

Sistema de Controle com Programação Embarcada para Cadeira de Rodas Motorizada Infantil

Filipe Loyola Lopes*, Henrique Alves de Amorim**, Maria Elizete Kunkel**

*Universidade Federal do ABC - UFABC, São Bernardo do Campo, Brasil

**Universidade Federal de São Paulo - UNIFESP, São José dos Campos, Brasil

e-mail: loyolafilipe@gmail.com

Abstract – *The electric wheelchair is a device that allows people with severe physical disability (quadriplegia, cerebral palsy and others) to have more independence, quality of life and social inclusion. Due to the high cost (R\$13.000,00), people under 12 years old do not receive an electric wheelchair in Brazil. This is a relevant factor in the lack of inclusion of this part of the population in formal education. The aim of this study was to develop and evaluate the electronic system for children electric wheelchair. The methodology used a joystick, H-bridge and an Arduino to control a children wheelchair made with PVC structure. The system showed excellent performance in tests with 15kg simulating a child's weight.*

Keywords: *Electric wheelchair, assistive technology, H-bridge, Arduino.*

Introdução

Cadeira de rodas (CR) é um dispositivo de Tecnologia Assistiva para mobilidade fundamental para a independência, qualidade de vida e inclusão social das Pessoas com Deficiência Motora (PcDm) [1]. No mundo, aproximadamente 1% da população da população necessita de CR, porém 20 milhões não têm acesso [2]. As CR motorizadas (CRM) dispensam a força do usuário ou cuidador durante a propulsão, sendo indispensáveis em três situações: (a) Deficiência motora severa (tetraplegia, paralisia cerebral, esclerose múltipla avançada, entre outras); (b) Usuário impossibilitado de realizar esforço físico (idosos, cardiopatas, obesos, entre outros) ou (c) Necessidade de locomoção por longas distâncias [3, 4]. No entanto, as CRM têm sido indicadas como fator limitante na inclusão social devido aos altos custos da tecnologia (média de R\$ 13.000,00). Esse é um grave problema, pois a maior parcela de PcDm se encontra entre as pessoas de baixa renda [5]. No Brasil, por exemplo, CRM não são distribuídas gratuitamente pelo Sistema Único de Saúde (SUS) para crianças menores de 12 anos [6]. Esse é um fator impactante na falta de acesso de crianças com deficiência motora na educação formal. Entre os motivos do alto custo da tecnologia de CRM está a complexidade dos sistemas de controle, que

normalmente utilizam componentes caros e com alto valor agregado [7].

Um tipo de CRM cada vez mais investigado é a CR inteligente, que funciona como um robô ou carro autônomo e pode auxiliar pessoas com Alzheimer, Esclerose Lateral Amiotrófica, Lesão Medular a nível de C4, Acidente Vascular Encefálico, Parkinson, casos avançados de Paralisia Cerebral, ou outras doenças graves, por ser fácil de ser controlada. No entanto, CR inteligentes precisam de sistema refinado e potente para controle de motor, capaz de acionar, controlar e fornecer corrente suficiente, de forma contínua, durante longos períodos de uso [8].

O objetivo deste estudo é desenvolver um sistema de controle para CRM infantil, baseado em *joystick*, *ponte-H* de alta corrente e plataforma aberta de desenvolvimento eletrônico Arduino e testá-lo em uma estrutura de CRM infantil. Espera-se com esta pesquisa auxiliar estudos futuros sobre CR inteligente que possam fazer uso do sistema proposto para acionamento de motores para CR. Esta pesquisa foi realizada como parte de um projeto de Mestrado em Engenharia Biomédica pela Universidade Federal do ABC (UFABC).

Materiais e métodos

A metodologia adotada foi dividida nas etapas de definição de *hardware*, desenvolvimento do *software* embarcado e testes de desempenho. A definição de *hardware* envolveu a escolha do modelo da plataforma Arduino, *joystick*, ponte H e definição dos motores. O *firmware* foi desenvolvido na linguagem *Wiring*, baseada em C/C++, dedicada à plataforma de desenvolvimento utilizada. Para os testes de desempenho, o sistema foi aplicado a um modelo de CRM construída com tubos de policloreto de vinila (PVC) [9]. O sistema eletrônico foi implementado com uma plataforma compatível com o Arduino modelo UNO R3 (Arduino, Ivrea, Itália).

Um *joystick* modelo resistivo (Filipeflo, Florianópolis-SC, Brasil) foi utilizado para a interface homem-máquina. O componente possui entrada para alimentação de 5 V, duas saídas analógicas (eixos X e Y) e saída digital (botão) [10] (Figura 1).

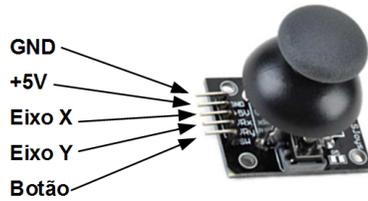


Figura 1. Joystick resistivo usado como interface homem-máquina do sistema. Adaptado de [10].

Duas *Shields* ponte-H foram usadas para o acionamento dos motores. Estes circuitos são *drivers*, acionados por baixa corrente, capazes de alimentar e controlar o sentido de giro de motores de corrente contínua (DC) [11]. Os circuitos de ponte-H utilizados, baseados no circuito integrado (CI) BTS7960 (Infineon Technologies, Neubiberg, Alemanha), possuem transistores de efeito de campo (MOSFET). Por isso consomem baixa corrente elétrica ($7\mu\text{A}$) para acionamento (*gate*) e possuem corrente típica de 43A em sua saída. O CI BTS trabalha em frequências de *Pulse Width Modulation* (PWM) de até 25kHz, permitindo que a velocidade dos motores também seja controlada, além do sentido de giro [12] (Figura 2).

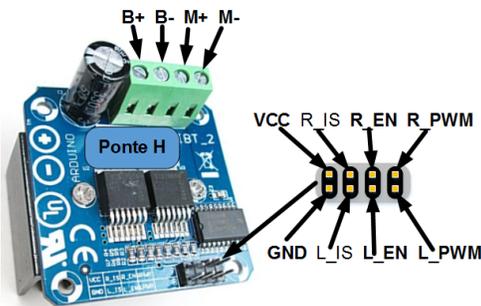


Figura 2. Circuito de ponte H. Legenda: (B+ e B-) Entradas de tensão para motor; (M+ e M-) Saídas para motor; (VCC) Entrada de alimentação 5V; (R_IS e L_IS) Medição da intensidade de corrente; (R_EN e L_EN) Habilitação de giro para direita ou esquerda; (R_PWM e L_PWM) Controle de giro do motor; (GND) Referência de 0V.

Para a propulsão de CRM foram utilizados dois motores do tipo motorreductor (motor acoplado à redutor de velocidade). O modelo CEP 9.390.453.086 (Bosh, São Bernardo do Campo - SP, Brasil) utilizado é de 12V, 5,5 A e 25 W (nominais), 38 rpm e torque nominal de 6 Nm. A fonte de alimentação utilizada para alimentar todo o sistema foram duas baterias do tipo chumbo ácido regulada por válvula (VRLA), 12V e 7AH, marca Unipower (Grupo Unicoba, Extrema - MG, Brasil).

No funcionamento do sistema, o circuito de controle recebe sinais analógicos (variação em amplitude ao longo do tempo) providos do *joystick*, contendo informação da posição horizontal e vertical do cursor do componente, que pode ser manipulado pelo usuário. Os sinais analógicos (tensão entre 0 e 5 V) são lidos pelo conversor analógico/digital de 10 bits do Arduino (A1 e A0) (Fig. 3).

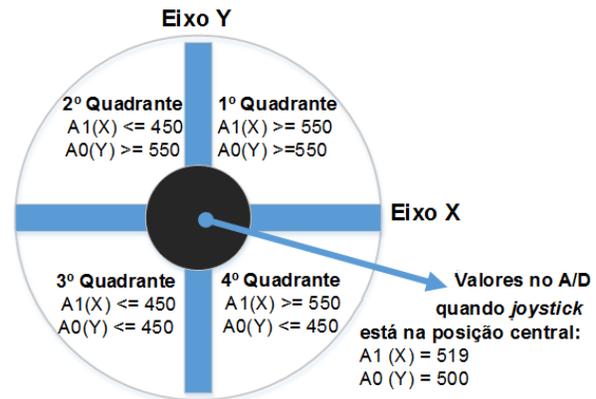


Figura 3. Valores de leitura analógica A1 (eixo X) e A0 (eixo Y) em função da posição joystick.

No programa desenvolvido, os valores de entrada variam entre 0 e 1023 (ou 2^{10}), que corresponde linearmente a variação de tensão na entrada analógica do microcontrolador. Quando o cursor do joystick se encontra em posição central (posição de descanso) os valores lidos pela entrada analógica são de 519 para o A1 e de 500 para o A0 (Fig. 4).

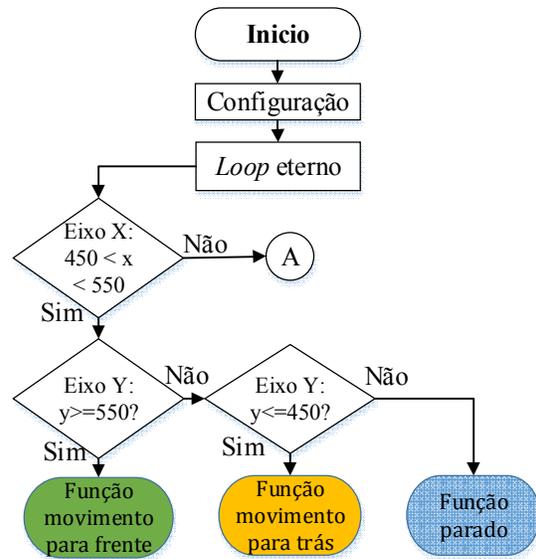


Figura 4. Fluxograma da rotina principal do programa embarcado.

O *software* embarcado foi desenvolvido utilizando máquina de estado (*switch-case*) e testes de níveis com *if-else*, em *loop* infinito – “*for(;;)*”. Dentro deste *loop*, chamado de rotina principal, ou *void loop*, o programa desenvolvido pode cair em oito situações distintas, cada qual definida por uma sub-rotina. No fluxograma do programa embarcado a função “A” representa um leque de opções onde a cadeira realiza movimento de giro sob eixo (uma roda gira para frente e a outra para trás) ou movimento de curva (as duas rodas giram no mesmo sentido, porém uma gira mais rápido que a outra). A velocidade e sentido de giro dos motores dependem da posição X e Y do *Joystick*.

Os testes de desempenho foram realizados com o sistema de controle aplicado a uma CRM infantil, construída com tubos de PVC, com peso de 15 kg, dimensões gerais de 25x70x75 cm (largura, comprimento e altura) e rodas de 6” de diâmetro [7]. Os eixos dos motores foram conectados diretamente à roda da CRM através de uma bucha de alumínio torneada. Os testes foram realizados sem pesos adicionais e posteriormente com pesos de 5 kg, 10 kg e 15 kg, simulando uma criança de aproximadamente cinco anos de idade. O protótipo de CRM foi submetido a nove testes de campo, onde foram percorridas trajetórias de aproximadamente 20 m, realizadas em terreno plano, em ambiente interno e externo, simulando o uso da CRM na vida diária.

Resultados

O desenvolvimento eletrônico resultou em um sistema com nove blocos funcionais (Figura 5). O custo com componentes para a construção do sistema eletrônico, considerando baterias, motores, drivers, joystick, caixa plástica, e outros componentes como

capacitores, resistores, regulador de tensão, entre outros, foi de R\$ 939,25. Nesse levantamento não foram considerados custos com recursos humanos. Nos testes de desempenho, a CRM foi submetida à nove diferentes situações: Andar para frente ou para trás em linha reta; Andar girando para esquerda ou direita; Girar para a direita ou esquerda sobre o eixo; Dar ré girando para direita ou esquerda; Desviar de obstáculos.

O sistema de controle mostrou ótima eficiente durante a execução dos testes de desempenho, para a execução de movimentos em diferentes direções e sentidos, porém apresentou problema em 11,11 % dos casos devido à pequeno desvio durante o movimento em linha reta. Os testes foram realizados de maneira contínua, sem intervalos. Uma análise matemática foi realizada, considerando-se o diâmetro das rodas de tração (6”), a massa do sistema (30 kg) e giro dos motores. Nessa análise verificou-se a velocidade de deslocamento linear da CRM de 1,1 km/h e o torque mínimo necessário de 0,67 Nm, por motor.

Discussão

Estudos indicam o uso de Arduino como base de um sistema de controle para motores DC eficiente e de baixo custo, que pode ser usado em CRM [7, 8, 10, 11, 12]. Entre as vantagens de se utilizar Arduino está o baixo custo (R\$ 45,00) e a possibilidade de trabalhar em conjunto com *Shields*, que são placas acessórias como sensores, display, *joystick* e *drivers* de controle, como a ponte-H.

Estudos obtiveram sucesso na utilização de Arduino para controle de interface de CRM (joystick), mas não obtiveram sucesso no que diz respeito ao controle fino e por longos períodos, de motores DC de CRM [7,11]. Isso ocorreu, pois

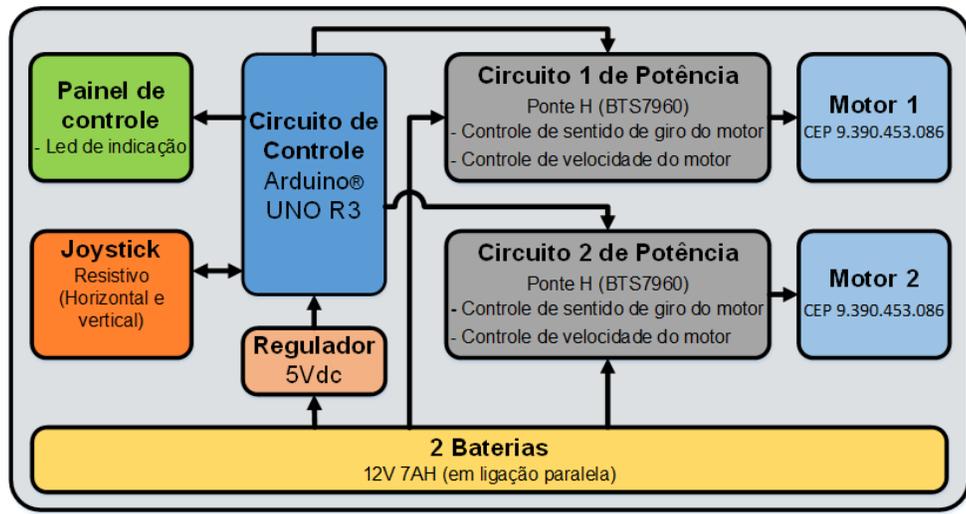


Figura 5. Diagrama em blocos do sistema de controle para cadeira de rodas motorizada.

utilizaram acionamento com relé ou ponte-H de baixa potência, que não são suficientes para sustentar alta corrente e chaveamento intermitente, com carga real. Por outro lado, uma pesquisa utilizou uma *Shield* ponte-H de 43 A (BTS7960) e Arduino e obteve sucesso no controle de motor DC de um robô para análise de solo [12]. Ressalta-se que a presente pesquisa aliou o uso da *Shield* BTS7960 com Arduino e obteve sucesso no controle de motores DC aplicado em CRM, com carga de 15 kg simulando uma criança.

O *joystick* utilizado superou as expectativas, apresentando baixo custo (R\$ 12,00) e facilidade de aplicação no circuito e utilização. O componente apresentou resposta linear de variação de tensão (0 a 5 V) em suas saídas X e Y, que variam a resistência proporcionalmente ao deslocamento do cursor, convertendo o deslocamento mecânico para tensão elétrica [11].

De acordo com Marcondes [8], o torque necessário para mover o sistema pode ser obtido em função da massa total, diâmetro da roda de tração e capacidade de rotação do motor. Com isso, nota-se que o torque de 6 Nm são suficientes para mover o sistema apresentado, pois verificou-se a necessita 0,67 Nm por motor. Desta forma, estudos futuros poderão ser realizados, utilizando o sistema desenvolvido com cargas maiores (em massa) e com rodas de tração com maior diâmetro.

Esta pesquisa poderá ajudar estudos futuros sobre CR inteligentes que façam uso de motores DC. Além disso, poderá contribuir com empreendimentos sociais que visam o fornecimento de CRM de baixo custo (<https://www.openwheelchair.org/>) (<https://criacadeiraderodas.wordpress.com/>).

Conclusões

Um sistema de controle eletrônico para cadeira de rodas motorizada infantil foi desenvolvido e teve a sua funcionalidade avaliada. A metodologia empregada obteve sucesso no desenvolvimento de um sistema funcional e com baixo custo de peças. O dispositivo é passível de replicação e possui alto potencial para auxiliar a população de baixa renda sem acesso a uma cadeira de rodas motorizada.

Agradecimentos

À empresa Tigre e Jaguaribe por doação de materiais utilizados na montagem do protótipo e à CAPES pela concessão de bolsa de mestrado.

Referências

[1] Ameratunga, SN. et al. Risk of disability due to car crashes: a review of the literature and

methodological issues. *Injury International Journal of the Care of the Injured*, v. 35, n. 1, p. 1116-1127, 2004.

[2] OMS. Cadeira de Rodas Pacote de Treinamento em Serviços Nível Básico. Organização Mundial da Saúde. São Paulo, p. 260. 2014.

[3] Cooper, RA; Ohnabe, H; Hobson, DA. *An Introduction to Rehabilitation Engineering*. 1. ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group, v. 1, 2006.

[4] Batavia, M. *The wheelchair evaluation a clinicians guide*. 2^a. ed. Sudbury, MA, EUA: Jones and Bartlett, 2010.

[5] Medola, F. O. Projeto conceitual e protótipo de uma cadeira de rodas servo-assistida. 160f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação Interunidades em Bioengenharia - Universidade de São Paulo - USP, São Carlos, 2013.

[6] DataSUS. Cadeira de rodas motorizada adulto ou infantil. Sistema de Gerenciamento da Tabela de Procedimentos, Medicamentos e OPM do SUS, 2017. Disponível em: <<http://sigtap.datasus.gov.br/tabela-unificada/app/sec/inicio.jsp>>. Acesso em: 15 Junho 2017

[7] Caporal, R. M. et al. Digital controller for an electric wheelchair based a low-cost hardware. *IEEE Latin America Transactions*, v. 13, n. 10, p. 3221-27, 2015.

[8] Simpson, R. C.; Lopresti, E. F. How many people would benefit from a smart wheelchair? *Journal of Rehabilitation Research and Development*, v. 45, n. 1, p. 53-72, 2008.

[9] Lopes, FL; Amorin, HAD; Kunkel, ME. Comparação entre dois protótipos de cadeira de rodas motorizada infantil de baixo custo construída com tubos de PVC e Arduino®. In: XVII Congresso Brasileiro de Biomecânica. Porto Alegre: PUCRS, 2017. 688 p.

[10] Marcondes, S. R. et al. Automação de baixo custo para uma cadeira de rodas. *Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica - CBEB*. Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Biomédica - SBEB. 2016. p. 1494-1497.

[10] Arduino. What is Arduino. Arduino, 2017. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em: julho 2017.

[11] Arboleda, E. R.; Alegre, M. C. T.; Idica, K. F. Development of a low-cost electronic wheelchair with obstacle avoidance feature. *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, v. 06, n. 01, p. 89-97, 2015.

[12] Argote, I. L. et al. Projeto mecatrônico de um rover para aplicação na análise de solos usando tecnologia LIBS - Parte II. *Anais do Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária*. São Carlos: SIAGRO. 2014. p. 123-126