



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



ÉERICA SILVA PINTO

**DESENVOLVIMENTO DE ROBÔS CAPAZES DE DISPUTAR UMA PARTIDA DE
FUTEBOL NA CATEGORIA *IEEE VERY SMALL SIZE***

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

Ouro Preto, 2017

ÉRICA SILVA PINTO

**DESENVOLVIMENTO DE ROBÔS CAPAZES DE DISPUTAR
UMA PARTIDA DE FUTEBOL NA 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

**Ouro Preto
Escola de Minas – UFOP
Fevereiro/2017**

P659d

Pinto, Érica S..

Desenvolvimento de robôs capazes de disputar uma partida de futebol na categoria IEEE Very Small Size [manuscrito] / Érica S. Pinto. - 2017.

63f.: il.: color; tabs.

Orientadora: Prof. Dr. Karla B. P. Palmieri.

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

1. Robótica - Competição (Esporte) - Futebol. 2. Robôs - Sistemas de controle - Futebol. 3. IEEE Very Small Size - Futebol. 4. Concursos - Latino-Americano de Robótica (LARC). I. Palmieri, Karla B. P.. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

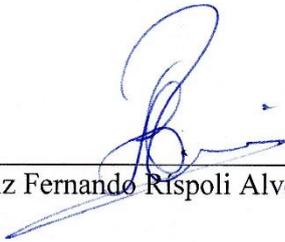
CDU: 681.5

Catálogo: ficha@sisbin.ufop.br

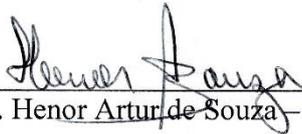
Monografia defendida e aprovada, em 14 de fevereiro de 2017, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Profa. Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri - Orientadora



Prof. Dr. Luiz Fernando Rispoli Alves – Professor Convidado



Prof. Dr. Henor Artur de Souza – Professor Convidado

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a equipe RODETAS e a todos os integrantes que o tornaram possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço o apoio incondicional da minha família.

A Equipe RODETAS por todos os ensinamentos e por permitir que eu registrasse as atividades desenvolvidas durante o ano de 2016.

Aos atuais integrantes da equipe RODETAS Alexandre Magno de S. Thiago Filho, Hugo Vinícius dos Santos, João Paulo Ferreira, Manoel Victor Stilpen Moreira de Sá, Rafael Gustavo Alves, Sávio Nazareno Júnior e Wagner Ferreira Andrade por me ajudarem na realização deste trabalho.

A Professora orientadora da Equipe RODETAS Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri por todas as oportunidades.

RESUMO

O futebol de robôs é uma atividade extraclasse que proporciona aos discentes que dela participam aprimorar os conhecimentos adquiridos em sala de aula, além de promover a oportunidade de trabalhar com algo multidisciplinar que exige correlacionar diferentes assuntos em prol da concepção e construção de um projeto, característica muito importante para um engenheiro em formação. O foco deste trabalho é abordar o desenvolvimento dos robôs e no algoritmo neles embarcado nos quais a equipe Rodetas Robô Clube da Universidade Federal de Ouro Preto aprimorou para a participação na *Latin American Robotic Competition (LARC)* e Competição Brasileira de Robótica (CBR) categoria *IEEE Very Small Size*, realizada na cidade de Recife, Estado de Pernambuco no ano de 2016. Aqui são abordados assuntos como o projeto do *hardware* especificando todos os componentes eletrônicos e os *softwares* utilizados na sua concepção, o projeto estrutural especificando quais os materiais e *softwares* utilizados para construir e projetar o “esqueleto” dos robôs, além de abordar detalhadamente como o algoritmo embarcado de movimentação dos robôs foi desenvolvido. Também serão retratados os principais aspectos e regras que regem as partidas da categoria *IEEE Very Small Size* e a história da equipe Rodetas. A categoria *IEEE Very Small Size* consiste na construção de robôs que possuem uma limitação de tamanho de 75x75x75mm capazes de disputar uma partida de futebol sem nenhuma intervenção humana, desta forma uma câmera é posicionada acima do campo onde ocorrem as partidas, ela é a “visão” dos robôs e será a base para o processamento de imagens e todo o processo de tomada de decisões em tempo real durante os jogos.

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

ABSTRACT

The robot soccer is an extracurricular activity that provides the improvement of knowledge acquired in classroom, and it promotes the opportunity to work on something multidisciplinary that demands the correlation of different subjects. Its main objective is to conceive and construct a project, very important skills of an engineer. The goal of this paper is approach the development of robots and their embedded systems, which were improved by Rodetas Robô Clube from Universidade Federal de Ouro Preto in 2016. The purpose was to participate in the Latin American Robotic Competition (LARC) and the Brazilian Robot Competition (CBR) in the category “IEEE Very Small Size” that took place in Recife, in the state of Pernambuco. This paper also presents the details of the hardware as well as the electronic components and the software used in its conception, the detailed structural project used to design the robots’ frame, and details concerning the algorithm of the embedded system responsible for the robots’ movements. Moreover, it presents the main aspects and rules that govern the tournament category “IEEE Very Small Size” and the history of the Rodetas robot soccer team. The IEEE Very Small Size category consists in the construction of robots that have a size limitation of 75x75x75mm. They are capable of playing a soccer game without any human intervention, and for that a camera is positioned above the field where the matches take place. It is the “vision” of the robots and will be the basis for the image processing and the entire process of real-time decisions making during games.

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

LISTAS DE FIGURAS

Figura 2.1 - Foto tirada durante uma partida da equipe Rodetas.....	18
Figura 2.2 – Desenho esquemático de uma partida de futebol de robôs	19
Figura 2.3 - Posicionamento dos robôs de acordo com as paralizações do jogo.....	20
Figura 2.4 - Dimensões do Campo onde ocorrem as partidas	21
Figura 2.5 - Profundidade máxima permitida para o chanfro dos robôs.	22
Figura 2.6 – Arduino NANO V3.1.....	24
Figura 2.7 - Driver para motores TB6612FNG da fabricante TOSHIBA.....	26
Figura 2.8 – Módulo XBee	28
Figura 2.9 – Produção das PCI da equipe Rodetas na CNC.....	29
Figura 3.1 – Troféu conquistado pela equipe RODETAS na LARC 2012.	30
Figura 3.2 – Troféu conquistado pela equipe RODETAS na LARC 2013.	31
Figura 3.3 – Bateria utilizada na alimentação dos robôs de equipe Rodetas.....	32
Figura 3.4 - Micro Metal Gearmotor HP	33
Figura 3.5 – Rodas utilizadas no sistema de locomoção dos robôs da equipe	33
Figura 3.6 – Fluxograma do processo de recepção de mensagens	36
Figura 3.7 - Fluxograma do processo de validação de mensagens.....	37
Figura 3.8 - Fluxograma do processo de execução dos movimentos	38
Figura 3.9 – Representação no ISIS da alimentação da PCI desenvolvida.	40
Figura 3.10 - Representação no ISIS do ARDUINO utilizado na PCI desenvolvida.	41
Figura 3.11 – Representação no ISIS do Xbee utilizado na PCI desenvolvida.	41

Figura 3.12 – Representação no ISIS dos conectores utilizados para acoplar os motores à PCI desenvolvida.	42
Figura 3.13 – Representação no ISIS do TB6612FNG utilizado na PCI desenvolvida.	42
Figura 3.14 – Layout final da PCI produzidas em laboratório pela equipe Rodetas.	43
Figura 3.15 – Estrutura dos robôs da equipe Rodetas para a competição de 2016.	44
Figura 4.1 – Robô desenvolvido pela equipe Rodetas no ano de 2016.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Características gerais de uma placa de Arduino NANO	25
Tabela 2.2 - Características dos canais e pinos do TB6612FNG	26
Tabela 3.1 – Protocolo de identificação para cada um dos robôs.....	34
Tabela 3.2 – Exemplo de mensagem enviada aos robôs	35
Tabela 3.3 – Conversão dos caracteres para os seus correspondentes inteiros na tabela ASCII	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivo	15
1.2	Justificativa.....	15
1.3	Estrutura do trabalho	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	A competição: LARC/CBR	17
2.2	A categoria <i>IEEE Very Small Size</i>	17
2.3	Regras da categoria <i>IEEE Very Small Size</i>	18
2.3.1	Dos jogadores	18
2.3.2	Da Partida	19
2.3.3	Do Campo e Bola	21
2.4	Outras competições de futebol de robôs.....	22
2.5	Sistemas embarcados	23
2.5.1	Introdução ao Arduino.....	23
2.5.2	<i>Driver</i> para motores TB6612FNG.....	25
2.6	Comunicação sem fio	27
2.6.1	Módulo XBee	27
2.7	Fresadora CNC	28
3	DESENVOLVIMENTO.....	30
3.1	A equipe RODETAS	30
3.1.1	Conquistas	30
3.1.2	Divisão dos trabalhos.....	31
3.2	Sistema de alimentação e locomoção dos robôs.....	32
3.2.1	Bateria Li-poly.....	32

3.2.2	Micro Metal Gearmotor HP 75:1 Pololu	33
3.2.3	Rodas 42x19mm Pololu.....	33
3.3	Algoritmo Embarcado	34
3.3.1	Mensagem padrão enviada aos robôs	34
3.3.2	Recepção dos dados.....	36
3.3.3	Validação da mensagem recebida.....	37
3.3.4	Execução das táticas	38
3.4	Construção do <i>Hardware</i>	39
3.4.1	Desenvolvimento do circuito eletrônico.....	40
3.4.2	Produção das PCIs	43
3.5	Estrutura desenvolvida para os robôs	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
5	CONCLUSÃO.....	47
	REFERÊNCIAS.....	48
	ANEXOS.....	50
	APÊNDICES	54

1 INTRODUÇÃO

O futebol de robôs, assim como qualquer outra atividade extracurricular, proporciona aos discentes que dela participam aprimorar os conhecimentos adquiridos em sala de aula. Também promove a oportunidade “...evidente de conhecimento, a capacidade de processar e selecionar informações, a criatividade, a iniciativa, habilidades cognitivas, a capacidade de adaptação a situação novas e o trabalho em equipe” (ZAINAGHI; AKAMINE; BREMER, 2001) além do fato que trabalhar com algo multidisciplinar exigindo correlacionar diferentes assuntos em prol da concepção e construção de um projeto são característica muito importante para um engenheiro em formação.

Em conformidade com Kim et al. (1997), a implementação de inteligência humana em robôs é um desafio desde quando pesquisadores começaram a desenvolver esse tipo de tecnologia. Ainda de acordo Kim et al. (1997), para encorajar a pesquisa sobre sistemas contendo vários robôs e sobre inteligência artificial foi organizado em 1996 o primeiro jogo de futebol de robôs na Coreia do Sul.

Construir robôs capazes de disputar uma partida de futebol, de tomar decisões em tempo real e que possuam inteligência artificial de acordo com Novak e Springer (2004) é uma área multidisciplinar que combina percepção, tomada de decisões de forma dinâmica e comunicação entre o sistema dos robôs e um subsistema de controle de movimento.

Segundo Kim et al. (1997) um jogo de futebol de robôs é uma complexa aplicação que envolve processamento de imagem em tempo real, controle dos robôs, autonomia, 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.

Um robô autônomo pode ser definido em concordância com Ferreira Filho (2013), como uma máquina capaz de perceber as condições do ambiente a sua volta e, após a análise desse local, tomar decisões sem que haja intervenção humana. Desta forma, um robô capaz de jogar futebol compreende o ambiente que ele está inserido por meio de uma câmera posicionada acima do campo onde acontecem as partidas e, em conjunto com a central de comando (computador), toma decisões em tempo real sem a intervenção humana.

O trabalho aborda os principais aspectos que constituem os robôs autônomos desenvolvidos 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* realizada na cidade de Recife, Estado de Pernambuco, no ano de 2016, bem como a equipe se organiza para que o trabalho seja de excelência e qualidade.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é estudar, planejar e produzir um time de robôs autônomos capaz de participar da *Latin American Robotic Competition (LARC)* e Competição Brasileira de Robótica (CBR) categoria *IEEE Very Small Size*, bem como relatar os principais aspectos que compõem os robôs desenvolvidos durante o ano de 2016 pela equipe Rodetas Robô Clube.

1.2 Justificativa

As atividades extracurriculares são de suma importância para complementar o aprendizado adquirido em sala de aula. Assim, a equipe Rodetas proporciona a oportunidade para alunos que participam desde a idealização e a concepção dos robôs até o seu efetivo funcionamento disputando partidas em competições, de aplicar esses conhecimentos multidisciplinares de robótica, programação, eletrônica, estrutura de matérias, entre outros, em uma situação real e palpável.

Logo, o registro dessas atividades em uma obra científica é importante, tanto para incentivar a continuidade da equipe quanto para registro oficial do trabalho desenvolvido durante o ano de 2016.

1.3 Estrutura do trabalho

O presente trabalho foi dividido em 5 capítulos.

No Capítulo 1 apresenta-se uma breve contextualização acerca 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 na qual a equipe Rodetas participa, os principais conceitos e aplicações de sistemas embarcados e comunicação sem fio, elucida os componentes eletrônicos utilizados pela equipe na construção dos robôs e ainda, apresenta o equipamento utilizado na produção dos circuitos eletrônicos da equipe.

No Capítulo 3 aborda-se os principais aspectos que compõe os robôs da equipe RODETAS construídos no decorrer de 2016 como o algoritmo embarcado que possibilita a movimentação dos robôs, a constituição do *hardware* e como ele foi produzido, como a estrutura física foi projetada e como os robôs foram montados, além de citar um breve histórico sobre a equipe.

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

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

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresenta-se uma breve introdução sobre a competição, a categoria disputada pela equipe RODETAS, as regras que regem as partidas disputadas pela liga *IEEE Very Small Size* e aborda outras categorias de futebol de robôs. Além disto, expõe o conceito de sistemas embarcados abordando alguns dos componentes eletrônicos utilizados pela equipe na construção dos robôs, o módulo utilizado na comunicação entre os robôs e o computador e elucida a máquina de Comando Numérico Computadorizado ou CNC utilizada na fabricação das Placas de Circuito Impresso (PCIs) da equipe.

2.1 A competição: LARC/CBR

A *Latin American Robotics Competition* (LARC) ou em português Competição Latino Americana de Robótica e a Competição Brasileira de Robótica (CBR) são organizadas todos os anos por instituições de toda a América Latina e são promovidas por sociedades como *IEEE Robotics & Automation Society*, Sociedade Brasileira de Automática (SBA), *Robocup* e Sociedade Brasileira de Computação (SBC) e ganha cada vez mais credibilidade todos os anos no âmbito da robótica e automação. Esse evento reúne discentes e docentes de toda a América Latina e, de acordo com CBROBOTICA (2016), englobam diversos desafios envolvendo robôs autônomos como: futebol; serviços domésticos; resgate; dança; e processos logísticos.

2.2 A categoria *IEEE Very Small Size*

A categoria de futebol de robôs *IEEE Very Small Size* (VSS) “consiste na construção de robôs capazes de disputar uma partida de futebol sem nenhuma intervenção humana e controlados remotamente por um computador ou usando um processamento embarcado” (PINTO et al., 2016). De acordo com as regras é permitido a cada robô ter no máximo 75x75x75mm de tamanho. Em uma partida, dois times de três robôs cada, disputam o jogo (IEEE, 2008).

“Duas câmeras são posicionadas acima de um campo de futebol com dimensões estabelecidas pela regra oficial” (IEEE, 2008). Elas são responsáveis pela “visão” do robô e por toda a imagem que será processada em tempo real. O sistema de visão deve ser desenvolvido pela equipe e, de acordo com Novak e Springer (2004), é a base para o processo de tomada de decisão e planejamento de trajetória dos robôs. Assim, um computador processa as imagens da

câmera e envia os comandos para os robôs, de acordo com as estratégias pré-programadas de cada equipe.

Para a identificação dos robôs pela câmera e, conseqüentemente pelo computador, são utilizados padrões de cores no topo de cada jogador como representado na Figura 2.1, que também exemplifica como uma partida é disputada nessa categoria.

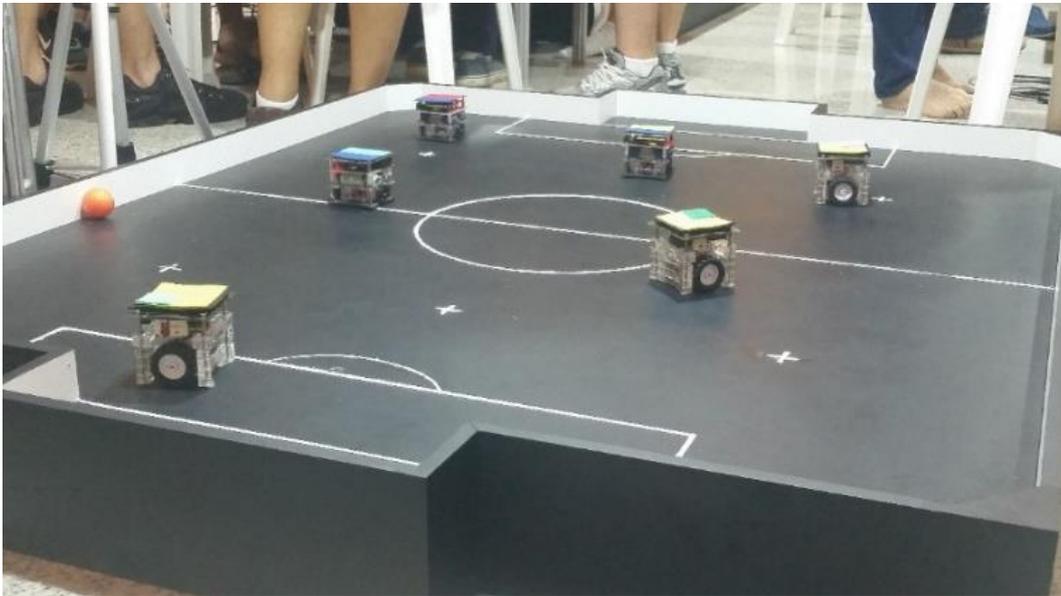


Figura 2.1 - Foto tirada durante uma partida da equipe Rodetas.

2.3 Regras da categoria *IEEE Very Small Size*

Como em qualquer competição ou jogo é necessário que sejam estabelecidas regras que englobem as diversas situações que podem ocorrer durante uma partida de futebol de robôs. O tempo da partida, quantidade de jogadores e tamanho dos jogadores são particularidades da categoria que são previstas por IEEE (2008).

“As regras que regem as partidas da VSS são baseadas na categoria de futebol de robôs da FIRA® a MIROSOT” (IEEE, 2008). A seguir o resumo do regulamento para a realização da competição.

2.3.1 Dos jogadores

A partida é disputada por dois times, cada um contendo três robôs. De acordo com Ferreira Filho (2013) cada robô pode dispor de braços, pernas ou dispositivos de chute desde que não ultrapasse o tamanho limitado de 75x75x75mm. Um desenho esquemático da partida é representado na Figura 2.2.

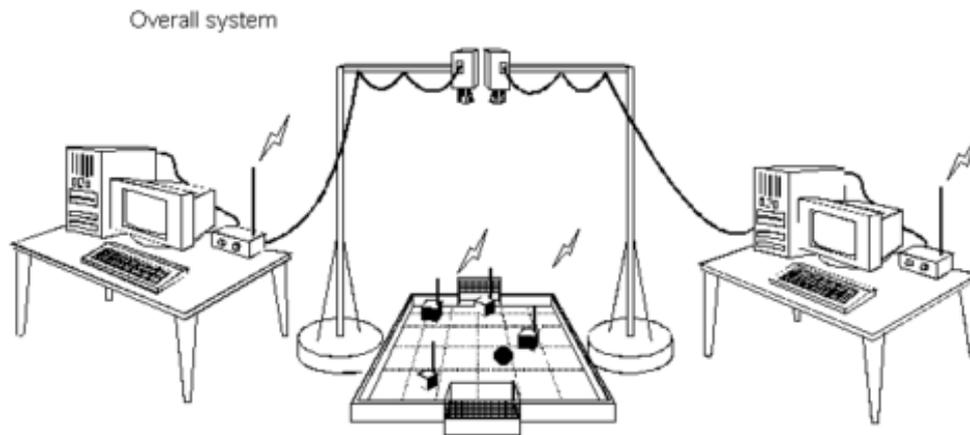


Figura 2.2 – Desenho esquemático de uma partida de futebol de robôs.
Fonte: IEEE (2008)

A parte superior de cada robô é reservada para a identificação dos times e dos próprios robôs, podendo conter no máximo duas cores diferentes do preto, desde que essas cores não sejam laranja, branco ou cinza. Obrigatoriamente uma dessas cores deve ser o azul ou o amarelo, elas identificam cada um dos times e são estabelecidas no início de cada partida a critério do árbitro. “Elas poderão dispor de qualquer formato, desde que tenham no mínimo 35mm de largura no caso de um quadrado e 40mm de diâmetro no caso de um círculo” (IEEE, 2008).

Em concordância com IEEE (2008), cada robô deve ser totalmente autônomo, com sistemas de alimentação, locomoção e comando autossuficientes, a interação só pode ocorrer entre a comunicação *wireless* dos robôs e o centro de comando ou computador.

Durante a partida não é permitido controlar diretamente 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.

2.3.2 Da Partida

Segundo IEEE (2008) dois tempos corridos de 5 minutos cada definem a duração total da partida, acrescido de um intervalo de 10 minutos entre esses dois tempos. Cada time também tem direito a dois tempos de 2 minutos que podem ser solicitados a qualquer instante da partida, cabendo ao critério do árbitro o momento de concedê-los.

Existem algumas situações previstas por IEEE (2008) durante a partida que são passíveis de paralização e, como consequência, o reposicionamento dos robôs e/ou penalizações, sendo elas:

- *Penalty-Kick* (PK): Ocorre quando a bola permanece dentro da área de defesa por mais de 10 segundos e o goleiro é incapaz de tira-la, quando a equipe defende com mais de um robô dentro da área do gol e quando qualquer membro humano toca em um dos robôs sem a autorização do árbitro;
- *Free Kick* (FK): Ocorre quando um robô empurra o outro do time adversário;
- *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 time adversário ao mesmo tempo, quando um robô oponente bloqueia a passagem do goleiro na área do gol e quando um impasse ocorre na área do gol durante 10 segundos;
- *Free-Ball* (FB): Ocorre quando a bola fica parada por mais de 10 segundos fora das áreas do gol.

Todas as situações acima citadas são representadas na Figura 2.3.

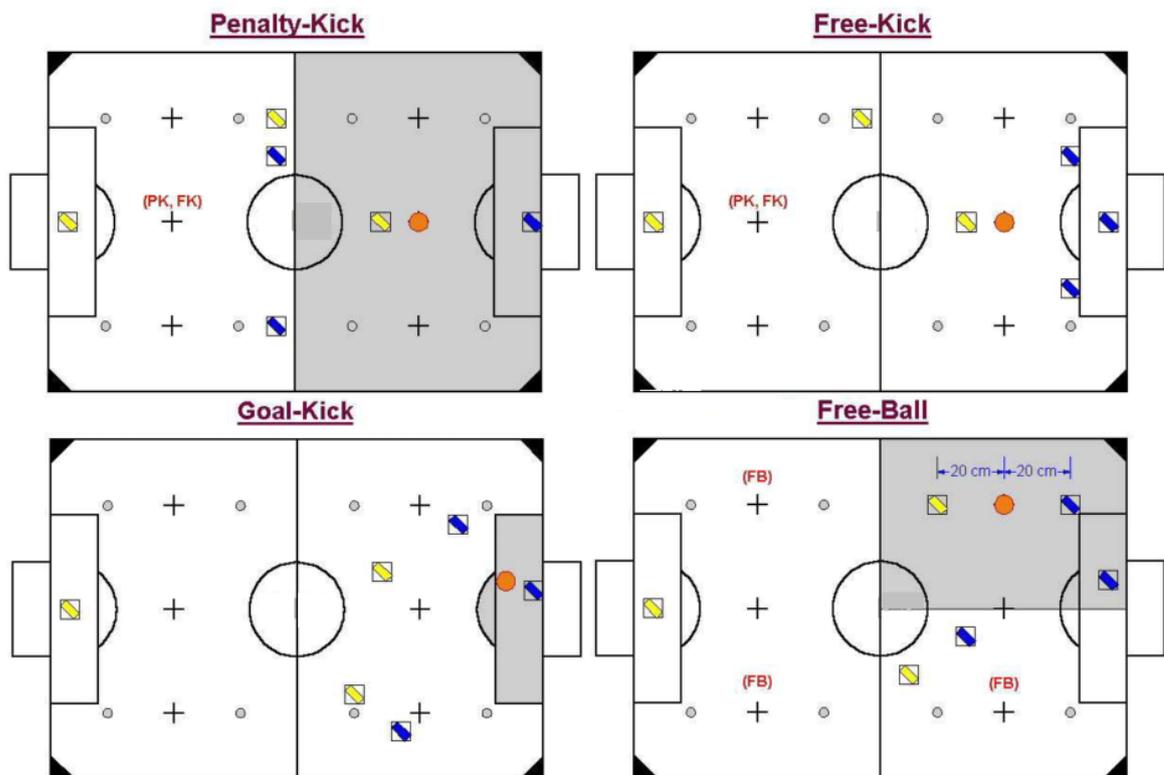


Figura 2.3 - Posicionamento dos robôs de acordo com as paralizações do jogo.
Fonte: IEEE (2008)

O ganhador da partida é definido pelo do número de gols marcados, ou seja, o time que conseguir marcar o maior número de gols é o vencedor. Em caso de empate, mais 3 minutos de prorrogação serão disputados, se, ainda assim, o jogo permanecer empatado, o vencedor será definido por meio do *Penalty-Kick*.

2.3.3 Do Campo e Bola

O campo é a estrutura onde as partidas ocorrem. De acordo com IEEE (2008), ele deverá ser preto, não reflexível, de madeira retangular com 150cm de largura e 130cm de comprimento, 5cm de altura e 2,5cm de espessura nas paredes das laterais.

O campo deverá, ainda, possuir marcações que delimitem o seu centro, as áreas de ataque e defesa, as áreas dos gols e seis marcas brancas para designar os pontos onde serão cobrados os *Free Kick* (FK), os *freeball* (FB) e o *Penalty-Kick* (PK). Todas as dimensões e marcações citadas que são exigidas para a realização das partidas de futebol de robôs da categoria IEEE *Very Small Size* são representadas na Figura 2.4.

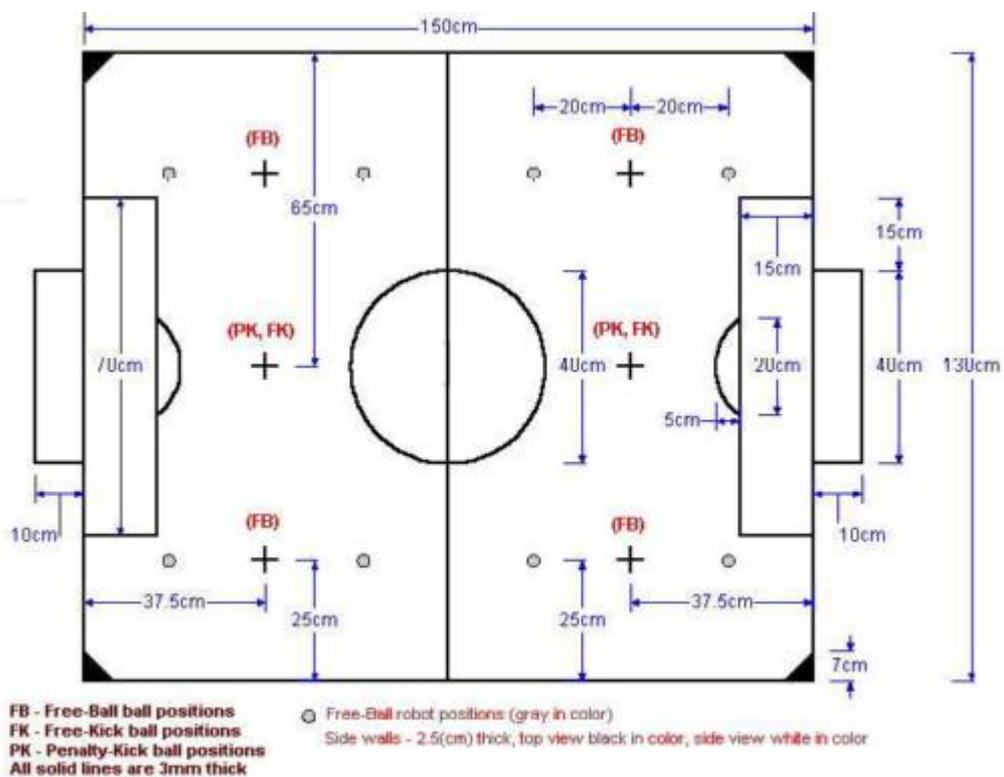


Figura 2.4 - Dimensões do Campo onde ocorrem as partidas.

Fonte: IEEE (2008)

“A bola deverá ser de golfe e na cor laranja, com 42,7mm de diâmetro e 46g de peso” (IEEE, 2008). É permitido ao robô possuir um chanfro que tenha o objetivo de conduzir a bola, desde que a profundidade final dele não compreenda mais que 30% do diâmetro da bola, assim como representado na Figura 2.5.

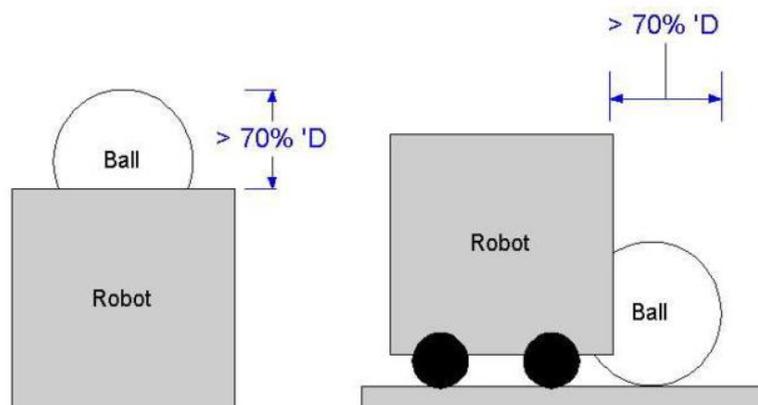


Figura 2.5 - Profundidade máxima permitida para o chanfro dos robôs.
Fonte: IEEE (2008)

2.4 Outras competições de futebol de robôs

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

- RoboCup *Small-Size* (F180): Nessa categoria 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, 2016). Possui os mesmos princípios da *VSS*, com a exceção de que o processamento de imagem da F180 é fornecido pela organização.
- RoboCup *Simulation 2D*: Nessa 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, 2016);
- RoboCup *Simulation 3D*: Essa categoria aumenta o realismo do ambiente de simulação adicionando uma dimensão extra e uma física mais complexa. 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, 2016).

- RoboCup *Humanoid League*: Nessa categoria robôs autônomos com a aparência e sentidos parecidos com o corpo humano disputam uma partida de futebol. De acordo com CBROBOTICA (2016), 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.

2.5 Sistemas embarcados

“Colocar capacidade computacional dentro de um circuito integrado, equipamento ou sistema, esta é uma definição para o que é um sistema embarcado” (CUNHA, 2007). É um sistema completo e autônomo, mas capaz de realizar apenas uma atividade pré-determinada.

“O microcontrolador ou microprocessador é o ‘cérebro’ do sistema embutido, ele é encarregado de executar processos lógicos e operações matemáticas por meio da sua Unidade Lógica Aritmética (ULA)” (TORGA, 2016), ele processa sinais de entradas e envia comandos para atuadores nas saídas interpretando o algoritmo nele contido. Existem uma infinidade de microcontroladores disponíveis no mercado, cabendo ao usuário escolher qual o melhor para a aplicação desejada, qual possui o menor custo e o melhor desempenho.

Em conformidade com Cunha (2007), os sistemas embarcados possuem diversas aplicações como: sistemas de controle em malha fechada com realimentação em tempo real; processamento de um grande volume de informações em um curto espaço de tempo; e sistemas de comunicação e redes.

2.5.1 Introdução ao Arduino

“O Arduino, em um modo geral, é uma placa microcontrolada de código aberto que conta com um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE)” (TORGA, 2016). Essa plataforma foi desenvolvida com o objetivo de facilitar o desenvolvimento de sistemas eletrônicos e pode ser utilizada em diversas aplicações em que se faz necessário sistemas embarcados de baixo custo e de fácil programação.

Conforme Torga (2016), com o *hardware* é possível receber informações de dispositivos de entrada como sensores e chaves 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++.

“A maior vantagem do Arduino sobre outras plataformas de desenvolvimento de microcontroladores é a facilidade de sua utilização, pessoas que não são da área técnica podem, rapidamente, aprender o básico e criar seus próprios projetos em um intervalo de tempo relativamente curto.”(MCROBERTS, 2011).

“Existem diversos modelos de plataformas Arduino: NANO, MEGA, DUE, UNO entre outros, nos quais as principais diferenças entre eles são: a capacidade de processamento, o tamanho do *hardware*, a memória, a quantidade de entradas e saídas” (TORGA, 2016).

2.5.1.1 Arduino NANO

O Arduino NANO (Figura 2.6), *hardware* utilizado na construção dos robôs da equipe Rodetas, “...é baseado no microcontrolador ATmega328 e é uma placa compacta, completa, de fácil manipulação e alta performance.” (ARDUINO, 2016).



Figura 2.6 – Arduino NANO V3.1.
Fonte: ARDUINO (2016)

De acordo com Arduino (2016), essa plataforma pode ser alimentada pela conexão Mini-B USB ou uma fonte externa de 6 a 12V no pino 30.

“O Arduino NANO possui quatorze pinos digitais que podem ser utilizados tanto como entrada como saída, basta utilizar as funções ‘pinMode()’, ‘digitalWrite()’ e ‘digitalRead()’ no algoritmo desenvolvido por meio da IDE” (ARDUINO, 2016). Todos os pinos digitais operam a 5V, fornecem ou recebem uma corrente máxima de 40mA e, ainda, possuem resistores de *pull-up* de 20 a 50kOhms.

De acordo com Arduino (2016) alguns dos pinos ainda possuem funções especializadas como: o Pino 0 (RX) e o Pino 1 (TX) podem ser utilizados para transmitir (TX) e receber (RX) dados seriais; Pino 2 e 3 podem ser utilizados como pinos de interrupções externas; os Pinos 3, 5, 6,

9, 10, e 11 podem fornecer uma saída PWM de 8 *bits*, utilizada pela equipe Rodetas para variar a velocidade dos motores de corrente contínua; e os Pinos 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK) suportam comunicação SPI.

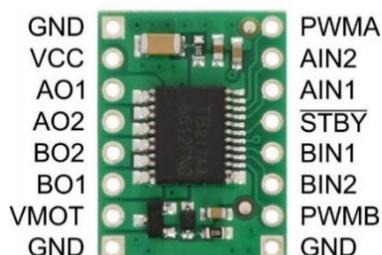
Ainda em concordância com Arduino (2016), a plataforma possui oito entradas analógicas que fornecem uma resolução de 10 *bits* (1024 valores diferentes) que se dividem entre uma faixa de operação de 0 a 5V. Na Tabela 2.1, apresenta-se as características gerais que um Arduino NANO possui retiradas de Arduino (2016).

Tabela 2.1 – Características gerais de uma placa de Arduino NANO.

Microcontrolador	Atmega328
Tensão de operação	5V
Tensão de Alimentação (recomendada)	7 - 12V
Tensão de Alimentação (limites)	6 – 20V
Pinos digitais de I/O	22 dos quais 6 podem ser saídas PWM
Pinos de entrada analógica	8
Corrente Contínua por Pino de I/O	40mA
Memória <i>Flash</i>	32KB dos quais 2KB são usados para o <i>bootloader</i>
SRAM	2KB
EEPROM	1KB
Frequência de <i>Clock</i>	16MHz

2.5.2 *Driver* para motores TB6612FNG

O TB6612FNG é um circuito integrado (CI) que possibilita o controle da direção de até dois motores pequenos de corrente contínua e realiza a interface entre os motores e o microcontrolador. Segundo Pololu Robotics & Electronic © (2017) os MOSFET com base em pontes H são muito mais eficientes que os BJT usados em outros drivers como o L298N ou o LB1836M da Sanyo, permitindo a entrega de mais corrente para os motores e menos corrente a ser drenada da fonte de alimentação. Na Figura 2.7 representa-se uma imagem do driver abordado e utilizado nos robôs da equipe Rodetas.



**Figura 2.7 - Driver para motores TB6612FNG da fabricante TOSHIBA.
Fonte: POLOLU ROBOTICS&ELECTRONIC © (2017)**

Cada um dos dois canais (A e B) para motor possui dois pinos de controle de direção e um pino de controle de velocidade que aceita uma entrada de PWM de até 100kHz, permitindo a sua aplicação em sistemas onde a velocidade deve variar de acordo com cada situação. Em conformidade com Toshiba (2008) o driver possui uma ampla faixa de operação para a saída de alimentação dos motores, podendo variar entre 4,5V e 13,5V. A alimentação do CI deve ocorrer entre 2,7V e 5,5V, sendo que a corrente de pico na saída pode alcançar até 3A por canal. Na Tabela 2.2 apresenta-se as características dos canais e pinos do driver.

Tabela 2.2 - Características dos canais e pinos do TB6612FNG.

Numeração do Pino	Nome do Pino	I/O	Função
1	GND	-	Ground (Terra)
2	VCC	-	Alimentação do CI (2,7V ~ 5,5V)
3	AO1	O	Saída para motor canal A
4	AO2	O	
5	BO2	O	Saída para motor canal B
6	BO1	O	
7	VMOT	-	Alimentação dos motores (4,5V ~ 13,5V)
8	GND	-	Ground (Terra)
9	GND	-	Ground (Terra)
10	PWMB	I	Entrada PWM do canal B
11	BIN2	I	Pinos digitais de entrada do canal B, estabelecem a direção dos motores
12	BIN1	I	
13	STBY	I	Pino digital
14	AIN1	I	Pinos digitais de entrada do canal A, estabelecem a direção dos motores
15	AIN2	I	
16	PWMA	I	Entrada PWM do canal A

Fonte: TOSHIBA (2008)

2.6 Comunicação sem fio

“A rede sem fio baseia-se no estabelecimento da comunicação por meio do ar utilizando como meio de transporte o espaço” (NENOKI, 2013) e se faz necessária em várias aplicações de engenharia atualmente, “... na maior parte delas esta tecnologia é aplicada para garantir maior comodidade, portabilidade e segurança” (FERREIRA FILHO, 2013). Além disso, permitem a maior mobilidade do sistema, visto que existem aplicações em que é inviável o uso de fios e cabos como no futebol de robôs.

No tópico a seguir a tecnologia *wireless* utilizada pela equipe para estabelecer a comunicação entre os robôs e a central de comando (computador) que permite toda a mobilidade dos jogadores é abordada. Esse módulo viabiliza transmitir dados como velocidade e direção dos motores para os robôs, interpretados pelo algoritmo embarcado no Arduino e executados pelos motores.

2.6.1 Módulo XBee

O XBee é um módulo de rádio frequência que utiliza o padrão de comunicação sem fio ZigBee que, de acordo com Ferreira Filho (2013), é um padrão cuja principal característica é o baixo consumo de energia e o pequeno alcance. Utiliza a norma IEEE 802.15.4, é fruto da empresa Zigbee Alliance e o módulo mais conhecido chama-se XBee.

Estes módulos podem formar redes para gerenciamento e aquisição de dados de diversos dispositivos inclusos nela. Em concordância com Ferreira Filho (2013), cada XBee irá desempenhar uma função dentro da rede, sendo elas: coordenador, responsável por reconhecer todos os outros dispositivos e por designar seus respectivos endereços na rede; roteador, pode ser utilizado para ampliar o alcance da rede; e dispositivo final, comando de atuadores ou coleta de dados de sensores.

Em conformidade com Digi Internatinal Inc. (2009) as especificações básicas do módulo XBee são: alcance de até 30m em uma área fechada; faixa de operação da entre 2,8 e 3,4V; corrente de transmissão típica de 50mA; frequência de operação ISM 2,4GHz; temperatura de operação entre -40 a 85°C; e, para assegurar a transmissão correta e completa dos dados, o módulo ainda oferece opções de diferentes canais e identificadores configuráveis para cada rede formada pelos dispositivos. O módulo em questão está representado na Figura 2.8.



Figura 2.8 – Módulo XBee.
Fonte: FERREIRA FILHO (2013)

2.7 Fresadora CNC

O Comando Numérico Computadorizado ou CNC é um controlador numérico que viabiliza o controle de máquinas e é utilizado, sobretudo em empresas de usinagem. Permite o controle simultâneo de vários eixos, por intermédio de uma lista de movimentos descritos em um código dito “Código G”. As vantagens da CNC incluem a alta produtividade devido a agilidade na execução do processo, o acabamento refinado, a precisão e a segurança. Pode ser utilizada em infinitas aplicações, mas para o seguinte projeto ela é utilizada para a confecção das PCIs da equipe Rodetas.

De acordo com Gonçalves e Leal (2006), a CNC é composta fundamentalmente por três unidades: a central de comando, onde todos os cálculos do sistema são realizados e onde o *software* está armazenado; a máquina propriamente dita, composta pela estrutura e cadeia cinemática; e os acionamentos ou servomecanismos responsáveis pelos movimentos dos eixos.

O código G é uma sequência de comandos contendo coordenadas cartesianas em X, Y e Z que a CNC deverá efetuar para confeccionar as trilhas e furos contidos no projeto da PCI. Além disso, ele compreende a ordem de execução dos comandos, a velocidade de avanço e de mergulho da máquina, dentre outros dados.

A fresadora CNC utilizada para produzir as PCIs é produzida pela empresa ISB Indústria e Comércio Ltda. (2013) e possui as seguintes especificações de acordo com a fabricante: área de usinagem de XY de 400mm x 500mm; deslocamento vertical máximo da ferramenta de corte Z de 150mm; velocidade de rotação do motor de corte programável entre 500 a 18000 RPM; os motores de movimentação são motores de passo ou servo-motores; precisão de 0.02mm/m

em X, Y e Z e, ainda, possui o adicional de um quarto eixo. Na Figura 2.9 a CNC está executando o projeto das PCIs da equipe Rodetas.

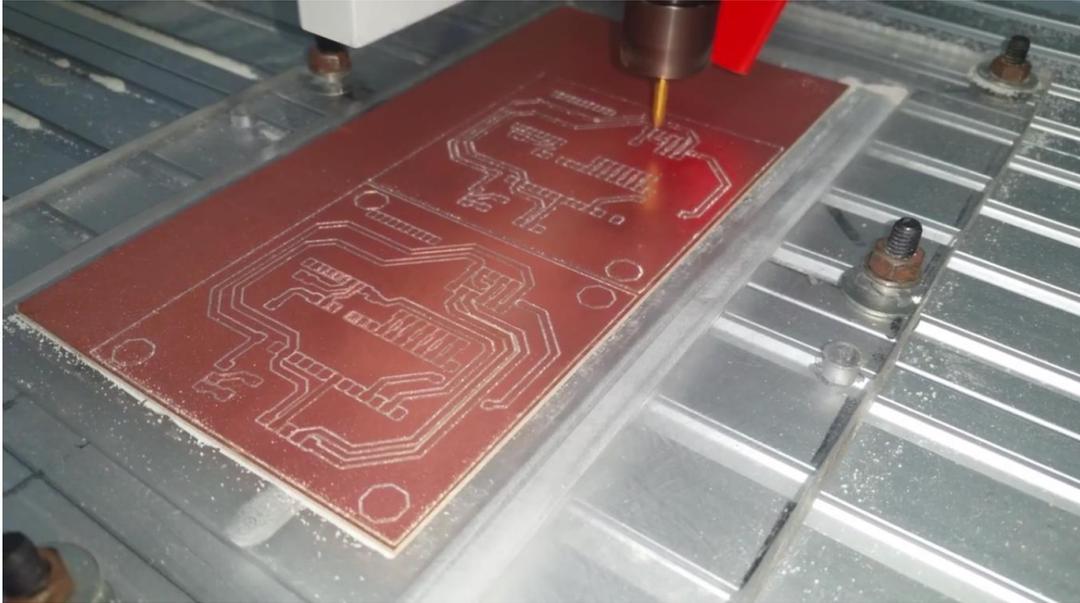


Figura 2.9 – Produção das PCI da equipe Rodetas na CNC.

3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo aborda-se os principais aspectos que compõe os robôs da equipe RODETAS construídos no decorrer de 2016 como o algoritmo embarcado que possibilita a movimentação dos robôs, a constituição do *hardware* e como ele foi produzido, como a estrutura física foi projetada e como os robôs foram montados, além de citar um breve histórico sobre a equipe.

3.1 A equipe RODETAS

A equipe de Futebol de Robôs RODETAS Robô Clube foi criada em 2011. Foi uma iniciativa da Professora Dra. Karla Boaventura Pimenta Palmieri do Departamento de Controle e Automação e Técnicas Fundamentais da Universidade Federal de Ouro Preto e de alguns alunos do curso de Controle e Automação da Escola de Minas, que ingressaram na Universidade no primeiro semestre de 2011 e realiza as suas atividades, desde então, no Laboratório de Tecnologias Industriais da Escola de Minas.

3.1.1 Conquistas

A primeira participação da equipe foi em 2012 na cidade de Fortaleza (Ceará) na XI *Latin American Robotic Competition* (LARC), onde conquistou o segundo lugar na competição na categoria *IEEE Very Small Size*. Na Figura 3.1 representa-se o troféu recebido pela equipe em 2012.



Figura 3.1 – Troféu conquistado pela equipe RODETAS na LARC 2012.

Já em 2013 a equipe participou da XII LARC que foi realizada na cidade de Arequipa localizada no Peru, onde se consagrou campeã Latino Americana da categoria *IEEE Very Small Size*. Na Figura 3.2 representa-se o troféu conquistado pela equipe em 2013.



Figura 3.2 – Troféu conquistado pela equipe RODETAS na LARC 2013.

Apesar de ter participado de todas as competições subsequentes nos anos de 2014, realizada na cidade de São Carlos (SP) e 2015, realizada na cidade de Uberlândia (MG) a equipe RODETAS não conseguiu alcançar nenhum dos três primeiros lugares, mas adquiriu novos conhecimentos e experiência, para enfrentar os próximos desafios.

3.1.2 Divisão dos trabalhos

A equipe adota um regime de divisão das atividades onde é necessário que cada membro seja responsável por alguma parte do trabalho, assim a produção dos robôs flui de modo relativamente rápido e com alta qualidade. Logo, a equipe é subdividida da seguinte forma:

- Organização e administração: Lida com processos burocráticos, como patrocínios, realização da inscrição da equipe nas competições e divulgação da equipe na mídia e, ainda, administra os recursos financeiros e a compra de materiais para a construção dos robôs.
- Eletrônica: Confecção e concepção do projeto de PCI (Placas de Circuito Impresso), desenvolvimento de novas tecnologias, estudo de novos componentes eletrônicos, soldagem de componentes;

- Programação: Desenvolve e aperfeiçoa todos os algoritmos que são necessários para que o futebol de robôs aconteça: os códigos embarcados, o processamento da imagem captada pela câmera, estratégias de jogo, movimentação dos robôs;
- Estrutura: Concepção e confecção detalhada de toda a estrutura física dos robôs, desenvolvendo em *softwares* especializados modelagens das estruturas em 3D e estudo de materiais que serão utilizados na produção dos robôs.

3.2 Sistema de alimentação e locomoção dos robôs

O sistema de alimentação é o que dará autonomia para cada um dos robôs, ele irá alimentar todo o circuito eletrônico que compõe os jogadores. Já o sistema de locomoção é o que permite aos robôs realizarem os movimentos pré-programados pela equipe de forma correta e é composto pelos Micromotores e pelas rodas. Cada um dos dois sistemas é peça chave para que os robôs funcionem corretamente, assim como os demais componentes que serão abordados posteriormente.

3.2.1 Bateria Li-poly

Para que os robôs tenham autonomia é necessário que cada um possua uma bateria capaz de alimentar todo o circuito eletrônico durante as partidas. A bateria escolhida para sustentar esse sistema é representada na Figura 3.3, ela é constituída de duas células de Polímero de Lítio (LiPo) de 7,4V cada uma, possui uma capacidade de carga de 1000mAh, pesa 60g e possui 52x30x19mm de dimensões.



Figura 3.3 – Bateria utilizada na alimentação dos robôs de equipe Rodetas.

3.2.2 Micro Metal Gearmotor HP 75:1 Pololu

O motor utilizado no sistema de locomoção dos robôs da Equipe são dois *Gearmotors* de corrente contínua HP (*high-power*). De acordo com a fabricante Pololu Robotics & Electronic © (2017) esse motor possui uma caixa de redução de 75,81:1 e as seguintes especificações: alimentação de 6V; peso de 9,5g; e quando livre de carga e alimentado a uma tensão de 6V uma rotação de até 400rpm. O motor explicitado é representado pela Figura 3.4.



**Figura 3.4 - Micro Metal Gearmotor HP utilizado no sistema de movimentação dos robôs.
Fonte: POLOLU ROBOTICS & ELECTRONIC © (2017)**

Este motor possui pequenas dimensões e uma alta performance, tornando-o perfeito para aplicações como o futebol de robôs, que necessitam de motores que respondam com agilidade a estímulos externos e que, ao mesmo tempo, possuam um elevado torque.

3.2.3 Rodas 42x19mm Pololu

As rodas representadas na Figura 3.5 são comercializadas pela empresa Pololu e são produzidas em plástico e borracha. Possuem 42mm de diâmetro e 19mm de largura e foram adotadas por causa de sua aparente robustez e por aumentam substancialmente o atrito dos robôs com a superfície do campo, fazendo com que eles deslizem menos durante as partidas.



**Figura 3.5 – Rodas utilizadas no sistema de locomoção dos robôs da equipe RODETAS em 2016.
Fonte: POLOLU ROBOTICS & ELECTRONIC © (2017)**

3.3 Algoritmo Embarcado

O algoritmo embarcado é aquele que se encontra dentro do microcontrolador e, conseqüentemente, possui os comandos que permitem a movimentação dos robôs.

Ele foi desenvolvido em um ambiente intitulado *Integrated Development Environment* (IDE) na linguagem de programação C. Este ambiente viabiliza o desenvolvimento do código, a compilação e o *upload* do algoritmo desenvolvido para o ARDUINO.

O código desenvolvido pela equipe e que fica embarcado nos robôs é composto por três seções: recepção dos dados obtidos pelo servidor responsável por processar as imagens e selecionar qual a estratégia será executada de acordo com o posicionamento dos robôs e da bola; validação da mensagem recebida como forma de assegurar que a mensagem está inteira e que não são dados de outras equipes que utilizam o mesmo sistema de comunicação; e execução das táticas resultando na movimentação dos robôs.

Todas essas etapas em conjunto tem o objetivo de decifrar e interpretar corretamente cerca de trinta mensagens enviadas por segundo que possuem um mesmo padrão e executar os comandos contidos nessa mensagem de forma precisa, possibilitando uma maior chance de gol.

3.3.1 Mensagem padrão enviada aos robôs

Cada um dos três robôs da equipe é utilizado para desempenhar uma determinada tarefa de acordo com o seu posicionamento em campo durante a partida e de acordo com a posição da bola, objetivando sempre fazer o maior número de gols possível. Para que cada um deles seja capaz de identificar qual a parte da mensagem lhe é destinada a equipe desenvolveu um protocolo simples que além de identificar cada um dos robôs, ainda contém outras informações que serão abordadas a seguir. Essa mensagem é representada pela Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Protocolo de identificação para cada um dos robôs .

{.....}	Robô2
(.....)	Robô1
[.....]	Robô0

A mensagem é um vetor de doze posições e é concebido da seguinte forma:

- 1º caractere: identifica para qual robô aquela mensagem está destinada, pode ser representado por chave “{”, parêntese “(” ou colchetes“[”;
- 2º caractere: identifica a direção em que cada robô deve realizar o movimento de acordo com a estratégia, podendo ser as letras “A”, “V”, “D”, “E” ou “P” que representam, respectivamente, ir para frente, para trás, para a direita, para a esquerda ou parar;
- 3º, 4º e 5º caracteres: representam o valor PWM enviado ao motor 2, esse valor pode variar de 0 (potência mínima) a 255 (potência máxima) cada caractere representa, respectivamente, a centena, dezena e unidade desse valor;
- 6º, 7º e 8º caracteres: representam o valor PWM enviado ao motor 1, esse valor pode variar de 0 (potência mínima) a 255 (potência máxima), cada caractere representa, respectivamente, a centena, dezena e unidade desse valor;
- 9º, 10º e 11º caracteres: representam o somatório dos valores dos 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 6º, 7º, 8º e 12º caracteres transformados individualmente por intermédio da tabela ASCII (ANEXO C). Cada caractere representa, respectivamente, a centena, dezena e unidade desse valor;
- 12º caractere: representa o final do vetor e indica que a mensagem chegou por inteiro ao destino, ou seja, a cada um dos robôs.

Na Tabela 3.2 ilustra-se um exemplo de como o vetor de caracteres é enviado aos robôs.

Tabela 3.2 – Exemplo de mensagem enviada aos robôs.

{	D	1	2	3	1	2	3	6	1	6	}
1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º	12º

Sendo assim, se os valores dos 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 6º, 7º, 8º e 12º caracteres do exemplo acima são representados na Tabela 3.3 por meio dos seus correspondentes na tabela ASCII, realizando uma soma algébrica são obtidos os 9º, 10º e 11º caracteres que serão utilizados na validação da mensagem.

Tabela 3.3 – Conversão dos caracteres para os seus correspondentes inteiros na tabela ASCII.

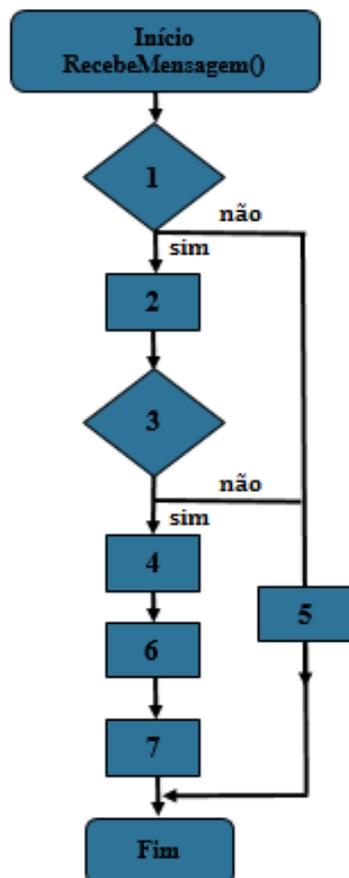
Caracteres	{	D	1	2	3	1	2	3	}	Soma
Correspondente Tabela ASCII	123	68	49	50	51	49	50	51	125	616

3.3.2 Recepção dos dados

Por meio do XBee o microcontrolador recebe cerca de trinta informações por segundo, ou seja, trinta mensagens que possuem as informações com o mesmo padrão apresentado na sessão 3.3.1 são recebidas, interpretadas e executadas pelos robôs a cada segundo durante as partidas.

Desta forma, existe uma função do tipo booleana dedicada somente ao recebimento das informações enviadas pelo servidor, ela retorna *false* caso não exista nenhuma informação sendo recebida ou se o caractere de identificação do robô não é o correspondente e retorna *true* se a mensagem for dedicada àquele robô.

No fluxograma mostrado na Figura 3.6 representa-se de forma sistemática e visual como o algoritmo para receber e processar as mensagens foi desenvolvido.



1. Se Número de caracteres recebidos na porta > 0 (zero);
2. Então lê caractere recebido na porta serial e armazena em uma variável do tipo char “C”;
3. Se $C ==$ caractere de identificação do robô - “{” para o Robô2, “(” para Robô1 e “[” para Robô0;
4. Então lê da porta serial dez caracteres e armazena em um *buffer*;
5. Senão *Return false*;
6. Transforma o *buffer* do tipo char em *string*;
7. *Return true*.

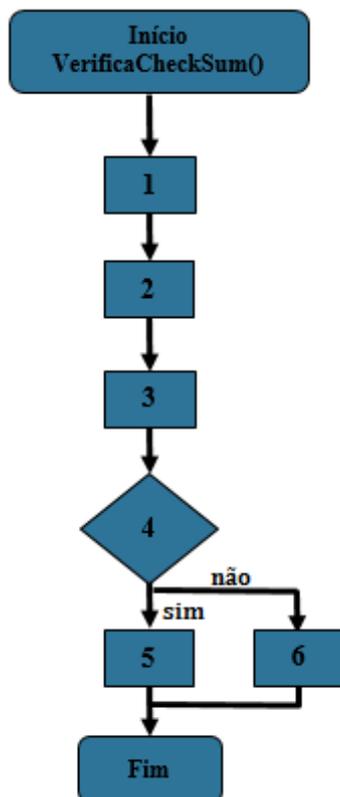
Figura 3.6 – Fluxograma do processo de recepção de mensagens

3.3.3 Validação da mensagem recebida

O XBee é um módulo muito comum, utilizado pela maioria das equipes em competições como a *IEEE Very Small Size*, embora cada equipe possa configurar a sua rede estabelecendo diversos parâmetros com o auxílio do programa XCTU, ainda não é assegurado que uma informação não interfira na outra, isso pode causar perda de dados e prejudicar o desempenho dos robôs.

O “*Checksum*” é um método simples e eficaz desenvolvido pela equipe definido por uma função do tipo booleana dedicada somente a verificar se a mensagem que o robô recebeu é de fato a enviada pelo servidor da equipe. Ele transforma os 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 6º, 7º, 8º e 12º caracteres individualmente em números inteiros de acordo com a tabela ASCII (ANEXO C) e realiza o somatório desses valores, se essa soma for igual ao número representado pelos 9º, 10º e 11º caracteres da mensagem ele retorna *true*, caso contrário ela retorna *false*, indicando que a mensagem ou está incompleta ou não é uma informação enviada pelo servidor da equipe.

No fluxograma mostrado na Figura 3.7 representa-se de forma sistemática e visual como o algoritmo para verificar a integridade e veracidade das mensagens foi desenvolvido.



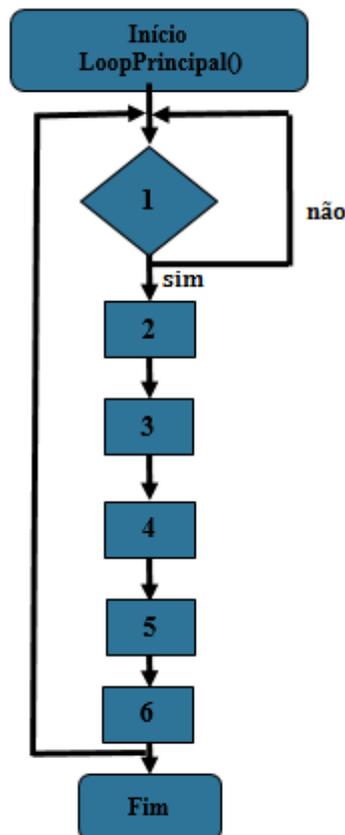
1. Armazena em uma variável do tipo *string* os 9º, 10º e 11º caracteres;
2. Transforma essa *string* em um valor inteiro e armazena em uma variável “A”;
3. Transforma os 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 6º, 7º, 8º e 12º caracteres individualmente em números inteiros de acordo com a tabela ASCII, realiza o somatório desses valores e armazena em uma variável “B”;
4. Se $A == B$;
5. Então *Return true*;
6. Senão *Return false*.

Figura 3.7 - Fluxograma do processo de validação de mensagens

3.3.4 Execução das táticas

Uma vez que a mensagem foi recebida pelo robô e a verificação da sua integridade foi constatada, o algoritmo dá início à interpretação dos dados recebidos na porta serial do ARDUINO. A mensagem é dividida em três valores, direção de movimentação dos robôs, representado pelo 2º caractere, PWM do motor 2, representado pelos 3º, 4º e 5º caracteres, e PWM do motor 1, representado pelos 6º, 7º e 8º caracteres. Com os dados devidamente separados, eles são enviados para a Ponte H e, conseqüentemente, para os motores, resultando na movimentação dos robôs durante as partidas. O algoritmo embarcado desenvolvido pela equipe é representado parcialmente pelo APÊNDICE A, ilustrando como é feito o acionamento dos motores.

No fluxograma mostrado na Figura 3.8 representa-se de forma sistemática e visual como o algoritmo principal foi desenvolvido.



1. Se RecebeMensagem() && VerificaChecksum();
2. Então PWM do motor 2 é igual aos 3º, 4º e 5º caracteres da mensagem recebida e o PWM do motor 1 é igual aos 6º, 7º e 8º caracteres da mensagem recebida;
3. Transforma essas duas *strings* em números inteiros;
4. Envia esses dois valores de PWM para os seus respectivos motores;
5. Lê o 2º caractere da mensagem;
6. De acordo com o caractere lido, define-se a direção em que o robô realizará o movimento.

Figura 3.8 - Fluxograma do processo de execução dos movimentos

3.4 Construção do *Hardware*

“A PCI desenvolvida pelos integrantes da equipe Rodetas integra todos os componentes eletrônicos necessários ao funcionamento dos robôs em um único dispositivo de forma otimizada e compacta” (PINTO et al., 2016).

A elaboração do projeto da PCI foi desenvolvido no *software* PROTEUS, que, segundo Santos (2014), é uma ferramenta útil para estudantes e profissionais que desejam aperfeiçoar suas habilidades para o desenvolvimento de aplicações em sistemas eletrônicos e embarcados.

“Ele permite o desenho de circuito empregando um entorno gráfico no qual é possível colocar os símbolos representativos dos componentes e realizar a simulação de seu funcionamento sem risco de ocasionar danos aos circuitos.”
(SANTOS, 2014)

Este *software* é dividido em duas ferramentas de acordo com Santos (2014):

- ISIS – *Intelligent Schematic Input System* (Sistema de Entrada Esquemático Inteligente), ambiente onde é possível criar esquemas eletrônicos contendo diversos tipos de componentes e sistemas embarcados, além da execução de simulações e testes destes circuitos no próprio ambiente do PROTEUS;
- ARES – *Advanced routing and Editing Software* (Roteamento Avançado e Edição de *Software*), ambiente onde é possível transferir o esquema projetado no ISIS e criar *layouts* de circuitos impresso.

Ambos os ambientes foram utilizados no desenvolvimento do projeto das PCIs da equipe Rodetas, assim o projeto efetuado no ambiente do ISIS é representado no APÊNDICE B e o projeto efetuado no ambiente do ARES é representado no APÊNDICE C.

O APÊNDICE B é o projeto da placa contendo todas as ligações que o circuito eletrônico possui, bem como o nome de todos os componentes que a PCI da equipe integra, somente por meio dela é possível criar os projetos no ARES representados no APÊNDICE C, que constituem, respectivamente, os *bitmaps* das vistas superior, inferior contendo as trilhas e inferior contendo os furos da placa.

3.4.1 Desenvolvimento do circuito eletrônico

Como dito anteriormente, o APÊNDICE B representa a PCI como um todo desenvolvida no ambiente do ISIS, essa sessão aborda individualmente cada parte desse circuito.

A alimentação do circuito é representada pela Figura 3.9, o conector de dois pinos “J1” é a entrada do positivo (pino 1) e negativo (pino 2) da bateria e o conector “ON”, também de dois pinos, é a entrada para uma chave gangorra de duas posições que permite ligar e desligar o circuito sem desconectar a bateria. O dispositivo “D1” representa o diodo 1N4001 colocado no circuito como medida de proteção para que os demais componentes do sistema, se caso a bateria seja conectada de forma invertida, não sejam danificados. Já a saída “VIN” representa a tensão que irá alimentar o ARDUINO, a Ponte H e, conseqüentemente, os Micromotores.

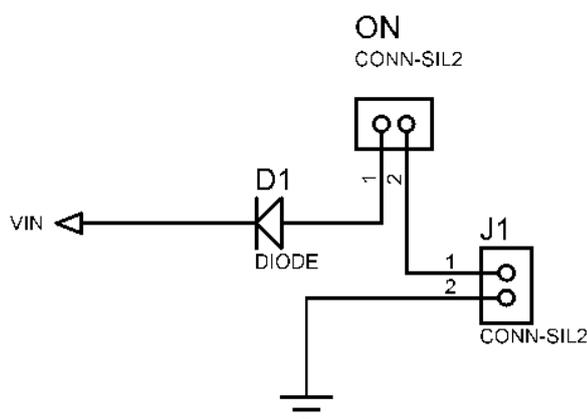


Figura 3.9 – Representação no ISIS da alimentação da PCI desenvolvida.

O ARDUINO, sistema embarcado que recebe o algoritmo que controla a movimentação dos robôs, é representado pela Figura 3.10. A saída “TX” e entrada “RX” são os pinos digitais usados para a comunicação entre o ARDUINO e o XBee e recebe as informações provenientes da estratégia de jogo desenvolvida pela equipe. As saídas D5, D6, D7, D8, D9, D10 e D11 são pinos digitais que permitem o controle da direção e do PWM dos motores e são ligados diretamente ao TB6612FNG. O pino “VIN” representa a alimentação do circuito já explicitada anteriormente, o pino “5V” e “3V3” simbolizam tensões de saída de 5 e 3,3V, respectivamente, e os pinos “A3” e “A0”, embora analógicos, foram transformados em digitais via *software* embarcado para alojar, futuramente, a leitura de *encoders* que representarão a velocidade dos motores.

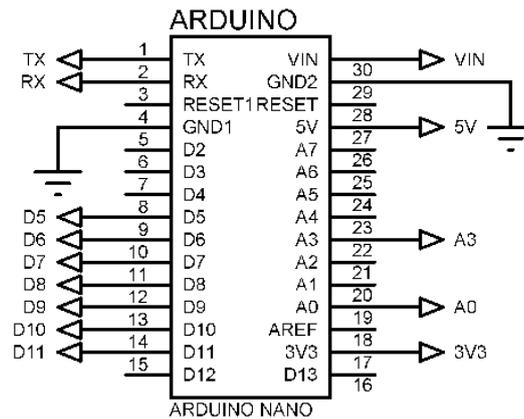


Figura 3.10 - Representação no ISIS do ARDUINO utilizado na PCI desenvolvida.

O XBee, módulo utilizado na transmissão de dados sem fio entre os robôs e o computador que contém as estratégias desenvolvidas pela equipe, é representado pela Figura 3.11. O componente “C1” é um capacitor cerâmico de 100nF dito capacitor de desacoplamento, possui a finalidade de estabilizar a tensão de “3V3” proveniente do ARDUINO, evitando assim falhas na comunicação e transmissão de dados. Os componentes “R1” e “R2” são resistores de 18K e 10K, respectivamente, que formam um divisor de tensão, transformando o sinal digital “TX” de 5V proveniente do ARDUINO em um sinal de 3,3V, permitindo uma via de mão dupla onde ambos os dispositivos, ARDUINO e XBee, podem enviar e receber dados.

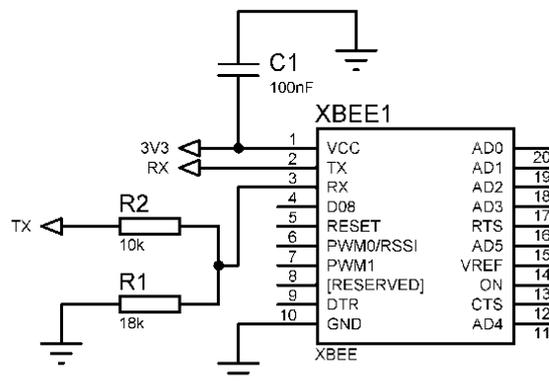


Figura 3.11 – Representação no ISIS do Xbee utilizado na PCI desenvolvida.

Os dois conectores de seis pinos utilizados para acoplar os micromotores de corrente contínua à PCI dos robôs são representados por “MOT1” e “MOT2” na Figura 3.12. As entradas “AO1”, “AO2”, “BO1” e “BO2” são conectadas diretamente nos terminais dos dois micromotores, essas entradas controlam a direção de rotação dos motores e, conseqüentemente, a direção em que os robôs se movimentarão durante as partidas. Essa PCI abre, ainda, a possibilidade de se usar um

encoder para medir a velocidade dos motores e, assim, fazer o controle de velocidade dos mesmos, isso é possível utilizando os pinos “A0”, “A3”, “5V” e “GND”, mas, para a LARC 2016, eles ainda não foram utilizados.

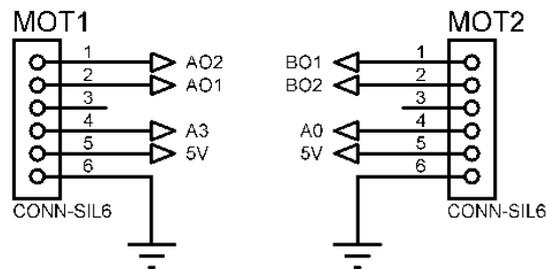


Figura 3.12 – Representação no ISIS dos conectores utilizados para acoplar os motores à PCI desenvolvida.

O TB6612FNG ou Ponte H, utilizado nas PCIs para controle do PWM e direção dos motores dos robôs da equipe, é representado pela Figura 3.13. As saídas “AO1”, “AO2”, “BO1” e “BO2” representam os pinos que conectam os terminais dos micromotores diretamente na Ponte H, sendo que a letra “A” simboliza um dos motores e a letra “B” simboliza o outro. Já as entradas D5, D6, D7, D8, D9, D10 e D11 são pinos digitais que fazem a interface entre o microcontrolador, o algoritmo nele embarcado e os micromotores. A função de cada um deles também pode ser observada de forma mais detalhada na sessão 2.1.5 deste texto.

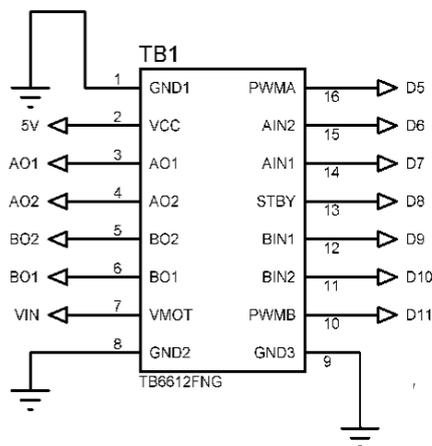


Figura 3.13 – Representação no ISIS do TB6612FNG utilizado na PCI desenvolvida.

3.4.2 Produção das PCIs

No APÊNDICE C, os tópicos C.2 e C.3 são intitulados *bitmaps*, com o auxílio do PROTEUS é possível salvar o *layout* do circuito projetado nesse tipo de extensão de arquivo. Eles foram editados em outro *software* nomeado ArtCAM, com a finalidade de transformar o *layout* projetado no PROTEUS em um algoritmo passível de entendimento para a CNC, o Código G.

As PCI fabricadas pela equipe são constituídas por um material intitulado fenolite, um laminado plástico industrial utilizado como isolante elétrico acrescido com uma ou mais camadas de cobre.

Assim, depois de todo o processo de edição e desenvolvimento do Código G no *software* ArtCAM, as placas foram fixadas na CNC e o projeto foi executado e usinado, dando forma aos circuitos impressos utilizados na eletrônica dos robôs da equipe Rodetas. A Figura 3.14 representa a versão final das PCI produzidas em laboratório pelos membros da equipe em 2016.



Figura 3.14 – Layout final da PCI produzidas em laboratório pela equipe Rodetas.

3.5 Estrutura desenvolvida para os robôs

A concepção do projeto estrutural dos robôs da equipe RODETAS foi totalmente feita no *software* SOLIDWORKS 2015, 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.

O material escolhido para a produção da estrutura dos robôs foi o acrílico, por ser altamente resistente, robusto e, ainda sim, leve e de fácil manuseio. As chapas de acrílico foram usinadas por uma empresa especializada em cortes a laser em diferentes espessuras (2, 5, 8, e 10mm), cada qual com um formato e uma finalidade diferente, desta forma, acomodadas uma sobre a outra, dão forma ao “esqueleto” do robô, assim como representado na Figura 3.15, que também retrata a simulação do robô completamente montado no *software*.

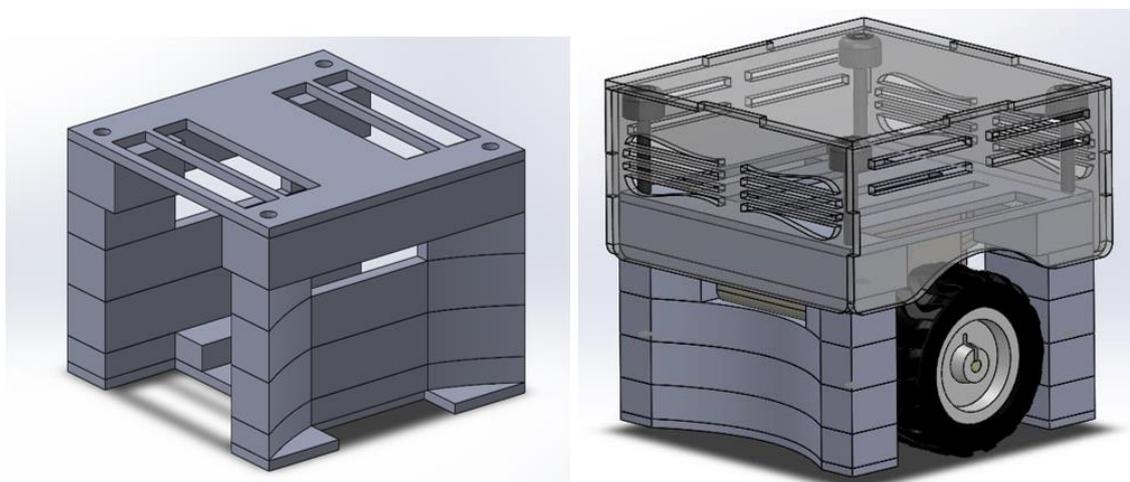


Figura 3.15 – Estrutura dos robôs da equipe Rodetas para a competição de 2016.

Para atender às necessidades da equipe, a estrutura foi pensada de forma simples e robusta, de fácil montagem e desmontagem, resistente, leve, e moldada de acordo com as estratégias de jogo da equipe.

Assim, com base nas dimensões dos motores (ANEXO A), das braçadeiras que prendem o sistema de locomoção dos robôs à estrutura (ANEXO B) e dos aros internos das rodas (ANEXO B) toda a estrutura foi milimetricamente calculada para acomodar o sistema de alimentação, o sistema de locomoção e a PCI da equipe.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A proposta da equipe Rodetas é construir robôs capazes de disputar um jogo de futebol que sejam competitivos o suficiente para vencer partidas na *Latin American Robotic Competition (LARC)* e Competição Brasileira de Robótica (CBR) categoria *IEEE Very Small Size*. Além de ser um projeto com o intuito de complementar a experiência acadêmica dos discentes que participam.

O robô projetado e construído pela equipe em 2016 é representado pela Figura 4.1. Ele foi o resultado de um ano de muita dedicação e estudo, tanto na parte estrutural quanto no circuito eletrônico e programação, dando origem a um time de robôs completamente diferente do usado na competição anterior.



Figura 4.1 – Robô desenvolvido pela equipe Rodetas no ano de 2016.

Como parte dos requisitos para a participação na competição a equipe produziu o *Team Description Paper* ou TDP (APÊNDICE D), artigo que descreve os principais aspectos que englobam os robôs de cada equipe.

A LARC/CBR 2016 contou com vinte e cinco equipes inscritas na categoria *IEEE Very Small Size*, das quais vinte e três compareceram em Recife (CE) para participar da competição. Essas equipes foram divididas em seis chaves para a chamada “fase de grupos”, nessa etapa da competição a equipe Rodetas venceu os três jogos que disputou e se classificou para as “oitavas de final” em primeiro lugar do grupo, chegando às oitavas foi eliminada, mas obteve uma

colocação entre as dez melhores equipes da competição na categoria *IEEE Very Small Size* por saldo de gols (classificação não oficial), resultado muito promissor.

Apesar de não ter se consagrado campeã, a equipe Rodetas demonstrou um grande potencial de crescimento, o que motiva todos os integrantes a continuar o projeto e aprimora-lo cada vez mais.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram abordados os principais aspectos constituintes dos robôs construídos pela equipe Rodetas para a participação na LARC/CBR em 2016. Nele foram abordados assuntos como o projeto do *hardware* especificando todos os componentes eletrônicos e os *softwares* utilizados na sua concepção, o projeto estrutural especificando quais os materiais e *softwares* utilizados para construir e projetar o “esqueleto” dos robôs, além de abordar detalhadamente como o algoritmo embarcado de movimentação dos robôs foi desenvolvido. Também foi retratado os principais aspectos e regras que regem as partidas da categoria *IEEE Very Small Size* e a história da equipe Rodetas.

Analisando os resultados fica evidenciado que a equipe possui um grande potencial para crescer e atingir seus objetivos visto que 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 da equipe na competição de 2016.

Com a realização desse trabalho foi possível constatar que uma competição de robótica ou qualquer atividade extraclasse é de suma importância para o desenvolvimento não só do conhecimento técnico, mas também para aprender a trabalhar em equipe e saber trabalhar com recursos escassos estimulando, assim a criatividade.

Para a competição de 2017, a implementação de encoders que possibilitem a leitura da velocidade dos motores e, conseqüentemente, um controle de velocidade dos robôs é sugerido. A PCI projetada em 2016 já viabiliza essa possibilidade, desta forma só é necessário a implementação via *software* do controle e ensaios como a “curva de reação” para a modelagem empírica dos motores de corrente contínua. Já para a parte estrutural, sugere-se o estudo da possibilidade de fabricar os robôs em laboratório utilizando a CNC do Laboratório de Máquinas Elétricas da Escola de Minas.

Outra sugestão para o futuro é analisar a possibilidade de expandir a equipe e utilizar as experiências obtidas na categoria IEEE VSS para participar de outras ligas de futebol de robôs.

REFERÊNCIAS

ARDUINO. **Arduino Nano**. 2016. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>>. Acesso em: 23 jan. 2017.

CBROBOTICA. **Categorias – Competição Latino Americana e Brasileira de Robótica 2016**. 2016. Disponível em: <http://www.cbrobotica.org/?page_id=2&lang=pt>. Acesso em: 24 out. 2016.

CUNHA, A. F. **Sistemas Embarcados**. Saber Eletrônica,, p. 414, 2007.

DIGI INTERNATIONAL INC. **XBee® / XBee-PRO® RF modules Datasheet**. 2009. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Datasheet.pdf>>. Acesso em: 24 jan. 2017.

FERREIRA FILHO, E. B. **Desenvolvimento de um time de futebol de robôs categoria IEEE Very Small Size**. 2013. 78f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013. (Disponível em: <[http://www.em.ufop.br/cecau/monografias/2013/Edson Bernardes Ferreira Filho.pdf](http://www.em.ufop.br/cecau/monografias/2013/Edson_Bernardes_Ferreira_Filho.pdf)>. Acesso em: 16 nov. 2015)

GONÇALVES, E. L. Z.; LEAL, M. DA G. **Inovação no processo produtivo no segmento metal- mecânico com uso de tecnologia a CNC**. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2006/artigos/13_116_404.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2017.

IEEE. **Rules for the IEE Very Small Competition**. 2008. Disponível em: <http://www.cbrobotica.org/wp-content/uploads/2014/03/VerySmall2008_en.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2015.

ISB INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. **Manual de Operação da Fresadora CNC**. Bom Princípio - RS, 2013.

KIM, K. H. et al. **The Development of a Micro Robot System for Robot Soccer Game**. Proceedings of IEEE nternational Conference on Robotics and Automation, v. 1, n. April, p. 626–631, 1997.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. 2011. Novatec Ed ed.São Paulo: [s.n.].

NENOKI, E. **Zigbee – Estudo da tecnologia e aplicação no sistema elétrico de potência**. Curitiba, 2013. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/886/1/CT_COTEL_2012_2_01.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2017

NOVAK, G.; SPRINGER, R. **An Introduction to a Vision System used for a MiroSOT Robot Soccer System**. p. 101–108, 2004.

PINTO, E. S. et al. **Team Description Paper Equipe Rodetas Robô Clube Universidade Federal de Ouro Preto**. 2016. Mostra Virtual Competição Brasileira de Robótica e

Competição Latino Americana de Robótica. Disponível em: <<http://www.cbrobotica.org/mostravirtual/interna.php?id=14987>>. Acesso em: 13 fev. 2017

POLOLU ROBOTICS & ELECTRONIC ©. **TB6612FNG Dual Motor Driver Carrier**. 2017a. Disponível em: <<https://www.pololu.com/product/713>>. Acesso em: 16 jan. 2017.

POLOLU ROBOTICS & ELECTRONIC ©. **Pololu - 75:1 Micro Metal Gearmotor HP 6V**. 2017b. Disponível em: <<https://www.pololu.com/product/2361>>. Acesso em: 16 jan. 2017.

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](http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/8292/1/PDF%20-%20Kleiton%20Oliveira%20Santos.pdf)>. Acesso em: 11 jan. 2017

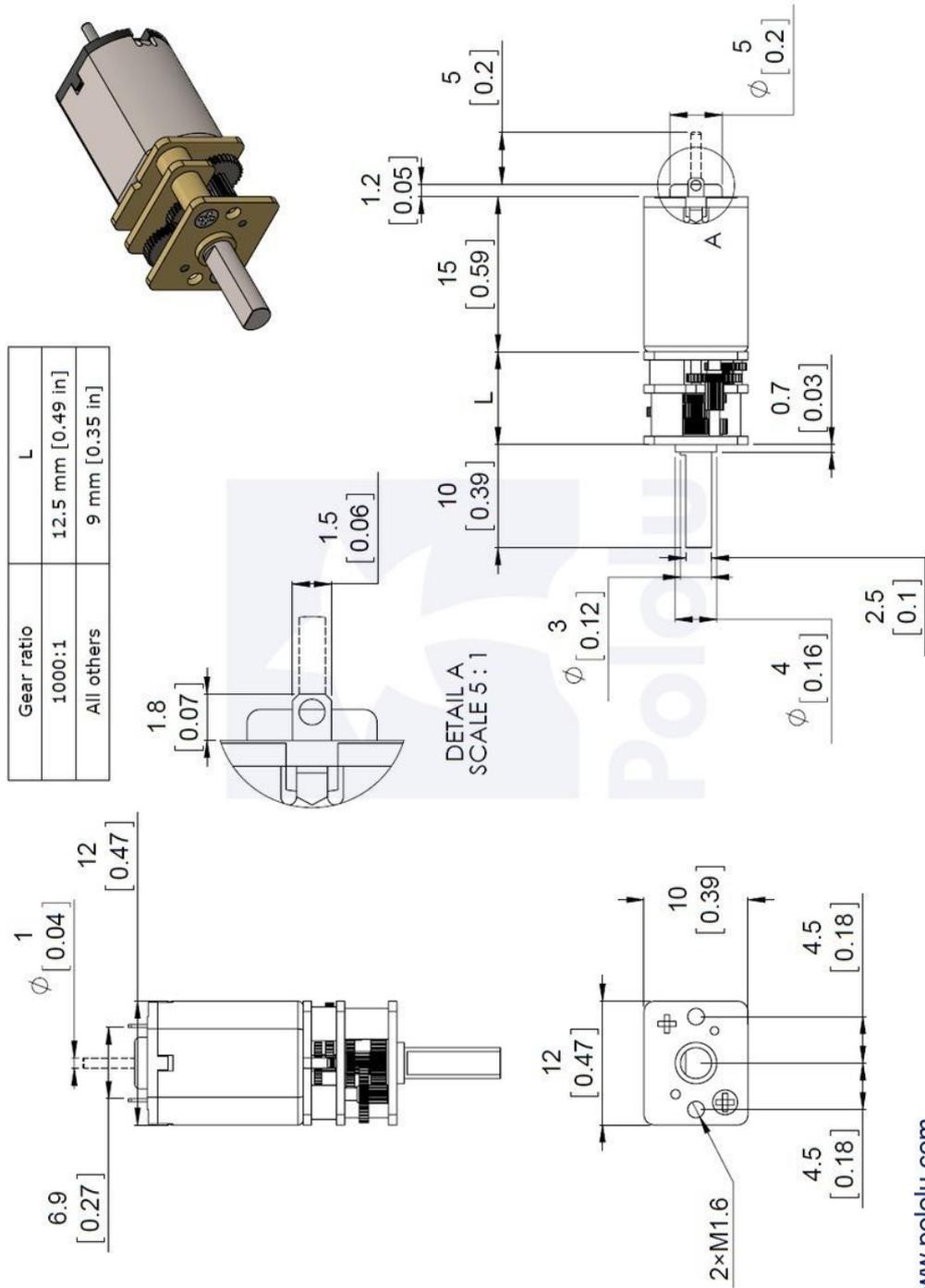
TORGA, D. S. **Desenvolvimento de uma plataforma didática para práticas de controle de velocidade de um motor de corrente contínua**. 2016. 74f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

TOSHIBA. **Tb6612Fng Driver IC for Dual DC motor Datasheet**. Disponível em: <https://www.pololu.com/file/download/TB6612FNG.pdf?file_id=0J86>. Acesso em: 1 dez. 2015.

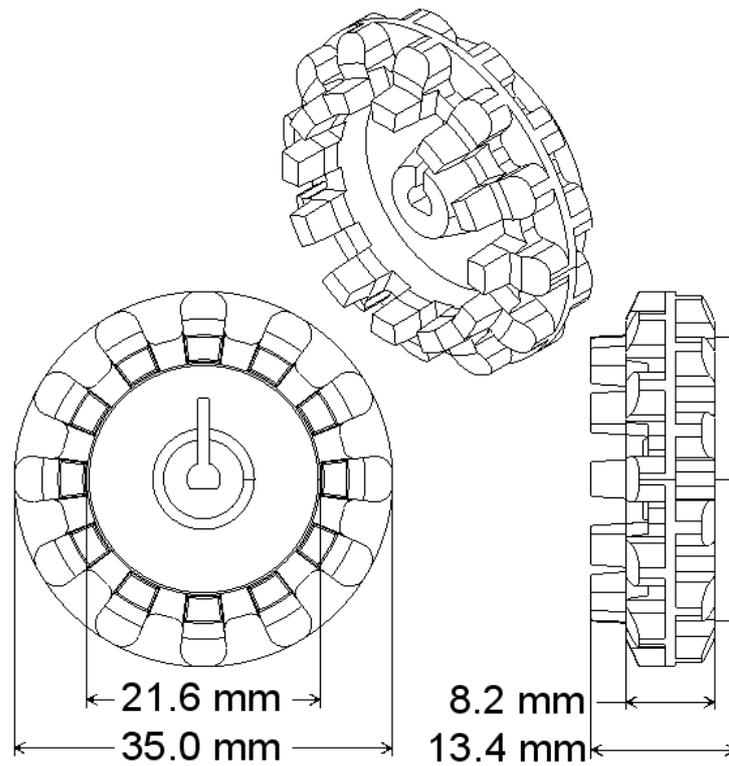
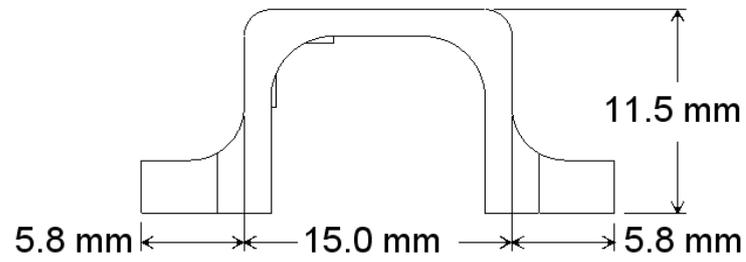
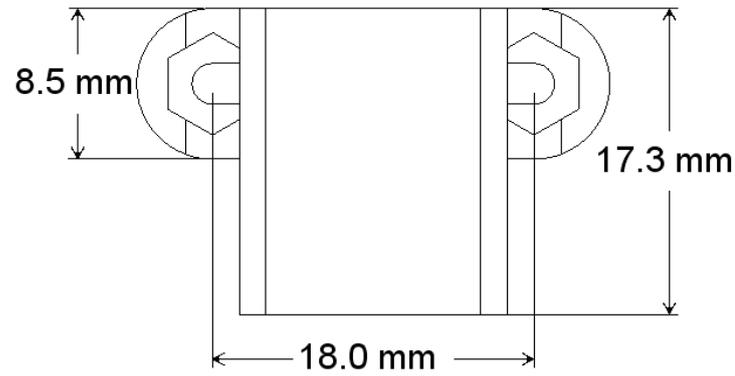
ZAINAGHI, G.; AKAMINE, E. G.; BREMER, C. F. **Análise do perfil profissional do engenheiro de produção adquirido nas atividades extracurriculares**. In: COBENGE XXIX, 2001, Porto Alegre, RS. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2001/trabalhos/APP047.pdf>>. Acesso em: 6 fev. 2017.

ANEXOS

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



ANEXO B – Dimensões da braçadeira para motores e do aro interno das rodas utilizados na concepção do projeto estrutural dos robôs respectivamente



ANEXO C – Tabela ASCII

ASCII Table

Dec	Hex	Oct	Char	Dec	Hex	Oct	Char	Dec	Hex	Oct	Char	Dec	Hex	Oct	Char
0	0	0		32	20	40	[space]	64	40	100	@	96	60	140	,
1	1	1		33	21	41	!	65	41	101	A	97	61	141	a
2	2	2		34	22	42	"	66	42	102	B	98	62	142	b
3	3	3		35	23	43	#	67	43	103	C	99	63	143	c
4	4	4		36	24	44	\$	68	44	104	D	100	64	144	d
5	5	5		37	25	45	%	69	45	105	E	101	65	145	e
6	6	6		38	26	46	&	70	46	106	F	102	66	146	f
7	7	7		39	27	47	'	71	47	107	G	103	67	147	g
8	8	10		40	28	50	(	72	48	110	H	104	68	150	h
9	9	11		41	29	51	)	73	49	111	I	105	69	151	i
10	A	12		42	2A	52	*	74	4A	112	J	106	6A	152	j
11	B	13		43	2B	53	+	75	4B	113	K	107	6B	153	k
12	C	14		44	2C	54	,	76	4C	114	L	108	6C	154	l
13	D	15		45	2D	55	-	77	4D	115	M	109	6D	155	m
14	E	16		46	2E	56	.	78	4E	116	N	110	6E	156	n
15	F	17		47	2F	57	/	79	4F	117	O	111	6F	157	o
16	10	20		48	30	60	0	80	50	120	P	112	70	160	p
17	11	21		49	31	61	1	81	51	121	Q	113	71	161	q
18	12	22		50	32	62	2	82	52	122	R	114	72	162	r
19	13	23		51	33	63	3	83	53	123	S	115	73	163	s
20	14	24		52	34	64	4	84	54	124	T	116	74	164	t
21	15	25		53	35	65	5	85	55	125	U	117	75	165	u
22	16	26		54	36	66	6	86	56	126	V	118	76	166	v
23	17	27		55	37	67	7	87	57	127	W	119	77	167	w
24	18	30		56	38	70	8	88	58	130	X	120	78	170	x
25	19	31		57	39	71	9	89	59	131	Y	121	79	171	y
26	1A	32		58	3A	72	:	90	5A	132	Z	122	7A	172	z
27	1B	33		59	3B	73	;	91	5B	133	[	123	7B	173	{
28	1C	34		60	3C	74	<	92	5C	134	\	124	7C	174	|
29	1D	35		61	3D	75	=	93	5D	135	]	125	7D	175	}
30	1E	36		62	3E	76	>	94	5E	136	^	126	7E	176	~
31	1F	37		63	3F	77	?	95	5F	137	_	127	7F	177	

APÊNDICES

APÊNDICE A – Partes do algoritmo embarcado desenvolvido pela equipe Rodetas

```
void loop() {

    mensagem = "";
    if (recebeMensagem() && verificaChecksum()) {

        String pwm1_s = mensagem.substring(4, 7);
        String pwm2_s = mensagem.substring(1, 4);

        int pwm1 = pwm1_s.toInt();
        int pwm2 = pwm2_s.toInt();

        analogWrite(pwm_motor1, pwm1);
        analogWrite(pwm_motor2, pwm2);
        digitalWrite(stby, HIGH);

        char direcao = mensagem[0];
        switch (direcao) {
            case 'A': {
                paraFrente();
            } break;
            case 'V': {
                paraTras();
            } break;
            case 'D': {
                paraDireita();
            } break;
            case 'E': {
                paraEsquerda();
            } break;
            case 'P': {
                parado();
            } break;
            default: {
                parado();
            }
        }
    }
}
```

```
        } break;
    }
}
}
boolean recebeMensagem() {}

boolean verificaChecksum() {}

void paraFrente() {
    digitalWrite(ain2, HIGH);
    digitalWrite(ain1, LOW);
    digitalWrite(bin1, HIGH);
    digitalWrite(bin2, LOW);
}

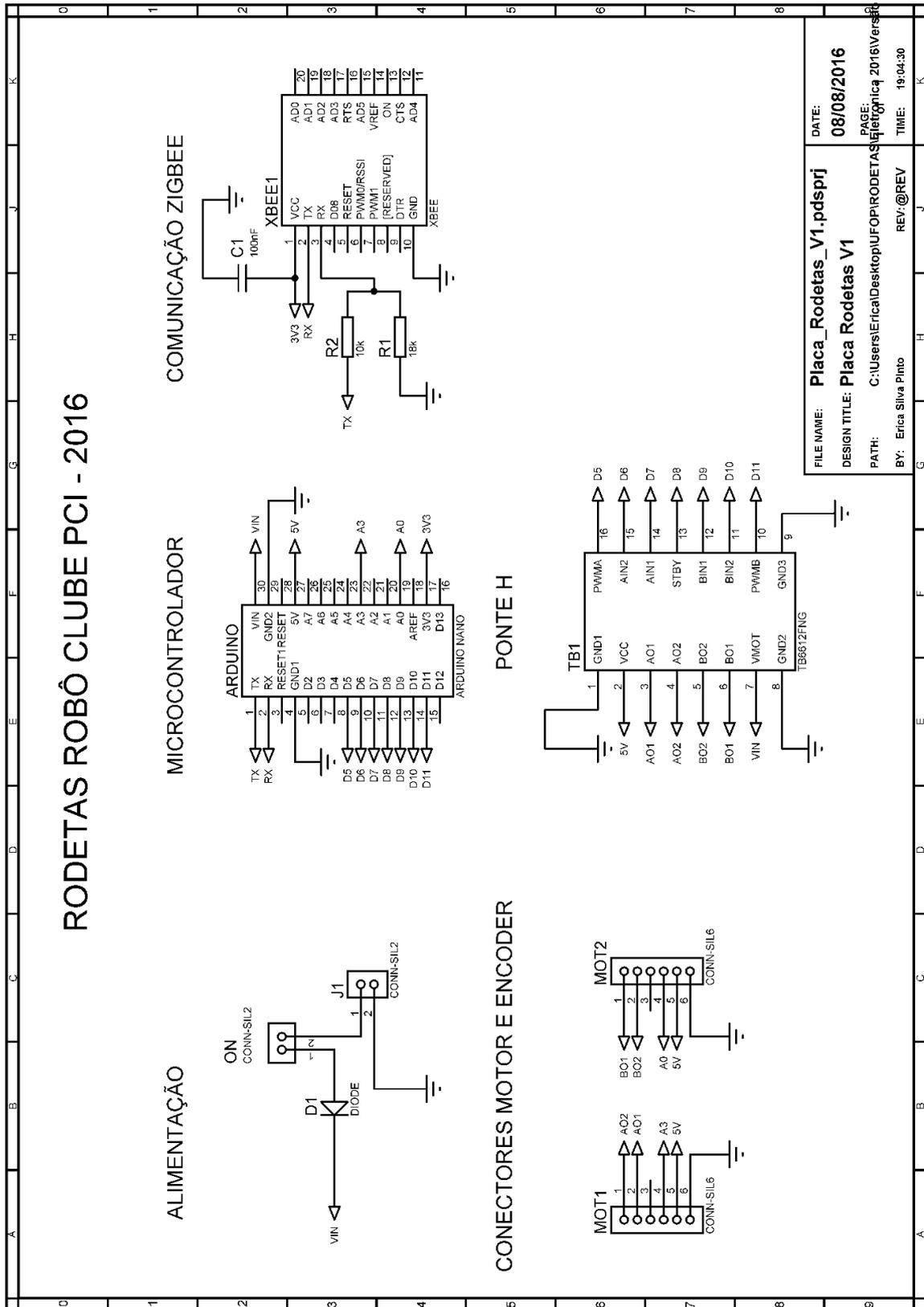
void paraTras() {
    digitalWrite(ain2, LOW);
    digitalWrite(ain1, HIGH);
    digitalWrite(bin1, LOW);
    digitalWrite(bin2, HIGH);
}

void paraDireita() {
    digitalWrite(ain2, LOW);
    digitalWrite(ain1, HIGH);
    digitalWrite(bin1, HIGH);
    digitalWrite(bin2, LOW);
}

void paraEsquerda() {
    digitalWrite(ain2, HIGH);
    digitalWrite(ain1, LOW);
    digitalWrite(bin1, LOW);
    digitalWrite(bin2, HIGH);
}

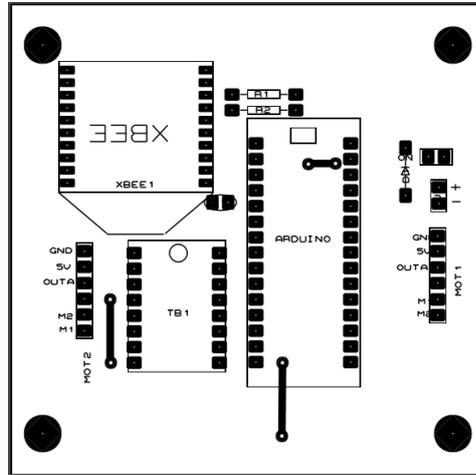
void parado() {
    digitalWrite(stby, LOW);
}
```

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

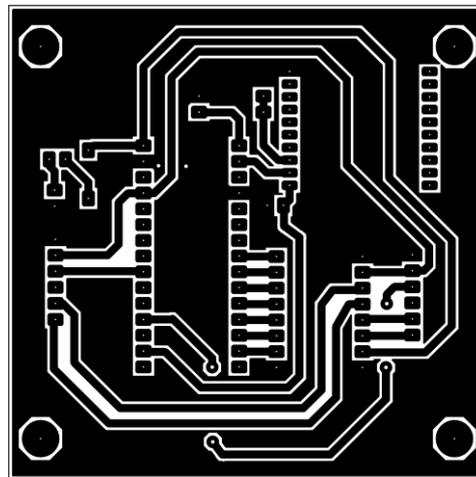


APÊNDICE C – Desenho esquemático da PCI projetada pela equipe Rodetas no ambiente do ARES do *software* PROTEUS

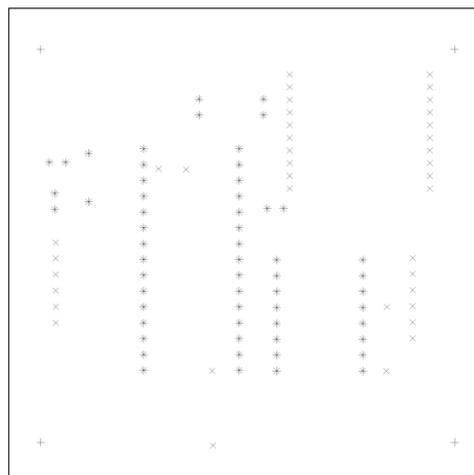
C.1 – Parte superior da placa



C.2 – Parte inferior da placa (trilhas)



C.3 – Parte inferior da placa (furos)



APÊNDICE D – *Team Description Paper* (TDP) desenvolvido em 2016 pela equipe Rodetas como parte dos requisitos para a participação na LARC/CBR.

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.

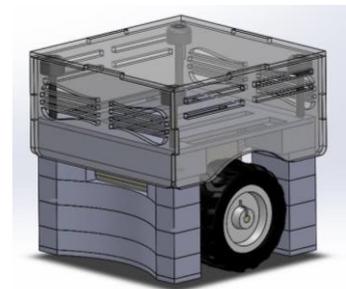


Figura 1. Estrutura do Robô da Equipe Rodetas

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.

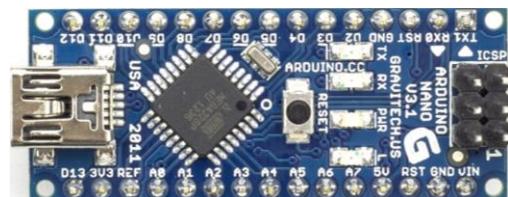


Figura 2 Arduino Nano

- 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

A. 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.

II. 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.

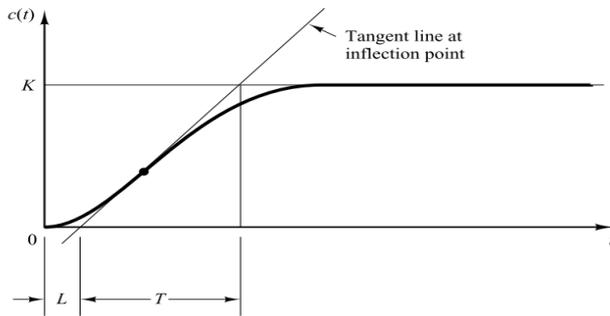


Figura 7. Curva de reação em função do tempo.
Fonte: Ogata (2009)

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

I. 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 apresentada a interface desenvolvida.

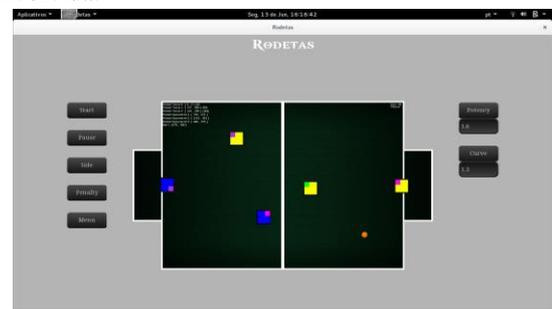


Figura 8. Interface Gráfica Desenvolvida.

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.

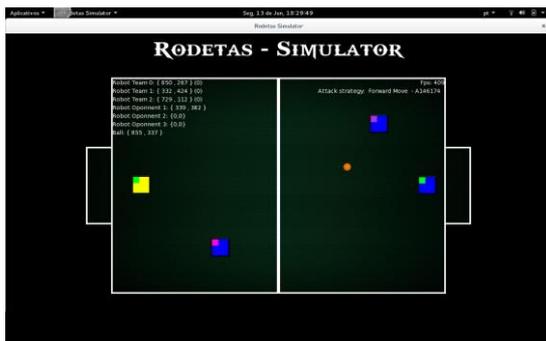


Figura 9. Simulador de estratégias desenvolvido pela equipe.

A. 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.

B. 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.

II. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram levantados os principais pontos que compõem os robôs da equipe Rodetas 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=J86. [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. Hindersah 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].