

Um Robô Capaz de Encontrar o Caminho de Saída de um Labirinto

**Wânderson de Oliveira Assis, Fernando Silveira Madani, Anderson Harayashiki Moreira,
José Roberto Romeiro Júnior, Amilton Rogério da Silva,
Henrique Tomaz Teixeira dos Santos, Alexandre Harayashiki Moreira**

Escola de Engenharia Mauá – Instituto Mauá de Tecnologia (IMT)
Praça Mauá 1 – CEP 09580-900 – São Caetano do Sul – SP - Brasil

“Proporcionar um incentivo aos alunos de Engenharia para o aprendizado da robótica e inteligência artificial e disseminar a pesquisa científica e o desenvolvimento de novas tecnologias”. Este é o objetivo do grupo de pesquisa em Robótica do Instituto Mauá de Tecnologia.

Para atingir este objetivo os estudantes são estimulados a participar de competições estudantis de Robótica e, contando com a orientação de professores, conseguem colocar em prática os conceitos aprendidos no curso de Engenharia para projetar e construir robôs capazes de executar um conjunto de tarefas previamente definidas.

Neste artigo apresenta-se a solução desenvolvida pelos alunos para participar do 3.^º Desafio Inteligente, competição estudantil de robótica que ocorreu durante o 6.^º ENECA – Encontro Nacional dos Estudantes de Engenharia de Controle e Automação. Nesta competição as regras mudam a cada ano; em 2006, o desafio consistia na construção de um robô autônomo capaz de sair de qualquer labirinto. Pretende-se avaliar a capacidade das equipes de desenvolverem um robô que apresente habilidades de reconhecimento do ambiente por meio de sensores e consiga efetuar a navegação autônoma.

1. O Labirinto

Segundo as regras, disponíveis em www.eneca.com.br, o labirinto não terá um formato padronizado. Seu formato será diferente em cada etapa da competição o que exigirá dos robôs habilidades para tomar decisões, conforme a estrutura aleatória do labirinto, para conseguirem efetuar a navegação autônoma e sair dele.

O labirinto terá uma entrada e uma saída, sendo que tanto a entrada quanto a saída serão identificadas por uma fita de material refletivo. A saída estará sempre no extremo oposto à entrada. Serão utilizados sensores nos robôs para se fazer a identificação desse material.

A estrutura do labirinto será construída sobre um piso branco dividido em 70 quadros. Cada quadro será de 320 mm x 320 mm, incluindo-se as dimensões de espessura e largura da parede; eles serão marcados utilizando-se cor preta sobre o piso conforme Figura 1.

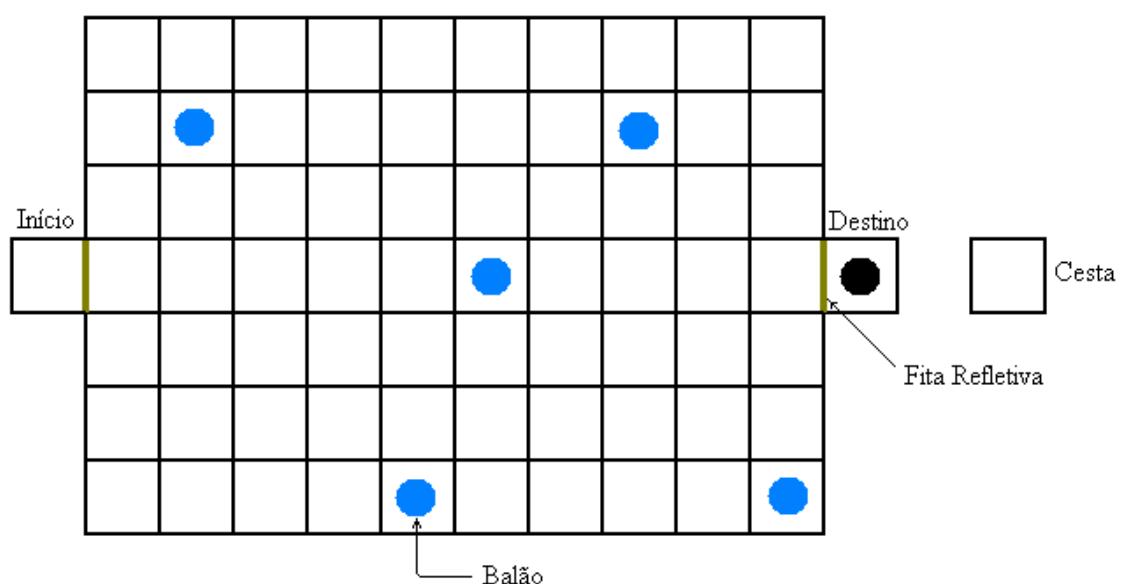


Figura 1 – Estrutura do labirinto, destacando-se os quadros com medidas padronizadas

As paredes do labirinto serão confeccionadas com placas de madeira MDF branca com 20 mm de espessura e 200 mm de altura. Não são presas no chão, mas sustentadas pelo seu próprio peso. Essas características permitirão fazer a movimentação das paredes ajustando-as de forma aleatória.

Dois quadros adicionais serão inclusos: o primeiro, o quadro de “Início” onde o robô será posicionado no início da competição e o segundo, “Destino” a ser incluso na saída. Da mesma forma que o quadro de “Início”, este também terá o chão pintado de branco, mas apresentará no centro um círculo de 100 mm de diâmetro pintado de preto. A um quadro de distância do quadro de “Destino”, e na frente do sentido normal de movimento, será colocada uma cesta quadrada de 320 mm de lado e 50 mm de altura. O robô lançará uma bola para dentro dessa cesta.

Em cinco quadros aleatórios será colocado um balão azul fixado com uma fita adesiva no chão, totalizando cinco balões.

2. O Desafio

O desafio consiste em construir um robô que seja capaz de transportar uma bola de pingueponguedo “Início” para o “Destino”; sendo capaz, portanto, de achar a saída do labirinto apesar das posições aleatórias das paredes. O robô poderá também apresentar mecanismo para furar os balões e para arremessar a bola na cesta quando o robô estiver na posição “Destino”.

A navegação deverá ser feita com rapidez, pois o vencedor será o robô que percorrer o labirinto no menor tempo acumulado. O tempo acumulado contabiliza o tempo que o robô levou para percorrer o labirinto, mas considerando-se ainda as diversas infrações e bonificações.

Serão consideradas bonificações:

- se ao final do trajeto o robô conseguir lançar a bola de pinguepongue sobre a cesta e a bola entrar dentro dela, a equipe terá como bonificação um desconto de 30 segundos no tempo de percurso;
- para cada balão que o robô furar serão descontados 15 segundos de bônus.

Serão consideradas infrações:

- se o robô permanecer mais de 15 segundos num mesmo quadro, deverá voltar ao “Início” e será contabilizada uma infração;
- se o robô bater em alguma parede, será punido com uma infração;
- se o robô sair pela entrada do labirinto será punido com uma infração;
- em caso de manutenção dos robôs durante a prova, será permitido à equipe remover o robô do labirinto e contabilizada uma infração; além disso, para cada minuto de partida com robô ausente, uma infração adicional será contabilizada;
- se o número de infrações for igual a três, a cronometragem será interrompida, dando-se por finalizada a partida, e será contabilizada uma infração de 240 segundos.

Para a classificação final, o tempo acumulado poderá ser negativo. Na ordem de classificação, os robôs serão divididos em grupos à medida que conseguirem cumprir cada objetivo, sendo ordenados conforme o tempo acumulado dentro de cada grupo. Os grupos consideram cumprimento dos objetivos:

- Grupo 1 – Robôs que chegaram ao destino e lançaram a bola (acertando ou não);
- Grupo 2 – Robôs que chegaram ao “Destino” sem lançamento da bola;
- Grupo 3 – Robôs que não conseguiram sair do labirinto.

3. Construção do Robô

O robô construído pela equipe deverá ser totalmente autônomo. Isso significa que não será permitida a comunicação entre o robô e computador ou vice-versa.

As dimensões máximas do robô são de 250 mm x 250 mm de base e 350 mm de altura, incluindo-se partes móveis, caso elas existam. O robô poderá também apresentar mecanismo para furar os balões e para arremessar a bola na cesta quando o robô estiver na posição “Destino”.

Não há restrições relativas aos componentes, motores e microprocessadores utilizados na construção do robô. Contudo cada equipe dispõe de um orçamento limitado a US\$ 650.00 (seiscentos e cinqüenta dólares americanos) na montagem eletrônica e outros US\$ 650.00 (seiscentos e cinqüenta dólares americanos) na estrutura mecânica do robô, totalizando o máximo custo de US\$ 1100.00 (um mil e cem dólares americanos).

Para participar na competição, a equipe da Mauá construiu três robôs com características muito parecidas, mas com dimensões e inteligência desenvolvidos de forma diferente. Esses robôs conquistaram respectivamente a 2.^a, 3.^a e 4.^a colocações na competição. As Figuras 2, 3 e 4 ilustram os robôs da equipe. O robô classificado em 2º lugar apresentou o melhor desempenho e maior pontuação entre todas as equipes que participaram na competição, contudo a 1.^a colocação foi conquistada pela equipe da UEA – Universidade Estadual do Amazonas porque o robô da Mauá ficou travado num certo ponto do labirinto durante a fase final da competição. Escolhemos um desses robôs (Figura 3), o que apresenta estrutura mecânica mais simples, e estamos detalhando a sua construção neste artigo.



Figura 2 – Robôs da Mauá que participaram do Desafio Inteligente



Figura 3 – Robô 1



Figura 4 – Robô 2

A construção mecânica do Robô 1 foi montada sobre uma estrutura de alumínio desenvolvida em laboratório com o objetivo de sustentar a placa de circuito eletrônico e permitir a fixação dos motores e sensores. Na Figura 5 ilustra-se a base de sustentação do robô e a placa de circuito eletrônico do robô. Na Figura 6 ilustra-se a face inferior da base de sustentação do robô. Observam-se claramente os seguintes componentes:

- duas rodas de alumínio fixas nas laterais, controladas por dois motores DC com caixa de redução acoplada e fixos na base;
- dois apoios constituídos de um rodízio e um rolamento com esfera;
- uma pequena estrutura de madeira fixa na base do robô para sustentar os sensores para detecção de faixa e sensor de distância;
- um segundo sensor de distância fixo diretamente na base próximo ao rolamento;
- cabeamento para os sensores.

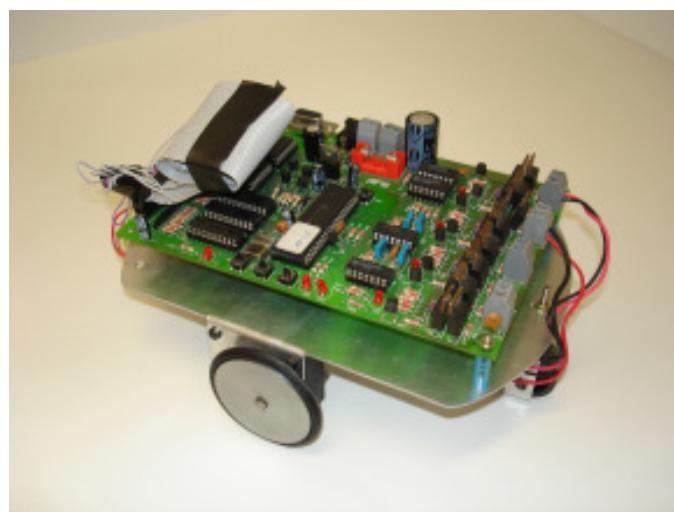


Figura 5 – Base de sustentação do Robô

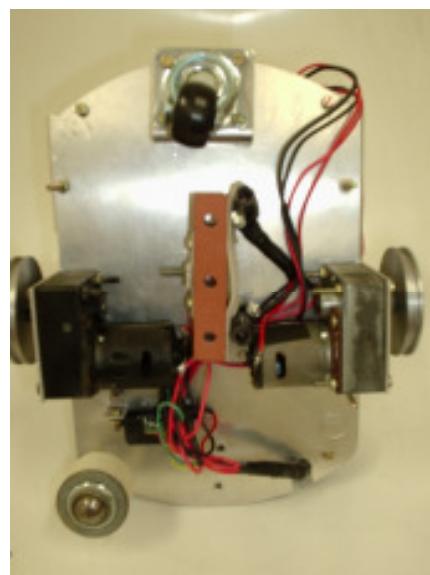


Figura 6 – Face Inferior da base de sustentação do Robô

O circuito eletrônico é constituído principalmente de uma placa didática que apresenta na sua estrutura os seguintes componentes:

- microcontrolador PIC 18F452, circuito e botão de *reset*, oscilador a cristal de 4 MHz, LED para sinalização (LED1), botões de *start*, *stop* e *spare* conforme Figura 7;
- circuito conversor de 18 V (representado por V+) para 5 V (Vcc) utilizando circuito integrado 7805 (Figura 8);
- 4 pontes transistorizadas utilizando-se transístores TIP120 e TIP 125, conforme se ilustra na Figura 9, que permite controlar os motores em múltiplas direções;
- outros circuitos destinados a aplicações específicas (não utilizados nesta aplicação).

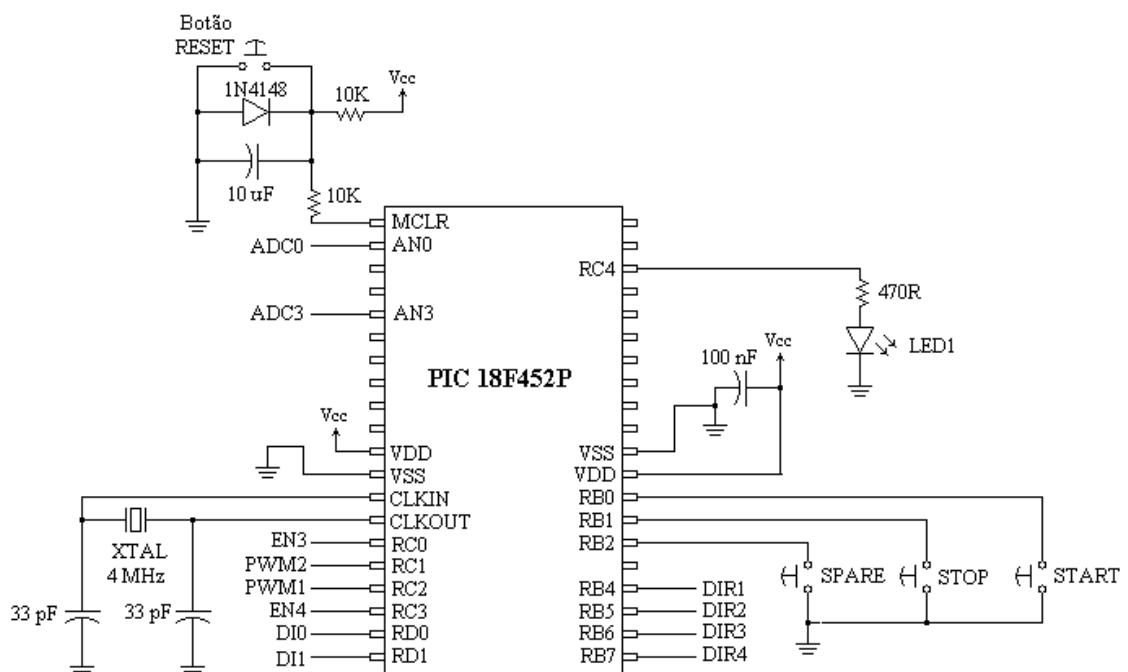


Figura 7 – Circuito eletrônico principal com Microcontrolador PIC

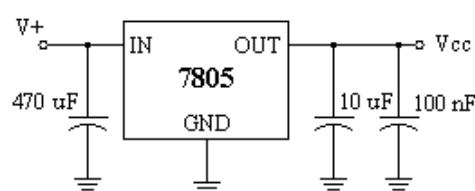


Figura 8 – Conversor de tensão

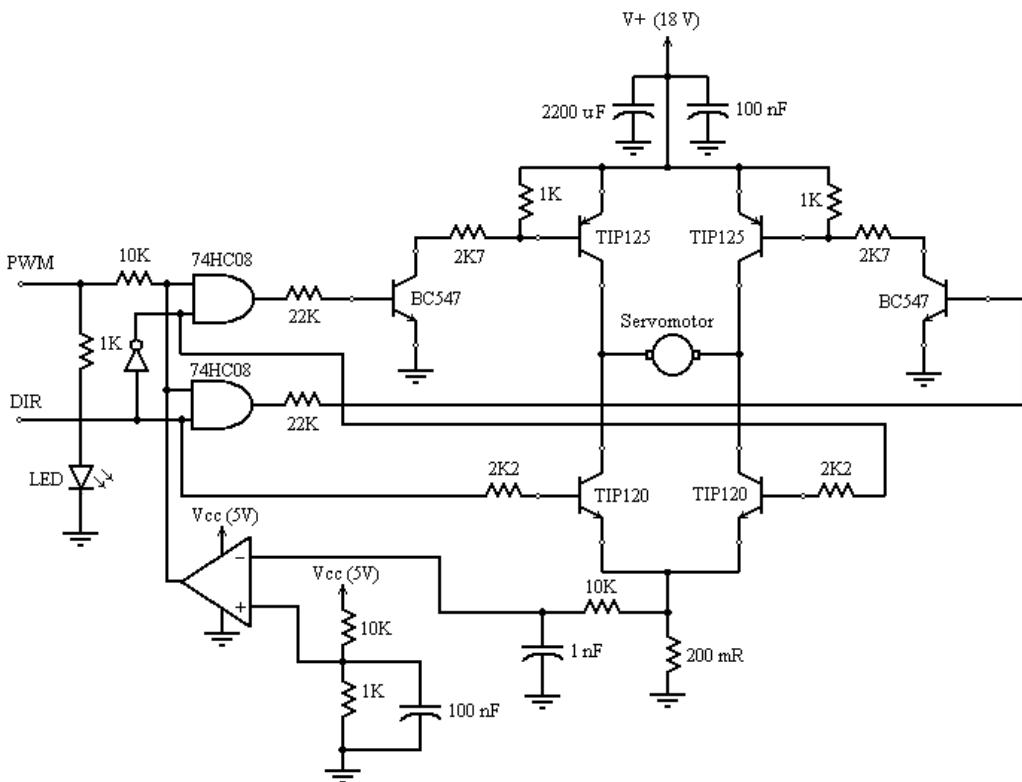


Figura 9 – Ponte transistorizada para acionamento de motores

Das 4 pontes transistorizadas citadas foram utilizadas somente 3 delas para se acionarem 3 motores DC com caixa de redução acoplada. Os motores DC apresentam tensão nominal de 24 Vcc, eixo de saída com rosca M6 e 370 rpm, fabricados pela Maia Indústria Ltda (www.maia.ind.br).

Os dois primeiros motores permitem controlar a velocidade do robô pelo sinal PWM (respectivamente PWM1 e PWM2) produzido na programação do microcontrolador, além de definir a direção de movimentação pelo controle da entrada DIR (respectivamente DIR1 e DIR2). Dessa forma é possível controlar toda a movimentação do robô.

O sistema de lançamento foi construído em material de CIBATOOL (resina tipicamente utilizada em usinagem) e presa na parte superior do robô, conforme ilustrado na Figura 10. O sistema utiliza um tubo de PVC onde deverá ser colocada a bola no início da competição. Uma haste presa ao eixo de um terceiro motor DC manterá a bola fixa sobre a mola. O controle do motor e a movimentação da haste permitirão efetuar o lançamento da bola. Note que, neste caso, não é necessário controlar o PWM do motor, mas apenas ligá-lo ou desligá-lo. Isso significa que basta ajustar a entrada PWM da ponte transistorizada em nível lógico 1 ou 0.

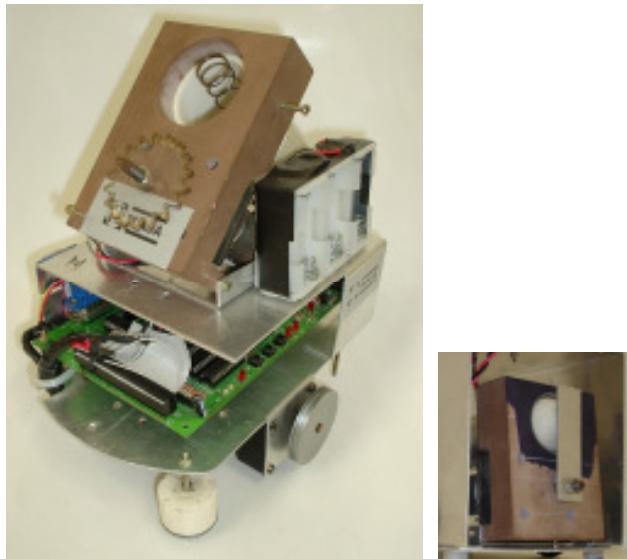


Figura 10 – Sistema de lançamento da bola

(a) Robô com sistema de lançamento da bola

(b) Detalhe do sistema e da haste que se abre para lançar a bola

Além da placa didática, foram conectados externamente os seguintes dispositivos:

- 3 motores DC com redução: os dois primeiros, para controlar a movimentação do robô e o terceiro para permitir o lançamento da bola (conforme explicação anterior);
- 2 circuitos para se identificarem as faixas (fitas de material refletivo) das posições de “Início” e “Destino”, constituídos de sensor de luz (LDR) e LEDs brancos, conectados como ilustrado na Figura 11;
- 2 sensores de distância SHARP GP2D12 conectados conforme Figura 12: o primeiro deles (Sensor 1), localizado entre a placa didática e a base, conforme ilustrado na Figura 13 e o segundo (Sensor 2), preso na região inferior da base de sustentação, próximo ao rolamento de apoio (conforme pode ser visto na Figura 6); monitorando-se as informações desses dois sensores pelo conversor AD do microcontrolador pode-se determinar a distância do robô para as paredes do labirinto e, com isto, controlar-se a movimentação do robô;
- um conjunto com 12 pilhas AA, totalizando 18 V, para a alimentação de todo circuito eletrônico, conectadas no suporte preso na parte superior do robô conforme pode ser visto na Figura 10 (a).

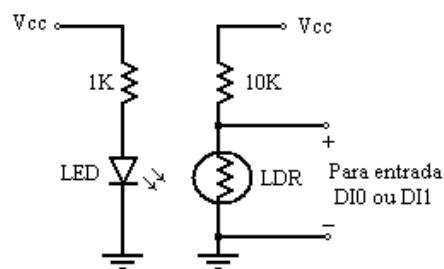


Figura 11 – Circuito eletrônico do sistema de identificação de faixa

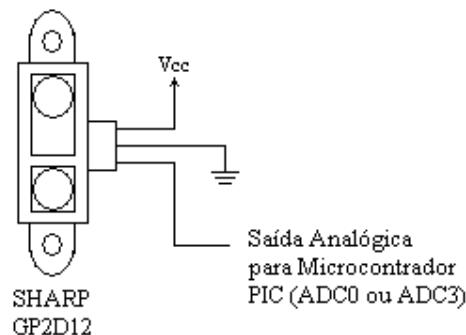


Figura 12 – Circuito eletrônico dos sensores de distância SHARP GP2D12

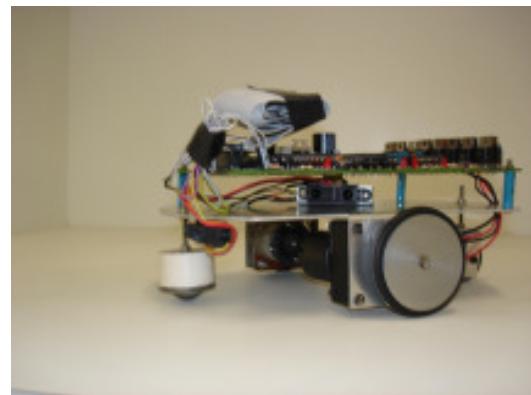


Figura 13 – Fotografia lateral do Robô que permite visualizar o sensor de distância entre a placa e a base inferior

Para conectar os sensores, motores DC e todos os dispositivos no microcontrolador, foram utilizadas as seguintes entradas/saídas resumidas na Tabela 1:

Pino do PIC	Identificação	Tipo	Função
1	MCLR	Entrada	Botão de <i>reset</i> da programação
2	AN0	Entrada	Canal 0 de entrada analógica (ADC0) para entrada do sinal do primeiro sensor de distância
5	AN3	Entrada	Canal 0 de entrada analógica (ADC0) para entrada do sinal do segundo sensor de distância
11	VDD	Entrada	Alimentação Vcc (+5 V)
12	VSS	Entrada	Terra (GND)
13	CLKIN	Entrada	Entrada de clock (circuito oscilador a cristal)
14	CLKOUT	Saída	Saída de clock (circuito oscilador a cristal)
15	RC0	Saída	EN3 - Habilitação para motor 3 (sistema de lançamento da bola)
16	RC1	Saída	PWM2 para motor 2 (movimentação do robô)
17	RC2	Saída	PWM1 para motor 1 (movimentação do robô)
19	RD0	Entrada	Entrada DI0 do primeiro sensor de identificação de faixa (LDR)
20	RD1	Entrada	Entrada DI1 do segundo sensor de identificação de faixa (LDR)
23	RC4	Saída	LED1 para sinalização
31	VSS	Entrada	Terra (GND)
32	VDD	Entrada	Alimentação Vcc (+5 V)
33	RB0	Entrada	Botão de <i>start</i>
34	RB1	Entrada	Botão de <i>stop</i>
35	RB2	Entrada	Botão de <i>spare</i>
37	RB4	Saída	DIR1 – Define direção para motor 1
38	RB5	Saída	DIR2 – Define direção para motor 2
39	RB6	Saída	DIR3 – Define direção para motor 3

Tabela 1 – Sinais de controle no microcontrolador

4. Programação do Robô

O programa para microcontrolador PIC foi desenvolvido em C utilizando-se *software* para programação ambiente MPLAB 7.4 e compilador MCC18 da Microchip, ambos disponíveis em (www.microchip.com). O programa completo para a aplicação é apresentado no site da revista (www.mecatronicafacil.com.br/downloads) (Veja Anexos 1 e 2). Na Figura 14 apresenta-se o fluxograma da aplicação.

O funcionamento da aplicação pode ser assim resumido:

- o sensor 1 é monitorado pelo conversor AD do PIC para se verificar se o robô está aproximando-se da parede; são verificados os limiares “ideal”, “perto”, “muito perto”, “perto mas próximo da ideal”, “longe”, “muito longe” e “longe mas próximo da ideal”;

com base nessas verificações, controla-se a movimentação dos motores da direita e da esquerda;

- o sensor 2 é monitorado para se verificar a aproximação da parede na parte frontal do robô;
- os sensores ópticos com LDR são monitorados para verificar se há identificação de passagem pela faixa refletiva e, em caso afirmativo, se foi também detectado o círculo na posição destino; neste caso, controla-se o motor 3 para efetuar o lançamento da bola na cesta.

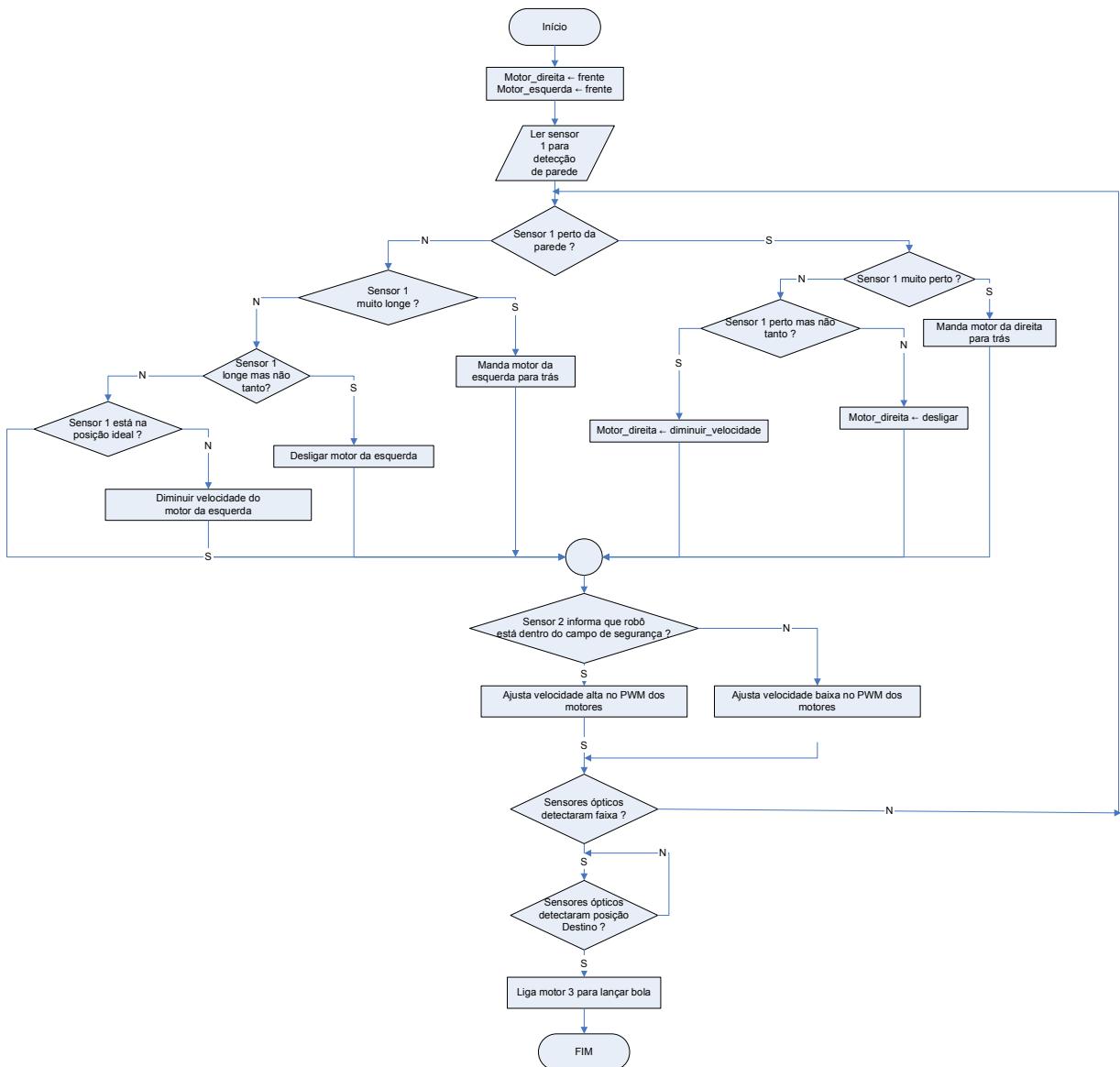


Figura 14 – Fluxograma da aplicação

5. Comentários Finais

Neste artigo foi apresentada uma solução simples para a construção de um robô capaz de locomover-se de forma autônoma num labirinto.

Na primeira etapa da competição, um robô da Mauá conseguiu percorrer todo o labirinto num tempo recorde, furar todos os balões distribuídos no percurso, encontrar a saída e lançar a bola na cesta. Para conseguir furar os balões, o robô utilizou um fio metálico rígido fixo sobre a estrutura do robô com dimensões que não excedem as especificações citadas nas regras, mas suficiente para atingir os robôs.

Os resultados obtidos e a eficiência do robô comprovam a eficácia da metodologia desenvolvida e o aprendizado dos alunos.

Para o funcionamento do robô com desempenho ainda melhor, várias outras tecnologias podem e devem ser avaliadas visando à melhoria contínua e à disseminação do conhecimento na instituição.