



20 A 24 DE MAIO DE 2018 SALVADOR – BA – BRASIL

PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM TIME DE FUTEBOL DE ROBÔS MÓVEIS DE QUATRO RODAS

Matheus Emmanuel Pereira Fernandes, matheusepf@ufrn.edu.br¹

Daniel Silva de Moraes, danielmoraes@outlook.com.br²

Elitelma da Silva Souza, thelmah_sa@hotmail.com²

Márcio Valério de Araújo, marcio@ct.ufrn.br¹

Adelardo Adelino Dantas de Medeiros, adelardo@dca.ufrn.br²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica, Natal/RN, Brasil.

²Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia da Computação e Automação, Natal/RN, Brasil.

Resumo: As competições de robôs já são bastante difundidas em todo o mundo, existindo diversas categorias, dentre elas a IEEE Very Small Size Soccer. Nessa categoria cada equipe é composta por três robôs com dimensão máxima de um cubo com aresta de 7,5 cm e um sistema de visão localizado sobre o campo, responsável de enviar para o computador fotos que serão analisadas. Os robôs apresentam uma eletrônica embarcada e são necessariamente autônomos, ou seja, todo seu controle é feito por computador central, sem intervenção humana. Esse artigo tem como objetivo apresentar um projeto multidisciplinar desenvolvido pela Equipe Poti que contempla a mecânica, eletrônica e computação de um robô móvel de quatro rodas para competir nessa categoria. Além disso, foi utilizado de metodologia quantitativa, usando testes para obter dados de força linear para validar sua eficiência. Resultando em um robô estável, sem risco de tombar e pronto para competir.

Palavras-chave: futebol de robôs, estrutura mecânica, sistema de visão.

1. INTRODUÇÃO

O futebol é considerado o esporte mais famoso do mundo e, com advento da tecnologia, as competições de futebol de robôs estão se tornando cada vez mais populares. Esse desafio do futebol de robôs foi introduzido como forma de aumentar o desenvolvimento na área da robótica e inteligência artificial, levando os alunos a colocarem em prática os conhecimentos adquiridos ao longo de seu curso e pesquisas.

Existem vários tipos de categorias e vários tipos de robôs competindo, dentre eles, robôs bípedes (Sungkono *et al.*, 2016) e movidos a rodas (Oliveira *et al.*, 2015). Dentro de cada categoria existem várias subcategorias, dentre elas a Small Size League (SSL) (Atanázio *et al.*, 2014; Martinez-Gomez *et al.*, 2005) e a Very Small Size Soccer (VSSS), que seguem as regras definidas pelo IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

De acordo com essas regras, para a categoria VSSS na qual este trabalho desenvolveu o time, cada equipe é formada por três robôs com dimensão máxima de um cubo com aresta de 7,5 cm, que competem em um campo semelhante ao de futebol, mas medindo 150 cm por 130 cm. Cada partida tem duração de 10 minutos, divididos em 2 tempos de 5 minutos, a bola usada é uma bola de golfe laranja com 4,27cm de diâmetro e massa de 46g.

Todo controle do robô é feito por um computador que processa a imagem de uma câmera de vídeo localizada acima do campo e comanda os robôs com a estratégia já definida. O objetivo principal é semelhante ao futebol convencional, fazer entrar uma bola no gol adversário. Na Equipe Poti, onde foi desenvolvido o robô que está sendo apresentado neste trabalho, o computador processa todas as informações oriundas da imagem retirada do campo e envia sinais de controle via Bluetooth para cada robô. Fazendo com o que eles se movam de acordo com estratégia planejada.

Atualmente, a Equipe Poti trabalha no laboratório de Robótica e Sistemas Dedicados do Departamento de Computação e Automação (DCA/UFRN), desenvolvendo pesquisa e robôs para competir nessa categoria. Este trabalho tem o objetivo de mostrar o desenvolvimento de um time de robôs de quatro rodas, evidenciando sua estrutura mecânica e sistemas embarcados, a serem utilizados em competições de robótica.

2. EQUIPE POTI

Essa seção apresenta as principais características dos robôs da Equipe Poti e é dividida em três áreas distintas: mecânica, eletrônica e computação.

2.1. Projeto Mecânico

O projeto foi inicialmente desenvolvido em software CAD com as dimensões de acordo com as regras da competição. O projeto mecânico deve ter boa resistência mecânica e proporcionar facilidade na montagem dos outros componentes como motores, baterias ou pilhas e placas de circuitos eletrônicos.

Foi projetada uma carcaça com dimensões de um cubo com aresta de 7,5 cm. A competição não estabelece peso máximo, nem mínimo, porém baseados em projetos anteriores (Cavalcante *et al.*, 2014 e Oliveira *et al.*, 2015) percebeu-se que um robô muito leve prejudica o controle, dessa forma optou-se pela utilização de pilhas, a fim de aumentar a massa do robô. Além disso, foi feita uma geometria com rasgos para facilitar a condução da bola como pode ser visto na Fig. 1.



Figura 1. Protótipo modelado em Software CAD.

A carcaça se tornou complexa devido a sua geometria proporcionar facilidade na montagem de seus componentes, dessa forma, optou-se por fabrica-la a partir de prototipagem rápida. Além disso, foram utilizadas as rodas movidas e motoras com diâmetro de 32 mm e os micromotores com caixa de redução de 30:1 HPCB da Pololu.

A fim de inovar, foi proposto construir um robô de quatro rodas, pois dessa forma se tem espaço na direção axial para adicionar encoders magnéticos nos motores para que tenha uma maior precisão no controle de posição do robô, além de eliminar a trepidação no robô (Oliveira *et al.*, 2015).

O projeto é composto por quatro apoios sendo duas rodas motoras e duas rodas movidas. Os motores estão montados na diagonal, isto é, as rodas motrizes estão em lados opostos, sendo uma na frente e a outra a traz, a mesma lógica é usada para as rodas movidas. Essa disposição foi feita para manter o centro de rotação passando pelo centro geométrico do robô. A Fig. 2 mostra um asterisco vermelho que é a interseção do centro geométrico (CGm), em linhas amarelas, com o centro de giro (CGr), em linhas azuis.

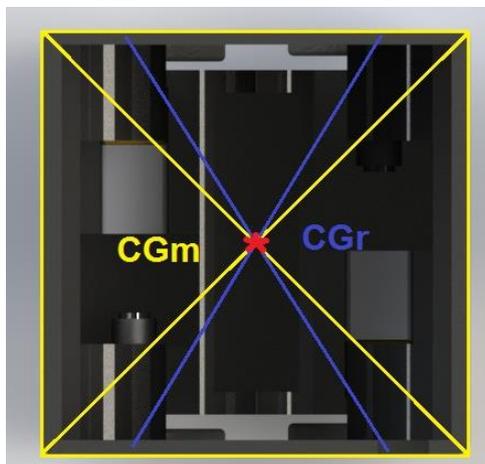


Figura 2. Representação do CGm e CGr.

A fim de manter um menor desgaste entre o eixo das rodas movidas com seu apoio na carcaça e poder ajustar a altura das rodas movidas foi criado um sistema de compensação de altura das rodas movidas, mostrado na Fig. 3.

Esse sistema consiste em um mancal de deslizamento com diâmetro externo de 8 mm (encaixa na carcaça) e diâmetro interno de 3 mm (passa o eixo das rodas movidas) e 17 mm de comprimento para garantir melhor estabilidade do eixo das rodas movidas.

Esse mancal foi fabricado a partir de um tarugo de alumínio. Primeiro foi cortado um tarugo de 24 mm de comprimento, logo em seguida foi fixado em um torno mecânico para que fosse faceado e desbastado até o diâmetro externo do projeto. Para fazer o diâmetro interno, a peça foi fixada nas castanhas do torno junto com três calços, a fim de fazer um furo excêntrico com uma broca de 3 mm. E por fim, foi feito um furo no sentido radial com uma furadeira de bancada para que seja possível ajustar a altura do furo interno.

Os eixos das rodas movidas foram feitos usando um prego de 3mm. Para fixar na roda foi feito um rasgo em um lado no eixo com ajuda de um esmeril.

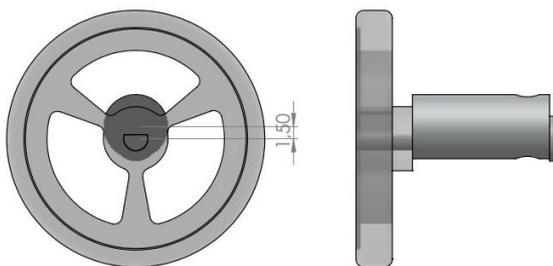


Figura 3. Mecanismo de ajuste de altura com a máxima amplitude de 1,5 mm.

2.2. Eletrônica Embarcada

Cada robô possui uma placa de circuito impresso, na qual são acoplados o micro controlador, o módulo de transmissão e circuito de potência, que alimentará os motores como mostra Fig. 4.

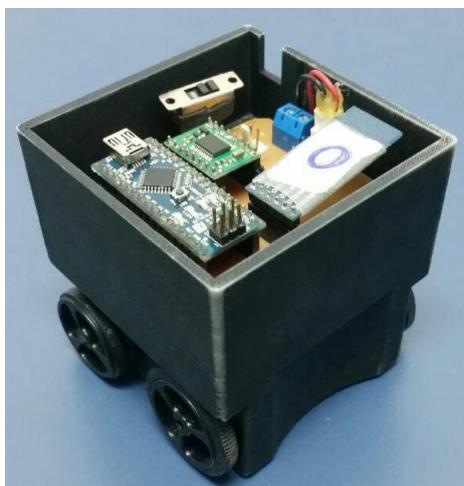


Figura 4. Eletrônica embarcada.

O micro controlador utilizado é o ATmega328p, o módulo de transmissão é o Bluetooth HC-05, encoders magnéticos da Pololu e um driver motor. Para fazer a alimentação desses componentes, são utilizadas 6 pilhas recarregáveis, que juntas somam uma tensão de 7,4 V, suficiente para aguentar as partidas de futebol.

Após o recebimento da imagem pelo computador, ele irá fazer os cálculos de posição e enviar para cada robô um controle. O Bluetooth recebe e o micro controlador envia o sinal PWM para o driver motor que encaminha o sinal para os motores. Após esse processo, é feito um controle local, na qual são utilizados os encoders. Esse controle serve para manter o robô em equilíbrio, visto que os motores, por não serem perfeitos nem idênticos, podem causar um movimento indesejado.

2.3. Arquitetura de Software

A estrutura do software do futebol de Robôs é dividida em módulo, como pode ser observado na Fig. 5. Cada módulo é responsável de uma funcionalidade do sistema, entre eles estão localização, estratégia e controle.

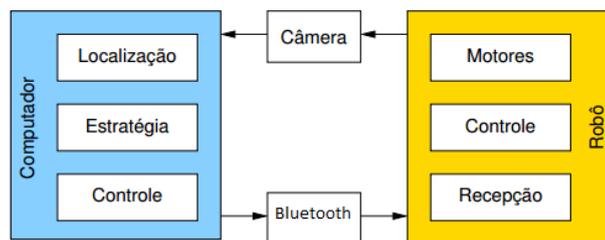


Figura 5. Arquitetura do sistema de Futebol de robôs.

O sistema de visão compõe-se de uma câmera disposta em cima do campo e que captura imagens dos robôs e da bola. É utilizado uma webcam que transmite imagens na resolução de 640x480 a 60 fps para o computador. Em seguida é feita a análise dessas imagens para que o módulo de localização entre em ação.

O sistema de localização fornece a posição dos robôs e da bola no campo. Isso é possível devido características pré-definidas dos robôs e bola. Cada time possui uma cor, azul ou amarelo, para que cada um seja identificado e cada robô possui uma marcação de cor auxiliar, mostrado na Fig. 6, para que seja possível identificar o robô que será atacante, goleiro ou zagueiro. A bola utilizada é uma bola oficial de golfe. Feito o processo de localização, as posições são usadas pelo módulo de estratégia.

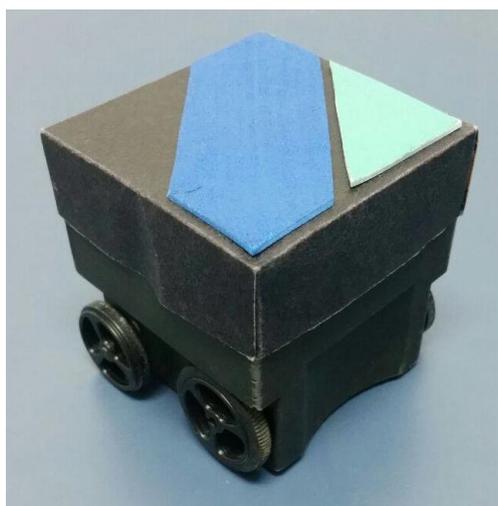


Figura 6. Identificação do robô da equipe POTL.

O sistema de estratégia gera a posição futura dos robôs a partir das posições atuais adquiridas e da atuação desejada para que se alcance a bola e conseqüentemente o gol. As estratégias são simples de serem implementadas, pois são feitas condições de estado do robô, como se o robô está com bola ou sem bola, antes ou depois de certo ponto do campo e etc.

A partir das referências geradas pelo módulo de estratégia, o controle calcula as tensões a serem enviadas aos motores. A estratégia adotada (Vieira *et al.*) se baseia em uma modelagem linear dos robôs, o que permite a adoção de técnicas clássicas de controle.

Os sinais de controle são enviados para cada robô através do módulo de transmissão, que é feito utilizando Bluetooths. Cada robô utiliza um Bluetooth, enquanto o computador utiliza o módulo nativo, já que é utilizado um notebook.

O robô recebendo esses dados, são encaminhados para o microcontrolador ATmega328p e em seguida são passados para o Driver Motor que controla os dois motores. Para auxiliar no controle do robô, são utilizados encoders da Pololu.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os experimentos foram divididos em teste de velocidade linear com carga, de velocidade linear sem carga e de força. Todos os testes foram realizados variando a tensão elétrica em 20%, 40%, 60%, 80% e 100% da tensão total gerada pelas pilhas (7,2 V). Por questões estatísticas, foram feitas sete medições em cada parâmetro variado e tomado como base o valor médio.

Na realização do teste de velocidade linear sem carga, foi utilizado um tacômetro mostrado na Fig. 7 para medir a velocidade angular da roda do robô sem que ela estivesse em contato com o solo, ou seja, livre dos efeitos do atrito e inércia. Foram calculados os valores de velocidade linear sem carga do robô, multiplicando a velocidade angular medida pelo perímetro da roda.



Figura 7. Medição de velocidade angular com tacômetro.

Já no teste de velocidade linear com carga, o robô permanecia sobre o campo mostrado na Fig. 8, e foi fornecida uma tensão igual nas duas rodas, possibilitando que ele realizasse um movimento em linha reta. Os testes foram filmados com a câmera que fica acima do campo e com ajuda de um software pode-se obter os tempos que o robô percorreu em uma distância pré-fixada. Dividindo o valor da distância pelo tempo percorrido de cada variação da tensão, se obteve os valores da velocidade linear com carga.

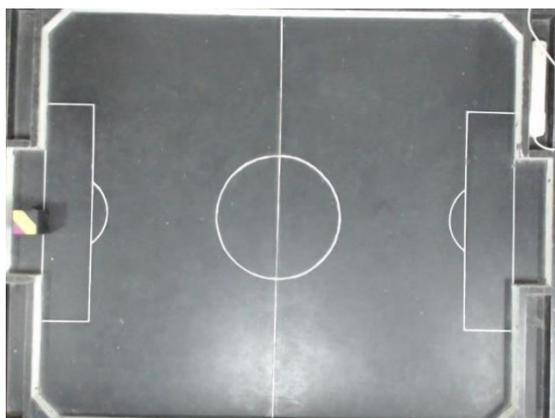


Figura 8. Visão da câmera com o robô sobre o campo para realizar os testes de velocidade linear com carga.

Para o experimento de força, uma célula de carga foi fixada em um suporte, de modo que formasse 90° com a superfície, conforme Fig. 9. Foi preso na célula de carga, um cordão inelástico e de massa desprezível. Foram enviadas tensões iguais para os dois motores com as mesmas variações já citada, com isso, o robô tracionou o cabo fixado e foi possível medir a força fornecido pela célula de carga.

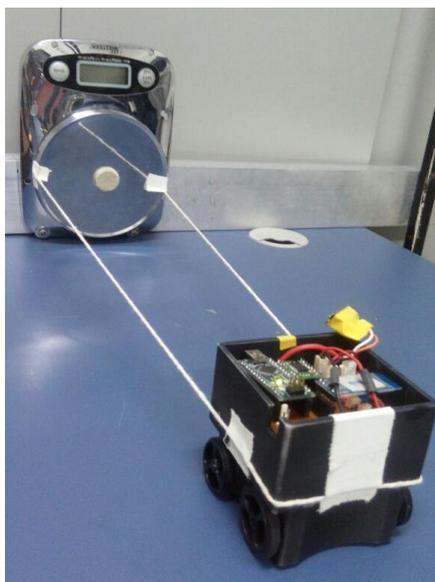


Figura 9. Teste de força.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os dados obtidos referente à velocidade média sem carga, com carga e o teste de força.

Tabela 1. Dados da velocidade linear média sem carga e com carga e da força média.

Tensão (V)	Velocidade sem carga		Velocidade com carga	Força (N)
	Rotação (RPM)	Velocidade (m/s)	Velocidade (m/s)	
0	0	0	0	0
1,44	102,7	0,17	0,12	0,65
2,88	227,5	0,38	0,33	0,93
4,32	341,2	0,57	0,50	1,07
5,76	442,7	0,74	0,71	1,14
7,20	549,5	0,92	0,80	1,13

Com base nos valores da Tab.1 foi possível plotar um gráfico comparativo das velocidades médias com carga e sem carga representado pela Fig. 10 e um gráfico da variação da força na Fig.11.

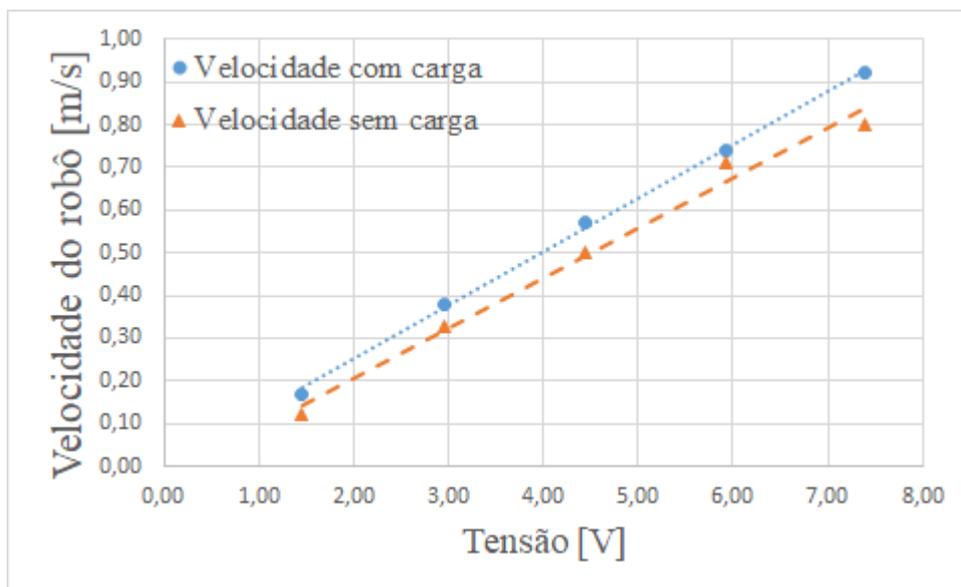


Figura 10. Comparativo da velocidade média com o robô sem carga e com carga.

Com base na aproximação linear dos dados coletados, foi obtido um modelo matemático que relaciona a tensão com a velocidade do robô, ver Eq. (1). Essa equação é utilizada pelo controlador para definir o valor de tensão que deve ser enviado para os motores com base no valor de velocidade linear média desejada.

$$v = 0,1154.V + 0,1808 \quad (1)$$

Em comparação com projetos anteriores equipe POTI (Fernandes et al., 2017; Oliveira e Araújo, 2015) a velocidade máxima com carga do robô de quatro rodas apresentou cerca de 13% menor.

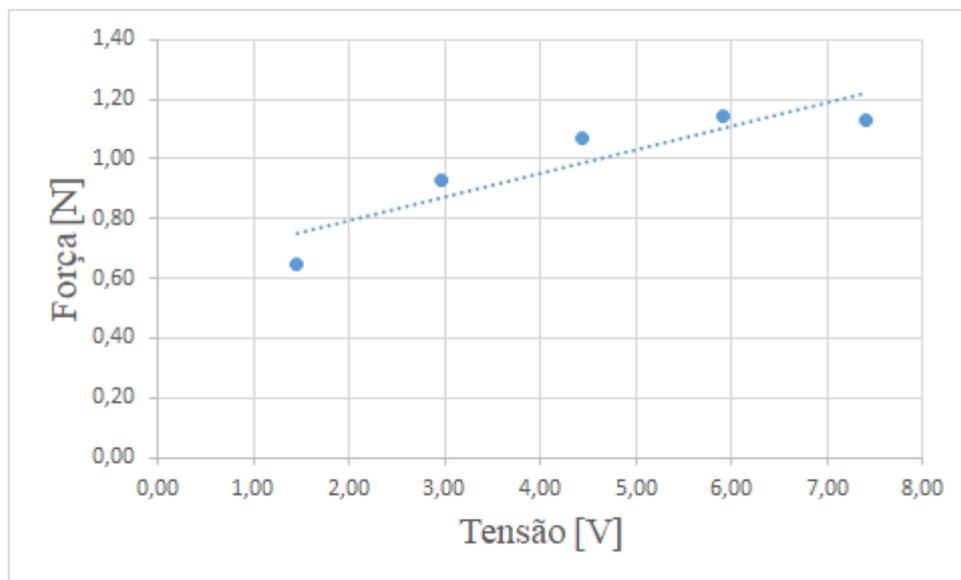


Figura 11. Variação da força em relação a tensão aplicada nas rodas dos motores.

Em robôs anteriores da equipe de Poti, Cavalcante et al. (2014), mostraram que a força do robô com uma voltagem de cerca de 3V não ultrapassou 0,8N, enquanto a voltagem de 7,5V alcançou perto de 2 N. Oliveira e Araujo (2015), mostraram que o robô mais forte atingiu uma força de 0,85 N com uma voltagem de 3 V, e com sua voltagem máxima, alcançou 1,95 N. Como podemos ver, para a menores voltagens o robô de quatro rodas apresentou ter uma força superior que os projetos anteriores.

Devido ao alto torque dos motores, o teste para a tensão de 7,5 V teve deslizamentos entre a roda e a superfície de contato, o que levou a uma pequena variação para os testes das duas últimas tensões.

5. CONCLUSÃO

O artigo apresentou a descrição de um robô móvel com quatro rodas projetado, que tem uma microeletrônica embarcada, da categoria IEEE Very Small Size Soccer da equipe Poti.

O robô de quatro rodas é difícil de fabricar, qualquer desalinhamento pode prejudicar o funcionamento do robô e apresentou um custo maior por ter mais peças. Ele apresenta uma velocidade máxima menor que outros robôs da equipe Poti, porém de acordo com limites mínimos determinado pela equipe. A maior vantagem desse robô é que a trepidação foi eliminada e o robô não tem risco de virar.

O mecanismo de ajuste de rodas melhorou ainda mais a estabilidade, pois garantiu que os quatro pontos de contato das rodas do robô no campo fossem no mesmo plano.

A velocidade linear média com carga apresentou valores menores que a velocidade linear média sem carga como era esperado devido ao atrito entre a roda e o campo e a inércia do robô carregado. Os resultados da relação da velocidade com as tensões do robô são usados pelo sistema de controle do robô para ter uma maior precisão.

O robô com carga apresentou uma velocidade máxima de 0,8 m/s com os motores de acionamento das rodas a tensão máxima de 7,2V. Tensões maiores do que 7,2V são evitadas para que não haja diminuição da vida útil dos motores. Além disso, o robô não apresentou problema de estabilidade.

6. REFERÊNCIAS

- Atanázio, E.; Martins, V.S.; Brenner, V.A.; Fabro, J.A. "UTBots 2014 Team Description Paper - Documentação do desenvolvimento do robô de competição voltado à disputa na categoria Small Size League". LARC/CBR. São Carlos, SP, 2014.
- Cavalcanti, A.F.; Araújo, M.V.; Pedrosa, D.P.F. "Small Wheeled Autonomous Mobile Soccer Robot". SBR-LARS Robotics Symposium and Robocontrol (SBR LARS Robocontrol), 2014 Joint Conference on Robotics. São Carlos, Brasil, 2014.
- Competição Brasileira de Robótica. IEEE Very Small Size Soccer. Disponível em: <http://www.cbrobotica.org/wp-content/uploads/2014/03/VerySmall2009_ptbr.pdf>. Acesso em: 15 Mar. 2017.
- Fernandes, M.E.P.; Araújo, M.V.; Souza, E.S.; Morais, D.S.; Medeiros, A.A.D. "Design And Development of a Wheeled Robot Soccer Team". COBEM, 2017.
- Martinez-Gomez, L.A; Moneo, F.; Sotelo, D.; Soto, M.; Weitzenfeld, A. "Design and implementation of a small size robocup soccer team". VII SBAI / II IEEE LARS. São Luís, MA, setembro de 2005.
- Oliveira, F.A.; Araújo, M.V. Advances in mechanical structure and motion of small sized self-governing footballer robots. COBEM, 2015.
- Sungkono, S.K.; Yohanes, B.W.; Santoso D. Decision tree analysis for humanoid robot soccer goalkeeper algorithm. 6th International Annual Engineering Seminar (InAES), Yogyakarta, 2016, pp. 46-50, 2016.
- Vieira, F.C.; Medeiros, A.A.D.; Alsina, P.J. Dynamic stabilization of a two-wheeled differentially driven nonholonomic mobile robot. VI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente. Bauru, setembro de 2003.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A FOOTBALL TEAM OF FOUR-WHEELS MOBILE ROBOTS

Matheus Emmanuel Pereira Fernandes, matheusepf@ufrn.edu.br¹

Daniel Silva de Morais, danielmorais@outlook.com.br²

Elitelma da Silva Souza, thelmah_sa@hotmail.com²

Márcio Valério de Araújo, marcio@ct.ufrn.br¹

Adelardo Adelino Dantas de Medeiros, adelardo@dca.ufrn.br²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica, Natal/RN, Brasil.

²Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia de Computação e Automação, Natal/RN, Brasil.

Abstract. *Robots competitions are already widespread throughout the world, with several categories, including IEEE Very Small Size Soccer. In this category each team consists of three robots with a maximum dimension of a cube with a 7,5 cm edge and a vision system located on the field, responsible for sending photos to the computer that will be analyzed. The robots present an embedded electronics and are necessarily autonomous, that is, all their control is done by central computer, without human intervention. This article presents a multidisciplinary project developed by the Poti Team that contemplates the mechanics, electronics and computing of a four-wheels mobile robot to compete in this category. In addition, this article presents linear velocity and force tests to validate its efficiency.*

Keywords: *robot soccer, mechanical structure, vision system.*