

Construção de um sistema de Realidade Virtual (2^a Parte) Sistema de monitoramento e controle utilizando-se um PIC

**Roberto Scalco, Fabrício Martins Pedroso,
Jorge Tressino Rua, Ricardo Del Roio, Wellington Francisco**

Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia (CEUN-IMT)

Escola de Engenharia Mauá (EEM)

Praça Mauá, 1 – CEP 09580-900 – São Caetano do Sul – SP – Brasil

Neste artigo é apresentado o desenvolvimento de dispositivos e interfaces eletrônicos que controlam a interação do usuário com o mundo virtual, além da integração desses com o sistema de simulação apresentado no artigo anterior.

1. DISPOSITIVO DE INTERAÇÃO HOMEM-MÁQUINA

O projeto do dispositivo de interação homem-máquina para Realidade Virtual, ou seja, do dispositivo que interliga o mundo virtual com o usuário, gerando e fazendo a aquisição de seus estímulos, utiliza uma bicicleta como meio de navegação no mundo virtual, conforme pode ser observado na Figura 1.



Figura 1 – Bicicleta do projeto com suporte de treino acoplado ao motor

Esse dispositivo de interação em Realidade Virtual trabalha realizando aquisição da direção do guidão da bicicleta, da velocidade da roda traseira da bicicleta e da corrente de consumo do motor provenientes de sensores instalados na bicicleta. Para simular situações de descida e subida, o dispositivo controla um motor de corrente contínua acoplado a um suporte de treino¹, como apresentado na Figura 1.

Foi utilizado um microcontrolador (PIC 16F877A) como elemento centralizador das principais funções do dispositivo de interação em Realidade Virtual do projeto e seu código-fonte pode ser obtido no sítio da revista. O microcontrolador é interligado ao PC por meio da interface de comunicação (RS232 realizado pelo CI MAX232N). O diagrama em blocos da Figura 2 mostra a estrutura do dispositivo de interação em Realidade Virtual e suas interligações.

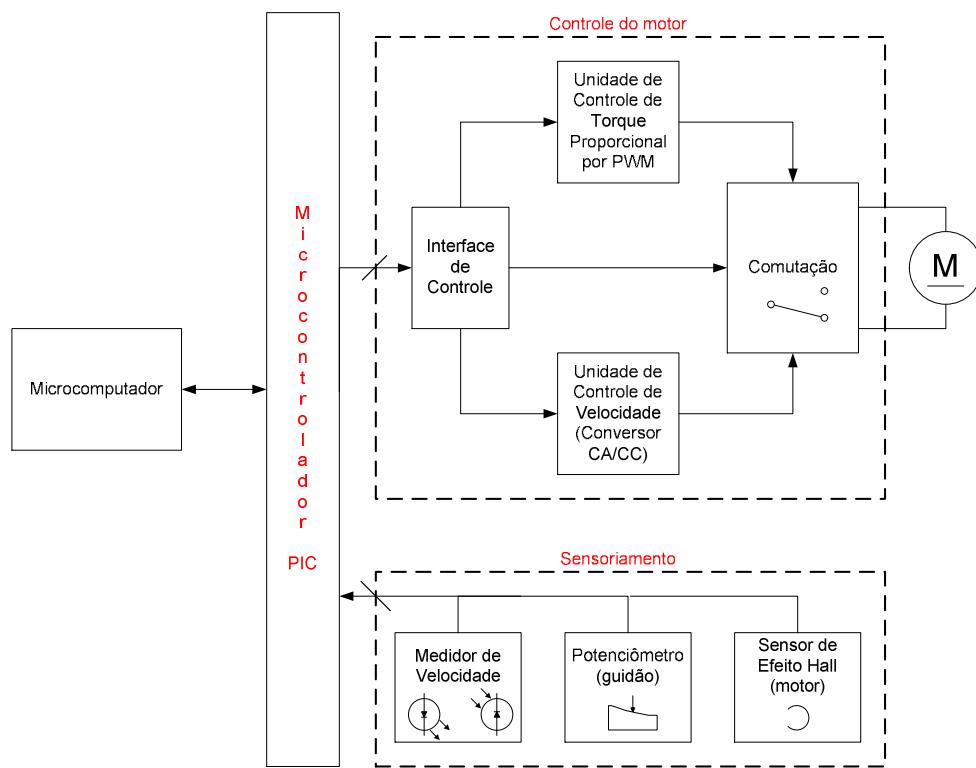


Figura 2 – Diagrama em blocos do dispositivo de interação

As informações capturadas pelos sensores são enviadas ao *engine* físico, implementado no sistema de simulação. Após a realização de todos os cálculos do *engine* físico, este envia comandos de controle do motor ao microcontrolador, como resposta ao esforço de subida ou descida.

¹ Suporte de treino da J.D. Corporation modelo JD-113 da linha TranzX.

A seguir serão explicadas as etapas de controle do motor (simulação de descidas e subidas), sensoriamento e controle digital.

1.1. Controle do Motor

Foi utilizado um motor acoplado a um suporte de treino para que se possa realizar o *feedback* de força em Realidade Virtual, ou seja, para que o usuário possa sentir maior imersão no mundo virtual no qual ele navega, com as sensações de esforço em subidas e facilidade nas descidas.

Para que fosse possível essa simulação, foi necessária a utilização de duas unidades de controle independentes: uma para subida e outra para descida. Na simulação de descida o motor gira no sentido de avanço da bicicleta e na simulação de subida ele gira ao contrário, porém com total controle de torque que reflete maior ou menor carga a ser vencida pelo usuário que está pedalando.

Unidade de Controle de Velocidade

Com o objetivo de evitar maior complexidade de projeto foi utilizada uma unidade de controle de velocidade para a simulação de descidas. A unidade escolhida foi um Conversor Estático CA/CC para controle de motores de corrente contínua, fabricado pela Motron, modelo CVE 2001, recomendado pelo fabricante, para se trabalhar com o motor 110 V_{CC} utilizado no projeto.

Unidade de Controle de Torque

A unidade de controle de torque foi uma parte fundamental desenvolvida no projeto do dispositivo de interação, totalmente projetada para a realização das simulações de subidas.

Quando se trabalha com motores de corrente contínua com escova, como o utilizado neste projeto, qualquer travamento mecânico do eixo do motor provoca grande aumento da corrente de armadura, podendo causar sua destruição. Além disso, o enorme

aumento da corrente de armadura acarreta grande aumento de torque do motor. Portanto, como na simulação de subida, o motor deve trabalhar girando reversamente em relação ao sentido natural em que o usuário pedala; se não houver um controle de torque deste motor, ele tende a consumir uma grande corrente, pois o usuário está tentando frear o eixo do motor. Daí a necessidade de se projetar uma unidade de controle de torque.

Essa unidade tem a função de manter o torque do motor, limitado a um valor desejado enviado da interface de controle. Como o torque do motor é função da corrente que nele circula, projetou-se, então, um regulador de corrente por PWM (*Pulse Width Modulation*) com o intuito de controlar o torque do motor. Dessa maneira, à medida que se deseja maior carga numa subida, aumenta-se o valor desejado de controle da unidade, obtendo-se maior torque no motor.

O circuito projetado para esta unidade é um circuito de malha fechada que possui apenas como entrada o valor desejado de torque que corresponde a uma tensão de 0 a 5 V_{CC}. O próprio circuito da unidade mede uma amostra da corrente que circula pelo motor para realizar o controle automático de torque, como se mostra no diagrama em blocos da Figura 3.

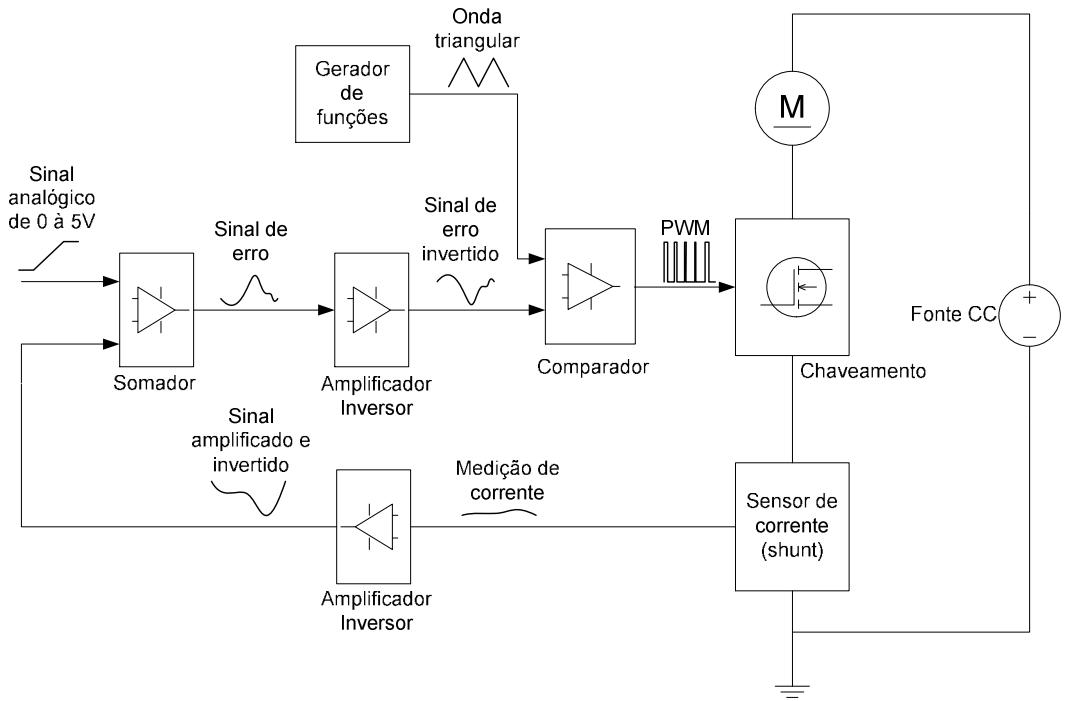


Figura 3 - Diagrama em blocos do Controle de Torque Proporcional por PWM

Interface de Controle

A interface de controle interliga as saídas do microcontrolador aos periféricos de controle para se adequar o sinal de controle e prover segurança ao próprio microcontrolador. No projeto são utilizadas as duas saídas de PWM do microcontrolador PIC 16F877A. Ambas as unidades de controle do motor são comandadas pelo PIC sem haver interligação elétrica entre elas, por segurança, provendo imunidade a ruídos, pois há apenas acoplamento óptico (CNY75A) entre os circuitos de potência e de controle digital.

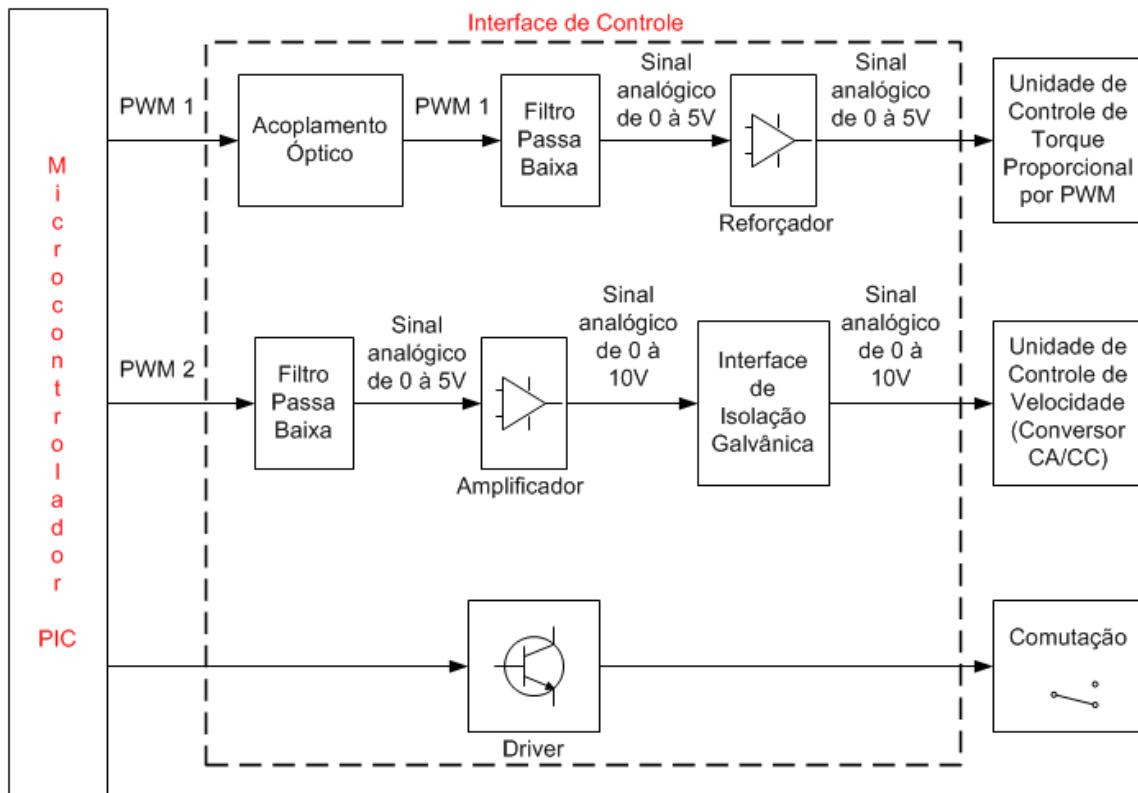


Figura 4 - Diagrama em blocos da Interface de Controle

Para a conversão dos sinais PWM em sinais analógicos são utilizados filtros passa-baixas conforme recomendações de projeto da Microchip. Na etapa de comutação, o relé, fabricado pela Finder, é acionado por um simples *driver* com transistor.

1.2. Sensoriamento

Medição de Velocidade da Bicicleta

A necessidade de se medir a velocidade da roda traseira da bicicleta exigiu a elaboração de um circuito capaz de realizar essa medida de forma rápida e sensível a pequenos movimentos do pedal. Dessa maneira, a forma mais adequada de atingir este objetivo foi a utilização de uma barreira óptica para se medir a freqüência com a qual passam os raios da roda pela barreira. O diagrama em blocos do sistema de medição de velocidade mostra-se na Figura 5.

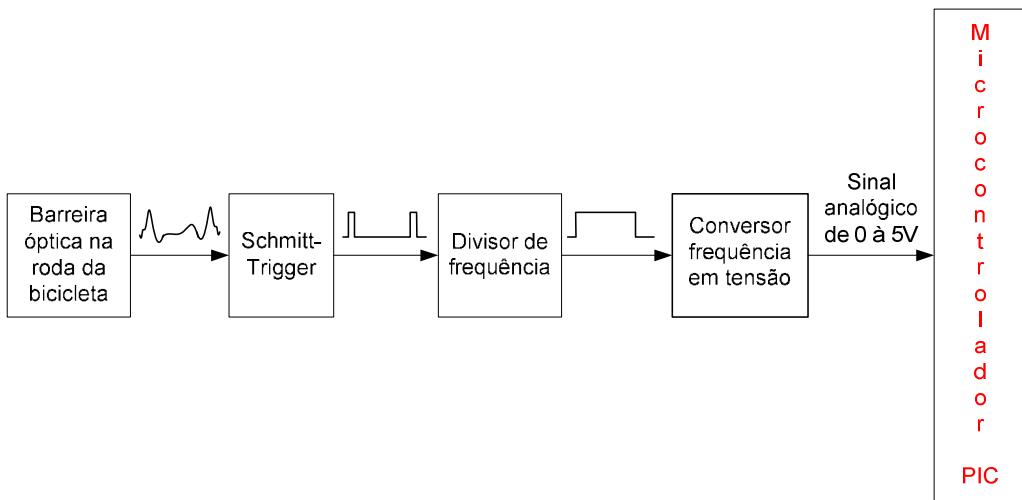


Figura 5 - Diagrama em blocos do circuito medidor de velocidade

O conversor dos valores da freqüência medida em níveis de tensão utilizado foi o LM2917N, fabricado pela National.

Direção do Guidão

Para se obter a direção do guidão da bicicleta utiliza-se um potenciômetro linear com haste. Sua base é presa ao quadro da bicicleta e em sua haste é fixada uma base cilíndrica de alumínio recartilhada com diâmetro igual ao do eixo do guidão, para se obter a relação equivalente à da movimentação do guidão. Em vez da base de alumínio, pode ser utilizado um disco de borracha.

A variação da resistência do potenciômetro implica a variação da tensão de até 5 V aplicada aos seus terminais. O sinal do cursor do potenciômetro é ligado diretamente à entrada analógica do microprocessador.



Figura 6 - Potenciômetro instalado na bicicleta

Monitoração da Corrente do Motor

A monitoração de corrente do motor tem duas funções; uma destas, o bloqueio das unidades de controle, caso haja sobrecarga de corrente. A outra função distingue a aceleração do motor da aceleração realizada pelo usuário. Quando em regime normal de trabalho, o motor opera sem carga e sua corrente nominal corresponde àquela necessária para vencer a inércia do rotor do motor. Porém, a partir do momento em que o usuário começa a pedalar, o motor passa a desempenhar o papel de gerador, fornecendo corrente ao circuito ao qual está conectado. A corrente que circula pelo motor muda de sentido e magnitude em relação à esperada em regime normal de trabalho.

A realização dessa monitoração de corrente é feita com o uso de um componente eletrônico, o sensor de corrente por Efeito Hall, fabricado pela Allegro MicroSystems, da família ACS75x que pode operar com correntes de -50 a 50 A, variando sua saída respectivamente de 0 a 5 V_{CC}. Portanto, quando a corrente que circula pelos seus terminais de entrada e saída de corrente é nula, a tensão na sua saída analógica corresponde a exatamente 2,5 V.

2. Controle Digital

O microcontrolador PIC16F877A é de essencial utilidade, pois é capaz de captar e controlar os dados dos sensores e do motor, de forma simples, já que possui várias funcionalidades embutidas no próprio dispositivo, por exemplo o conversor A/D, o

sistema de PWM e o sistema de comunicação. O programa para o microcontrolador foi desenvolvido em *assembly*.

2.1. Sistema A/D

A conversão Analógica/Digital (A/D) no PIC possui uma resolução de 10 bits para o A/D, que pode ser utilizada na sua totalidade ou não. No projeto foi utilizada a resolução total devido ao fato de o sensor de corrente possuir uma faixa pequena de variação.

A configuração do número de canais de conversão foi de três portas analógicas, usadas, respectivamente, para a leitura do sensor de corrente do motor, sensor de velocidade da roda e potenciômetro do guidão.

Para que o sistema de conversão funcione corretamente, um *clock* deve ser aplicado a ele. Cada período desse *clock* será chamado de T_{AD} , equivalente ao tempo de conversão de 1 bit.

O período T_{AD} é definido pela freqüência configurada nos bits ADCS1 e ADCS0 no registrador ADCON0. Foi utilizada a configuração 10_b ($F_{osc}/32$), devido à limitação quando se usa um cristal de 20 MHz.

No projeto, adotou-se o tempo de adequação igual a 80 μs , que resultou num tempo total de conversão $T_{conv} = 80 \mu s + 100 ns + (12 \cdot 1,6 \mu s) + (2 \cdot 1,6 \mu s) = 102,5 \mu s$. Dessa maneira, a máxima freqüência de amostragem do sistema é de $f = 9,75 kHz$.

A última configuração é a forma como o resultado será armazenado em 10 bits nos registradores de saída, ADRESL e ADRESH, respectivamente a parte baixa e a parte alta do resultado. O resultado pode ser configurado pelo *flag* ADFM do registrador ADCON1 utilizando-se a configuração justificada pela direita.

2.2. Sistema PWM

O módulo de PWM está contido num recurso do PIC. A base de tempo do PWM é o *Timer 2* do PIC. O registrador CCPRxL armazena os 8 bits mais significativos e o CCPxCON, os dois bits menos significativos. Os terminais CCPx devem ser configurados como saída utilizando-se o registrador TRISC.

A configuração final do PWM para o projeto é *prescaler* = 1, PR2 = 0xFFh e resolução máxima de 10 bits, para um cristal de 20 MHz que resulta numa freqüência de PWM de 19,53 kHz.

2.3. Sistema Comunicação

O tipo de comunicação escolhido para o projeto foi o USART (*Universal Synchronous and Asynchronous Receiver Transmitter*). O *Baud Rate* escolhido foi o de 19200 bps, para se tentar diminuir problemas de tempo de resposta para o microcomputador. A mensagem de envio ou recepção utilizada no projeto apresenta um total de 10 bits: **start bit + dado (8 bits) + stop bit**.

2.4. Fluxogramas do programa

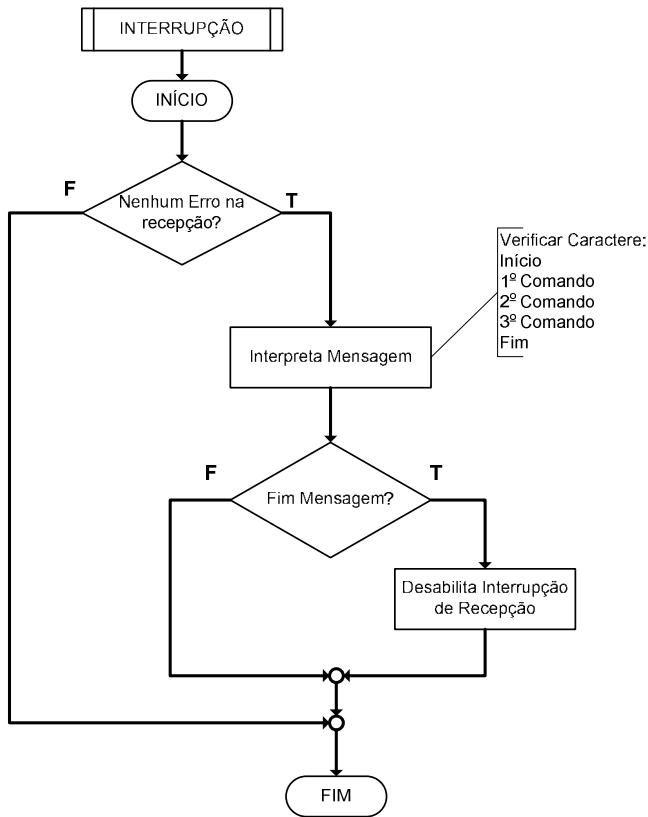


Figura 7 – Interrupção

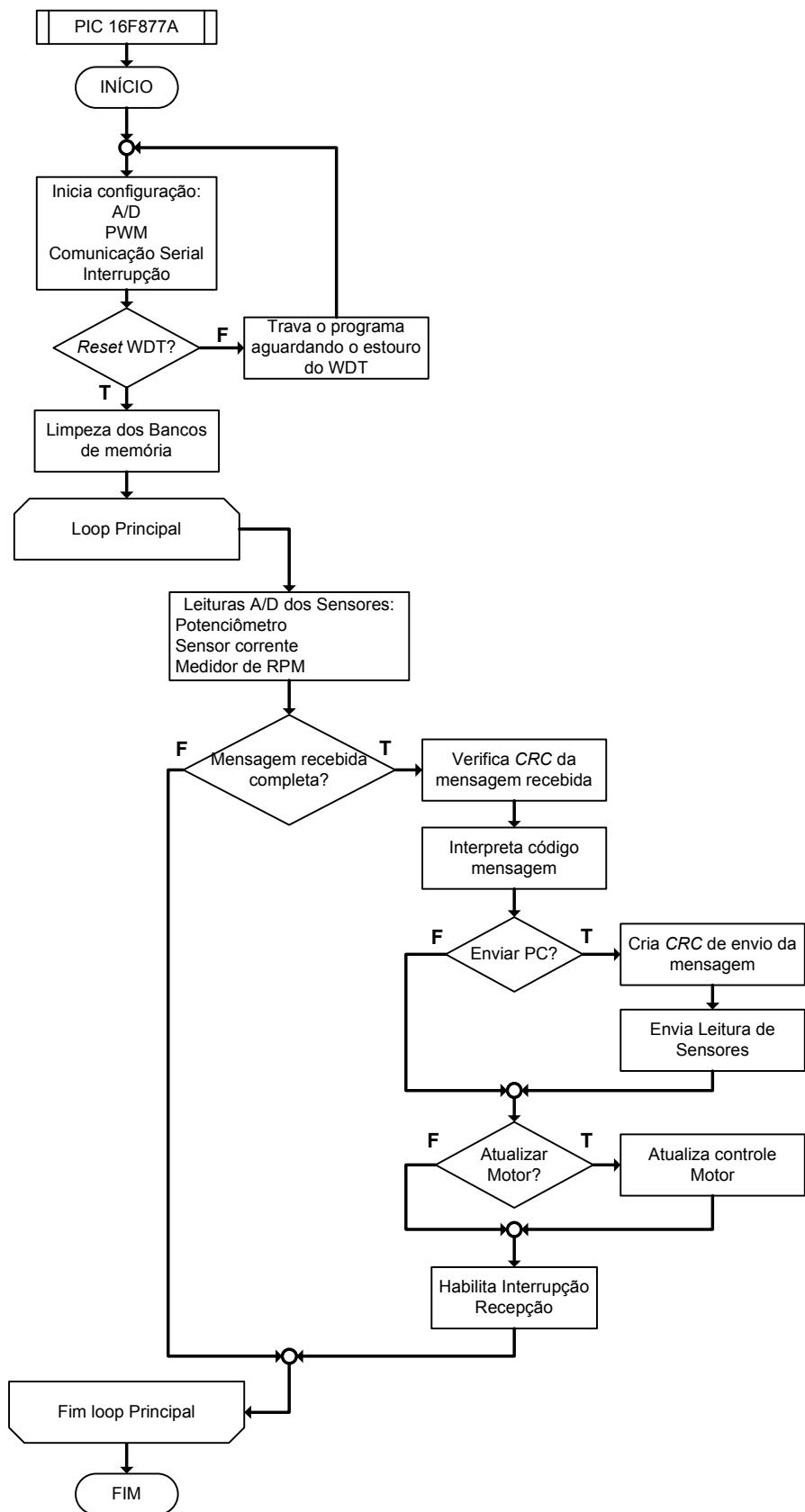


Figura 8 - Programa principal

3. Sistema de Simulação

A simulação gráfica é responsável pela apresentação do ambiente virtual ao usuário. Para isso, ela utiliza os dados advindos do sistema de controle que expressam a interação do usuário com o sistema. Como entradas do sistema são utilizadas três variáveis, vindas do sistema de controle: o ângulo do guidão, a velocidade da roda e a corrente do motor acoplada à roda. Este sistema é composto de quatro elementos principais: comunicação, conversão, simulação física e sistema gráfico que, juntos, resultam no ambiente apresentado ao usuário.

3.1. Comunicação

A comunicação é o elemento responsável pela troca de mensagens com o sistema de controle. Essa troca é feita por meio da porta serial e da comunicação RS-232. Para que a comunicação seja eficiente e segura, estabeleceu-se um padrão para as mensagens e criou-se um mecanismo assíncrono de envio e recepção delas.

3.2. Mensagens

As mensagens recebidas e enviadas são formadas de nove e cinco *bytes* conforme as Figuras 9 e 10, respectivamente.

?	Sensor de Velocidade	Sensor do Guidão	Corrente do Motor	CRC	#
Caractere de Início 1 byte	2 bytes	2 bytes	2 bytes	1 byte	Caractere de Término 1 byte

Figura 9 - Composição da Mensagem de Recepção

As mensagens recebidas do Sistema de Controle constam de seis partes:

- a) o caractere de interrogação “?” para marcar o início da mensagem;
- b) dois *bytes* que representam o valor do sensor de velocidade, número com intervalo de 0 a 1023;
- c) dois *bytes* com o valor do sensor do guidão;
- d) dois *bytes* com o valor da corrente do motor;
- e) um *byte* com o CRC;
- f) o caractere cerquilha “#” para marcar o término da mensagem.

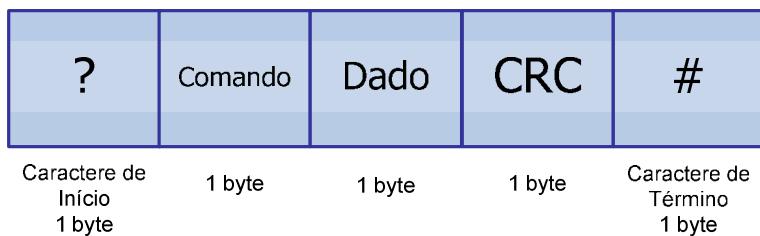


Figura 10 - Composição da Mensagem de Envio

As mensagens enviadas para o Sistema de Controle contêm cinco blocos:

- o caractere de interrogação “?” para marcar o início da mensagem;
- um *byte* com um caractere que representa um comando a ser executado pelo Sistema de Controle;
- um *byte* com o dado que será utilizado pelo Sistema de Controle para a execução do comando;
- um *byte* com o CRC;
- o caractere cerquilha “#” para marcar o término da mensagem.

3.3. Troca de Mensagens

Um mecanismo utilizado é o algoritmo do CRC nas mensagens; do inglês, *Cycle Redundancy Check*. A verificação de redundância cíclica é nada mais que um código detector de erros.

Para ser enviada uma mensagem, ela é criada e transmitida por meio da comunicação serial. Se o receptor da mensagem for o sistema de controle, ele espera receber cinco *bytes*, mas se o receptor for o sistema de simulação, ele espera os nove *bytes*. Ao receber o último *byte*, o receptor executa os seguintes passos:

- verificação do primeiro *byte* lido;
- verificação do último *byte* lido;
- recálculo do CRC e verificação do calculado contra o recebido na mensagem.

Se alguma das verificações executadas pelo receptor resultar em insucesso, a mensagem será desconsiderada.

3.4. Conversão

O bloco de conversão é responsável por transformar os valores das unidades do sistema de controle, oriundas dos conversores A/D para as grandezas reais. Todos os valores lidos estão no intervalo de 0 a 1023 e precisam ser traduzidos:

- a) a velocidade é traduzida para metros por segundo;
- b) o ângulo do guidão é traduzido para graus;
- c) a corrente do motor é traduzida para ampères.

Outra responsabilidade do bloco de conversão é a de transformar o valor que o sistema de simulação deseja impor como resposta ao usuário. Esse valor é utilizado pelo sistema de controle em seus conversores D/A. Os valores recebidos pelo sistema de controle estão no intervalo de 0 a 255 e são traduzidos de acordo com:

- a) o valor desejado da velocidade do motor para ajudar o usuário numa descida;
- b) o torque que o motor deve impor ao usuário numa subida.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo foi apresentado o desenvolvimento de um dispositivo essencial para fornecer ao usuário uma imersão mais profunda no passeio virtual.

Pudemos perceber que um componente fundamental para a construção e funcionamento do dispositivo de interação é o microcontrolador PIC 16F877A, que atua como uma interface entre o microcomputador e os periféricos. Com a sua utilização, obtivemos o desempenho esperado em termos de resposta em tempo real.

À medida que se busca maior imersão do usuário no sistema, torna-se mais complexo o desenvolvimento da interface entre o usuário e o dispositivo de navegação no ambiente virtual, aumentando o custo da construção deste sistema. Assim, seria necessário utilizar outro microcontrolador, ou até mesmo um CLP, entre outros componentes.