

PROJETOS MECÂNICO E LÓGICO PARA A CONSTRUÇÃO DE ROBÔ DE SUMÔ AUTÔNOMO

Juliana Andrade Carvalhoⁱ

Juliana Gomes Ricciⁱⁱ

Larissa Baptista Gamaliⁱⁱⁱ

Rafael G. Bezerra de Araújo, M.Sc. ^{iv}

Targino Amorim Neto, Esp. ^v

Victory Santos Fernandes, Esp. ^{vi}

Alexandre Teixeira Machado, Dr. ^{vii}

RESUMO

Este trabalho descreve a montagem de um robô autônomo, voltado para a modalidade de sumô de robôs. Apresenta o projeto da estrutura mecânica e do software embarcado do robô em desenvolvimento pela equipe Micenas (Μικήνες), nomeado Elektra Natchos, composta por estudantes de engenharia mecatrônica, mecânica, elétrica e de computação. A eletrônica embarcada do projeto é tema de outro artigo publicado paralelamente a este.

Palavras-chave: Robô. Sumô. Projeto. Mecânico. Software. Embarcado.

A sociedade, com o passar dos anos, está se familiarizando com o conceito de robô. Já no mundo da engenharia, isso é uma realidade já faz algum tempo, sendo sua construção parte do currículo de muitos profissionais e estudantes, principalmente os que fazem parte da área de automação.

“A Robotic Industries Association (RIA) define um robô como sendo um manipulador programável multi-funcional capaz de mover materiais, partes, ferramentas ou dispositivos específicos através de movimentos variáveis programados para realizar uma variedade de tarefas.” [1].

A maioria das pessoas seguem um pensamento de que robôs são máquinas que possuem aparência humanóide (com braços, pernas, etc). Essa imagem robótica é a mais

utilizada nos filmes, como em O Homem Bicentenário, de Isaac Asimov, e o desenho animado Jetsons, de Hanna-Barbera.

No filme “Eu, Robô” é feita uma alusão do mundo no futuro, não necessariamente muito distante, onde as pessoas são dependentes de robôs, os quais têm autonomia suficiente e inteligência para pensar. Ao assistir este filme, a sociedade tem a impressão de que esse futuro está muito distante ou que é impossível de acontecer. Porém, cientistas, estudantes e profissionais ligados a instituições acadêmicas e empresas já se dedicam a pesquisas nesta área para transformar a inteligência robótica em uma realidade.

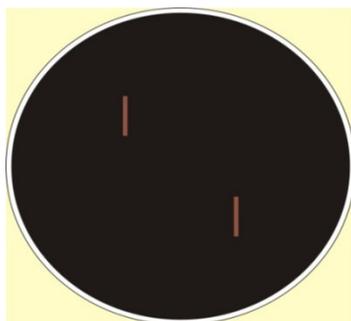
Existem ações que para o homem são simples, como: pegar objetos, desviar de obstáculos, captar imagens, emitir sons, dentre outros. Para que um robô possa executar essas mesmas ações, é necessária a utilização de sensores modernos responsáveis pela entrada de dados e processamento interno, já que se trata de uma máquina. Além disso, é necessário também um sistema de peças, engrenagens de materiais diversos e atuadores que simulem o funcionamento do corpo humano, e uma programação que consiga fazer a interação entre o meio e a máquina. Para que tudo possa funcionar é necessário que uma fonte de energia seja especificada. O artigo [3] descreve a fonte de energia elétrica utilizada no projeto.

O projeto apresentado neste artigo é o desenvolvimento de um robô autônomo para os Campeonatos de Sumô de Robôs – nacionais e regionais –, na categoria de 3 kg, autônomo. Um robô autônomo é uma máquina que pode trabalhar sem a ajuda externa.

Para que o robô adquira características de uma máquina automatizada, é feito uso de um microcontrolador que em conjunto com sensores, transdutores e atuadores, proporcionam a habilidade de interação máquina-meio. O 8051 é o microcontrolador utilizado no projeto, suas características serão detalhadas mais adiante neste artigo. Este projeto, chamado de Elektra Natchios, está em fase de estudo e testes das partes individualmente. A equipe responsável pelo projeto é composta por alunas de engenharia da Universidade Salvador, sendo esta equipe dividida em três grupos: Eletrônica, Mecânica e Programação, para otimização do trabalho.

O sumô de robôs consiste numa modalidade de competição mundial de arte marcial entre robôs cujo objetivo se assemelha ao sumô humano, porém, no lugar de pessoas, os competidores são robôs – assim como o sumô humano, o sumô de robôs não tem fins destrutivos. O jogo consiste, apenas, na retirada, de forma inteligente, do adversário de dentro da arena. Esta tem sua superfície lisa, emborrachada na cor preta,

tendo sua borda delineada em branco. Seu formato é circular, altura de 5cm e diâmetro de 160cm, como pode ser vista na figura 1. “O ponto de partida é indicado por duas linhas paralelas marrons com 2 cm de largura e 20 cm de comprimento, distantes 30 cm do centro.” [2]. Este robô deve executar essa tarefa sem interferência externa, perdendo a batalha aquele que sair primeiro da arena.



Fonte: www.igara.com.br

Figura 1: Esboço da arena do Sumô de Robôs.

Como se trata de um campeonato, o Sumô de Robôs possui regras a serem seguidas. Dentre elas, uma especifica o limite máximo para massa e dimensões do robô. Estas seriam, respectivamente, 3 kg e 20 cm de comprimento por 20 cm de largura. Sendo assim, é necessário realizar medições dessas grandezas para qualquer componente antes de instalá-lo no robô, a fim de evitar que as especificações não sejam ultrapassadas.

A estrutura em si do robô será, portanto, em Alumínio, por ser um material de baixa densidade, além de ter usinagem fácil (no caso para dobrar, furar, etc) – por esse motivo, o alumínio é o material mais indicado para estruturas. Três placas de 1 mm estarão apoiadas por parafusos sem fim em suas respectivas extremidades, e fixadas por porcas e arruelas. Entre elas ficará um espaço de 5 cm, e terão dimensões de 18 cm de comprimento por 19 cm de largura. O objetivo do Sumô de Robô é empurrar o oponente para fora da arena, sendo assim, é indispensável um motor com maior torque, ou força para girá-lo e assim conseguir vencer o adversário. Foi visto que o motor elétrico para acionamento dos vidros de um automóvel era a melhor escolha, já que une leveza e maior torque, por possuir uma caixa de redução acoplada a ele.

O motor selecionado é um servomotor (vide Figura 2), ou seja, um dispositivo eletromecânico (ou máquina síncrona) cuja função consiste em regular a angulação do

eixo, a posição da máquina e o torque do mesmo a partir de sinais elétricos enviados em sua entrada. Serão dois motores de corrente contínua – Figura 2 (1) – com tensão de 12 V, localizados na base inferior do robô e presos cada um a uma das rodas pelo eixo, com dimensões de 12 x 4 x 17 cm e pesando 490 gramas cada, aproximadamente. Eles são fabricados para girar numa determinada amplitude angular, tendo, assim, a necessidade de um controlador eletrônico para operá-lo (o microcontrolador), fazendo-o se mover por largura de pulso (ou PWM¹).

Este tipo de controle através de recepção de um sinal PWM do microcontrolador indica que ao posicionamento angular do motor dependerá da duração do pulso recebido. Esse sinal é uma onda quadrada de 0 a 5 V, e de período igual a 20 milissegundos. Existem três variações angulares possíveis: se o pulso for de 1,5 milissegundos (ou ms), a posição neutra será o estado do motor, ou seja, este gira o seu eixo para 90 graus; se for menor que 1,5 ms, gira para 0 graus; se for maior que 1,5 ms, 180 graus. Caso esse motor seja ligado direto na bateria, não recebendo, assim, um sinal do microcontrolador, ele funcionará como um motor CA², ou contínuo pulsante – ou seja, este terá velocidade praticamente constante (com variação insignificante, sendo proporcional à frequência da tensão aplicada a ele).



Fonte: www.jocar.com.br

Figura 2: Foto do motor retirado de vidro elétrico de carro, que será implementado em Elektra Natchios.

¹ PWM (*Pulse-Width Modulation*) – em português, Modulação por Largura de Pulso. É obtida quando a amplitude e a posição da onda são constantes, variando a largura ou a duração do pulso com a amplitude do sinal modulador (ou seja, a informação é adicionada a ondas eletromagnéticas). É utilizado em dispositivos que necessitam de um controle do sinal de alimentação, como em motores de corrente contínua para o comando de sua velocidade ou fontes chaveadas.

² Motor CA (ou Motor de Corrente Alternada) – é um motor elétrico que operado por corrente alternada. Existem dois tipos destes motores: os síncronos (caso do servomotor) e os de indução (ou “assíncronos”). Esse nome se deve pelo motor operar ou não a velocidade sincronizada com a frequência de tensão elétrica aplicada.

O servomotor possui ainda uma caixa de redução – Figura 2 (2) –, 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 1:

$$\tau = F.r \quad (1)$$

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.

Além dessa caixa de redução, que já fornece um torque, será utilizado um sistema de engrenagens a fim de aumentar o ganho do mesmo. Vale lembrar que quanto mais torque o motor obtiver, mais chances haverão do robô vencer. Segundo Lavoisier (1743-1794), “na natureza nada se perde, nada se cria, tudo se transforma”. As engrenagens não produzem a energia, e sim partem da Lei de Conservação de Energia e assim “transformam” a força. Pode-se dizer então que essa lei da mecânica diz que “a energia não pode ser destruída nem criada, apenas transformada”. Para poder colocar a engrenagem ideal no robô, serão feitos cálculos em relação ao seu número de dentes a partir da equação 2:

$$N_1.d_1 = N_2.d_2 \quad (2)$$

No qual N_1 = número de RPM³ da engrenagem 1, N_2 = número de RPM da engrenagem 2, d_1 = número de dentes da engrenagem 1, d_2 = número de dentes da engrenagem 2.

No motor, a engrenagem possui 8 dentes como pode ser visto na figura 1 e a rotação é de aproximadamente 150 RPM (segundo dados experimentais com tensão de 12 V). A rotação desejada é de 100 RPM. Sendo assim utilizando a equação 2 e substituindo os valores desejados, tem-se:

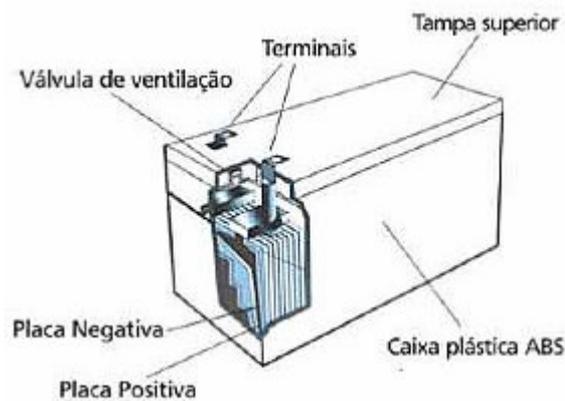
$$150.8 = 100.d_2$$

³ RPM – Rotações Por Minuto – é uma unidade de frequência, utilizada para medir a velocidade angular de um objeto, ou o número de rotações completas efetuadas por minuto. Sua unidade dimensional é o radiano por segundo (rad/s ou rad.s⁻¹).

$$d_2 = 12$$

De acordo com os cálculos efetuados acima, para a quantidade de RPM projetada (ou seja, 100 RPM), será acoplada à engrenagem do eixo de cada motor uma engrenagem com 12 dentes.

O motor será alimentado por uma bateria selada de 12V-1.3Ah (que pode ser vista na Figura 3), composta basicamente de chumbo, ácido sulfúrico e polipropileno. Essa bateria possui 600 gramas, 97 mm de comprimento, 43 mm de largura, 52 mm de altura e é regulada por válvula. Sua caixa é ABS e utiliza os terminais Faston 187, como mostra a Figura 3. Ela é utilizada por ter uma grande capacidade de descarga para longos períodos de trabalho, tendo assim um funcionamento econômico, além de ser compacta e livre de manutenção ao longo de sua vida útil. Maiores informações sobre a bateria podem ser encontradas no artigo [3].



Fonte: www.panafone.com.br

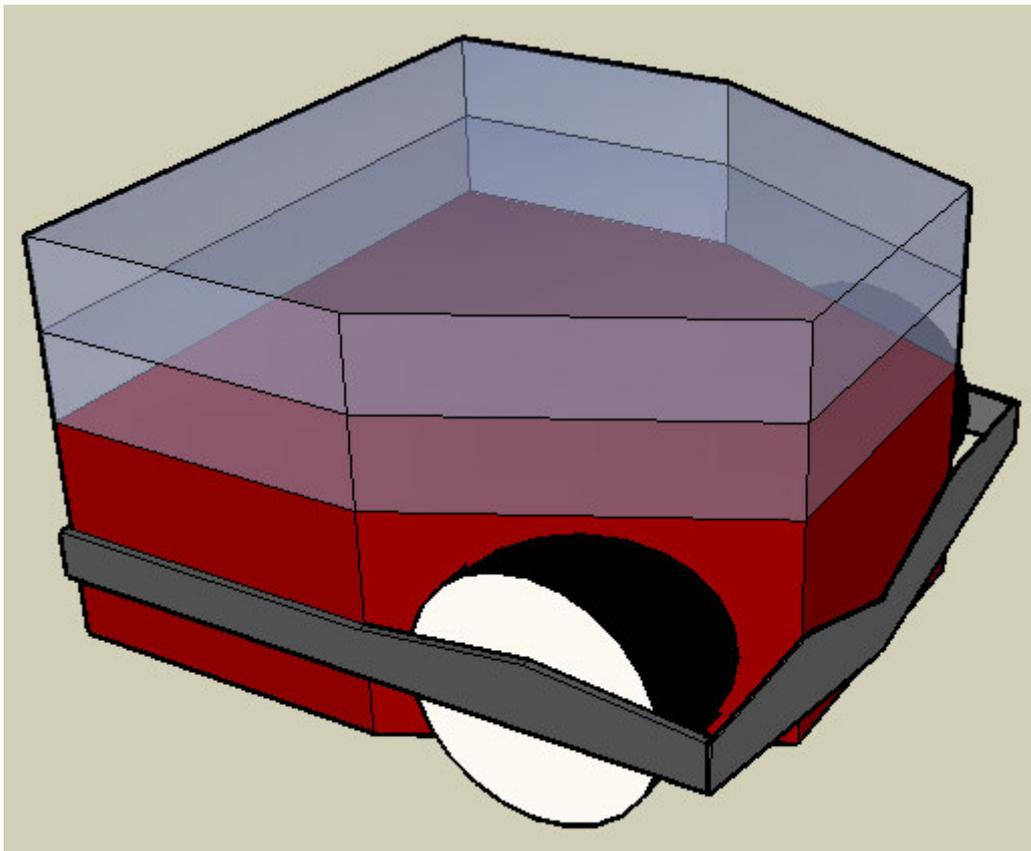
Figura 3: Bateria utilizada em Elektra Natchios.

Os dois motores estarão acoplados às duas rodas, que serão usinadas a partir de um tarugo de Nylon. Foi escolhido esse material pelo fato dele ser um polímero termoplástico, isto é, um polímero relativamente mole e dúctil que se funde a altas temperaturas, mas suporta intensas vibrações moleculares sem sofrer quebra de estrutura. Este combina propriedades como leveza e alta resistência mecânica (e ao atrito, abrasão e desgaste), além de ser isolante.

Serão usinadas, ou seja, o tarugo passará por uma conformação a frio, em que uma determinada quantidade de material será retirada com auxílio de uma ferramenta de corte, obtendo, assim, a forma e dimensão exatas em que as rodas foram projetadas. As

rodas possuirão diâmetro de 80 mm aproximadamente, e serão revestidas com camadas de borracha com 1/16" de espessura do mesmo material da arena para gerar um maior atrito com a mesma. Com o objetivo de diminuir a massa total do robô, serão feitos furos na roda, e a mesma será presa ao seu eixo por parafuso sem-fim e porcas.

Além dos motores e as rodas, o robô terá uma carenagem, também conhecida como chassi. A carenagem também é a parte do robô que mais sofrerá impacto, já que ficará em contato direto com o outro robô. Ela será feita com Policarbonato, por ser um material de altíssima resistência mecânica, baixa densidade, auto-extinguível, além de ter alta elasticidade e boa absorção da umidade. Além disso, esse termoplástico (tem esse nome por ser moldável quando aquecido) dará um acabamento visual para o robô. Na Figura 4 podemos conferir o esboço da carenagem.



Fonte: elaboração própria.

Figura 4: Carenagem do robô.

Entretanto, não só de mecânica é construído um robô para a modalidade sumô de robôs. É preciso automatizá-lo, e para isso surge o microcontrolador 8051,

funcionando como “cérebro” de Elektra Natchios. Um microcontrolador é um chip eletrônico que armazenará códigos de comandos, previamente selecionados pelo programador. Além disso, tratará as informações para que o robô entenda os comandos e os execute, fazendo-se uso de componentes internos do próprio chip, como: memórias ROM⁴ e RAM⁵ internas, timers⁶, comunicação serial e as funções básicas de um microprocessador – clock e interrupções, por exemplo. Esse software construído pelo programador será responsável pelo controle de todas as ações do robô.

O 8051 foi desenvolvido pela Intel no início da década de 80. Ele possui: memória RAM interna de 128 bytes para uso geral e mais 128 bytes para uso dos registradores, ROM interna de 4 Kbytes, 4 portas de entrada e saída, 2 timers de 16 bits, interface serial, capacidade de 64 Kbytes de endereçamento externo de ROM, capacidade de 64 Kbytes de endereçamento externo de RAM, processador “Booleano” – opera com bits –, ciclos típicos de instrução de 1 e 2 μ s a 12 MHz, instrução direta de divisão e multiplicação e entradas de interrupção externa.

Pesquisando entre os diversos tipos de microcontroladores, o grupo decidiu fazer o uso do 8051, pautado na idéia de que este dispositivo é amplamente usado há quase 30 anos e, assim, possui uma maior quantidade e variedade de fontes para pesquisa e aprendizado autodidata.

Utilizando-se destes recursos disponibilizados pelo 8051 e seguindo as regras do sumô de robôs, o software desenvolvido para o controle de Elektra Natchios seguirá uma lógica básica. O robô possuirá um botão liga/desliga que dará início às atividades da programação do 8051. Quando este botão for acionado (indicando que o robô está ligado), um dos timers do microcontrolador iniciará uma contagem de cinco segundos. Após este período, Elektra deverá começar a se movimentar, passando por toda a arena, em busca do seu oponente. Ao mesmo tempo, o microcontrolador estará lendo os sensores de toque e os transdutores de luz do robô.

Por trabalhar diretamente com manipulação de pulsos de corrente elétrica, foi decidido pela equipe que a programação para os comandos do 8051 seria elaborada em

⁴Memória ROM (Read-Only Memory) é um tipo de memória que permite apenas a leitura, ou seja, as suas informações são gravadas pelo fabricante uma única vez e após isso não podem ser alteradas ou apagadas, somente acessadas. São memórias cujo conteúdo é gravado permanentemente.

⁵Memória RAM (Random Access Memory), ou memória de acesso aleatório, é um tipo de memória que permite a leitura e a escrita, utilizada como memória primária em sistemas eletrônicos digitais.

⁶Um timer é um dispositivo capaz de medir o tempo, sendo um tipo de relógio especializado. Na arquitetura de circuitos microprocessados, os timers são utilizados para gerar bases de tempo que podem ser utilizadas para os mais diversos fins, como por exemplo gerar sinais de clock para outros periféricos do chip, calcular intervalos de tempo ou medir período de sinais.

Assembler. Essa linguagem de programação foi escolhida por ser de baixo nível, ou seja, ela se aproxima da linguagem de máquina na qual o processador trata diretamente com pulsos elétricos, representados por seqüências binárias. A utilização desta diminui a quantidade de informações a serem tratadas pelo processador, já que se evitam, assim, conversões mais complexas para a linguagem de máquina. Essa é a vantagem de escrever o código em assembler em detrimento a linguagem de alto nível, C, por exemplo – linguagem essa que também poderia ser utilizada para o controle de Elektra.

A diferença de cor entre o centro da arena e sua faixa limitadora será utilizada para que o robô perceba os limites do espaço a percorrer, através de transdutores ópticos [3] instalados na parte inferior de sua estrutura. Se o robô passar pela faixa (seja na dianteira ou traseira) o transdutor óptico causará uma interrupção no microcontrolador, enviando um sinal lógico alto (pulso de corrente). De acordo com a rotina, o microcontrolador deve responder fazendo com que a polaridade dos motores de Elektra Natchios se inverta, colocando-a em um movimento de sentido oposto. No caso do sensor de toque, este será sensibilizado caso o robô oponente entre em contato direto com Elektra Natchios, assim, o microcontrolador deverá fazer com que a mesma siga na direção e sentido do sensor estimulado.

Cada round terá a duração de noventa segundos e, passado este período, o robô deverá desligar-se automaticamente. Para estar de acordo com a regra citada, outro timer será utilizado para fazer a contagem dos noventa segundos e causar o fim das atividades do robô na arena sem a intervenção humana.

O 8051 possui cinco tipos de instruções: Aritméticas, Lógicas, de Transferência de Dados, Booleanas e de Desvio. As instruções aritméticas são aquelas relacionadas a operações matemáticas (como adição, subtração, multiplicação e divisão). As lógicas são as utilizadas para realizar operações lógicas, como ‘e’ e ‘ou’, já as de transferências de dados são as utilizadas para passar informações de uma posição à outra da memória. As Booleanas são as instruções usadas em operações de bit a bit ao invés de byte, e as de desvio são as responsáveis pela quebra seqüencial do algoritmo, sendo assim possível a criação de loops e de funções condicionais.

A primeira instrução usada no software de Elektra Natchios chama-se ORG, do inglês origin ou origem. Essa instrução determina a partir de qual endereço serão gravadas as demais instruções. Dado na base hexadecimal, o endereço inicial de Elektra

é 0000h7. Nesse espaço da memória, é gravada uma instrução de desvio, que tem como objetivo pular para o rótulo main. Esta se chama LJMP (Long Jump) e é utilizada nesse momento do código, pois os primeiros endereços de memória, antes do endereço 0030h, tem funções específicas relacionadas aos timers e às próprias instruções do 8051. Logo depois, grava-se mais uma instrução de endereçamento, indicando que o programa continuará sendo gravado a partir do endereço 0030h, como é apresentado abaixo:

```
org 0000h

ljmp main

org 0030h
```

Em seguida, o algoritmo continua no rótulo main. Nele, move-se a constante 0FFh para a porta P3, transformando-a em uma porta de leitura.

```
main:  mov p3, #0FFh
```

Passa-se assim para as instruções Booleanas. No rótulo começo, desliga-se os dois bits responsáveis pelo movimento de recuo e liga-se os bits responsáveis pelo movimento de avanço, fazendo o robô ir para frente.

```
começo: clr p2.0

        clr p2.2

        setb p2.1

        setb p2.3
```

A partir daí as ações serão condicionadas às respostas dos sensores e transdutores. No primeiro rótulo, que se refere ao sensor de toque frontal, é feito um pulo condicional onde caso este sensor de toque retorne nível lógico baixo, a leitura do algoritmo seguirá para o próximo rótulo (*JB, Jump if bit equal*). Caso retorne nível lógico alto, os bits são “setados” para que o robô avance em direção ao oponente, que se encontra a sua frente.

⁷ Letra minúscula no final de um número indica a base numérica usada. Nesse caso, h de hexadecimal.

```
tfrente:jb p3.0, ttras
```

```
    clr p2.0
```

```
    clr p2.2
```

```
    setb p2.1
```

```
    setb p2.3
```

No rótulo do sensor de toque traseiro, o algoritmo faz o mesmo teste do anterior, invertendo os motores e fazendo o robô recuar, se o sensor de toque traseiro for ativado e pular para o próximo rótulo se este retornar valor lógico baixo.

```
ttras:jb p3.1, lfrente
```

```
    clr p2.1
```

```
    clr p2.3
```

```
    setb p2.0
```

```
    setb p2.2
```

Nos dois rótulos que se referem aos transdutores de luz, a lógica é invertida, fazendo com que o robô avance na direção oposta ao transdutor de luz ativado.

```
lfrente:jb p3.2, ltras
```

```
    clr p2.1
```

```
    clr p2.3
```

```
    setb p2.0
```

```
    setb p2.2
```

```
ltras:  jb p3.3, fim
```

```
    clr p2.0
```

```
    clr p2.2
```

setb p2.1

setb p2.3

Este é o código-base do controle do robô. Existem ainda funções específicas, porém não serão divulgadas para preservar a estratégia definida pelo grupo. A parte mecânica está em fase de aprimoramento, e é estimado que em dois meses o projeto Elektra Natchios esteja concluído.

Este artigo objetivou explicar e divulgar os trabalhos relacionados aos projetos mecânico e lógico (software embarcado) da equipe Micenas (Μικήνες) na construção do robô Elektra Natchios na modalidade Sumô de Robôs. As informações sobre a eletrônica embarcada do projeto em questão podem ser encontradas no artigo [3], que foi elaborado em paralelo a este.

Planeja-se que o protótipo do robô de sumô seja o ponto de partida para a concepção de projetos comercialmente viáveis futuramente. Busca-se, com o projeto apresentado pelo presente artigo, não somente o desenvolvimento técnico dos estudantes e a aplicação imediata de conhecimentos teóricos dos cursos de engenharia, mas também o conhecimento nas áreas de projetos inovadores e empreendedorismo.

Referências

Luciano Rottava Da Silva. ANÁLISE E PROGRAMAÇÃO DE ROBÔS MÓVEIS. Disponível em: <<http://www.lcmi.ufsc.br/~rottava/download/dissertacao.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2008.

Regra do Campeonato Baiano de Sumo de Robôs. Disponível em: <http://www.igara.com.br/CBRA2007/documentos/Regras_CBRA2007.doc>. Acesso em: 19 fev. 2008.

CAMPOS, Camila Ribeiro; BATISTA, Mariana Desireé Reale; QUINTELLA, Camila Mendes. Projeto Eletrônico para Construção de Robô de Sumô Autônomo. Seminário Estudantil de Produção Acadêmica – SEPA 2008. Universidade Salvador – UNIFACS. Abril de 2008.

CIMM - Usinagem. Disponível em: <http://www.cimm.com.br/portal/noticia/index_geral/?src=/usinagem/index>. Acesso em: 20 fev. 2008.

Memória RAM. Disponível em:

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Mem%C3%B3ria_RAM>. Acesso em: 25 fev. 2008.

Memória ROM. Disponível em:

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Mem%C3%B3ria_ROM>. Acesso em: 25 fev. 2008.

Motor da máquina de vidro – Alternativo – Mabushi – UNIVERSAL – lado do passageiro – cada – Jocar. Disponível em: <<http://www.jocar.com.br/ProdDetComp.aspx?CPD=701107>>. Acesso em: 23 fev. 2008.

[8] NICOLSI, Denys Emílio Campion. Microcontrolador 8051 detalhado. 8. ed. São Paulo:Érica, 2007.

Policarbonato – Vick. Disponível em:

<<http://www.vick.com.br/vick/Produtos/policarbonato/policarbonato.htm>>.

Acesso em: 20 fev. 2008.

Regulamento. Disponível em:

<<http://www.igara.com.br/CBRA2007/regulamento.htm>>.

Acesso em: 20 fev. 2008.

SEW EURODRIVE - Brasil. Disponível em:

<<http://www.sew.com.br/modulos/faq/>>. Acesso em: 23 fev. 2008.

Temporizador. Disponível em:

<<http://pt.wikipedia.org/wiki/Timer>>. Acesso em: 27 fev. 2008.

ⁱ Estudante – Graduanda em Engenharia Mecatrônica na Universidade Salvador – UNIFACS.

ⁱⁱ Estudante – Graduanda em Engenharia de Computação na Universidade Salvador – UNIFACS.

ⁱⁱⁱ Estudante – Graduanda em Engenharia Mecânica na Universidade Salvador – UNIFACS.

^{iv} Professor orientador – Coordenador do Curso de Engenharia Mecatrônica. Departamento de Engenharia e Arquitetura – DEAR, UNIFACS.

^v Professor orientador – Professor do Departamento de Engenharia e Arquitetura – DEAR, UNIFACS.

^{vi} Professor orientador – Professor do Departamento de Engenharia e Arquitetura – DEAR, UNIFACS.

^{vii} Professor orientador – Professor do Departamento de Engenharia e Arquitetura – DEAR, UNIFACS.