

# SISTEMA DE CONTROLE E MOTORIZAÇÃO DE CADEIRA DE RODAS

ARLEI BARCELOS, JOSÉ NEWTON COELHO GONÇALVES, MAXSUEL FLORES ,  
WARLLEM BARBOSA

*Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em eletrônica da Associação Educacional Dom Bosco -  
AEDB*

*Estrada Resende Riachuelo, 2535, Campo de Aviação, CEP27511-971.*

*Resende, Rio de Janeiro, Brasil.*

*E-mails: [arlei@csn.com.br](mailto:arlei@csn.com.br), [coelho-goncalves@uol.com.br](mailto:coelho-goncalves@uol.com.br), [maxflores2@yahoo.com.br](mailto:maxflores2@yahoo.com.br),  
[wbmatos@terra.com.br](mailto:wbmatos@terra.com.br)*

**Abstract** – On this article, it's represented a control and motorization system to be used on manual wheelchairs. This system was developed because of two reasons: one is the very expensive price of a motorized wheelchair and the lack of skilled labor[1]. Fortunately, the continuous search for technologies that can help the human life causes the development on telecommunications, information technology, electronics, and others, including physically disabled persons. Based on micro processed circuit with PWM modulation (Pulse Width Modulator) and a joystick witch works as an interface between man and machine, two motor's speed is controlled. Theses motors are responsible for the wheelchair movement. All the set, joystick, control circuit, motors and batteries, are adapted to normal wheelchair, witch the main goal is to reduce the acquisition and maintenance price.

**Keywords** – Control and motorization, micro controller, PWM, wheelchair.

**Resumo** - Neste artigo, é apresentado um sistema de controle e motorização para cadeira de rodas manuais. O sistema foi desenvolvido a partir de duas particularidades que dificultam a aquisição de cadeira de rodas eletricamente motorizadas pelos portadores de deficiência[1]. Além do alto custo, a grande maioria não dispõe de mão de obra qualificada para manutenção dos sistemas. Felizmente a busca incessante por desenvolver tecnologias para facilitar a vida humana fez com que houvesse o aprimoramento de vários equipamentos nas áreas de telecomunicação, informática, eletrônica e outros, inclusive para deficientes em locomoção. Baseado em um circuito microprocessado com modulação PWM (Pulse Width Modulator), ou simplesmente modulação por largura de pulso, e um joystick que serve como interface entre homem e máquina é realizado o controle de velocidade de dois motores que são responsáveis pelo movimento da cadeira. Todo o conjunto, joystick, circuito de controle, motores e baterias são adaptados a uma cadeira de rodas comum (manual), com o principal objetivo de reduzir os custos de aquisição e manutenção.

**Palavras-Chave** - Controle e motorização, Microcontrolador, PWM, Reconhecimento de Voz, cadeira de rodas.

## 1. Introdução

O princípio de funcionamento da cadeira de rodas motorizadas consiste na transformação de energia elétrica em propulsão mecânica através de dois motores de corrente contínua. A principal necessidade de se utilizar motores de corrente contínua é a fonte de energia disponível, ou seja, baterias.

Dentre os tipos de motores de corrente contínua disponíveis, o motor série é o que mais atende a este projeto, principalmente por seu elevado torque de partida e por não disparar por perda de campo. Os motores de corrente contínua, normalmente encontrados no mercado, são motores de alta rotação e pequeno torque, para a utilização destes motores é preciso reduzir sua velocidade e, ao mesmo tempo, aumentar seu torque. Para isto precisa-se utilizar um redutor, sendo o mais indicado, por segurança, um redutor de engrenagens, as relações entre os tamanhos e o número de dentes das engrenagens, fornecem a taxa de redução da velocidade e também de aumento da força obtida.

As relações de velocidades entre os motores são responsáveis pelos movimentos da cadeira de rodas, ou seja, para se movimentar em linha reta, ambos os motores se movimentam no mesmo sentido, mesma direção e mesma velocidade. Para girar a cadeira, o motor do lado a que se deseja efetuar o giro, terá sua velocidade reduzida, então os motores terão mesmo sentido, mesma direção, porém com velocidades diferentes, sendo possível girar 360° graus sobre o próprio eixo, sem que ocorra deslocamento.

Para que os motores efetuem os movimentos acima descritos é necessário um dispositivo de controle capaz de controlar sentido de rotação e velocidade. Optamos por um circuito de maior rendimento, e de simples configuração, uma ponte H construída por transistores de potência. Desta forma podemos utilizar a tecnologia de PWM. Variando a frequência de chaveamento dos transistores varia-se a tensão média no motor, tornando-se ideal quando se deseja controlar a velocidade e o sentido de rotação de motores de corrente contínua.

Para a geração do sinal de PWM utilizamos dos microcontroladores. Por simplicidade de circuito, flexibilidade para alterações, facilidade de ajustes e a possibilidade de interação com um dispositivo de controle por voz, optamos em utilizá-lo. O microcontrolador utilizado é o PIC 18F452 de fabricação da Microchip Technology Inc[2]. O fator determinante para a escolha deste modelo foi a possibilidade de se trabalhar com uma linguagem de simples programação, ou seja, a linguagem de programação em C, mais especificamente o C18.

A maneira mais simples para o usuário transferir suas necessidades de movimento para o microcontrolador e existente na grande maioria das cadeiras de rodas é por meio de um joystick. Como o microcontrolador possui entradas analógicas podemos gerar um sinal de tensão (analógico) variando-se simplesmente o valor da resistência no joystick.

Seu funcionamento baseia-se na variação de resistência através de dois potenciômetros independentes nas coordenadas x e y, com uma escala de 0 a 100 kohms. Como os potenciômetros normalmente possuem três terminais isolados, conectam-se nas suas extremidades 5 volts DC e terra (gnd) respectivamente. O terminal central do potenciômetro é a saída da tensão de referencia, onde terá o seu valor de resistência alterado de acordo com o movimento da alavanca nos eixos X e Y e conseqüentemente o valor da tensão de 0 a +5 VDC. Na posição de descanso (posição neutra) o valor de resistência é ajustado para 50 Kohms, desta forma, quando na posição central, tem-se duas saídas de 2,5 VDC.

Para alimentar todo o sistema, poderíamos por simplicidade usar uma bateria de 12 volts, porém devido à potência dos motores a corrente dos mesmos seria muito alta, dificultando a especificação dos componentes do circuito, além de prejudicar a autonomia da cadeira. Decidimos então que seria mais viável utilizar duas baterias em série, elevando o nível de tensão para 24 volts, reduzindo a corrente e com isto o custo com as especificações dos componentes.

## 2. Microcontroladores

O PIC é um circuito integrado produzido pela Microchip Technology Inc.[2], que pertence à categoria dos microcontroladores, ou seja, um componente integrado que em um único dispositivo contém todos os circuitos necessários para realizar um completo sistema digital programável. O PIC pode ser visto externamente como um circuito integrado TTL ou CMOS normal, mas internamente dispõe de todos os dispositivos típicos de um sistema microprocessado, ou seja, uma CPU (Unidade de Processamento Central) cuja finalidade é interpretar as instruções de programa; uma memória PROM (Programmable Read Only Memory ou Memória Programável Somente para Leitura) na qual irá memorizar de maneira permanente as instruções do programa; uma memória RAM (Random Access Memory ou Memória de Acesso Aleatório) utilizada para memorizar as variáveis utilizadas pelo programa; uma série de linhas de I/O (entrada e saída) para controlar dispositivos externos ou receber pulsos de sensores, chaves, etc. e uma série de dispositivos auxiliares ao funcionamento, ou seja, gerador de clock, bus, contador, etc.

A presença de todos estes dispositivos em um espaço extremamente pequeno proporciona uma ampla gama de trabalho e enorme vantagem em usar um sistema microprocessado, onde em pouco tempo e com poucos componentes externos podemos fazer o que seria oneroso fazer com circuitos tradicionais.

## 3. Modulação PWM

O PWM (Pulse Width Modulation ou Modulação por Largura de Pulso) é um tipo de controle utilizado para variar o valor da transferência de potência entregue a uma carga, sem as perdas ocorridas normalmente devido à queda de tensão por recursos resistivos[4]. Em um sistema PWM, a chave de estado sólido (normalmente IGBT, MOSFET ou TRANSISTOR BIPOLAR) é usada para controlar o fluxo de corrente, ora não conduzindo, ora conduzindo.

O PWM é um tipo de modulação no tempo, que consiste na codificação de um determinado sinal num trem de pulsos de largura variável, onde a informação do sinal está contida na largura dos pulsos.

O valor médio (DC) da forma de onda é dado pela área calculada, dividida pelo período. No caso de uma forma retangular, a tensão  $V_{dc}$  é expressa por:

$$V_{dc} = \frac{t_{on} \times V_p}{T}$$

## 4. Principais componentes da cadeira de rodas

Para a construção do protótipo da cadeira de rodas motorizada foi utilizada uma série de dispositivos, descritos a seguir.

### 4.1. Baterias

Uma bateria[9] é um dispositivo eletroquímico que transforma energia química em energia elétrica e vice-versa. Uma bateria armazena energia elétrica para o uso quando necessário. O processo de transformação é reversível, o que significa que a bateria pode ser carregada e descarregada por várias centenas de vezes.

Tudo começa com as baterias de chumbo ácidas (lead acid), que são compostas por um conjunto de placas de chumbo e óxido de chumbo, mergulhadas numa solução de ácido sulfúrico

e água. Quando a bateria é descarregada, o ácido "rouba" elétrons dos átomos da placa de chumbo, transformando-o em óxido de chumbo. Ao carregar a bateria, a reação é revertida e os átomos de chumbo são devolvidos às placas.

Este é o tipo menos eficiente de bateria, com a pior relação peso/energia, mas em compensação é a tecnologia mais barata, já que o chumbo é um dos metais mais baratos e o processo de fabricação muito simples. Outro ponto positivo é que elas são bastante duráveis e não possuem efeito memória, resistindo a um número muito grande de ciclos de carga e descarga.

Devido às suas características de custo/benefício, optamos por usá-las como fonte de energia para a cadeira de rodas motorizada. Para o valor de tensão de 24 volts do projeto, foram utilizadas duas baterias de 12 volts em série, perfazendo um total de 24 volts.

#### 4.2. Joystick

Um joystick é um periférico de computador pessoal ou um dispositivo geral de controle que consistem em uma vara vertical na qual os pivôs se aproximam de uma extremidade e transmitem seu ângulo em duas ou três dimensões a um computador[5].

O joystick é usado freqüentemente para controlar jogos de vídeo, e têm geralmente um ou mais botões de pressão cujo estado pode também ser lido pelo computador. O termo joystick transformou-se em um sinônimo para controladores de jogos que podem ser conectados ao computador desde que o computador defina a entrada como uma porta de jogos. Além de controlar jogos, os manches são usados também para controlar máquinas tais como elevadores, guindastes, caminhões e etc.

A maneira mais simples existente na grande maioria das cadeiras de rodas é por meio de um joystick. Dentre os diversos tipos de Joysticks existentes, optamos por um modelo resistivo CLONE, por ser facilmente encontrado no mercado e por ser de baixo custo.

Seu funcionamento baseia-se na variação de resistência através de dois potenciômetros independentes nas coordenadas x e y, com uma escala de 0 a 100 kohms. Como os potenciômetros normalmente possuem três terminais isolados, conectam-se nas suas extremidades 5 volts DC e terra (gnd) respectivamente. O terminal central do potenciômetro é a saída da tensão de referencia, onde terá o seu valor de resistência alterado de acordo com o movimento da alavanca nos eixos X e Y e conseqüentemente o valor da tensão de 0 a +5 VDC.

Na posição de descanso (posição neutra) o valor de resistência é ajustado para aproximadamente 50 Kohms, desta forma, quando na posição central, tem-se duas saídas de 2,5 VDC.

#### 4.3. Microcontrolador

O PIC 18F452 é um modelo de microcontrolador PIC da família de 16 bits de núcleo de processamento, apesar de ainda lidar com dados de 8 bits[2]. A vantagem dessa família de PICs é que eles possuem mais instruções em código de máquina (75 contra 35 da série 16F) que é otimizada para ser usada com compiladores de linguagem C[3] e memória linear (ao contrário dos irmãos menores que possuem memória dividida em bancos de memória). A sua velocidade de processamento também é maior, na maioria até 10 MIPS (a 40MHz de clock) com alimentação entre 2 e 5,5V. O seu encapsulamento DIP consiste em 40 pinos. Esse modelo possui 32k bytes (16k instruções) de memória de programa flash, 1536 bytes de memória RAM e 256 bytes de memória EEPROM. Os principais periféricos internos são:

- 8 canais para conversão A/D a 10 bits

- AUSART (addressable universal synchronous asynchronous receiver transmitter) com suporte para RS485
- MSSP (master synchronous serial port) para SPI e I2C
- PSP (parallel slave port)
- 4 timers (3 de 16 bits e 1 de 8 bits)
- 2 módulos CCP (capture compare PWM)

O 18F452 é o modelo de uso geral da família 18F de microcontroladores PIC. É um componente versátil que permite inserir uma série de recursos ao projeto. Com possibilidade de programação em linguagem C[3]. E com saídas em PWM necessárias ao funcionamento do controle de velocidade da cadeira de rodas.

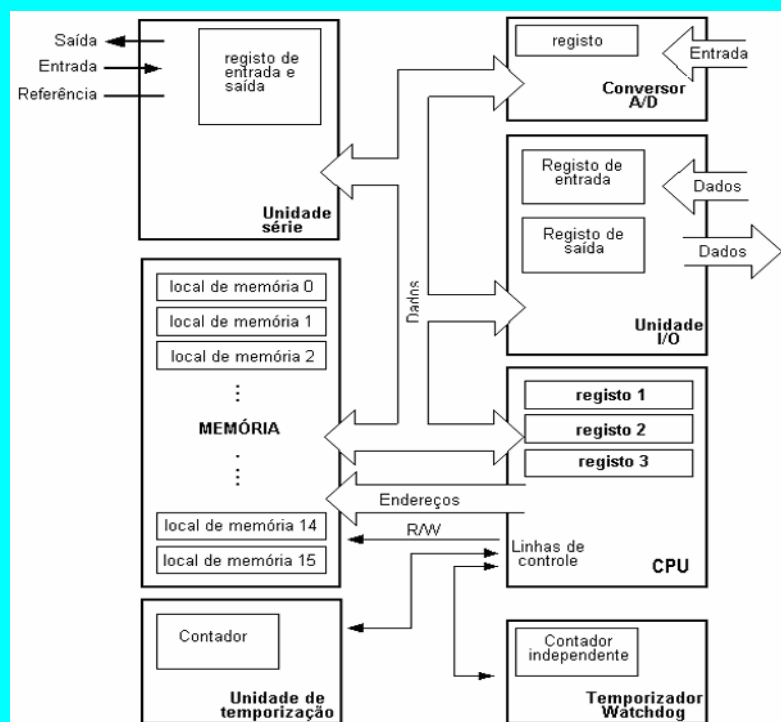


Figura 1 – Esquema de um microcontrolador com seus elementos básicos e ligações internas

#### 4.4. Motores CC Série.

A principal necessidade de se utilizar motores de corrente contínua é a fonte de energia disponível, ou seja, baterias.

Dentre os tipos de motores de corrente contínua disponíveis, o motor série, é o que mais atende, principalmente por seu elevado torque de partida e por não disparar por perda de campo[8].

Os motores de corrente contínua, normalmente encontrados no mercado, são motores de alta rotação e pequeno torque, para a utilização destes motores é preciso reduzir sua velocidade e, ao mesmo tempo, aumentar seu torque. Para isto precisa-se utilizar um redutor, sendo o mais indicado, por segurança, um redutor de engrenagens, as relações entre o tamanho e o número de

dentos das engrenagens fornece a taxa de redução da velocidade e também de aumento da força obtida.

As relações de velocidades entre os motores são responsáveis pelos movimentos da cadeira de rodas, ou seja, para se movimentar em linha reta, ambos os motores se movimentam no mesmo sentido, mesma direção e mesma velocidade.

#### 4.5. Ponte H

Para se controlar um motor de corrente contínua[7], optamos por um circuito de maior rendimento, e de simples configuração, uma ponte H construída por transistores de potência. Desta forma podemos utilizar a tecnologia de PWM[6], ou seja, variando a frequência de chaveamento dos transistores varia-se a tensão média no motor, tornando-se ideal quando se deseja controlar a velocidade e o sentido de rotação de motores de corrente contínua.

Devido à disposição dos seus componentes, torna-se extremamente fácil selecionar o sentido de rotação de um motor, apenas invertendo a polaridade sobre seus terminais e com o auxílio do PWM também podemos variar a velocidade do motor. É importante a utilização de circuitos isoladores, para que em uma eventual falha o circuito de controle esteja isolado do circuito de potência.

Uma ponte H básica é composta por 4 chaves mecânicas ou eletrônicas posicionadas formando a letra “H”, sendo que cada uma localiza-se num extremo e o motor é posicionado no meio.

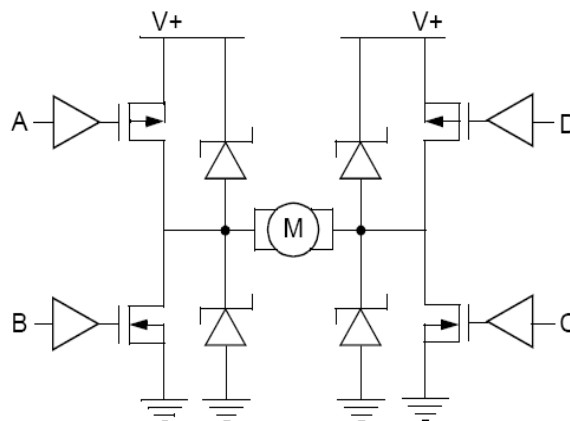


Figura 2 - Representação de uma Ponte H

#### 4.6. Cadeira de Rodas Manual

No princípio havia uma preocupação quanto ao tipo de cadeira a utilizar. Não sabíamos ao certo se construiríamos uma cadeira ou se realizaríamos uma adaptação em uma cadeira manual. No desenrolar do projeto, recebemos como doação, uma cadeira de rodas manual para realizarmos a adaptação e torná-la uma cadeira motorizada.

Para adaptá-la precisamos montar em sua estrutura, os dois motos redutores e na ponta de seus eixos montar as rodas.

O cubo que sustenta as rodas de uma bicicleta não é maciço, e sim de material tripartido, o que não agüentaria o torque aplicado pelo eixo do moto redutor, tendo em vista que o moto redutor exerce toda força diretamente sobre a roda.

Fabricamos o cubo, com as mesmas dimensões do cubo original de uma bicicleta. O cubo foi modificado para atender as necessidades da cadeira, ou seja, foi fabricado de material maciço e com um rasgo de chaveta para encaixar o eixo do redutor.

Após a fabricação, o cubo recebeu um jogo de rodas e pneus de um “carrinho de mão”.

## 5. Metodologia

A representação do sistema de controle e Motorização da cadeira de rodas é mostrada no diagrama em blocos da figura 3.

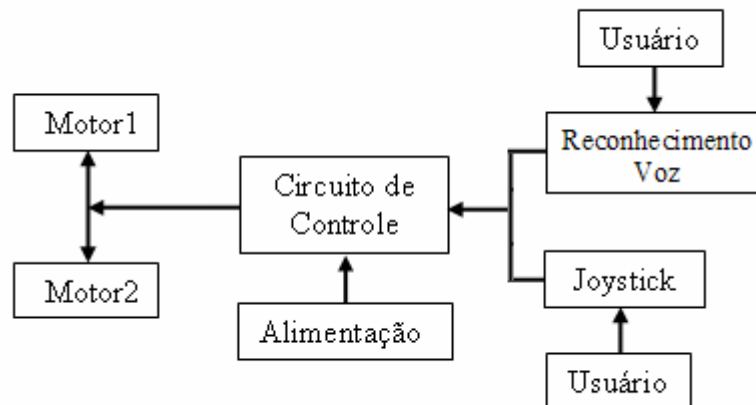


Figura 3 - Desenho do diagrama de blocos do sistema de controle.

O usuário transmite suas necessidades para o Joystick que por sua vez enviará dois sinais analógicos de tensão para duas entradas analógicas do microcontrolador respectivamente. Este sinal analógico é convertido para um sinal digital, que por sua vez fica disponível para ser inserido no algoritmo programado no PIC18F452. De acordo com a variação do sinal de entrada o programa toma a decisão correspondente à variação do sinal, fazendo com que suas saídas PWM's sejam ativadas e variando-se o sinal de largura de pulso de acordo com o sinal de entrada. Através dessa variação é possível disparar os transistores e realizar o controle de rotação dos motores e conseqüentemente o sentido, direção e velocidade da cadeira de rodas.

### 5.1. Descrições de funcionamento

No circuito da figura 4, quando o Joystick é movimentado no eixo y, por exemplo, para frente, o programa gera nas saídas RC1 e RC2 um sinal de PWM proporcional a variação com que o usuário estabelecerá no joystick. Conseqüentemente as saídas RD1, RD2, RD3 e RD5 são ativadas em nível lógico 1 permanecendo as demais em nível lógico 0.

A porta AND U2A recebe o PWM da saída RC1 juntamente com o sinal digital de RD1 e ativa sua saída fazendo com que o diodo emissor de luz do acoplador óptico sature seu transistor de saída acionando o MOSFET Q8. Neste momento a saída RD3 já terá ativado o relé RL3 através da saturação do transistor Q5, fazendo com que o motor gire em um determinado sentido de rotação.

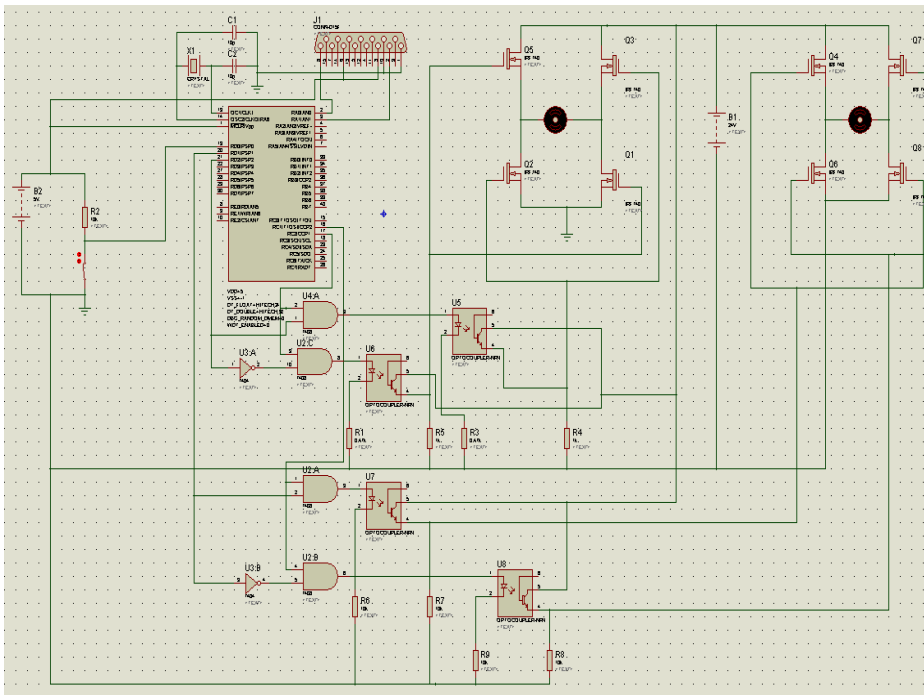


Figura 4 – Circuito completo de controle da cadeira de rodas

O mesmo ocorre para a porta AND U4A que recebe o sinal de PWM da saída RC2 juntamente com o sinal digital de RD2 ativando sua saída, isto faz com que o acoplador óptico sature o seu transistor de saída, acionando o MOSFET Q2. Analogamente a condição anterior o relé RL2 estará ativado através da saída RD5, que neste momento já terá saturado o transistor Q4, fazendo com que o outro motor gire.

Para o movimento de giro, o joystick terá sua posição movimentada no eixo x, por exemplo, para a direita. Com esta condição o PWM gerado em RC1 e RC2 será alterado, um aumentará, por exemplo, RC1 e o outro, RC2, diminuirá. Quando uma das rodas gira com velocidade diferente tem-se o movimento de giro. Quando o joystick for variado para a esquerda ocorre o processo contrário RC1 diminuirá e RC2 aumentará, fazendo com que a cadeira gire para o outro lado.

O mesmo ocorre quando se deseja que a cadeira ande para trás, Neste momento também são geradas nas saídas RC1 e RC2 os sinais de PWM, porém as saídas digitais que vão a nível lógico 1 são RD4 e RD6, fazendo com que as portas lógicas se invertam e conseqüentemente acionem o outro lado das pontes H.

Para realização da lógica de funcionamento nos baseamos no fluxograma da figura 5.



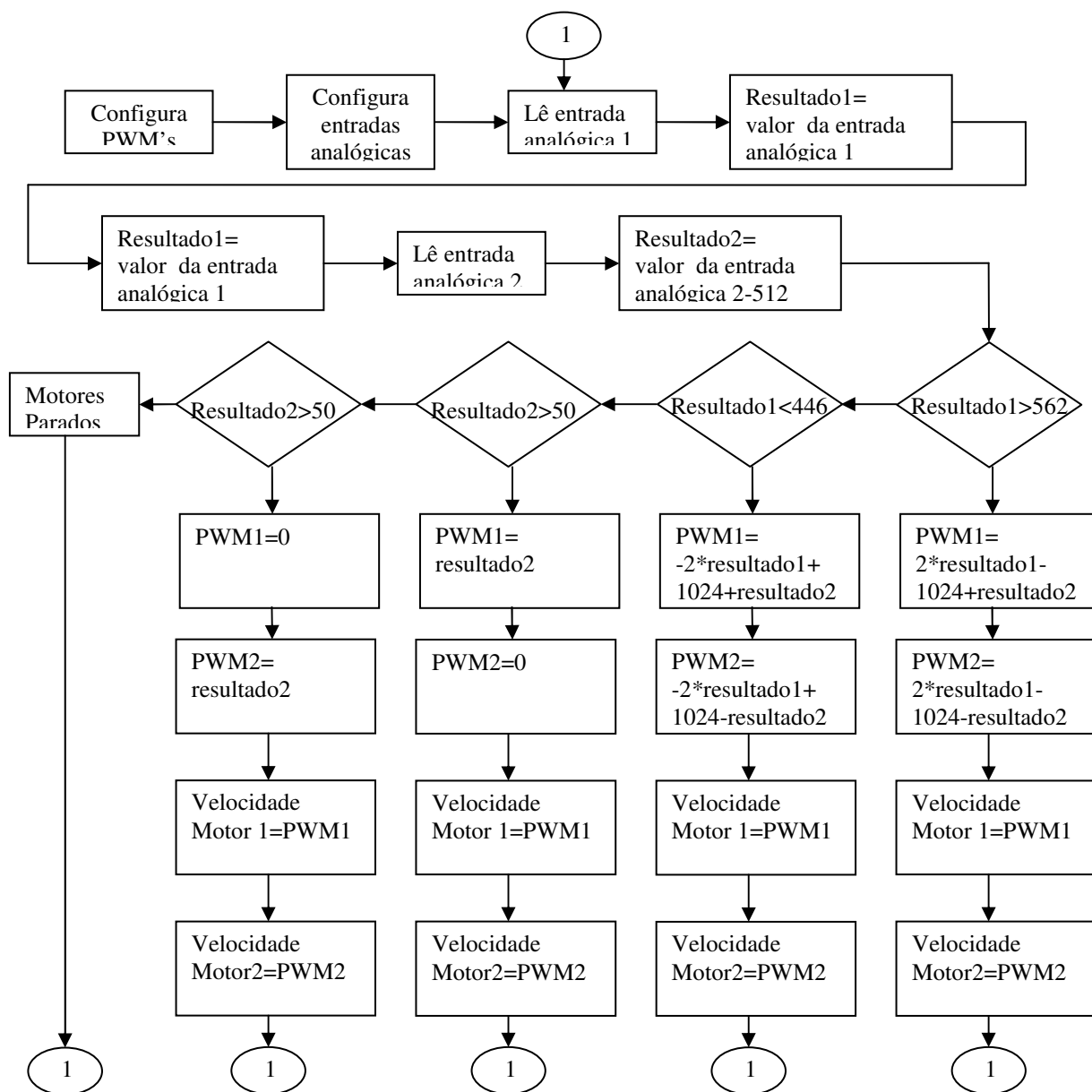


Figura 5 – Fluxograma do Programa do Microcontrolador para cadeira de roda com uso do Joystick

## 6. Conclusões

Conforme apresentado anteriormente, foi possível criar um sistema de controle para cadeira de rodas que atendesse as expectativas iniciais, baseadas em geração de PWM por intermédio de um microcontrolador, reduzindo os custos do equipamento. Os resultados obtidos até aqui garantem o sucesso do projeto e revela um potencial de crescimento do sistema que não imaginado quando começou o projeto. O microcontrolador mostrou-se totalmente eficaz na tarefa de controle, principalmente por sua simplicidade de programação.

O circuito de controle desenvolvido para transformar as variações de resistência nos terminais do joystick foi de extrema simplicidade baseado apenas em um divisor resistivo.

O circuito de potência utilizado neste projeto nos demandou uma enorme quantidade de tempo. Este circuito conhecido como ponte H teve que ser alterado tornando-se um circuito híbrido, não estando previsto para a realização do projeto.

O circuito é de baixo custo e de fácil reprodução, pois todos os componentes são de fabricação nacional e de fácil aquisição, além de fácil implementação a outras tecnologias.

Como melhoria futura, existe a previsão de utilização de sistema de reconhecimento de voz para utilização da cadeira de rodas por pessoas tetraplégicas.

## 8. Bibliografia

[1] Deficientes físicos, em:

<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/20122002censo.shtml>. Acesso em 02 abr 2008.

[2] Microcontroladores PIC, em: <http://www.microchip.com>. Acesso em 08 maio 2008.

[3] PEREIRA, Fábio. Microcontroladores PIC: Técnicas avançadas. 1ª Edição. São Paulo: Érica Ltda., 2002.

[4] PWM, em:

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Modula%C3%A7%C3%A3o\\_por\\_largura\\_de\\_pulso](http://pt.wikipedia.org/wiki/Modula%C3%A7%C3%A3o_por_largura_de_pulso). Acesso em 15 maio 2008.

[5] Joystick, em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Joystick>. Acesso em 10 abr 2008.

[6] Ponte H, em: [http://www.eletronica.org/arg\\_apostilas/apostila\\_pwm.pdf](http://www.eletronica.org/arg_apostilas/apostila_pwm.pdf). Acesso em 10 maio 2008.

[7] Controle de Motor DC, em:

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00893a.pdf>. Acesso em 10 maio 2008.

[8] Motores DC, em: <http://www.cefetsc.edu.br/~vnoll/Motores.PDF>. Acesso em 10 maio 2008.

[9] Baterias, em: <http://www.guiadohardware.net/tutoriais/baterias/>. Acesso em 10 junho 2008.

[10] BOYLESTAD, R.; NASHELSKY, L. Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos. 8. ed. São Paulo, Prentice-Hall, 2004.