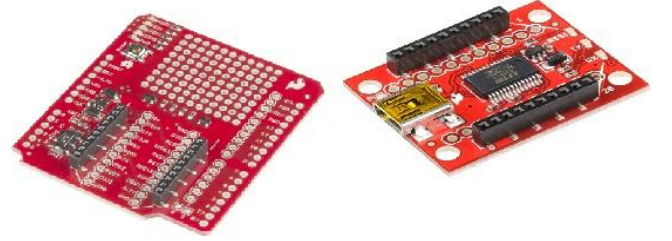


Figure 5 XBee Shield - WRL-12847 & Xbee Explorer USB [5]

IV. MOTION CONTROL

The block diagram of speed control is illustrated in the figure (6). The controller calculates PWM command by comparing the speed reference and measurement from sensor such as tachometer or encoder. The optical encoder used to fit on the motors was two boards available in an operation at 5.0 V.

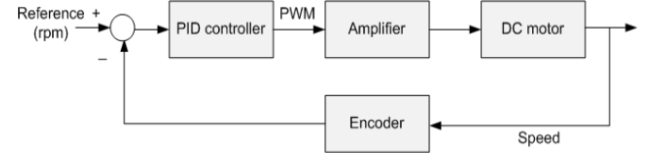


Figure 6 Block diagram of speed control of DC motor [6]

The frequency of the output waveform is given by,

$$f_{out} = N \times Rpm / 60 \quad [6]$$

where f_{out} is frequency out, N is number of slot disc and Rpm is routs per minutes

For PID controller algorithm, the program subtracts the speed from the setting speed and this result in the error value. The current controller output can be evaluated by feeding the error signal to the following discrete PID equation

$$u_n = K_p e_n + K_i \sum_{i=0}^n e_i \Delta T + K_d \left(\frac{e_n - e_{n-1}}{\Delta T} \right) \quad [6]$$

where K_p , K_i and K_d are the proportional, integral, and derivative gains, respectively, e_i and e_{i-1} are the current and recent error values, and Δt is sampling time. The amplitude and sign of u_n imply the speed and the direction, respectively.

To eliminate summation term, velocity algorithm is introduced which is the incremental form of the PID. The controller output u_n is obtained by computing time differences of controller output and adding the increments.

$$u_n = K_p(e_n - e_{n-1}) + K_i e_n \Delta T + \frac{K_d(e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2})}{\Delta T} + u_n \quad [6]$$

In order to make a precise PID algorithm and to understand the Arduino PID library, it needs to be evaluated at a regular interval, have clean initialization without undesirable bumps and the ability to change tuning parameters while the system is running.

The strategy module sends, via Zigbee, the distance and direction, the amount of rotation and the speed desired. The translation vector is given in polar coordinates, where d is the direction of the movement, relative to the robot's front, and r is the distance to be traveled. The rotation Θ represents the angle the robot must turn on its center, also in relation to the robot's front, once the robot receives this information it uses the force and velocity to resolve the robot's movement into wheel movement.

V. COMPUTER SYSTEM

The interface (Fig. 7) allows us to visualize the current state of the game, embodying its view of the game and the decisions taken, thus facilitating testing and error detection. It have a simulation label enabling the improvement of the team and the identification of mistakes made and passed unnoticed. Furthermore, it allows you to modify the behavior of the team, for example by setting a fixed state, to facilitate testing of new or recently modified parts.

This software has been iteratively developed in the past 3 years, from its first core system to additional features being added. The programming language used is ActionScript 3.0 from Adobe Flash®.

The interface allows us to control the basic states of action of the robots, when they are in the normal game, free kick, penalty, kick situation, fouls and free ball. The processing is refixed before each match easily to avoid problems with the brightness of the field due to external effects. The program also contains a display to receive the updated PWM robots, has a simulated field made for refine and get the position of the robots and the ball allowing a trajectory with fewer errors.



Figure 7 Rodetas 2014 Software (developed by Rodetas)

VI. COMPUTER STRATEGY

The strategy set by the Rodetas team consists taking two robots on the field as striking players and another one as the goalkeeper, which is not allowed to leave the goal area.

Thus, with the angular position already defined, a logic is applied to define which robot will move towards the ball from the distance and positioning, and which trajectory shall be followed to avoid collision with other robot player on the field. As for the goalkeeper, it will always be positioned exactly between the ball position and the goal centre following an imaginary line parallel to the goal, allowed to move accordingly to the estimative of where the ball will hit the goal from the last 5 ball positions received.

VII. IMAGE PROCESSING

The image processing is carried from the video capture made by a WebCam (Microsoft Lifecam 5000) placed over the playing field.. The software developed performs an image processing through a pixel to pixel sweep, performed ten times per second, finding all the colour points that were pre-defined as team colours, robots and the ball. After that, an algorithm is applied to identify each robot through a logic that crates vectors with the colour points by proximity defining the final position and the angle of all the robots on the field.

VIII. ROBOT SOFTWARE SYSTEM

The robot embedded programming (Fig. 8) is developed through the Arduino IDE, which is based on the “C” programming language. On this platform was developed an algorithm that receives the information sent by the central computational processing. Each robot has a unique algorithm that identifies itself through a prefix on the message sent – “{A4040}”, “(A4040)”, “[A4040]” – by the central computer and from this information it performs the PID control.



Figure 8 Arduino IDE (algorithm by Rodetas)

IX. CONCLUSION

The new techniques applied by Rodetas staff category in IEEE Very Small Size allowed a more robust path control, increased the speed of the gameplay, dropped possible team collisions and the response time during the action states.

Was necessary to optimize the physical space without affecting the functionality, the proposals in this team paper represent the stages of development which will provide future works generating more accessibility to the academic community.

From this point of view the group comes from the middle of 2011 improving the knowledge robotics development of prototypes with methods of analysis and decision-making more sophisticated as computer vision in embedded IC's (integrated circuits) microprocessor.

OTHER APLICATIONS

We developed the new project based on research in the area and the experiences the team had during the other occurred international competitions in order to initiate further studies applied to the control tools and techniques and means of encouraging approach between universities our center of research began in early 2014 the F180 category requisites.

ACKNOWLEDGMENT

We thank the professor Dr. Karla Boaventura Pimenta Palmieri, for all the effort and dedication with the team and also the space provided in her lab, the Fundação Gorceix and the Universidade Federal de Ouro Preto for all the financial support given to the project.

REFERENCES

- [1] Micro Metal Gearmotor HP with Extended Motor Shaft. Available in: <<http://www.pololu.com/product/2212>>
- [2] ARDUINO, Nano. Available in: <<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardNano>> ,
- [3] ATMEL CORPORATION , Datasheet ATMEGA328 , 2009 . Available in: <<http://www.atmel.com/Images/doc8161.pdf>> ,
- [4] TOSHIBA BI-CD , Datasheet TB6612FNG , 2008. Available in: <<http://www.pololu.com/file/0J86/TB6612FNG.pdf>> ,
- [5] MESSIAS, Antonio Rogerio. Controle remoto e aquisição de dados via XBee/ZigBee. Available in: <http://www.rogercom.com/ZigBee/ZigBee.htm>
- [6] SILAWATCHANANAI, Chaiyaporn ; DAILEY , Matthew N. Speed Control Tutorial. Asian Institute of Technology , 2013 .

APÊNDICE G – *Team Description Paper 2015* (TDP).

Rodetas Robô Clube IEEE Very Small Team Description Paper

Alexandre Magno de S. Thiago Filho¹, Arthur Caio Vargas e Pinto¹, Érica Silva Pinto¹, Fernando dos Santos Alves Fernandes¹, Gradimilo Candido¹, Hugo Vinícius dos Santos¹, Jéssica Ferreira Soares¹, João Paulo Ferreira¹, Leonardo Henrique Pinho¹, Leonardo Lourenço Vieira¹, Pablo Henrique Gonçalves¹, Rafael Gustavo Alves¹, Sávio Nazareno Júnior¹, Sávio Palmieri¹, Profa. Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri¹

Abstract - This paper presents the Team Description Paper IEEE Very Small developed during 2014-15 by the Rodetas Robotics group from the Universidade Federal de Ouro Preto. This project is a fused of the best features from older projects developed. As novelty, it brings a new acrylic structure with a new robust control system, and an efficient encoding device.

I. INTRODUCTION

This paper describes the current hardware, the software modules which compose the strategy system of the team. The control system is composed of three “robot” agents, plus a controller agent, a vision agent, a referee agent and a communication agent.

The group counts with about 15 members students of Control and Automation Engineering and Computer Science and develops robotics technologies. Applying most of them at the robot soccer, learning and gaining since its beginning 3 years ago the LARC championships, based on the foundation of cooperation, where they divide tasks and can be specialists in certain tasks. Research in robotics usually have to design, build and use multiple simple robots besides design and build a complex robot. Depending on the number of robots used, the cost can also be optimized.

II. MECHANICAL STRUTUCTURE

The mechanical structure was designed to accommodate the locomotion system, with its two Metallic micro motor 75:1 HP [1] with extended spindle, wheels in 30mm diameter and omnidirectional spheres, with two bevels near its axis to carry the ball and dribble.

The upper part houses the three electronic boards and battery below. Besides that, it contains ducts for wiring and the robot mechanical frame is also designed to be practical.

For instance, for easy assembling and disassembling of the electronic boards, was made so that it can be opened briefly during a game.

Resulting in a robot with 75 mm and a cap with 80mm, the entire mechanical structure is made of acrylic and was designed by the group members, targeting a robust, yet light, robot. The virtual sketch of the robot can be seen on Fig. 1.

More details on the mechanical design can be found on Rodetas Robô Clube 2013 Team Description Paper.

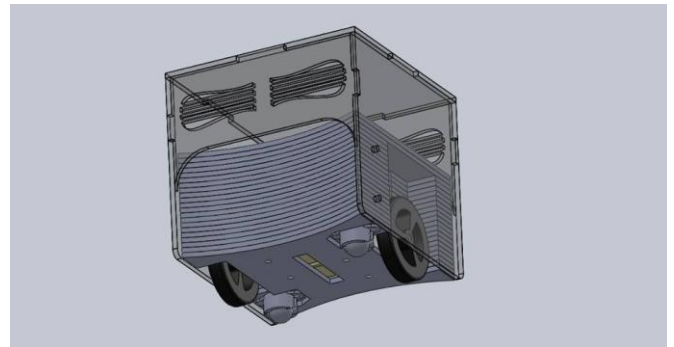


Fig. 1 Soccer Robot Model Structure (developed by Rodetas)

III. ELETRONIC DEVICES AND DESIGN

In order to achieve the essential requirements of a soccer player robot, the team shared the electronic scheme in three parts: Arduino Nano, Motor Controller Part and Communication Part. The camera in a real game, receives the images from the field and sends the data positions and IDs of the robots and the ball) to the software. The task is to find out the real position of the players and the ball, given it is approximated information by the camera, receive the actions of the AI, simulating the results and sending them to the software, this actions are sent to the robots, relaying feedback from the robots (speed in PWM) to the software. More details on the mechanical design can be found on Rodetas Robô Clube 2013 Team Description Paper.

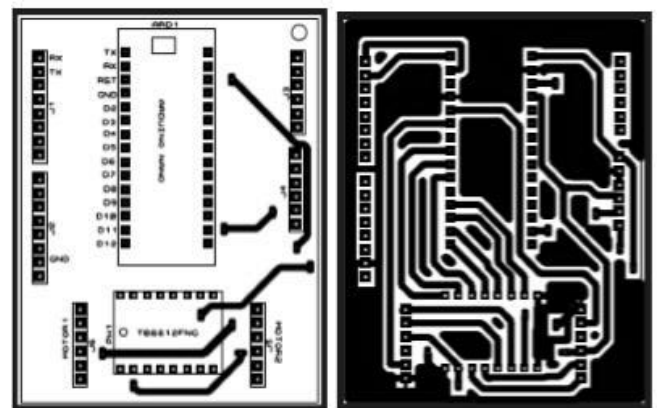


Fig. 2 Main electronic board easy handling (developed by Rodetas)

¹ Universidade Federal de Ouro Preto- UFOP

Rua Diogo de Vasconcelos 122, Centro. Ouro Preto/MG, CEP 35400-000

Departamento de Engenharia de Controle e Automação- DECAT

E-mail: rodetas.ufop@gmail.com

A. Arduino Nano

The Arduino Nano is a small, complete, and breadboard-friendly board based on the ATmega328, as can be seen in Fig. 3.

We chose to use the ATmega328 due to experiences in past competitions, IC A. Nano® fills all the needs of the team and has a smaller size than the other IC's used.

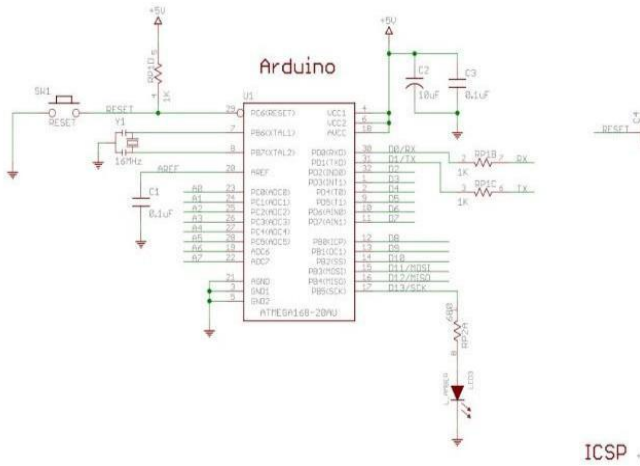


Fig. 3 Arduino Nano 3.0 (ATmega328): schematic [3]

The platform involved has allowed us to refine some tools used without presenting undesirable effects. Using the Arduino PID library we can calculate an error value as the difference between the measured input value and the desired set point, the IC has RX /TX entries that are linked with the Zigbee shield board® and are the connection route of the speed values and control commands from the system (UART TTL (5V) serial communication).

B. Motor Controller Part

Both wheels of the robot are released by two metal Micromotors 75:1 HP with extended spindle 3-9 Volts and 120 mA. Each motor is controlled by CI driver TB6612FNG, shown in Fig. 4.



Fig 4 CI driver TB6612FNG

As can be seen in Fig. 2, the main circuit board carries all the connections between separately parts of the design, permitting the handling and eventual maintenance. The tiny motor controller board (use the Toshiba's TB6612FNG dual motor driver) is a MOSFET-based H-bridges which are much

more efficient than the BJT-based H-bridges used in older versions such as the L298N.

C. Encoder Part

To make the speed control of the motors was used the optical encoder from Pololu micromotors. According to (Pololu, Robotics & Electronics), the output of the encoder board is a direct reading of the signs of phototransistors, so it is necessary between the sensor and the digital processing system some signal conditioning. The reflective wheel of three teeth provides a 12 count per revolution of the motor shaft, this value is used to further control the speed of the robots. Fig. 5 represents the encoder and wiring diagram described.



Fig. 5 Optical Encoder Pololu

D. Communication Part

The communication used on the board is a ZigBee® mode transceiver operating at 50 mA in 3.3Volts and has a maximum data rate of 250kbps. The board used, XBee Shield, shown in Fig. 6, allows an IC with ATMEGA328 to communicate using Zigbee (Xbee Max Stream) module through a serial (TX / RX).

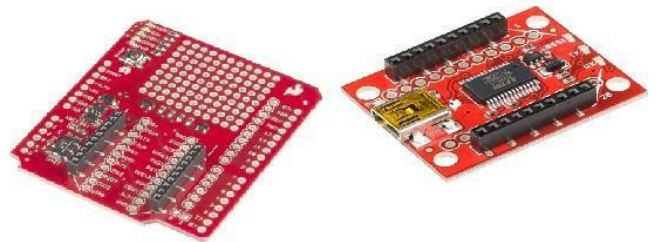


Fig. 6 XBee Shield - WRL-12847 & Xbee ExplorerUSB

IV. MOTION CONTROL

According to Silawatchananai [6], the controller calculates PWM command by comparing the speed reference and measurement from sensor such as tachometer or encoder. The optical encoder used to fit on the motors was two boards available in an operation at 5V. The block diagram of speed control is illustrated in the Fig. 7.

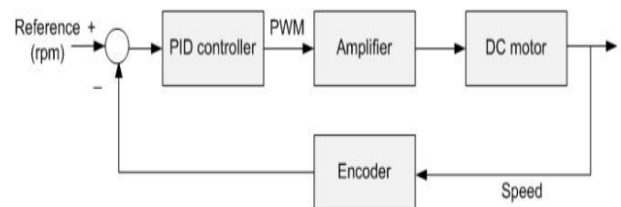


Fig. 7 Block diagram of speed control of DC motor

Also, the frequency of the output waveform is given by,
 $f_{out} = N \times Rpm / 60$ [6]

Where: f_{out} is frequency out, N is number of slot disc and Rpm is routs per minutes.

For PID controller algorithm, the program subtracts the speed from the setting speed and this result in the error value. The current controller output can be evaluated by feeding the error signal to the following discrete PID equation:

$$u_n = K_p e_n + K_i \sum_{i=0}^n e_i \Delta T + K_d \left(\frac{e_n - e_{n-1}}{\Delta T} \right)$$

Where K_p , K_i and K_d are the proportional, integral, and derivative gains, respectively, e_i and e_{i-1} are the current and recent error values, and ΔT is sampling time. The amplitude and sign of u_n imply the speed and the direction, respectively.

To eliminate summation term, velocity algorithm is introduced which is the incremental form of the PID. The controller output u_n is obtained by computing time differences of controller output and adding the increments.

$$u_n = K_p(e_n - e_{n-1}) + K_i e_n \Delta T + \frac{K_d(e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2})}{\Delta T} + u_{n-1}$$

In order to make a precise PID algorithm and to understand the Arduino PID library, it needs to be evaluated at a regular interval, have clean initialization without undesirable bumps and the ability to change tuning parameters while the system is running.

The strategy module sends, via Zigbee, the distance and direction, the amount of rotation and the speed desired. The translation vector is given in polar coordinates, where d is the direction of the movement, relative to the robot's front, and r is the distance to be traveled. The rotation Θ represents the angle the robot must turn on its center, also in relation to the robot's front, once the robot receives this information it uses the force and velocity to resolve the robot's movement into wheel movement. This whole process contributes to a more robust path control, since the speed achieved by the PID control is the optimal one for the situation in which the robot is, allowing it to be more precise in its moviments.

V. COMPUTER SYSTEM

The interface (Fig. 8) allows us to visualize the current state of the game, embodying it's view of the game and the decisions taken, thus facilitating testing and error detection. It have a simulation label enabling the improvement of the team and the identification of mistakes made and passed unnoticed. Furthermore, it allows you to modify the behavior of the team, for example by setting a fixed state, to facilitate testing of new or recently modified parts.

This software has been iteratively developed in the last year, from it's first core system to additional features being

added. The programming language used is C++ with library OpenCV (Open Source Computer Vision Library) [8].

The interface allows us to control the basic states of action of the robots, when they are in the normal game, free kick, penalty, kick situation, fouls and free ball. The processing is rethought before each match easily to avoid problems with the brightness of the field due to external effects. The program also contains a display to receive the updated PWM robots, has a simulated field made for refine and get the position of the robots and the ball allowing a trajectory with fewer errors.

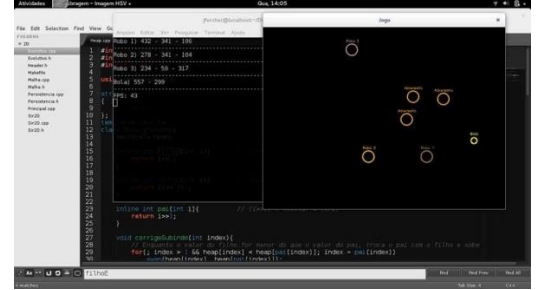


Fig. 8 Rodetas 2015 Software (developed by Rodetas)

VI. COMPUTER STRATEGY

The strategy set by the Rodetas team consists taking two robots on the field by striking players and another one as the goalkeeper, which is not allowed to leave the goal area. Thus, with the angular position already defined, a logic is applied to define which robot will move towards the ball from the distance and positioning, and which trajectory shall be followed to avoid collision with other robot player on the field. As for the goalkeeper, it will always be positioned exactly between the ball position and the goal centre following an imaginary line parallel to the goal, allowed to move accordingly to the estimative of where the ball will hit the goal from the last 5 ball positions received.

VII. IMAGE PROCESSING

The image processing is carried from the video capture made by a WebCam (Microsoft Lifecam 5000) placed over the playing field. The software was developed using the OpenCV (Open Source Computer Vision Library) which is a multi-platform open source library for development projects related to computer vision and machine learning software, built to provide a common infrastructure for applications of this type. This processing is done through opencv functions that identify patterns of colors defined as team colors, robots and ball, which are converted to outlines with positions in the Cartesian plane. After that, an algorithm is applied to identify each robot through a logic that is the distance between the colors found by setting the final position and angle of the robot in the field.

VIII. ROBOT SOFTWARE SYSTEM

The robot embedded programming (Fig. 9) is developed through the Arduino IDE, which is based on the "C" programming language. On this platform was developed an algorithm that receives the information sent by the central computational processing. Each robot has a unique algorithm that identifies itself through a prefix on the message sent – "{A4040}" – "[A4040]" – by the central computer and from this information it performs the PID control.

APÊNDICE H – *Team Description Paper 2016* (TDP).

Team Description Paper Equipe Rodetas Robô Clube

Universidade Federal de Ouro Preto

Érica Silva Pinto¹, Rafael Gustavo Alves¹, Sávio Nazareno Júnior¹, Alexandre Magno de S. Thiago Filho¹, Arthur Caio Vargas e Pinto¹, Hugo Vinícius dos Santos¹, João Paulo Ferreira¹, Manoel Victor Stilpen Moreira de Sá¹, Wagner Ferreira Andrade¹, Profa. Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri¹

Abstract— This paper presents the Team Description Paper developed during 2016 by Rodetas team from Federal University of Ouro Preto. The robots were built to compete in IEEE Very Small Size category and include the best features from older projects. As innovation, it brings a new acrylic structure, a fresh hardware design and a completely new velocity control system.

I. INTRODUÇÃO

Construir robôs capazes de disputar uma partida de futebol, de tomar decisões em tempo real e que possuam inteligência artificial é uma área de pesquisa multidisciplinar que combina percepção, tomada de decisões de forma dinâmica e comunicação entre o sistema dos robôs e um subsistema de controle de movimento [1].

Um jogo de futebol de robôs é uma complexa aplicação que envolve processamento de imagem em tempo real, controle dos robôs, comunicação sem fio e gerenciamento de vários robôs [2], além da construção de um projeto eletrônico bom o suficiente para desempenhar todos os comandos com rapidez e precisão.

A categoria IEEE Very Small Size consiste na construção de robôs autônomos capazes de disputar uma partida de futebol controlados remotamente por um computador ou usando um processamento embarcado. De acordo com as regras dois times de três robôs cada disputam o jogo. É permitido a cada robô ter no máximo 75x75x75mm de tamanho [3].

Neste trabalho serão abordadas as principais melhorias desenvolvidas pelos membros da equipe de futebol de robôs Rodetas Robô Clube para a participação na Competição Latino Americana e Brasileira de Robótica de 2016 como: nova estrutura dos robôs; nova PCI (Placa de Circuito Impresso); reestruturação do sistema de controle de velocidade; aperfeiçoamento no processamento de imagem; implementação de novas estratégias de jogo e desenvolvimento de uma interface mais dinâmica ao usuário durante as partidas.

II. ESTRUTURA DO ROBÔ

A nova estrutura foi desenvolvida para acomodar o sistema de locomoção, alimentação e controle do robô de forma resistente, compacta e robusta.

Os robôs da Equipe Rodetas podem ser divididos em dois blocos. A parte superior abriga a PCI fixada através de parafusos em cada um de seus vértices e, ainda, um chapéu, que visa a proteção dos componentes eletrônicos durante a

partida, fixado à estrutura através de ímãs de neodímio. Já a parte inferior abriga uma bateria de Li-Po recarregável de 7,4V e 1000mAh, dois micromotores HP 75:1 da fabricante Pololu e dois chanfros modelados de formas distintas, podendo ser utilizados tanto para chute, quanto condução da bola.

Toda a estrutura foi fabricada em chapas de diferentes espessuras de acrílico sendo que cada camada foi projetada independentemente. Na Figura 1 é apresentado o projeto final desenvolvido pelos membros da equipe Rodetas no software Solid Works® e executado por empresa especializada.

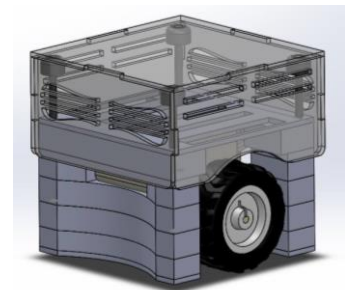


Figura 1. Estrutura do Robô da Equipe Rodetas

III. HARDWARE

O Hardware projetado para executar todas as tarefas e estratégias desenvolvidas pelos membros da equipe Rodetas e os componentes eletrônicos que integram os robôs podem ser visualizados nos tópicos a seguir:

A. Dispositivos eletrônicos

- Arduino Nano

O Arduino Nano é um sistema embarcado de baixo custo, fácil manuseio e programação baseado no microcontrolador de alta performance ATmega328 [4]. Na Figura 2 é apresentado o Arduino Nano, que é utilizado pela equipe Rodetas como “cérebro” dos robôs e recebe todo o algoritmo que possibilita o controle da velocidade e movimentação dos mesmos.



Figura 2 Arduino Nano

¹ Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP
Rua Diogo de Vasconcelos 122, Centro. Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Departamento de Engenharia de Controle e Automação – DECAT
E-mail: rodetas.ufop@gmail.com

- TB6612FNG

O TB6612FNG é um driver que possibilita o controle da direção de até dois motores fazendo a interface entre os motores e o microcontrolador [5]. De acordo com a fabricante os MOSFET com base em ponte H são muito mais eficientes que os BJT usados em outros drivers como o L298N possibilitando a entrega de mais corrente para os motores e menos corrente a ser drenada da fonte de alimentação [6]. Na Figura 3 é apresentado o driver utilizado pela equipe Rodetas.

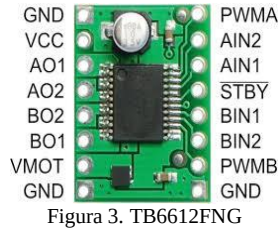


Figura 3. TB6612FNG

- Encoder Pololu para rodas 42x19mm:

O Encoder de quadratura Pololu é utilizado especificamente para as rodas Pololu de 42x19mm como mostra a Figura 4. Através de dois sensores infravermelhos reflexivos é possível medir a velocidade e sentido de rotação do motor. A roda possui 12 dentes, assim o sistema realiza 48 contagens por revolução correspondendo a uma resolução linear de aproximadamente 3mm [7].



Figura 4. Encoder Pololu para rodas 42x19mm

- Xbee:

O Xbee é um módulo de rádio frequência que possibilita uma comunicação sem fio entre o computador e os robôs. Ele é responsável por receber as informações e transmiti-las para o Arduino através de um sinal digital. Esse sinal é processado posteriormente pelo microcontrolador e resulta na execução das estratégias pré-programadas pela equipe. Na Figura 5 é apresentado o módulo Xbee.



Figura 5. Xbee

B. PCI (Placa de Circuito Impresso)

A PCI desenvolvida pelos integrantes da equipe Rodetas procura integrar todos os componentes eletrônicos necessários ao funcionamento do robô em uma única placa de forma otimizada e compacta. Na Figura 6 é apresentado o layout final da placa desenvolvida pela equipe.

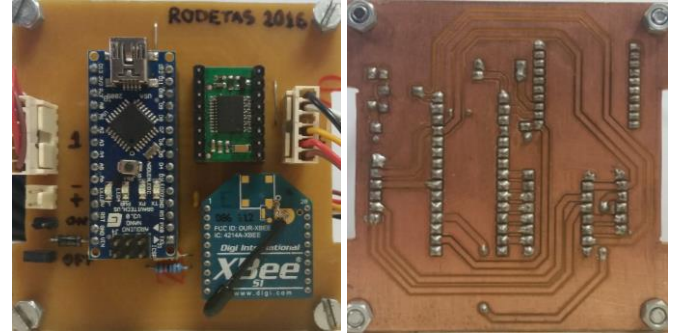


Figura 6. Layout final da PCI frente e verso.

IV. CONTROLE DE VELOCIDADE

A. Controlador PID

A popularidade dos controladores PID pode ser atribuída parcialmente ao seu desempenho robusto sobre grande faixa de condições operacionais e em parte à sua simplicidade funcional [8]. Para implementar um controlador PID, três parâmetros devem ser considerados: ganho proporcional (K_p), ganho integral ($K_i = \frac{1}{T_i}$) e ganho derivativo ($K_d = T_d$), onde T_i e T_d são os tempos integrativo e derivativo do sistema, respectivamente.

O controlador PID geralmente se encontra no domínio do tempo contínuo e utiliza variáveis analógicas, mas pode ser substituído por sistemas de controle implementados de forma digital e no domínio do tempo discreto [9].

As vantagens de se utilizar um sistema de controle digital são: o aumento na sensibilidade de medição; sensibilidade reduzida ao ruído dos sinais e, ainda, a facilidade de se reconfigurar facilmente o algoritmo de controle via software [10]. Assim, para implementar um controlador PID em um microcontrolador é necessário representar a ação de controle na sua forma discretizada. Isso é possível ao fazer a transformada Z da Equação 1 obtendo como resultado a Equação 2 que, quando expandida, é utilizada no algoritmo para expressar a ação de controle.

$$U(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) E(s) \quad (1)$$

$$U(z) = K_p \left(1 + \frac{h}{T_i(1-z^{-1})} + T_d \frac{(1-z^{-1})}{h} \right) E(z) \quad (2)$$

As constantes necessárias podem ser calculadas de diversas formas, mas para a aplicação aos robôs da Equipe Rodetas, utilizou-se o método da Curva de Reação.

B. Método da Curva de Reação

O método da Curva de reação é um ensaio no qual é possível obter experimentalmente a resposta de um sistema que se encontra em malha aberta a um degrau [11]. Se o sistema não possuir polos complexos conjugados dominantes, então a curva de resposta será em forma de “S” como mostra a Figura 7.

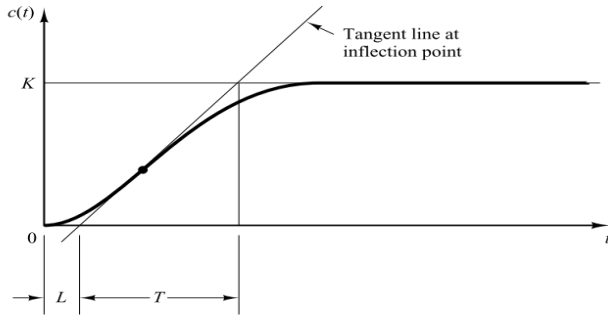


Figura 7. Curva de reação em função do tempo.
Fonte: Ogata (2009)

A curva de reação é caracterizada por duas constantes: o tempo de atraso (L) e a constante do tempo (T), esses dois parâmetros descrevem o comportamento do sistema em regime de transição do degrau e permite que o processo seja descrito como uma função de transferência de primeira ordem. O tempo de atraso e a constante de tempo são determinados desenhando-se uma reta tangente ao ponto de inflexão da curva “S” e estabelecendo os pontos de interseção da reta tangente com o eixo do tempo e a linha $c(t) = K$ como mostrado na Figura 7.

Assim, depois de realizado o ensaio da curva de reação com todos os motores da equipe, obteve-se o tempo de atraso, a constante de tempo e a função de transferência que caracterizam cada um dos robôs. Posteriormente, essas constantes características do sistema foram aplicadas para encontrar os parâmetros do controlador através da Tabela 1 proposta por Cohen-Coon.

Tabela 1. Controladores P, PI e PID (Cohen-Coon)

Tipo de Controlador	Kp	Ti	Td
P	$\frac{T}{KL} (1 + \frac{L}{3T})$	-	-
PI	$\frac{T}{KL} (0,9 + \frac{L}{12T})$	$\frac{L(30T + 3L)}{9T + 20L}$	-
PID	$\frac{T}{KL} (\frac{4}{3} + \frac{L}{4T})$	$\frac{L(32T + 6L)}{13T + 8L}$	$\frac{4LT}{11T + 2L}$

V. SOFTWARE

A. Processamento de Imagem

O processamento de imagem é efetuado a partir da captura de imagens feita por uma WebCam (Logitech C920) fixada sobre o campo durante a partida. O software foi desenvolvido utilizando o OpenCV (Open Source Computer Vision Library), que é uma biblioteca de código aberto, construída para fornecer uma infra-estrutura comum para

aplicações de visão computacional e aprendizado de máquina[12].

Esse processamento se deve a funções do OpenCV que permitem identificar padrões de cores, distinguindo assim cada robô e a bola. Esses padrões são convertidos em informações para que o computador as processe, como por exemplo, em contornos com posições no plano cartesiano, tendo como resultado final a posição x, a posição y e o ângulo em que cada robô se encontra.

As funções do OpenCV também são responsáveis por converter as cores em pontos no plano, motivo pelo qual cada robô possui uma etiqueta com duas cores, a que o identifica individualmente e a do time. Posteriormente, é aplicado a esses pontos um algoritmo matemático que calcula a distância e o coeficiente angular da reta formada entre dois deles permitindo elaborar qual a melhor trajetória para cada robô.

Portanto, o processamento de imagem é o responsável por gerar informações em tempo real que auxiliam o programa desenvolvido na tomada de decisões quanto a qual ação cada robô deverá executar.

B. Interface de jogo

Através da integração entre o processamento de imagem e a interface gráfica desenvolvidos pelos membros da equipe Rodetas é possível visualizar de forma intuitiva o estado atual do jogo e as decisões que são tomadas pelos robôs em campo durante a partida. Ela também permite a detecção de erros e a execução de testes.

Para o desenvolvimento de toda a interação com o usuário a equipe utilizou a biblioteca gráfica SFML (Simple and Fast Multimedia Library) que provê uma interface gráfica simples, ágil, de fácil programação e com os recursos necessários à aplicação. Contudo, essa biblioteca não fornece suporte para a criação de botões e elementos que permitam entradas de dados, então, foi utilizado uma biblioteca auxiliar que atua juntamente com o SFML chamada TGUI (Texus' Graphical User Interface), criada especificamente para dar suporte às funcionalidades que o SFML não possui. Toda a implementação foi desenvolvida na linguagem de programação C++ utilizando os conceitos de programação orientada a objeto. Na Figura 8 é apresentado a interface desenvolvida.

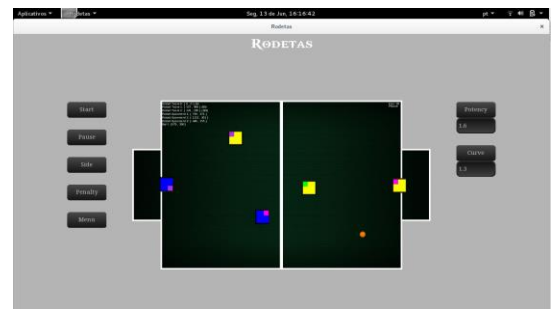


Figura 8. Interface Gráfica Desenvolvida.

Uma evolução no projeto foi a criação do simulador de estratégias apresentado na Figura 9. Com ele, é possível reposicionar os robôs e a bola através de uma janela gráfica e averiguar se as estratégias estão funcionando como previsto

no algoritmo, observando quais seriam as decisões adotadas pelos robôs em uma situação real de jogo.

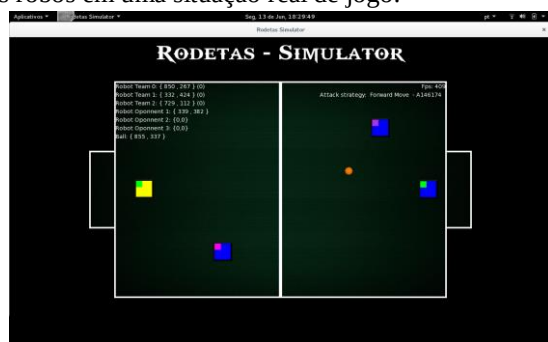


Figura 9. Simulador de estratégias desenvolvido pela equipe.

C. Estratégias de jogo

A estratégia de jogo tem como principal objetivo marcar a maior quantidade de gols e defender dos ataques do time adversário. De acordo com o posicionamento dos robôs da equipe, dos adversários e da bola, decide-se o melhor jogador para avançar até a bola, o melhor para ajudar no ataque e o melhor para ser goleiro.

A estratégia também analisa a melhor trajetória que o robô pode fazer para marcar o gol e considera a rotação em torno do próprio eixo para definir qual o sentido de rotação dos motores. São aplicadas diferentes métodos de acordo com as situações de ataque e defesa, a fim de obter o melhor resultado.

Todos os robôs podem alternar suas posições e sentido de avanço com o intuito de aplicar a tática definida no menor tempo possível. Os robôs que são definidos pela tática como atacantes ou defensores, podem se movimentar por todo o campo respeitando as regras da partida com o objetivo de tomar posse da bola e leva-la até o gol adversário. Diversas condições são analisadas a todo momento para tornar a movimentação o mais suave e precisa possível.

O robô definido como goleiro é posicionado no centro do gol e possui um algoritmo preditivo que analisa as últimas posições da bola e toma uma ação antes da bola aproximar-se do gol. Quando a bola está na área, a função do robô goleiro é retirá-la na direção de algum outro jogador do time para dar continuidade com a posse de bola e ataque.

D. Software embarcado

O algoritmo embarcado dos robôs é composto por duas seções definidas da seguinte forma: recepção dos dados e execução das táticas recebidas. O servidor responsável por processar as imagens e por selecionar qual das táticas serão executadas pelos robôs envia uma mensagem através da rede sem fio e cada robô deve identificar nesta mensagem qual ação que lhe cabe.

Para evitar a perda de informação ou dados incorretos, juntamente com essa mensagem, é transmitido um código que valida se a mesma está correta e completa. Se essa validação estiver correta, cada robô identifica a sua ação, caso contrário ele ignora a mensagem recebida. As mensagens com as ações que os robôs devem realizar são transmitidas aproximadamente trinta vezes por segundo.

Após a mensagem recebida pelos robôs ser validada, um algoritmo de controle dos motores executa a ação, iniciando a movimentação do robô de acordo com a potência e direção informada pela mensagem.

VI. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram levantados os principais pontos que compõem os robôs da equipe Rodeetas e como eles foram construídos para a participação na competição Latino Americana e Brasileira de Robótica de 2016.

A implementação de novas estratégias, de uma estrutura mais robusta para os robôs, assim como um projeto mais compacto e otimizado de eletrônica, proporcionaram um melhor desempenho nos testes realizados com os robôs da equipe.

REFERÊNCIAS

- [1] G. Novak and R. Springer, "An Introduction to a Vision System used for a MiroSOT Robot Soccer System," pp. 101–108, 2004.
- [2] K.-H. Kim, K.-W. KO, J.-G. Kim, S.-H. Lee, and H.-S. Cho, "The Development of a Micro Robot System for Robot Soccer Game," *Proc. IEEE International Conf. Robot. Autom.*, vol. 1, no. April, pp. 626–631, 1997.
- [3] IEEE, "Rules for the IEE Very Small Competition," 2008. [Online]. Disponível em: http://www.cbrobotica.org/wp-content/uploads/2014/03/VerySmall2008_en.pdf. [Acesso: 16-Nov-2015].
- [4] E. B. F. FILHO, "DESENVOLVIMENTO DE UM TIME DE FUTEBOL DE ROBÔS CATEGORIA IEEE VERY SMALL SIZE." Ouro Preto, 2013.
- [5] Pololu Robotics&Electronic ©, "TB6612FNG Dual Motor Driver Carrier [Online]," 2001. [Online]. Disponível em: <https://www.pololu.com/product/713>. [Acesso: 01-Dec-2015].
- [6] Toshiba, "Tb6612Fng Driver IC for Dual DC motor Datasheet," 2008. [Online]. Disponível em: https://www.pololu.com/file/download/TB6612FNG.pdf?file_id=0J86. [Acesso: 01-Dec-2015].
- [7] Pololu Robotics&Electronic, "Pololu - Encoder for Pololu Wheel 42x19mm." [Online]. Disponível em: <https://www.pololu.com/product/1217>. [Acesso: 27-Nov-2015].
- [8] R. C. Dorf and R. H. Bishop, *Sistemas de Controle Modernos*, 8ª Edição. Rio de Janeiro, 2001.
- [9] H. Hinderstahl and E. Rijanto, "Application of Reinforcement Learning on Self-Tuning PID Controller for Soccer Robot Multi-Agent System," 2013.
- [10] D. S. Torga, *Desenvolvimento de uma plataforma didática para práticas de controle de velocidade de um motor de corrente contínua*. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2016.
- [11] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, 5ª Edição. 2009.
- [12] OpenCV Developers, "About OpenCV," 2016. [Online]. Disponível em: <http://opencv.org/about.html>. [Acesso: 13-Jun-2016].

APÊNDICE I – *Team Description Paper 2017* (TDP).

Team Description Paper Equipe Rodetas Robô Clube

Universidade Federal de Ouro Preto

Wagner Ferreira Andrade¹, Alexandre Magno de S. Thiago Filho¹, Manoel Victor Stilpen Moreira de Sá¹, Érica Silva Pinto¹, Sávio Nazareno Júnior¹, Hugo Vinícius dos Santos¹, Marlon Martins Cunha¹, Hamilton Tonidandel Júnior¹, Thiago Tavares de Oliveira¹, Paulo Henrique dos Santos¹, Júlia Nascimento Costa¹, Rodolfo Menezes Navarro¹, Profa. Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri¹

Abstract—This paper contemplates the Team Description Paper for 2017, developed by Rodetas from Federal University of Ouro Preto. The team competes with its robots in IEEE Very Small Size category. The project includes the best features from older projects and presents modifications, such as new acrylic structure, new PCB design, completely different software graphical interface and new communication system.

I. INTRODUCTION

Building robots capable of playing a soccer match, taking real-time decisions and having artificial intelligence demands multidisciplinary research combining perception, dynamic decision making, and interaction between the robot system and the cinematic control subsystem[1].

A robot soccer match represents a complex application that involves real time image processing, robot movement, wireless communication and multi robot management[2], besides designing a robust electronic project capable of executing every command with speed and precision.

The IEEE Very Small Size category consists in the development of automated robots capable of disputing a soccer game, remotely controlled by a computer or using an embedded processor. According to the rules, two teams, with three robots each, play a match. Any robot cannot exceed 75x75x75mm in size[3].

Within this document there will be appointed the main features developed by members from Rodetas Robô Clube soccer team for its participation at Latin American and Brazilian Robot Competition of 2017. The most significant improvements are: new robots structure; new PCB (Printed Circuit Board); restructuring of the cinematic control system; improvement at image processing; implementation of new game strategies, and development of a new, more dynamic and friendly, user interface.

¹ Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP
Departamento de Engenharia de Controle e Automação — DECAT
Ouro Preto, Minas Gerais, CEP 35400-000, Brasil
rodetas.ufop@gmail.com

² Rodetas team appreciate the help from Yan Samuel Ferreira Junqueira and Jéssica Ferreira Soares for reviewing the document.

II. ROBOT STRUCTURE

The structure was developed to accommodate the movement system, battery and the control PCB robustly and compactly. The new robot structure comes with an easier disassembly, allowing fast battery removal.

The robots from Rodetas Team can be divided into two blocks. The top layer holds the PCB, fixed by screws at each border. In the lower part is found the 7,4[V] 1000[mAh] rechargeable Li-Po battery, two High-Power 75:1 DC micro motors, optical encoders from manufacturer Pololu, and two chamfers designed separately, used for either kicking or carrying the ball.

All parts from the structure were produced with acrylic plates of the same thickness, each layer projected separately. The Figure 1 presents the final design developed by team members from Rodetas using Solid Works and manufactured at UFOP by a Computer Numeric Control (CNC).

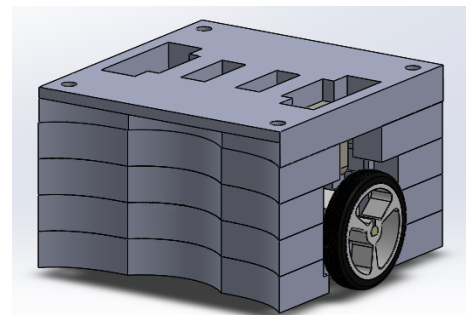


Fig. 1: Team Rodetas robot structure
Source: Personal archive

III. HARDWARE

A. Electronic devices

- Arduino Nano

Arduino Nano is an embedded system of low cost, easy programming and setup based on the high performance ATmega328 microcontroller[4]. The Figure 2 presents the Arduino Nano, which is the processing unity of the robot. It receives the algorithm that allows cinematic control and robots movement.

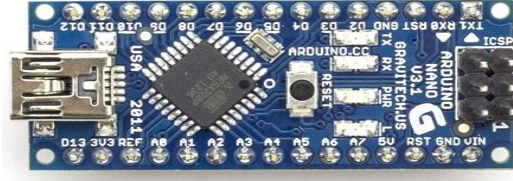


Fig. 2: Arduino nano V3.1
Source: Arduino

- Dual Motor Driver Carrier

The TB6612FNG is a dual motor driver that is ideal for interfacing two small DC motors such as micro metal gearmotors to a microcontroller[5]. According to the manufacturer, H bridge based on Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET) is more efficient than Bipolar Junction Transistor (BJT) used in other drivers, such as L298N. This feature results in more power transferred to the motor and less energy loss[6]. The Figure 3 presents the driver used by team Rodetas.

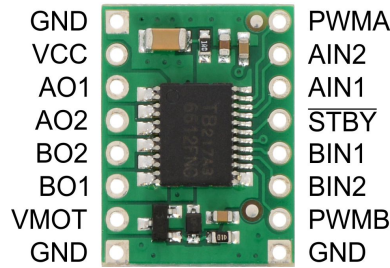


Fig. 3: TBB6612FNG Pololu driver
Source: Pololu Robotics&Eletronic

- Optical Encoder for Micro Metal Gearmotors

Optical encoder sensor boards with the reflective wheels add quadrature encoding to two micro metal gearmotors with extended back shafts. The 5-tooth encoder wheels are used to provide 20 counts per revolution of the motor shaft[7]. Adding a 75:1 gearbox to the motor shaft increase the number of counts per revolution and torque. The Figure 4 shows a micro gearmotor connected with an optical encoder.

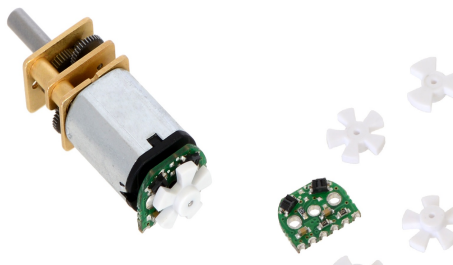


Fig. 4: Optical encoder Pololu
Source: Pololu Robotics&Eletronic

- XBee

The XBee and XBee-PRO RF Modules were engineered to meet IEEE 802.15.4 standards and support the unique needs of low-cost, low-power wireless sensor networks. The devices require minimal power and provide reliable delivery of data between devices. The devices operate within the Industrial Scientific and Medical- ISM 2.4 GHz frequency band and are pin-for-pin compatible with each other[8]. Through the Xbee device the computer communicates with the embedded system, controlling each robot. Figure 5 presents a Xbee S1 module.



Fig. 5: Xbee S1
Source: Digi Inc.

B. PCB (Printed circuit board)

The PCB designed by team members assembles every electronic component necessary for the operation of the robot into a single optimized compact board. The Figure 6 shows the final layout developed by the team.

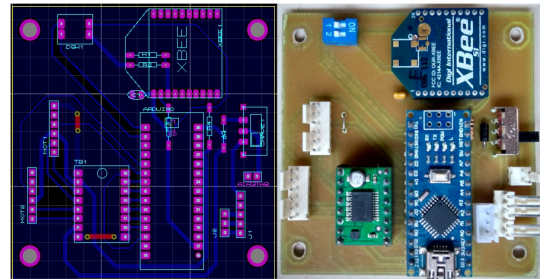


Fig. 6: Final PCB layout (top and bottom view)
Source: Personal archive

IV. CINEMATIC CONTROL

A. PID Control

The popularity among use of PID control can be partially related to its robust performance over a wide operating range and partly because of its functional simplicity[9]. To implement a PID controller three parameters must be considered: proportional gain (K_p), integral gain ($K_i = \frac{1}{T_i}$) and derivative gain ($K_d = T_d$), where T_i and T_d are integrative and derivative times, respectively.

PID control is generally in time continues domains and uses analog variables. Although, it is possible to implement PID control in the digital version, meaning the control has

a discrete domain[10].

The main advantages of using the digital control system are: increase of the measurement sensitivity; reduced noise interference and the easy tuning and configuration due to the control algorithm developed by software coding[11]. Therefore, to implement a PID controller into a micro-controller it is necessary to represent the discrete control action. It can be done from Z-transformation of Equation 1 obtaining as result Equation 2. Expanding Equation 2 gives Equation 3, which is used in algorithm to express the control action[12].

$$U(s) = K_p(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s)E(s) \quad (1)$$

$$U(z) = K_p \left(1 + \frac{h}{T_i(1 - z^{-1})} + T_d \frac{(1 - z^{-1})}{h} \right) E(z) \quad (2)$$

$$u(kT) = u(kT - T) + K_p[e(kT) - e(kT - T)] + \frac{K_p T}{T_i} e(kT) + \frac{K_p T_d}{T} [e(kT) - 2e(kT - T) + e(kT - 2T)] \quad (3)$$

The constants can be calculated by many methods. Rodetas team compared two of them to determine which was better to this application, Reaction Curve Method or Matlab PID Tuner.

B. PID METHOD

When a PID controller is used in a system, it is important to tune the controller to give the required response. Tuning a PID controller involves selecting values for the controller parameters K_p , T_i , and T_d . There are many techniques for tuning a controller, ranging from the first techniques (theoretical) to recent auto-tuning (experimental) controllers [12]. In this work three techniques were selected to be compared, the reaction curve method by Ziegler-Nichols, Cohen-Coon, and the PID Tuner from MATLAB.

- Reaction curve method

The reaction curve method consists of an experiment to determine the output of an open loop system to the unitary step[13]. For a system that do not have complex conjugated dominant poles, the output reaction curve has the "S" shape, as shown in Figure 7.

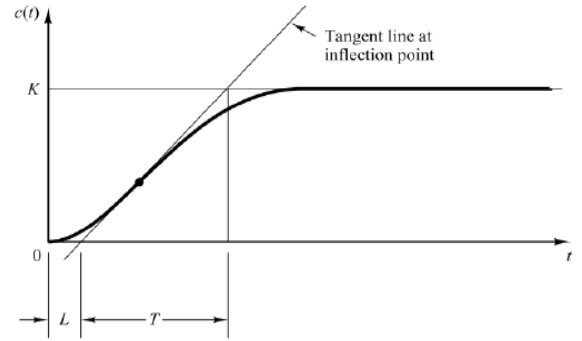


Fig. 7: Motor reaction curve
Source: Ogata,2003

The reaction curve is characterized by two constants: the delay constant (L) and the time constant (T). These two parameters describe the behavior of the system during transient regime response to step function and also allow the process to be described by a first order transfer function. The delay and the time constants are determined drawing a tangent line above the inflexion point of the "S" curve and establishing the intersection of the tangent line with the time axis (determining L) and the constant function $c(t) = K$ (determining T), as shown in Figure 7.

After performing an experiment with each motor from Rodetas team, it was found the delay and time constants for each robot. Subsequently, these system characteristic constants were applied to find the controller parameters through the Cohen-Coon, Table I, and Ziegler-Nichols, Table II, to obtain the transfer function that characterizes each of the robots.

TABLE I: P, PI and PID Controllers(Cohen-Coon)
Source: Ogata,2003

Controller Type	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{KL} (1 + \frac{L}{3T})$	-	-
PI	$\frac{T}{KL} (0,9 + \frac{L}{12T})$	$\frac{L(30T+3L)}{9T+20L}$	-
PID	$\frac{T}{KL} (\frac{4}{3} + \frac{L}{4T})$	$\frac{L(32T+6L)}{13T+8L}$	$\frac{4LT}{11T+2L}$

TABLE II: P, PI and PID Controllers(Ziegler-Nichols)
Source: Ogata,2003

Controller Type	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{KL}$	-	-
PI	$\frac{0,9T}{KL}$	3,3L	-
PID	$\frac{1,2T}{KL}$	2L	0,5L

The tests performed with Ziegler-Nichols constant table showed a better result than Cohen-Coon, with that in mind, the team chose the first one.

- PID Tuner

PID Tuner is a MATLAB tool created by MathWorks, used for tuning the PID to achieve a good balance between performance and robustness. In an easy and efficient way, it is possible to change control parameters in real time and plot results interactively with the user[14].

Sometimes, due to lack of electromechanical specifications or tools to measure them, creating a mathematical model of a motor becomes impracticable. With the PID Tuner, the modeling is not needed for tuning the controller, provided that you have a corresponding set of input and output data.

The output has a direct correlation with the input value. The input represents the stimulation of a system. This system input is the voltage applied to the motor simplified as Pulse Width Modulation - PWM. The system output presents the response to the stimulus, in this case, the number of readings per intervals of four milliseconds.

To generate the data, an embedded code was developed and uploaded into the robot. This program was capable of storing data, the time and readings from the optical encoder, shown in the Figure 8. The response of this system to the step function during tests was similar to the Reaction Curve Method.

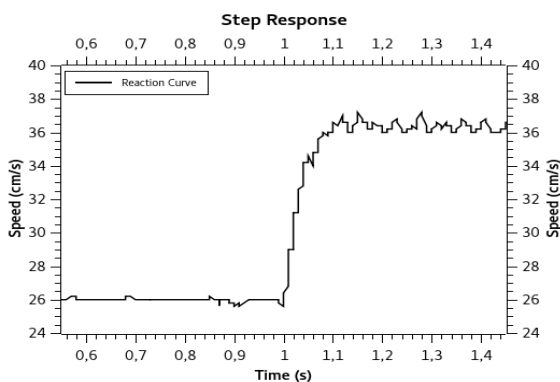


Fig. 8: Experimental step response
Source: Personal archive

PID Tuner allows to import this data, including sampling time and signal amplitude, so that the PID Tuner makes its analyses and describes the system, finding its parameters. After, tuning the controller parameters automatically, the user just set the response time and the transient behavior according to the returned plot. Figure 9 shows the PID Tuner from Matlab.

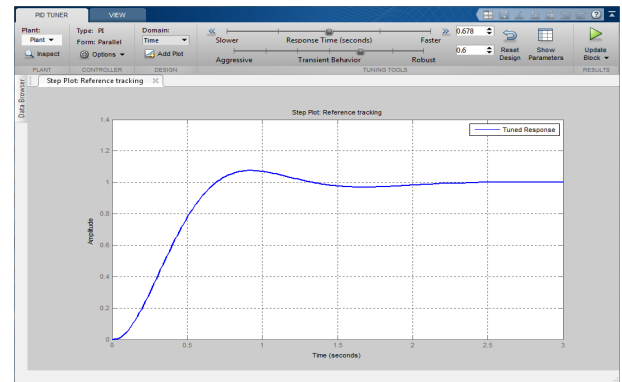


Fig. 9: PID Tuner
Source: MathWorks

V. SOFTWARE

A. Image processing

The image processing is implemented through images captures by a WebCam (Logitech C920) fixed over the field during the match. The developed software was built with Open Source Computer Vision Library (OpenCV). OpenCV consists of an open source library built to provide a common infrastructure for computer vision applications and machine learning[15].

The program uses OpenCV functions that allow identification of color patterns, distinguishing each robot and the ball. These patterns are converted so the computer can process the information. Each robot and the ball are set as a pair of coordinates (X and Y) in the Cartesian plane and also the angle the robots have with the horizontal axis is stored. The Figure 10 clarifies these features.

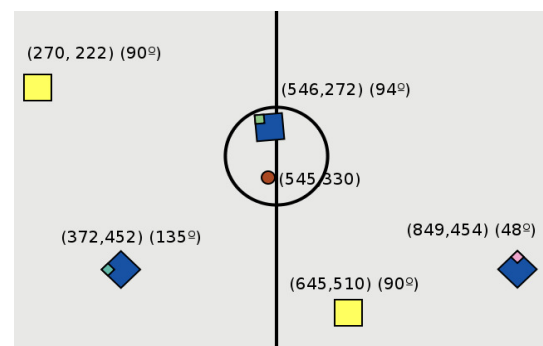


Fig. 10: Example of processed image
Source: Personal archive

The OpenCV functions are also responsible for converting colors into points in the plane, that is why every robot has a tag with two colors in Figure 10, one to represent the team color and the other one to identify the robot. After that, the coordinates are used in a mathematical algorithm to calculate the distance and slope of the curve between the ball and the robots, allowing the program to plan the best trajectory for each robot.

Therefore, the image processing is responsible to provide real time information for the main thread to take its decisions regarding which action each robot will take.

B. Graphical user interface

Through the integration between image processing and the graphical user interface developed by the Rodetas team it's easier and more intuitive seeing the current game status and the decisions received by the robots from the computer during a match.

The library *GTKMM* was used for the graphical interface development. This free library provides many tools, in addition to implementation facilities; the team chose this library once it attends all the needs and is cross-platform[16]. Figure 11 shows the GUI implemented.

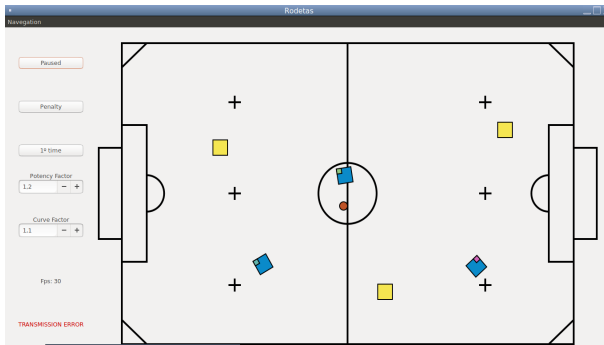


Fig. 11: Graphical interface developed
Source: Personal archive

C. Game strategies

The strategy objective is to score the highest number of goals and defend from adversary attack. According to the positioning of the team robots, the ball and adversaries, the computer decides which robot advance to the ball, which helps the attack and assign a goalkeeper.

The strategy code also analyzes the best trajectory to score the goal and considers the robot rotation around its own axis to determine the motor rotation direction. Different methods are applied according to attack and defense situations in order to obtain the best result.

Every robot can change its position and movement direction (there is no concept of front or back) in order to apply the defined tactic within the shortest time. The robots defined by tactic as attackers or defenders can move through the whole field, respecting the rules, with the objective of taking the ball into the adversary goal. The program constantly analyzes several conditions to make the movement as smooth and precise as possible.

The robot set as the goalkeeper is positioned at the center of the goal. It posses a predictive algorithm which analyses

the last ball positions and takes action before the ball approaches the goal. When the ball is inside the penalty box, the goalkeeper is set to remove it towards another friendly robot, so the team maintain the ball possession and attack.

D. Embedded software

The embedded algorithm is composed of three layers: communication (data receiving), execution of tactics and cinematic control. The server, responsible of image processing and determining which action shall be taken by each robot, assembles a message to be sent through the wireless network from Xbee. The robots receive their designated message through it very own ID. These command messages sent by the server are delivery approximately 30 times per second.

A motor control algorithm executes the action, initiating the movement of the robot according to the power and direction informed by the message. Interrupts created by code allow precise encoder reading which make possible finding instantaneous speed of the motors. With this parameter, the embedded PID control acts, correcting possible errors of the motors during the match.

VI. CONCLUSIONS

This document presented the main topics over Rodetas team robots for its participation at Latin American and Brazilian Robots Competition of 2017.

The enhancement of new strategies, more robust and new robot structure, more compact PCB layout and a complete new software interface provided better performance at tests realized by the team.

REFERENCES

- [1] Gregor Novak and Richard Springer. An introduction to a vision system used for a mirosot robot soccer system. In *Computational Cybernetics, 2004. ICCV 2004. Second IEEE International Conference on*, pages 101–108. IEEE, 2004.
- [2] Kyung-Hoon Kim, Kuk-Won Ko, Joo-Gon Kim, Su-Ho Lee, and Hyung-Suck Cho. The development of a micro robot system for robot soccer game. In *Robotics and Automation, 1997. Proceedings., 1997 IEEE International Conference on*, volume 1, pages 644–649. IEEE, 1997.
- [3] IEEE. Rules for the iee very small competition. http://www.cbrobotica.org/wp-content/uploads/2014/03/VerySmall2008_en.pdf, 2008. [Online; accessed 25-June-2017].
- [4] E. B. FERREIRA FILHO. DESENVOLVIMENTO DE UM TIME DE FUTEBOL DE ROBÔS CATEGORIA IEEE VERY SMALL SIZE. 2013. Monografia (Engenharia de Controle e Automação), UFOP (Universidade Federal de Ouro Preto), Ouro Preto, Brazil.
- [5] Pololu Robotics&Eletronic. Tb6612fng dual motor driver carrier. <https://www.pololu.com/product/713>, 2001. [Online; accessed 25-June-2017].
- [6] Toshiba. Tb6612fng driver ic for dual dc motor datasheet. <https://www.pololu.com/file/0J86/TB6612FNG.pdf>, 2008. [Online; accessed 25-June-2017].
- [7] Pololu Robotics&Eletronic. Optical encoder pair kit for micro metal gearmotors 5v. <https://www.pololu.com/product/2590>, 2013. [Online; accessed 25-June-2017].
- [8] Digi International Inc. ©. Xbee/xbee-pro s1 802.15.4 (legacy). <https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/pdfs/90000982.pdf>, 2017. [Online; accessed 25-June-2017].

- [9] RC Dorf and RH Bishop. Sistemas de controle modernos, oitava edição edn. *LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora SA, Rio de Janeiro, Brasil*. [Links], 2001.
- [10] Aulia El Hakim, Hilwadi Hindersah, and Estiko Rijanto. Application of reinforcement learning on self-tuning pid controller for soccer robot multi-agent system. In *Rural Information & Communication Technology and Electric-Vehicle Technology (rICT & ICeV-T), 2013 Joint International Conference on*, pages 1–6. IEEE, 2013.
- [11] D. S. TORGA. DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA DIDÁTICA PARA PRÁTICAS DE CONTROLE DE VELOCIDADE DE MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA. 2016. Monografia (Engenharia de Controle e Automação), UFOP (Universidade Federal de Ouro Preto), Ouro Preto, Brazil.
- [12] D. Ibrahim. *Microcontroller Based Applied Digital Control*. Wiley, 2006.
- [13] K Ogata. Modern control engineering, 2003. Wesley Publishing Company, Inc.
- [14] MathWorks Inc. ©. Pid tuning algorithm. <https://www.mathworks.com/help/control/getstart/pid-tuning-algorithm.html>, 2017. [Online; accessed 26-June-2017].
- [15] OpenCV Developers. Opencv library. <http://opencv.org/>, 2017. [Online; accessed 26-June-2017].
- [16] GTKMM Developers. Gtkmm gui. <https://www.gtkmm.org>, 2017. [Online; accessed 26-June-2017].

APÊNDICE J – *Team Description Paper 2018* (TDP).

Team Description Paper Equipe Rodetas Robô Clube

Universidade Federal de Ouro Preto

Wagner Ferreira Andrade^{1,2}, Alexandre Magno de S. Thiago Filho^{1,2}, Manoel Victor Stilpen Moreira de Sá^{1,3}, Marlon Martins Cunha^{1,2}, Hamilton Tonidandel Júnior^{1,2}, Paulo Henrique dos Santos^{1,2}, Sávio Nazareno Júnior^{1,2}, João Paulo Reis Alvarenga^{1,3}, Leonardo Luiz Freitas de Resende^{1,3}, Samuel de Magalhães Pedroza^{1,2}, Júlia Gherardi Maia de Souza^{1,2}, João Vitor Freiria Yeda Macedo^{1,2}, José Lucas Mendes Pereira Júnior^{1,2}, Thales Guedes Rodrigues^{1,2}, Nilton Costa Pereira de S. Thiago Neto^{1,4}, Davi Almeida Vasconcelos^{1,4}, Profa. Karla Boaventura Pimenta Palmieri^{1,2}, Prof. Alan Kardek Rêgo Segundo^{1,2}, Prof. Elias José de Rezende Freitas^{1,2}

Abstract—This paper contemplates the Team Description Paper for 2018, developed by Rodetas from Federal University of Ouro Preto. The team competes with its robots in IEEE Very Small Size category. The project includes features from older projects and presents modifications, such as new 3D printed ABS structure, new circuit board design and components, completely different software (SDK), including graphical interface, simulator, new movimentation algorithm and strategies.

I. INTRODUÇÃO

Construir robôs capazes de disputar uma partida de futebol, tomar decisões em tempo real e ter uma inteligência artificial requer uma pesquisa multidisciplinar que combina percepção, tomada de decisão dinâmica e interação entre o sistema robótico e o subsistema de controle cinemático[1].

Por trás de uma partida de futebol de robôs ocorre um algoritmo complexo que envolve processamento de imagens em tempo real, cálculos de movimentos dos robôs, comunicação sem-fio e gerenciamento de múltiplos robôs[2], além de ser necessário projetar um sistema eletrônico robusto e capaz de executar todos os comandos com velocidade e precisão.

A categoria IEEE *Very Small Size* consiste no desenvolvimento de robôs autônomos capazes de disputar partidas de futebol, controlados remotamente por um computador ou utilizando um processamento embarcado. De acordo com as regras, duas equipes disputam uma partida, em que cada uma possui três robôs, que não ultrapassem 75x75x75[mm] em suas dimensões[3].

Neste documento é exibida as principais características desenvolvidas pelos membros da equipe Rodetas Robô Clube para participação na Latin American and Brazilian Robot Competition 2018. As principais melhorias são: novo modelo de estrutura dos robôs (agora em impressão 3D ABS);

implementação de novas estratégias de jogo, utilização do VSS-SDK e adoção de técnicas de baixo consumo de energia.

II. HARDWARE

Esta seção dedica-se à descrição dos componentes físicos do time de futebol de robôs desenvolvido pela equipe Rodetas.

A. Estrutura mecânica

Neste trabalho uma nova forma de confecção de estrutura foi utilizada, substituindo o modelo de anos anteriores, o qual era constituído de camadas de acrílicos cortados a laser, por um sistema de impressão 3D em ABS. Este método consiste em criar objetos tridimensionais através da impressão de diversas camadas. Devido a sua eficiência e seu fácil manuseio, tornou-se uma das melhores opções na tecnologia de fabricação de protótipos, em que, a partir de modelos virtuais, podem ser criados objetos com alta qualidade e resistência.

O projeto da estrutura foi desenvolvido utilizando o software SolidWorks®, por fornecer as ferramentas necessárias para simulação, desenho e montagem de modelos 3D para a confecção do robô. Realizando análises do protótipo de maneira virtual, evitam-se erros, aumenta-se a produtividade e, como consequência, reduzem-se os custos com prototipagem.

Com o novo sistema de confecção de robôs, pode-se criar uma peça única para proteger e acomodar todas as partes essenciais do robô, de forma otimizada, totalizando nesta montagem, dois motores com dimensões 35x12x10[mm], uma bateria com dimensões 53x30x18[mm] e a placa de circuito impresso com dimensões 68x68x15[mm]. A estrutura confeccionada em impressão 3D e molde podem ser observados na Figura 1.

¹ Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP
Ouro Preto, Campus Morro do Cruzeiro, Minas Gerais, CEP 35400-000, Brasil. rodetas.ufop@gmail.com

² Departamento de Engenharia de Controle e Automação — DECAT

³ Departamento de Computação — DECOM

⁴ Departamento de Engenharia Mecânica — DMEC

A equipe Rodetas gostaria de agradecer à colaboração de Gustavo de Azevedo Prado Martins pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

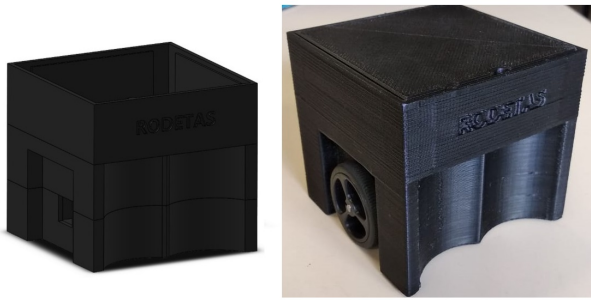


Fig. 1: Modelo e Impressão 3D Robô - Equipe Rodetas
Fonte: Arquivo pessoal

Baseado na modelagem da versão anterior, já testada e validada, o chanfro da parte frontal e traseira que mantém contato com a bola, permanece com suas características construtivas em forma de “W”. Tem-se observado que este assegura maior aderência da bola com a superfície do robô, garantindo, consequentemente, uma melhor condução, adequando-se às estratégias da equipe.

B. Dispositivos eletrônicos

Para completar a descrição da estrutura dos robôs desenvolvidos, faz-se uma breve abordagem dos componentes eletrônicos que os compõem.

1) *Bateria LiPoly*: Trata-se de uma versão da bateria lítio-íon mais moderna e mais barata. Sua composição química é similar à células de lítio-íon, em termos de densidade de energia. Por ser fabricada com pequena geometria e permitir embalagem simplificada, suas aplicações principais incluem telefones celulares e aeromodelos[4]. Como fonte de alimentação dos robôs foram utilizadas baterias de polímero de lítio (LiPoly). Optou-se pela escolha de baterias recarregáveis de 2 células, com tensão nominal de 7,4V, capacidade de 1000mAh e regime de descarga de 25C. Levou-se em consideração, no momento da escolha, a limitação das dimensões do robô e a tensão nominal fornecida, de forma que atendessem aos requisitos do projeto. A bateria utilizada neste trabalho pode ser visualizada na Figura 2.



Fig. 2: Bateria LiPoly 7,4V
Fonte: Arquivo pessoal

Com o intuito de otimizar a duração das baterias, implementou-se técnicas de economia de consumo via hardware e software, aprofundadas em seções posteriores.

2) *Arduino Nano*: O Arduino Nano é um sistema embarcado de baixo custo baseado no microcontrolador de alto desempenho Atmega328p[5]. Este microcontrolador recebe o algoritmo que permite o controle cinemático da velocidade dos robôs, incorporando também o papel de unidade central de processamento destes. A Figura 3 apresenta o Arduino Nano utilizado pela equipe Rodetas.



Fig. 3: Arduino Nano V3.0
Fonte: Arquivo pessoal

A utilização do recurso *Sleep Mode*, presente no microcontrolador, diminui consideravelmente seu consumo de bateria, em relação ao *chip* sob operação normal. Com o intuito de melhorar o desempenho e garantir um gerenciamento inteligente de memória, destaca-se a implementação da programação do microcontrolador em linguagem C nativa, universalizando o código e eliminando a necessidade de estruturas de compilação próprias para a plataforma Arduino.

3) *Driver Ponte H*: O TB6612FNG é um driver que possibilita o interfaceamento de até dois motores DC com microcontroladores[6]. A utilização dos transistores de efeito de campo de semicondutor de óxido metálico (MOSFET) na ponte H garante maior eficiência do que transistores bipolares de junção (BJT) usados em outros drivers, como o L298N. Os MOSFETS possibilitam a entrega de mais energia para os motores com menores perdas nas chaves estáticas[7]. Na Figura 4 é apresentado o driver utilizado pela equipe Rodetas.

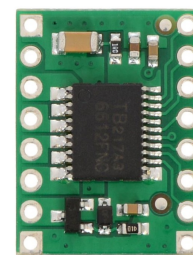


Fig. 4: Ponte H TB6612FNG
Fonte: Arquivo pessoal

4) *XBee*: Os módulos XBee e Xbee-Pro RF foram projetados para atender aos padrões IEEE802.15.4 e suprir

as necessidades únicas das redes de sensores sem fio, com custo razoável e baixo consumo de energia. Os dispositivos trabalham com tensão de 3,3[V] e garantem entrega confiável de dados entre eles, operando dentro da faixa de frequência *ISM* (*Industrial Scientific and Medical*) 2,4 GHz e sendo compatíveis pino a pino entre si[8]. Através do Xbee, o computador se comunica com o sistema embarcado, controlando cada robô. Na Figura 5 é apresentado o módulo Xbee.

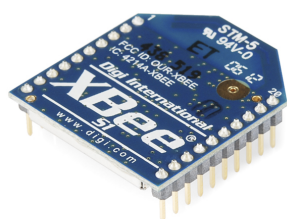


Fig. 5: Xbee S1
Fonte: Arquivo pessoal

Para configuração, utiliza-se uma rede API com endereçamento embutido, de forma a possibilitar o reenvio de mensagens e o tratamento de perda de pacotes. Devido à diferença de alimentação entre o microcontrolador Atmega328p (5[V]) e o Xbee (3,3[V]) torna-se necessária uma conversão de nível lógico. Tal conversão é realizada utilizando um circuito adaptador composto de resistências e MOSFET.

5) *Conversor CC-CC*: A fim de proporcionar tensão constante para PWM (para controle de velocidade do motor), a PCI conta com circuito buck, step-down, de conversão CC-CC. De forma a ajustar a tensão nominal da bateria de 7,4[V] (que pode atingir 8,4[V] com carga completa e 6,5[V] quando quase totalmente descarregada) para 6[V] fixos (tensão nominal do motor), utiliza-se tal conversor. A Figura 6 exhibe o módulo conversor CC-CC.

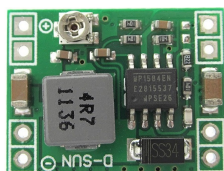


Fig. 6: Conversor CC/CC MP1584
Fonte: Arquivo pessoal

O chip MP1584 consiste de um regulador chaveado step-down de alta frequência utilizando MOSFET de potência interno integrado[9]. O dispositivo permite ajuste da tensão de saída e atende as necessidades do circuito (de até 3,2A para corrente de rotor travado nos motores).

6) *Motor CC*: Para movimentação dos robôs utiliza-se dois motores CC com caixa de redução, que apresentam rotação nominal de 400[rpm]. Com tensão de alimentação nominal de 6[V], este equipamento desenvolve até 1,6[kgf.cm] de torque[10]. Em virtude da limitação de dimensões da categoria, utiliza-se motores sem eixo estendido. Tal consequência implica na inviabilidade de *encoder* acoplado ao eixo para desenvolvimento de controle de velocidade embarcado. O conjunto motor/roda pode ser visualizado na Figura 7. Ressalta-se ainda que a roda alojada no eixo do motor apresenta 32[mm] de diâmetro.



Fig. 7: Motor 400rpm 75:1
Fonte: Pololu Robotics&Eletronic

C. PCI (Placa de circuito impresso)

A placa de circuito impresso (PCI) desenvolvida tem como objetivo integrar todos dispositivos em uma única plataforma, de forma compacta e confiável. Sua confecção se dá pela combinação de método mecânico (fresa CNC), óptico (transferência por luz UV) e químico (corrosão por perclorato de ferro). O esquema elétrico e layout, elaborados com a ferramenta Autodesk EAGLE®, pode ser visualizado na Figura 8, juntamente com a placa e os componentes soldados.

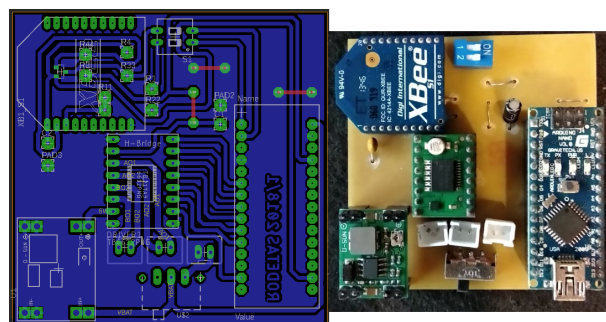


Fig. 8: Placa de circuito impresso e Layout
Fonte: Arquivo pessoal

III. SOFTWARE

Neste trabalho, propôs-se a utilização de uma *Suite Development Kit* denominada VSS-SDK[11], que vem sendo desenvolvida especificamente para a categoria *IEEE Very Small Size Soccer*. Esse *kit* fornece um módulo

de visão computacional (VSS-Vision), um módulo para simulação dos robôs (VSS-Simulator) e um módulo para visualização de posições e depuração (VSS-Viewer). Na Figura 9 pode-se verificar uma captura de tela que retrata o módulo de visualização mencionado anteriormente. Na imagem, observa-se o VSS-Viewer exibindo as posições atuais e finais dos robôs e as trajetórias planejadas para uma certa simulação.



Fig. 9: Sistema VSS-Simulator VSS-SDK
Fonte: Arquivo pessoal

Com a utilização do SDK, cabe à equipe desenvolver apenas os algoritmos de controle, movimentação dos robôs e estratégia de jogo. Utilizando essas ferramentas, não se faz necessário desenvolver algoritmos complexos para reconhecimento dos robôs em campo (visão computacional), uma vez que estes já estão implementados e estáveis na plataforma. Dessa forma, é possível focar no desenvolvimento de inovações como desvio de obstáculos e aplicação de inteligência artificial. Ressalta-se que a plataforma VSS-SDK é de código aberto e encontra-se disponível para acesso na web[11].

A. Programação embarcada

O código embarcado é composto por 2 camadas, a saber: comunicação (recepção de dados) e execução de comandos para controle cinemático, provenientes do transmissor. O computador, responsável por decidir qual ação deve ser tomada por cada robô, agrega uma mensagem que posteriormente é enviada pela rede sem fio do Xbee. Cada robô recebe uma mensagem específica e, através de seu código de identificação, as mensagens são decodificadas e o microcontrolador atualiza o valor de PWM de suas saídas, alterando a velocidade dos motores. A comunicação, entre o computador e o sistema embarcado, é realizada a uma taxa de 60 vezes por segundo.

B. Controle embarcado

Como proposto em trabalhos anteriores[12][13], verifica-se a viabilidade de implementação de controle embarcado.

Novamente, em virtude das dimensões estabelecidas pela categoria, observa-se a necessidade de adaptações para uso de motores com eixo estendido, ou da utilização de sensor óptico em conjunto com uma unidade de medição inercial (IMU). Para trabalhos futuros propõe-se estudos para comparação entre tais tecnologias, avaliando seus resultados.

C. Movimentação

A movimentação dos robôs no campo é muito importante para o bom desempenho do time. Um ponto importante da movimentação é o planejamento da trajetória que o robô deve executar nas diferentes situações de jogo. Para este planejamento, o algoritmo deve considerar os outros robôs e abstrai-los como obstáculos, para que se possa chegar ao objetivo final sem colidir com os outros robôs (tanto adversários como a própria equipe).

A fim de resolver este problema implementa-se um algoritmo de planejamento e desvio baseado na pesquisa de Lim, et.al.[14]. A ideia proposta por esta solução é calcular, para cada ponto do campo, as direções que o robô deve seguir, levando em consideração seu objetivo e os obstáculos presentes.

As direções calculadas são vetores de módulo unitário que variam de $-\pi$ a π e são executadas pelo robô através de um controle proporcional, alterando as velocidades de cada roda do robô.

D. Estratégia de jogo

O objetivo da estratégia é realizar a maior quantidade de gols, além de se defender dos ataques adversários. De acordo com a posição do time, da bola e dos adversários, o computador decide qual robô acompanhará a bola, qual ajudará o atacante e qual será o goleiro. Na Figura 10 pode-se observar o funcionamento do VSS-Vision, assim como a etapa de calibração de cores.

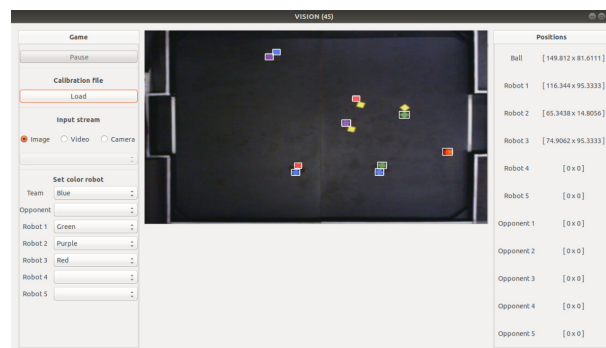


Fig. 10: Sistema VSS-Vision VSS-SDK
Fonte: Arquivo pessoal

A estratégia também analisa a melhor trajetória para carregar a bola até o gol e considera a orientação (ângulo) do robô para determinar o sentido de rotação dos motores. Métodos diferentes são aplicados ao atacante e ao defensor, de acordo

com a situação de cada um para obter o melhor resultado. A estratégia decide também o sentido de movimento de cada robô (“andar de costas” ou “andar de frente”) de forma que o tempo de chegada até o objetivo seja o menor possível.

Diversas condições são analisadas constantemente para que o movimento do robô seja o mais suave e preciso possível. Condições que infringem as regras de jogo também são sempre analisadas, evitando, assim, faltas e pênaltis durante o jogo.

O robô definido como goleiro pela estratégia acompanha, dentro da área, a direção da bola em relação ao gol. O VSS-SDK, a cada instante, fornece a velocidade vetorial da bola e com base neste parâmetro, calcula-se sua projeção - futura posição - no tempo. Para posicionamento, o goleiro considera esta previsão para tomada de decisões.

IV. CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu apresentar as principais características do projeto de futebol de robôs desensolvido pela equipe Rodetas para participação nas Competições Latino Americana e Brasileira de Robótica (LARC e CBR) de 2018. O avanço observado pela utilização da plataforma do VSS-SDK, a redefinição da estrutura do robô e a inserção de estratégias de redução de consumo da PCI são as características mais relevantes apresentadas pelas modificações introduzidas no projeto. Verifica-se grande avanço nos resultados, comparado aos anos anteriores.

REFERENCES

- [1] Gregor Novak and Richard Springer. An introduction to a vision system used for a MiroSOT robot soccer system. In *Computational Cybernetics, 2004. ICCN 2004. Second IEEE International Conference on*, pages 101–108. IEEE, 2004.
- [2] Kyung-Hoon Kim, Kuk-Won Ko, Joo-Gon Kim, Su-Ho Lee, and Hyung-Suck Cho. The development of a micro robot system for robot soccer game. In *Robotics and Automation, 1997. Proceedings., 1997 IEEE International Conference on*, volume 1, pages 644–649. IEEE, 1997.
- [3] IEEE. Rules for the IEEE Very Small Competition. http://www.cbrobotica.org/wp-content/uploads/2014/03/VerySmall12008_en.pdf, 2008. [Online; acesso em 25-Junho-2018].
- [4] Rafael Heleno Ladeira Trindade. Estudo das características de baterias recarregáveis possíveis de serem utilizadas no projeto Satélite Universitário, ITASAT. *12º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA-XII ENCITA*, 2006.
- [5] Edson Bernardes Ferreira Filho. Desenvolvimento de um Time de Futebol de Robôs Categoria IEEE Very Small Size. 2013. Monografia, Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil.
- [6] Pololu Robotics&Eletronic. TB6612FNG Dual Motor Driver Carrier. <https://www.pololu.com/product/713>, 2018. [Online; acesso em 25-Junho-2018].
- [7] Toshiba. TB6612FNG Driver IC for Dual DC motor Datasheet. <https://www.pololu.com/file/0J86/TB6612FNG.pdf>, 2008. [Online; acesso em 25-Junho-2018].
- [8] Digi International Inc. ©. XBee/XBee-PRO S1 802.15.4 (Legacy). <https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/PDFs/90000982.pdf>, 2018. [Online; acessado em 27-Junho-2018].
- [9] Monolithic Power. MP1584 Step-Down Converter Datasheet. https://www.monolithicpower.com/pub/media/document/MP1584_r1.0.pdf, 2011. [Online; acesso em 20-Junho-2018].
- [10] Pololu Robotics&Eletronic. Micro Metal Gearmotor HP 6V 75:1. <https://www.pololu.com/product/2361>, 2018. [Online; acesso em 25-Junho-2018].
- [11] SIRLab - *OpenSource*. VSS-SDK. <https://vss-sdk.github.io/>, 2018. [Online; acesso em 26-Junho-2018].
- [12] Rodetas. TDP Rodetas 2016. <http://www.cbrobotica.org/mostravirtual/interna.php?id=14987>, 2016. [Online; acesso em 26-Junho-2018].
- [13] Rodetas. TDP Rodetas 2017. <http://www.cbrobotica.org/mostravirtual/interna.php?id=17634>, 2017. [Online; acesso em 26-Junho-2018].
- [14] YS Lim, Seung-Hwan Choi, Jong-Hwan Kim, and Dong-Han Kim. Evolutionary univector field-based navigation with collision avoidance for mobile Robot. In *Proc. 17th World Congress The International Federation of Automatic Control, Seoul, Korea, July, 2008*.