

Eixo Temático: Inovação e Sustentabilidade

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE ROBÔ AUTÔNOMO A PARTIR DE MATERIAL
RECICLADO**

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF AUTONOMOUS ROBOT FROM RECYCLED
MATERIAL**

Guilherme Vieira Hollweg, Alex Lago e Saul Azzolin Bonaldo

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo descrever o projeto e a construção de um robô autômato utilizando materiais reciclados. A descrição detalhada do desenvolvimento do projeto e montagem do equipamento utilizando alguns conceitos de robótica e automação industrial, bem como sua implementação através de sistemas eletrônicos embarcados, em seu hardware e software é apresentada. Desta forma, foi feita a descrição do funcionamento de cada bloco do robô, tendo como ênfase principalmente o projeto e desenvolvimento de hardware e software, a escolha das peças que mais se encaixavam na proposta, e também o circuito eletrônico mais interessante para a montagem. Além disso, uma justificativa detalhada para a utilização de componentes reciclados é apresentada. Também foi feita a descrição do algoritmo do software do robô, sendo utilizado um microcontrolador para o processo de acionamento e controle do protótipo. Assim, o trabalho apresenta desde as primeiras ideias de desenvolvimento da máquina até a montagem e primeiros testes efetuados. Também foi apresentado os resultados obtidos e as conclusões observadas após o desenvolvimento do robô.

Palavras-chave: robô, projeto, hardware, software.

ABSTRACT

The aim of this article is to describe the project and building of a robot, utilizing recycled materials. It was done a detailed report about the project development and building, besides implementations through embedded systems in hardware and software. It was done the description of the functioning of each block of the robot, together a justify of the utilization of the recycled components. Also it was done a completed description of the machine algorithm.

Keywords- robot, project, hardware, software.

1.Introdução

A Engenharia tem experimentado uma evolução cada vez mais rápida, buscando constantemente um bem estar social, e nos últimos anos tem se dado grande valor à sustentabilidade. As inovações tem sido significativas nas mais diversas áreas, como em equipamentos eletro-eletrônicos, no setor automotivo e na qualidade de energia, bem como na automação de processos e na robótica. Com a finalidade de executar diversas tarefas consideradas perigosas ou insalubres, exercidas por seres humanos em suas tarefas diárias, seja no trabalho, seja em seus momentos de lazer, a robótica tem sido um dos principais vetores das inovações tecnológicas do mundo atual, pois une conceitos de automação industrial, hardware, software e mecânica, todos intimamente interligados e operando juntos para o controle bem sucedido de um dispositivo eletro-mecânico. De acordo com a *Robotic Industries Association* (R.I.A.)¹: "A robot is a reprogrammable, multifunctional manipulator designed to move material, parts, tools or specialized devices through variable programmed motions for the performance of a variety of tasks. (Nof, 1999). "

Quando falamos em robótica, as pessoas intuitivamente associam esta expressão a máquinas previamente programadas que possuem braços, pernas, tronco, e que lembram humanóides. Esses, bastante comuns de serem observadas em grandes produções cinematográficas de *Hollywood* ou também em desenhos animados, como longa metragem da *Walt Disney* "Robôs", no filme de ficção científica "O Homem Bicentenário", e também no clássico desenho animado dos anos 60, "Jetsons", de *Hanna-Barbera*. Normalmente nestas obras a imagem dos seres humanos está intimamente ligada ao emprego de um robô para tarefas comuns, como limpar a casa, dirigir um carro, ou executar alguma tarefa pré-determinada.

Assim, ao pensar o quão longe está esse futuro onde os humanos passarão a ser extremamente dependentes de robôs para tarefas cotidianas, percebe-se que essa era não está tão distante quanto imaginamos. Inúmeros cientistas dedicam grande parte do seu tempo no desenvolvimento de pesquisas capazes de trazer novas contribuições para a área em questão, de forma que a praticidade torne o cotidiano das pessoas mais fácil e para que se tenham robôs cada vez mais inteligentes, capazes e úteis.

Todavia, projetar e construir um robô não é uma tarefa simples. Conforme mais complexa a máquina se torne, sensores cada vez mais eficientes e estratégias de controle mais complexas devem ser utilizadas, ao mesmo tempo em que a entrada e saída de dados precisarem ser bastante rápida e eficiente. Deve-se considerar ainda que o sistema de peças mecânicas que compõe o robô deve ser suficiente para sustentar determinado *hardware* e *software* e obedecer a uma série de especificações pré-definidas, a ponto de tornar a máquina mais eficaz, amigável e robusta.

Outro ponto a considerar é que não se pode mais pensar em automatizar e inovar sem abranger o conceito de sustentabilidade, tendo em vista que esse é um assunto que domina diversas pautas em fóruns e encontros espalhados pelo globo. Não faz mais sentido construir um robô que atente contra o princípio da sustentabilidade, e cuja produção e funcionamento agrida o meio ambiente. Neste sentido, a ideia inicial foi o desenvolvimento de uma máquina sustentável, com a utilização quase que exclusivamente de sucata para sua construção, sendo ele capaz de se locomover de acordo com a necessidade do usuário através da inserção de dados, todos previamente codificados por *software* não acessíveis ao usuário.

¹ Fundada em 1974, RIA é o único grupo comercial na América do Norte, organizado especificamente para servir a indústria robótica. O grupo é composto por empresas líderes em robô fabris, utilizadores e sistema integradores, fornecedores de componentes, grupos de pesquisa, e empresas de consultoria. <http://www.robotics.org/>

2. A seleção de materiais para a construção do robô

Visando a sustentabilidade do equipamento construído, o material selecionado foi retirado de diversos equipamentos eletro-eletrônicos descartados nos laboratórios de informática da Universidade Federal de Santa Maria e também de produtos eletrônicos obsoletos, como aparelhos reprodutores de DVD e videocassetes. Assim, as rodas para locomoção do robô, bem como os respectivos *encoders*, são provenientes de impressoras antigas, a carcaça da máquina é um drive de DVD de computador, e os servo-motores responsáveis pelo movimento das rodas independentes são provenientes de antenas parabólicas. Os acoplamentos dos eixos da máquina foram fixados com partes de caneta esferográfica comum e colados com cola epóxi de alta densidade, a fim de melhorar a sustentação mecânica e evitar falhas por tração ou compressão devido às especificidades da distribuição de massa no robô.

Para o desenvolvimento da parte eletrônica, foi utilizado uma matriz de contatos pequena, acoplada por sobre o drive de DVD, com o circuito de acionamento e controle todo montado na própria matriz de contatos. Grande parte dos componentes eletrônicos foi retirada de antigas placas-mãe de computadores abandonados, como alguns capacitores e circuitos comparadores. Os *mosfets* canal P e alguns circuitos integrados responsáveis basicamente pelo controle da ponte H do robô², juntamente com o microcontrolador PIC 16F877A, da Microchip, e um display alfanumérico LCD de 2X16 também foram provenientes de materiais sem utilidade e já com defeito. Os demais componentes eletrônicos, como LEDs e resistores, foram retirados de equipamentos descartados na Universidade Federal de Santa Maria.

3. Materiais e Métodos

Como primeiro passo no projeto do robô, passou-se à escolha de um nome para o mesmo. O robô foi batizado como *Robozord*, fazendo uma menção aos Mechas (grandes robôs autônomos da cultura japonesa). Sendo assim, com os componentes previamente selecionados e o hardware esquematizado de como seria construído, foi montado primeiro o chassi do robô, acoplando a *protoboard* (matriz de contatos eletrônicos) ao drive de DVD e conectando os mesmos aos servo-motores, de maneira que a estrutura ficasse previamente pronta para futuramente haver o desenvolvimento do software.

3.1 Modelo do Robô

Para o desenvolvimento da máquina, foram estudados alguns modelos usuais de robôs, e tendo em vista a proposta, chegou-se à conclusão de que o modelo que representa a máquina de maneira mais precisa está mostrado na Figura 1:

²Ponte H, encoders, e o funcionamento de alguns componentes eletrônicos, bem como por que foi utilizado um controlador da família PIC serão explicados ao decorrer do texto.

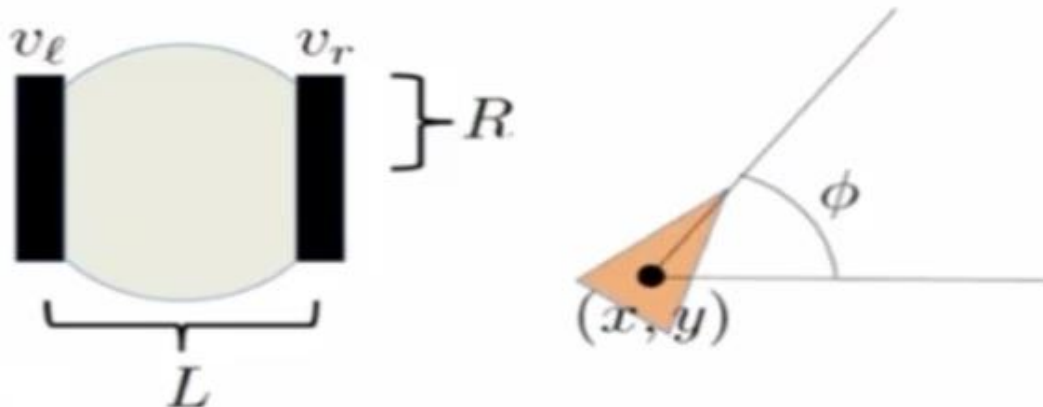


Figura1 - Modelo Estrutural

A máquina parte do princípio de ser controlada por dois eixos independentes, composto por uma massa entre as rodas, distribuída de maneira uniforme. A única diferença física desse modelo para o que foi construído é a presença de uma roda-escravo localizada ao centro e ao fundo do chassi do robô, para uma melhor estabilidade mecânica. Sendo assim, tendo um modelo base, utilizando alguns artifícios do cálculo, intuitivamente pode-se fazer o equacionamento do deslocamento do robô no tempo, para o plano XY, conforme mostrado nas equações [1], [2] e [3]:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{R}{2}(v_r + v_l)\cos\phi \quad (1)$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{R}{2}(v_r + v_l)\sin\phi \quad (2)$$

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{R}{L}(v_r - v_l) \quad (3)$$

Sendo: R = raio da roda (em metros); L = comprimento do chassi (em metros); v_r = velocidade da roda da direita (metros por segundo); v_l = velocidade da roda da esquerda (metros por segundo).

Desta maneira, podemos perceber que para o deslocamento do robô no tempo, dependemos basicamente da velocidade de operação das rodas, que de acordo com o modo da operação, nos dão também a variação angular do objeto no espaço. Se tratarmos da velocidade resultante do robô, tratando-a de forma única, podemos simplificar ainda mais este modelo, reduzindo-o às seguintes equações:

$$\frac{dx}{dt} = v\cos\phi \quad (4)$$

$$\frac{dy}{dt} = v \sin \phi \quad (5)$$

$$\frac{d\phi}{dt} = \omega \quad (6)$$

3.2 Desenvolvimento do software

Após colocadas as rodas, bem como os eixos fixados e os *encoders* posicionados, foi dado início ao projeto do circuito eletrônico de controle do Robozord, bem como ao *software* responsável por toda a regulação de tensão, pela criptografia dos dados e pela comparação de resultados. Optou-se, inicialmente, pela utilização de um microcontrolador da família PIC, da Microchip, levando em conta sua abordagem mais didática e algumas vantagens de arquitetura, como por exemplo, uma maior robustez se comparado a outros microcontroladores semelhantes, além da vantagem da portabilidade de software entre famílias de microcontroladores.

O software do projeto foi desenvolvido utilizando a plataforma de desenvolvimento MikroC PRO for PIC, da empresa Mikroelektronika. A opção pela utilização desta plataforma deveu-se à algumas vantagens de construção, como por exemplo, possuir diversas bibliotecas disponíveis, não sendo necessário o desenvolvimento a nível de configuração de hardware das bibliotecas, o que tornaria todo o processo muito mais trabalhoso e demorado. Além disso, o software conta com um ambiente bastante amigável para trabalho, de fácil aprendizagem e desenvolvimento.

Foi escolhida como linguagem de programação para o desenvolvimento do software do robô a linguagem C por ser uma linguagem de alto nível, ou seja, por possuir uma interação homem/máquina mais amigável, além de ser amplamente utilizada para projetos de engenharia. Sabe-se que a programação é uma das fases mais importantes do desenvolvimento de um robô. De acordo com Rosario (2005), "cada vez mais utilizada como ferramenta de concepção de sistemas automatizados e programação de robô, a programação off-line aumenta a flexibilidade e a habilidade de utilização destes, como uma variedade ilimitada de cenários e movimentos".

Há também a possibilidade de se utilizar outras linguagens, algumas de baixo nível, como por exemplo, *Assembly*. Entretanto, linguagens de baixo nível são de entendimento bastante complicado, e por serem linguagens de máquina, possuem muito mais linhas de código comparadas as de alto nível, o que torna qualquer alteração no software do projeto amplamente mais complexa.

A parte responsável pelas instruções de locomoção do robô foi baseada no princípio da criptografia de dados, a fim de que o usuário insira um código de 8 bits através do menu no display de LCD. Desta palavra de 8 bits, apenas 4 bits são passíveis de mudança, de maneira que o quarto bit mais significativo delimite se o robô irá se locomover ou irá rotacionar. O terceiro bit depende do anterior, e irá delimitar se o robô irá se deslocar para frente ou para trás, ou se irá rotacionar para a esquerda ou para a direita. Os 2 bits menos significativos delimitarão a distância que o robô irá se locomover, em caso do quarto bit ter sido selecionado 1 (se locomover em linha reta), a distância irá variar de 25cm (00) até 100cm (11). Em caso do quarto bit menos significativo ter sido selecionado 0, os dois últimos bits delimitarão o ângulo de rotação do Robozord. Se 00 (45°), se 01 (90°), se 10 (135°), se 11 (180°). Na Figura 2 é apresentado parte do código utilizado a fim de codificar as instruções inseridas pelo usuário.

```

}
else if ((Button (&PORTD, 3, 250, 1))) {
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
    lcd_out (1,4, "Executando");
    lcd_out (2,4, "Senoide");
    senoide();
    delay_ms(10);
    PORTD = 0b00000000;
}

}while (PORTC.B0 == 0);

rotinas = 0;
}

else if (instrucao > 0){
    delay_ms(500);
    Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); //Limpa Display

    switch (instrucao){

```

Figura 2 – Parte do software da Máquina

Na Figura 3, está esquematizado de forma rápida e simplificada o fluxograma do algoritmo com o passo a passo de execuções do software do robô. O algoritmo básico, por sua vez, é mostrado no Quadro 1.

1.Ligar o robô
2.Mandar mensagem para display: "Robozord Engenharia UFSM"
3.Aguarda 3 segundos
4.Mandar mensagem para display: "Insira a instrução desejada"
5.Se pressionado botão 1
5.1.Atualiza o Display: "Selecione Instrução"
5.2Aguarda usuário selecionar a instrução
5.3Executa função definida pelo usuário
6.Se pressionado botão 2
6.1Manda mensagem para display: Executar instrução pré definida
6.2Atualiza display: Selecionar 1, 2 ou 3
6.3Aguarda escolha do usuário
7.Executa função selecionada
8.Retorna ao início

Quadro 1 – Algoritmo básico

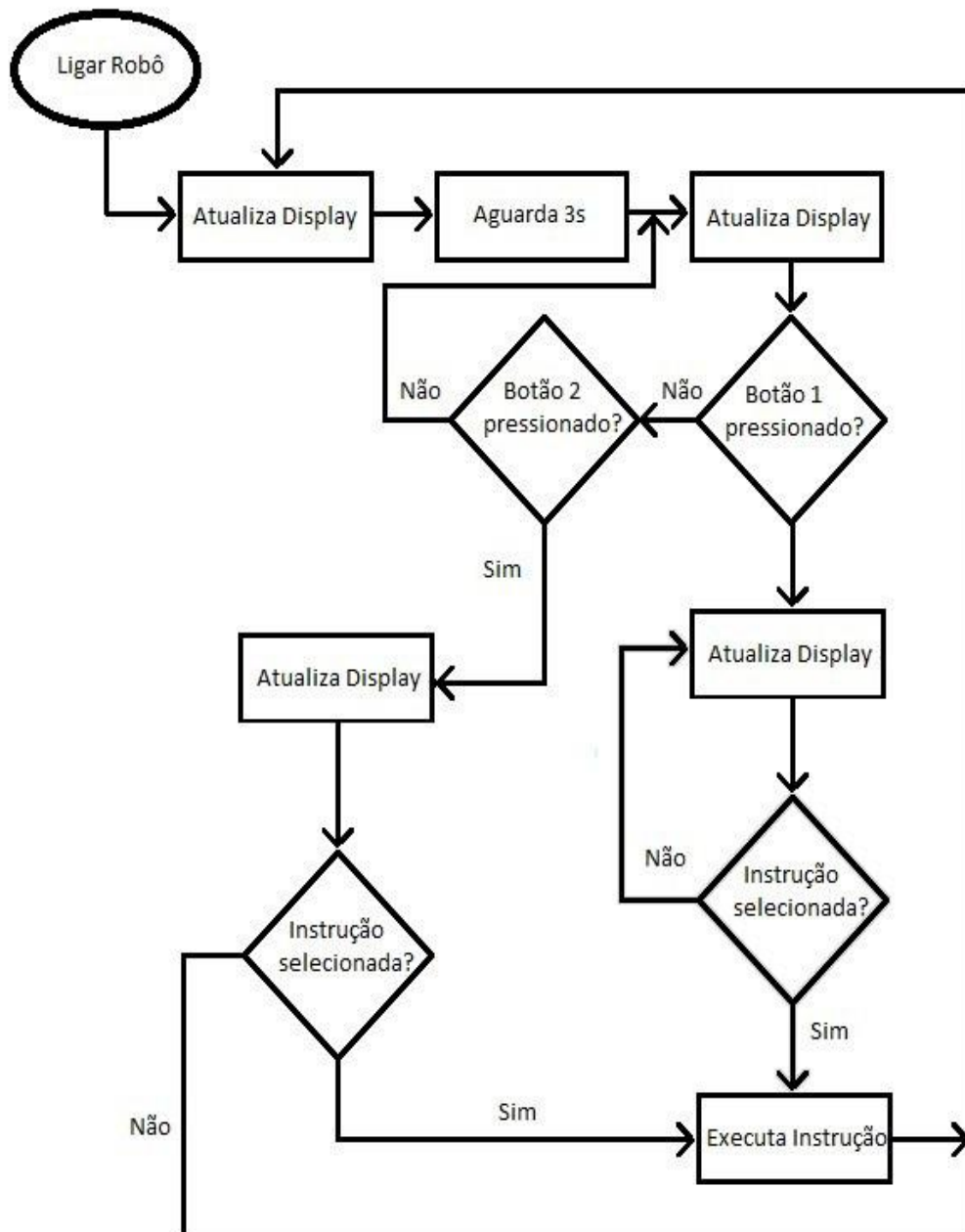


Figura 3 – Fluxograma de execução de software

3.3 Desenvolvimento do hardware

Logo após esquematizado como seria o projeto, iniciou-se o desenvolvimento do hardware do robô. Primeiramente, foi projetada como seria a forma de alimentação dos circuitos de comando e acionamento do motor. Foram colocadas em série algumas baterias comuns, compostas por Ni-Mh, de 1,2V, a fim de se atingir uma tensão de 8,4V nominais, que é conectada à matriz de contatos. Tendo em vista que o microcontrolador trabalha em 5V nominais, utilizou-se um regulador de tensão LM7805 a fim de rebaixar essa diferença de potencial para os 5V. Portanto, uma parte do circuito é alimentada com aproximadamente 8V (parte de acionamento) e outra é alimentada com 5V (parte de controle).

Para acionamento dos servo-motores que fazem girar as rodas da máquina, foram feitas duas pontes H³, uma delas contendo quatro *mosfets*, sendo dois deles canal P e dois deles canal N. É interessante comentar que há um chaveamento de variável por software, de forma que um motor jamais possa ser acionado simultaneamente para ambos os lados, o que provavelmente causaria sérios danos ao dispositivo. Isso foi feito partindo do princípio que uma parte da ponte H é acionada utilizando lógica positiva, e outra, lógica negativa.

A fim de obter maior liberdade dos motores da máquina, ambos foram abertos e seu circuito de controle retirado, sendo desta forma diretamente comandados pelo microcontrolador. Os motores utilizados possuem ainda uma caixa de redução, que é um equipamento composto por engrenagens, com o intuito de reduzir a velocidade de rotação do eixo (ou angular) e aumentar o torque.

O torque varia em função da Força aplicada e do raio de giro, segundo a equação

$$\tau = F \times r \quad (7)$$

Sendo F = força (em Newtons), r = raio de giro (em metros) e τ = torque (em N.m, ou Newton-metro).

Já que o servomotor imprime uma força constante, a variação do torque ocorre devido ao raio de giro. Na prática, é um sistema de engrenagens combinados de forma que quanto maior o raio da engrenagem, maior o seu torque e menor sua velocidade.

Já para a ligação do outro motor, utilizamos um C.I L293, que possui em sua lógica integrada um esquema de ligação em ponte H para motor com proteções contra sobrecorrente e sobretensão. Não foram utilizadas duas pontes H através de *mosfets* devido a dificuldade de encontrar dois *mosfets* canal P, e como o C.I. foi retirado de uma antiga placa-mãe de computador, optou-se por sua utilização na construção do equipamento. Entretanto, ao longo do desenvolvimento, conseguiu-se outros dois *mosfets* canal P, de forma a possibilitar a ligação dos dois servo-motores apenas com Pontes H através de *mosfets*. O hardware da máquina ficou exposto em uma matriz de contatos acima do chassi do robô, tendo em vista a funcionalidade para troca de peças e manutenção. A opção por deixar o circuito exposto permite ainda que haja uma melhor visualização e interação usuário/máquina. Desta forma, o *hardware* do projeto foi pré-definido, levando-se em conta fatores como uma melhor visualização, praticidade, confiabilidade e organização.

³Ponte H é um tipo de circuito eletrônico que faz o acionamento de um motor CC, tendo em vista que o microcontrolador não tem fonte de corrente suficiente para alimentar o motor. Pontes H ainda trazem a vantagem de poder acionar o motor nos dois sentidos, através de chaves, que de acordo como são feitos os contatos, ora acionam o motor para um lado, ora para outro.

A fim de se simular o comportamento do circuito e efetuar testes antes da execução propriamente dita, o circuito eletrônico da máquina, com seu respectivo software, foi desenhado e posteriormente, simulado.

Foram instalados na matriz de contatos os *encoders*⁴ do *Robozord*, de modo a comparar o movimento que foi executado com o comando que foi pedido pelo usuário para corrigir eventuais erros de locomoção. No entanto, o circuito dos *encoders* ainda não foi finalizado, e provavelmente estará pronto para uma nova versão da máquina. Atualmente as instruções de locomoção são baseadas em tempo de execução.

Outros benefícios que provavelmente serão feitos para uma versão posterior do robô será a proteção dos circuitos de Ponte H com portas lógicas, de modo a evitar curto-circuitos, ou também a colocação de diodos entre os componentes da Ponte H, pois quando a corrente não tiver onde circular, no caso de o motor parar ou travar, a corrente elétrica volta para a fonte de alimentação, economizando assim o gasto de energia de uma bateria ou evitando que a corrente danifique o microcontrolador, por exemplo.

4. Resultados Obtidos

O desenvolvimento do robô foi satisfatório. O sistema implementado mostrou-se tolerante a impactos e outras eventuais colisões de deslocamento. Além disso, foi observada uma capacidade de movimento muito acima do esperado, visto que os motores escolhidos apresentam um torque bem elevado para esta aplicação, deixando a máquina apta a fazer qualquer manobra que exija um torque mais acentuado e uma baixa rotação.

Apesar de algumas partes do robô terem sido coladas, tendo em vista que a máquina foi desenvolvida basicamente de material reciclado, a falta de precisão não se mostrou problema nos testes executados com o *Robozord*. Foi possível calcular o tempo que a máquina leva para realizar certas manobras, como por exemplo girar 90° e 180°, e assim é capaz de se realizar operações de deslocamento com uma precisão razoável e dentro de um valor aceitável para um experimento prático. Desta forma, na figura 5 é mostrada uma foto da versão atual do robô:

⁴Encoders são equipamentos eletromecânicos, compostos por sensores e software, utilizados para conversão de movimentos rotativos ou deslocamentos lineares em impulsos elétricos, a fim de gerar uma quantidade exata de pulsos por volta em uma distribuição perfeita dos pulsos ao longo dos 360 graus de giro de um eixo.

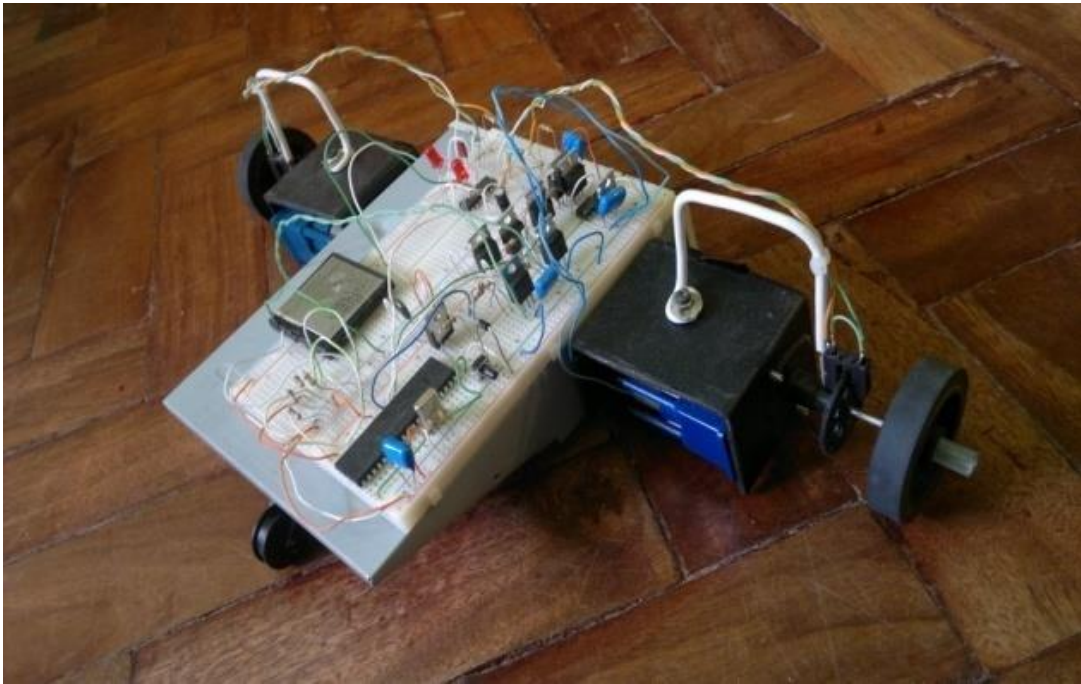


Figura 4 - Foto do Robozord

Como trabalho futuro, sugere-se a utilização de algumas peças mais robustas e melhores projetadas para suas funções, bem como a utilização de alguns sensores para se obter resultados ainda mais precisos e satisfatórios. Pode-se fazer a implementação dos encoders, que já estão acoplados aos eixos, e também usar sensores de proximidade, a fim de tornar o robô capaz de desviar de objetos e escolher a rota mais adequada para se locomover. Dentre outras modificações, é possível se desenvolver um menu interativo e aperfeiçoar a IHM do Robozord, colocando um controle PWM nos seus motores, a fim de se ter um controle ainda maior no torque que cada motor irá exercer no seu respectivo eixo da máquina.

5.Referências

Agerwala, T. "A complete model for representing the coordination of asynchronous process." Hopkins Computer Research Report Number 32. Computer Science Program, Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland, jul. 1974.

Antsaklis, P.J.; Nerode, A.: "Hybrid control systems: an introductory discussion to the special issue." IEEE Transactions on Automatic Control, v.43, n.4, p 457-459, 1998.

Bail, J. L. et al. "Hybrid Petri nets". Proceedings of European Control Conference, France, Grenoble, 2-5 jul 1991, p. 1472-1477.

Canny, J. A computational approach to edge detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, v.8, n. 6, p.679-698, nov. 1986.

Castrucci, P. et al. Controle Automático de Sistemas Dinâmicos. Controle linear: método básico, v.1; Sistemas não lineares, v.2; Controle Digital, v.3. São Paulo: Edgar Blucher, 1981.

Khriji, L. et al. "A dedicated hardware system for a class of nonlinear order statistics rational hybrid filters with applications to image processing".IEEE, 1999.

Nof, S. Y. Handbook of industrial robotics. Nova York: John Wiley & Sons, 1985.

Rosario, J. M. Princípios de Mecatrônica, 2005.

Roussel, J. M. Automatiqueproductiqueinformatiqueindustrielle, v.27-1, 1993.

Stenerson, J. Fundamentals of programmable logic controllers, sensors, and communications, 2.ed Englewood Cliffs: Regents/ Prentice Hall, 1999.