

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

*“Projeto mecânico e modelagem cinemática de robôs móveis com
acionamento diferencial”*

Felipe Alencar de Oliveira

Natal/RN - Brasil
Junho de 2012

**PROJETO MECÂNICO E MODELAGEM CINEMÁTICA DE ROBÔS MÓVEIS COM
ACIONAMENTO DIFERENCIAL**

Felipe Alencar De Oliveira

Orientador:

Prof. M. Sc. Márcio Valério de Araújo

Trabalho submetido à coordenação do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Natal/RN - Brasil
Junho de 2012

UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede.
Catalogação da Publicação na Fonte.

Oliveira, Felipe Alencar de.

Projeto mecânico e modelagem cinemática de robôs móveis com
acionamento diferencial / Felipe Alencar de Oliveira. – Natal, RN, 2011.
94 f. : il.

Orientador: Prof. Ms. Márcio Valério de Araújo.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do
Norte. Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Robótica - Monografia. 2. Robôs - Acionamento diferencial -
Monografia. 3. Robôs - Modelagem cinemática - Monografia. 4.
Trepidação - Robótica - Monografia. 4. Engenharia Mecânica -
Monografia. I. Araújo, Márcio Valério de. II. Universidade Federal do
Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 621.865.8

**PROJETO MECÂNICO E MODELAGEM CINEMÁTICA DE ROBÔS MÓVEIS COM
ACIONAMENTO DIFERENCIAL**

Felipe Alencar de Oliveira

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado em 19 de junho de 2012, pela
Comissão Examinadora constituída pelos seguintes membros

Prof. Márcio Valério de Araújo, M.Sc. – DEM – UFRN (Orientador)

Prof. William Fernandes de Queiroz, D. Sc. – DEM – UFRN

Prof. Diogo Pinheiro Fernandes Pedrosa, D. Sc. – DCA – UFRN

ÍNDICE DE ASSUNTOS

LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABELAS.....	V
RESUMO.....	VI
ABSTRACT.....	VII
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MOTIVAÇÃO.....	6
3. FUTEBOL DE ROBÔS.....	9
3.1. Regras	9
3.2. Visão.....	11
3.2.1. Cores	12
3.3. Eletrônica	13
3.3.1. PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>)	15
3.4. Controle	15
3.5. Funcionamento	16
4. PROJETO MECÂNICO	19
4.1. Especificações Gerais do Projeto Mecânico.....	19
4.2. Prototipagem Rápida	20
4.3. Sistema Robótico Móvel com Duas Rodas Motrizes (Projeto <i>HUM</i>).....	24
4.4. Sistema Robótico Móvel com Duas Rodas Motrizes e uma conduzida	25
4.3.1 Esfera Transferidora.....	26
4.5. Sistema Robótico Móvel com Duas Rodas Motrizes e duas conduzidas	28
5 MODELAGEM MATEMÁTICA	30
5.1. Análise Cinemática	30
5.1.1. Análise cinemática de um Robô Móvel com Duas Rodas e Acionamento Diferencial.....	32
5.1.2. Análise Cinemática do Tetrápole	33
5.1.3. Análise Cinemática do Trípole	34
6 EXPERIMENTOS	37
6.1. Teste de Velocidade	37
6.1.1. Velocidade Linear Sem Carga.....	37
6.1.2. Velocidade Linear Com Carga	38
6.2. Teste de Força.....	39
6.3. Teste de Trepidação	41

7	RESULTADOS	43
7.1.1.	Velocidade Linear Sem Carga.....	43
7.1.2.	Velocidade Linear Com carga.....	45
7.2.	Teste de Força.....	50
7.3.	Teste de Trepidação	52
8	CONCLUSÃO.....	54
9	PROJETOS FUTUROS	57
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
ANEXO A – Desenhos do Projeto <i>HUM</i>.....		61
ANEXO B – Desenhos do Projeto Trípode		65
ANEXO C – Desenhos do Projeto Tetrápode		69
ANEXO D – Desenhos dos Componentes Mecânicos Comuns dos Projetos		73
ANEXO E – Lista de Equipamentos Eletromecânicos.....		80
ANEXO F – Imagens das Regras		81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura da iluminação e câmera (seta)	2
Figura 2 – Partida de futebol de robôs.....	2
Figura 3 – Robôs de 2005 (esquerda) e 2006 (direita) [18].....	3
Figura 4 – Robô de 2007 [19]	4
Figura 5 – Assoalho do robô de 2007 e a esfera fixa apontada pela seta [19]...4	4
Figura 6 – Robô de 2011[22]	5
Figura 7 – O robô e os pontos de apoio.....	7
Figura 8 – Movimento de trepidação ao acelerar num sentido.....	7
Figura 9 – Movimento de trepidação ao acelerar em outro sentido.....	8
Figura 10 – O robô e a distância entre o assoalho e o chão.....	8
Figura 11 - Montagem física num jogo [12].....	11
Figura 12 - Círculo de cores HPG [19].....	12
Figura 13 - Marcações superiores	12
Figura 14 - Placa dos robôs com principais eletrônicos indicados	14
Figura 15 - Esquema do funcionamento	14
Figura 16 - Modulação de largura de pulsos.....	15
Figura 17 – Esquema dos controles computacionais [24].....	16
Figura 18 - Uma das fases de calibração [20].....	17
Figura 19 - Esquema de funcionamento [19]	17
Figura 20 - Projeto do robô sem cavidade para condução.....	20
Figura 21 - Projeto do robô com cavidade para condução da bola	20
Figura 22 - Representação das principais etapas de manufatura [10]	21
Figura 23 - Variação de resistência	22
Figura 24 - Necessidade de estrutura de suporte	22
Figura 25 - Princípio do processo FDM [10].	23
Figura 26 - Projeto do robô de 2011	24
Figura 27 - Vista lateral do robô de 2011	24
Figura 28 - Projeto preliminar do Trípode	25
Figura 29 - Vista lateral do Trípode	25
Figura 30 - Esfera transferidora e seu interior [3].....	26
Figura 31 - Métodos de fixação de esferas transferidoras [3]	27
Figura 32 - Comparação entre elementos das esferas transferidoras.....	27
Figura 33 - Protótipo preliminar do Tetrápode	28
Figura 34 - Vista lateral Tetrápode	28
Figura 35 - Tetrápode com o CGr e o CGm representados	29
Figura 36 - Robô localizado em (x,y)	30
Figura 37 - Velocidade linear e deslocamentos infinitesimais [2]	32
Figura 38 -Tetrápode com CGr posicionado em x,y.....	33
Figura 39 - Esquema do robô Trípode	35
Figura 40 - Representação das velocidade do Trípode	36
Figura 41 - Medição de RPM da roda com tacômetro.....	38
Figura 42 - Pontos registrados do Trípode à PWM de 100%	39
Figura 43 - Plataforma para teste cinético	40
Figura 44 - Teste de força com os robôs, a balança registra 43 gramas.....	41
Figura 45 - Gráfico velocidade sem carga x PWM do robô HUM.....	44
Figura 46 - Gráfico Velocidade sem carga x PWM do Trípode	44
Figura 47 - Gráfico Velocidade sem carga x PWM do Tetrápode	45
Figura 48 - Gráfico das velocidades do robô HUM	46
Figura 49 - Gráfico das velocidades do Trípode	47
Figura 50 - Gráfico das velocidades do Tetrápode	49
Figura 51 - Gráfico de Força x PWM para o robô HUM	50
Figura 52 - Gráfico de Força x PWM para o Trípode	51

Figura 53 - Gráfico de Força x PWM para Tetrápode	52
Figura 54 – Volume sem apoio no Trípode e sentido da trepidação	56
Figura 55 – Posições do tiro livre [12].....	81
Figura 56 – Posições da cobrança de pênalti [12]	81
Figura 57 - Posições do tiro de meta [12]	82
Figura 58 - Posições da disputa de bola livre [12]	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pacote de dados transmitidos [22]	18
Tabela 2 - PWM's usados para teste de trepidação	41
Tabela 3 - Notas atribuídas ao nível de trepidação	42
Tabela 4 - Dados das Velocidades Sem Carga.....	43
Tabela 5 - Velocidade com carga do robô HUM	46
Tabela 6 - Prova real para o modelo do HUM	46
Tabela 7 - Velocidade com carga do Trípode	47
Tabela 8 - Prova real para o modelo do Tripode	48
Tabela 9 - Velocidade com carga do Tetrápode	48
Tabela 10 - Prova real para o modelo do Tetrápode	49
Tabela 11- Dados para o robô HUM.....	50
Tabela 12- Dados para o Trípode	51
Tabela 13- Dados para o Tetrápode	52
Tabela 14 - Resultados dos testes de trepidação	53
Tabela 15 - Comparativo entre as velocidades sem cargas	54
Tabela 16 - Comparativo entre as velocidades reais	54
Tabela 17 - Comparativo entre as forças	55
Tabela 18 - Componentes eletromecânicos dos robôs	80

RESUMO

Este trabalho tem como principal enfoque discutir o problema da trepidação nos robôs com acionamento diferencial, isto é, robôs com duas rodas motrizes e motores independentes, elaborar novos projetos para resolver esse problema e fazer uma comparação entre os protótipos. A trepidação atrapalha no controle computacional e pode prejudicar os componentes eletrônicos. Serão abordadas as causas dos choques mecânicos, quais as soluções adotadas até hoje e quais as propostas para solucionar esse problema. Serão apresentados três projetos mecânicos distintos, o primeiro com duas rodas motrizes alinhadas com o centro geométrico do robô e dois pontos de apoio fixos, o segundo com duas rodas motrizes localizadas na parte posterior ao centro geométrico e uma roda conduzida na parte anterior e o terceiro com duas rodas motrizes dispostas diagonalmente e outras duas conduzidas na diagonal oposta.

ABSTRACT

The main focus of this work is discussing about the issues of shaking on robots with differential actuator that are robots with two driven wheels and independent motors, create new projects to solve these problems and make a comparison between the prototypes. The shaking hinders computational control and may cause problems related to electronic components. It will be broached what causes the mechanical shocks, which solutions are adopted until nowadays and the proposal to solve these issues. Will be presented three different projects, the first one with two driven wheels lined with the geometrical centre of the robot and two support points, the second one with two driven wheels located in the posterior region and another conducted in the anterior and the third one with two driven wheels disposed diagonally and other two conducted on the opposite diagonal.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Abenildo e Neide, pelo exemplo que são e pelo incentivo. Aos meus irmãos Vitor e Brenda pela tolerância enquanto eu conduzia este trabalho.

À minha querida namorada Renata pelo contínuo incentivo, compreensão com a falta de horários e pela estimada ajuda nos experimentos e edição do texto.

Ao professor M. Sc. Márcio Valério pelas importantes colaborações, sugestões e incentivo.

Aos colegas de curso e de laboratório, por tolerar os ruídos durante a construção dos protótipos e em especial a Ellon pelas sugestões e pela paciência de constantemente me ajudar com os sistemas computacionais.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que
dispensaram alguma contribuição,
mesmo que singela. Mas em especial
aos meus pais Beno e Neide pelo
incentivo à contemplar as ciências naturais.

1. INTRODUÇÃO

O futebol é considerado o esporte mais popular do mundo. Numa partida de futebol, duas equipes se enfrentam e o árbitro é responsável pela aplicação das normas. O esporte é praticado num campo retangular e em duas extremidades opostas estão dispostas balizas, sendo o objetivo principal do jogo mover a bola e coloca-la na baliza adversária, marcando um gol, a equipe que fizer mais gols antes ao término da partida é a vencedora. Somente o goleiro deve tocar a bola com as mãos e numa determinada área.

As fontes [26] e [27] se mostraram controversas com relação quem originou a ideia primária para o futebol de robôs. A primeira atribui a iniciativa ao sul-coreano professor Jong-Hwan Kim da *KAIST* (do inglês *Korea Advanced Institute of Science and Technology*). No entanto, a segunda confirma que o professor canadense Alan Mackworth (da *University of British Columbia*) foi o criador da ideia, citando inclusive o trabalho em que o professor introduziu o conceito.

Em suma, o desafio do futebol de robôs foi introduzido como forma de aumentar o desenvolvimento na área de robótica e inteligência artificial, assim os alunos poderiam aplicar os conhecimentos adquiridos em sala de aula. O futebol de robôs foi introduzido como simulação e disputa real com vários níveis de dificuldade (cambiando números de variáveis controláveis).

As dificuldades comuns a todos os níveis previstas para o futebol de robôs são de caráter individual (tais como identificação de si próprio e objetos relevantes à partida, dribles, chutes e disputas de bola) e coletivo (que incluem estratégias, passes, entre outros). É um grande desafio fazer as máquinas analisarem um cenário dinâmico e enfrentar adversários que têm como objetivo exatamente o oposto que elas.

O futebol de robôs tem várias categorias, dentre elas o *Very Small Size*, que segue regras definidas pelo IEEE (*Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos*, em inglês). Cada equipe compete com três robôs (jogando, a equipe pode ter robôs reserva) com dimensões máximas de um cubo com 75 milímetros de aresta. Os robôs são necessariamente autônomos, isto é, uma vez iniciada a partida, nenhum humano deve estar no controle de suas ações, portanto deve-se ter um controle computacional que perceba o que está acontecendo e tenha uma reação favorável aos objetivos do futebol.

O controle baseia-se em uma estratégia previamente programada em computador e seu objetivo é encontrar o caminho de melhor acesso ao gol, desviando de adversários. Grande parte desse processamento é realizado fora do robô. Desta forma, um computador recupera as imagens capturadas por uma câmera suspensa

(ver Figura 1) e as trata, identificando as marcações no campo e face superior dos robôs, assim como a bola. Concluído o processamento de imagem, o computador conhece a posição e orientação de cada robô, bola e traves. Agora o computador insere os parâmetros adquiridos nos algoritmos de estratégia, o qual decidirá a ação de cada robô. Serão então carregadas as próximas posições dos robôs e enviadas via rádio para o receptor na placa do robô. Isso é feito em tempo real e atualizado de acordo com a taxa de aquisição de imagens da câmera, gerando uma trajetória.



Figura 1 - Estrutura da iluminação e câmera (seta)

Na Figura 2 pode-se ver os robôs posicionados no campo durante uma partida da categoria *Very Small* no Campeonato Brasileiro de Robótica de 2011, disputado em São João del Rei – MG. O time a esquerda é o POTI (UFRN) e o da direita é o WARTHOG (USP/São Carlos).



Figura 2 – Partida de futebol de robôs

Lendo atentamente os artigos que descrevem os avanços da equipe POTI (referencias [17] a [22]), percebe-se que com o passar dos anos ela vem aperfeiçoando os diversos sistemas que compõem seus robôs. Em 2005, os robôs eram feitos com peças provenientes de brinquedos comprados especificamente para o propósito. A estrutura mecânica é outro elemento que tem sido mudada desde o início. Já foi de acrílico, madeira, PVC expandido e plástico ABS, já foi em forma de caixa, em camadas e em módulos, que é um misto das duas.

Ao longo desses anos, já foram construídos robôs que usavam motores com e sem caixa de redução e diversos tipos de rodas. Já houve mudanças no transmissor, microprocessador e forma como as placas ficavam alocadas e se comunicavam. Outras mudanças relevantes foram realizadas no sistema de visão, tanto na câmera quanto no sistema de cores adotado para caracterizar campo e objetos. A estratégia também foi alvo de mudanças, nas funções atribuídas a cada robô (goleiros, atacante, zagueiro) e suas ações pertinentes.

Nas Figura 3 e na Figura 3, é possível ver as variações na estrutura mecânica dos robôs entre 2005 e 2007 e também é possível verificar as diferenças nos motores e rodas dos robôs de 2005 e 2006.

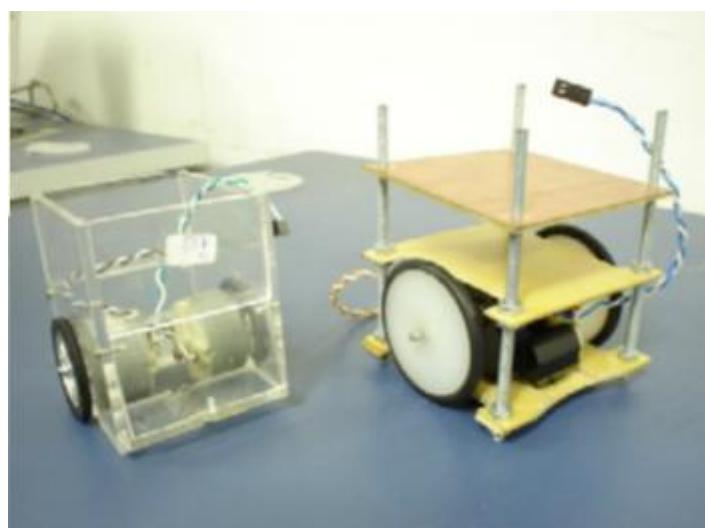


Figura 3 – Robôs de 2005 (esquerda) e 2006 (direita) [18]

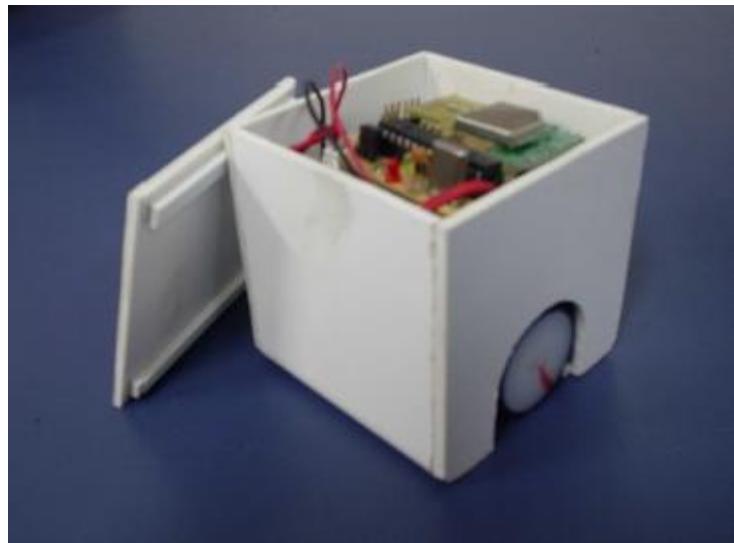


Figura 4 – Robô de 2007 [19]

A partir de 2007, o equipe começou a se preocupar mais com o movimento em torno de um eixo de rolagem (eixo imaginário concêntrico aos eixos dos motores). Pois se percebia que trazia problemas de ordens diversas, tanto de equilíbrio mecânico quanto para a eletrônica embarcada, que sofria com as quedas de tensão nas baterias e choques mecânicos. A primeira solução foi a instalação de esferas fixas coladas ao assoalho do robô (mostrado na Figura 5), eram esferas de rolamento, que apesar de serem de um aço muito duro se desgastam devido à fricção com o campo, foi checado que um robô pode percorrer mais de 0,5 quilômetro por partida. A substituição das esferas não era tão simples, porque eram coladas com adesivos fortes e a estrutura de PVC expandido é muito macia e delgada.

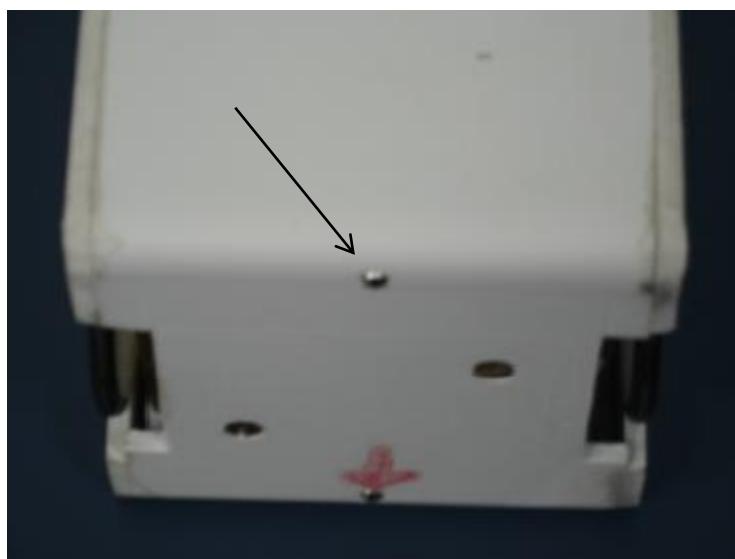


Figura 5 – Assoalho do robô de 2007 e a esfera fixa apontada pela seta [19]

Em 2011 foram instalados nos novos robôs parafusos em furos passantes no assoalho e à medida que a ponta ia se desgastando a equipe alterava o comprimento passante do parafuso para regular, mas para acessá-lo era necessário desmontar o módulo da eletrônica e baterias.

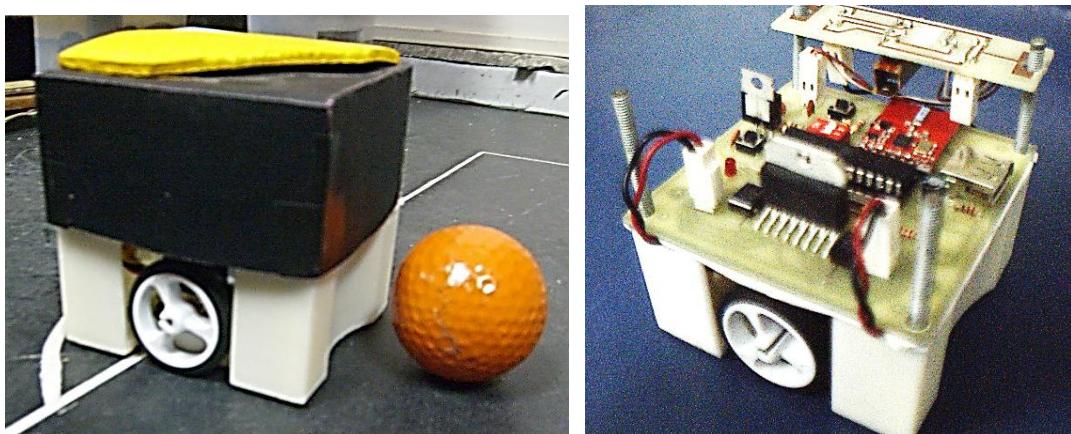


Figura 6 – Robô de 2011[22]

Este trabalho tem o intuito de renovar alguns itens dos robôs móveis com acionamento diferencial para futebol de robôs da equipe POTI. Nele foram elaborados dois novos projetos com estrutura em módulos feita em plástico ABS, o principal objetivo desses projetos é trazer o aperfeiçoamento relativo à solução contra o movimento em torno do eixo de rolagem. Para isso foram desenvolvidos protótipos com tais recursos e que sejam de mais fácil manutenção, reduzam perdas com atrito e tenham montagem simples.

2. MOTIVAÇÃO

Apesar do projeto POTI de futebol de robôs constituir uma equipe com muito êxito e várias conquistas, ele apresenta alguns problemas, que mesmo sem pesar, interferem na qualidade dos robôs e no controle destes. O mais destacado no momento é a trepidação.

A trepidação a que o trabalho se refere é um movimento indesejado, que acontecem em momentos de aceleração do robô contrária ao movimento atual, em torno de um eixo de rolagem, fato relacionado à inércia do conjunto. O problema deve-se à falta de um apoio consistente, isto é, devido a sua construção sobre duas rodas, não é criado um plano único e estável para o robô se apoiar. Trata-se de um caso de equilíbrio hipoestático. Para criar um plano estático seriam necessários três pontos no mínimo. A Figura 7 mostra uma representação do robô visto por baixo, um plano transparente que representa o chão e os dois pontos de contato marcados com “x”.

A trepidação atrapalha principalmente no controle do robô, pois gera um atraso entre o comando e a execução que confunde o processamento no computador. O problema também influencia na realização da ação, pois desvia muito o robô da trajetória planejada pelo controle. Além disso, sabe-se que alguns componentes eletrônicos sofrem sob a influência de choques mecânicos.

Em 2007 a equipe passou a se preocupar mais com a trepidação e a solução adotada até hoje foi a fixação de ressaltos nas extremidades do assoalho do robô, seja por meio de esferas de aço coladas ou instalação de parafusos em furos passantes. Porém, como estavam em contato direto com o chão, o movimento relativo com este desgastava os ressaltos, o problema voltava e a substituição desses ressaltos não era muito simples.

A ideia agora é utilizar apoios que se movam à medida que o robô se move, compensando o movimento relativo entre o robô e o chão, isto é, quando houver movimento do robô esse apoios devem rolar. Dessa forma, o atrito entre os pontos de contato e o chão é drasticamente reduzido e o período para a substituição das peças será bastante prolongado. O problema inicial, a trepidação, será resolvido, pois neste trabalho serão feitos novos projetos incluindo mais pontos contato no intuito de criar um plano de apoio único e estático.

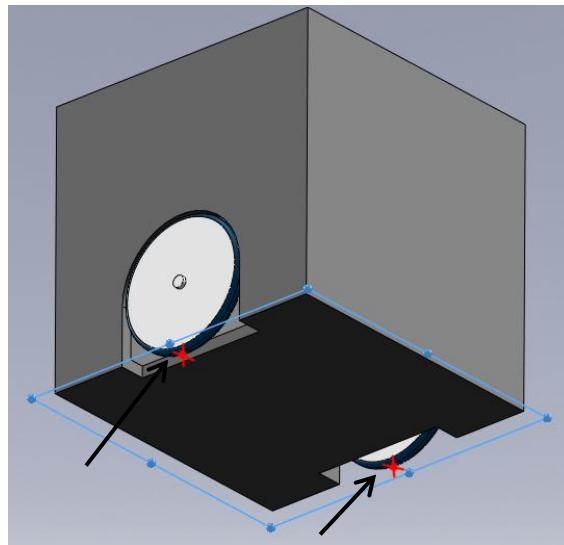


Figura 7 – O robô e os pontos de apoio

As Figura 8 e Figura 9 caracterizam o movimento de trepidação discutido nesse trabalho, ao se acelerar o robô num sentido haverá um movimento em torno de um eixo de rolagem, como se uma força agisse no robô na mesma direção, mas em sentido contrário. Esse efeito é caracterizado pela inércia. Aqui é chamado de trepidação porque ao observar uma partida dessa categoria o computador envia ao robô acelerações variadas ao longo de uma reta, resultando numa repetição do movimento descrito na Figura 8 e 8, parecendo um veículo trepidando.

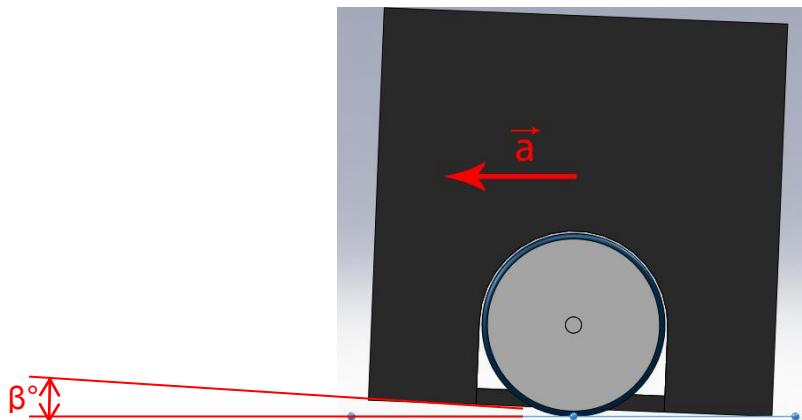


Figura 8 – Movimento de trepidação ao acelerar num sentido

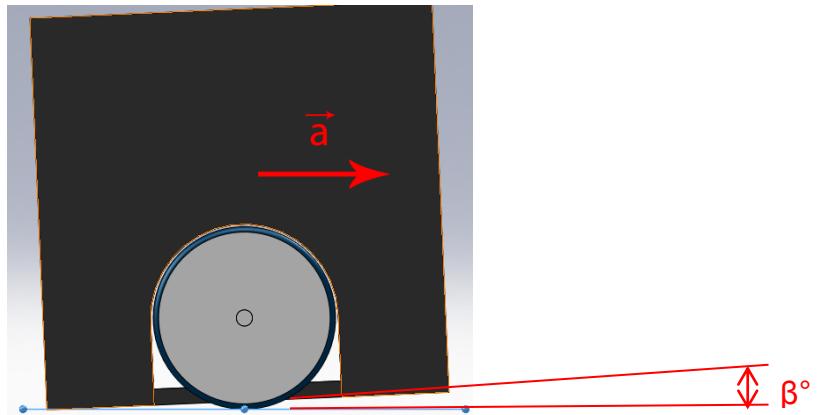


Figura 9 – Movimento de trepidação ao acelerar em outro sentido

Uma característica que influencia muito na trepidação é a distância entre o assoalho e o chão, quanto maior essa distância (observada em h na Figura 10) maior é o movimento em torno do eixo de rolagem. No entanto, se a distância for muito pequena há alta probabilidade do robô emperrar, isto é, a roda perde o contato com o solo e não há mais tração.

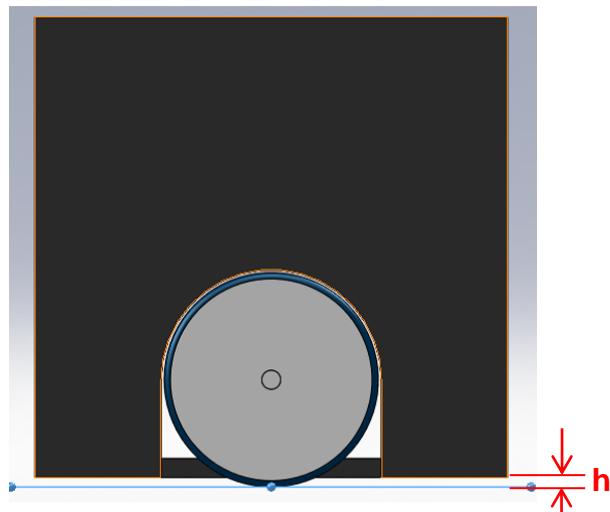


Figura 10 – O robô e a distância entre o assoalho e o chão

3. FUTEBOL DE ROBÔS

O IEEE e *Robocup* (uma competição mundial de robótica) definem três categorias principais de futebol de robôs: *Very Small Size*, *Small Size (F-180)* e *Humanoid*. Na última, robôs autônomos com formas semelhantes à do corpo humano jogam futebol entre si, são avaliadas ações como andar, correr, chutar sem cair, percepção visual, localização e estratégias. Na categoria F-180, cada time tem cinco robôs de até 180 mm de diâmetro com rodas e disputam entre si a partida. Devem ser autônomos, podendo ser controlados por computador ou processamento embarcado.

Na categoria *IEEE Very-Small Soccer*, são utilizados três robôs em forma de cubo com lado de 75 milímetros. São controlados remotamente por computador sem a intervenção humana (ver Figura 2).

3.1. Regras

As regras definem tamanho, forma, cores e marcações do campo e até textura. De acordo com as regras, a superfície do campo é preta, as linhas e o círculo central são brancos e cada jogador deve possuir obrigatoriamente um rótulo azul ou amarelo identificando seu time. Usa-se uma bola de golfe na cor laranja com diâmetro de 42,7 mm de diâmetro e 46g de massa. A partida é jogada entre dois times e dividida em dois tempos de cinco minutos, este deve ser parado em pausas e remoções de robôs avariados. Antes de iniciar, o arremesso de uma moeda decidirá quem escolhe cor do uniforme e posse de bola.

Um gol é marcado quando a bola passa completamente a linha do gol. Com base no número de gols o vencedor é definido. Se houver empate, o jogo é definido com o método da morte súbita, isto é, o primeiro a marcar é o vencedor. Se após três minutos não houver vencedor declarado, o jogo é decidido em cobranças de pênaltis, três cobranças para cada e adicionais (um-a-um) caso persista o empate.

Cada time contém três robôs com marcações na superfície superior, uma obrigatoriamente amarela ou azul com uma área mínima definida. Somente o goleiro (robô no interior da área) poderá capturar ou segurar a bola, por capturar e segurar se entende posicioná-la internamente em mais de 30% do diâmetro. Cada robô deve ser independente e somente comunicação sem fio será permitida entre computador e robô.

São permitidas apenas duas substituições ao longo do jogo, exceto no intervalo entre os tempos. Cada time pode pedir ao árbitro até duas pausas de dois minutos.

Comandos só podem ser transmitidos pelo computador quando o árbitro autorizar ou quando o jogo não está em progresso.

Se o árbitro considerar relevante à partida, colisões e empurões pela defesa serão punidos com tiro-livre, a não ser que o oponente esteja sempre em contato com a bola. É permitido empurrar o goleiro caso a bola esteja entre ele e o robô empurrador, no entanto não se pode empurrar o goleiro para dentro da baliza, o arbitro deverá apontar um tiro de meta. O tiro de meta também é considerado quando mais de um robô atacante entra na área do oponente. Se 50% do robô estiver dentro da área, é considerado que ele está dentro. Bloquear o goleiro em sua área, também dá direito a essa cobrança ao goleiro bloqueado. O tiro de meta deve ser cobrado pelo goleiro.

Caso haja mais de um robô defensor dentro da área e a bola também estiver dentro, ou entrar posteriormente, o árbitro deve penalizar o time defensor: o time oposto terá direito a uma cobrança de pênalti. Da mesma forma, se um goleiro mantiver o controle da bola por mais de 10 segundos dentro de sua área, um pênalti é cobrado pelo time adversário. Se não houver permissão do juiz, o toque aos robôs deve ser penalizado com pênalti.

Uma disputa de Bola Livre pode ser apitada quando a bola fica empatada (travada) por mais de 10 segundos e isso não aconteceu dentro da área, quando se apita um tiro de meta.

A partida só poderá ser interrompida caso um robô tenha que ser substituído, caído de forma a bloquear a baliza, gol for marcado, aconteça falta ou a bola fique travada por mais de 10 segundos.

No tiro livre a bola é colocada no local relevante pré-determinado, os jogadores da defesa são colocados nas extremidades da meia-lua e o goleiro na área, um dos adversários fica além da bola e o outro no próprio campo de defesa.

No pênalti, a bola é colocada na posição relativa a ele, o robô da cobrança fica além da bola, o goleiro deve ter um dos seus lados tocando a linha do gol e os outros robôs têm que ficar do outro lado da linha de centro.

Para o tiro de meta, a bola e o goleiro são os únicos que podem se posicionar dentro da área, o restante dos robôs pode ficar em qualquer lugar.

Na bola livre, a bola é colocada no lugar específico e um robô de cada time fica distante 20 cm da bola, os demais são colocados fora do quadrante do campo em que vai ocorrer a disputa.

As posições para cobranças de penalidades, referidas nesse Capítulo podem ser conferidas no ANEXO F.

3.2. Visão

O sistema de visão consiste em uma câmera que capta imagens do campo com os robôs e a bola. O sistema de localização é responsável por identificar a posição dos robôs e da bola no campo e informar ao módulo da estratégia a localização de cada um deles.

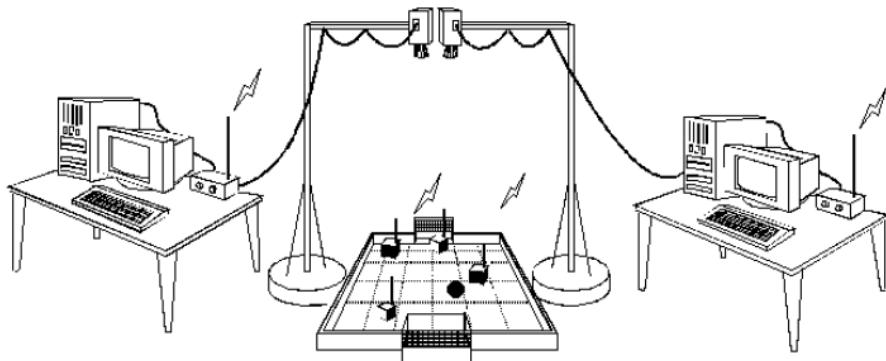


Figura 11 - Montagem física num jogo [12]

Quando uma nova imagem é recebida, o sistema de localização faz uma varredura procurando píxeis (menor ponto que forma uma imagem digital) azuis, amarelos ou laranjas, que são as cores obrigatórias das duas equipes e da bola, essa etapa é denominada de segmentação. Quando um pixel de uma das cores principais é encontrado, buscam-se todos os píxeis vizinhos da mesma cor. E feita então uma media das coordenadas dos píxeis vizinhos de mesma cor, o que define o centro da região. Caso se trate de uma região azul ou amarela, é feita uma varredura nas proximidades para localizar regiões de cores correspondentes aos rótulos auxiliares, os quais identificam o numero do robô e sua orientação. O centro do robô e sua orientação são calculados a partir dos centros das regiões que correspondem aos seus dois rótulos.

Antes de cada jogo é necessário realizar a calibração do sistema, na qual são definidos os limiares dos componentes do espaço de cores que definem cada uma das cores utilizadas no jogo, além das coordenadas dos píxeis relativos aos pontos notáveis do campo, que são os pontos onde duas ou mais linhas do campo se encontram.

Os dados resultantes da calibração da câmera permitem que o algoritmo saiba diferenciar as cores e corrija os problemas de distorção causados pelas lentes da câmera. Daí pode-se converter as informações de posição e orientação de unidades de píxeis para metros.

3.2.1. Cores

O sistema de cores usado pela equipe POTI de futebol de robôs foi desenvolvido pelo Laboratório de Robótica da UFRN e é chamado de HPG, iniciais de *Hue, Purity e Grayness* (inglês para Matiz, Pureza e “grau de Cinza”). O sistema parte do princípio que as cores podem ser definidas como sendo uma mistura de cor pura e tom de cinza, definidas pelos parâmetros P e G respectivamente. A cor em questão é definida por a componente H. Ele é usado por apresentar bom desempenho quando se deseja segmentar regiões coloridas de fundos em tom de cinza (robôs, bola e campo - preto).

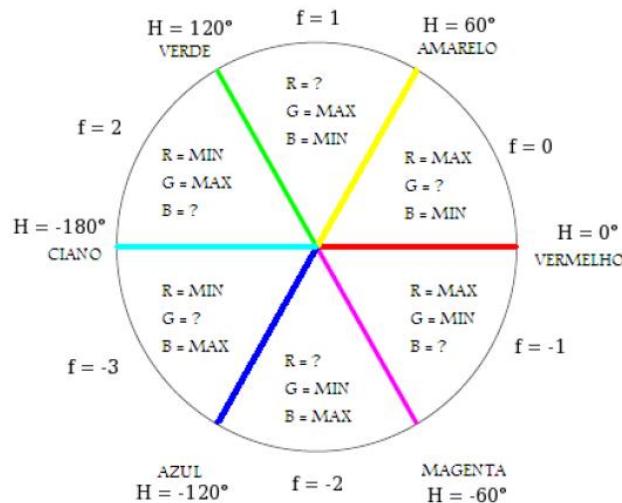


Figura 12 - Círculo de cores HPG [19]

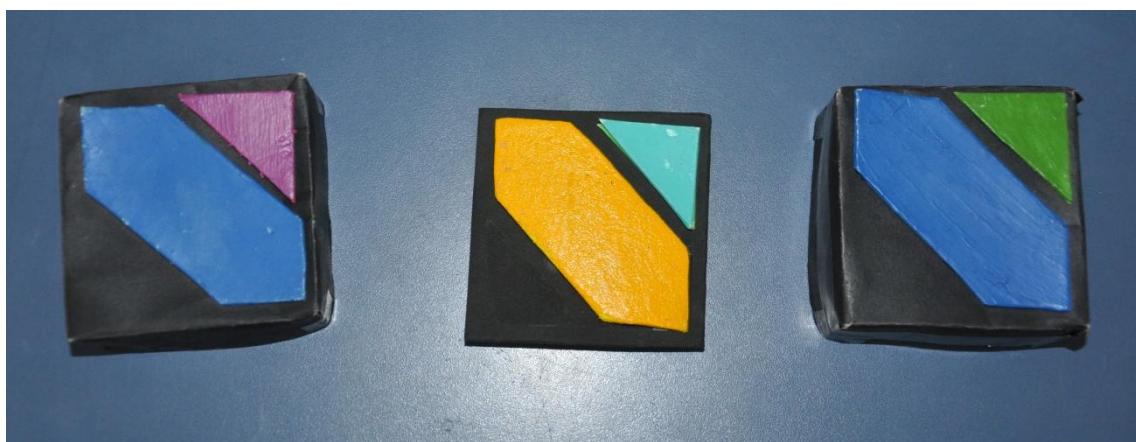


Figura 13 - Marcações superiores

3.3. Eletrônica

A eletrônica dos robôs já passou por algumas evoluções também. Atualmente são utilizadas baterias de polímero de lítio, mais leves e com maior razão carga-massa, isto é, tem maior capacidade de armazenar carga energética por quantidade de massa do que as antigas de níquel-hidreto-metálico. Em projetos anteriores os circuitos impressos eram divididos em duas placas, uma com os componentes lógicos e outra com os componentes de acionamento, o que resultava em maior alocação de espaço para elas e constante mau-contato entre as conexões, o que causava queda de tensão no microcontrolador e um posterior *reset*. Atualmente tem-se todos os componentes numa placa só, entretanto existe uma pequena placa auxiliar somente para fazer a conexão com o carregador.

Dentre os principais componentes estão o regulador de tensão LM317 (Figura 14-d), a ponte H L298N (Figura 14-c), o microcontrolador PIC18F2550 (Figura 14-2), o *transceiver* nRF24L01+ (Figura 14-a), além de outros componentes como resistores, capacitores e conectores.

A tensão proveniente da bateria fica em torno de 7V e 8V, de acordo com a carga. No entanto nem todos os componentes da placa de circuito impresso podem ser submetidos a essas tensões, então se usa um regulador de tensão para que se mantenha a tensão em certa trilha dentro dos limites exigidos. O LM317 usado aqui mantém uma tensão de 3,3V que alimentam o PIC, a Ponte H e o Transceiver.

O *transceiver* é o componente responsável pela captura do sinal de rádio enviado pela placa transmissora e converte-lo em sinais comprehensíveis para o microcontrolador.

O microcontrolador é um componente eletrônico dotado de diversos periféricos internos capazes de processar dados e emitir respostas de acordo com sua programação.

A ponte H é uma combinação de transistores envelopados de maneira lógica. Ela tem como entrada um sinal de baixa tensão e uma saída de tensão amplificada. Esse circuito integrado permite que o motor CC dos robôs seja acionado tanto no sentido horário, quanto anti-horário. No caso, o microcontrolador envia um sinal de baixa tensão para os terminais de base e saturando os transistores corretos, os terminais emissores enviam as tensões amplificadas aos motores. Os motores podem drenar uma corrente de mais de 0,5A, situações onde é indicado o uso dessas pontes H.

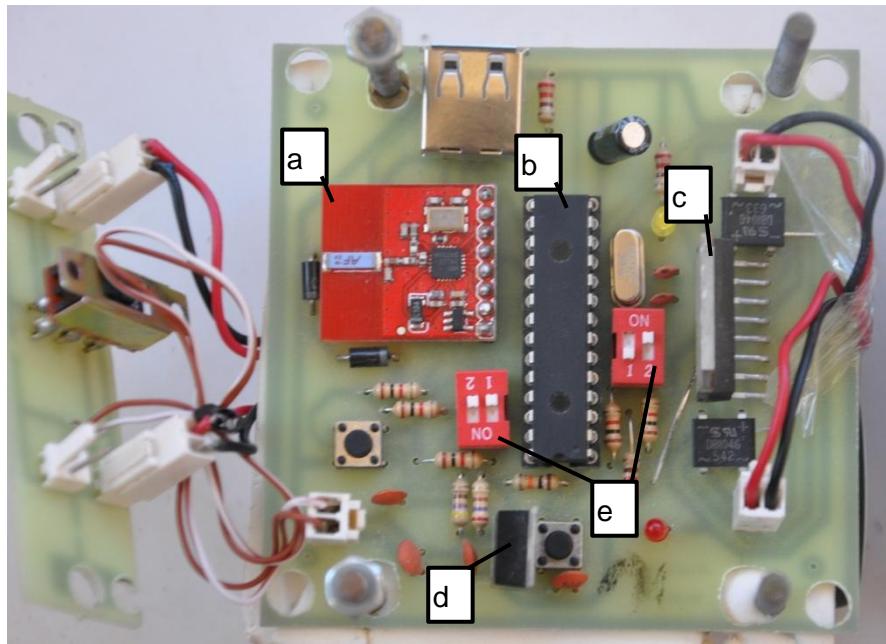


Figura 14 - Placa dos robôs com principais eletrônicos indicados

A placa contém ainda dip-switches (Figura 14-e), que são interruptores usados para selecionar a frequência de rádio utilizada pelo par transmissor-receptor e número do robô (ID 0, ID 1 e ID 2). São ligados de forma lógica, que resultam em diferentes combinações (no caso dos robôs da equipe POTI, existem quatro combinações para cada um).

A Figura 15 resume bem as conexões entre os componentes mencionados no texto.

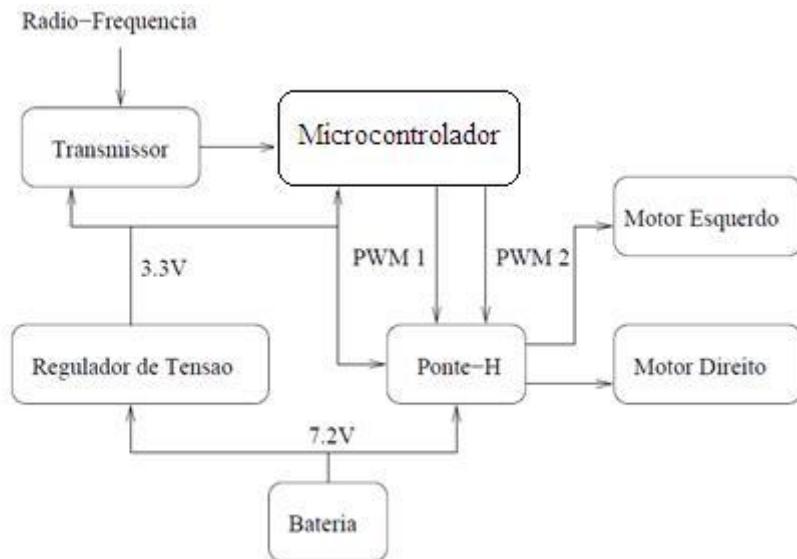


Figura 15 - Esquema do funcionamento do circuito do robô, adaptado de [21]

3.3.1. PWM (*Pulse Width Modulation*)

Seria possível acionar os motores com controles lineares de potência, no entanto não é possível manter o controle sobre o torque e a velocidade em baixas rotações. Os motores tendem a partir com solavancos e também não é muito simples compensar as variações de velocidade que ocorrem quando o motor tem de fazer mais força. Uma maneira de obter um controle muito mais preciso sobre o torque e a velocidade de motores de corrente contínua é através de circuitos que empregam técnica de PWM. Com estes circuitos pode-se manter o torque ainda que em baixas velocidades, garantindo partidas suaves para os motores mesmo carregados.

Um dos periféricos internos do PIC18F2550 é o controlador de PWM, que significa modulação por largura de pulso em inglês. O microcontrolador envia pulsos com durações controladas em suas saídas, o que permite variações de intensidade média da corrente sobre o motor.

O motor especificado no projeto trabalha com velocidade máxima à 6V se forem enviados pulsos com tensão total e tensão nula durante determinado período t , a tensão efetiva nos motores será a tensão média nesse período. Vejamos o exemplo Figura 16: o ciclo ativo é de 80% do período t , isso corresponde a um PWM de 80% no trabalho.

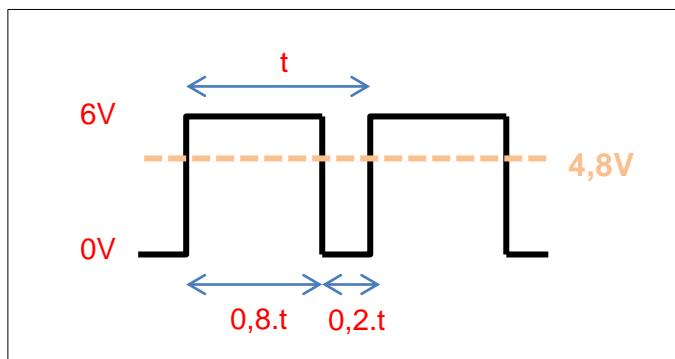


Figura 16 - Modulação de largura de pulsos

3.4. Controle

Será exposto nesta seção o conteúdo condensado e resumido da referência número [24], que em 2004 documentou estudos sobre o funcionamento do controle computacional dos robôs móveis com acionamento diferencial.

A partir das referências geradas pelo módulo de estratégia, o controle calcula as tensões a serem enviadas aos motores. De forma resumida, a abordagem adotada se baseia na separação do controle de posição em dois controladores independentes:

um controlador angular e um controlador linear, conforme indicado na Figura 17. O controlador angular se preocupa em apontar o robô para a referência desejada, enquanto o controlador linear procura posicioná-lo, ao longo da reta que coincide com sua orientação atual, no ponto mais próximo da referência desejada.

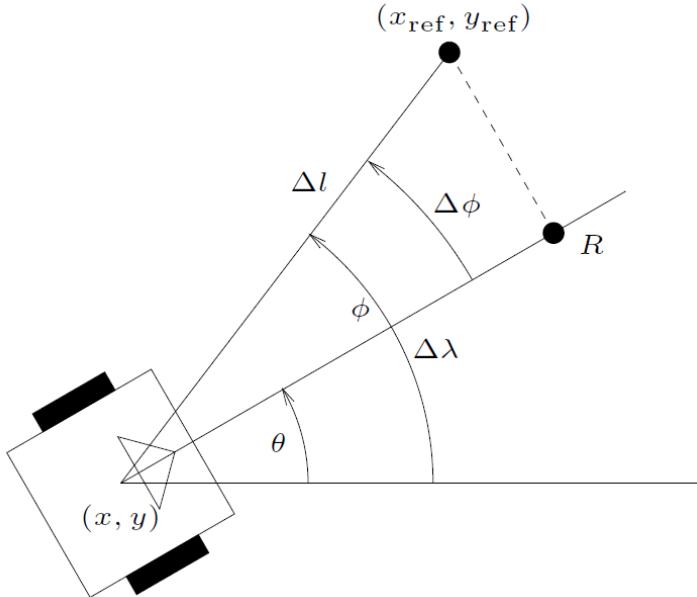


Figura 17 – Esquema dos controles computacionais [24]

3.5. Funcionamento

Pouco antes do início da partida a equipe deve fazer a calibração do sistema da câmera e localização. No conjunto de lentes da câmera são ajustados zoom, foco e abertura do obturador. Depois disso, calibra-se o sistema de localização em um programa específico produzido pela equipe. O processo de calibração envolve ajuste de parâmetros semelhantes a brilho e contraste da imagem capturada, limites do campo e seus pontos notáveis (intersecção das linhas do campo) e distinguir cada cor utilizada pelo sistema no campo. É realizada a calibração logo antes da partida porque o sistema é sensível às diferenças de iluminação que ocorrem durante o dia.

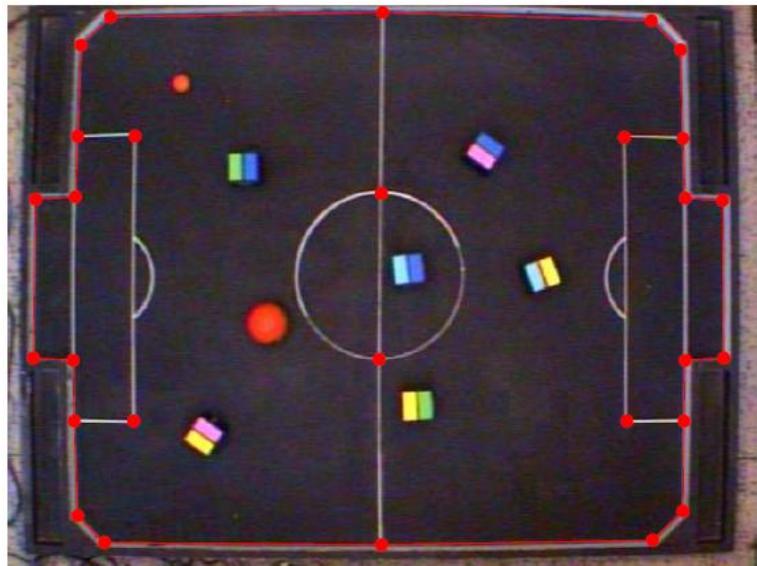


Figura 18 - Uma das fases de calibração – informação dos pontos notáveis [20]

Na Figura 19, há um esquema do funcionamento do time POTI de futebol de robôs. Primeiramente, a câmera suspensa capta as imagens do campo e envia para o sistema de localização. Com os dados da calibração, feita logo antes da partida, o sistema mencionado trata as imagens e varre-as em busca dos píxeis relevantes, informando em tempo real as posições e orientações ao sistema de estratégia. Com as definições de estratégia implementadas, esse sistema define as funções (goleiro, defensor e atacante) e as ações de cada robô (esperar, defender, tirar do gol; esperar na defesa; contornar, posicionar, alinhar, chutar, descolar da parede), isso gera no computador novas informações de referência (ponto cartesiano no campo, cuja origem é o centro do campo) para cada robô. Com essas informações, o sistema de controle vai gerar os perfis de velocidade linear e angular para cada roda de cada robô, passando informações como as da **Tabela 1** para o transmissor. Nos bytes relativos a cada roda, há números que se referem à quanto veloz deve girar a roda.

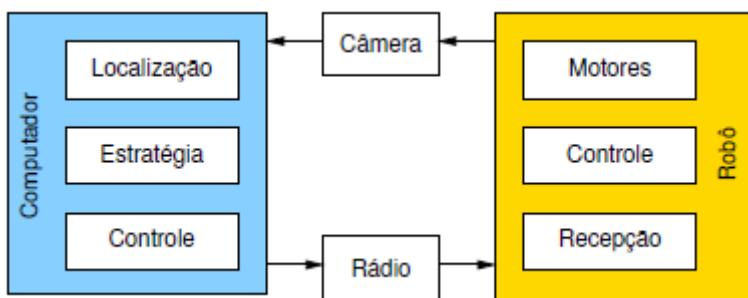


Figura 19 - Esquema de funcionamento [19]

Tabela 1 - Pacote de dados transmitidos [22]

Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
Cabeçalho	Robô 1	Robô 1	Robô 2	Robô 2	Robô 3	Robô 3	Fim de Quadro
0x7F	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita	0x80

O sistema de recepção de cada robô recebe todos os dados anteriores e certifica-se de utilizar apenas o referente a determinado robô. O sistema de controle interno ao robô agora vai traduzir aqueles bytes selecionados de forma a gerar uma PWM já calculada pelo controle principal. As trilhas do circuito levam os pulsos até uma ponte H, responsável por elevar as tensões provenientes do microcontrolador a tensões altas o suficiente para manter o funcionamento dos motores da maneira adequada. O movimento do eixo dos motores aciona a redução e as rodas acopladas, gerando o movimento dos robôs pelo campo. O movimento vai sendo corrigido ao longo da sua trajetória em tempo real, numa taxa de 67 milésimos de segundo (no caso da câmera de 15 *frames per second* e 33 ms para a de 30 fps), que é o intervalo entre duas capturas de imagem, logo também é o período do ciclo mostrado na Figura 19.

4. PROJETO MECÂNICO

Como definido anteriormente este problema se dá a falta de total apoio do conjunto, portanto foram inclusas e testadas nesse trabalho mais duas sugestões para solucionar. Para melhorar o apoio será criar um plano único, estável e estático. O plano como tal é definido com três e quatro apoios, sendo o primeiro isostático e o segundo hiperestático.

Os projetos foram elaborados em software CAD, com as especificações exigidas pelas regras e metas da equipe. O projeto mecânico deve ter boa resistência mecânica, baixo peso e proporcionar facilidade na montagem dos outros componentes como motores, baterias e placas de circuitos eletrônicos. Optou-se então por construir os protótipos usando técnica de prototipagem rápida, devido à qualidade final, propriedades mecânicas satisfatórias e tempo de fabricação relativamente curto.

A estrutura resultante desse método construtivo resulta um robô leve, com considerável resistência e a forma como foi projetado trás uma facilidade para montar, minimizando erros de montagem.

4.1. Especificações Gerais do Projeto Mecânico

Basicamente, segundo a regra da competição, o robô deve ter dimensões máximas de um cubo com aresta de 75 milímetros. A competição não estabelece peso máximo, nem mínimo, todavia a equipe optou por projetar o robô com o menor peso possível e resistência mecânica que permita colisões sem sofrer danos.

Outro objetivo da equipe foi fazer com que o robô fosse capaz de conduzir melhor a bola. Em projetos anteriores, o robô apenas empurrava a bola, sem ser capaz de conduzi-la em trajetórias não retilíneas, decidiu-se, então, inserir nesses novos projetos uma estrutura geométrica capaz de melhorar a condução da bola. Projetou-se uma cavidade com forma de arco respeitando o estabelecido pelas regras do IEEE. Na Figura 20 e na Figura 21 pode-se observar a geometria das cavidades projetadas para facilitar a condução da bola.

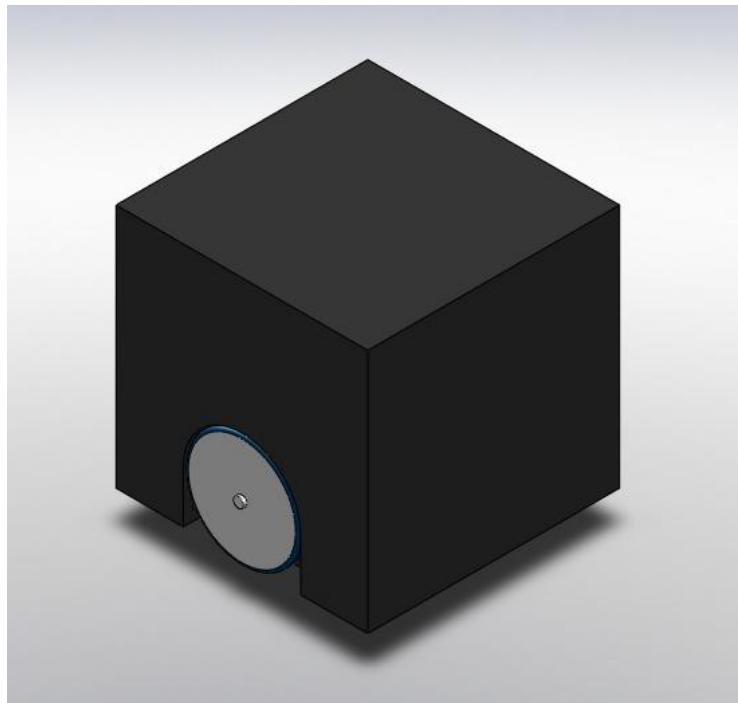


Figura 20 - Projeto do robô sem cavidade para condução

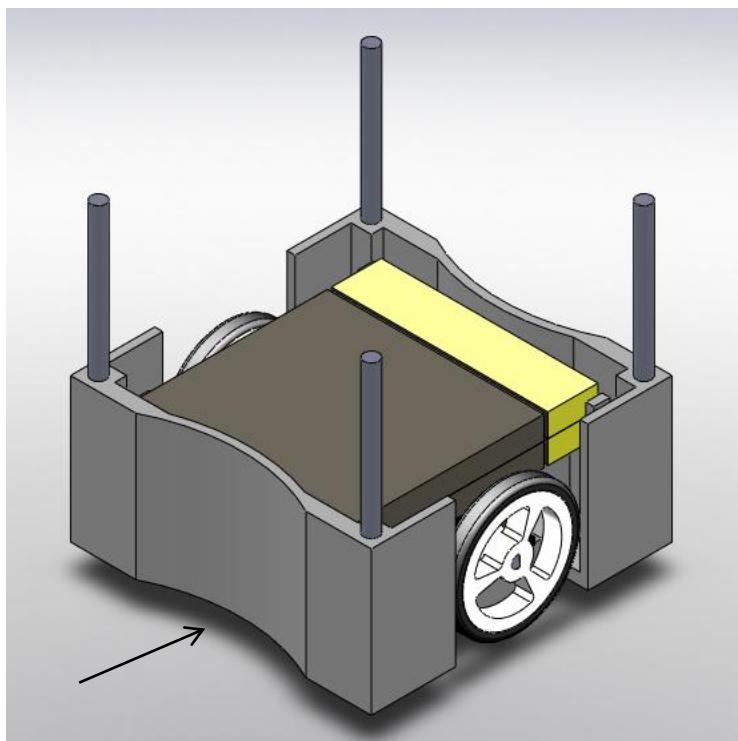


Figura 21 - Projeto do robô com cavidade para condução da bola

4.2. Prototipagem Rápida

No fim dos anos 80, desenvolveu-se uma técnica de fabricação por adição de material por camadas planas, um processo amplamente automatizado, que diminuiu consideravelmente o contato humano no processo, incrementando sua qualidade final. As informações geométricas são provenientes de softwares CAD e o operador apenas

prepara a máquina. O nome vem da época em que a técnica era usada para materializar a ideia (protótipo) de uma forma mais rápida que a artesanal.

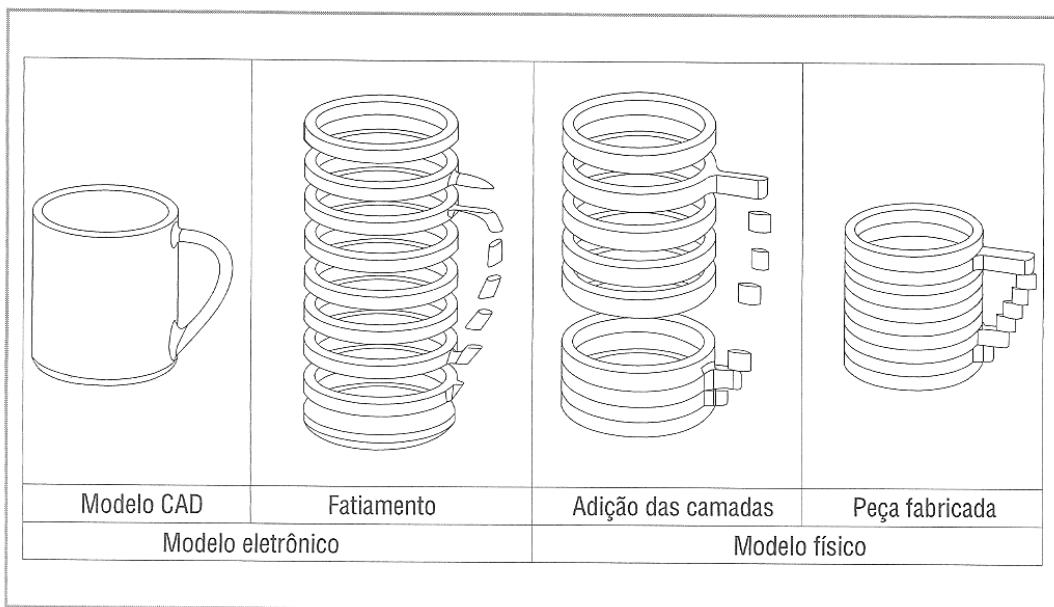


Figura 22 - Representação das principais etapas do processo de manufatura por camada [10]

Ao salvar o modelo em 3D da peça no formato correto, ele é fatiado computacionalmente e as curvas de níveis 2D informarão onde haverá material ou não em cada “pavimento”. Esse fatiamento também interfere em duas características bastante importantes na fabricação dos protótipos: resistência mecânica e riqueza de detalhes. O produto fabricado por PR (Prototipagem Rápida) é anisotrópico, isto é, possui diferentes propriedades nas três dimensões e isso é ainda mais pronunciado no eixo Z de construção, pois a agregação entre camadas, normalmente, apresenta maior fragilidade que a agregação do material na mesma camada. Portanto, ao construir geometrias mais alongadas e que necessitem de maior resistência à flexão, como pinos, recomenda-se a construção paralela ao plano XY. Quando se deseja maior precisão dimensional das estruturas, é indicada a construção perpendicular ao plano XY.

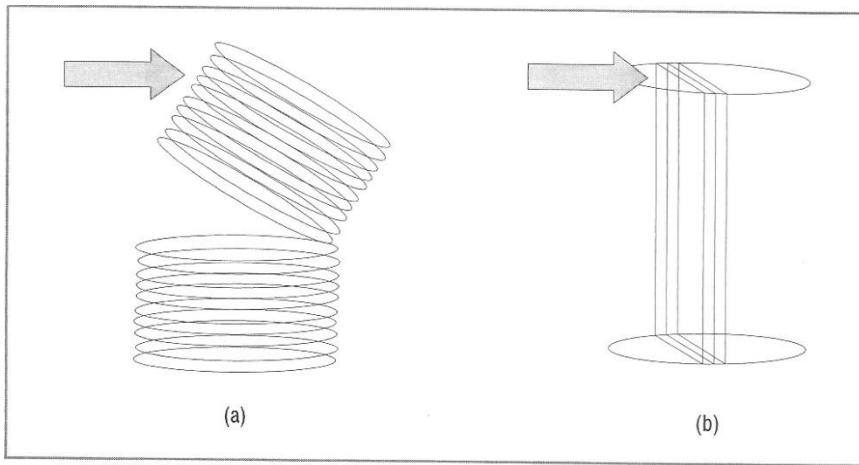


Figura 23 - Variação de resistência do protótipo em função da orientação de fabricação [10]

Durante a fabricação de modelos pelo processo de PR são bastante utilizadas estruturas de suporte para apoiar regiões que durante a construção estão em balanço. As estruturas de suporte são geradas pelas ferramentas computacionais que acompanham o equipamento e dependem da geometria e orientação do modelo. Existem diversas formas de remover o material do suporte: remoção mecânica por quebra e abrasão, dissolução em agentes químicos ou fusão por temperatura inferior à do material principal do protótipo.

A atividade de remoção mecânica é manual e confere uma queda de qualidade superficial do objeto, além de ser dificultada ou impossível em certas regiões de difícil acesso às ferramentas, como pequenas cavidades. Ainda de acordo com [10], para reduzir a quantidade de suportes, que também implica em tempo de processamento para sua deposição, é importante orientar o modelo de forma mais estável possível e com menor número possível de estruturas em balanço.

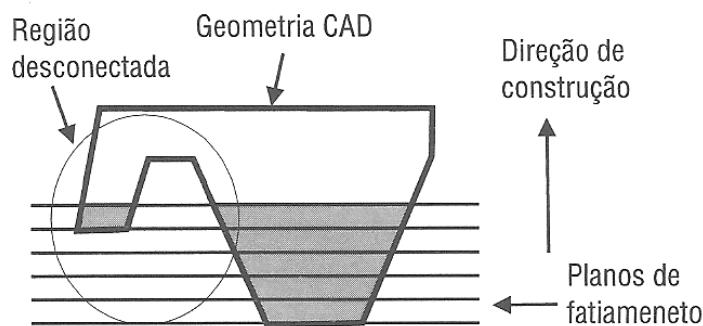


Figura 24 - Necessidade de estrutura de suporte em regiões em balanço [10]

Os principais processos de prototipagem rápida são agrupados como: os baseados em líquido, os baseados em sólidos e os que utilizam material em pó. Aqui serão enfatizados os processos baseados em sólidos, mais especificamente a

modelagem por fusão e deposição (FDM, do inglês *Fused Deposition Modeling*), pois é a técnica empregada pela máquina utilizada por nós.

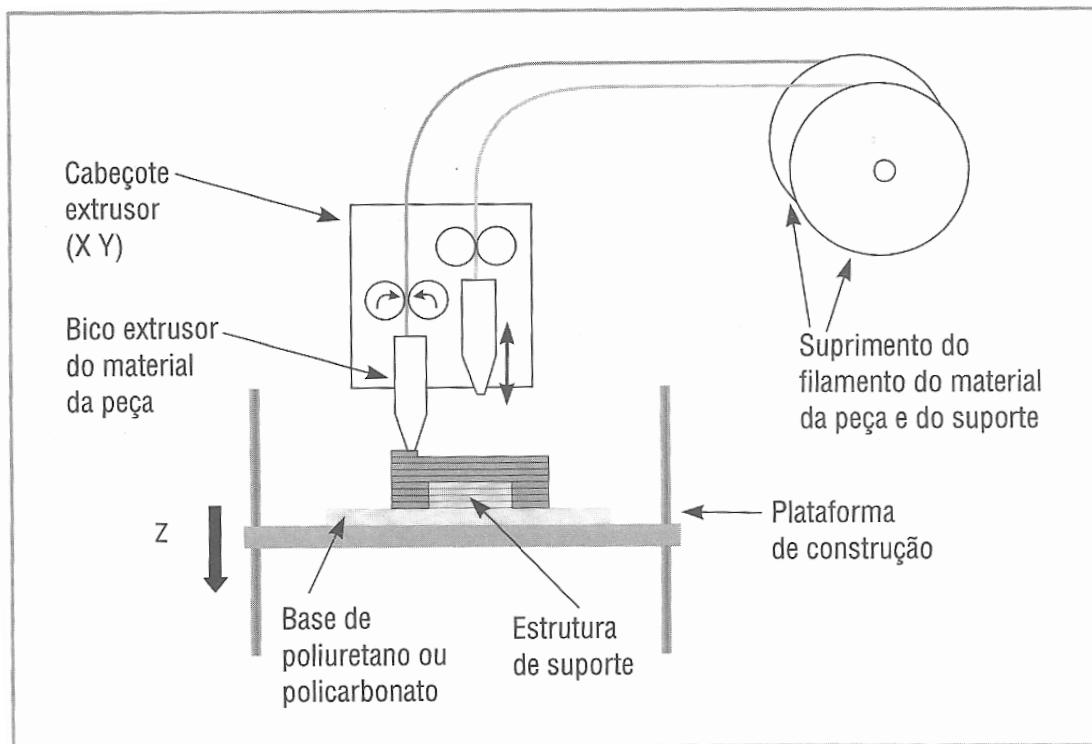


Figura 25 - Princípio do processo FDM [10]

De acordo com [10], o processo FDM constrói o protótipo por deposição de um material extrudado. A cabeça de extrusão com movimentos nos eixos X e Y, posicionada sobre uma mesa com movimento no eixo Z, recebe continuamente o material na forma de fio, aquecendo-o até o ponto semilíquido ou pastoso. O próprio filamento de material sendo tracionado funciona como êmbolo no início do sistema de extrusão para expulsar o material por um bico. Quando o filamento fino entra em contato com o material da superfície da peça, ele se solidifica e adere à camada anterior. A mesa, que é constituída de um mecanismo elevador, desloca no eixo Z o valor referente à espessura da camada a ser depositada. Essa tecnologia necessita da criação de estrutura de suporte.

Como mencionado anteriormente, o suporte é utilizado para possibilitar a construção de regiões que não estejam conectadas ao corpo da peça quando da fabricação das primeiras camadas. Estas regiões ficariam suspensas no espaço sem a construção de estruturas para suportá-las e, portanto, não seria fisicamente possível sua construção. Sendo assim, a máquina de FDM possui um segundo bico exclusivo para adição de material de suporte.

Os seguintes materiais estão disponíveis para a construção de protótipo neste processo: cera, poliéster, ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), ABSi (esterilizável), policarbonato e polifenilsulfona.

Nesse processo de fabricação, a primeira deposição de cada camada é referente ao contorno ou perímetro e, em seguida, é preenchida a área interna do mesmo. Para aumentar a resistência da peça, a direção do preenchimento é alternada de 90º a cada nova camada.

4.3. Sistema Robótico Móvel com Duas Rodas Motrizes (Projeto HUM)

Os robôs mostrados nesse Capítulo são melhorias de um sistema robótico anterior. Em maio de 2011 foi concluída a fase de projeto desse sistema. Foi adotada uma estrutura em módulos, com a base fabricada por PR em plástico ABS. Aqui foram implantadas as baterias de polímero de lítio, rodas mais robustas de fabricação em série e, para evitar a trepidação, parafusos passantes do tipo Allen (Figura 26 – apontado por a – e Figura 27).

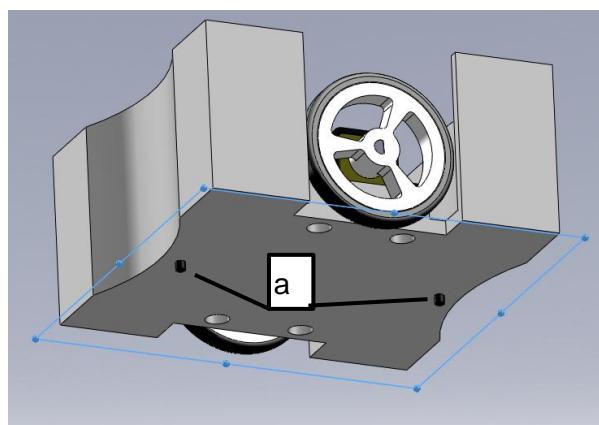


Figura 26 - Projeto do robô de 2011

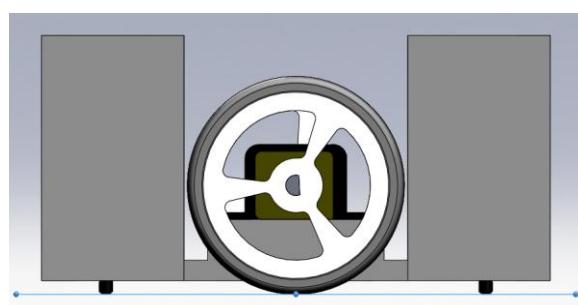


Figura 27 - Vista lateral do robô de 2011

4.4. Sistema Robótico Móvel com Duas Rodas Motrizes e uma conduzida

O protótipo foi apelidado de Trípode por possuir três pontos de apoio (tri = em três; pedes = pés), dois deles serão as rodas motrizes e o terceiro será uma esfera transferidora, que será conduzida, isto é, terá movimento passivo. As rodas são deslocadas para trás em relação à concepção original da Figura 7. A esfera será instalada na parte frontal, tem-se, portanto, três pontos de contato com o solo o que confere a construção de um plano de apoio único e estático. Na Figura 28 a seguir, é possível ver o projeto do Trípode e também ver os pontos de contato com o solo, marcados com x (apontado pelas setas). Esses pontos são pertencentes ao plano de apoio do robô.

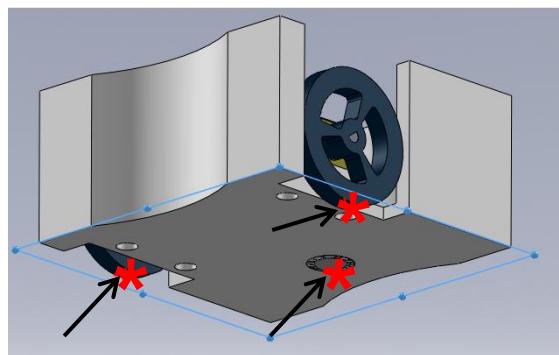


Figura 28 - Projeto preliminar do Trípode

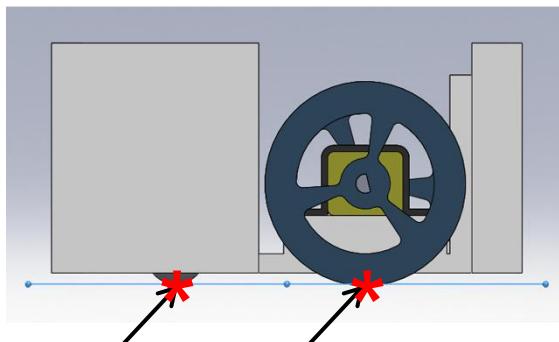


Figura 29 - Vista lateral do Trípode

Foram utilizados os mesmos componentes eletromecânicos dos sistemas antigos e, nos próximos capítulos, serão mostrados os testes em campo, observando os resultados. A montagem é semelhante: tem-se uma base confeccionada na máquina de prototipagem, em plástico ABS, com os locais adequados para cada componente, que serão encaixados e aparafusados. A esfera transferidora, que é novidade do projeto, foi instalada após essa carcaça ser perfurada com a dimensão

correta. No entanto, em projetos futuros, a base do trípode sairá na máquina de prototipagem com os furos e ressalto específico para a esfera transferidora escolhida, para evitar problemas de montagem.

4.3.1 Esfera Transferidora

Esse elemento é muito utilizado em manipulação de cargas, por exemplo aeroportos e empresas de logística. Constituem-se basicamente de uma esfera maior que fica em contato com esferas menores de rolamento, essas ficam encapsuladas dentro de uma carcaça semiesférica. Seu projeto reduz de forma significativa os esforços de fricção, sendo, portanto, utilizadas para deslocar grandes cargas. Geralmente atuam em qualquer direção e cada unidade é auto lubrificada. Alguns fabricantes indicam que a velocidade máxima recomendada é de 1m/s, porém seus cálculos são baseados nas possibilidades de grandes cargas. Existem, ainda, alguns conjuntos de esferas que são apoiadas sobre roletes.

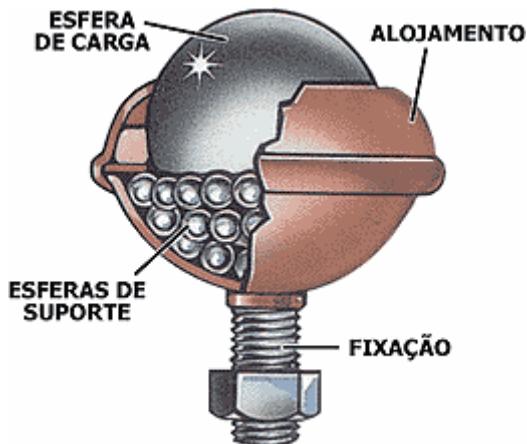


Figura 30 - Esfera transferidora e seu interior [3]

Foi avaliado o melhor arranjo de esfera para o robô, dentre os mostrados na Figura 31, foram observados aspectos visando economizar espaço interno, garantir o bom apoio do sistema, facilidade na montagem e manutenção e custo perante as alternativas.

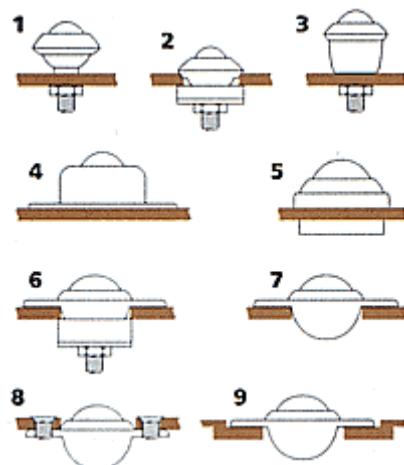


Figura 31 - Métodos de fixação de esferas transferidoras [3]

As esferas adquiridas são extremamente miniaturizadas e não sofrerão ações de esforços muito intensos, o que simplifica sua construção, elas não possuem as esferas de suporte, mas seus alojamentos são fabricados num plástico de baixo coeficiente de atrito para que mantenham sua função de facilitar o movimento. A Figura 32 a seguir os dois modelos comprados, eles estão desmontados para análise dos elementos componentes.

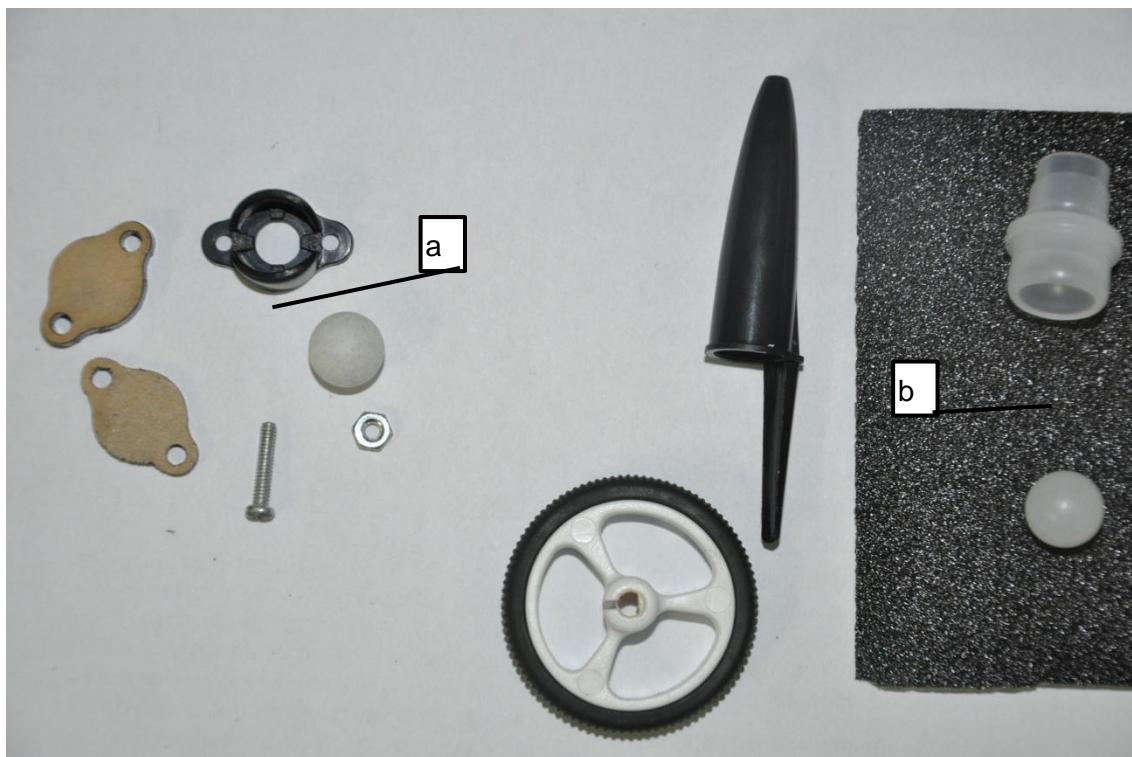


Figura 32 - Comparação entre elementos das esferas transferidoras

Foi escolhido o conjunto da esfera (a), pois ela ocupa menos espaço interno, além de garantir uma fixação bastante rija com os parafusos e porcas.

4.5. Sistema Robótico Móvel com Duas Rodas Motrizes e duas conduzidas.

O protótipo terá quatro apoios, sendo duas rodas motoras e duas rodas conduzidas. Tal característica levou o projeto a ser chamado de Tetrápode (“que possui quatro membros”). O par de rodas semelhante será montado na diagonal, isto é, as rodas motrizes ficarão de lados opostos e uma mais à frente que a outra. Os mancais deslizantes para os eixos das rodas conduzidas são confeccionados na própria base do robô, pois reduzem o número de componentes e facilita os alinhamentos na hora da montagem, como o plástico ABS é rígido, terá uma boa durabilidade nessa aplicação. O Tetrápode é apresentado na Figura 33 e na Figura 34, além de seu plano de apoio e os pontos que o definem (asterisco).

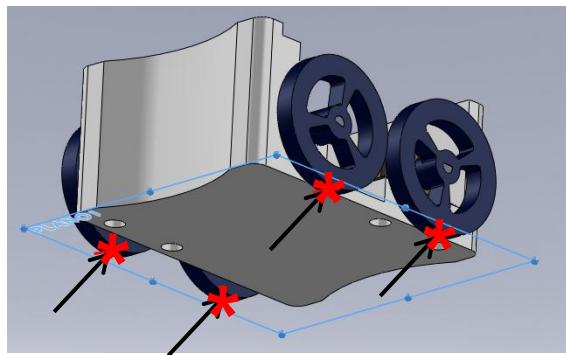


Figura 33 - Protótipo preliminar do Tetrápode

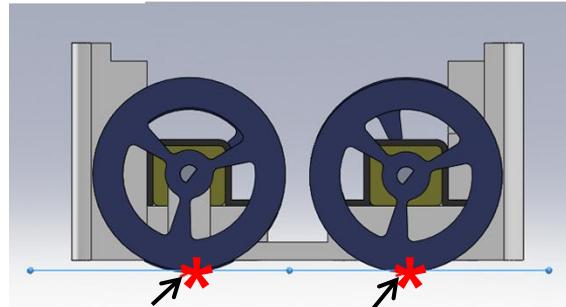


Figura 34 - Vista lateral Tetrápode

Novamente, a montagem é feita por encaixes e parafusos, pois o projeto já é específico para os componentes que se tem, tais como baterias, motores e presilhas, rodas e circuito eletrônico. Como é possível ver nas duas Figuras acima, há a definição de um plano de apoio estático, garantindo que não haverá trepidação nos movimentos acelerados.

A disposição das rodas tratoras, posição diagonal, consiste numa tentativa de manter o centro de rotação passando pelo centro geométrico. Ao analisar a Figura 35, vê-se que o objetivo foi atingido, sendo a intersecção das linhas traço-ponto o centro

geométrico (CG_m) e a intersecção das linhas cheias azuis o centro de giro (CG_r), pois ambos os pontos coincidem – ver asterisco na Figura 35.

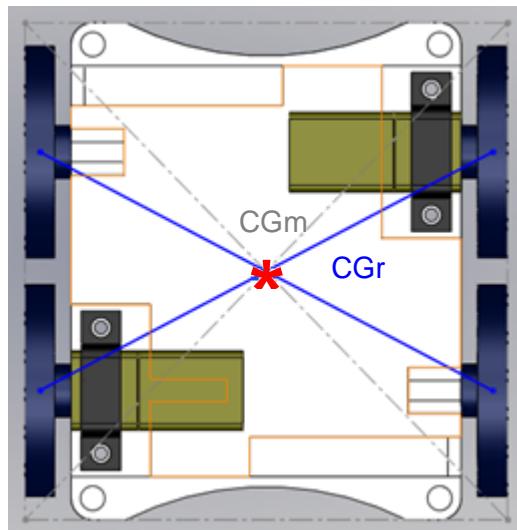


Figura 35 - Tetrápole com o CG_r e o CG_m representados

5 MODELAGEM MATEMÁTICA

A modelagem matemática é importante para este trabalho, pois as alterações estruturais do projeto implicam em uma forma diferente de se processar os dados e no comportamento ao executar as ações. Mudando as rodas de posição está se alterando o comportamento que o robô terá durante o acionamento delas, principalmente por ser um acionamento diferencial. Portanto, haverá um novo modelo para prever como será o comportamento do robô ao acionar as rodas.

5.1. Análise Cinemática

A cinemática é o estudo matemático dos movimentos de um corpo, focado nas posições, velocidades lineares, velocidades angulares, acelerações lineares e acelerações angulares. Essa análise é feita em função da geometria do corpo e parâmetros espaciais. Nesse trabalho, as análises serão consideradas em um plano, devido à simplicidade e a forma como é feito o processamento.

É definida uma referência para a descrição dos movimentos do robô, modelado como uma partícula, nele todos os vetores mencionados anteriormente serão representados. No futebol de robôs sabe-se que o centro do campo é o referencial, ou seja, a origem do referencial inercial.

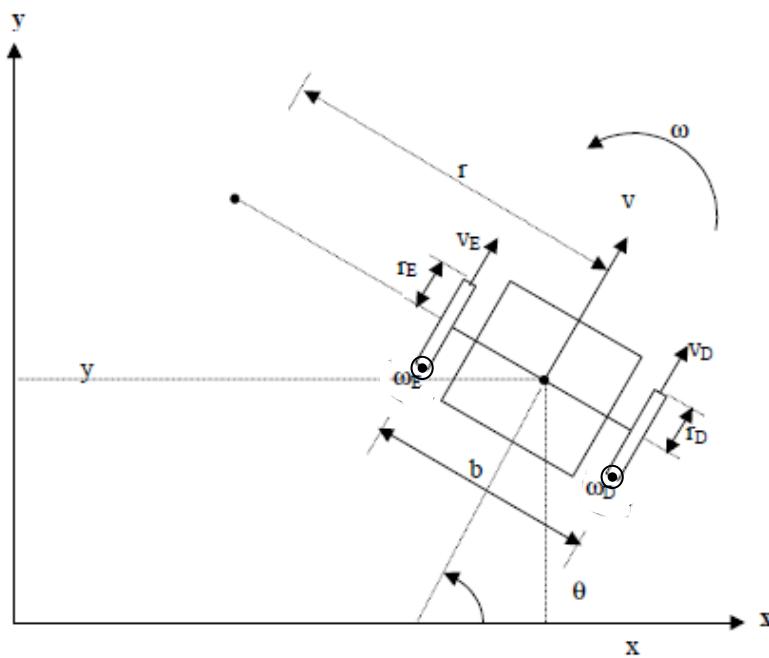


Figura 36 - Robô cujo CGr está localizado em (x,y) no referencial inercial, adaptada de [2]

Sendo:

$(x, y) =$	Posição do referencial fixo no robô (CGr) em relação ao referencial fixo no espaço de trabalho
$\theta =$	Ângulo de orientação do robô em relação ao referencial fixo no espaço de trabalho
$r =$	Raio de giro do robô
$r_D (r_e) =$	Raio da roda direita (esquerda)
$\omega =$	Velocidade angular do robô
$\omega_D (\omega_e) =$	Velocidade angular da roda direita (esquerda)
$v =$	Velocidade linear do robô $\rightarrow v = \omega \cdot R$
$v_D (v_e) =$	Velocidade linear da roda direita (esquerda)

Tomando a Figura 36 como base, pode-se inferir que o centro de rotação do robô encontra-se na extremidade final do vetor posição, que se inicia no referencial inercial. Representa-se então:

$${}_I\mathbf{r}_{OA} = \begin{pmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{pmatrix} \text{ ou } {}_I\mathbf{r}_{OA} = x_o\mathbf{i} + y_o\mathbf{j} + z_o\mathbf{k} \quad \text{Eq. 1}$$

onde, \mathbf{i} , \mathbf{j} e \mathbf{k} , são vetores unitários que apontam nos sentidos dos três eixos espaciais. Os módulos x_o , y_o e z_o indicam a amplitude desse vetor nos sentidos de cada eixo.

Derivar o vetor posição em relação ao tempo resulta no vetor velocidade da partícula e derivar este, novamente, em relação ao tempo resulta no vetor aceleração dela. Vale ressaltar que ao derivar o vetor posição em um referencial móvel, acontecerá perda de informações e, portanto, resultará em valores absolutos falsos. Ou seja, antes de encontrar os vetores velocidade e aceleração transfere-se o vetor posição para o referencial inercial. Tem-se a seguir as representações desses vetores:

$${}_I\mathbf{v}_A = \frac{d}{dt}({}_I\mathbf{r}_{OA}) = \begin{pmatrix} \frac{d}{dt}(x_o) \\ \frac{d}{dt}(y_o) \\ \frac{d}{dt}(z_o) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{x}_o \\ \dot{y}_o \\ \dot{z}_o \end{pmatrix} \text{ ou } {}_I\mathbf{v}_A = \dot{x}_o\mathbf{i} + \dot{y}_o\mathbf{j} + \dot{z}_o\mathbf{k} \quad \text{Eq. 2}$$

$${}_I\mathbf{a}_A = \frac{d^2}{dt^2}({}_I\mathbf{r}_{OA}) = \frac{d}{dt}({}_I\mathbf{v}_{OA}) = \begin{pmatrix} \frac{d^2}{dt^2}(x_o) \\ \frac{d^2}{dt^2}(y_o) \\ \frac{d^2}{dt^2}(z_o) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \ddot{x}_o \\ \ddot{y}_o \\ \ddot{z}_o \end{pmatrix} \text{ ou } {}_I\mathbf{a}_A = \ddot{x}_o\mathbf{i} + \ddot{y}_o\mathbf{j} + \ddot{z}_o\mathbf{k} \quad \text{Eq. 3}$$

5.1.1. Análise cinemática de um Robô Móvel com Duas Rodas e Acionamento Diferencial

As restrições não-holonômicas reduzem as possibilidades de direção das velocidades do robô, já que devido ao atrito entre as rodas e o solo, o robô não pode se deslocar lateralmente, ou seja, na direção do eixo e, portanto, a velocidade linear do robô sempre aponta na direção definida pela orientação θ , como é possível ver na Figura 37.

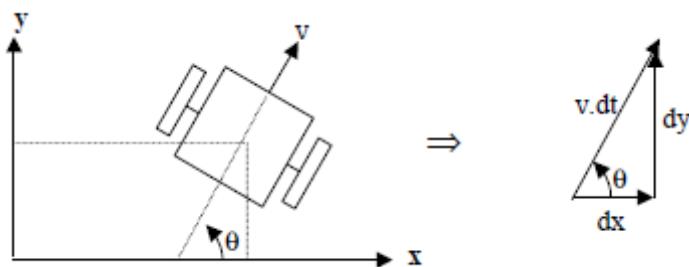


Figura 37 - Velocidade linear e deslocamentos infinitesimais [2]

Pode-se então fazer as seguintes relações:

$$dx = v \cdot dt \cdot \cos\theta \rightarrow dx/dt = \dot{x} = v \cdot \cos\theta \quad \text{Eq. 4}$$

$$dy = v \cdot dt \cdot \sin\theta \rightarrow dy/dt = \dot{y} = v \cdot \sin\theta \quad \text{Eq. 5}$$

$$d\theta = \omega \cdot dt \rightarrow d\theta/dt = \dot{\theta} = \omega \quad \text{Eq. 6}$$

Dividindo a segunda relação pela primeira:

$$\left(\frac{dy}{dx}\right) = \frac{\sin\theta}{\cos\theta} \rightarrow dy \cdot \cos\theta = dx \cdot \sin\theta$$

$$dy \cdot \cos\theta - dx \cdot \sin\theta = 0 \quad \text{Eq. 7}$$

Tem-se então deduzida a restrição não-holonômica.

Resumindo, o modelo cinemático para robôs com duas rodas motoras e acionamento diferencial é definido a seguir:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix}, \text{ sendo } {}^q T_V = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$
Eq. 8,

Tem-se:

$$q' = {}^q T_V \cdot \mathbf{V} = {}^q T_V \cdot {}^v T_W \cdot \mathbf{W}$$
Eq. 9

Onde:

$$\begin{aligned} q' &= \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{bmatrix}, \quad {}^q T_V = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \\ \mathbf{V} &= [v \ \omega]^T, \quad \mathbf{W} = [\omega_D \ \omega_E]^T \quad {}^v T_W = \begin{bmatrix} (r_D/2) & (r_E/2) \\ (r_D/b) & -(r_E/b) \end{bmatrix} \end{aligned}$$

5.1.2. Análise Cinemática do Tetrápode

Como já visto na Seção 4.5, este robô se assemelha com o robô *HUM*, portanto não haverá diferenças destoantes entre seus modelos cinemáticos. Na Figura 38 tem-se uma visão superior do robô analisado. Estão representadas as componentes de velocidades importantes para essa análise.

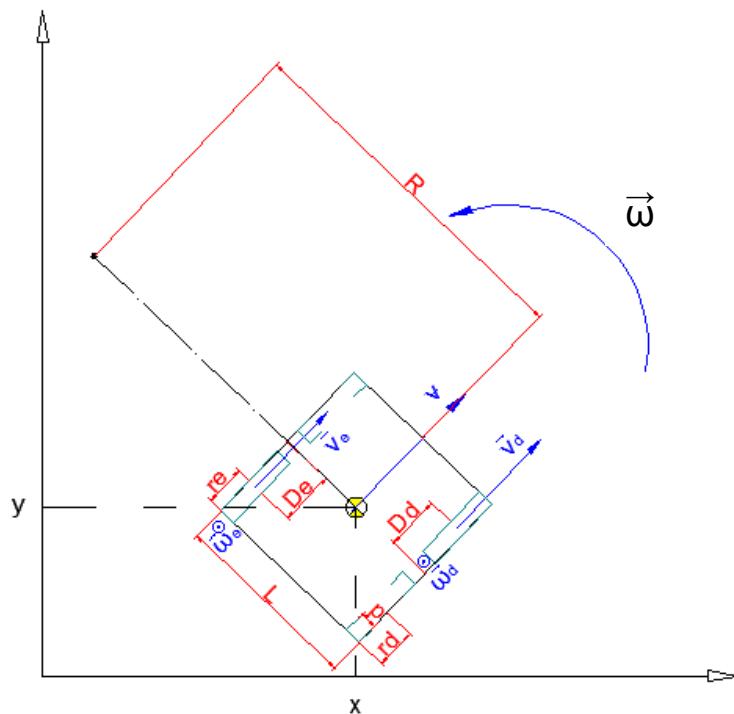


Figura 38 -Tetrápode com CGr posicionado em x,y

$(x,y) =$	Posição do referencial fixo no robô (CGr) em relação ao referencial fixo no espaço de trabalho
$R =$	Raio de giro do robô
$r_D (r_e) =$	Raio da roda direita (esquerda)
$\omega =$	Velocidade angular do robô
$\omega_D (\omega_e) =$	Velocidade angular da roda direita (esquerda)
$v =$	Velocidade linear do robô $\rightarrow v = \omega \cdot R$
$v_D (v_e) =$	Velocidade linear da roda direita (esquerda)
$P =$	Largura do Pneu
$L =$	Largura do Robô
$D_d(D_e)$	Distância do eixo do motor direito (esquerdo) ao centro de geométrico

De forma semelhante ao robô *HUM* tem-se para um movimento diferencial:

$$\begin{cases} v_x = \dot{x} = v \cdot \cos\theta \\ v_y = \dot{y} = v \cdot \sin\theta \\ \omega = \dot{\theta} \end{cases} \quad Eq. 10a, 11b e 11c$$

5.1.3. Análise Cinemática do Trípode

Este projeto tem uma particularidade que torna seu modelo cinemático um pouco mais complexo que o projeto *HUM*. Ao trazer suas rodas motrizes para uma posição posterior, o eixo de giro deixa de coincidir com o eixo do centro geométrico, o primeiro é transferido para a posição mediana entre as extremidades dos eixos dos motores.

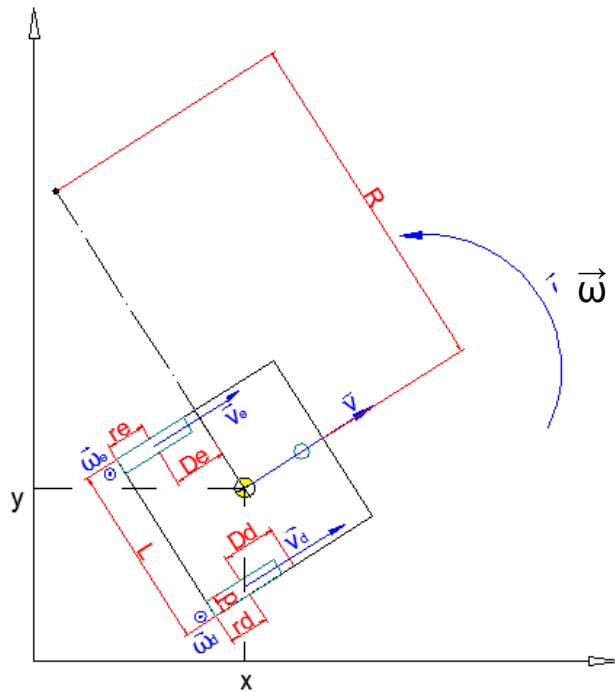


Figura 39 - Esquema do robô Trípode

(x,y) = Posição do referencial fixo no robô (CGr) em relação ao referencial fixo no espaço de trabalho

R = Raio de giro do robô

$r_D (r_e)$ = Raio da roda direita (esquerda)

ω = Velocidade angular do robô

$\omega_D (\omega_e)$ = Velocidade angular da roda direita (esquerda)

v = Velocidade linear do robô $\rightarrow v = \omega.R$

$v_D (v_e)$ = Velocidade linear da roda direita (esquerda)

P = Largura do Pneu

L = Largura do Robô

$D_d (D_e)$ Distância do eixo do motor direito (esquerdo) ao centro de geométrico

Na Figura 40, tem-se um esquema tirado de [23] que identifica a velocidade linear do robô trípode e uma velocidade de giro (v_g) referente ao movimento angular causado pelo acionamento diferencial dos motores recuados.

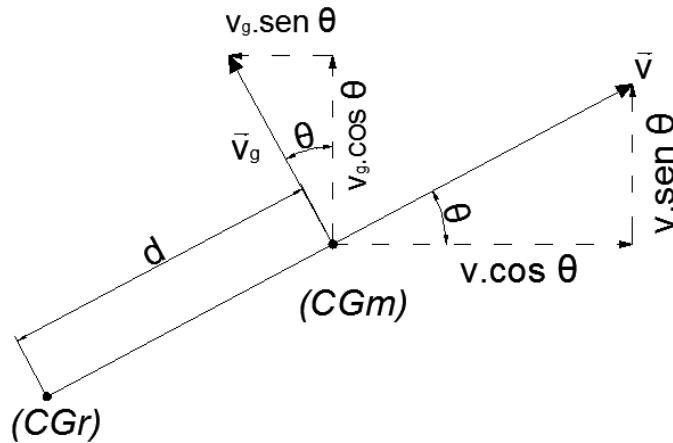


Figura 40 - Representação das velocidade do Trípode. Adaptado de [23]

A velocidade de giro é apresentada a seguir conforme estudada por [23]:

$$v_g = \dot{\theta} \cdot d \quad \text{Eq. 11}$$

Os somatórios das componentes de velocidades em cada eixo sugere:
 $\dot{x} = v \cdot \cos \theta - v_g \cdot \sin \theta$

$$\dot{x} = v \cdot \cos \theta - \dot{\theta} \cdot d \cdot \sin \theta \quad \text{Eq. 12}$$

$$\dot{y} = v \cdot \sin \theta + v_g \cdot \cos \theta$$

$$\dot{y} = v \cdot \sin \theta - \dot{\theta} \cdot d \cdot \cos \theta \quad \text{Eq. 13}$$

Portanto, matricialmente ficará:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -d \cdot \sin \theta \\ \sin \theta & d \cdot \cos \theta \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad \text{Eq. 14}$$

Como prova real pode-se afirmar que se a distância do centro de giro para o centro geométrico (d) fosse nula, isto é, o robô fosse igual ao projeto *HUM*, o modelo retornaria a ser igual:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -(0) \cdot \sin \theta \\ \sin \theta & (0) \cdot \cos \theta \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix}$$

6 EXPERIMENTOS

Havendo a necessidade de averiguar a eficácia dos protótipos com relação à resolução do problema motivador e manutenção ou melhoria dos padrões cinemáticos e cinéticos dos robôs anteriores foram realizados experimentos no laboratório de robótica do Departamento de Engenharia de Computação e Automação da UFRN. Os experimentos foram divididos em quatro testes, dois de cinemática: Teste de Velocidade Linear e Teste de Velocidade Angular, um de cinética: Teste de Força e o Teste de Trepidação.

Os resultados desses experimentos ajudarão a equipe a decidir quais serão as futuras considerações ao projetar um novo modelo de robôs para as competições futuras.

6.1. Teste de Velocidade

Dividido em dois testes, esses experimentos ajudarão a equipe classificar qual estrutura deverá utilizar acordo com suas prioridades: se é preferível uma estrutura com melhores características em movimentos em linhas retas ou outra com melhores habilidades para movimentos curvilíneos.

6.1.1. Velocidade Linear Sem Carga

Também foi feito um teste para saber as velocidades relativas a cada PWM com o robô livre dos efeitos do atrito e inércia. Os motores foram acionados sem carregamento e com o auxílio de um tacômetro digital foi registrada a rotação atingida pela roda do robô, o produto entre a rotação e o perímetro da roda dá a velocidade linear sem carga. O diâmetro da roda é de 31 milímetros. A Figura 41 ilustra este teste, no qual uma marcação de cor diferente é feita no perímetro do pneu, uma luz é emitida e captada pelo tacômetro, que calcula a frequência angular e apresenta no visor.



Figura 41 - Medição de RPM da roda com tacômetro, apresentando valor de 195,1RPM

6.1.2. Velocidade Linear Com Carga

Foi feita uma alteração no programa principal do futebol de robôs, ele passou a funcionar por um tempo pré-determinado e apenas aplicar o PWM requerido igualmente nas duas rodas. O resultado é um movimento retilíneo que depois de superado o intervalo de aceleração, se torna um movimento retilíneo uniforme e é com os dados desse segundo período em que são feitos os cálculos de velocidade. O programa alterado também colhe dados relativos à posição e orientação no plano cartesiano e armazena em um arquivo, durante todo o tempo de teste.

A Figura 42 é uma representação gráfica dos pontos coletados pelo programa, temos em destaque (quadrados) a região onde o robô atingiu o regime permanente, à esquerda a zona de aceleração e a direita o local onde colidiu com a parede do campo.

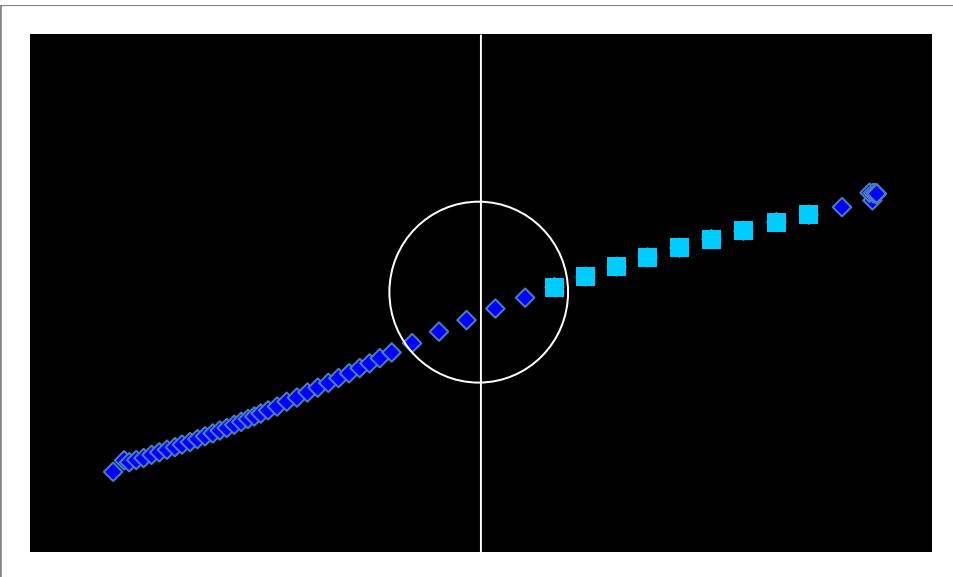


Figura 42 - Pontos registrados do Trípode à PWM de 100%

Após a coleta dos dados relativos a todas as repetições com cada PWM para os dois robôs, o arquivo com os dados eram convertidos numa planilha do *Microsoft Excel* e as velocidades calculadas de duas formas. Uma delas é extraíndo a equação da posição do robô no período em que o robô já estava em regime permanente de velocidade (sem aceleração) e derivando-a. A outra era fazendo a razão entre as diferenças de posição de cada ponto e o intervalo de tempo, para obter uma velocidade tendendo à instantânea, e após isso uma média entre essas razões.

6.2. Teste de Força

Para esse experimento, a balança de precisão foi fixada a uma base sólida uma área grande de contato para que ela fosse mantida na posição ortogonal à bancada (visível na Figura 43) e o conjunto foi apoiado em equipamentos pesados o suficiente para que o robô não puxasse o conjunto todo. Também foi fixada à mesa uma lixa com granulometria alta para que o atrito estático entre as rodas e a bancada fosse elevado e conseguir se medir a maior força possível de ser aplicada pelo robô. Foi atada uma corda inextensível e de peso desprezível da bandeja da balança ao robô.



Figura 43 - Plataforma para teste cinético

Os motores do robô foram acionados com iguais PWMs, a medida indicada pela balança é diretamente proporcional à força aplicada pelo robô. A balança eletrônica funciona com a compressão de um transdutor e mostra um valor de massa proporcional à força normal aplicada a ele, força igual à que se pretende medir nesse experimento. A constante usada aqui é a mesma que será utilizada para converter a massa indicada na balança em força, a constante da gravidade equivalente a 9,81 m/s².

Nos testes foram ligadas linhas do robô ao prato da balança e ele puxava o prato da balança. Foi verificado que independentemente da posição onde se exercia a força, a “massa” indicada era a mesma, portanto não houve necessidade de elevar o robô para que ele exercesse a força exatamente no centro da bandeja da balança.

Na Figura 44, é mostrado um teste de força sendo realizado, o visor da balança digital apresenta uma massa de 43 gramas, equivalente à aproximadamente 0,42 Newton.

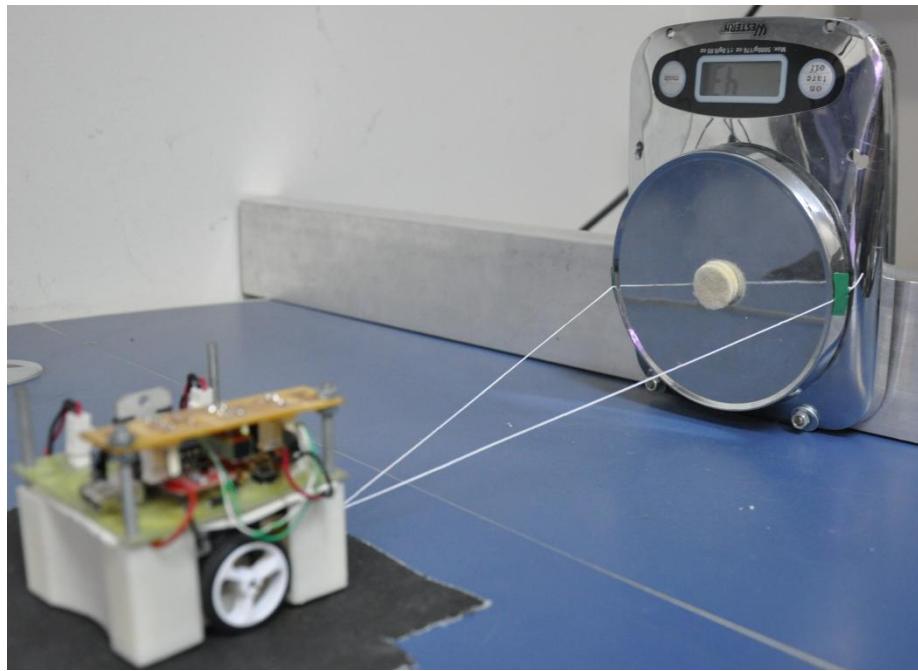


Figura 44 - Teste de força com os robôs, a balança registra 43 gramas

6.3. Teste de Trepidação

Para verificar se os projetos conseguiram superar o problema de trepidação, os motores foram acionados com iguais PWMs, mas durante o teste, os sinais eram invertidos. A inversão do sentido de rotação dos motores era suficiente para causar uma mudança brusca no movimento dos robôs e produzir a trepidação que queremos estudar.

Como não houve acesso a um equipamento capaz de mensurar a trepidação, essa análise foi feita de forma qualitativa, isto é, prestou-se atenção ao robô a fim de observar se ele faria o movimento indesejado.

Para realização dos testes foram usados apenas alguns valores de PWMs a fim de monitorar a ocorrência da trepidação. A **Tabela 2** apresenta como foram classificados os graus de PWM dos testes e qual a intensidade média atribuída aos graus.

Tabela 2 - PWMs usados para teste de trepidação

PWM	Intensidade média
Baixo	0,3
Médio	0,5
Alto	0,8

A **Tabela 3** contém as notas e o significado de cada nota na avaliação do nível de trepidação em cada teste nos robôs, sendo a mais baixa a melhor em relação ao ideal (não trepidar).

Tabela 3 - Notas atribuídas ao nível de trepidação

Notas	Significados Atribuídos
3	Muita Trepidação
2	Moderada Trepidação
1	Pouca Trepidação
0	Sem Trepidação

Posteriormente, nos Capítulos 7 e 8 serão utilizadas essas tabelas para avaliar o grau de cada protótipo construído e compará-los.

7 RESULTADOS

7.1.1. Velocidade Linear Sem Carga

A Tabela 4 apresenta os dados obtidos no teste de velocidades sem cargas, o primeiro grupo de colunas mostra as rotações obtidas com o tacômetro e o segundo grupo mostra as velocidades, calculadas a partir do diâmetro das rodas, equivalente a 31 milímetros.

Tabela 4 - Dados das Velocidades Sem Carga

PWM	Rotação (RPM)			Velocidade (m/s)		
	HUM	Trípode	Tetrápode	HUM	Trípode	Tetrápode
0,1	0	0	0	0,00	0,00	0,00
0,2	63	60	68	0,10	0,10	0,11
0,3	132	128	140	0,21	0,21	0,23
0,4	199	198	209	0,32	0,32	0,34
0,5	263	262	277	0,43	0,43	0,45
0,6	328	327	346	0,53	0,53	0,56
0,7	395	395	414	0,64	0,64	0,67
0,8	463	459	480	0,75	0,75	0,78
0,9	522	517	539	0,85	0,84	0,87
1,0	568	572	582	0,92	0,93	0,94

Com os dados da tabela foram plotados gráficos para cada robô, relacionando PWM com velocidades sem cargas. O Excel forneceu então as equações dessa relação. Para que o modelo matemático fosse o mais próximo possível ao escolher o tipo de regressão (linear, polinomial, exponencial, etc.) para obtê-lo foi calculado o R². R² é chamado de coeficiente de determinação. Esse coeficiente fornece a porcentagem da variação da variável dependente (y) que é explicada pela variação da variável independente (x). De certa forma, indica uma porcentagem que quanto acurada é a equação fornecida pelo programa.

Os valores de velocidade linear sem carga foram plotados em gráficos (vide Figura 45, Figura 46 e Figura 47) para uma melhor análise. Nesses gráficos também se encontram as equações que relacionam a intensidade de PWM com a velocidade linear sem carga e o coeficiente de determinação para essa equação.

Gráfico de Velocidades Sem Cargas para Robô HUM

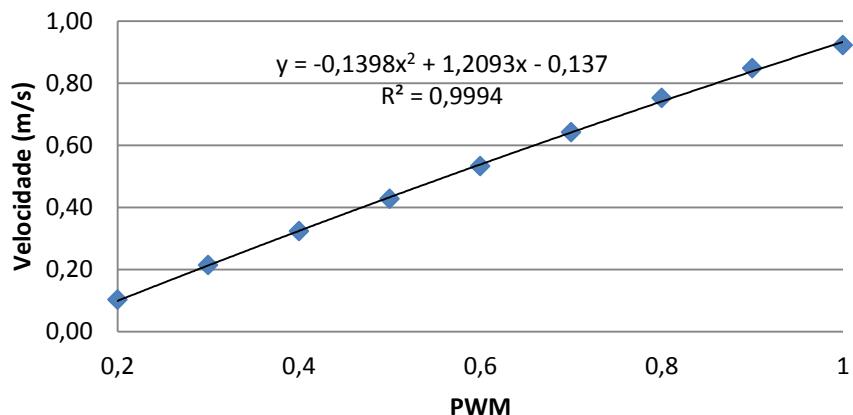


Figura 45 - Gráfico velocidade sem carga x PWM do robô HUM

Gráfico de Velocidades Sem Cargas para Trípode

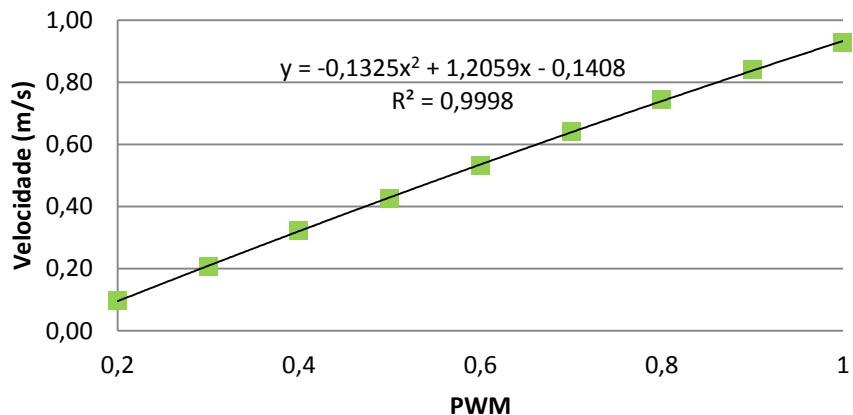


Figura 46 - Gráfico Velocidade sem carga x PWM do Trípode

Gráfico de Velocidades Sem Cargas para Tetrápode

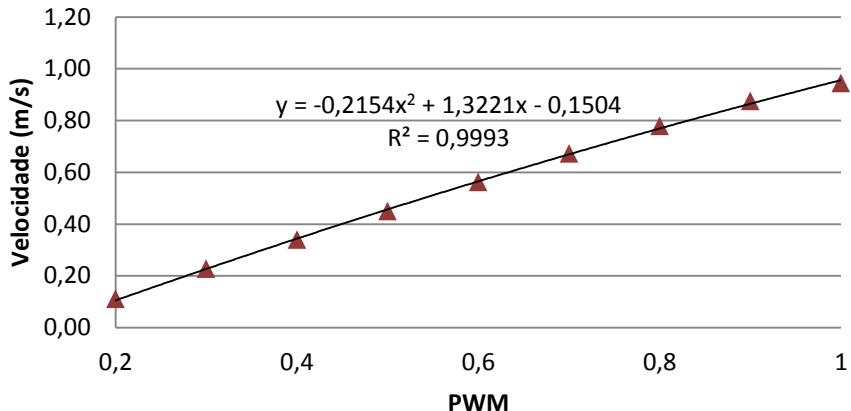


Figura 47 - Gráfico Velocidade sem carga x PWM do Tetrápode

De posse de tais dados, pode-se observar que os motores montados no tetrápode conferem ao protótipo uma velocidade mais elevada que a média, aplicando PWMs equivalentes. É importante lembrar que as baterias de todos os robôs foram carregadas, mas, possivelmente, as baterias do robô tetrápode atingiram uma maior carga acumulada e forneceram tensão elétrica maior que as outras, conferindo mais potência aos motores.

7.1.2. Velocidade Linear Com carga

Para cada robô foi elaborada uma tabela com os dados médios medidos a partir do arquivo de saída salvo pelo programa de testes. As **Tabelas 5, 7 e 9** contém as informações do robô HUM, Trípode e Tetrápode, respectivamente. Também foram plotados gráficos contendo esses pontos e da mesma forma que na Seção anterior foi encontrada a equação que governa a relação entre PWM e velocidade para cada um dos robôs (vide Figura 48, Figura 49 e Figura 50).

Após cada gráfico, estão as **Tabelas 6, 8, 10** para comprovação (prova-real) dessas equações. Na coluna *modelo* estão os valores retornados para cada PWM quando aplicados à equação do respectivo robô. Na coluna *empírico* os valores médios tirados dos experimentos. E a última coluna, *diferença*, dá a diferença absoluta (módulo) entre os valores empíricos e do modelo, para que se averigue quão diferentes são os valores adquiridos pela equação e coletados no experimento.

Tabela 5 - Velocidade com carga do robô HUM

PWM	Velocidade (m/s)
0,1	0,00
0,2	0,00
0,3	0,20
0,4	0,32
0,5	0,39
0,6	0,56
0,7	0,66
0,8	0,75
0,9	0,87
1,0	0,97

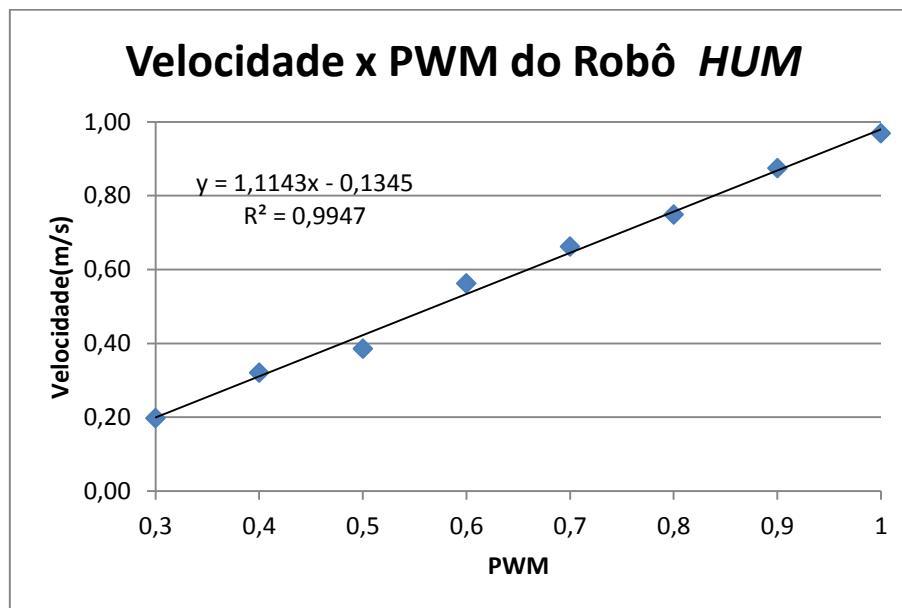


Figura 48 - Gráfico das velocidades do robô HUM

Tabela 6 - Prova real para o modelo do HUM

PWM	Modelo	Empírico	Diferença
0,1	-0,02	0,00	0,02
0,2	0,09	0,00	0,09
0,3	0,20	0,20	0,00
0,4	0,31	0,32	0,01
0,5	0,42	0,39	0,04
0,6	0,53	0,56	0,03
0,7	0,65	0,66	0,02
0,8	0,76	0,75	0,01
0,9	0,87	0,87	0,01
1,0	0,98	0,97	0,01
Média das diferenças=			0,02

Na **Tabela 6**, podemos confirmar que a equação gerada no gráfico da Figura 48 foi bastante acurada apresentando diferenças ínfimas.

Agora serão apresentadas, da mesma forma, as médias dos resultados obtidos nos testes de velocidade linear com carga, o gráfico com a equação e a prova-real para o projeto Trípode.

Tabela 7 - Velocidade com carga do Trípode

PWM	Velocidade (m/s)
0,1	0,00
0,2	0,00
0,3	0,09
0,4	0,20
0,5	0,34
0,6	0,45
0,7	0,57
0,8	0,69
0,9	0,82
1,0	0,92

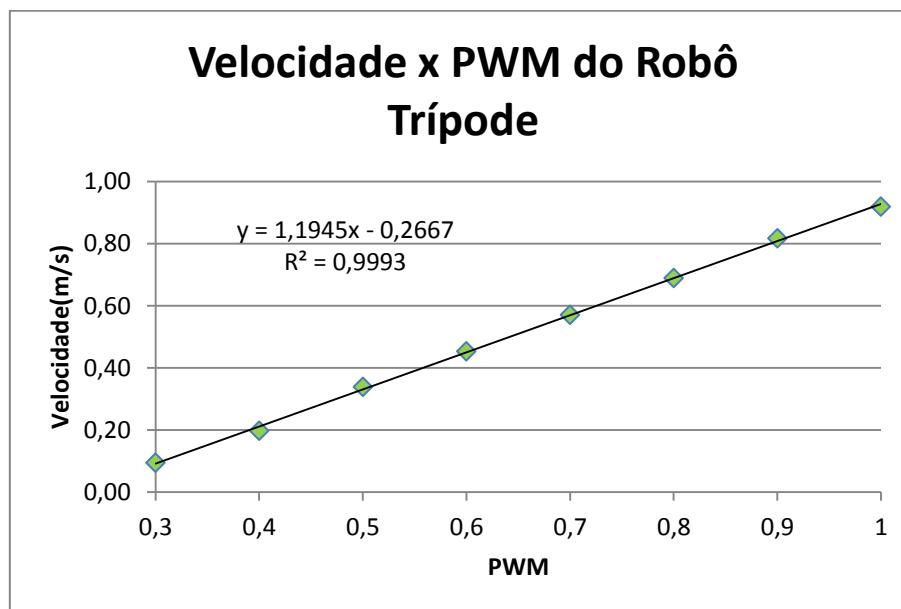


Figura 49 - Gráfico das velocidades do Trípode

Tabela 8 - Prova real para o modelo do Trípode

PWM	Modelo	Empírico	Diferença
0,1	-0,16	0,00	0,16
0,2	-0,04	0,00	0,04
0,3	0,09	0,09	0,01
0,4	0,21	0,20	0,01
0,5	0,33	0,34	0,01
0,6	0,45	0,45	0,00
0,7	0,57	0,57	0,00
0,8	0,69	0,69	0,00
0,9	0,81	0,82	0,01
1,0	0,92	0,92	0,01
Média das diferenças =			0,02

Analisando a **Tabela 8**, pode-se dizer que os valores retornados pela equação da velocidade linear com carga do trípode foram próximos dos valores coletados nas experiências, mostrando uma baixa média de diferenças entre os dois valores.

Novamente, temos agora os resultados para o robô Tetrápode.

Tabela 9 - Velocidade com carga do Tetrápode

PWM	Velocidade (m/s)
0,1	0,00
0,2	0,04
0,3	0,17
0,4	0,31
0,5	0,43
0,6	0,54
0,7	0,65
0,8	0,77
0,9	0,87
1,0	0,89

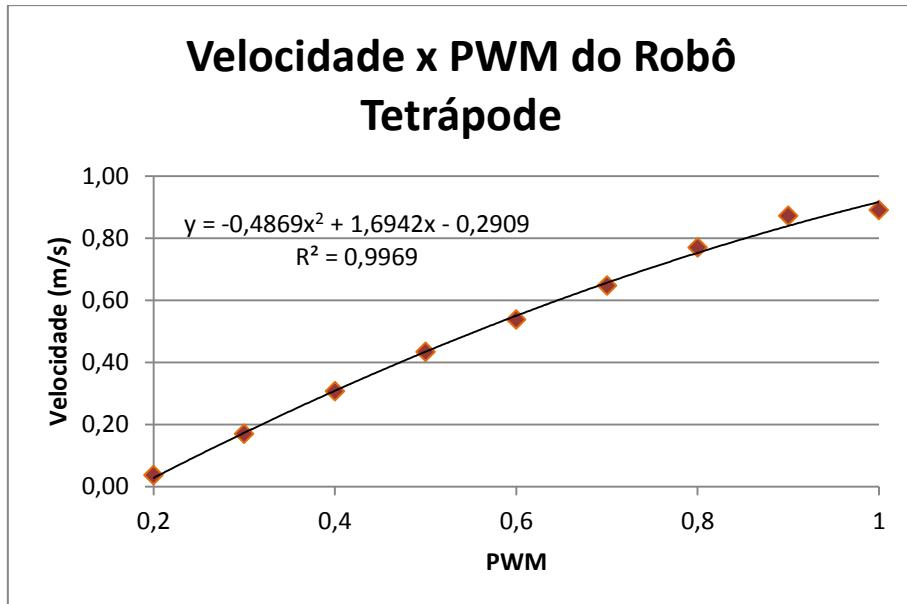


Figura 50 - Gráfico das velocidades do Tetrápode

Tabela 10 - Prova real para o modelo do Tetrápode

PWM	Modelo	Empírico	Diferenças
0,1	-0,13	0,00	0,13
0,2	0,03	0,04	0,01
0,3	0,17	0,17	0,00
0,4	0,31	0,31	0,00
0,5	0,43	0,43	0,00
0,6	0,55	0,54	0,01
0,7	0,66	0,65	0,01
0,8	0,75	0,77	0,02
0,9	0,84	0,87	0,03
1,0	0,92	0,89	0,03
Média das diferenças =		0,02	

Mais uma vez podemos comprovar a eficiência das equações apresentadas nos três gráficos que se passaram, pois a equação de velocidades lineares com carga para o Tetrápode resultou valores muito próximos dos coletados nos experimentos.

É possível observar nas tabelas de prova real que os modelos apresentados nas Figuras 48, 49 e 50 só são verdadeiros para valores de PWM em que havia movimento do robô, isto é, 20% para o Tetrápode, 30% para o Trípode e para o projeto HUM. Abaixo destes valores de PWM, o modelo retorna valores negativos (valores falsos).

7.2. Teste de Força

Para o teste de cada robô foi elaborada uma tabela contendo o valor de PWM que acionou o motor, a massa apresentada pela balança digital e a força convertida com a constante da gravidade. Feitos os cálculos, os dados foram plotados num gráfico para se ter uma melhor ideia dos valores.

A partir do PWM de 70%, os valores de força se mantiveram próximos a uma média de força de 1,23N. A explicação para tal fato é que neste PWM, as rodas passaram a girar com atrito cinético (estava deslizando), que tem menor intensidade que o atrito estático.

Tabela 11- Dados adquiridos na balança e calculados para o robô HUM

PWM	Balança (g)	Força (N)
0,1	0	0,00
0,2	0	0,00
0,3	37	0,36
0,4	82	0,80
0,5	116	1,14
0,6	153	1,50
0,7	171	1,68
0,8	192	1,88
0,9	202	1,98
1,0	199	1,95

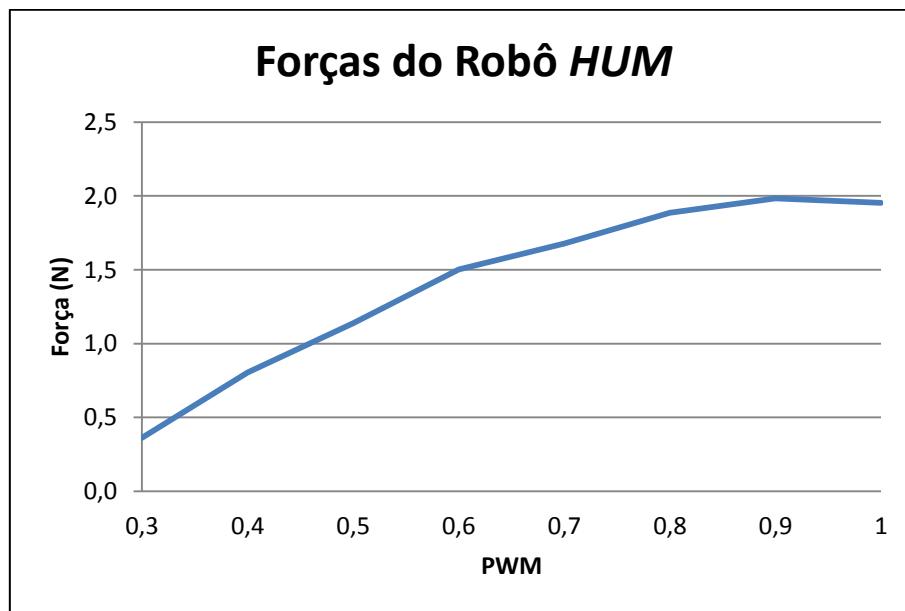


Figura 51 - Gráfico de Força x PWM para o robô HUM

Tabela 12- Dados adquiridos na balança e calculados para o Trípode

PWM	Balança (g)	Força (N)
0,1	0	0,00
0,2	0	0,00
0,3	43	0,42
0,4	87	0,85
0,5	100	0,98
0,6	159	1,56
0,7	195	1,91
0,8	132	1,30
0,9	130	1,28
1,0	129	1,27

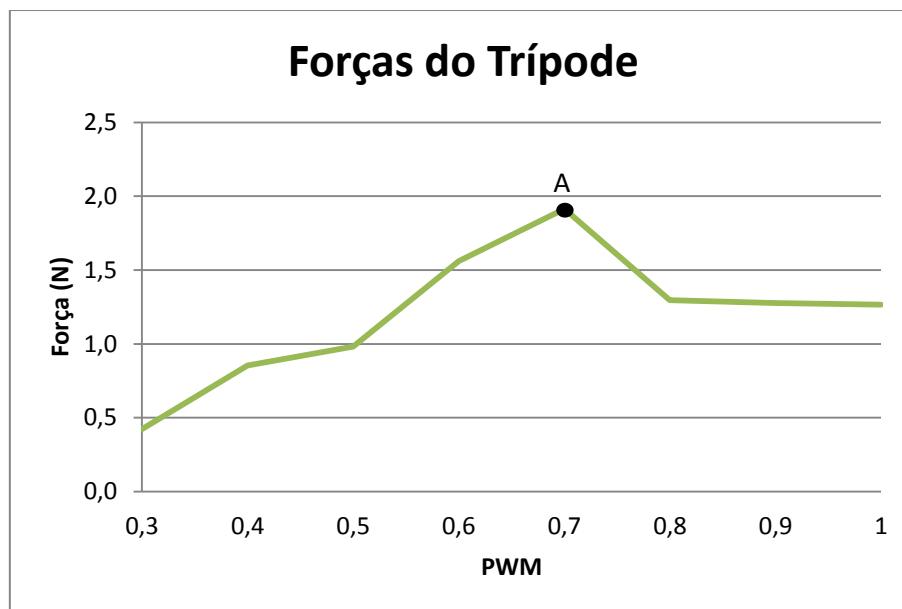


Figura 52 - Gráfico de Força x PWM para o Trípode

A inflexão indicada pela letra **A** no gráfico da Figura 52 representa a força máxima possível se medir com esse coeficiente de atrito (pneu/lixa para desbaste), isto é, a partir do PWM de 70% a força de atrito entre os pneus e a lixa deixou de ser do tipo estático e passou a ser cinético, pois o pneu passou a derrapar.

Tabela 13- Dados adquiridos na balança e calculados para o Tetrápode

PWM	Balança (g)	Força (N)
0,1	0	0,00
0,2	42	0,41
0,3	64	0,63
0,4	70	0,69
0,5	100	0,98
0,6	148	1,45
0,7	183	1,80
0,8	131	1,29
0,9	123	1,21
1,0	123	1,21

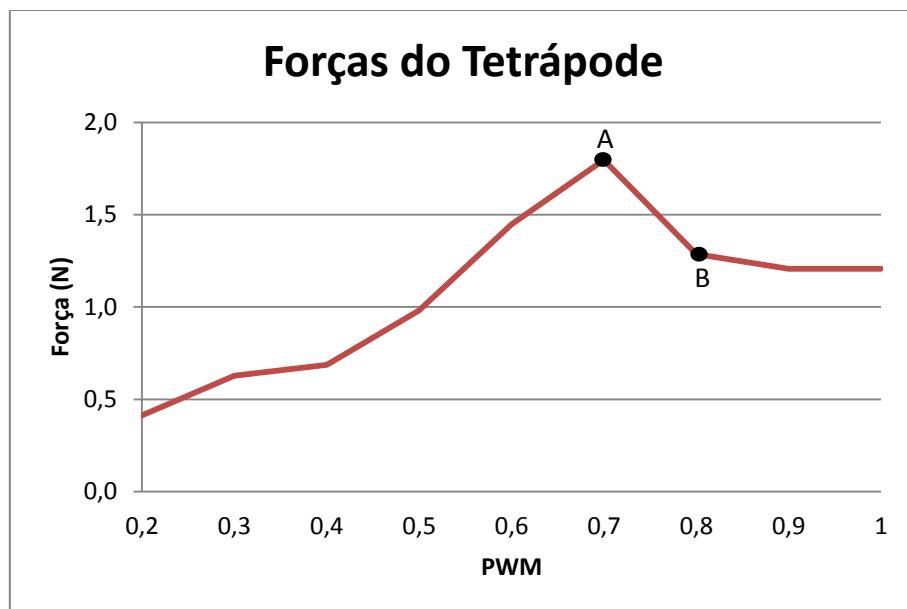


Figura 53 - Gráfico de Força x PWM para Tetrápode

Como já foi dito anteriormente, a diferença entre os pontos A e B do gráfico da Figura 53 se deve a diferença entre a força de atrito estático e cinético. O primeiro é, em qualquer par de materiais (pneu/lixa, plástico/metal, etc.), maior que o segundo. Antes de o pneu escorregar sobre a lixa (A), a força de atrito agindo era a estática (maior), quando começou a escorregar (B), a força de atrito era a cinética (menor).

7.3. Teste de Trepidação

A **Tabela 14** é um quadro resumo das avaliações dos robôs quanto ao quesito trepidação. Após análise dos vídeos gravados durante os testes, foram atribuídas as notas da **Tabela**. No Capítulo 8, serão analisados os resultados deste, e dos outros

testes, para se ter uma maior compreensão se houveram falhas, se foram falhas de projeto ou execução do projeto e quais são as melhores alternativas.

Tabela 14 - Resultados dos testes de trepidação

PWM	HUM	Trípode	Tetrápode
baixo	2	2	1
médio	2	2	1
alto	3	3	2

Para o robô *HUM*, aplicando PWM baixo ($\text{PWM} \approx 0,3$) a nota atribuída para o grau de trepidação foi 2, indicando uma trepidação moderada. A mesma nota foi atribuída para PWM médio ($\text{PWM} \approx 0,5$). Já para o PWM alto ($\text{PWM} \approx 0,8$) obtivemos uma trepidação crítica, observou-se muita trepidação ao alternar os sentidos de aplicação dos PWMs. Resultados muito semelhantes foram coletados para o projeto Trípode. Com relação ao projeto Tetrápode os graus de trepidação foram relativamente melhores: para PWM baixo e médio, ele apresentou pouca trepidação, e para alto PWM, apresentou trepidação moderada.

8 CONCLUSÃO

A seguir têm-se tabelas para que seja feito o comparativo entre as velocidades atingidas por cada robô de acordo com o PWM de acionamento (**Tabela 15 e Tabela 16**).

Tabela 15 - Comparativo entre as velocidades sem cargas

Velocidade (m/s)			
PWM	HUM	Trípode	Tetrápode
0,1	0,00	0,00	0,00
0,2	0,10	0,10	0,11
0,3	0,21	0,21	0,23
0,4	0,32	0,32	0,34
0,5	0,43	0,43	0,45
0,6	0,53	0,53	0,56
0,7	0,64	0,64	0,67
0,8	0,75	0,75	0,78
0,9	0,85	0,84	0,87
1,0	0,92	0,93	0,94

Por mais padronizados que sejam, existem certas diferenças entre componentes eletromecânicos fabricados tanto em série, como individualmente. Com os motores não é diferente, as velocidades lineares das rodas fixadas ao eixo do motor sem carregamento foram ligeiramente acima da média para o robô Tetrápode, mesmo as técnicas de montagem, os componentes eletrônicos e mecânicos e sendo equivalentes. Portanto acredita-se que os motores do terceiro projeto sejam ligeiramente mais robustos que os outros e/ou as baterias tenham absorvido uma carga ligeiramente superior à dos outros robôs.

Tabela 16 - Comparativo entre as velocidades reais

Velocidades (m/s)			
PWM	HUM	Trípode	Tetrápode
0,1	0,00	0,00	0,00
0,2	0,00	0,00	0,04
0,3	0,20	0,09	0,17
0,4	0,32	0,20	0,31
0,5	0,39	0,34	0,43
0,6	0,56	0,45	0,54
0,7	0,66	0,57	0,65
0,8	0,75	0,69	0,77
0,9	0,87	0,82	0,87
1,0	0,97	0,92	0,89

Na comparação das médias de velocidade com carga entre os três projetos de robôs, o *HUM* se saiu melhor para cinco PWMs diferentes, o Tetrápode em três e a 90% da potência houve um empate entre os dois. Esses resultados um pouco inferiores dos projetos Trípode e Tetrápode se devem à maior força de atrito que os dois têm que vencer, enquanto o projeto *HUM* tem apenas duas pequenas pontas (área infinitesimalmente pequena) em contato com o solo, o Tetrápode tem dois mancais de deslizamento com 3 milímetros de diâmetro e largura de 8 milímetros e par tribológico PTFE-ABS (o eixo foi envolto por *fita veda-rosca*) e o Trípode tem o atrito na esfera transferidora de 9 milímetros de diâmetro, esfera que já estava desgastada.

Tabela 17 - Comparativo entre as forças

Força (N)			
PWM	<i>HUM</i>	Trípode	Tetrápode
0,1	0,00	0,00	0,00
0,2	0,00	0,00	0,41
0,3	0,36	0,42	0,63
0,4	0,80	0,85	0,69
0,5	1,14	0,98	0,98
0,6	1,50	1,56	1,45
0,7	1,68	1,91	1,80
0,8	1,88	1,30	1,29
0,9	1,98	1,28	1,21
1,0	1,95	1,27	1,21

O robô *HUM* apresentou resultados destoantes da realidade nos PWMs maiores, pois mesmo com as forças de atrito cinético predominantes, as forças continuaram se elevando, o que não condiz com a realidade. No geral, o Trípode obteve os maiores resultados de força, isso por que tanto o projeto *HUM* quanto o Tetrápode ao puxar a corda a parte posterior da base começava a se erguer diminuindo a força normal entre o pneu e a bancada e consequentemente a força de atrito entre eles.

Esse fato (elevação de um lado da base) deve ser levado em conta na escolha de que robôs escalar para a partida, pois em muitos casos há disputa de bola, os adversários se empurram e um robô que reduza o contato dos pneus com o solo, e consequentemente a força, perderá a disputa.

Quanto à trepidação pode-se ver nos resultados representados na **Tabela 14** que o tetrápode apresentou excelentes resultados nos testes e esses resultados poderiam ser melhores com a melhoria nos processos de fabricação dos eixos e preparação dos mancais, pois da forma que foi possível montá-lo, o robô apresentou

um pequeno desnível em uma das rodas, portanto ele não ficou com um único plano estável para se apoiar.

Foi uma surpresa o projeto Trípode ter apresentado o movimento relativo em torno do eixo de rolagem, mas, analisando bem, suas rodas ficaram numa posição mais central do que deveria, deixando um bom volume do robô “sem apoio” e livre para trepidar (ver Figura 54 – Volume – sombreado - sem apoio no Trípode). A figura também indica o único sentido em que a trepidação ocorria, no outro sentido a trepidação era nula.

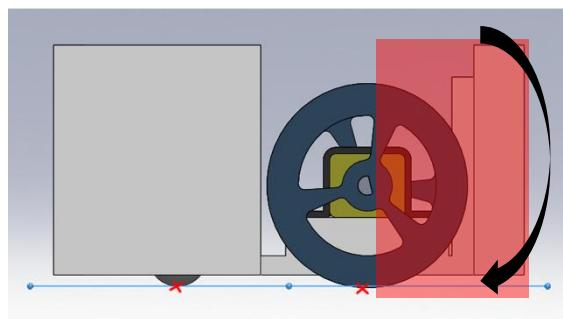


Figura 54 – Volume – sombreado - sem apoio no Trípode e sentido da trepidação - seta

A trepidação só ocorria nesse sentido porque abaixo desse volume não havia um apoio abaixo desse volume que impedissem o movimento em torno do eixo de rolagem desse robô.

A determinação das velocidades lineares e das forças dos robôs servirá como base para eventuais modificações. Tais informações levantadas servirão a partir desse momento como referência para os demais projetos e poderão também ser utilizada para o sistema de controle dos robôs.

Com a eliminação da trepidação os novos robôs ficarão mais fáceis de controlar e também não terão problemas com o mau contato dos componentes eletrônicos ou até mesmo com a perda de energia cinética por trepidação.

Obviamente ter um projeto mecânico que atenda as exigências de rigidez, tamanho, peso, torque e velocidade aumenta bastante a chance de sucesso nas competições realizadas, todavia, tal projeto deve ser atualizado para proporcionar uma melhoria contínua.

9 PROJETOS FUTUROS

Desse trabalho, surgiram ideias para projetos futuros que visam à melhoria dos robôs da equipe. As principais e mais viáveis no momento serão rapidamente explicadas nesse Capítulo.

Primeiramente, para reparar o erro de projeto atual do Trípode, é sugerido que os motores sejam transferidos para uma posição mais posterior que a atual, isto é, até que a roda chegue ao limite dos 75 milímetros de comprimento, isso trará o ponto de apoio mais par trás, cobrindo a região mencionada no Capítulo 8. Ainda nesse projeto sugere-se a instalação de uma esfera do mesmo modelo, porém metálica, lançada recentemente, e que ao se projetar no software CAD já sejam elaborados os suportes para os parafusos do conjunto da esfera transferidora.

Já para melhoria no Tetrápode, já se pensa em fabricar os eixos das rodas conduzidas por Usinagem em Torno mecânico, o que garantirá uma geometria mais perfeita e dentro das tolerâncias requeridas para o projeto.

Fica também a ideia de implementar um chutador eletromecânico, ou seja, elaborar e instalar um dispositivo capaz de arremessar a bola com maior força e velocidade, excluindo a necessidade do robô conduzir a bola até as balizas do gol. Deve-se atentar para as regras que proíbem que qualquer parte do robô ultrapasse as dimensões máximas

Por sugestão da banca, para as atividades futuras estão listados testes dos modelos matemáticos do capítulo 5 com biblioteca ODE (do inglês *Open Dynamic Engine*). Trata-se de um software livre com “mecanismo físico” (do inglês *physics engine*) para simular interações dinâmicas muito popular em aplicações de simulação robótica (vide [25]).

Foi sugerido ainda um segundo projeto Tetrápode, no qual na posição dos parafusos passantes do projeto *HUM* (ver Figura 26) seriam instaladas esferas transferidoras.

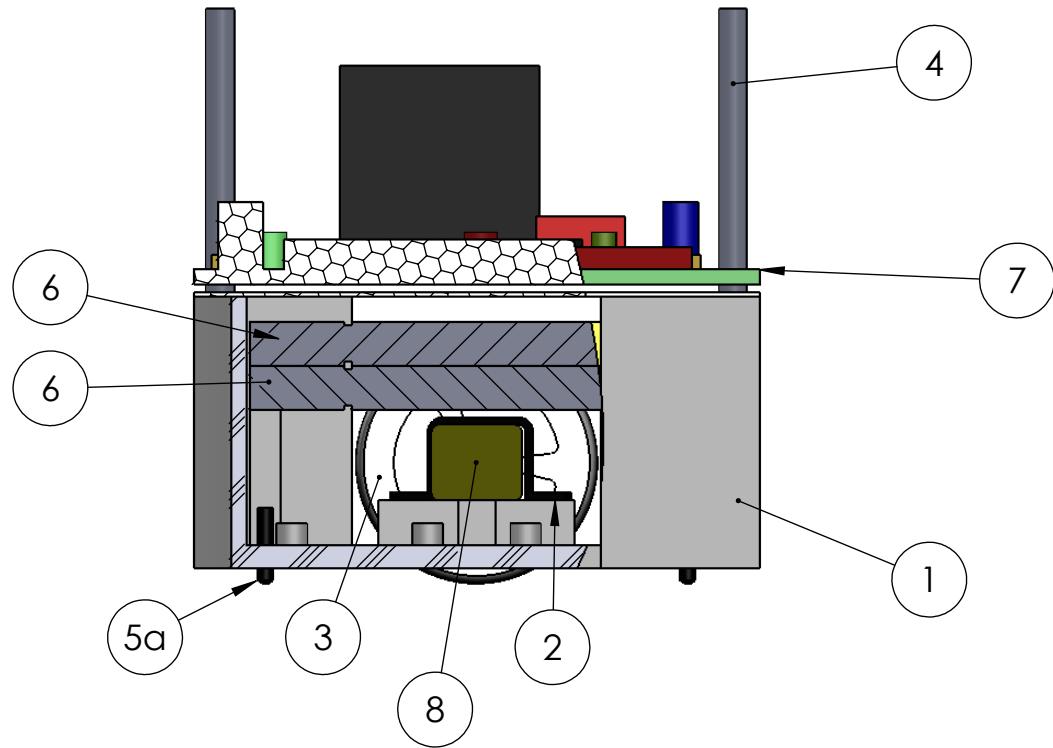
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SANTOS, I.F. *Dinâmica de Sistemas Mecânicos: Modelagem, Simulação, Visualização e Verificação*. São Paulo: Makron Books, 2001. 272p
- [2] ALSINA, P.J. *Modelo Cinemático de um robô*: Notas de Aula. Natal, RN, 14p.
- [3] PETRY, M.R. *Desenvolvimento de um Protótipo e de Metodologias de Controlo de uma Cadeira de Rodas Inteligente*: Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal. Disponível em: <<http://paginas.fe.up.pt/~ext07047>> (acesso dia 19/11/2011).
- [4] COBRASMAM. *Catálogo de Esferas Transferidoras: Informações Técnicas*. Disponível eletronicamente no site: <<http://www.cobrasmam.com.br/catalogos/alwayse/info.htm>> (Acesso dia 12/12/2011).
- [5] GUERRA, P.N. *Modelagem Linear e Identificação do Modelo Dinâmico de um Robô Móvel com Acionamento Diferencial*: Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2005, 70f.
- [6] MENDES, E.P. *Identificação de Modelo Dinâmico com Compensação de Zona Morta para Robô Móvel com Acionamento Diferencial*: Relatório de Estágio. Natal, RN, 2008, 34f.
- [7] PEREIRA, G.A.S., TORRES, F.B., CAMPOS, M.F.M. *Desenvolvimento de Robôs Holonômicos de Baixo Custo para o Estudo de Robótica Móvel*.
- [8] PEREIRA, G.A.S., CAMPOS, M.F.M., AGUIRRE, L.A. *Modelo Dinâmico para Predição da Posição e Orientação de Micro-robôs Móveis Observados por Visão Computacional*.
- [9] BRAGA, C. Newton. *Eletrônica básica para mecatrônica*. São Paulo: Saber, 2005. 165p
- [10] VOLPATO, N. (Org.). *Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações*. São Paulo: Edgard Blücher, 2007. 244p.
- [11] BERTOLO, L.A. *Estatística no Excel*: Notas de Aula, [S.I.], 2010. Disponível em <<http://www.bertolo.pro.br/matematica/Disciplinas/3ano/Estatistica/Bimestre2/EstatisticaAplicada3.pdf>>. Acesso dia 6 de junho de 2012
- [12] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. *Rules for the Very Small Size category*. In: Latin-American Student Robotics Competition.
- [13] PNCA: Robótica e Eletrônica. *Entenda o PWM*. [S.I.], Disponível em: <http://www.pnca.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=67:pwm&catid=42:saiba-mais&Itemid=150> Acesso em: 17 de maio de 2012.

-
- [14] GHIRARDELLO,A. *Curso Técnico em Eletrônica: apostila sobre modulação PWM.* 6p. [S.I.], Disponível em: <http://www.eletronica.org/arq_apostilas/apostila_pwm.pdf>, Acesso em: 17 de maio de 2012.
- [15] ROBOCUP. In: Wikipédia, a enclopédia livre. [S.I.]: Wikimedia Foudation. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/RoboCup>>. Acesso em: 17 de maio de 2012.
- [16] SCHMITT, W.J. *Protótipo de futebol de robô da categoria F180:* Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação). Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, SC, 2006, 51f.
- [17] CERQUEIRA, A.C.T.; et al. *O time POTI de futebol de robôs: Team Description Paper (TDP).* [S.I.], 2005. 4f.
- [18] CERQUEIRA, A.C.T.; et al. *A versão 2006 da Equipe POTI de Futebol de Robôs: TDP.* [S.I.], 2006, 10f.
- [19] MARTINS, D.L.; et al. *A versão 2007 da equipe POTI de Futebol de Robôs: TDP.* [S.I.], 2007, 5f.
- [20] MENDES, E.P.; MEDEIROS, A.A.D. *Sistema de Localização Visual da Equipe de Futebol de Robôs POTI-UFRN (versão 2008) na Categoria Very Small Size: TDP.* [S.I.], 2008, 5f.
- [21] MENDES, E.P.; et al. *A Equipe de Futebol de Robôs POTI-UFRN 2009: TDP.* [S.I.], 2009, 3f.
- [22] MEDEIROS, M.G.; et al. *O time POTI de futebol e robôs da UFRN-2011: TDP.* In: Competição Brasileira de Robótica, São João del Rei, MG, 2011, 3f.
- [23] SOUSA JÚNIOR, C.; HERMERLY, E.M. Controle de Robôs Móveis Utilizando o Modelo Cinemático: *Revista Controle & Automação*, [S.I.], v. 14, n. 4, p. 384-392, out./nov./dez. 2003.
- [24] VIEIRA, F.C.; et al. *Position and orientation control of a two-wheeled differentially driven nonholonomic mobile robot: I ICINCO - International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics.* In: Setúbal, Portugal, agosto, 2004, 7p. Disponível em: <<http://www.dca.ufrn.br/~adelardo/artigos/ICINCO04a.pdf>>, acesso em 25 junho de 2012.
- [25] OPEN DYNAMICS ENGINE, In: Wikipédia, a enclopédia livre. [S.I.]: Wikimedia Foudation. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Open_Dynamics_Engine>. Acesso em: 27 de junho de 2012.

-
- [26] FEDERATION OF INTERNATIONAL ROBOT-SOCCER ASSOCIATION. *Fira History*. Disponível eletronicamente em: < <http://www.fira.net/?mid=firahistory> > (acesso dia 27/06/2012)
- [27] ROBOT WORLD CUP INITIATIVE: Robocup. *A Brief History of RoboCup*. Disponível eletronicamente em: < <http://www.robocup.org/about-robocup/a-brief-history-of-robocup/> > (acesso dia 27/06/2012)

ANEXO A – Desenhos do Projeto HUM



- 1** - Estrutura de Base (Prancha 03)
- 2** - Presilha do Motor (Prancha 10)
- 3** - Roda com Pneu (Prancha 11)
- 4** - Fuso de Suporte (Prancha 12)
- 5a** - Parafuso Passante (Prancha 13)
- 6** - Baterias
- 7** - Placa de Circuito Eletrônico
- 8** - Motor CC

Materiais:

- 1** - Plástico ABS
- 2** - Polímero desconhecido
- 3** - Plástico e Borracha
- 4** - Aço
- 5a** - Aço
- 6** - Polímero de Íon de Lítio e outros
- 7** - Materiais diversos
- 8** - Aço, Latão e Cobre, principalmente

UFRN

Centro de Tecnologia

Departamento de Engenharia Mecânica

Trabalho de Conclusão de Curso

TÍTULO
Montagem do Projeto HUM

ESCALA
1:1

PRANCHA
01

DIMENSÕES
mm

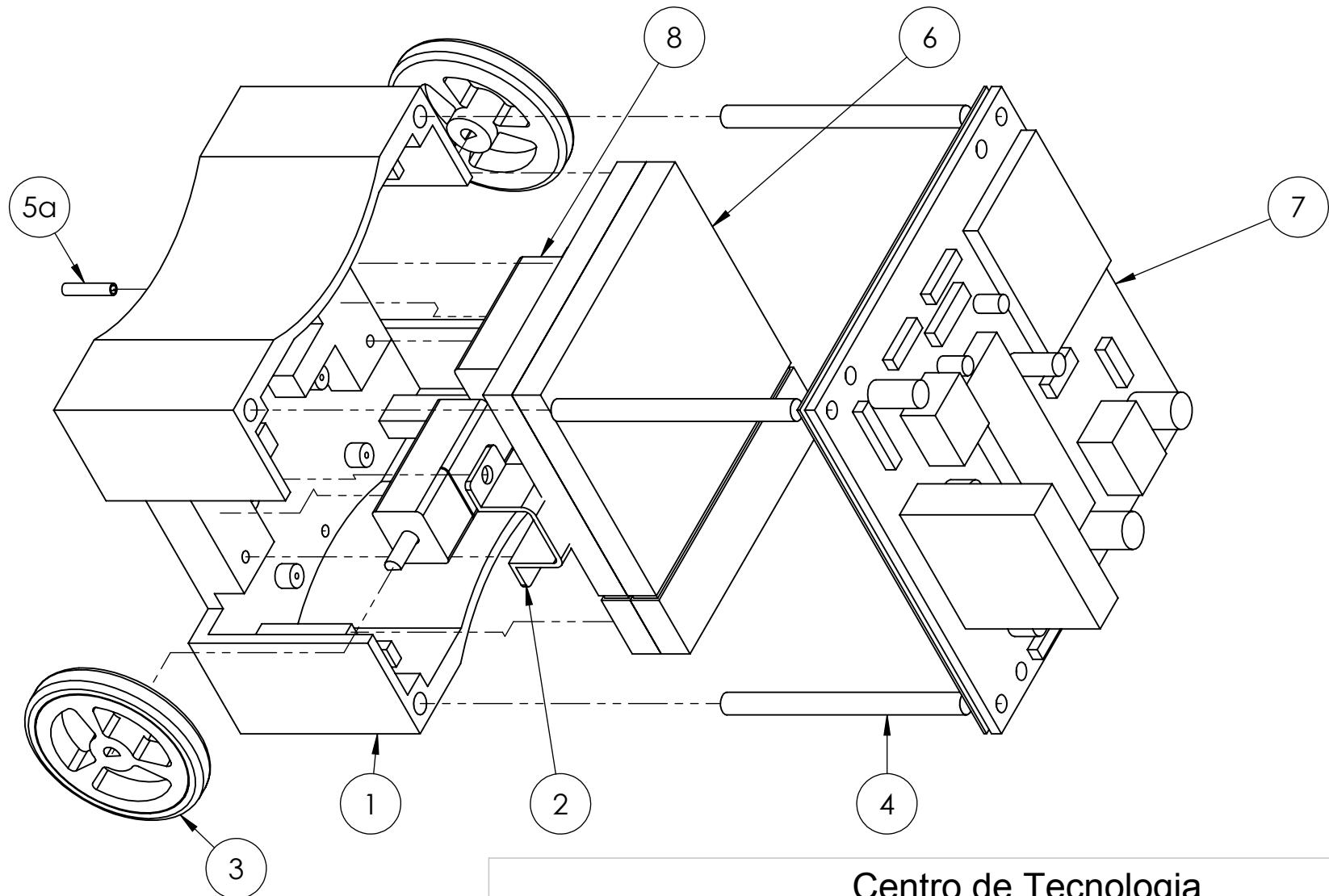
PROJETISTA
Felipe Alencar de Oliveira

PROJEÇÃO

CONTROLE

DATA
27-06-2012

VISTO



UFRN

Centro de Tecnologia

Departamento de Engenharia Mecânica

Trabalho de Conclusão de Curso

TÍTULO
Vista Explodida Projeto HUM

PROJETISTA
Felipe Alencar de Oliveira

PROJEÇÃO

ESCALA
1:1

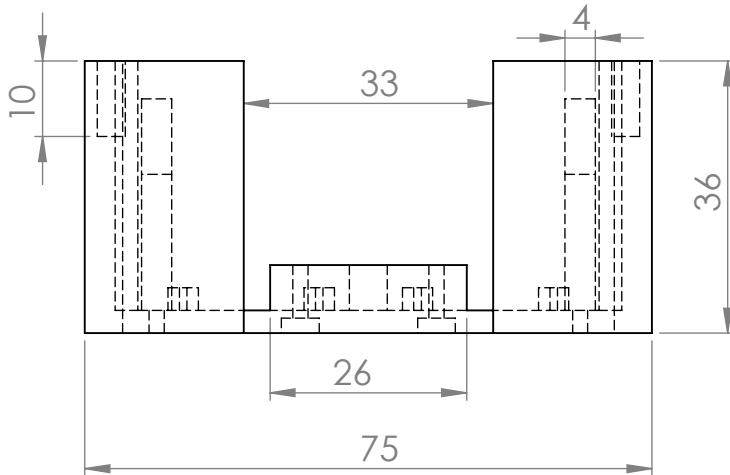
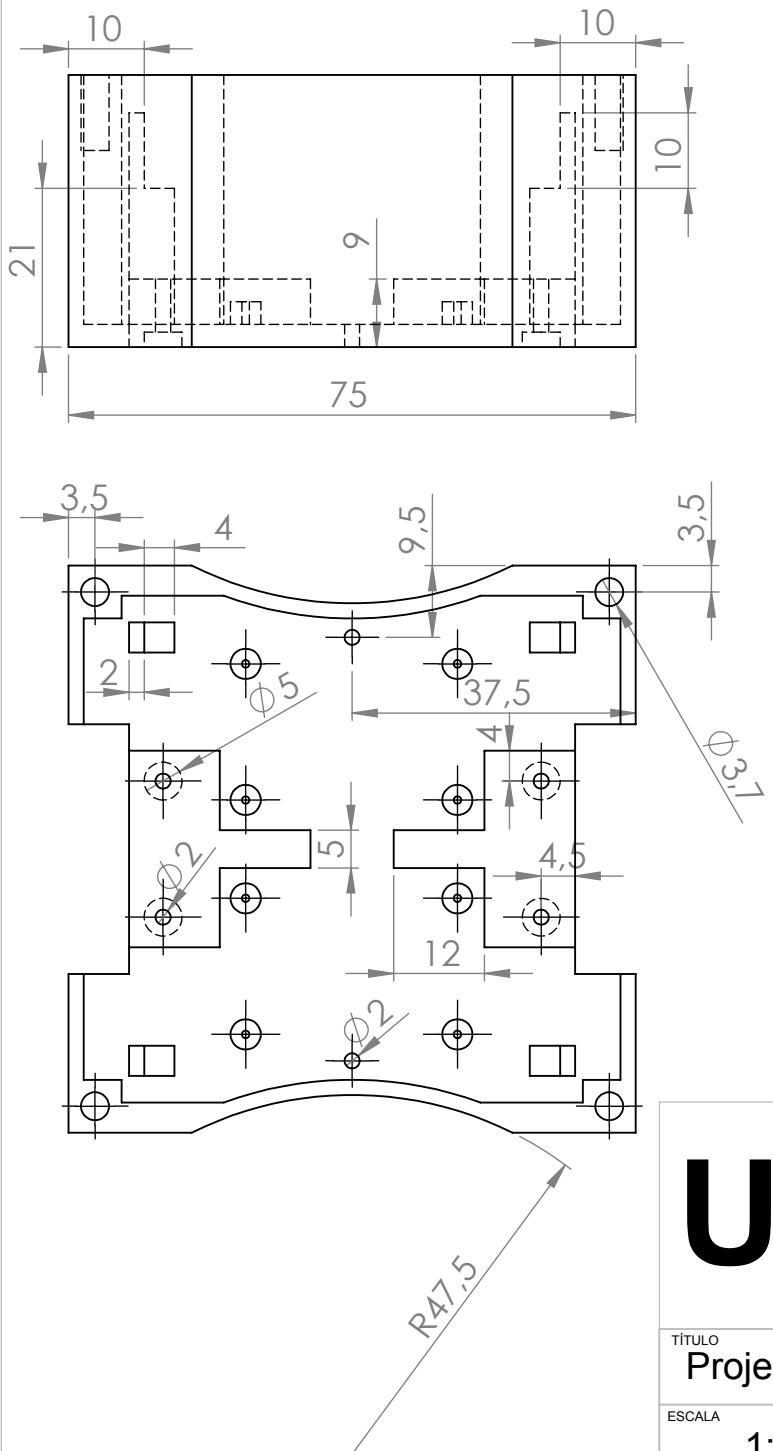
PRANCHA
02

DIMENSÕES
mm

CONTROLE

DATA
27-06-2012

VISTO



UFRN

Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica
Trabalho de Conclusão de Curso

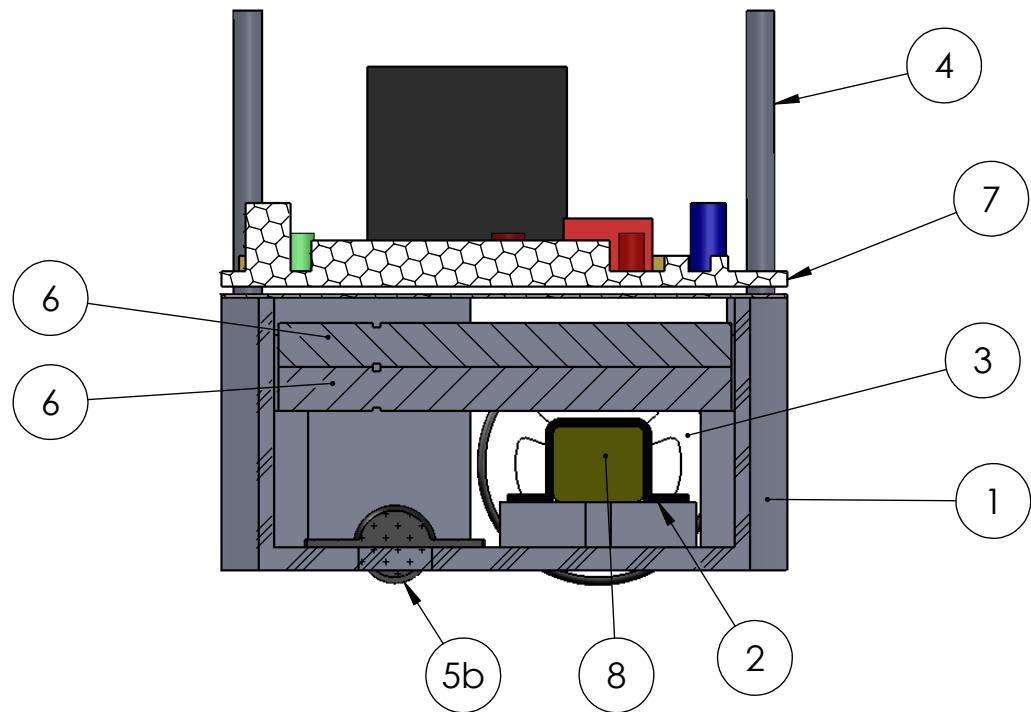
TÍTULO Projeto HUM	PROJETISTA Felipe Alencar de Oliveira	PROJEÇÃO
ESCALA 1:1	PRANCHA 03	DIMENSÕES mm

CONTROLE

27-06-2012

VISTO

ANEXO B – Desenhos do Projeto Trípode



- 1** - Estrutura de Base (Prancha 06)
2 - Presilha do Motor (Prancha 10)
3 - Roda com Pneu (Prancha 11)
4 - Fuso de Suporte (Prancha 12)
5b - Esfera Transferidora (Prancha 14)
6 - Baterias
7 - Placa de Circuito Eletrônico
8 - Motor CC
- Materiais:**
- 1** - Plástico ABS
 - 2** - Polímero desconhecido
 - 3** - Plástico e Borracha
 - 4** - Aço
 - 5b** - Plásticos
 - 6** - Polímero de Íon de Lítio e outros
 - 7** - Materiais diversos
 - 8** - Aço, Latão e Cobre, principalmente

UFRN

Centro de Tecnologia
 Departamento de Engenharia Mecânica
 Trabalho de Conclusão de Curso

TÍTULO
 Montagem do Trípode

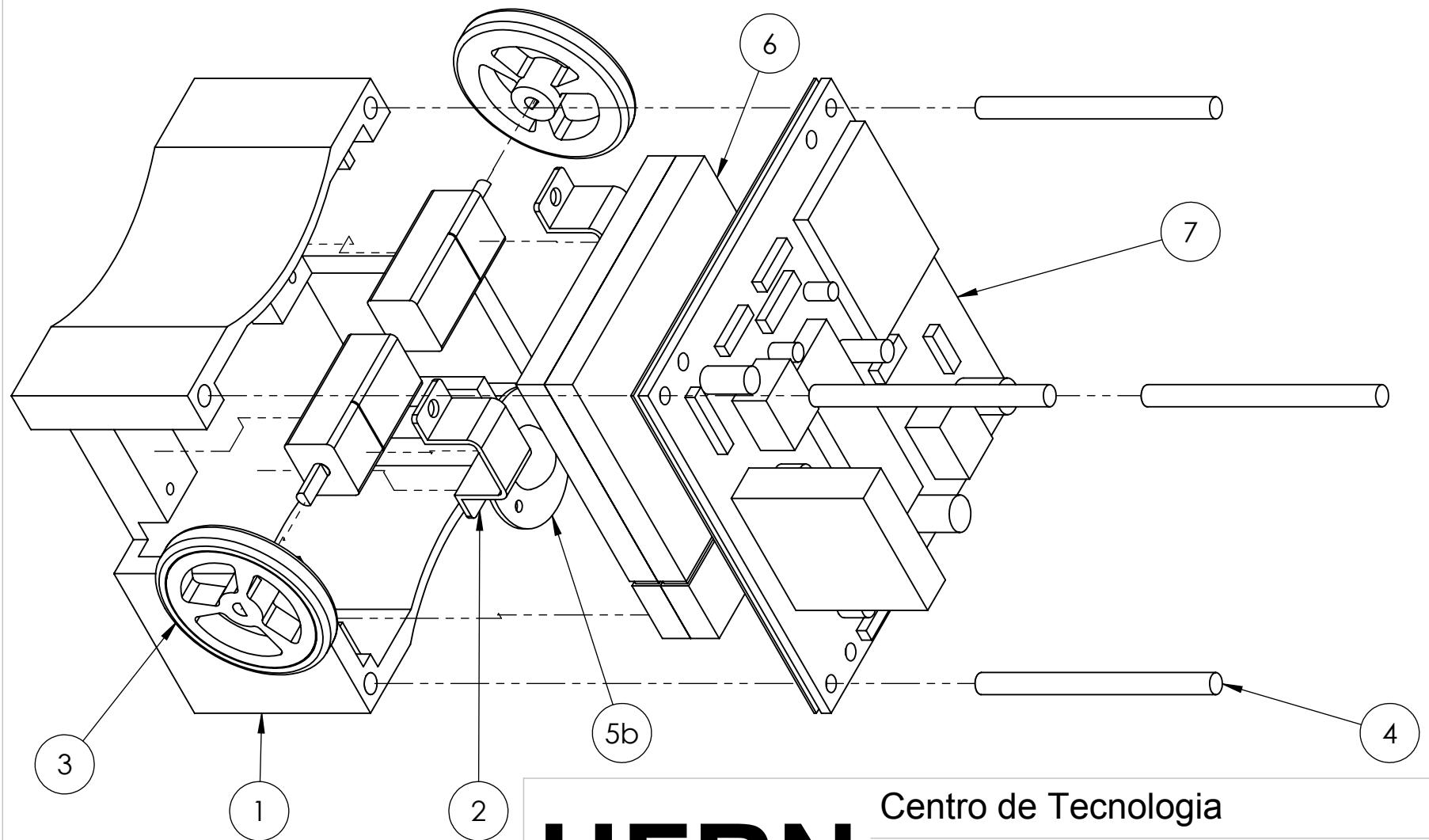
ESCALA 1:1 PRANCHA 04 DIMENSÕES mm

PROJETISTA
 Felipe Alencar de Oliveira

PROJEÇÃO

CONTROLE DATA
 18-12-2011

VISTO



UFRN

Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica
Trabalho de Conclusão de Curso

TÍTULO
Vista Explodida do Trípode

ESCALA
1:1

PRANCHA
05

DIMENSÕES
mm

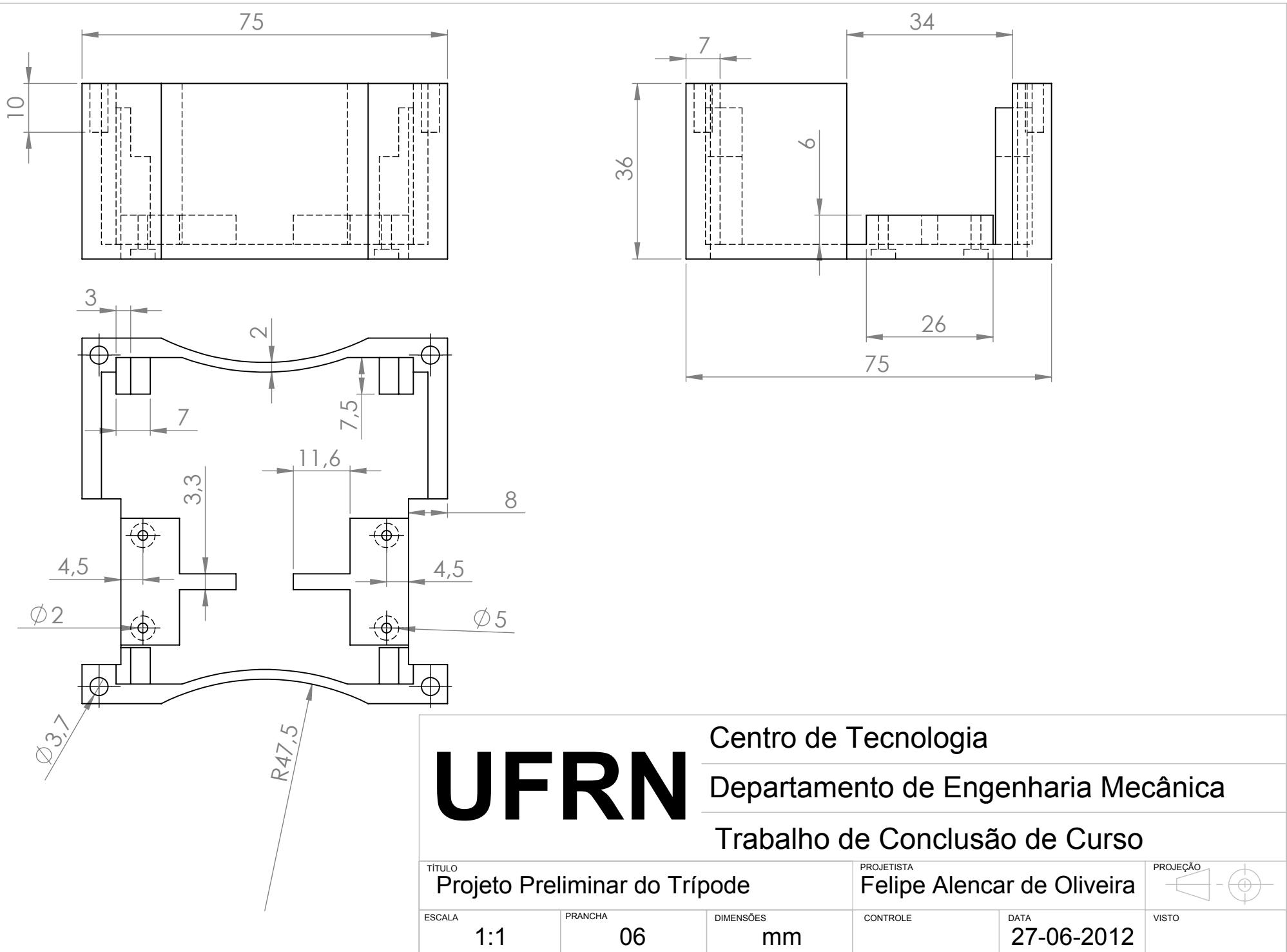
PROJETISTA
Felipe Alencar de Oliveira

PROJEÇÃO

CONTROLE

DATA
27-06-2012

VISTO



UFRN

Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica
Trabalho de Conclusão de Curso

TÍTULO
Projeto Preliminar do Trípode

ESCALA 1:1 PRANCHA 06 DIMENSÕES mm

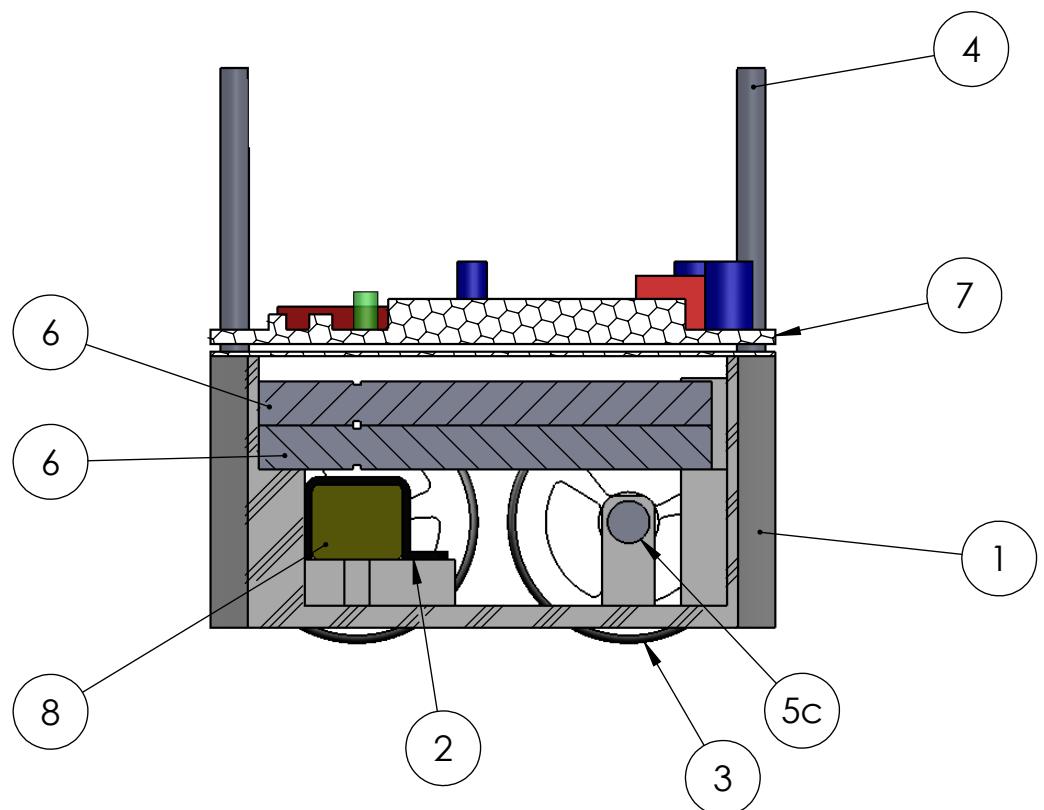
PROJETISTA
Felipe Alencar de Oliveira

PROJEÇÃO

VISTO

DATA
27-06-2012

ANEXO C – Desenhos do Projeto Tetrápode



- 1** - Estrutura de Base (Prancha 09)
2 - Presilha do Motor (Prancha 10)
3 - Roda com Pneu (Prancha 11)
4 - Fuso de Suporte (Prancha 12)
5c - Eixo (Prancha 15)
6 - Baterias
7 - Placa de Circuito Eletrônico
8 - Motor CC

Materiais:

- 1** - Plástico ABS
2 - Polímero desconhecido
3 - Plástico e Borracha
4 - Aço
5c - Aço
6 - Polímero de Íon de Lítio e outros
7 - Materiais diversos
8 - Aço, Latão e Cobre, principalmente

UFRN

Centro de Tecnologia
 Departamento de Engenharia Mecânica
 Trabalho de Conclusão de Curso

TÍTULO
 Montagem do Tetrápode

ESCALA
 1:1

PRANCHA
 07

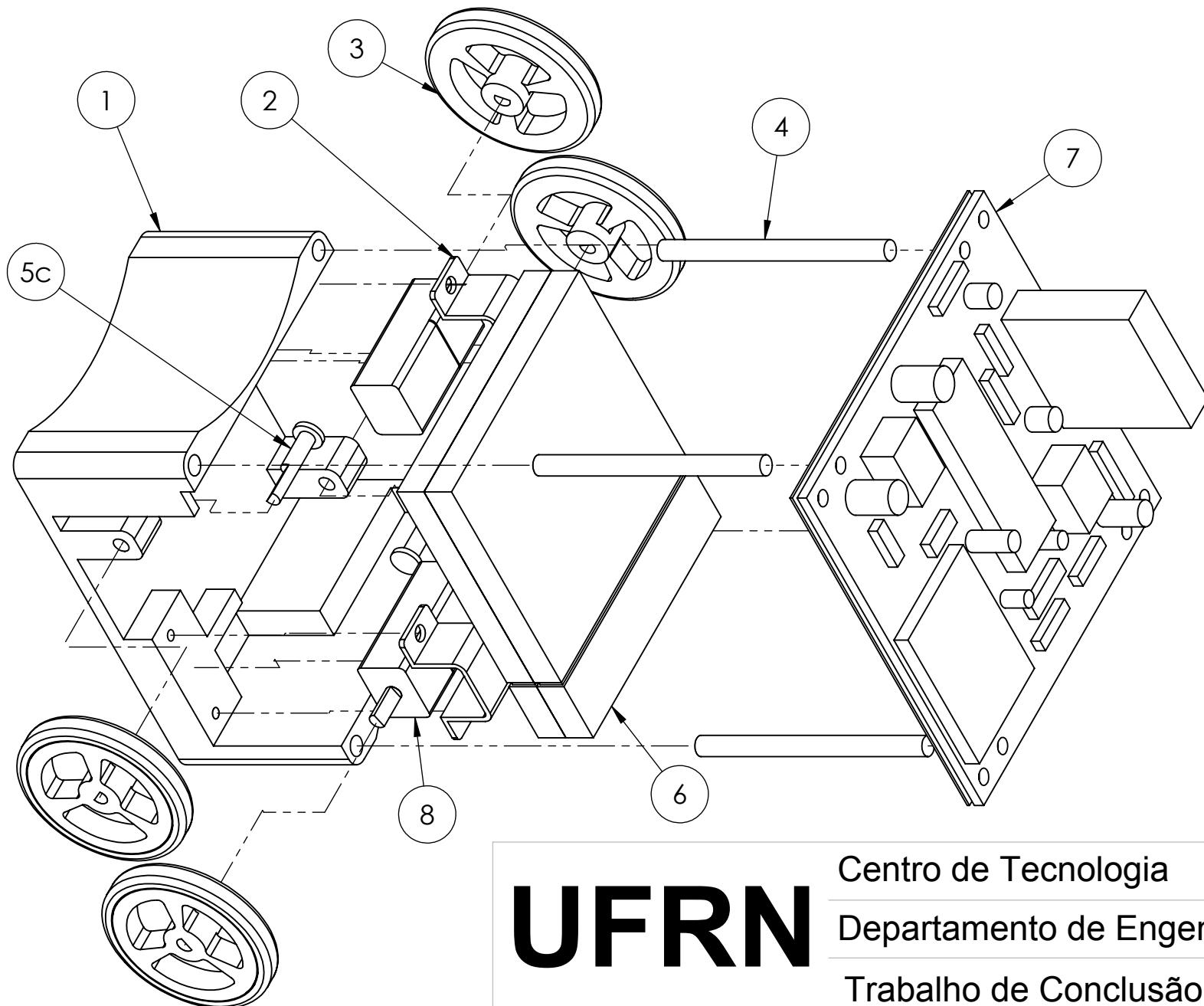
DIMENSÕES
 mm

PROJETISTA
 Felipe Alencar de Oliveira

PROJEÇÃO

CONTROLE
 DATA
 27-06-2012

VISTO



UFRN

Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica
Trabalho de Conclusão de Curso

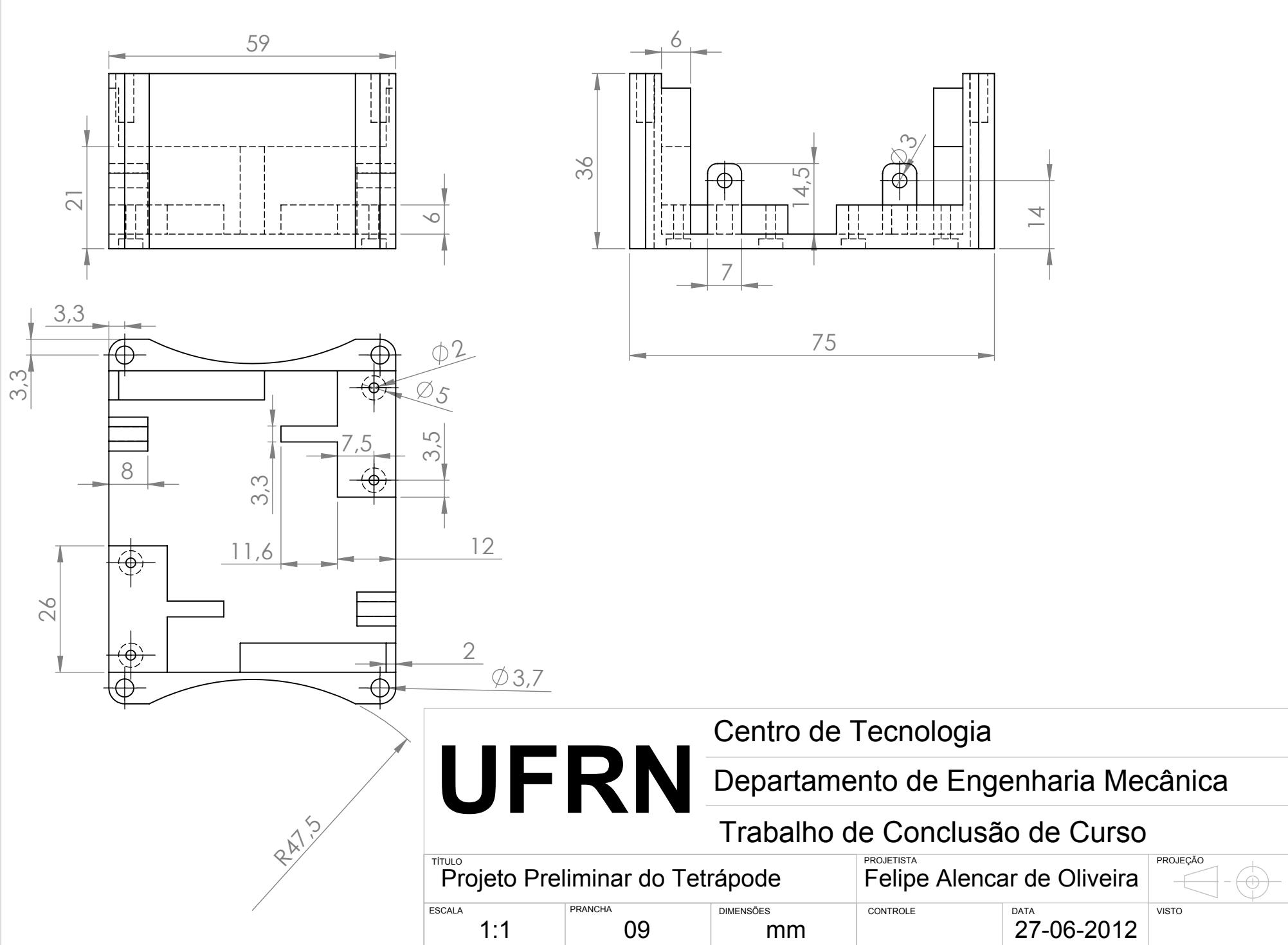
TÍTULO
Vista Explodida do Tetrápode

ESCALA PRANCHA DIMENSÕES
1:1 08 mm

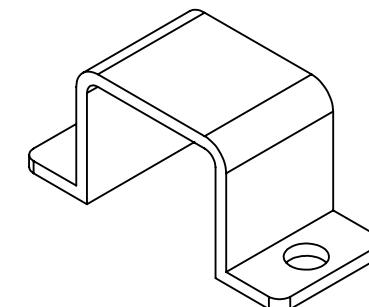
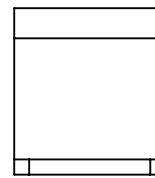
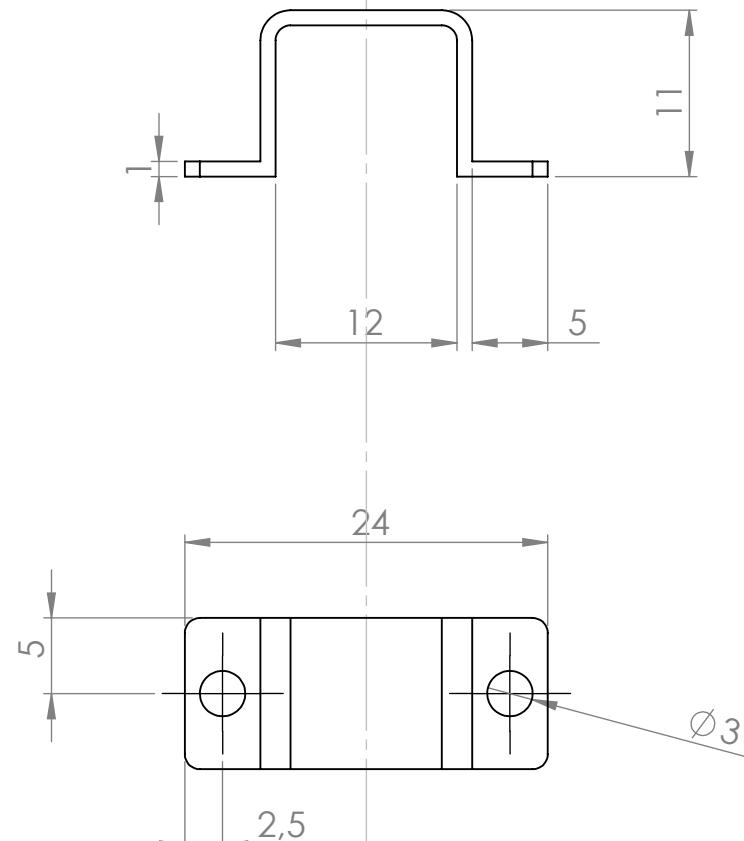
PROJETISTA
Felipe Alencar de Oliveira

CONTROLE DATA
VISTO
27-06-2012

PROJEÇÃO



ANEXO D – Desenhos dos Componentes Mecânicos Comuns dos Projetos



UFRN

Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica
Trabalho de Conclusão de Curso

TÍTULO
Presilha dos Motores

ESCALA
2:1

PRANCHA
10

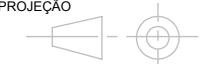
DIMENSÕES
mm

DESENHISTA
-

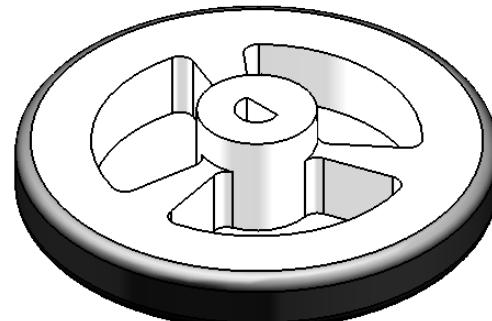
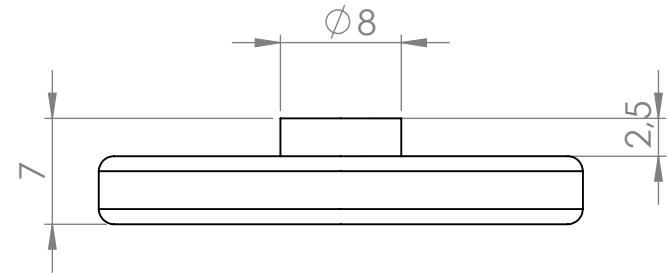
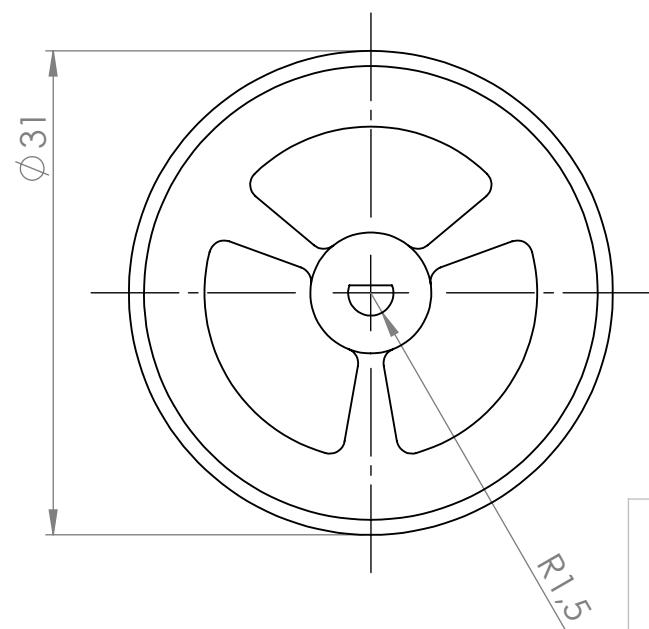
CONTROLE

DATA
27-06-2012

PROJEÇÃO



VISTO



UFRN

TÍTULO
Roda com Pneu

ESCALA
2:1

PRANCHA
11

Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica
Trabalho de Conclusão de Curso

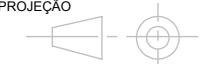
DESENHISTA
-

DIMENSÕES
mm

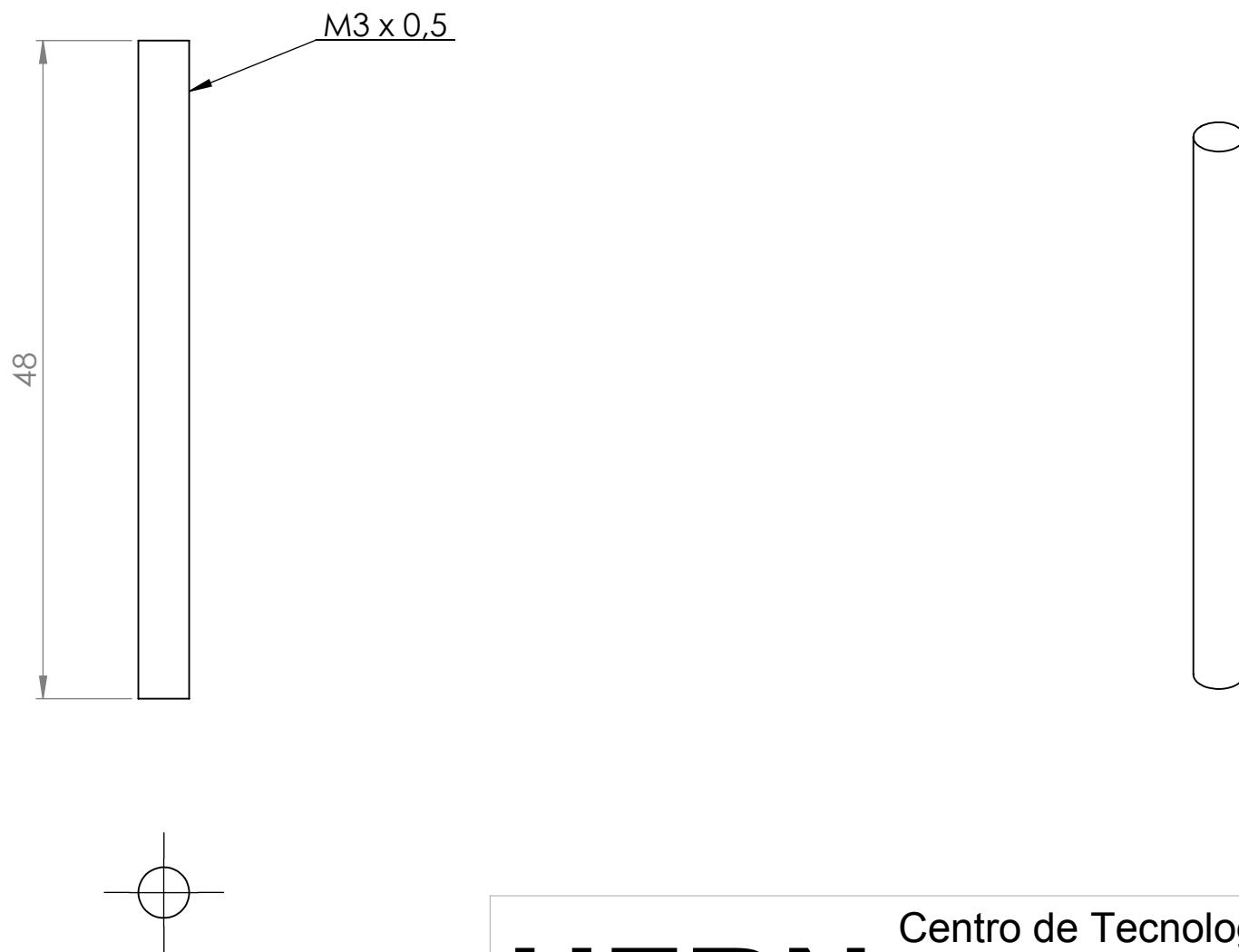
CONTROLE

DATA
27-06-2012

PROJEÇÃO



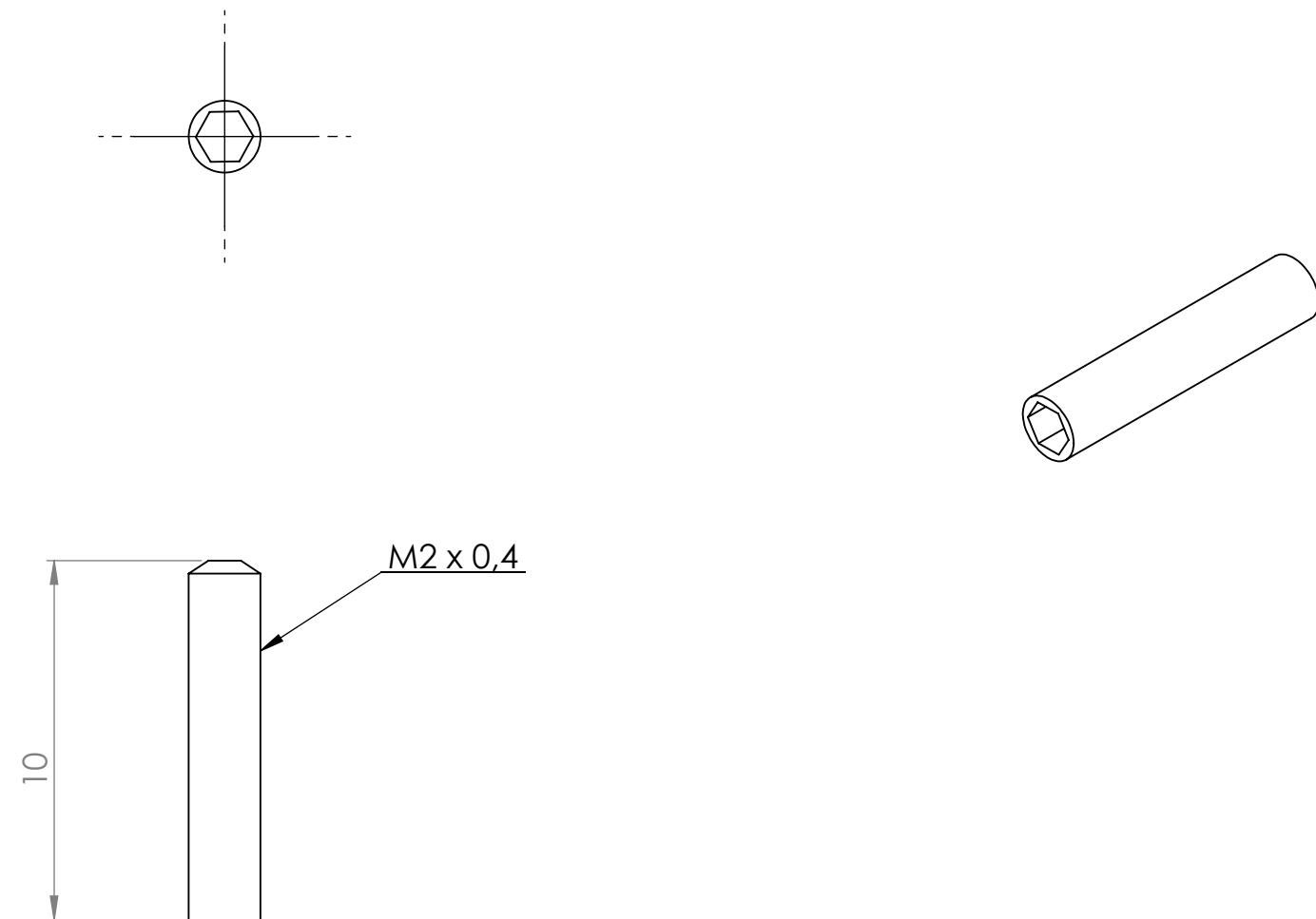
VISTO



UFRN

Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica
Trabalho de Conclusão de Curso

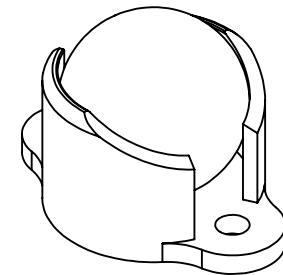
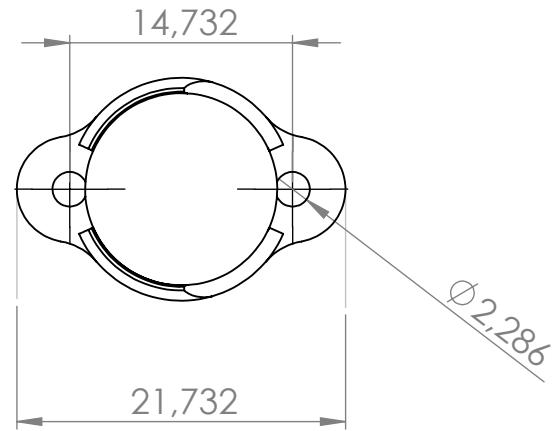
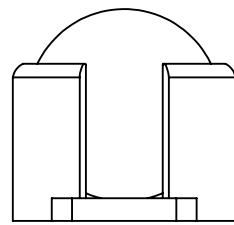
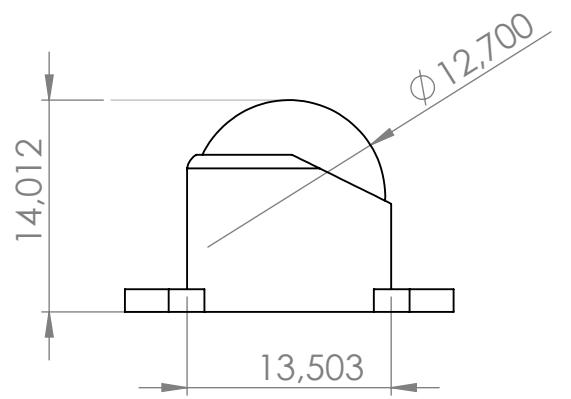
TÍTULO Presilha dos Motores	DESENHISTA -	PROJEÇÃO
ESCALA 2:1	PRANCHA 12	DIMENSÕES mm



UFRN

Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica
Trabalho de Conclusão de Curso

TÍTULO Parafuso Passante	DESENHISTA -	PROJEÇÃO
ESCALA 5:1	PRANCHA 13	DIMENSÕES mm



UFRN

Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica
Trabalho de Conclusão de Curso

TÍTULO
Esfera Transferidora

ESCALA
2:1

PRANCHA
14

DIMENSÕES
mm

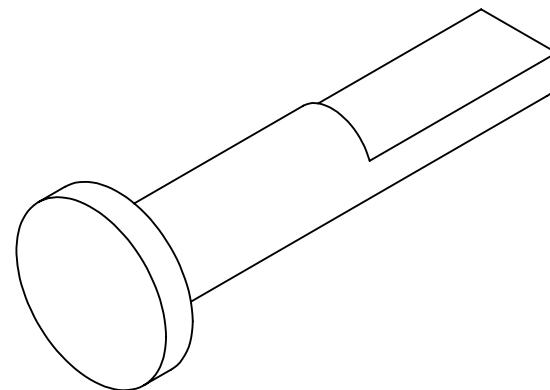
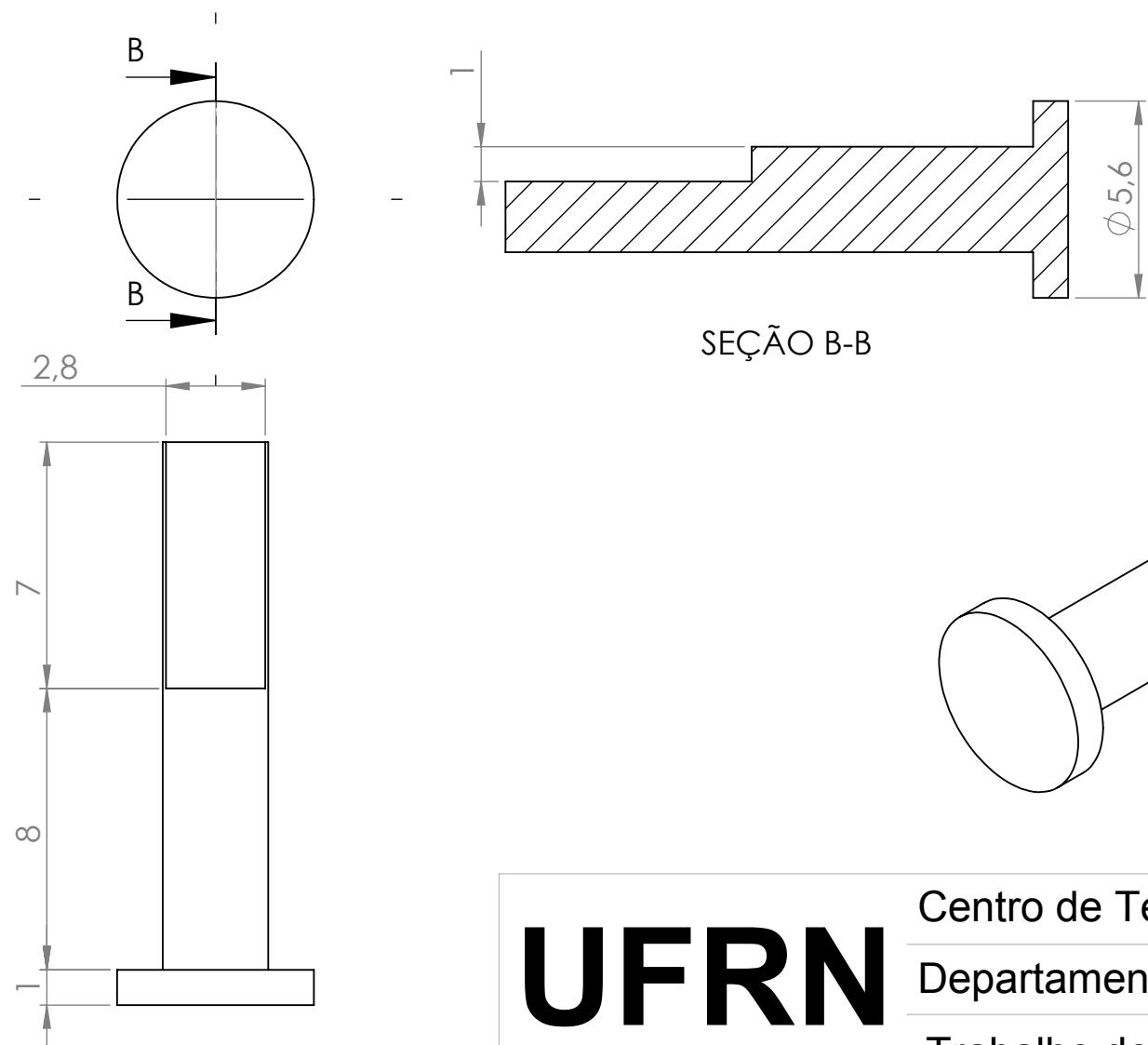
DESENHISTA
-

CONTROLE

DATA
27-06-2012

PROJEÇÃO

VISTO



UFRN

Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica
Trabalho de Conclusão de Curso

TÍTULO Eixo	DESENHISTA Felipe Alencar de Oliveira	PROJEÇÃO
ESCALA 5:1	PRANCHA 15	DIMENSÕES mm

CONTROLE

DATA
27-06-2012

VISTO

ANEXO E – Lista de Equipamentos Eletromecânicos

Na **Tabela 18**, está uma lista de componentes eletromecânicos utilizados em todos os robôs, na primeira coluna a descrição do componente, na segunda o quantitativo e na terceira o preço unitário em dólares cotados na loja virtual *Solarbotics* (<http://www.solarbotics.com>) no dia 18 de junho de 2012.

Tabela 18 - Componentes eletromecânicos dos robôs

Item	Quantidade	Preço Unitário (US\$)
Base em ABS	1 unid	-
Motor Solarbotics GM18 (Transmissão 30:1)	2 unid	15,95
Presilha Pololu Mini Gearmotor	2 unid	4,95
Parafuso e Porca #2-56×7/16" ¹ (inclusos nas presilhas)	4 unid	-
Bateria de Polímero de íon de Lítio 3,7 V e 2000 mA.h	2 unid	16,95
Varão Roscado M4 e comprimento 45mm	4 unid	-
Esfera Transferidora Pololu 950, esfera de plástico diâmetro 3/8" ²	1 unid	2,99
Rodas Pololu 32x7mm	2 e 4 ³ unid	6,98
Parafuso M3 e comprimento 20mm ³	2 unid	-

¹ #θ – α x k" é a especificação do parafuso, onde θ é o maior diâmetro, α é o número de filetes por polegada e k" é o comprimento em polegadas.

² É um componente exclusivo do projeto Trípode.

³ São componentes exclusivos do projeto Tetrápode. No número de rodas, quatro são necessárias para o caso deste projeto.

ANEXO F – Imagens das Regras

A Figura 55 representa um campo de futebol de robôs categoria *very small size*, onde as posições apontadas pelas setas são as que determinam os locais onde a bola deve ficar para ser realizada uma cobrança de tiro livre. Os três robôs mais à esquerda representam as posições onde os robôs da defesa devem estar para essa cobrança, assim como os mais à direita, atacantes, devem se posicionar da forma representada.

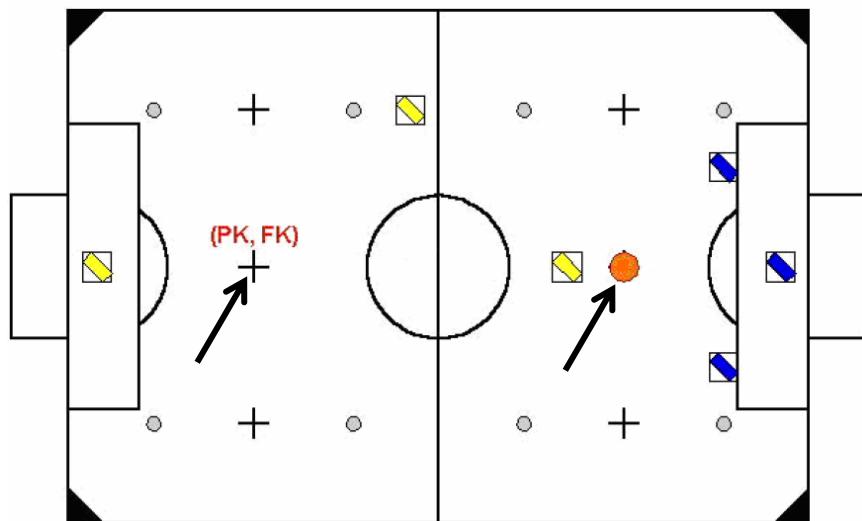


Figura 55 – Posições do tiro livre [12]

Para a cobrança de pênalti, as posições dos jogadores de defesa estão representadas com asterisco (*) e os de ataque com sigma (σ) na Figura 56. As posições de bola são as mesmas das de tiro livre.

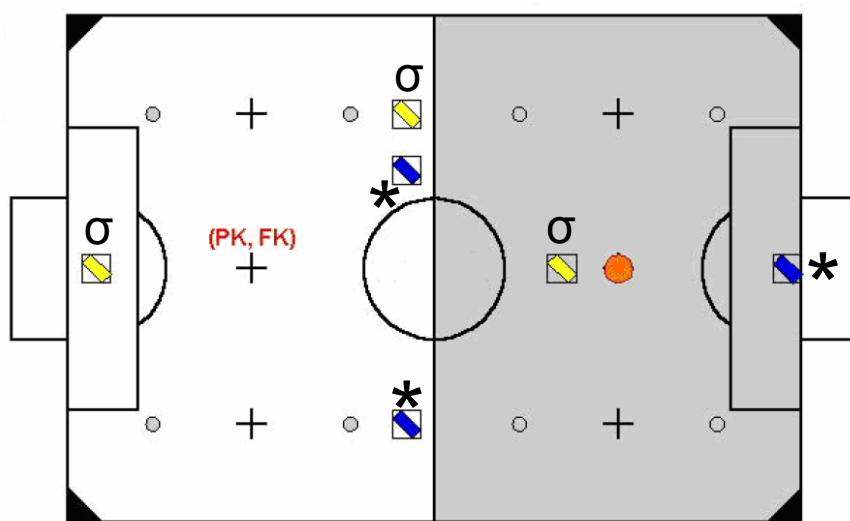


Figura 56 – Posições da cobrança de pênalti [12]

Na cobrança de tiro de meta (Figura 57) a única exigência é que apenas o goleiro e a bola devem permanecer dentro da área. Os outros jogadores (tanto de defesa como de ataque) podem ficar em qualquer parte do campo, exceto área do goleiro que fará a cobrança.

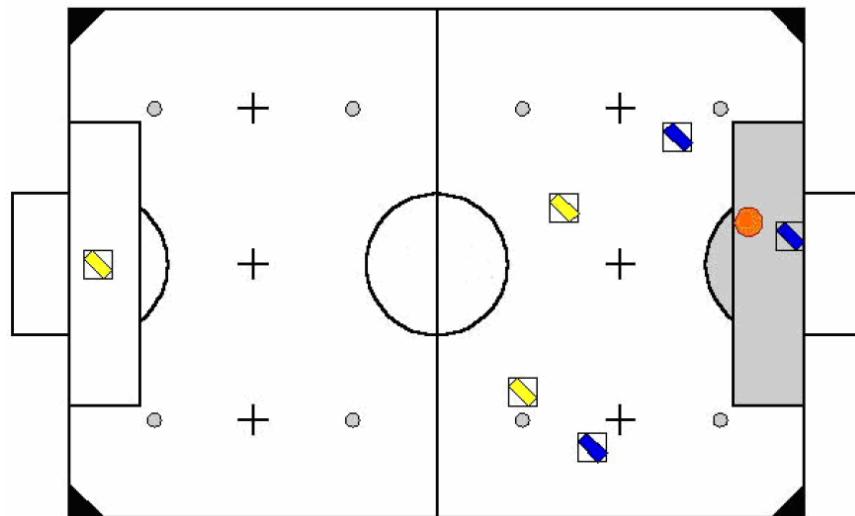


Figura 57 - Posições do tiro de meta [12]

Na Figura 58, as posições marcadas com (FB) indicam os locais onde a bola poderá ficar disposta para esse tipo de cobrança, é uma posição por quadrante do campo. Dentro do quadrante somente um robô de cada time é permitido, distantes de 20 centímetros da bola.

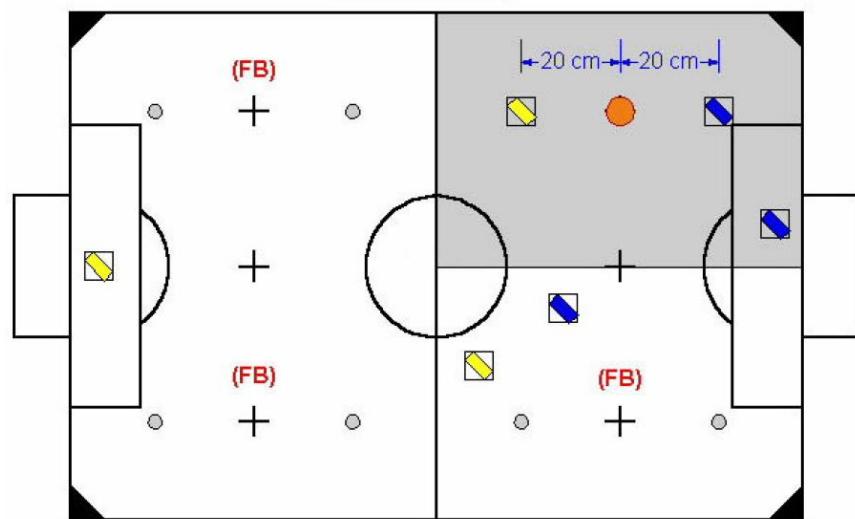


Figura 58 - Posições da disputa de bola livre [12]