

Projeto e Desenvolvimento de um Robô Móvel de Baixo Custo Guiado por Radiofrequência

Cristina K. Honda¹, Miriã Chris A. Arruda¹, Ekler P. de Mattos², Gedson Faria³

¹Câmpus de Coxim – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)
Av. Márcio Lima Nantes, s/n – 79.400-000 – Coxim – MS – Brazil

²Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC)
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

³Departamento de Computação e Estatística
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação
Universidade de São Paulo (USP) – Câmpus de São Carlos

{cristinahonda87, miriachris, gmc3.ufms}@gmail.com

emattos@decom.fee.unicamp.br, gedson@icmc.usp.br

Abstract. *In this article we present a project to build a car-like mobile robot of low cost with embedded software in a microcontroller PIC16F628A, developed at Campus Coxim (UFMS). By using our computer software and the keyboard arrow keys the user can send actions by radio frequency to be performed by the robot. In addition, we present the details of L293D that implements dual H-bridges, modules for transmitting and receiving radio frequency, communication using the protocol UART. As results, we presents the methodology of constructing the robot, the components used and your cost estimate.*

Resumo. *Neste artigo apresenta-se o projeto de construção de um robô móvel de baixo custo com software embarcado em um microcontrolador PIC16F628A, desenvolvido no Câmpus Coxim da UFMS. O software de controle desenvolvido permite utilizar as setas de navegação do teclado e envia por meio de radiofrequência as ações de movimento que serão realizadas pelo robô. Além disso, são detalhados os componentes: L293D que implementa duas pontes H, os módulos de transmissão e recepção em radiofrequência, e a comunicação utilizando o protocolo UART. Como resultados, apresenta-se a metodologia de construção do robô, os componentes utilizados e seu orçamento.*

1. Introdução

É notável o emprego de robôs nos mais diversos ramos de atividade, tanto para aplicações industriais, profissionais quanto para uso doméstico. Nesta última categoria estão os robôs aspiradores de pó, cortadores de grama, robôs de lazer e entretenimento, brinquedos robóticos, robôs voltados para educação e pesquisa. De acordo com o relatório do International Federation of Robotics (IFR) Statistical Department [IFR 2011], foram vendidos mais de 2 milhões de robôs para uso doméstico em 2010 e espera-se que 14 milhões de unidades sejam vendidas no período entre 2011 e 2014.

Uma motivação para este projeto foi a busca pelo baixo custo que torna uma opção para o aprendizado básico de robótica. Existem plataformas comerciais para aprendizado

de robótica [Guedes and Kerber 2010] como por exemplo o LEGO Mindstorms NXT 2.0, que oferece um controlador lógico, motores, sensores e peças que se encaixam em padrão LEGO [LEGO 2012]. Entretanto seu alto custo de R\$ 1.999 [LEGOBRASIL 2012] o torna inacessível para muitos interessados.

A utilização de dispositivos eletrônicos programáveis, como os microcontroladores, permite que sejam criados programas de controle embarcados¹ no próprio hardware do robô, além de poder inferir sobre dados recebidos por sensores e executar ações de maneira autônoma. Um exemplo de aplicação em robótica móvel autônoma pode ser encontrado no trabalho de Romero e Faria [Romero and Faria 2000], no qual o algoritmo de aprendizado por reforço R'Learning é utilizado para ensinar o robô a desviar de obstáculos em ambientes dinâmicos.

Neste artigo descreve-se a metodologia utilizada no trabalho de conclusão de curso desenvolvido por Honda e Arruda [Honda and Arruda 2012] que visa o projeto de construção de um mini-robô móvel de baixo custo com microcontrolador PIC16F628A controlado remotamente por radiofrequência, denominado " $G = MC^3$ ". O seu baixo orçamento possibilitará a sua produção em larga escala e base para a produção de outras modalidades de robôs.

O restante deste artigo está organizado conforme segue: 2. Tecnologias Utilizadas: módulos de radiofrequência, pontes H, microcontroladores e outros componentes eletrônicos utilizados; 3. Desenvolvimento: software remoto, comunicação serial, comunicação sem fio, software embarcado e chassi; 4. Resultados e Trabalhos Futuros; 5. Considerações Finais; 6. Referências.

2. Tecnologias Utilizadas

Nesta seção são apresentados os conceitos básicos das tecnologias envolvidas que compõem a teoria deste projeto, a citar, módulos de radiofrequência, pontes H, microcontroladores, entre outros componentes eletrônicos utilizados.

A radiofrequência (RF) pode ser utilizada para transmissão de dados entre dois dispositivos por meio de ondas de rádio. Isto é, desde que o sinal digital seja convertido para sinal de rádio. Para que ocorra a transmissão de forma satisfatória, o sinal deve ser transmitido com potência suficiente para ser recuperado pelo receptor, e com o mínimo de distorção [Stringari et al. 1996]. Para o estabelecimento da comunicação foi utilizado o Transmissor TWS-DS-3 ou simplesmente Módulo TX, que é um módulo de transmissão RF, o qual trabalha na frequência de 433,92MHz, e VCC de 1,5V~ 12V, sendo que a tensão é diretamente proporcional à potência de transmissão; e o Receptor RWS-375-6 ou apenas Módulo RX, é um módulo de recepção RF na frequência de 433,92MHz que trabalha com a faixa de tensão de 5V.

A ponte H consiste em um circuito que permite o controlar a direção de giro de um motor de corrente contínua (CC), além de permitir que uma fonte externa ao circuito de controle seja usada para acionar o motor. Apesar das referências [Han et al. 2002, Bao 2010, Xiao 2008] citarem o uso do modelo L298N, descobriu-se que a ponte H L293D já vem acoplada com diodos de proteção, o que faz desnecessário

¹Programas embarcados são softwares gravados na memória do microcontrolador e quando executados fazem o controle dos dispositivos eletrônicos de um circuito.

esse tipo de cautela. E portanto, foi utilizado o modelo L293D no protótipo desenvolvido, pois poupa conexões extras no circuito que limita-se a uma placa de 5cm x 5cm.

Para controlar os motores via ponte H e decodificar as mensagens recebidas por meio do Módulo RX utilizou-se o microcontrolador PIC16F628A que é um circuito integrado programável. Com ele é possível controlar os sinais elétricos do circuito, possibilitando atribuir funções específicas ao circuito eletrônico. O PIC contém uma Unidade Central de Processamento (UCP), uma memória *Programmable Read Only Memory* (PROM), uma memória *Random Access Memory* (RAM), linhas de entrada/saída (E/S) e periféricos tais como: os osciladores internos, contadores e conversores de sinais analógicos/digitais.

Outros componentes eletrônicos selecionados para a construção do circuito do robô são:

Fonte de Alimentação - A fonte de alimentação é responsável pela ativação do circuito eletrônico, sendo para o projeto foi estudado a bateria de 9V, que ultrapassa a tensão de 5V necessária para o funcionamento dos circuitos integrados (CIs) presentes no circuito do robô, mas é a tensão suficiente para o torque dos motores.

Motores de Corrente Contínua - Neste projeto, foi utilizado o modelo RF-300-11440 que pode ser encontrado em CD-players antigos.

Regulador de Tensão (78L05) - De acordo com o esquema projetado para o circuito do robô, utilizou-se o CI de modelo 78L05, o qual possui o seu tamanho reduzido.

Crystal de 10MHz - Cristais de quartzo conhecidos como relógios (*clocks*) são osciladores que trabalham em certa frequência constante, que para o circuito do robô é de 10MHz.

3. Desenvolvimento

O esquema, apresentado pela Figura 1, descreve as principais partes do desenvolvimento deste projeto, sendo que cada número presente na figura corresponde a uma subseção que será apresentada a seguir. O programa de computador para controlar o robô via RF, bem como o protocolo para controle de direção e velocidade são apresentados na Subseção 3.1. Na Subseção 3.2 são discutidos os padrões de sinais utilizados na comunicação serial para transmitir os comandos. Os módulos de comunicação sem fio e as antenas elaboradas são apresentados na Subseção 3.3. Na Subseção 3.4 é apresentado o software embarcado, gravado na memória do PIC, que traduz os comandos recebidos por RF em sinais de controle para a Ponte H L293D. Na Subseção 3.5 é apresentado o chassi que contempla toda a estrutura mecânica e eletrônica do robô.

3.1. Software Remoto

A função principal do software que executa no computador é enviar comandos de movimentação para o robô. Neste trabalho, foi proposto e implementado um software que traduz os comandos recebidos pelo teclado do computador em um pacote de informação de direção e velocidade e em seguida os envia pela porta serial RS232.

Os comandos produzidos neste trabalho são formados pelas seguintes teclas do computador: Ctrl+X, setas direcionais (↑ / ↓ / → / ←) e barra de espaço. A velocidade dos motores varia de 0 a 100%, no entanto, com intuito de preservar a bateria e proporcionar melhor controle do robô, limitou-se até 65% da sua capacidade máxima de rotação.

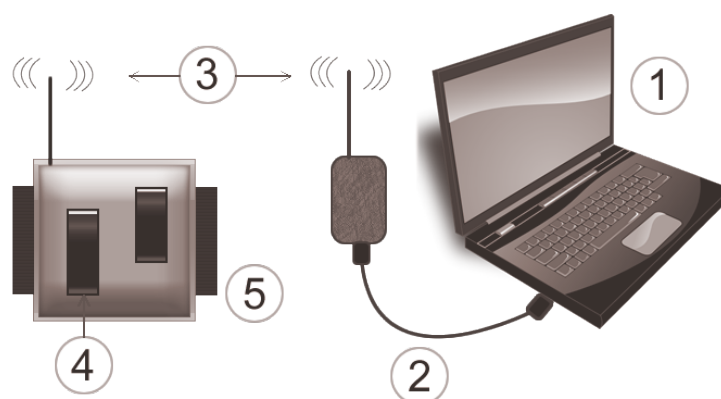


Figura 1. Esquema do funcionamento do Projeto: 1) Software de envio de comandos para o robô; 2) Comunicação Serial RS232; 3) Comunicação sem fio RF; 4) PIC16F628A e sua integração com os demais componentes do circuito; 5) Materiais do chassi.

O sentido de rotação dos motores é definido pelas teclas direcionais, as quais cada uma é representada por um caractere: o caractere ‘p’ define que o robô siga em frente, ou seja, o motor1 gira no sentido horário e o motor2 no sentido anti-horário; o caractere ‘q’ define que o robô dê marcha à ré, ou seja, o motor1 gira no sentido anti-horário e o motor2 no sentido horário; o caractere ‘r’ define que o robô vire à direita, ou seja, ambos os motores giram no sentido anti-horário; o caractere ‘s’ define que o robô vire à esquerda, ou seja, ambos os motores giram no sentido horário. A tecla barra de espaço é representada pelo caractere ‘t’ e define o comando de freada do robô, que zera a velocidade e desliga ambos os motores. O controle de velocidade é realizado pelo acréscimo/decréscimo de 5% da velocidade máxima cada vez que as teclas ↑ / ↓ são acionadas. Para as teclas direcionais → / ←, a velocidade permanece constante a 5% da sua capacidade máxima. Devido a uma característica dos Módulos RF utilizados, depois de definido e transmitido o comando, o sistema de controle continua a enviar comandos para evitar que a conexão entre o emissor e o receptor RF seja perdida, até que o próximo comando seja indicado pelo usuário.

O protocolo de transmissão desenvolvido neste trabalho, pode ser observado na Tabela 1 e consiste de 5 bytes: o primeiro byte identifica o início da transmissão; o segundo byte identifica o ID do robô; o terceiro byte define a velocidade dos motores do robô; o quarto byte define a direção do robô; e o quinto byte indica o fim do comando.

Tabela 1. Configuração do Protocolo de Transmissão

Byte	Descrição	Caractere
1 ^o byte	Início do comando	~
2 ^o byte	ID do Robô (0-15)	x
3 ^o byte	Velocidade	(0 a 65)
4 ^o byte	Direção do robô	p,q,r,s,t
5 ^o byte	Fim do comando	}

O software implementado inicia abrindo um canal de conexão de velocidade 2400bps² com porta serial RS232 na qual está conectado o circuito de transmissão RF. Um laço de repetição envia pacotes mantendo a conexão entre transmissor e receptor RF. No entanto, quando uma das teclas de navegação for pressionada um pacote válido será enviado, e continua enviando esse mesmo pacote enquanto um novo comando não for definido pelo usuário.

3.2. Comunicação Serial

Neste projeto, utilizou-se um cabo conversor USB para RS232, modelo TU-S9 para os testes realizados a fim de criar uma conexão da porta serial com a comunicação UART³ dos microcontroladores.

Devido à diferença de representação dos dados da RS232 e do PIC16F628A, implementou-se um circuito básico de inversão (Figura 2) utilizando um transistor NPN modelo 2N5551 que irá atuar como uma porta lógica NOT, a qual efetua a inversão de sinais TX do pino 3 da porta serial. Deve-se observar que não é necessário baixar a tensão para 5V devido às características do Módulo TX que aceitam até 12V.

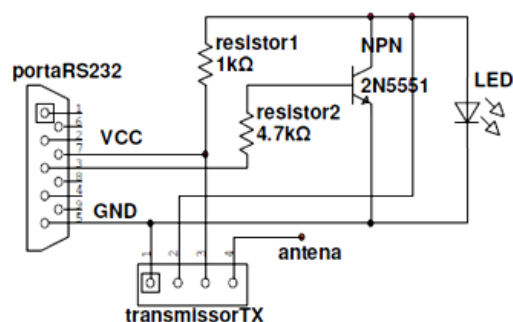


Figura 2. Circuito eletrônico produzido para transmissão de dados do pino 3 da RS232 via Módulo TX, utilizando o pino 7 como VCC.

3.3. Comunicação Sem Fio

Neste projeto utilizou-se a tecnologia de radiofrequência para estabelecer a comunicação entre Módulos TX modelo TWS-DS-3 e RX modelo RWS-375-6, ambos os módulos com frequência de 433,92MHz. O alcance do sinal RF depende da potência do módulo usado e do tipo da antena.

No desenvolvimento do projeto, em cada Módulo TX e RX, foi adicionada uma antena do tipo helicoidal de meia onda que corresponde a um fio condutor de 34,56cm de comprimento e 6mm de diâmetro com aproximadamente 20 voltas. Os cálculos necessários para o modelo de antena helicoidal e para outros tipos de antenas podem ser encontrados em [Smith 2009].

3.4. Software Embarcado

Neste projeto foi utilizado o microcontrolador PIC16F628A, por ser um chip de custo baixo e possuir internamente um dispositivo de comunicação serial UART. Por ser um

²Unidade de medida que representa bits por segundo

³Sigla em inglês para *Universal Asynchronous Receiver Transmitter*.

dispositivo programável, o PIC16F628A recebe o sistema embarcado para fazer o controle das ações do robô. Alguns parâmetros são necessários para a implementação correta do sistema, como por exemplo, a configuração do PIC em relação ao circuito do robô, a definição da taxa de transmissão via UART, o controle dos motores por PWM⁴ e o protocolo do robô.

Baseado no conceito de PWM, sinais elétricos são enviados para ativar/desativar os motores criando pulsos via software embarcado. A inversão do sentido rotação dos motores é executada pela ponte H, CI L293D, que recebe comandos do microcontrolador e ativa a rotação dos motores. Deve-se notar que o CI L293D não controla a velocidade de rotação dos motores CC. Um dos métodos que podem ser utilizados para realizar este controle de velocidade é o uso de PWM. Segundo Braga [Braga 2008], a modulação PWM é uma forma eficiente de controlar velocidade e torque de um motor CC, e traz a ideia de alterar a largura dos pulsos de modo a modificar a tensão média que eles representam.

Com intuito de estabelecer a comunicação UART, deve-se definir a taxa de transmissão a qual deve ser a mesma para ambos os módulos de radiofrequência. Neste projeto, foram utilizados os Módulos TX e RX de 433,92MHz que possuem faixas de taxa de modulação de até 4800bps. Contudo, foi verificado empiricamente que os mesmos não suportam taxas de transmissão maiores ou iguais 4800bps. Portanto, foi selecionada a faixa logo abaixo de 4800bps da UART, ou seja, 2400bps. Um outro fator observado por experimentos foi a influência da velocidade de processamento do PIC, tendo melhoras significativas quando o PIC é conectado um cristal de 10MHz.

3.4.1. Funcionamento do Protótipo de Robô

O protocolo do robô consiste na padronização dos *bytes* a serem recebidos por meio da comunicação UART pelo pino RX, e assim executar as ações pré-definidas de cada comando.

O funcionamento do protótipo é baseado na comunicação via radiofrequência, desta forma, torna-se suscetível a receber interferências ou ruídos pelo seu canal de transmissão. Como o microcontrolador estará sempre recebendo informações, foram criados filtros para processar apenas os comandos que lhe forem guiados, de maneira que possa descartar comandos inválidos gerados por erros na transmissão. Esses filtros são baseados conforme o protocolo de transmissão que foi apresentado anteriormente na Tabela 1.

Após receber o byte de partida, considera-se os 3 *bytes* seguintes como: byte de identificação do robô; byte de velocidade dos motores; e *byte* de direção do robô. A ação só será efetuada se a identificação for equivalente ao ID do robô.

O controle PWM é feito por meio das saídas pré-configuradas que estão ligadas aos pinos ENABLE<1:2>, responsáveis por ativar/desativar os motores. Essas saídas são definidas por uma condição estabelecida no programa do robô, controlada por uma variável que define a porcentagem da largura dos pulsos que permanecerá no nível alto.

⁴Sigla em inglês para *Pulse Width Modulation*.

3.4.2. O Circuito Eletrônico do Robô

Na elaboração do circuito eletrônico deve-se levar em consideração fatores como o funcionamento de cada componente e definição da configuração dos circuitos integrados que compõem o circuito do protótipo. A criação dos esquemas dos circuitos e das trilhas nos circuitos impressos são feitos por ferramentas para a esquematização, que também permitem simular a execução dos circuitos. Neste projeto, utilizou-se a ferramenta Multisim, desenvolvida pela National Instruments [NI 2012], que, além de projetar o circuito eletrônico, é compatível com a ferramenta Ultiboard, desenvolvida pela mesma empresa, que possibilita projetar as conexões de circuitos impressos.

Na construção do circuito controlador do protótipo de robô, o primeiro passo foi selecionar um microcontrolador que interprete os comandos recebidos do Módulo RX e controle as velocidades dos motores a fim de guiar o robô no ambiente. Dada a necessidade de inversão dos motores e controle de velocidade, um CI L293D com duas pontes H também foi necessário.

O circuito projetado no MultiSim é apresentado na Figura 3. Neste pode ser observado que a alimentação do circuito é feita por uma bateria de 9V e um regulador de tensão 78L05 fornece ao microcontrolador e outros componentes uma tensão VCC de 5V. Também pode ser observada as conexões com o microcontrolador PIC16F628A, sendo a comunicação serial UART conectada do pino 7 ao Módulo RX e os pinos 15 e 16 a um cristal oscilador de 10MHz.

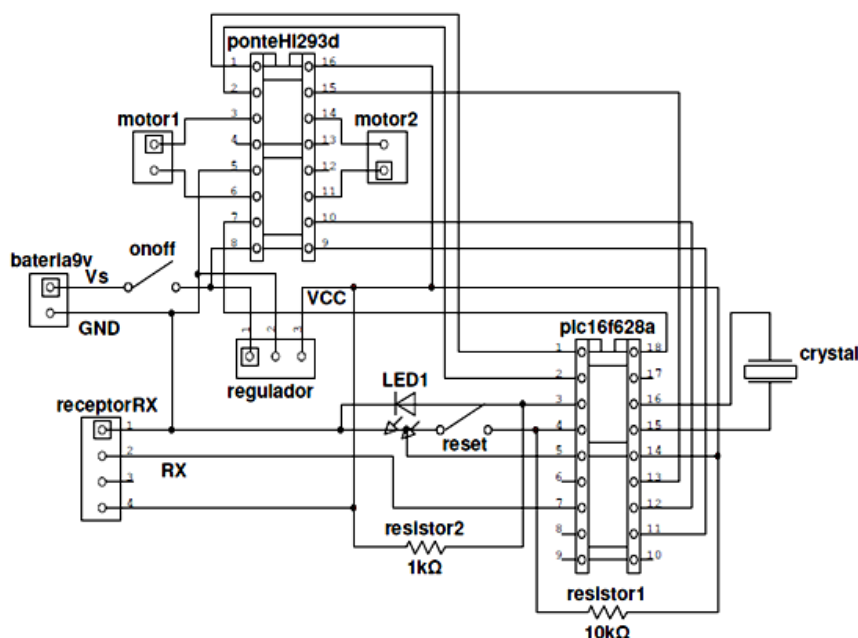


Figura 3. Projeto do circuito eletrônico do Robô elaborado na ferramenta MultiSim

O programa gravado no PIC faz o controle dos dois motores ativando/desativando os pinos do CI L293D, sendo que os pinos 1, 2, 18 do PIC são utilizados para o controle do motor1 e os pinos 11, 12, 13 para o controle do motor2. Também descreve-se outros componentes eletrônicos selecionados para a construção do circuito do robô:

3.5. Chassi

Como metodologia para o planejamento e posterior construção do protótipo do robô, foi tomada por base a metodologia de prototipação, que consiste em criar várias versões de um mesmo produto até obter um resultado final definitivo. Esta metodologia permite observar os prós e contras de cada fase, a fim de aperfeiçoar a cada nova versão desenvolvida.

A estrutura do protótipo apresenta dimensões minimizadas (7,5cm x 7,5cm x 10,5cm), essas limitações ocorrem por conta da necessidade de adaptar à capacidade dos motores utilizados no protótipo. Esta variante também implicou na seleção do material do chassi, que deveria ser o mais leve possível. Quatro opções diferentes foram propostas para a escolha do material do chassi: madeira, acrílico, alumínio e plástico.

Foi definido o plástico para construir o chassi do protótipo, devido ao aspecto de sustentabilidade agregado ao trabalho. Foram utilizados capa de CD e carrinho de brinquedo para a construção do chassi devido às suas características físico-químicas e pela facilidade de encontrar o material.

4. Resultados e Trabalhos futuros

Os resultados obtidos nesse projeto foi a versão 7.1 do protótipo do mini-robô móvel e o transmissor desenvolvido para comunicação por radiofrequência, ambos com baixo custo, conforme apresentado pela Figura 4.

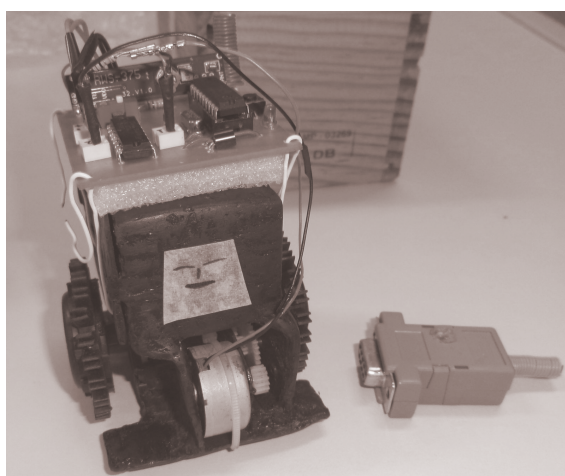


Figura 4. O Robô $G = MC^3$ e o Transmissor desenvolvidos

A estimativa de baixo custo do projeto pode ser comprovado a partir do levantamento dos valores dos materiais utilizados na construção do chassi que foram: capa de CD, carrinho de brinquedo do qual foi aproveitado as rodas, eixo e engrenagens, espuma, fios de cabo de rede. Já os componentes eletrônicos dos circuitos, podem ser encontrados em aparelhos eletrônicos considerados sucata tecnológica como os 2 motores CC retirados de drives de CD. O orçamento do robô projetado é mostrado na Tabela 2.

A fim de chegar no prótipo apresentado foram feitos outros modelos com diferentes materiais e formas, os principais materiais usados nesse modelos anteriores foram papelão e latinhas de refrigerantes, os quais foram descartados devido à resistência do material e a condutibilidade de energia, respectivamente.

Tabela 2. Estimativa de Custo do Robô $G = MC^3$

Item	Componentes	Valor Parcial
Placa do Robô	Placa de Fenolite, PIC16F628A, Ponte H L293D, Regulador 78L05, Receptor RWS-375F, Crystal 10MHz, Chave Táctil, Chave Dip, 2 Resistores, Led, Soquete, Arame para Solda, Conectores	R\$ 33,48
Peças do Robô	2 Baterias de 9V, 2 Motores CC, 2 Carrinhos de Brinquedo, 2 Clipes para Bateria, 2 Braçadeiras	R\$ 21,34
Material de Impressão da Placa	Papel Couchê, Percloroeto de Ferro, Palha de Aço, Álcool, Papel Toalha	R\$ 10,54
Transmissor do Robô	Capa para Porta Serial, Conector RS232 fêmea, Led, Transmissor TWS-DS-3, Transistor NPN, 2 Resistores	R\$ 15,28
Valor Total de Custo de um Protótipo de Robô		R\$ 80,64

A utilização de duas baterias de 9V em paralelo foi definida pelos testes de execução do robô desenvolvido. Durante os testes, observou-se alterações no desempenho do robô quando a bateria chegava na faixa dos 6V, que se esgotava rapidamente devido à tensão exigida para manter dois motores CC em funcionamento.

Além da construção do protótipo e seu transmissor, foram desenvolvidos os softwares embarcado e de controle do robô, no qual a comunicação sem fio foi estabelecida em ambiente Linux, já que o mesmo ofereceu melhor reconhecimento de driver do conversor utilizado. Obteve-se também a definição do protocolo de comandos para a comunicação com o robô, e o projeto e construção dos circuitos do robô e do transmissor.

O processo de criação do robô móvel reuniu três áreas distintas: programação de microcontrolador e controle do robô; reaproveitamento de materiais comuns e sucata tecnológica; e mecatrônica que envolve o estudo da mecânica, eletrônica e estudos dos materiais.

Como trabalhos futuros, propõe-se estudos destinados a melhorar a qualidade de transmissão via radiofrequência; adição de encoder nos motores do protótipo com intuito de cumprir o trajeto em linha reta; e adição de sensores que atribui maior autonomia ao robô.

5. Considerações Finais

Neste artigo foi apresentado um experimento multidisciplinar envolvendo robótica, eletrônica e programação de computadores, para o planejamento, projeto, construção e implementação de um mini-robô móvel controlado por radiofrequência. A relevância dessa pesquisa está na fusão de conhecimentos teóricos de distintas áreas das engenharias e ciência da computação que, integradas, proporcionaram a implementação de um protótipo de robô de baixo custo.

Uma das principais contribuições do trabalho de conclusão de curso [Honda and Arruda 2012] foi a especificação do circuito e construção do robô $G = MC^3$

que poderá servir de base de estudos para outros trabalhos na área de robótica. Alguns exemplos são o aprendizado de máquinas utilizando Inteligência Artificial (IA), competições de resgate, futebol de robôs e campeonato de sumô. Além disso, este trabalho contribuiu como uma metodologia de construção de robôs móveis controlados por radiofrequência. Foram apresentados detalhes de implementação de controle de motores, programação de microcontroladores, protocolos de comunicação serial e radiofrequência.

Outra contribuição é o reaproveitamento de lixo eletrônico, o qual boa parte dos componentes do robô podem ser encontrados em aparelhos eletrônicos inutilizados. Outro fator que deve ser destacado é a utilização de material reciclável na confecção da estrutura externa do robô.

Referências

- Bao, Q. X. (2010). Design of intelligent toy car motion control system based on the AT89C52. In *E-Product E-Service and E-Entertainment (ICEEE), 2010 International Conference on*, pages 1–4, Zigong, China. Inst. of Autom. & Electron. Inf., SiChuan Univ. of Sci. & Eng. 10.1109/ICEEE.2010.5661596.
- Braga, N. (2008). Circuitos para controlar motores. *Revista Mecatrônica Fácil*, 42:9–11.
- Guedes, A. L. and Kerber, F. M. (2010). Usando a robótica como meio educativo. *Unoesc & Ciências - ACET*, 1:199–208.
- Han, K.-H., Lee, K.-H., Moon, C.-K., Lee, H.-B., and Kim, J.-H. (2002). Robot soccer system of soty 5 for middle league mirosot. In *2002 FIRA Robot Congress, Seoul, Korea*, Republic of Korea.
- Honda, C. K. and Arruda, M. C. A. (2012). Robô $G = MC^3$ - Projeto e Desenvolvimento de um Robô Móvel de Baixo Custo guiado por Radiofrequência. Monografia - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - Câmpus de Coxim.
- IFR (2011). World robotics 2011 service robots. Press release.
- LEGO (2012). LEGO.com Mindstorms NXT.
- LEGOBRASIL (2012). LEGO Brasil.
- NI (2012). National Instruments Corporation.
- Romero, R. A. F. and Faria, G. (2000). Aprendizado com reforço aplicado à navegação de robôs móveis através de força de repulsão. In Monard, M. C. and Sichman, J. S., editors, *IBERAMIA-SBIA 2000 Open Discussion Track*, pages 237–245. ICMC/USP.
- Smith, K. (2009). *Antennas for Low Power Wireless Applications*. RF Monolithics Inc. AN0036.
- Stringari, S., Loesch, C., and Tafner, M. (1996). *Comunicação de Dados Utilizando a Linguagem C*. Blumenau:Editora Furb.
- Xiao, Q. (2008). A robot remote control system based on VPN and TCP/IP protocol. In *Mechatronics and Automation, 2008. ICMA 2008. IEEE International Conference on*, pages 285–289, Chengdu. Sch. of Phys. Electron., Univ. of Electron. Sci. & Technol. of China. 10.1109/ICMA.2008.4798767.