

UNIVERSIDADE METODISTA DE ANGOLA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL E SISTEMAS ELÉCTRICOS

TRABALHO DE FIM DE CURSO

PROJECTO ELECTROTÉCNICO II

**TEMA: CONTROLO DE VELOCIDADE DE UM MOTOR
C.C MICROCONTROLADO**

Nome dos autores:

Sebastião da Rocha Francisco N°10927

Willian David Miranda Gomes N°9577

Dissertação para Obtenção do Grau de Licenciado em Engenharia
Industrial e Sistemas Eléctricos

Orientador: Prof. Phd Armando Adan Vidal
Director do curso: Prof. Mestre Ivandro Peterson Rodrigues

Junho de 2016

DEDICATÓRIA

Esta monografia que para já, é o reflexo de uma trajectória estudantil bastante espinhosa, é dedicada com todo amor e carinho as famílias e amigos de Sebastião Francisco e de Willian Gomes.

“O verdadeiro valor do conhecimento está nas pessoas que realmente aprendem como usá-lo”.(Bel Pesce)

“O menos qualificado é menos exigente”. (Castro José Muenho)

AGRADECIMENTOS

Antes de mais, em nome de Sebastião Francisco e de William David louvamos e engratecemos a Deus pelo seu amor infinito e benções inefáveis.

Aos nossos pais pelo apoio incondicional e ensinamento a perseguir os mais nobres objectivos da vida.

Aos nossos familiares pela compreensão, pois foram muito os momentos de ausências a fim de dedicar-mo-nos no estudo e investigação deste trabalho.

Ao professor Doutor Armando Vidal pela orientação e acompanhamento ao longo desta parceria.

Aos professores Mestre Márcio Ngolo, Mestre Ivandro Rodrigues, Doutor Ivan Kolbin, Doutora Natália Palistrant, Doutor Olexander Pripik, Mestre Nsiansok Mayamona, Doutor Ricardo Queirós e aos demais professores que não pudemos citar, agradececos pelo rigor científico que contribuíram para o desenvolvimento a todos níveis da nossa vida académica.

Ao amigo Tiago pelo valor indispensável que representou para que este projecto ganhasse corpo, aos amigos Eduardo Massamba, João Quissaqui, Ana M. Miguel, Alberto Baltazar, Adilson Ribeiro, Célio Gomes, Madureira Corrêia, João Francisco.

ÍNDICE

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	12
1.1- Apresentação e organização do texto	12
1.2-Justificativa	12
1.3- Problema Técnico-Científico	13
1.4- Objectivos	13
1.4.1- Objectivos Expecíficos	13
1.5- Limitação	13
CAPÍTULO II: ESTADO DA ARTE	14
2.1- Motores Eléctricos	14
2.1.1-Motores de Corrente Contínua	14
2.1.2-Motores de Corrente Alternada	14
2.1.1.1- Motores de Corrente Contínua	15
2.1.1.1.1- Motor de CC de Íman Permanente	18
2.1.2-Dados nominais do motor cc usado no projecto	20
2.2-Sistema elétrico de potência	20
2.2.1- Controle de motores usando transistor	20
2.2.2-Controle de motores ponte H	22
2.2.2.1-Funcionamento do L298N	23
2.2.3-Regulador de Tensão	24
2.3-Mecanismos de realimentação (Sensores fotoeléctricos)	25
2.4-Microcontroladores	26
2.4.1- Características principais	26
2.4.1.1- Memória	27
2.4.1.2 -Interfaces de entrada e saída	27
2.4.1.3 -Temporizadores e Contadores	27
2.4.1.4- ULA (Unidade Lógica e Aritmética)	27
2.4.1.5- Interrupções	27
2.4.2- Arquitetura de um microcontrolador	28
2.4.2.1- Arquitetura Harvard	28
2.4.2.2- Arquitetura Von Neumann	28
2.4.2.3-Tecnologia RISC	28
2.4.2.4 -Tecnologia CISC	28
2.4.3-Microcontrolador PIC 16F877	29
2.4.3.2-Ciclo de máquina	30
2.5- PWM (modulação por largura de pulso)	31
2.6-Oscilador de cristal	32
2.7- O Display LCD	33
2.8- Bluetooth	34
2.8.1- Arquitetura Bluetooth	36
2.8.1.1-Rádio Bluetooth	36
2.8.1.2-Baseband	37

2.8.1.3-LMP (Link manager protocol -Protocolo de gerenciamento de enlace) ---	37
2.8.1.4 - HCI (Host controller interface - interface de controle de host) -----	38
2.8.1.5 - L2CAP (Logical link control and adaptation protocol-protocolo de adaptação e controle do enlace lógico) -----	38
2.8.1.6- Topologia do Bluetooth -----	39
2.8.1.6.1-Processo de estabelecimento de conexões-----	40
2.8.2-Características do módulo bluetooth usado no projecto -----	41
CAPÍTULO III- DESENHO E METODOLOGIA _____	42
3.1-Diagrama em bloco _____	42
3.2- Ferramentas Utilizadas _____	43
3.2.1- Linguagem C para Microcontrolador -----	43
3.2.2- Protocolo de comunicação RS-232 (EIA-232) -----	45
3.2.3- Proteus 8 Professional-----	45
3.2.4 – Interface Homem-Máquina -----	46
3.2.5-Fluxograma do microcontrolador -----	47
3.2.6-Fluxograma da Interface Homem-Máquina -----	48
CAPÍTULO IV-RESULTADOS E DISCUSSÕES _____	49
4.1-Etapas do Esquema Eléctrico _____	50
4.1.1-Fonte de Alimentação _____	50
4.1.2- Potenciômetro e Circuito Oscilador _____	52
4.1.3- Ponte H L298, Motor e Botões de Dados _____	53
4.1.4- Encoder _____	54
4.1.5- LCD, Leds e Módulo bluetooth _____	55
4.2-Caderno de encargo _____	57
CAPÍTULO V: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES _____	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	59
ANEXOS _____	61
Anexo 1: Sistema eléctrico _____	61
Anexo 2: Interface homem-máquina _____	61
Anexo 3: Microcontroladores diversos _____	61
Anexo 4: Bits de configuração do PIC 16F877A _____	63
Anexo 5: Ponte H L298 _____	64
Anexo 6: Módulo Bluetooth H-06 _____	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Motor de cc	15
Figura 2.2- Constituição dos motores cc	16
Figura 2.3- Motor de cc de íman permanente	18
Figura 2.4- Carcaça (estator) de um motor cc de íman permanente	18
Figura 2.5- Induzido (rotor) de um motor cc de íman permanente	19
Figura 2.6- Ligação do motor de íman permanente	19
Figura 2.7- Motor cc usado no projecto	20
Figura 2.8- Transístores de junção bipolar NPN BC547B e TIP31	21
Figura 2.9- Módulo ponte H L298N	22
Figura 2.10- Esquema de funcionamento de uma ponte H	23
Figura 2.11- Símbolo de regulador de tensão	24
Figura 2.12- Regulador de tensão LM7805	24
Figura 2.13- Regulador de tensão LM78L33	24
Figura 2.14- Ligação do regulador de tensão	24
Figura 2.15- Encoder óptico	25
Figura 2.16- Representação da organização do micorcontrolador PIC	26
Figura 2.17- Arquitectura Harvard x Arquitectura Von-Neumann	28
Figura 2.18- Pinagem do PIC16F877A	30
Figura 2.19- Ciclo de máquina do PIC	30
Figura 2.20- Sinais pwm com vários duty-cycles	31
Figura 2.21- Oscilador de quartzo	32
Figura 2.22- Display LCD 16x2	33
Figura 2.23- Pilhas de protocolo bluetooth	36
Figura 2.24- (a) Simple operação mestre-escravo	39
Figura 2.24- (b) Operação mestre com múltiplos escravos	39
Figura 2.24- (c) Operação em uma scatternet	39
Figura 2.25- Máquina de estado de um dispositivo bluetooth	40
Figura 2.26- Módulo bluetooth	41
Figura 3.1- Diagrama em bloco do projecto	42
Figura 3.2- Hierarquia de funções na linguagem C	43
Figura 3.3- Interface do compilador CCS	44
Figura 3.4- Software homem-máquina	46
Figura 3.5- Fluxograma do microcontrolador	47
Figura 3.6- Fluxograma da interface homem-máquina	48
Figura 4.1- Esquema eléctrico no proteus	49
Figura 4.2- Esquema eléctrico físico	49
Figura 4.3- Fonte de alimentação	50
Figura 4.4- Tensão analógica versus duty-cycle	51
Figura 4.5- Tensão ponte H versus duty-cycle	51
Figura 4.6- Potenciómetro e circuito oscilador	52
Figura 4.7- Velocidade de rotação em função da tensão na fonte	53

Figura 4.8- Ponte H L298, motor e botões de dados	54
Figura 4.9- Encoder vista do proteus e do protótipo	55
Figura 4.10- LCD, leds e módulo bluetooth	56
Figura 4.11- Interface homem-máquina	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Dados nominais do motor	20
Tabela 2.2- Características de famílias de transístores	21
Tabela 2.3- Módulo ponte H L298N	23
Tabela 2.4- Regulador de tensão	25
Tabela 2.5- Características do PIC 16F877A	29
Tabela 2.6- Cristal oscilador de 4 MHZ	32
Tabela 2.7- Display LCD 16×2	34
Tabela 2.8- Principais características das especificações: bluetooth, wi-fi e zigbee	35
Tabela 2.9- Características das potências utilizadas pelo bluetooth	37
Tabela 2.10- Característica do módulo bluetooth	41
Tabela 4.1- Conversão da tensão analógica-digital	51
Tabela 4.2- Velocidade de rotação em função da tensão	57
Tabela 4.3- Lista de componentes do projecto	57

LISTA DE ABREVIATURAS

ACL- Assíncronos não orientados a conexão
 BT- MODULE- Módulo Bluetooth
 C- Capacitor
 C.C – Corrente contínua
 CCS- Custom computer service
 CISC- Complex instruction set computer
 CPU- Unidade central de processamento
 DSSS- Espalhamento espectral por sequência directa
 EEPROM- Memória somente de leitura programável e apagável electricamente
 EDR- Transferência de dados avançados
 F- Frequência
 FEM- Força electro-motriz
 FHSS- Espalhamento espectral por saltos em frequência
 GFSK- Modulação gaussiana por chaveamento de frequência

HCI- Interface de controlo de host
I-Corrente eléctrica
ISM-Medicina e indústria científica
I²C- Inter-integrated circuit
KW- Kilo watt
LCD- Liquid cristal display (display de cristal líquido)
LMP- Protocolo de gerenciamento de enlace
L2CAP- Protocolo de adaptação e controle do enlace lógico
mm- milímetro
mA- mili Ampér
m- metro
mW- mili Watt
M- Binário
MHZ- Mega Hertz
Mbps- Megabit por segundo
ncps-número de ciclo por segundo
ncpm-número de ciclo por minuto
N- Velocidade
OSC- Oscilador
PC- Computador
PWM – Pulse with modulation (modulação por largura de pulso)
QoS- Qualidade de serviço
RISC- Reduced instruction set computer
SIG- Grupo de interesse especial
S- Chave ponte H
SCO- Síncronos orientados a conexão
T-Período
UFDM- Multiplexação ortogonal por divisão de frequência
U- Tensão eléctrica
ULA- Unidade lógica e aritmética
VCC- Tensão de corrente contínua

RESUMO

Com este projecto pretende-se apresentar um sistema microcontrolado que permite controlar a variação da velocidade de um motor de íman permanente de corrente contínua, visando com isto acionar uma carga, para tal faz-se uso de um motor de corrente contínua de pequeno porte com rotações em volta das 3.000 rpm, transistores do tipo NPN configurado numa drive ponte H para o chaveamento e inversão do sentido de marcha do motor, um par de dispositivos, onde o fotodíodo emite luzes e um foto-transistor receptor de infravermelho, formando o encoder que faz a leitura da captação de sinais (pulsos) do ventilador do motor, o microcontrolador recebe estes pulsos para a contagem e através da modulação por largura de pulso (pwm), faz o controlo da velocidade.

A informação dos parâmetros como velocidade, tensão, corrente, são lidos a partir do LCD e da interface homem-máquina que é um aplicativo para o efeito, para tal é necessário uma comunicação serial entre o microcontrolador e o computador, esta ligação é feita por meio de um módulo bluetooth que é usado como suporte de comunicação.

Palavras-chaves: Controlo de velocidade, motor cc , microcontrolador e comunicação bluetooth.

ABSTRACT

This project aims to present a microcontroller system that allows you to control the variation of speed of a permanent magnet motor DC, aiming with this drive a load, for it makes use of a small DC motor with rotations around 3.000 rpm, type NPN transistors configured in a drive H-bridge for switching and reversing the motor driving direction, a pair of devices, where the photodiode emits light, and an infrared receiver photo-transistor, forming the encoder that reads the signal capture (pulses) of the fan motor, the microcontroller receives these pulses to count and by pulse-width modulation (pwm) makes the speed control.

The information of the parameters such as speed, voltage, current, are read from the LCD and the man-machine interface which is an application for that purpose, for such a serial communication is needed between the microcontroller and the computer, this connection is made by via a bluetooth module is used as the communication medium.

Keywords: Speed control, dc motor, microcontroller and bluetooth communication.

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

No primeiro capítulo será explicado os elementos pré-textuais do projecto, desde a apresentação, organização do texto, justificativa, objectivos gerais e específicos, o problema que norteia a nossa atenção e a limitação que é caracterizada pela carência em termos de conteúdos bibliográficos e outros.

1.1- Apresentação e organização do texto

Este projecto está constituído por cinco capítulos nomeadamente:

1. O primeiro capítulo trata sobre a apresentação, organização do texto, justificativa, objectivos gerais e específicos, problema técnico-científico e limitação;
2. O segundo capítulo descreve o estado da arte, ou seja, faz um enquadramento técnico-científico sobre revisões bibliográficas de outros autores já que abordaram sobre o assunto e similares;
3. O terceiro capítulo faz uma abordagem sobre o desenho, metodologia e implementação adoptada para o desenvolvimento do projecto em estudo;
4. O quarto capítulo aborda a respeito dos resultados e discussões do projecto;
5. O quinto e último capítulo aborda sobre as conclusões resultantes do protótipo construído, e como não poderia deixar de ser, deixa-se uma recomendação para futuros projectos ligados a tecnologias embarcadas (electrónicas).

1.2-Justificativa

Durante a nossa jornada académica na Universidade Metodista de Angola, no curso em epígrafe, tivemos a disposição uma infinidade de conhecimentos gerais e específicos voltadas a engenharia electro-técnicas e as tecnologias de informação que cada vez mais invadem num piscar de olhos o mundo, assim sendo a nossa principal motivação é tirar proveito desses conhecimentos, aliados a nossa capacidade de criação e assim, desenvolver-se um projecto que permita fundamentalmente controlar a velocidade de rotação de um motor de corrente contínua microcontrolado adaptada as condições de Angola, onde a carência e aquisição de componentes electrónicos é um dos principais intraves, ainda assim, insuficientes para não dar-mos asas a realização deste projecto.

1.3- Problema Técnico-Científico

Como contruir um sistema de controlo de velocidade microcontrolado para um motor de corrente contínua de baixa potência que utiliza a tecnologia modulação por largura de pulso (pwm). Para a solução deste problema apresenta-se os objectivos e limitações.

1.4- Objectivos

O objectivo geral deste projecto visa o desenvolvimento de um protótipo microcontrolado que permita o controlo de velocidade dos motores de corrente contínua.

1.4.1- Objectivos Específicos

Para o pleno funcionamento do protótipo a ser construído são indispensáveis os seguintes requisitos:

1. Estudo bibliográfico em torno de conteúdos e materiais para possibilitar a análise e entendimento do estudo em causa e consequentemente a sua viabilização;
2. Utilização e adaptação de um motor de corrente contínua para satisfazer o objectivo proposto;
3. Implementar o software e hardware de um microcontrolador para o controlo;
4. Implementar um encoder (formado por um fotodíodo e um fototransistor para fins de leitura);
5. Software para criação do aplicativo da interface homem-máquina.

1.5- Limitação

Realizar um estudo desta natureza nunca é fácil pela sua especificidade, desde a obtenção dos componentes e a busca por fontes bibliográficas de escassez tremenda, infelizmente algumas lojas electrónicas que dedicam-se a venda de produtos eléctricos e electrónicos não possuem ainda capacidade de resposta na disposição, o que obriga a importar no exterior do país, o que retira algum interesse em termos de orçamento, daí a necessidade de recorrer-se em adaptações de um ou outro dispositivo.

CAPÍTULO II: ESTADO DA ARTE

O presente capítulo aborda sobre as referências bibliográficas necessárias ao entendimento técnico-científicas dos componentes e informações úteis a sua integração no protótipo em estudo.

2.1- Motores Eléctricos

No mundo de hoje, o motor eléctrico é um elemento imprescindível ao progresso. As máquinas eléctricas, nos tempos actuais, podem se considerar como parte recorrente do nosso dia-a-dia. O motor eléctrico é o mais usado de todos os tipos de motores, pois combina as vantagens da utilização da energia eléctrica: facilidade de transporte e facilidade de comando, sendo, para além disso trata-se de uma máquina de construção simples, alto rendimento e baixo custo [1].

Os motores eléctricos possuem praticamente os mesmos elementos principais, contudo com diferenças importantes entre eles. Em alguns casos a bobina da armadura está no estator e não no rotor, o mesmo acontece com a bobina de campo. Outros não possuem escovas, outros ainda não possuem bobina de armadura, e assim por diante.

Porém, os nomes dados aos componentes da máquina são gerais e valem para a maioria das máquinas eléctricas [1].

De forma geral os motores eléctricos são classificados como:

2.1.1-Motores de Corrente Contínua

- Motor de c.c convencional;
- Motor de c.c de íman permanente;
- Motor de c.c sem núcleo;
- Motor de c.c sem escovas (Brushless).

2.1.2-Motores de Corrente Alternada

- Motores síncronos;
- Motores assíncronos;
- Motores especiais;

- Servomotores;
- Motores de passo.

Todos os motores apresentam as suas principais características eléctricas escritas sobre o mesmo ou numa placa de identificação. Os principais dados eléctricos são: tipo de motor, tensão nominal, corrente nominal, frequência, potência mecânica, velocidade nominal, esquema de ligação, grau de protecção, temperatura máxima de funcionamento e factor de potência [1].

2.1.1.1- Motores de Corrente Contínua

A máquina eléctrica de CC (corrente contínua) foi a primeira máquina eléctrica a ser utilizada industrialmente. A razão para tal deve-se ao facto de no início da distribuição da energia eléctrica, a mesma ser feita em corrente contínua.

Os dois tipos de máquinas eléctricas rotativas de corrente contínua, sob o aspecto de transformação de energia são: o gerador de corrente contínua, geralmente designado por dínamo, e o motor de corrente contínua. Nestas máquinas dá-se uma transformação da energia mecânica em eléctrica (dínamo) ou da eléctrica em mecânica (motor), através do aproveitamento dos fenómenos electromagnéticos.

Na sua constituição as máquinas rotativas de corrente contínuas são idênticas, e o princípio de funcionamento dos dínamos é semelhante ao dos motores. Na realidade não existe uma separação nítida entre as duas máquinas, pelo que o funcionamento da máquina rotativa como dínamo ou como motor só depende das condições em que está a trabalhar. Diz-se que o dínamo e o motor são máquinas reversíveis, pois para a mesma máquina se lhe fornecermos energia mecânica é capaz de nos dar energia eléctrica e se lhe fornecermos energia eléctrica poderemos obter energia mecânica [2].

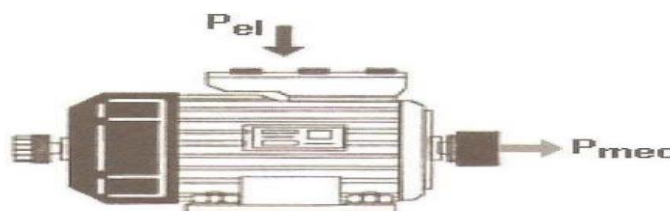


Figura 2.1 - Motor de CC [2]

Actualmente, existem diferentes tipos de motores alimentados com corrente contínua, vão desde os pequenos, para os mais variados accionamentos, até aos motores convencionais, utilizados em accionamentos industriais, com potências que podem chegar às várias centenas de KW. O motor de CC convencional é uma máquina que tem como principal característica o controlo preciso, entre amplos limites, da velocidade. Actualmente, esta regulação é realizada com controladores electrónicos [2].

➤ **Vantagens dos motores eléctricos CC face ao motor CA**

- Sem perdas significativas;
- Sem resultado de qualquer elemento poluente;
- Facilidade de comando;
- Construção Simples;
- Alto rendimento;
- Baixo Custo.

➤ **Desvantagens dos motores CC face aos motores CA**

- Maior custo para a mesma potência;
- Maior manutenção;
- Não podem ser alimentados directamente da rede.

➤ **Constituição dos motores CC**

Numa máquina rotativa deste tipo existem fundamentalmente circuitos eléctricos, circuitos magnéticos e órgãos mecânicos.

Do ponto de vista electromagnético, uma máquina eléctrica rotativa é constituída fundamentalmente por duas partes distintas; uma designa-se por indutor e outra de induzido. No indutor, também designado por campo, é gerado o campo magnético, e no induzido, também denominado por armadura, processam-se fenómenos electromagnéticos. Uma das partes é fixa e a outra é móvel. A parte fixa dá-se o nome de estator e à parte móvel o nome de rotor. Noutras máquinas, a disposição pode ser ao contrário [2].

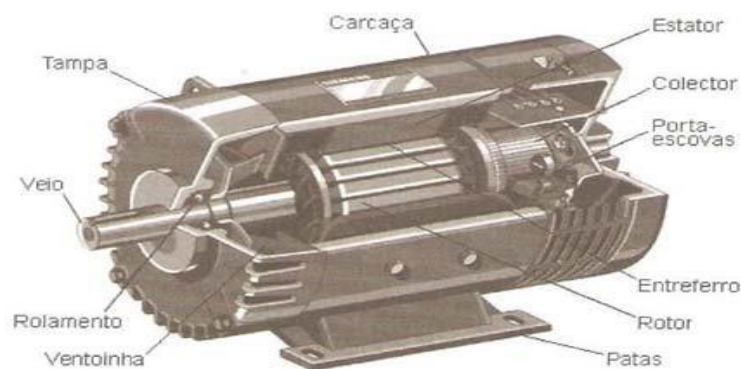


Figura 2.2 - Constituição dos motores de CC [2]

Os circuitos magnéticos são constituídos por material ferromagnético e destinam-se a dar passagem ao fluxo magnético; Para ser criado um grande fluxo, necessário ao desenvolvimento da f.e.m., deverá a relutância do circuito magnético ser

pequena, usando-se, sempre que possível, materiais ferromagnéticos de elevada permeabilidade magnética;

- **Carcaça:** é constituída por material ferromagnético de fundição não necessitando de ser folheada uma vez que o fluxo é normalmente constante ou pouco variável.

As perdas por histerese são dependentes de fluxos variáveis, como a alimentação do estator, e é efectuada por tensão contínua ou ímanes permanentes, considera-se $F=0$. Considerando o cálculo das perdas por histerese dado aproximadamente por $P=K \times F \times B$, Verifica-se a não necessidade de materiais não folheados.

- **Núcleo Polar:** ligados à carcaça estão os núcleos dos pólos que também podem ser maciços ou folheados consoante os tipos de variação de fluxo que são de prever. Pode ser constituído pelo empilhamento de chapas de ferro macio cortadas com a forma do núcleo e da expansão polar, ou por material ferromagnético não chapeado no caso de só a expansão polar ser chapeada.
- **Bobinas Indutoras:** em torno do núcleo são montadas bobinas de fio de cobre alimentadas a corrente contínua e destinadas a criar o campo indutor.
- **Expansões polares:** são montadas sobre o núcleo dos pólos, no topo das bobinas indutoras. Estas são sempre folheada, usando-se no seu fabrico chapas ferromagnéticas normalmente com espessura de 0,5mm.

➤ **Curvas Características dos Motores CC**

No estudo dos dínamos a velocidade é tomada como constante, porque na realidade não é uma grandeza dependente do dínamo e a tensão e corrente variáveis a controlar.

Nos motores a tensão é constante, pois é a tensão da rede à qual está ligado o motor, e a velocidade é uma das variáveis que interessa conhecer. Outra grandeza de grande interesse é o binário.

Assim as características dos motores irão relacionar grandezas eléctricas, geralmente a corrente absorvida I , com grandezas mecânicas (velocidade N , ou binário M), sendo por isso conhecidas por características electromecânicas (da velocidade $N(I)$ ou do binário $M(I)$), ou as duas grandezas mecânicas, $N(M)$, sendo por isso designada por característica mecânica.

Em resumo, para os dínamos:

- Característica em Vazio ;
- Característica em carga .

Para os motores:

- Característica da Velocidade (N com I e U constante) .

Dentre a infinidade de motores e máquinas eléctricas existentes, este estudo debruçará apenas sobre o estudo dos motores de corrente contínua com particular destaque ao de íman permanente .

2.1.1.1.1- Motor de CC de Íman Permanente

O motor de íman permanente (Permanent Magnet DC Motor) é normalmente fabricado para pequenas potências. O seu rotor possui uma constituição idêntica ao do motor de CC convencional, sendo o seu estator significativamente diferente, uma vez que não possui qualquer enrolamento. O campo magnético indutor é criado por ímans permanentes [1].



Figura 2.3- Motor de CC de íman permanente [1]

O indutor é constituído por dois ou mais ímanes permanentes, sendo o induzido constituído por um núcleo ferromagnético, tipicamente, com 3, 5 ou 7 pólos e respectivos enrolamentos. A carcaça do motor completa o circuito magnético ver (fig.2.4 e 2.5).



Figura 2.4- Carcaça (estator) de um motor CC de ímanes permanentes [1]



Figura 2.5 - Induzido (rotor) de um motor CC de ímanes permanentes [1]

O funcionamento do motor de íman permanente é idêntico ao motor de CC convencional. A diferença está na forma de se gerar o campo magnético do indutor; em vez de ser gerado pela corrente eléctrica, como é o caso dos motores de CC convencionais, é gerado por ímanes permanentes. Não possuindo estes motores enrolamentos no indutor, para sua colocação em funcionamento basta ligar os dois condutores que ligam os enrolamentos do induzido, através do conjunto escovas/colector (fig.2.6).

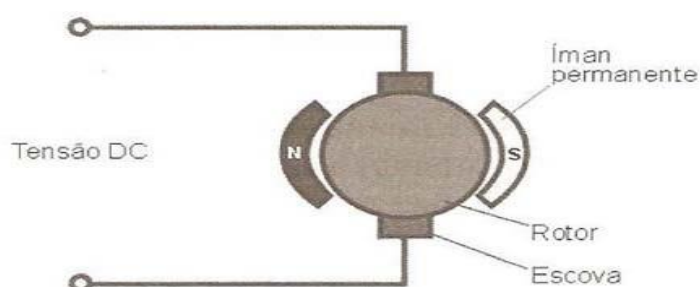


Figura 2.6 - Ligação do motor de íman permanente [1]

Alimentando o motor, ele roda num determinada sentido; invertendo a polaridade da tensão de alimentação, ele roda em sentido contrário. Aumentando ou diminuindo a tensão de alimentação, a velocidade do motor aumenta ou diminui, respectivamente.

Os motores de CC de íman permanente são de fácil construção e por isso têm baixo preço, são utilizados, em accionamentos de baixa potência nomeadamente:

- Pequenos electrodomésticos;
- Carros eléctricos;
- Comboios eléctricos;
- Mecanismos robóticas sobretudo para accionamento de cargas de pequeno porte;
- Impressoras eléctricas;
- Massageador eléctricos, etc.

2.1.2-Dados nominais do motor cc usado no projecto

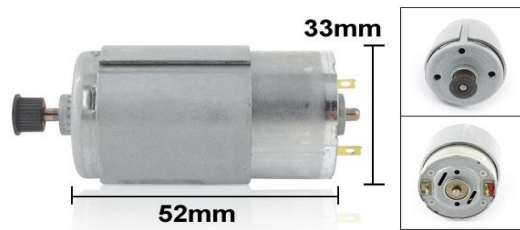


Figura 2.7-Motor cc usado no projecto [3]

Descrição do motor	
Marca	CM 751-60019
Tipo	Micro-motor
Certificado	CE
Dente de engrenagem diâmetro	0.2 mm
País de fabricação	China
Material	Metal
Peso líquido	156 g
Conteúdo	1 motor cc engrenado
Tamanho do corpo	33x52 mm/1,3 "x 2" (D * L)
Tensão	DC 12 V-48 V
Velocidade	3000-12000 rpm
Engrenagem tamanho	10x8x6 mm/0,4 "x 0,3" x 0,24 "(Max. D * D * H)
Engrenagem dente passo	1 mm/0,04"

Tabela 2.1- Dados nominais do motor [3]

2.2-Sistema eléctrico de potência

Chamamos de sistema eléctrico de potência aos componentes que usam a tensão para uma finalidade específica no protótipo, tais componentes são os transístores, a ponte H, o regulador de tensão, os capacitores, as resistências, etc [5].

2.2.1- Controle de motores usando transistor

Um jeito simples de controlar motores é utilizando um transistor. Utilizando um transistor de junção bipolar como um amplificador na configuração emissor-comum pode-se controlar cargas indutivas utilizando tensões e correntes maiores que o microcontrolador pode fornecer [5].



Figura 2.8- Transistores de Junção Bipolar NPN BC547B e TIP31 [5]

Com estes transistores num circuito devidamente construído possibilita o controle da velocidade do motor utilizando PWM, porém não permite o controle da direção de rotação do motor.

Devem-se tomar alguns cuidados ao utilizar-se o transistor, o díodo deve ser colocado em paralelo com o motor polarizado inversamente para evitar ruídos criados por cargas indutivas, invertendo a polaridade do díodo, o circuito estaria em curto-circuito, outro cuidado ainda deve ser com a corrente que o modelo do transistor suporta, caso uma corrente alta passe pelo transistor, ele pode aquecer e queimar [5].

Temos então as famílias independentes e as famílias que foram cedendo seus lugares a tipos mais modernos.

A família que nos interessa em especial é a que começou com os transistores BC107, BC108 e BC109 e que culminou com os BC547, BC548 e BC549 para a série NPN.

Para a série PNP a família começou com os BC177, BC178 e BC179 e atualmente está nos BC557, BC558 e BC559.

Veja que numa família temos três tipos que basicamente se diferenciam pelo ganho e pela tensão máxima de trabalho (tensão máxima entre coletor e emissor quando a base se encontra desligada ou V_{ceo}).

Tensão máxima entre coletor e emissor (V_{ceo})		
NPN	PNP	V_{ceo} (V)
BC547	BC557	50
BC548	BC558	30
BC549	BC559	30
Ganho		
NPN	PNP	hfe
BC547	BC557	75 - 800
BC548	BC558	75 - 800
BC549	BC559 (*)	200 - 800

Tabela 2.2- Características de famílias de transistores [6]

(*) na verdade entre 110 e 800

A corrente máxima de coletor destes transistores é 100 mA e todos dissipam 500 mW. Além do ganho maior, os tipos de final 9 se caracterizam por terem um baixo nível de ruído.

O que ocorre é que o próprio transistor, quando usado como amplificador de sinais muito fracos introduz um ruído devido a agitação térmica dos átomos do material semicondutor.

Esse ruído implica num "chiado" semelhante ao que temos num rádio fora de estação. Os tipos de final 9 tem uma característica de menor nível deste ruído.

Os BCs podem ser usados numa infinidade de aplicações práticas.

Na nomenclatura europeia para semicondutores, a letra C indica que eles são transistores de uso geral e o B indica que eles são de silício [6].

2.2.2-Controle de motores ponte H

A ponte H é um outro circuito que possibilita o controle dos motores de corrente contínua. Com a ponte H, podemos controlar não só a velocidade do motor, mas também o sentido de rotação do motor. Para controle de velocidade utilizam-se os pinos PWM do microcontrolador assim como no transistor de junção bipolar. Com isso, será possível ter controle sobre a movimentação no protótipo criado. Neste projecto, utilizaremos um módulo com o CI L298N [10].



Figura 2.9- Módulo Ponte H L298N [10]

A ponte H tem esse nome pois o seu circuito tem um formato semelhante ao de uma letra H. A ponte H da figura 2.10, por exemplo, possui quatro chaves (S1, S2, S3 e S4), que podem ser ativadas aos pares (S1 e S3) ou (S2 e S4). Para cada configuração, a corrente que fluirá pelo motor terá um sentido, o que fará com a rotação seja no sentido horário ou anti-horário. Caso nenhuma chave seja ativada, o motor permanecerá desligado.

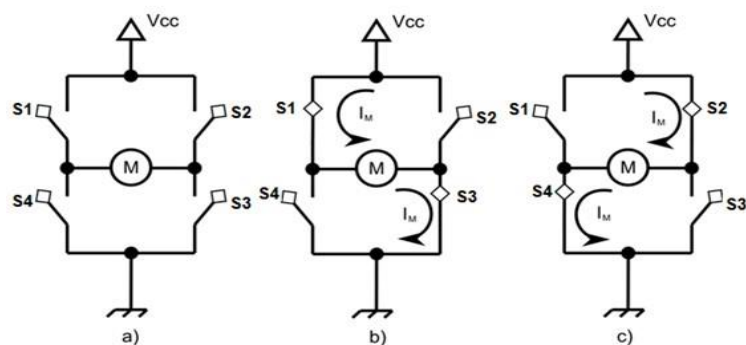


Figura 2.10- Esquema de funcionamento de uma Ponte H [10]

2.2.2.1-Funcionamento do L298N

Este Driver Ponte H L298N possui um regulador de tensão embutido. Quando o driver está operando entre 6-35V, este regulador disponibiliza uma saída regulada de +5V no pino (5v) para um uso externo, podendo alimentar por exemplo outro componente eletrônico. Portanto não alimente este pino (5v) com +5V do microcontrolador se estiver controlando um motor de 6-35V e jumper conectado, isto danificará a placa. O pino (5v) somente se tornará uma entrada caso esteja controlando um motor de 4-5.5V (sem jumper), assim poderá usar a saída +5V do microcontrolador.

Em (6-35V) e (GND) será conectado a fonte de alimentação externa quando o driver estiver controlando um motor que opere entre 6-35v. Por exemplo se estiver usando um motor dc 12V, basta conectar a fonte externa de 12V neste pino e (GND) [9].

Módulo Ponte H L298N	
Especificações:	- Tensão de Operação: 4~35v - Chip: ST L298N - Controle de 2 motores DC ou 1 motor de passo - Corrente de Operação máxima: 2A por canal ou 4A max - Tensão lógica: 5v - Corrente lógica: 0~36mA - Limites de Temperatura: -20 a +135°C - Potência Máxima: 25W - Dimensões: 43 x 43 x 27mm - Peso: 30g

Tabela 2.3- Módulo Ponte H L298N [10]

2.2.3-Regulador de Tensão

Como o nome já diz, o regulador de tensão serve para manter a tensão num nível específico. Normalmente circuitos eletrônicos necessitam de um nível específico de tensão para seu correto funcionamento, principalmente circuitos digitais. Os circuitos integrados reguladores de tensão da série 78XX são os mais comuns e amplamente utilizados em circuitos, o XX indica a tensão fixa de saída, um 7805 tem a tensão de saída fixa em 5Volts, a tensão de entrada tem que ser maior pelo menos 2 Volts da tensão de saída e o valor máximo de entrada é de 35 Volts e a corrente máxima fornecida é de 1 Ampér [13].

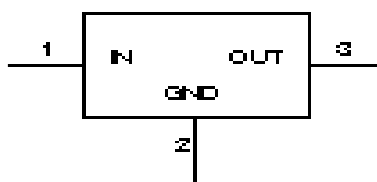


Figura 2.11- Símbolo regulador de tensão [13]

Como a tensão fornecida pelo adaptador de tensão é maior do que a tensão suportada pelo microcontrolador, é usualmente utilizado um regulador de tensão. O regulador tem um funcionamento simples: ele recebe uma tensão contínua maior que a tensão especificada na entrada e fornece uma tensão de amplitude diferente na saída.

Como a maior parte dos microcontroladores funciona a 5V ou 3.3V recomenda-se reguladores com essa especificação. Um modelo de regulador de tensão de 5V é o LM7805 e de 3.3V temos o LM78L33.



Figura 2.12- Regulador de Tensão LM7805 [13] ;



Figura 2.13- Regulador de Tensão LM78L33 [13]

Na figura 2.14 está o esquema de ligação do regulador para que a tensão de saída seja constante.

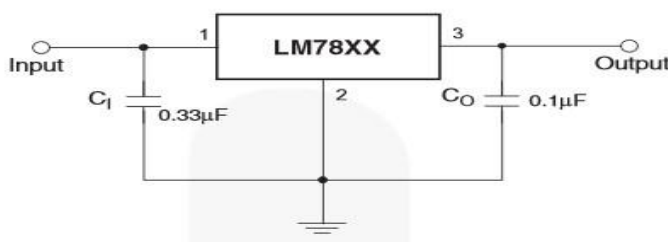


Figura 2.14- Ligação do regulador de tensão [13]

Regulador de tensão 7805	
Características	-Regulador de tensão 5v; -Circuito integrado 7805; -Ideal para projetos eletrônicos; -Aplicado comumente em placas de circuito impresso;
Especificações:	-Tensão de entrada: dc 7~20V; -Tensão de saída: dc 5V; -Corrente máxima: 1A; -Regulador 7805-5.0V;

Tabela 2.4- Regulador de tensão [13]

2.3-Mecanismos de realimentação (Sensores fotoelétricos)

Para garantir que o motor trabalhe com a velocidade desejada, podem ser utilizados mecanismos de realimentação, que transformam a velocidade do motor em sinais que podem ser capturados e interpretados pelo microcontrolador que aciona os motores, de modo a formar uma malha fechada de controle.

Baseiam-se na transmissão e recepção de luz infravermelha (invisível ao ser humano), que pode ser refletida ou interrompida por um objeto a ser detectado. Os fotoelétricos são compostos por dois circuitos básicos: um responsável pela emissão do feixe de luz, denominado transmissor, e outro responsável pela recepção do feixe de luz, denominado receptor [9].

O transmissor envia o feixe de luz através de um LED, que emite flashes, com alta potência e curta duração, para evitar que o receptor confunda a luz emitida pelo transmissor com a iluminação ambiente. O receptor é composto por um fototransistor sensível a luz, que em conjunto com um filtro sintonizado na mesma frequência de pulsação dos flashes do transmissor, faz com que o receptor compreenda somente a luz vinda do transmissor.

O encoder óptico é sem dúvida o mecanismo de realimentação mais utilizado, seu princípio de funcionamento é bem simples e consiste em um disco com diversos furos em sua periferia, onde de um lado é colocado um led emissor de infravermelho, e do outro um fototransistor, cada vez que um furo passa entre o led e o foto-transistor, este entra em condução e gera um sinal que pode ser interpretado pelo microcontrolador [9].

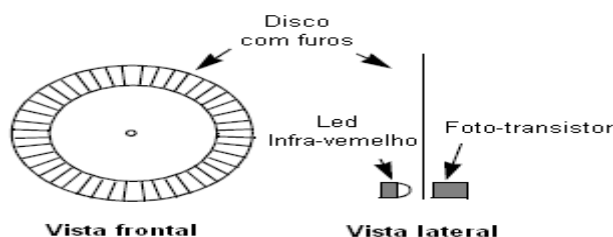


Figura 2.15 - Encoder óptico [9]

Este tipo de encoder é caracterizado por sua resolução, que corresponde ao número de furos, ou de pulsos por revolução que ele é capaz de fornecer. Um encoder como este pode ser montado com componentes comuns, ou encontrado já pronto, especificamente para o motor a ser utilizado, o que confere muita facilidade à sua utilização. Encoders comerciais são encontrados com resoluções entre 16 e 1024 pulsos por revolução [9].

2.4-Microcontroladores

Um microcontrolador é um dispositivo eletrônico que contém um microprocessador, memórias com funções de leitura e escrita, interfaces de entrada e saída bem como diversos periféricos úteis no desenvolvimento de sistemas embarcados como: temporizadores, comparadores, geradores de clock, conversores analógico/digital e também conversores digital/analógico. Em regra geral microcontroladores contém uma grande quantidade de periféricos internos reduzindo, assim, a necessidade de utilização de muitos componentes externos. Essa é uma de suas principais diferenças em relação aos microprocessadores que não costumam ter periféricos em uma única pastilha, embora tenham capacidade de processamento maior [15].

Microcontroladores são computadores de propósito específico. Eles possuem tamanho reduzido, baixo custo e baixo consumo de energia. Devido a esses fatores há diversos segmentos, que os utilizam, tais como a indústria automobilística, de telecomunicações, de brinquedos, de eletrodomésticos, de eletroeletrônicos, bélica, etc. A programação de um microcontrolador pode ser feita utilizando linguagens como Assembly, C, Basic, Pascal, entre outras. Após o programa ser compilado e montado em linguagem de máquina ele é transferido ao microcontrolador utilizando algum gravador compatível com o modelo [15].

2.4.1- Características principais

A Figura 2.16 mostra uma representação, em alto nível, da organização de um microcontrolador PIC. Essa figura apresenta módulos de memória, CPU, temporizadores, interfaces de entrada e saída.

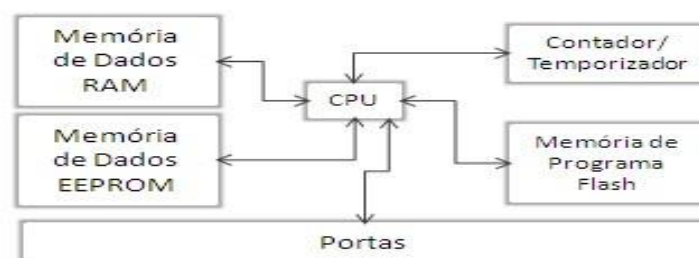


Figura 2.16- Representação da organização do microcontrolador PIC [15]

2.4.1.1- Memória

A memória é um dos componentes principais tanto na arquitetura Von Neumann quanto na Harvard, podemos dividi-la em duas categorias: memória de programa e memória de dados.

A memória de programa é onde são carregados os programas em execução e nela os programas podem gerenciar comunicação de entrada e saída, executar instruções, etc.

A memória de dados é utilizada para o armazenamento de resultados e dados que a CPU deve executar.

2.4.1.2 -Interfaces de entrada e saída

As interfaces de entrada e saída são a forma de comunicação que o microcontrolador possui para comunicação com periféricos externos, e assim expandir suas funcionalidades, possibilitar interação com usuário, e até controlar outros dispositivos eletrônicos. Essas interfaces podem utilizar transmissão serial ou paralela.

2.4.1.3 -Temporizadores e Contadores

Os temporizadores são programados por software e podem operar independente dos demais sistemas do chip. O funcionamento deles é controlado por registradores internos. São utilizados normalmente para retardos, geração de pulsos, entre outras rotinas onde há uma necessidade de um controle temporal ou de uma contagem.

2.4.1.4- ULA (Unidade Lógica e Aritmética)

A ULA está presente em todos os microprocessadores. Ela contém circuitos destinados a realizar funções de cálculo e manipulação de dados durante a execução de um programa. A ULA de um microcontrolador funciona de forma análoga a ULA de um microprocessador.

2.4.1.5- Interrupções

Interrupção é a forma na qual permite ao microcontrolador interceptar eventos externos e internos (exemplo: divisão por zero e overflow) ao programa em execução. Quando uma interrupção é ativada ela interrompe o fluxo atual do programa em execução e uma sub-rotina pode ser executada. Após a execução dessa sub-rotina específica, e caso seja possível, retorna-se para execução normal do programa.

2.4.2- Arquitetura de um microcontrolador

2.4.2.1- Arquitetura Harvard

O microcontrolador PIC utiliza arquitetura Harvard, enquanto boa parte dos demais microcontroladores apresenta a arquitetura Von-Neumann []. A arquitetura Harvard se difere da Von Neumann por possuir duas memórias diferentes e separadas: uma de dados e uma de programa, que são conectadas por barramentos distintos, sendo um de dados e outro de instruções. A arquitetura Harvard, logo, permite o uso de tamanhos diferentes de barramento. Em microcontroladores PIC, o barramento de dados é de 8 bits, enquanto o de instruções pode ser 12, 14 e 16 bits [15].

2.4.2.2- Arquitetura Von Neumann

A arquitetura Von Neumann é caracterizada pelo conceito de programa armazenado na memória, que consiste em armazenar seus programas no mesmo espaço da memória de dados. A máquina proposta pela arquitetura de Von Neumann deve possuir os seguintes componentes: memória, ULA, processador, unidade de controle e diversos registradores. As diferenças entre as arquiteturas utilizadas em microcontroladores podem ser visualizadas na figura 2.17 [15].



Figura 2.17- Arquitetura Harvard x Arquitetura Von-Neumann [15]

2.4.2.3-Tecnologia RISC

Os PICs utilizam a tecnologia RISC (Reduced instruction set computer – Computador com conjunto Reduzido de Instruções) e possui um conjunto reduzido de instruções, cerca de 35 no total. Isso faz com que o programador deva ter mais habilidade para elaborar suas próprias funções básicas [15].

2.4.2.4 -Tecnologia CISC

Na maioria dos casos microcontroladores baseados em arquitetura Von Neumann utilizam tecnologia CISC (Complex instruction set computer - computador com conjunto complexo de instruções). Ao contrário dos microcontroladores de tecnologia RISC, eles podem possuir um conjunto de instruções vasto, em médias

mais de cem instruções. Isso implica que muitas instruções já estão implementadas por padrão, facilitando, assim, a tarefa do programador .

Existem vários microcontroladores que podem ser usados num projecto desta natureza, entre os mais comuns no mercado estão os microcontroladores PIC da Microchip, placas controladoras da Texas Instruments como o MSP430 ou o TivaC (Baseado em um microcontrolador ARM M4), Arduino (baseado em microcontroladores da Atmel), Raspberry Pi, BeagleBone e vários outros

Um dos motivos para escolha da família PIC é devido ao fato que todos os modelos possuem um conjunto de instruções bem similares e preservam muitas semelhanças entre suas características básicas. Sendo assim, utilizar o PIC 16F877A, torna sua portabilidade para outros modelos PIC uma tarefa bem simplificada.

A Figura 2.18 mostra a pinagem do microcontrolador PIC 16F877A. Ela apresenta em destaque as portas do dispositivo. Quando o dispositivo é habilitado, esses 33 pinos têm a funcionalidade de interface de entrada e saída para propósito geral [15].

2.4.3-Microcontrolador PIC 16F877

Características	PIC16F877A
Frequência de Operação	DC à 20MHz
Memória de Programa	8192 bytes
Memória de dados RAM	368 bytes
Memória de dados EEPROM	256 bytes
Terminais de I/O	33
Timers	2 de 8 bits e 1 de 16 bits
CCP	2
ECCP	0
Comunicação	SPI, USART , I2C
Comparador	2
Conversor AD	8 canais de 10 bits cada

Tabela 2.5- Características do PIC16F877 [16]

Um dos motivos para escolha da família PIC é devido ao fato que todos os modelos possuem um conjunto de instruções bem similares e preservam muitas semelhanças entre suas características básicas. Sendo assim, utilizar o PIC 16F877A, torna sua portabilidade para outros modelos PIC uma tarefa bem simplificada [32]. A Figura 2.18 mostra a pinagem do microcontrolador PIC 16F877A. Ela apresenta em

destaque as portas do dispositivo. Quando o dispositivo é habilitado, esses 33 pinos têm a funcionalidade de interface de entrada e saída para propósito geral.

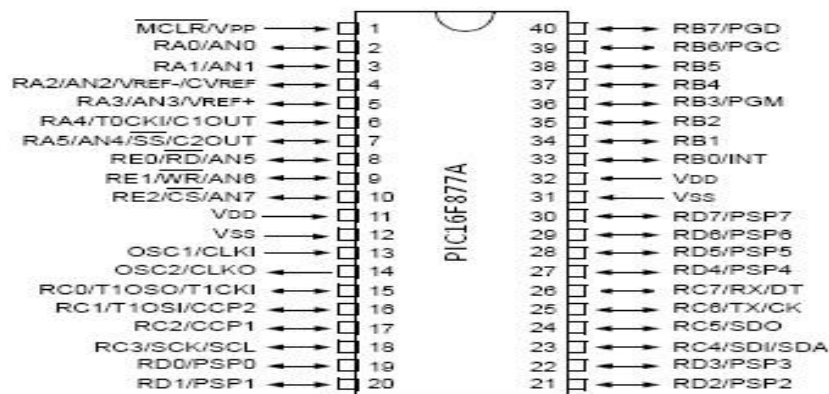


Figura 2.18- Pinagem do PIC16F877A [16]

Veja todas as opções de configuração dos bits de controle para o microcontrolador PIC16F877A a seguir:

2.4.3.2-Ciclo de máquina

A entrada de clock para o microcontrolador, seja ela interna ou externa, é dividida internamente por 4, gerando, assim, 4 fases (Q1, Q2, Q3 e Q4). Internamente, o contador de programa (program counter :PC) é incrementado na fase Q1 onde a instrução é localizada na memória de programa e carregada no registro de instrução na fase Q4, então a instrução é decodificada e executada durante os ciclos Q2, Q3 e Q4.

Frequência de operação:
$$Freq = \frac{20\text{ MHz}}{4} = 5\text{ MHz}$$

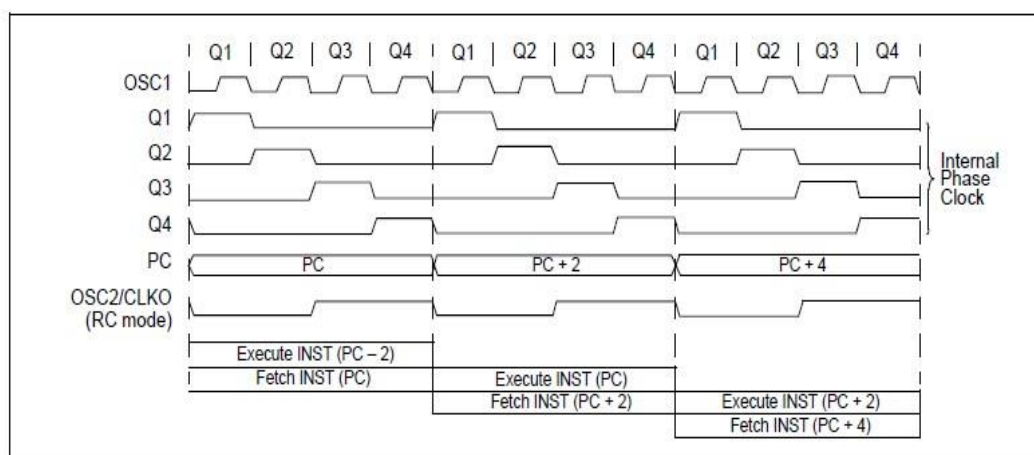


Figura 2.19- Ciclo de máquina do PIC [16]

Ciclo de máquina:

$$Ciclo = \frac{1}{Freq} = \frac{1}{5\text{ MHz}} = 0.2\text{ us}$$

2.5- PWM (modulação por largura de pulso)

A modulação por largura de pulso (PWM) é uma poderosa técnica para controlar circuitos analógicos a partir de circuitos digitais. O PWM é utilizado num vasto campo de aplicações, como por exemplo: controlo de motores, medidas de temperaturas, comunicações, etc.

Um sinal analógico é um valor que varia no tempo, com resolução infinita na magnitude. Uma pilha de 9 Volts é um exemplo disso, a sua saída não é exactamente 9V, varia com o tempo. Um circuito analógico, por mais intuitivo e simples que seja, nem sempre é atractivo economicamente, nem prático, e tende a “desafinar” com o passar do tempo, devido ao desgaste de um ou outro componente.

Os circuitos analógicos tem tendência a aquecer, pois o calor dissipado por cada elemento activo é proporcional à tensão e à corrente que por ele passa, sendo também sensíveis ao ruído, devido à sua resolução infinita. Por sua vez, utilizando circuitos digitais, o custo do equipamento e o consumo irão ser bastante reduzidos em relação aos analógicos, e muitos microcontroladores, como é o caso do utilizado PIC16F877, já possuem um módulo de PWM, o que facilita muito a implementação de circuitos de controlo por PWM.

De uma maneira simples, o PWM é uma forma de codificar um sinal analógico com sinais digitais. O duty cycle de uma onda quadrada é determinado de forma a codificar um sinal analógico. Um sinal PWM continua a ser um sinal digital, pois num dado instante é “1” ou “0”. O valor “1” é o tempo durante o qual a carga é alimentada, e o valor “0” é o tempo durante o qual a carga não é alimentada. Assim, qualquer sinal analógico pode ser codificado num sinal digital, como se pode ver na seguinte figura 2.20 [9]

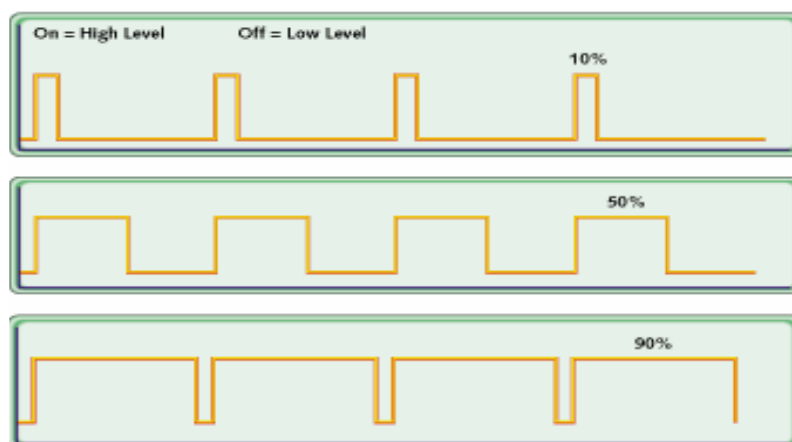


Figura 2.20 - Sinais PWM com vários duty cycles [8]

O primeiro sinal da figura 2.20 é um sinal PWM com 10% de duty cycle, ou seja, durante 10% do valor do período do sinal este encontra-se “1” e 90% do período encontra-se “0”. O segundo e terceiro sinais representam também sinais PWM, agora com 50% e 90% de duty cycle, respectivamente. Todos estes sinais representam um sinal analógico diferente.

2.6-Oscilador de cristal



Figura 2.21- Oscilador de quartzo [9]

Um oscilador de cristal é um componente eletrônico que utiliza a ressonância de um cristal em vibração de um material piezoeletrônico, para criar um sinal elétrico com uma frequência bastante precisa. Esta frequência é comumente usada para medir precisamente o tempo, tais como em relógios de quartzo, bem como para estabilizar frequências de transmissores de rádio. O cristal piezoelétrico mais utilizado é o quartzo

Osciladores de cristais são componentes compostos de dois terminais, ligados a um cristal piezoelétrico interno. Esse cristal contrai quando submetido a tensão elétrica, e o tempo de contração varia conforme a construção do cristal. Quando a contração chega a um certo ponto, o circuito libera a tensão e o cristal relaxa, chegando ao ponto de uma nova contração. Assim, os tempos de contração e relaxação desse ciclo determinam uma frequência de operação, muito mais estável e controlável que circuitos com capacitores. O Cristal Oscilador 4 MHz é um componente que trabalha junto a um microcontrolador para dar o sinal de “clock” e fazer com que um sensor, módulo ou qualquer outro equipamento trabalhe em determinada sincronia de tempo [15].

Cristal Oscilador 4MHz	
Características	-Regula e controla o tempo do microcontrolador; -Realiza a execução do sinal Clock; -Faz com que sensores e outros equipamentos trabalhem em sincronia de tempo; -Ideal para circuitos do tipo Arduino Stand Alone.
Especificações	- Frequência: 4MHz; - Comprimento total: 16mm ; - Peso: 0.5g.
Aplicações	-Relógios, computadores; telefones sem fio, telefones celulares, instrumentos de medida de diversos tipos, televisores, DVDs.

Tabela 2.6- Cristal oscilador de 4 MHz [15]

2.7- O Display LCD

O Display de Cristal Líquido, ou simplesmente LCD (do inglês liquid crystal display), é um painel muito utilizado para exibir informações como textos, imagens e vídeos. O display LCD oferece uma maneira simples de adicionar uma interface visual ao projeto. Utilizaremos assim neste projecto um display LCD 16x2 caracteres, que significa que ele possui 2 linhas com 16 caracteres para escrita cada.



Figura 2.22- Display 16X02 com back-light [8]

A comunicação desse display com o microcontrolador é feita de forma simples, ele tem 16 pinos, sendo 3 pinos de alimentação, 3 de controlo, 8 de dados e 2 para acionar o backlight (luz de fundo). Na tabela 2.7, está ilustrada as informações referentes a cada pino do LCD. A numeração dos pinos foi feita da esquerda para a direita, assim, o pino 1 é o que está na extrema-esquerda.

O pino RS tem a função de descrever que tipo de dados estamos enviando. Em nível baixo (0), os dados serão tratados como comandos, já em nível alto (1), os dados serão tratados como caracteres. Já o pino R/W (Read/Write) é utilizado para determinar se queremos ler (1) ou escrever (0) dados no display. O pino E, de Enable, deve ser habilitado quando queremos iniciar a transferência de dados entre o microcontrolador e o display. Os três pinos citados são os responsáveis pelo controle do display, já os pinos de que compõem o barramento de dados são D0 a D7.

O LED backlight (iluminação de fundo) serve para facilitar as leituras durante a noite. Neste caso, a alimentação deste led faz-se normalmente pelos pinos 15 e 16, sendo o pino 15 para ligação ao anodo e o pino 16 para o cátodo.

Pino	Simbolo	Função
1	VSS	GND
2	VDD	5V
3	V ₀	Ajuste de Contraste
4	RS	Habilita/Desabilita Seletor de Registrador
5	R/W	Leitura/Escrita
6	E	Enable
7	D0	Dados
8	D1	Dados

9	D2	Dados
10	D3	Dados
11	D4	Dados
12	D5	Dados
13	D6	Dados
14	D7	Dados
15	A	5V (Backlight)
16	K	GND (Backlight)

Tabela 2.7- Display LCD 16x2 [8]

2.8- Bluetooth

Bluetooth é uma especificação industrial para a comunicação sem fio de curto alcance. Ela visa substituir o cabeamento necessário para comunicação entre dispositivos eletrônicos, manter níveis elevados de segurança, ter baixo consumo de energia e baixo custo, além disso, fornece tanto serviços síncronos como transmissão de voz, e assíncronos como transferências de arquivos [19].

O desenvolvimento da especificação Bluetooth começou em 1994 com a Ericsson Mobile Communications que tinha como objetivo pesquisar melhorias na comunicação entre aparelhos celulares e acessórios visando eliminar o uso de fios.

Essa pesquisa resultou na especificação do sistema rádio de curto alcance MCLink que tinha as vantagens de baixo consumo e baixo custo. Depois do lançamento, empresas como Intel, IBM, Toshiba e Nokia se juntaram à Ericsson e formaram o consórcio Bluetooth SIG (special interest group- grupo de interesse especial) em 1998. O SIG é o consórcio responsável por publicar as especificações, administrar o programa de qualificação de empresas e também proteger os direitos da marca bluetooth. Atualmente o SIG possui mais de 12 mil membros [19].

A tecnologia Bluetooth opera sobre uma banda de radiofrequência denominada ISM (industrial, scientific and medicine - industrial, científica e médica), ela utiliza a técnica de transmissão FHSS (frequency hopping spread spectrum - espalhamento espectral por saltos em frequências). O consórcio Bluetooth SIG até já lançou campanhas para alcançar a harmonização total entre os países com relação à banda de frequência. A harmonização da faixa de frequência tem o objetivo de reduzir a ocorrência de interferências entre dispositivo bluetooth e outros dispositivos.

Com essas faixas de alcance é possível a formação de pequenas redes privadas conhecidas como PANS (personal area networks -redes de área pessoal) ou piconets.

Uma piconet é uma rede formada por até oito dispositivos, na qual um dispositivo deve assumir a função de mestre e os demais de escravos. Um mesmo dispositivo pode atuar como escravo em mais de uma piconet, sendo até mesmo mestre em outra piconet, dizendo-se assim que ele faz parte de uma scatternet. A única restrição é que um dispositivo pode ser mestre de apenas uma rede piconet ao mesmo tempo.

A Tabela 2.8 apresenta uma comparação entre as principais características das especificações de padrões que permitem a comunicação sem fio entre dispositivos.

Actualmente estão entre os mais utilizados o Bluetooth, o Wi-Fi e o ZigBee.

Wi-Fi é um padrão que usa a técnica de transmissão DSSS (direct sequence spread spectrum-espalhamento espectral por sequência direta) [12] e OFDM (orthogonal frequency-division multiplexing - multiplexação ortogonal por divisão de frequência) [] e usa o protocolo IEEE 802.11 []. ZigBee é focado em baixa potência de operação e baixa taxa de transmissão de dados, também faz uso da técnica de transmissão DSSS e utiliza o protocolo IEEE 802.15.4 [19].

Especificação	Máximo de nós	Alcance	Corrente típica	Técnica de transmissão
Bluetooth	Até 8	100m	65 a 170 mA	FHSS
Wi-Fi	Mais de 100	100m	350 mA	DSSS e OFDM
ZigBee	Até 65535	100m	30 mA	DSSS

Tabela 2.8 - Principais características das especificações: Bluetooth, Wi-Fi e ZigBee [19]

FHSS (frequency hopping spread spectrum - espalhamento espectral por saltos em frequências) é uma das variantes do spread spectrum (técnica que habilita a coexistência de múltiplas redes em uma mesma área). A FHSS converte a representação binária dos dados em sinais de rádio adequados para transmissão e executa operações através de técnicas de chaveamento de frequência e modulação de sinal [18]. Ele transmite alguns bits numa determinada frequência e depois pula para outra frequência, transmitindo mais alguns bits, e assim por diante. Cada pacote no modelo FHSS é transmitido em uma frequência diferente, sendo que essa frequência varia de forma conhecida, porém pseudo-aleatória, tendo como referência uma sequência que somente é conhecida pelo transmissor e também pelo receptor, o que dificulta possíveis interceptadores do sinal. Pode-se definir pseudo-aleatoriedade como um conjunto finito de números que apresentam características de números aleatórios para qualquer um que não conheça a fórmula geradora dos números [18].

O FHSS pode transmitir dados no formato binário, tanto a 1 Mbps (Megabit por segundo) quanto a 2 Mbps. Para cada uma dessas velocidades se utiliza uma modulação diferente, GFSK (gaussian frequency-shift keying - modulação Gaussiana por chaveamento de frequência) de dois níveis para a velocidade de 1 Mbps e GFSK de quatro níveis para a velocidade de 2 Mbps [18].

2.8.1- Arquitetura Bluetooth

A pilha de protocolos Bluetooth é apresentada na Figura 2.23 onde mostra os protocolos essenciais para o funcionamento do protocolo e é dividida em três grupos lógicos:

1. Grupo de protocolo de transporte;
2. Grupo de protocolo de middleware;
3. Grupo de protocolo de aplicação.



Figura 2.23- Pilha de protocolos bluetooth [19]

O grupo de protocolos de transporte tem a finalidade de fornecer ao bluetooth a capacidade de encontrar os dispositivos e coordenar links lógicos e físicos a camadas superiores. Já o grupo de protocolos de middleware permite que aplicações operem sobre links bluetooth. E o grupo de aplicação são os aplicativos propriamente ditos, que oferecem algum tipo de funcionalidade relacionada ao uso do bluetooth [19].

2.8.1.1-Rádio Bluetooth

O Rádio Bluetooth é a camada responsável por especificar detalhes, tais como frequência de operação, potência e as técnicas de modulação e de transmissão utilizadas. Na maioria dos países essa banda de frequência varia de 2400 MHz a

2483.5 MHz, sendo essa dividida em 79 canais ordenados e que medem 1 MHz, começando em 2402 MHz [19].

Para compensar regularizações em alguns países, existe uma banda de guarda superior de 2 MHz e uma inferior de 3.5 MHz. Algumas das características relacionadas a potências utilizadas no transmissor do Bluetooth podem ser visualizada na Tabela 2.9 [1]. A taxa de transmissão pode chegar a 1 Mbps, caso faça o uso do EDR (enhanced data rate- transferência de dados avançada) pode alcançar 2 ou 3 Mbps [19].

Classe	Alcance	Potência
Classe 1	Longo alcance (100 m)	Entre 1 mW e 100 Mw
Classe 2	Curto alcance (10 m)	Entre 0,25 mW e 2,5 mW
Classe 3	Curtíssimo (1 m)	Até 1 mW

Tabela 2.9- Características das potências utilizadas pelo bluetooth [19]

2.8.1.2-Baseband

A baseband é a camada física do bluetooth. Ela especifica as regras de acesso ao meio e procedimentos de camada física entre dispositivos distintos [19]. Entre essas regras que o baseband especifica estão: localização de dispositivos na rede, estabelecimento de conexão entre dispositivos, tipo e formato do pacote, modo de endereçamento, temporização, criptografia e correção de erros, transmissão e retransmissão de pacotes, papéis que um determinado dispositivo pode assumir na rede.

2.8.1.3-LMP (Link manager protocol -Protocolo de gerenciamento de enlace)

O LMP é utilizado para gerenciar o processo de autenticação, estabelecimento de conexão e configuração entre dois dispositivos. Dentre as principais responsabilidades do LMP podemos incluir a função de monitoramento de QoS (quality of service - qualidade de serviço), segurança e serviços ligados a conexão.

O LMP trabalha em função de troca de mensagens para realização de transações. Essas mensagens são filtradas e depois interpretadas pelo gerenciador de conexão. Entre as principais trocas de mensagens realizadas LMP, pode-se destacar:

- **Controle de conexão:** estabelecimento de conexão, controle de energia, QoS, parâmetros de sistema de paginação, EDR (Enhanced data rate – transferência de dados avançada);
- **Segurança:** autenticação, emparelhamento e criptografia;

- **Informações de modo de operação:** Modo de página, solicitação, conectado, bloqueado, escuta, transmissão, estacionado e espera.
- **Informações das requisições:** precisão da temporização, versão do LMP, recursos suportados e nome da requisição;
- **Modo de teste:** ativação e desativação de teste e controle do modo de teste.

2.8.1.4 - HCI (Host controller interface - interface de controle de host)

O HCI fornece uma interface com regras para a baseband e o LMP, acesso ao status do hardware e controle de registradores. De um modo geral, essa interface provê um método uniforme para acessar funções da baseband. A HCI é dividida em três partes:

1. Módulo de driver;
2. Módulo de firmware;
3. Módulo de transporte entre o driver do HCI e o firmware do HCI.

Módulo driver do HCI, está alocado na parte do software do Bluetooth. Ele tem a responsabilidade de receber notificações assíncronas de que algo ocorreu. Quando a notificação é recebida, ele irá fazer uma avaliação do pacote recebido e determinar qual evento ocorreu.

Módulo de firmware está alocado na parte do hardware do Bluetooth. Ele implementa os comandos para o hardware acessar os comandos de baseband, LMP, registradores de status, registradores de controle e registradores de eventos.

Módulo de transporte está entre o driver do HCI e o firmware do HCI. Ele provê uma transferência de dados, sem conhecê-los. O Host deve receber notificações de eventos HCI independente de qual módulo de transporte é utilizado.

2.8.1.5 - L2CAP (Logical link control and adaptation protocol-protocolo de adaptação e controle do enlace lógico)

O L2CAP está acima do protocolo baseband e pode ser considerado como o protocolo da camada de enlace, fornecendo serviços a camadas superiores e ocultando detalhes das camadas inferiores. Essa camada possui a responsabilidade de segmentação, remontagem, QoS, abstração de grupos, multiplexação e demultiplexação dos dados trafegados.

Há dois tipos de links suportados pela camada baseband: SCO (Synchronous connection - oriented - síncronos orientados a conexão) e ACL (asynchronous

connection - less - assíncronos não-orientados a conexão). O SCO suporta tráfego de voz em tempo real e o ACL fornece o tráfego de melhor esforço.

2.8.1.6- Topologia do Bluetooth

Uma comunicação bluetooth pode ser entendida a partir do conceito de piconet, que consiste em dois ou mais dispositivos ocupando um mesmo canal físico, ou seja, eles estão sincronizados em um único clock e FHSS. O clock padrão da piconet corresponde ao clock de um dos dispositivos pertencentes a ela, denominado mestre. A FHSS é derivada do endereço do dispositivo mestre e seu clock. Os demais dispositivos estão sincronizados sob o clock do dispositivo mestre e são conhecidos como escravos. Podem existir piconets independentes umas das outras e em qualquer número. Cada uma, no entanto, deve possuir um canal físico diferente. Isso quer dizer, cada piconet deve ter um dispositivo mestre diferente com seu próprio clock e FHSS. Logo, é impossível que duas ou mais piconets possuam o mesmo mestre. Um escravo, no entanto, pode ter vários mestres, ou seja, pertencer a várias piconets. Um dispositivo Bluetooth pode participar simultaneamente de duas ou mais piconets. Isso é possível graças a multiplexação por divisão de tempo [18].

Um dispositivo bluetooth que é membro de duas ou mais piconets, pode-se dizer que ele está envolvido em uma scatternet. Os protocolos do núcleo bluetooth não se destinam a oferecer roteamento de rede, essa funcionalidade é de responsabilidade dos protocolos a nível de aplicação e está fora do escopo da especificação do núcleo bluetooth. Exemplos de operações em piconets e scatternets podem ser visualizados na Figura 2.24.

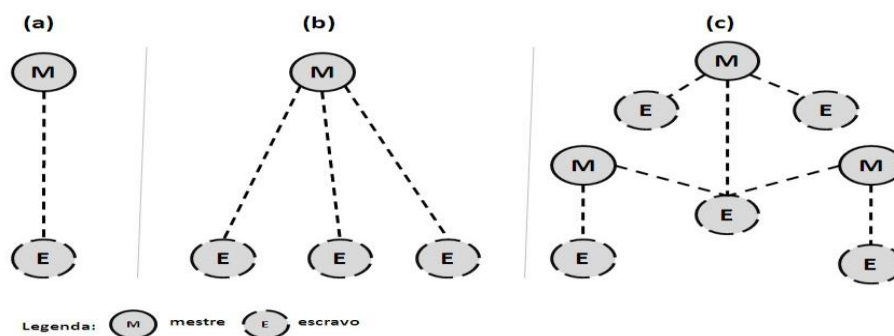


Figura 2.24 - (a) simples operação mestre-escravo, (b) operação mestre com múltiplos escravos, (c) operação em uma scatternet [18]

Observando a Figura 2.24 (a) é possível notar a representação da simples comunicação de um mestre com um escravo, a Figura 2.24 (b) demonstra um mestre se comunicando com 3 escravos e na Figura 2.24 (c) há a comunicação em piconets distintas.

2.8.1.6.1-Processo de estabelecimento de conexões

Um dispositivo que utiliza a tecnologia bluetooth pode se encontrar em algum dos estados: página, solicitação, conectado, bloqueado, escuta, transmissão, estacionado e espera. A Figura 2.25 mostra como esses estados interagem entre si.

- **Estado de espera:** Pode-se dizer que um dispositivo se encontra no estado de espera, caso ele esteja ligado e ainda não se conectou a uma piconet;
- **Estado de solicitação:** Quando um dispositivo envia requisições para encontrar outros que ele pode se conectar;
- **Estado de página:** Esse é um estado que exclusivamente mestres podem se encontrar, nele há um envio de mensagens em busca de encontrar outros dispositivos que possam entrar na sua piconet;
- **Estado conectado:** O dispositivo entra nesse estado após o momento que há um estabelecimento de conexão e um dos pontos assume o papel de mestre e o outro de escravo;
- **Estado de Transmissão:** Estado em que o dispositivo envia dados a outro. Após o termino do envio ele volta para o estado conectado;
- **Estado de Escuta:** Nesse estado o escravo fica inativo por uma quantidade definida de slots;
- **Estado bloqueado:** Nesse estado o escravo também fica inativo por uma quantidade definida de slots. Mas, não ocorre transferência de dados nesse estado;
- **Estado estacionado:** Nesse estado o dispositivo perde o seu endereço atual na piconet. Esse endereço retirado é dado a outro escravo que o mestre está tirando do estado de estacionado.

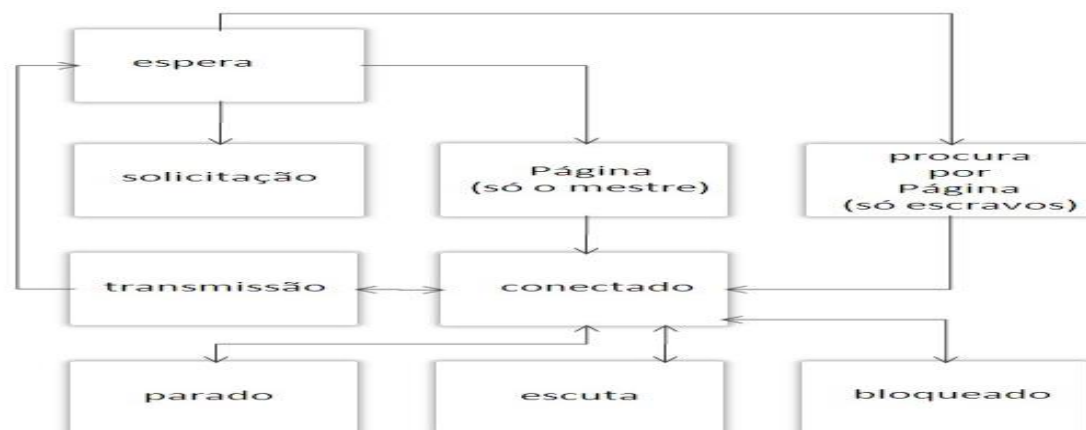


Figura 2.25 - Máquina de estados de um dispositivo Bluetooth [18].

2.8.2- Características do módulo bluetooth usado no projecto

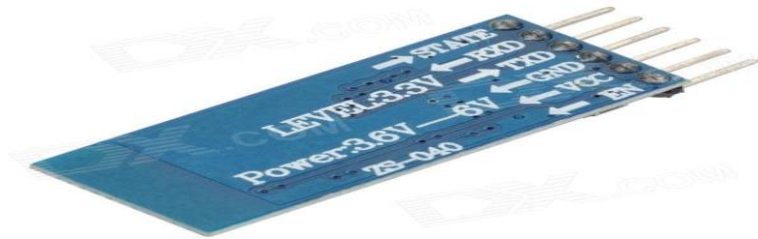


Figura 2.26- Módulo bluetooth [17]

Módulo bluetooth ZS-040	
Cor	Azul
Material	FR4
Características	-Pode instalar os tipos de módulo Bluetooth; - Proteção inverso; Com botão delete.
Especificação	-Tensão de entrada: DC 3.6V ~ 6V, Max.7V; -Proteção inverso; -Possível instalar os tipos de módulo Bluetooth, como o HC05, BC04 e outros; -Com o botão de exclusão, apoiar todos os módulos com botão pino, pino de execução: VCC / GND / TXD / RXD / ESTADO / PT; -Define o PT permitir pino, balançando ou alto nível, o módulo funcionar normalmente; -GND desligue módulo para reduzir o consumo de energia (corrente)
Aplicação	Ótimo para projetos electrónicos

Tabela 2.10 - Características do módulo bluetooth [17]

CAPÍTULO III- DESENHO E METODOLOGIA

Este capítulo faz uma abordagem a respeito do desenho e metodologia usado no projecto, e é determinada pelas etapas necessárias que são descrevidas nas páginas abaixo, no intuito de chegar-se aos resultados experimentais que será objecto de estudo no capítulo IV. Assim, definir e enquadrar todos os componentes eléctricos e electrónicos é uma via para um melhor entendimento no que toca a implementação do projecto.

3.1-Diagrama em bloco

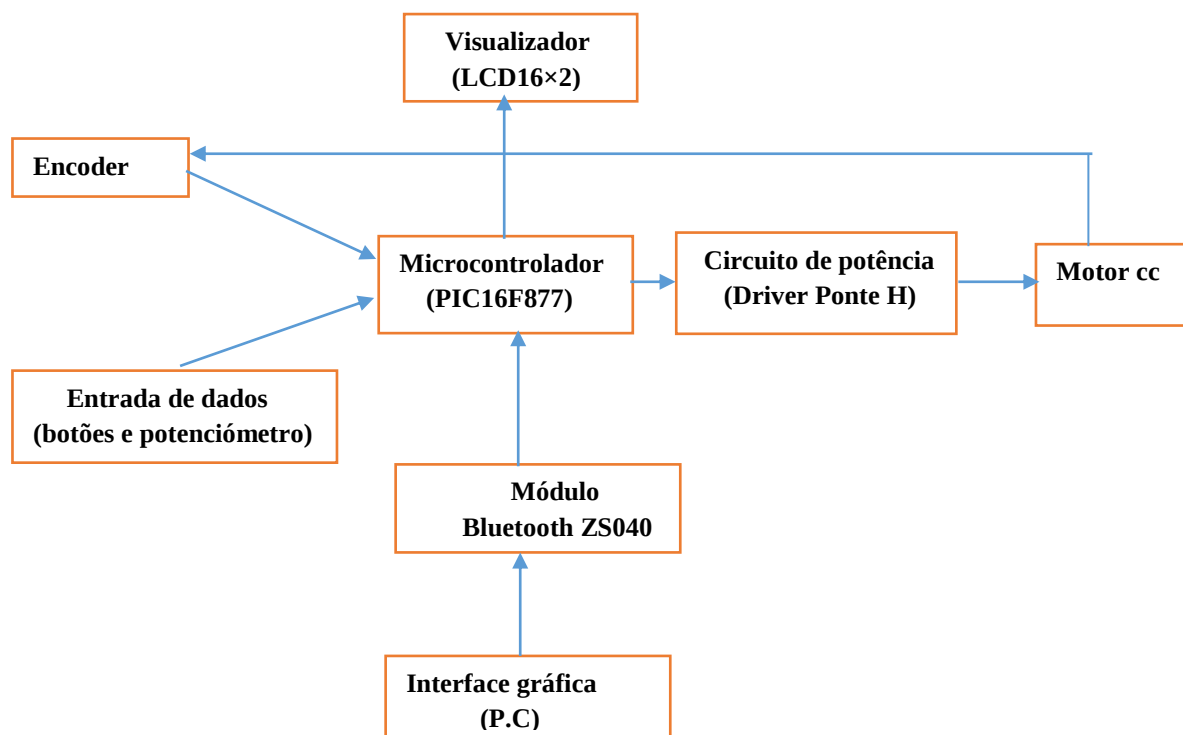


Figura 3.1- Diagrama em bloco do projecto.

3.2- Ferramentas Utilizadas

Essa seção descreve algumas das ferramentas utilizadas na confecção do hardware e do software do trabalho proposto.

3.2.1- Linguagem C para Microcontrolador

A linguagem C é bastante difundida na programação de sistemas embarcados. Os programas em C tendem a ser bastante compactos, possuem bom tempo de execução e são mais fáceis de entender que os implementados em Assembly. Outro aspecto que se pode destacar na linguagem C é que ele possui apenas 32 palavras reservadas []. Outras linguagens de alto nível têm uma quantidade bem maior, como BASIC o qual, em regra geral, possui mais de 100 palavras reservadas [20].

A linguagem C provê suporte a vários tipos de microcontroladores, tais como PIC, AVR, ARM e 80x51. Essa característica faz com que um programa escrito em C seja portátil. Caso haja a necessidade da migração de plataforma se faz necessário pequenas adaptações no programa original. Essas mudanças não dizem respeito à estrutura semântica da aplicação e sim as especificações do microcontrolador como dispositivos e drivers.

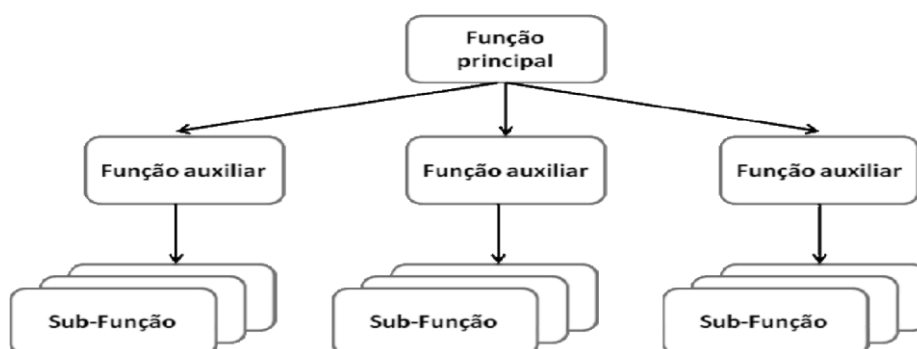


Figura 3.2. Hierarquia de funções na linguagem C [20].

As funções contêm declaração de dados, definições, comandos e expressões. O programa possui três arquivos diferentes juntamente com seus respectivos cabeçalhos. Cada arquivo contém um conjunto de funções que estão agrupados que acordo com as suas tarefas e co-relações. As diretivas de pré-processamento estão expostas a seguir:

- `#include`: incluem as funções do dispositivo alvo;
- `#fuses`: especificam os fusíveis para o chip;
- `#use delay`: determina a velocidade do clock;

O compilador, programa responsável pela tradução de uma linguagem para outra que geralmente converte o código de uma linguagem-fonte para uma linguagem-objecto, provê uma grande quantidade de bibliotecas, com funções pré-definidas [20].

Essas funções podem acessar vários periféricos especificados pelos microcontrolador PIC. O CCS (custom computer service - sigla utilizada pela empresa fabricante do compilador) C Compiler [20] foi o compilador utilizado no trabalho proposto para o desenvolvimento da biblioteca de funções, essa ferramenta possui uma interface bastante amigável, apresentada na Figura 3.3, vale destacar ainda que, ele dá suporte a vários drivers os quais podem ser incluídos e usados no programa. Esse compilador ainda apresenta comandos para:

- Configuração e inicialização de contadores;
- Configuração e inicialização de temporizadores;
- PWM (Pulse-width modulation - modulação por largura de pulso);
- I²C (Inter-integrated circuit - sigla que referencia o barramento serial multi-mestre desenvolvido pela Philips);
- Leitura e escrita da memória EEPROM (electrically erasable programmable read only memory-memória somente de leitura programável e apagável eletricamente);
- Leitura e escrita de pinos de entrada e saída.

Além disso, o compilador fornece funções para conversação de valores analógicos, para comunicação via RS232, para comunicação com display de LCD (Liquid crystal display - display de cristal líquido) e também possui de funções da linguagem C no padrão ANSI.

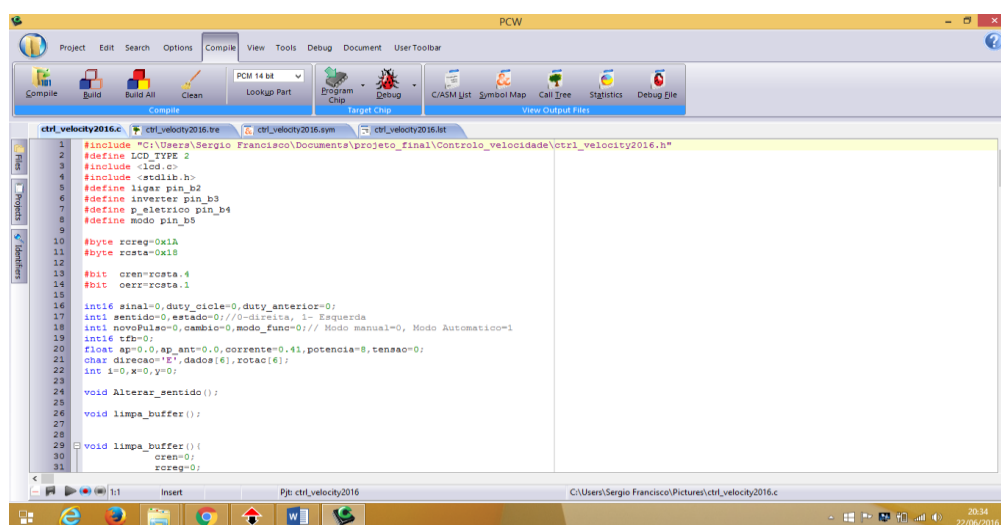


Figura 3.3- Interface do compilador CCS [20]

3.2.2- Protocolo de comunicação RS-232 (EIA-232)

Para comunicação entre o microcontrolador e o computador, foi utilizada a comunicação serial via RS-232 no protocolo UART.

Como parâmetros da comunicação serial são utilizados os seguintes:

1. **Porta:** é a porta que será utilizada para a comunicação;
2. **Startbits:** é um bit enviado para iniciar a comunicação. Ele inicia a comunicação com base nos parâmetros abaixo:
 - **Paridade:** é um mecanismo para informar se o número de bits do byte de dados é par ou não. É uma ferramenta para verificar se houve perda de dados na transmissão;
 - **Stopbits:** que informar se os dados já foram transmitidos;
 - **Velocidade:** também conhecida com baudrate, é a velocidade de transmissão dos dados medida em bits por segundo. Varia de acordo com o hardware;
 - **Número de bits:** define o número de bits de dados que compõe o byte a ser enviado.

3.2.3- Proteus 8 Professional

O software de desenho e simulação proteus é uma ferramenta útil para estudantes e profissionais que desenvolvem aplicações analógicas e digitais. Ele permite o desenho de circuitos empregando um entorno gráfico no qual é possível colocar os símbolos representativos dos componentes e realizar a simulação de seu funcionamento sem o risco de ocasionar danos físicos aos circuitos. A simulação pode incluir instrumentos de medição e a inclusão de gráficos que representam os sinais obtidos na simulação.

O proteus oferece a capacidade de simular adequadamente o funcionamento dos microcontroladores mais populares (PICS, ATMEL-AVR, Motorola, 8051, etc.).

Além disso, ele simula circuitos digitais e analógicos simultaneamente. O proteus fornece ainda equipamentos, de forma virtual, comuns de bancadas de desenvolvimento de eletrônicos, como osciloscópios, multímetros, geradores de sinais, entre outros [21].

No trabalho proposto foi utilizado o proteus 8 professional.

3.2.4 – Interface Homem-Máquina

A interface homem-máquina (IHM) é um aplicativo cuja a principal função é controlar o sistema embarcado e permite ligar e desligar o sistema, permite a comutação do sentido de rotação do motor, mostra os valores (pulsos captados pelo encoder) nomeadamente como a tensão do motor, a velocidade de rotação, etc.

O aplicativo da interface homem-máquina foi desenvolvida a partir da linguagem Java, com suporte do compilador NetBeans 8.0.2 IDE.

Basicamente, o projeto do software foi dividido em dois códigos-fonte: o firmware do microcontrolador que é a codificação em C inserida na memória do PIC e a codificação de monitoramento da interface homem-máquina. O software de monitoramento foi intitulado como “Controlo de velocidade de um motor CC”.

Para o desenvolvimento do firmware do PIC foi utilizado o CCS, que conta com bibliotecas que auxiliam a manipulação dos periféricos.

O aplicativo da interface homem-máquina possui a portabilidade de sistemas operacionais, ou seja, pode ser usada em sistema operativo windows, telemóveis, etc.

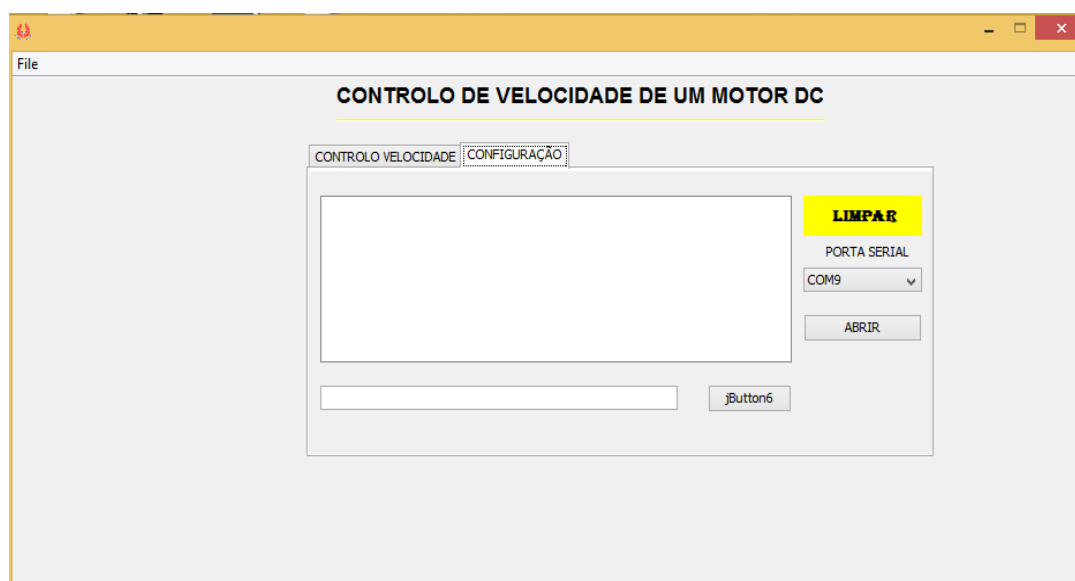


Figura 3.4- Software homem-máquina [os autores]

3.2.5-Fluxograma do microcontrolador

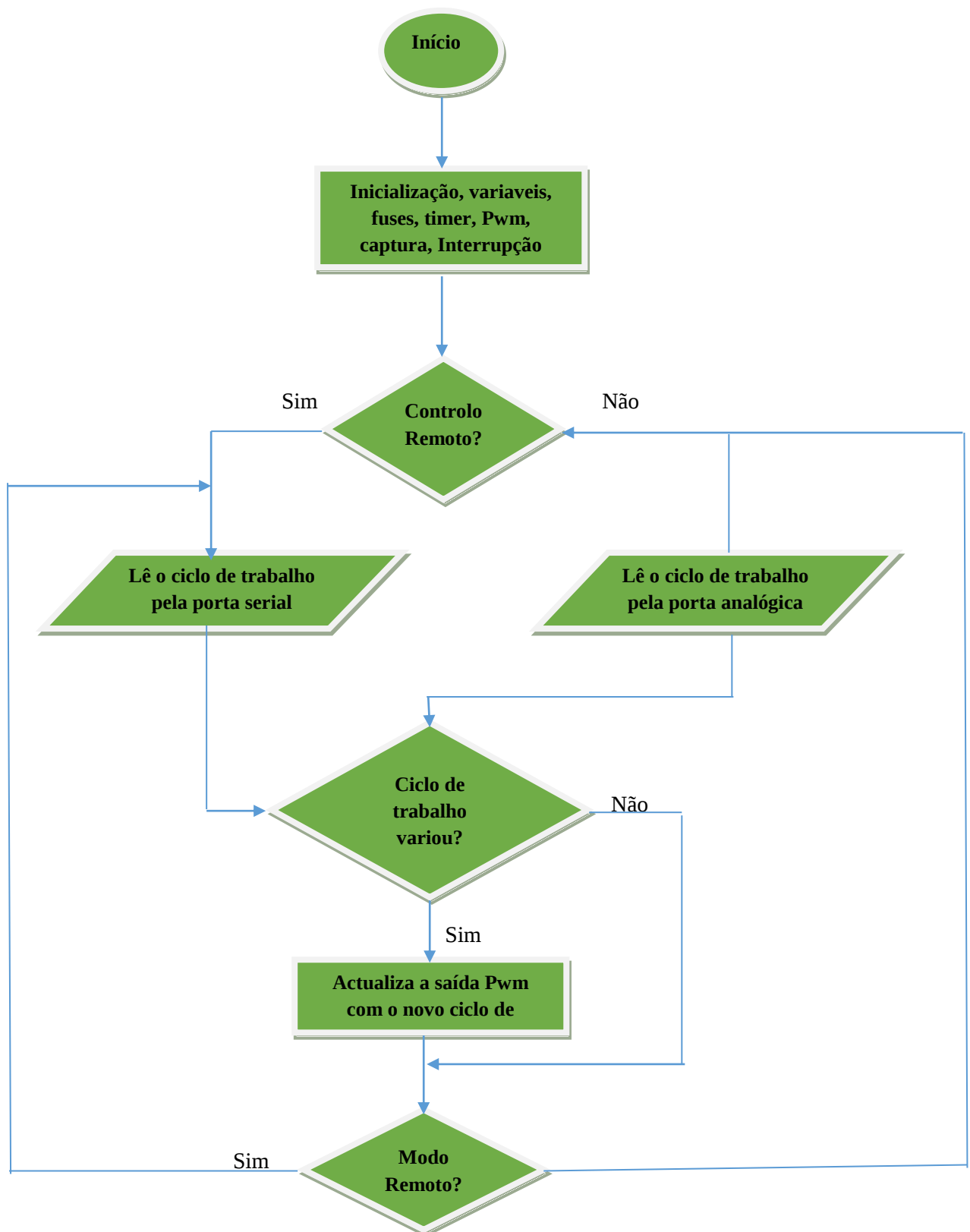


Figura 3.5- Fluxograma do microcontrolador [os autores]

3.2.6-Fluxograma da Interface Homem-Máquina

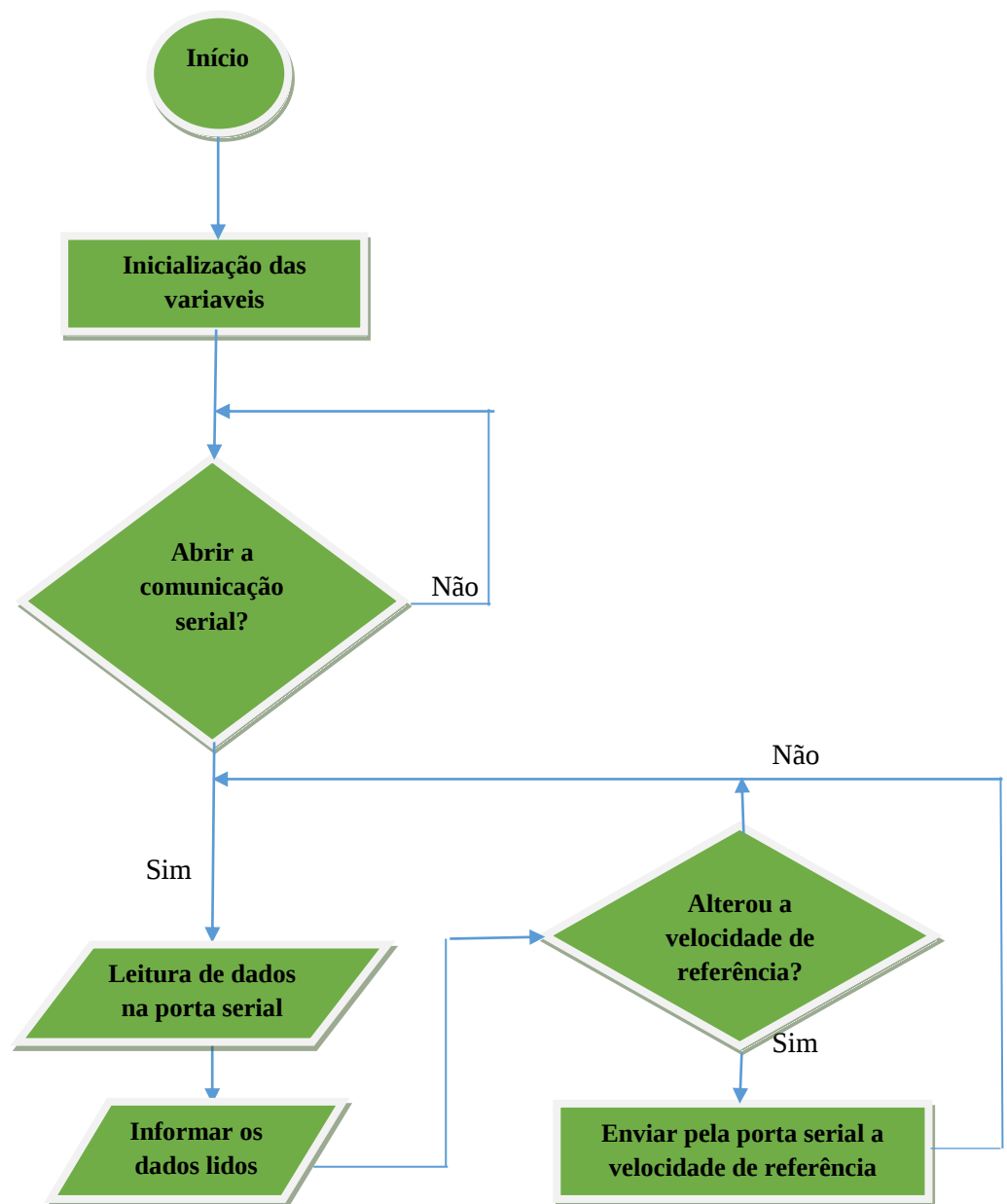


Figura 3.6- Fluxograma da interface homem-máquina [os autores]

CAPÍTULO IV-RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo descreve as configurações, testes e resultados obtidos a partir da modelagem, implementação e aplicação dos módulos descritos no capítulo III. O esquema eléctrico foi desenhado com o software proteus como mostra figura 4.1.

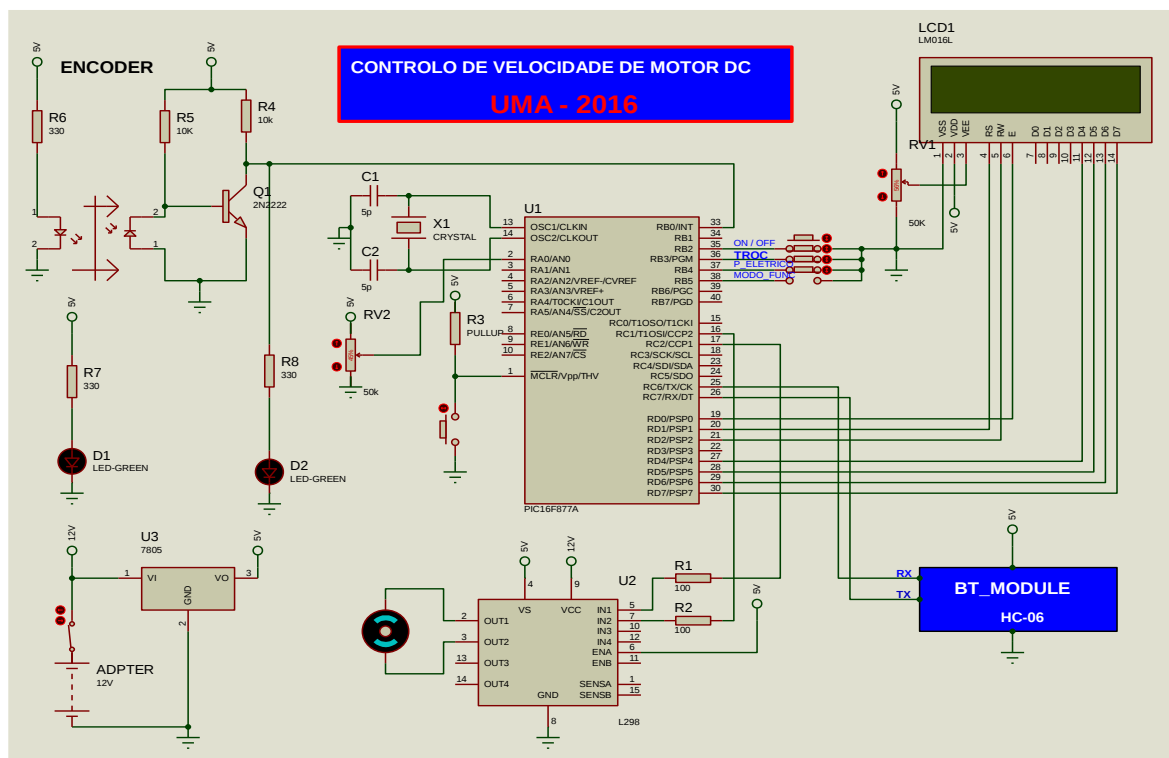


Figura 4.1- Esquema eléctrico no proteus [os autores]

A figura 4.2 mostra a maquete do sistema eléctrico em funcionamento para efeito dos experimentos e discussões.



Figura 4.2- Esquema eléctrico físico [os autores]

A implementação do projecto será explicada aos pormenores por etapa, de modo a conferir melhor abordagem no tratamento da informação para efeito de estudo.

4.1-Etapas do Esquema Eléctrico

Denomina-se de etapa do esquema eléctrico aos parâmetros relacionados com o protótipo nomeadamente a fonte de alimentação, o microcontrolador, o motor cc, o módulo bluetooth, a ponte H e demais componentes usados.

4.1.1-Fonte de Alimentação

A fonte de alimentação é nomeadamente um adaptador de tensão (retificador de tensão 220/12V) de corrente contínua, e visa alimentar os componentes a uma tensão de 12V, para os demais componentes como microcontrolador, o módulo bluetooth, o LCD e outros que funcionam a uma tensão $\leq 5V$, emprega-se o regulador de tensão LM7805 que reduz a tensão a um nível fixo e estável de 5V.

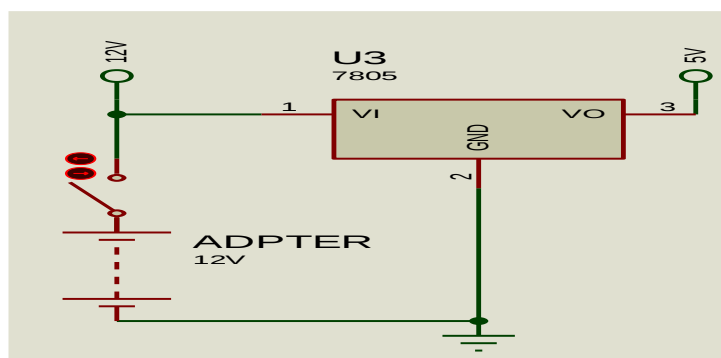


Figura 4.3- Fonte de alimentação [os autores]

A tabela abaixo faz uma relação da tensão de alimentação do microcontrolador que é 5V, a tensão da drive ponte H que é 12V, portanto existe uma razão de 2.4V entre a tensão na ponte e no microcontrolador. O conversor analógico-digital do microcontrolador PIC16F844 é de 10 bits (ADC $2^{10}=1024$ com um equivalente na ordem de 0 á 1023 em decimais), assim sendo a conversão da tensão analógica-digital e o seu equivalente em pwm, é calculado do pressuposto seguinte: 5V corresponde a 1023 bits, para um ajuste no potenciômetro resultará numa variação da tensão, e no ciclo de trabalho em pwm pela regra de três simples.

Tensão Analógica(V)	Tensão Ponte H (V)	Ciclo de trabalho/Pwm (bits)
0.5	1.2	102.3
1	2.4	204.6
1.5	3.6	306.9
2	4.8	409.2
2.5	6	511.5
3	7.2	613.8
3.5	8.4	716.1
4	9.6	818.4
4.5	10.8	920.7
5	12	1023

Tabela 4.1- Conversão da tensão analógica- digital [os autores]

Da tabela 4.1 resultará os gráficos das figuras 4.4 e 4.5, os mesmos gráficos representam valores lineares crescentes e intersectados entre a tensão analógica do microcontrolador e o ciclo de trabalho como se pode ver na figura 4.4 e o mesmo pressuposto é válida também para a relação entre a tensão da drive ponte H e o ciclo de trabalho como se pode ver na figura 4.5.

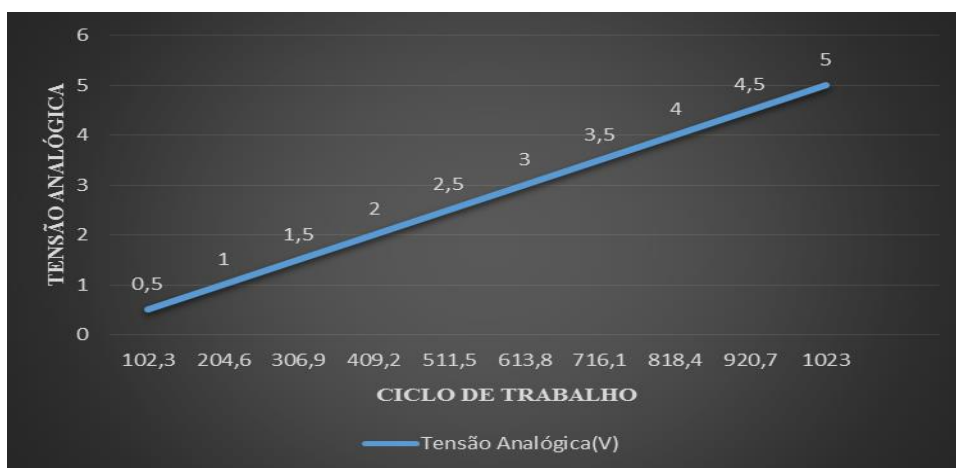


Figura 4.4- Tensão analógica versus ciclo de trabalho [os autores]

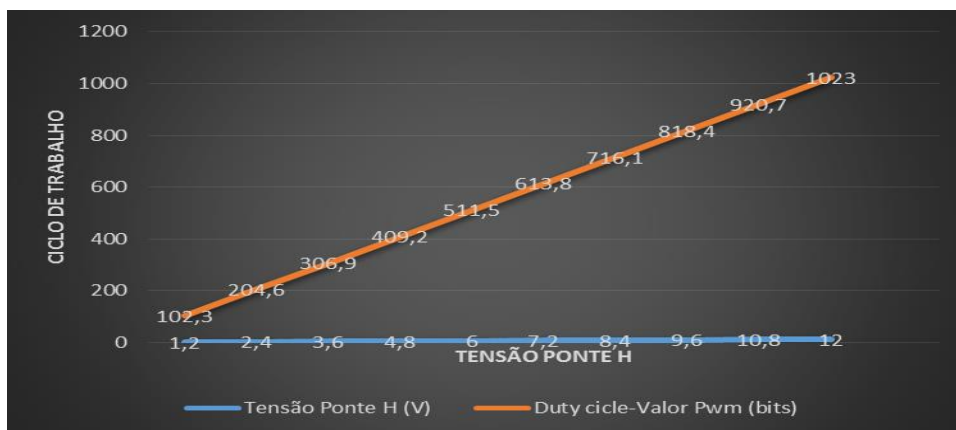


Figura 4.5- Tensão ponte H versus duty-cycle [os autores]

4.1.2- Potenciômetro e Circuito Oscilador

O potenciômetro tem como finalidade ajustar a tensão e este ajuste implicará a uma variação do valor da velocidade de rotação do motor. O potenciômetro está ligada na entrada analógica do microcontrolador. No sistema construído o potenciômetro consiste na variação do valor da sua resistência, que é nada mais como uma tensão analógica que varia de 0 a 100%, que é transformada em tensão digital pelo microcontrolador que varia de 0 a 5V. O projecto usa um conversor de 10 bits, assim para uma tensão de 5V tem-se um valor digital de 1024 bits, este valor é convertido em pwm e variam de 0 a 1023 bits para um pwm de 10 bits, o número de bits utilizados para o conversor analógico-digital deve equivaler ao valor digital (número de bits) no pwm. Para que o motor pare de funcionar basta que enviar-se um valor 0 em analógico que equivalerá em 0 digital. O potenciômetro está ligado na porta CPP1 e CPP2 do microcontrolador.

O circuito oscilador é constituído por dois capacitores de 5 pF e um cristal e têm como finalidade a regulação e o controlo do tempo do microcontrolador, a execução do sinal do clock e permite também que sensores e alguns componentes trabalhem em sincronia com o tempo, o circuito oscilador é ligado especificamente nos pinos OSC1 e OSC2 do microcontrolador.

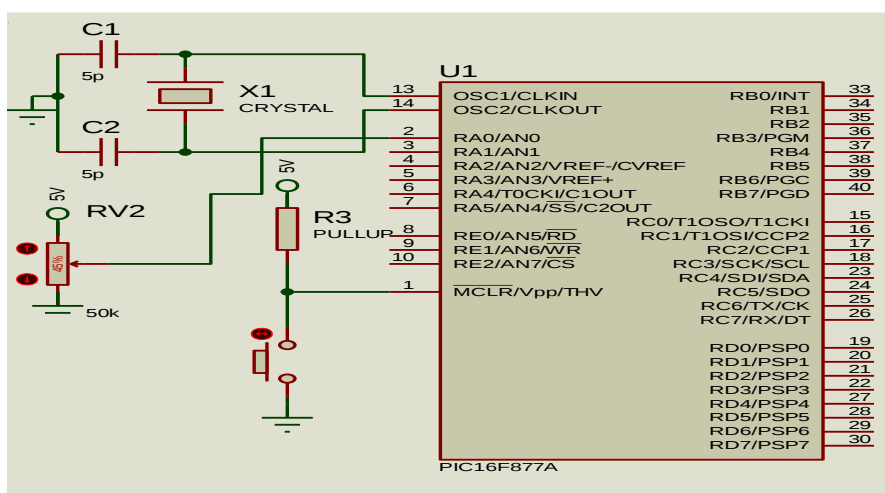


Figura 4.6- Potenciômetro e circuito oscilador [os autores]

Na tabela 4.2 estão ilustradas os resultados experimentais feitos no sistema, e os mesmos são obtidos na variação do potenciômetro para um controlo de velocidade de modo analógico ou ainda de modo remoto via interface homem-máquina.

Velocidade de rotação (r.p.m)	Tensão (V)
368.033	1
736.067	2
1104.1	3
1472.133	4
1840.167	5
2208.2	6
2576.233	7
2944.267	8
3312.3	9
3680.333	10
4048.367	11
4416.4	12

Tabela 4.2- Velocidade de rotação em da tensão na fonte [os autores]

A figura 4.7 ilustra a variação da velocidade de rotação do motor (r.p.m) face a tensão que entregue ao motor, portanto o aumento ou redução linear da velocidade é proporcional a tensão.

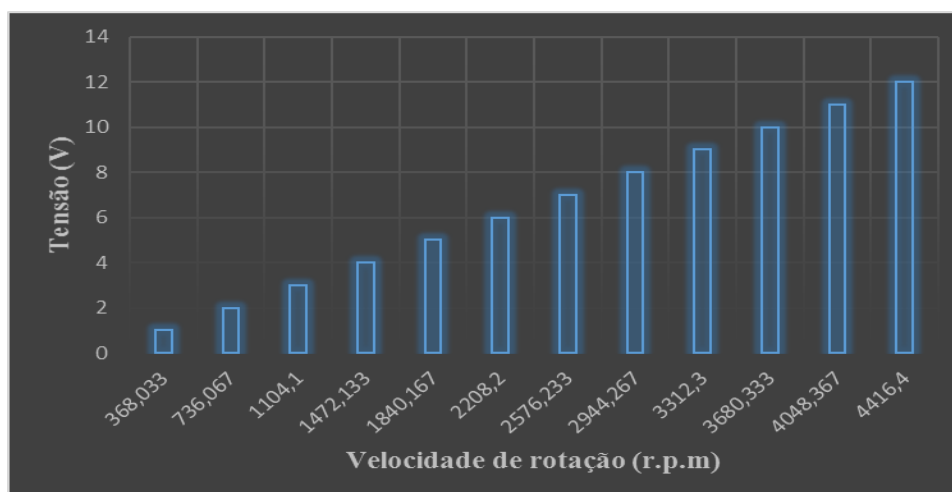


Figura 4.7- Velocidade de rotação em função da tensão [os autores]

4.1.3- Ponte H L298, Motor e Botões de Dados

A ponte H L298 é uma drive alimentada com 12V directamente da bateria (ou adaptador de tensão), a drive possui duas saídas de alimentações, nas quais uma de 5V que alimenta o microcontrolador e demais componentes, e uma outra saída de 12V que alimenta o motor. Quando introduzida os 5V a saída do microcontrolador na ponte H ela permite a saída máxima da tensão na ponte que é de 12V, que por sua vez é o mesma tensão que alimenta o motor. Ou seja, existe uma razão de proporcionalidade de 2.4V (12/5). Para variar a velocidade de rotação do motor o elemento fundamental é a tensão

e não a corrente devido a tecnologia pwm utilizada, pois esta tecnologia possibilita a variação da tensão durante o controlo de grandezas analógicas.

Os botões empregues no sistema tem como finalidade acionar os mecanismos controláveis, portanto o sistema desenvolvido possui cinco botões nomeadamente: o botão ON-OFF que serve para ligar e desligar o sistema e está ligada no pino RB2, o botão TROC que serve para mostrar os parâmetros como corrente, tensão e velocidade de rotação e está ligada no pino RB3, tem o botão P_ELECTRIC que serve para mostrar a potência eléctrica, tem o botão MODO_FUNC que serve para alternar em que modo se pretende trabalhar, ou seja, o controlo pode ser feita de modo manual (no próprio protótipo e este botão está ligada no pino RB5) e por meio da interface homem-máquina. O botão reset tem como finalidade reiniciar a leitura do microcontrolador e o mesmo é chamado quando há uma interrupção interna/externa ou um advento inesperado. O botão reset está ligada no pino 1 (MCLR) do microcontrolador.

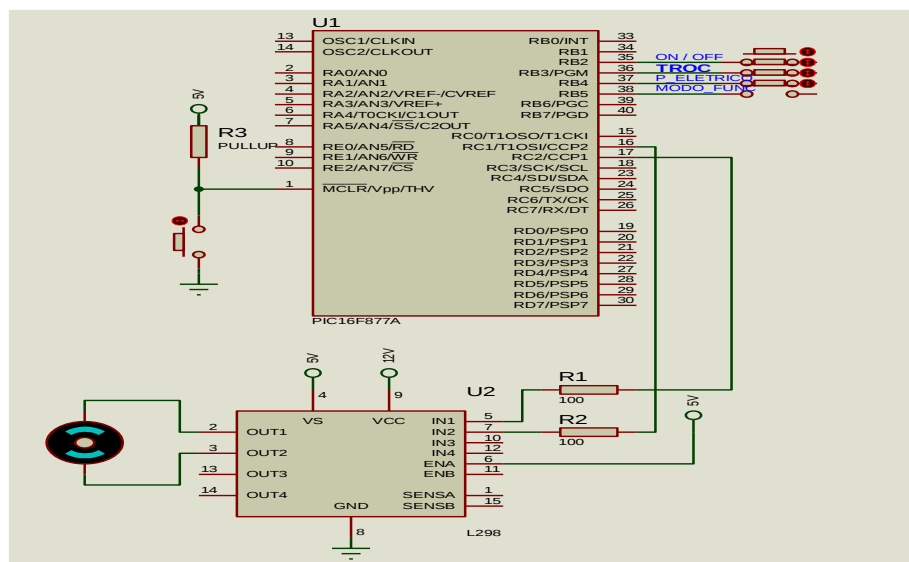


Figura 4.8- Ponte H L298, motor e botões de dados [os autores]

4.1.4- Encoder

O encoder é responsável pela captação dos pulsos emitido pelo movimento giratório do motor, no veio do motor possui uma pás (cooler) que possui sete (7) orifícios a mesma distância que tem como função bloquear os feixes do emissor (fototransistor) para o receptor de infravermelho (fotodíodo), uma vez ligada o motor, os orifícios vão permitir a passagem dos feixes que automaticamente entende-se como um pulso no receptor de infravermelho, ou seja, cada orifício vai equivaler a um pulso, como o díodo transmissor está directamente ligada a fonte de alimentação de 5V, portanto ele emite constantemente, mas o fotodíodo (receptor de infravermelho) vai depender do orifício do cooler, quando alimentado o fotodíodo ele é inversamente polarizado, por isso o sinal passa directamente se não tiver feixe, mas se tiver feixe ele

bloqueia a passagem do sinal, ou seja, a resistência criada a passagem da corrente eléctrica é elevada e a corrente flui do pólo negativo para o positivo, e como o transistor usado é do tipo NPN onde a base é actica com o sinal positivo logo permite a passagem do sinal negativo do emissor para o colector que e o mesmo está ligada no pino RB0 do microcontrolador onde possui uma interrupção externa, e neste quando existir um sinal negativo do receptor é activa a interrupção no microcontrolador que calcula o tempo que é um sinal nível lógico alto ou baixo, que por sua vez é o período (T), a partir do período obtém-se a frequência $T = \frac{1}{F}$, a partir da frequência obtém-se a velocidade de rotação por minuto que é a velocidade do motor.

$$F = \frac{1}{T} = \text{ncps} \quad (1)$$

$$\text{ncpm} = \frac{\text{ncps}}{60} \quad (2)$$

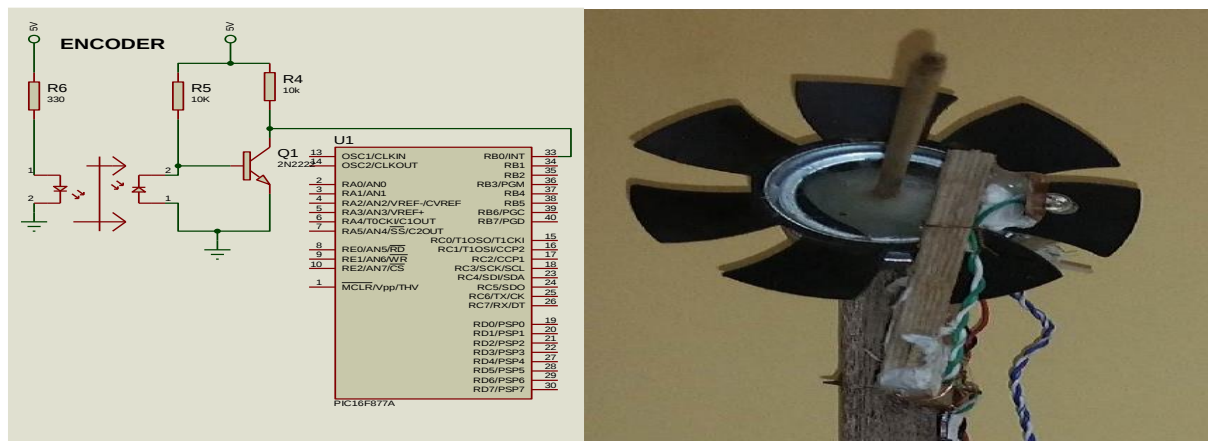


Figura 4.9- Encoder vista do proteus e do protótipo [os autores]

4.1.5- LCD, Leds e Módulo bluetooth

Neste bloco do sistema, temos o LCD, os leds visualisadores e o módulo bluetooth. O LCD tem como finalidade mostrar os dados ou parâmetros do sistema como a tensão, a corrente, e a potência eléctrica, e o modo de funcionamento do sistema. O LCD está ligada no PORTD (RD0 á RD7) configurados como saída para envio de dados e o mesmo é alimentado com uma tensão de 5V. Existe no sistema os visualisadores, como o led de cor vermelha que visa identificar quando o sistema está energizado, o mesmo led está ligado directamente a fonte de 5V, por sua vez o led de cor amarela pisca ou reproduz quando existe a captação dos pulsos emitidos pelo motor e está ligado no pino RB0/INT pino de interrupção do microcontrolador.

O módulo bluetooth tem como função fazer a comunicação entre o microcontrolador e o computador utilizando o protocolo de comunicação UART. Como requisito de comunicação, o computador precisa ter o bluetooth instalado e por

consequente fazer a localização da placa, após estabelecida a comunicação entre eles, abre-se uma aplicação no computador (interface homem-máquina), que é previamente instalada e designada por “Controlo de Velocidade de um Motor CC”. O módulo bluetooth está ligada nos pinos RB6 e RB7 do microcontrolador configurados como pinos de saídas.

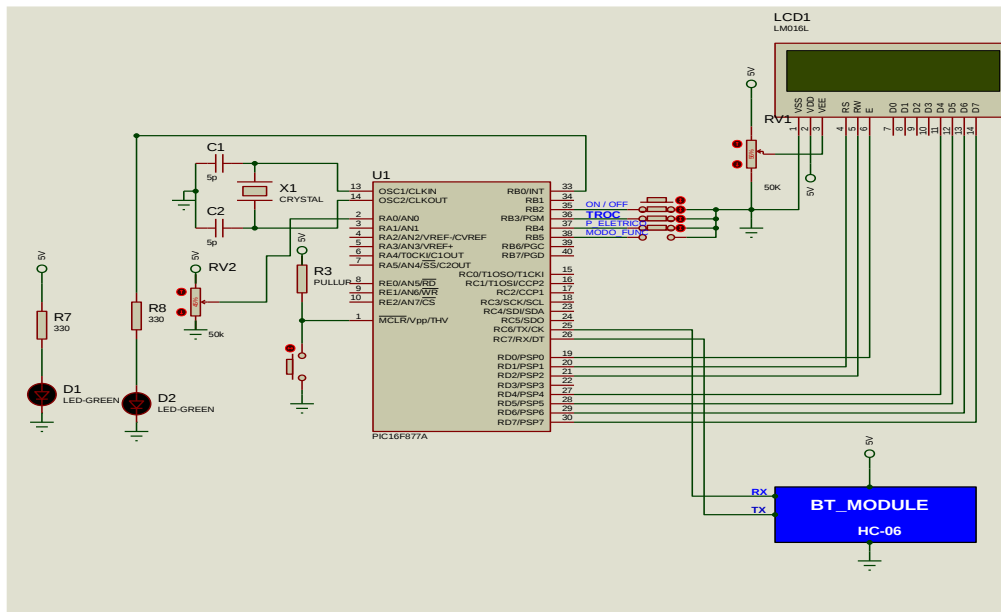


Figura 4.10- LCD, leds e Módulo bluetooth [os autores]

A figura 4.11 mostra a interface homem-máquina um aplicativo que gera os resultados da velocidade de rotação, tensão do motor, sentido de rotação, permite ligar e desligar o protótipo e outras funcionalidades como é mostrado a seguir.

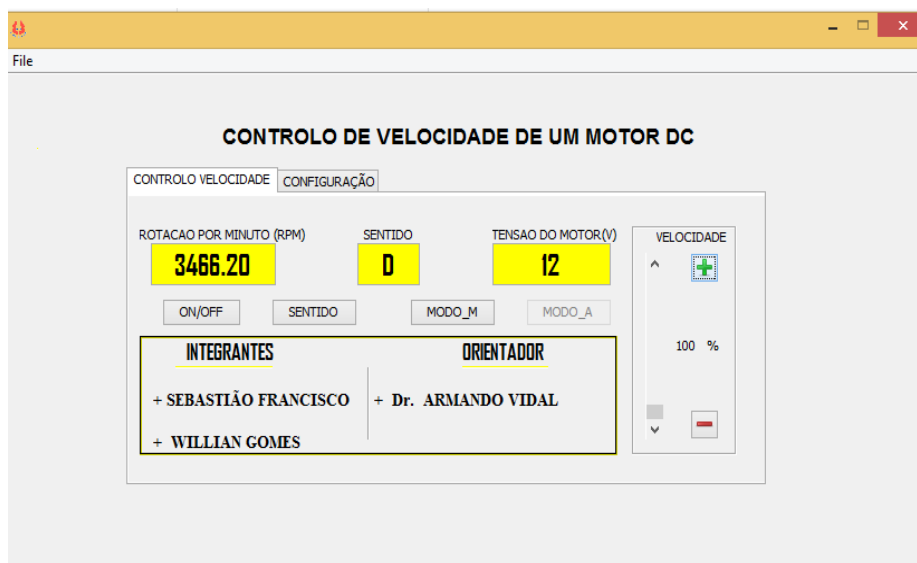


Figura 4.11- Interface Homem-Máquina [os autores]

4.2-Caderno de encargo

A seguir temos a lista de materiais necessários para a construção do protótipo desenvolvido referidos na tabela abaixo:

Qtd	Descrição	Preço unit (kz)	Preço grosso (kz)
1	Motor DC 12V/ 100 mA	4.000.00	4.000.00
1	LCD 16×2	7.000.00	4.000.00
1	Microcontrolador PIC16F877	5.000.00	5.000.00
1	Fotodíodo	700.00	700.00
4	botões	300.00	1200.00
8	Resístores	100.00	800.00
1	Díodo emissor de IV	200.00	200.00
1	Breadboard	1.500.00	1.500.00
1	Módulo bluetooth ZS-040	7.000.00	7000.00
2	Potenciómetro	500.00	1000.00
1	Adaptador de tensão	2.500.00	2.500.00
1	Interruptor	500.00	500.00
2	Condensador 5 pF	300.00	600.00
1m ²	Condutor eléctrico 0.5 mm ²	600.00	600.00
1	Regulador de tensão LM7805	300.00	300.00
1	Transistor BC	200.00	200.00
1	Transistor 2N	1.000.00	1000.00
1	Led vermelho 3mm	200.00	200.00
1	Led amarelo 3 mm	200.00	200.00
Preço total			31.500.00

Tabela 4.3- Lista de componentes do projecto [os autores]

1- Preço grosso =Preço unit×Qtd ;

2- Preço total= $\sum_{i=0}^n$ *Preço grosso*

CAPÍTULO V: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Foi possível construir o protótipo fruto de pesquisas levadas a cabo e face aos conhecimentos absorvido durante a nossa formação na Universidade Metodista de Angola.

O projecto desenvolvido visa apresentar um sistema embarcado que faz o controlo da velocidade de rotação de um motor de corrente contínua de íman permanente e a consequente inversão do sentido de marcha, o motor também pode ser testado com uma pequena carga que se move na posição vertical que é acionada pelo veio do motor. Fez-se uma escolha criteriosa em relação aos elementos ou componentes que serviram de base para a sua implementação, nomeadamente o microcontrolador PIC16F877, o módulo bluetooth MC-040 e o motor cc que são as ferramentas indispensáveis para o cabal funcionamento do sistema.

Com este estudo apresentado esperamos que seja útil para consultas e pesquisas relacionadas a tecnologia de sistemas embarcados, comunicação sem fio e, assim, contribuir de forma gradativa para o ensino nas futuras turmas de engenharia da Universidade Metodista.

A intenção futura é que o módulo desenvolvido seja uma opção para transmissão de dados sem fio em um ambiente de monitoramento de corrente de fuga em cadeias de isoladores de linhas de média e alta tensão. Existe a possibilidade de estender o módulo desenvolvido para que seja possível a realização de comunicação e transmissão de dados entre o módulo e um computador pessoal, permitindo assim a interação com algumas aplicações de um computador.

Outros esforços futuros serão no sentido de analisar o desempenho entre as tecnologias de transferência de dados. Na plataforma apresentada poderão ser criadas interfaces avançadas como GPRS, ZigBee, entre outras. Além da comparação de desempenho, outra característica importante que poderá ser implementada através dessas interfaces é a tolerância a falhas. Caso um módulo escolhido como padrão de comunicação não funcionar de forma adequada, o sistema futuro estará habilitado a possibilitar outra forma de transmissão de dados. Ou ainda, prover a melhor tecnologia de transferência, baseada no desempenho, dentre as demais interfaces disponíveis na plataforma.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Joaquim Carvalho, Máquinas de Corrente Contínua (sebenta) -ISEC 1997
- [2] António Francisco, Motores Eléctricos -ETEP 2ª edição 2009
- [3] <https://www.google.com/#q=motor+electrico+cc+de+iman+permanente>
- [4] José Vagos Carreira Matias, Máquinas Eléctricas Corrente Contínua - Plátano Editora, SA 1ª edição 1990
- [5] Robert Boylestad; Louis Nashelky. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos Terceira edição Prentice/Hall do Brasil
- [6] Boylestad, R. L.; Nashelsky, I. Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos.8. Ed. São Paulo: Prentice Hall, 2006.
- [7] Capuano, f. G.; marino, m. A. P. Laboratório de eletricidade e eletrônica. 22. Ed. São Paulo: Erica, 2002.
- [8] Cipelli, m. V.; Sandrini, W. J. Teoria e desenvolvimento de projetos de circuitos eletrônicos. 14. Ed. Sao paulo: erica, 1991.
- [9] Thomazini, daniel. Albuquerque, pedro u.b. Sensores industriais-fundamentos e aplicações. 5ª ed. São paulo: érica, 2005.
- [10] Eng.Antônio M.Vicari Vipelli eEng. Waldir João sandrini.Teoria e Desenvolvimento de Projetos de Circuitos Eletrônicos Oitava Edição. Livros Érika Editora Ltda
- [11] Katsuhiko Ogata, Engenharia de Controlo Moderno, 3ª Ed., Editora LTC, 2000.
- [12] <https://www.google.co.ao/?gwsrd=cr&ei=8iBYV5vF4KwswHnlp6QBQ#q=ponteh>
- [13] <https://www.google.com/#q=regulador+de+tens%C3%A3o>
- [14] Silva, Renato A. - "Programando Microcontroladores PIC: Programação em Linguagem C". São Paulo, 2006.
- [15] SEDRA, A. S.; SMITH, K. Microeletrônica. 5. ed. Sao Paulo: Prentice Hall, 2007.
- [16] Data sheet do microcontrolador PIC16F877A disponível em ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf

[17] The bluetooth sig standard. Documentação oficial do bluetooth. Disponível em: <http://www.bluetooth.com/>.

[18] Kobayashi, C. Y. A tecnologia bluetooth e Aplicações. USP. São Paulo. 2004

[19] Pedralho, A. bluetooth: da teoria à prática. O mundo sem cabos – Parte I. MELLO, C. A. B. Notas de aula de Teoria da Computação, UPE. 2007.

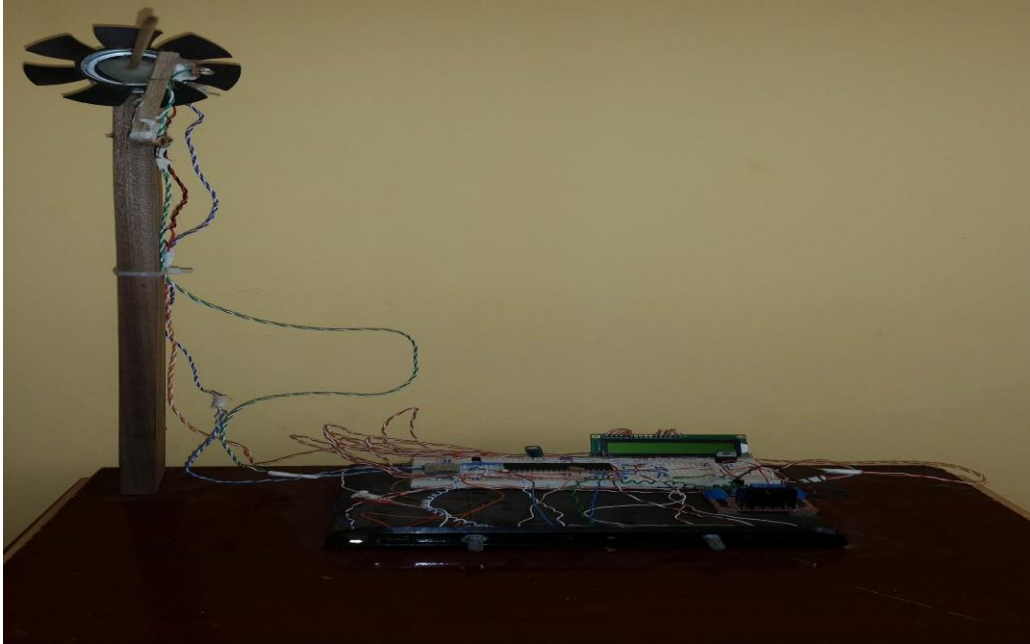
[20] Louden, K. Compiladores: princípios e práticas. Editora Thomson. CCS Inc. Home. Site Oficial do compilador CCS

[21] Site do fabricante do Proteus. Disponível em <http://www.labcenter.co.uk/>.

[22] Santos, L. Sistema de comunicação USB com microcontrolador. Monografia para Graduação em Engenharia da Computação, UPE. Pernambuco. 2009.

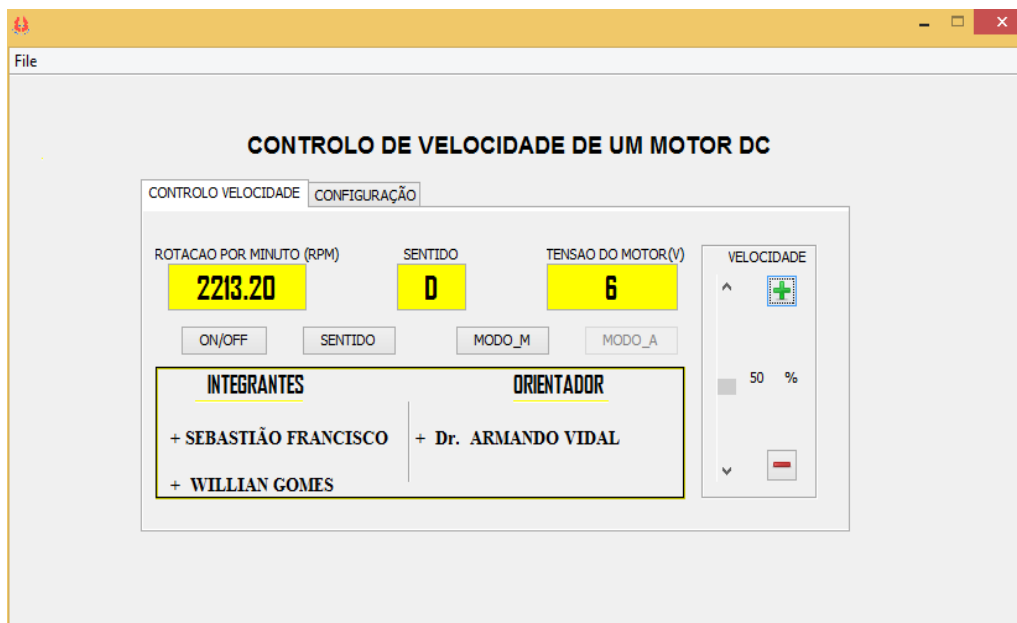
ANEXOS

Anexo 1: Sistema eléctrico



Anexo 1- Imagem do sistema eléctrico [os autores]

Anexo 2: Interface homem-máquina



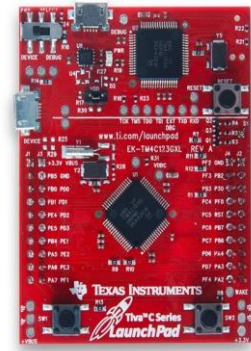
Anexo 2- Imagem do aplicativo IHM [os autores]

Anexo 3: Microcontroladores diversos

Para além dos microcontroladores da família PIC, o mercado possui uma infinidade de opções para o desenvolvimento de projectos desta natureza com recursos a microcontroladores, os mesmos podem ser vistos abaixo:



PIC



TivaC



MSP430



Arduino UNO



Arduino Mega 256

Anexo 4: Bits de configuração do PIC 16F877A

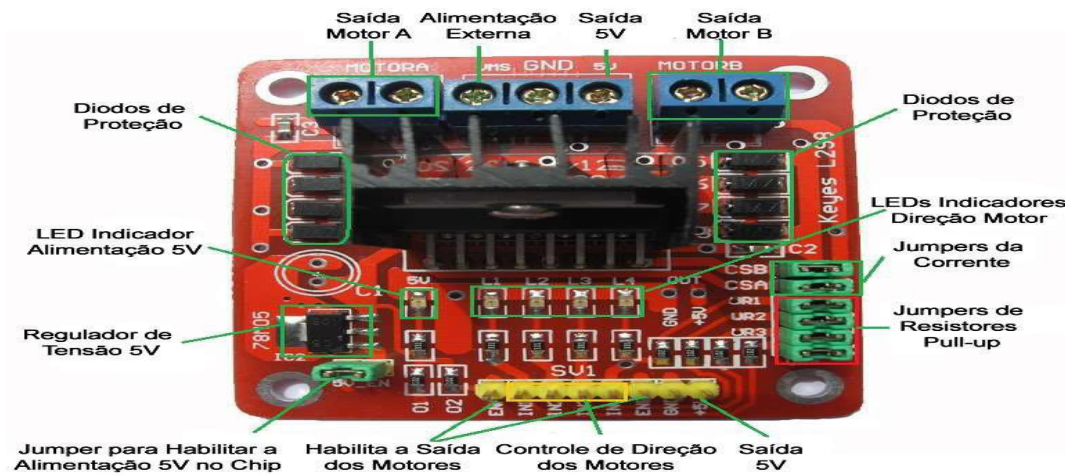
Fuse	Descrição
LP	Oscilador LP (< 200 KHz)
RC	Oscilador RC
XT	Oscilador XT (Oscilador a cristal <= 4MHz)
HS	Oscilador HS (oscilador a cristal >= 4MHz)
NOWDT	Watchdog desabilitado
WDT	Watchdog habilitado
NOPUT	Temporizador Power-up desligado
PUT	Temporizador Power-up ligado
NOPROTECT	Proteção de código desabilitada
PROTECT	Proteção de código habilitada
NOBROWNOUT	Reset por queda de tensão desabilitado
BROWNOUT	Reset por queda de tensão habilitado
NOLVP	Programação em baixa tensão desabilitada
LVP	Programação em baixa tensão habilitada.
NOCPPD	Proteção da EEPROM habilitada
CPD	Proteção da EEPROM desabilitada
WRT_5%	Proteção dos primeiros 255 bytes da memória de programa habilitada
WRT_25%	Proteção de ¼ dos bytes totais da memória de programa habilitada
WRT_50%	Proteção de ½ dos bytes totais da memória de programa habilitada
NOWRT	Proteção da memória de programa desabilitada

Anexo 4- Bits de configuração do PIC 16F877A

Anexo 5: Ponte H L298

Baseado no chip L298N com dupla ponte-h, podendo controlar a velocidade e o sentido de giro de até dois motores de 3-30V DC ou um motor de passo com 2 fases.

Descrição dos pinos do módulo driver motor com dupla ponte h L298N

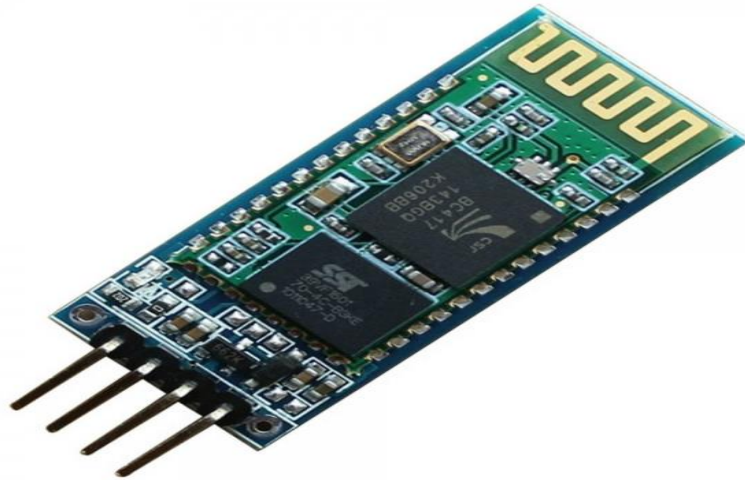


Anexo 5.1- Drive da Ponte H L298

Nome da porta	Estado	Descrição	Uso
VMS e GND	-	Conexão para fonte de alimentação externa (6V a 35V)	Quando ENA (ENB) estiver habilitado (estado alto: 5V) a ponte-H permitirá acionar o MOTOR A (MOTOR B). E se IN1 (IN3) ligado em 5V e IN2 (IN4) em GND o MOTOR A (MOTOR B) irá girar no sentido horário. Caso IN1 (IN3) ligado em GND e IN2 (IN4) em 5V o MOTOR A (MOTORB) irá girar no sentido anti-horário. Agora, se desejar controlar a velocidade dos motores deve-se conectar o ENA (ENB) a um pino PWM do Arduino.
ENA	Entrada	Controle de saída do motor: o estado "baixo (0V)" desativa o MOTOR A	
IN1	Entrada	Controle de direção do MOTOR A	
IN2	Entrada	Controle de direção do MOTOR A	
ENB	Entrada	Controle de saída do motor: o estado "baixo (0V)" desativa o MOTOR B	
IN3	Entrada	Controle de direção do MOTOR B	
IN4	Entrada	Controle de direção do MOTOR B	
MOTOR A	Saída	Saída para o MOTOR A	
MOTOR B	Saída	Saída para o MOTOR B	
CSA / CSB	-	Pinos para testar a corrente elétrica da ponte A / Ponte B	
UR1 UR2 UR3 UR4	-	Pinos com resistores pull-up, usados em Microcontroladores com baixa resistência de entrada	
5V e +5V	-	Saída de 5V	
5V_EN	-	Se o jumper estiver conectado no pino 5V_EN o LM7805 irá fornecer 5V para alimentar o chip L298. Caso desconecte o jumper do pino será necessário fornecer 5V para o chip L298.	

Anexo 5.2- Configuração da Ponte H L298

Anexo 6: Módulo Bluetooth H-06



Anexo 6- Módulo Bluetooth H-06

O módulo Bluetooth HC-06 é usado para comunicação wireless entre o microcontrolador e algum outro dispositivo com bluetooth, como por exemplo um telefone celular, um computador ou tablet. As informações recebidas pelo módulo são repassadas ao arduino ou um outro microcontrolador via serial.

O alcance do módulo segue o padrão da comunicação bluetooth, que é de aproximadamente 10 metros. Esse módulo funciona apenas em modo slave (escravo), ou seja, ele permite que outros dispositivos se conectem à ele, mas não permite que ele próprio se conecte à outros dispositivos bluetooth.

➤ Características e ligação ao microcontrolador

O módulo possui 4 pinos: Vcc (alimentação de 3.6 à 6V), GND, RX e TX, os dois últimos utilizados para comunicação com o microcontrolador via serial.

O nível lógico dos pinos RX e TX é de 3.3V, o que significa que, para o microcontrolador, por exemplo, vamos precisar de um divisor de tensão no pino RX para evitar que o módulo seja danificado. Isso é necessário pois o microcontrolador trabalha com nível de 5V.