

**UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS**  
**CURSO DE CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO**

(Bacharelado)

**PROTÓTIPO DE RELÊ MULTIFUNÇÃO PARA PROTEÇÃO  
DE MOTORES ELÉTRICOS**

TRABALHO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO SUBMETIDO À UNIVERSIDADE  
REGIONAL DE BLUMENAU PARA A OBTENÇÃO DOS CRÉDITOS NA  
DISCIPLINA COM NOME EQUIVALENTE NO CURSO DE CIÊNCIAS DA  
COMPUTAÇÃO — BACHARELADO

**ALEXANDRE JOSÉ DA SILVA**

BLUMENAU, DEZEMBRO/2001

2001/2-03

# **PROTÓTIPO DE RELÊ MULTIFUNÇÃO PARA PROTEÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS**

**ALEXANDRE JOSÉ DA SILVA**

ESTE TRABALHO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO, FOI JULGADO ADEQUADO  
PARA OBTENÇÃO DOS CRÉDITOS NA DISCIPLINA DE TRABALHO DE  
CONCLUSÃO DE CURSO OBRIGATÓRIA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE:

**BACHAREL EM CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO**

---

Prof. Miguel Alexandre Wisintainer — Orientador na FURB

---

Eng. Itamar Fernandes Soares — Orientador na Empresa

---

Prof. José Roque Voltolini da Silva — Coordenador na  
FURB do Estágio Supervisionado

## **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Miguel Alexandre Wisintainer

---

Prof. Sérgio Stringari

---

Prof. Antonio Carlos Tavares

# DEDICATÓRIA

“Escale a montanha dos seus ideais e a conquiste.”

Dedico este trabalho a minha esposa e melhor amiga que sempre me apoiou e me deu forças para terminar essa escalada, principalmente nos momentos mais difíceis.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que sempre está ao meu lado, guiando e orientando minha vida, agradeço por mais essa conquista.

A minha esposa e amiga Patricia, pela compreensão, apoio e incentivo nessa jornada.

Aos meus pais Odair e Matilde pela compreensão e incentivo de sempre e ao meu sogro Renato e sogra Lourdes, pelo carinho e orações.

A empresa Weg Industria, divisão Acionamentos, pela oportunidade de realização deste estágio.

Ao gerente do departamento Técnico, Sr. Reinaldo Stuart Junior, pelo apoio, atenção e confiança em meu trabalho.

Ao Sr. Itamar Fernandes Soares, orientador do estágio na empresa, pela disposição, paciência, compreensão e amizade com que sempre me recebeu.

Ao coordenador do estágio supervisionado, professor José Roque Voltolini da Silva, em especial ao orientador do estágio, professor Miguel Alexandre Wisintainer, pela dedicação, otimismo e amizade com que sempre me orientou durante o estágio.

Aos meus colegas e amigos do curso de ciências da computação, no qual estivemos juntos nesta caminhada, pela companhia e amizade em todos os momentos.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

# SUMÁRIO

Lista de Figuras .....	viii
Lista de Quadros .....	xi
lista de tabelas.....	xii
Resumo .....	xiii
Abstract.....	xiv
1 Introdução .....	1
1.1 Motivação .....	2
1.2 Objetivos .....	2
1.3 Organização do Texto .....	3
2 Motores Elétricos.....	5
2.1 Definição de Motor Elétrico .....	5
2.2 Motor Elétrico de Indução.....	8
2.2.1 Princípio de Funcionamento .....	9
3 Conceitos Complementares .....	12
3.1 Corrente Alternada .....	12
3.1.1 Sistema de Corrente Alternada Trifásico .....	13
3.1.1.1 Ligação Triângulo.....	14
3.1.1.2 Ligação Estrela .....	15
3.2 Definição de Controle .....	16
3.2.1 Sistema de Controle em Malha Aberta .....	17
3.2.2 Sistema de Controle em Malha Fechada .....	18
4 Microcontroladores.....	19
4.1.1 Arquitetura Harward versus Von Neumann.....	20

4.1.2 Arquitetura RISC versus CISC .....	22
4.1.3 Microcontrolador PIC .....	24
4.1.3.1 PIC16F877 .....	25
5 Conversor A/D .....	28
5.1 Conversor A/D do PIC16F877 .....	30
6 Linguagem C .....	32
6.1 Linguagem C para PIC .....	32
7 Norma IEC 947-4-1 .....	34
7.1 Especificações para Relés de Proteção .....	34
8 Especificação .....	36
8.1 Características do Relê Multifunção de Proteção .....	36
8.2 Modelo Térmico .....	37
8.2.1 Aspectos Térmicos .....	37
8.2.2 Simulação da Temperatura .....	39
8.3 Hardware do Relê Multifunção .....	42
8.3.1 Circuito Amplificador / Retificador do Sinal de Corrente Elétrica .....	42
8.3.2 Circuito para Detecção de Passagem por Zero .....	44
8.3.3 Ajuste de Corrente .....	45
8.3.4 Ajuste da Classe de Disparo .....	46
8.4 Software do Relê Multifunção .....	47
8.4.1 Programa Principal .....	47
8.4.2 Aquisição e Cálculo da Corrente RMS .....	49
9 Implementação .....	50
9.1 Equipamentos Necessários .....	50
9.2 Softwares Necessários .....	51

9.3 Implementação do Protótipo .....	51
9.4 Funcionamento do Protótipo .....	53
10 Conclusões .....	57
10.1 Limitações .....	58
10.2 Extensões .....	58
Glossário .....	60
Referências Bibliográficas.....	62

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Transformação de energia no motor .....	5
Figura 2: Quadro geral de motores elétricos .....	6
Figura 3: Motor síncrono.....	7
Figura 4: Motor assíncrono. ....	7
Figura 5: Rotor gaiola.....	8
Figura 6: Vista do estator com o motor em corte. ....	9
Figura 7: Campo magnético. ....	9
Figura 8: Soma gráfica dos campos para seis instantes sucessivos.....	10
Figura 9: Sinal CA monofásico característico.....	12
Figura 10: Sinal CA trifásico característico. ....	13
Figura 11: Ligação triângulo. ....	14
Figura 12: Tensão e corrente de fase na ligação triângulo. ....	15
Figura 13: Ligação estrela. ....	15
Figura 14: Tensão e corrente de fase na ligação estrela. ....	16
Figura 15: Sistema de controle em malha aberta.....	17
Figura 16: Sistema de controle em malha fechada. ....	18
Figura 17: Microcontroladores. ....	19
Figura 18: Estrutura interna de um microcontrolador. ....	20
Figura 19: Arquitetura Harward .....	21
Figura 20: Arquitetura Von Neumann.....	21
Figura 21: Estrutura <i>pipelining</i> .....	25
Figura 22: Diagrama interno do PIC 16F877.....	26
Figura 23: Diagrama dos pinos do PIC 16F877.....	27



Figura 24: Sinal analógico característico.....	28
Figura 25: Configuração básica.....	29
Figura 26: Processo global de conversão. ....	29
Figura 27: Diagrama do modulo A/D.....	30
Figura 28: Modelo da entrada analógica. ....	31
Figura 29: Diagrama do relê de proteção multifunção. ....	37
Figura 30: Elevação da temperatura no enrolamento. ....	38
Figura 31: Motor de indução com característica de queima por sobrecarga. ....	38
Figura 32: Modelo térmico. ....	39
Figura 33: Tempos de desarme conforme IEC947-4-1. ....	41
Figura 34: Simulação do modelo térmico.....	41
Figura 35: Circuito eletrônico do relê.....	42
Figura 36: Circuito eletrônico para tratamento do sinal analógico. ....	43
Figura 37: Tensão VIN e ANX para corrente de 1A.....	44
Figura 38: Tensão VIN e ANX para corrente de 5A.....	44
Figura 39: Circuito detector de passagem por zero. ....	45
Figura 40: Sinal de saída REX com ANX.....	45
Figura 41: Circuito para ajuste da corrente do relê. ....	46
Figura 42: Circuito para seleção da classe de disparo. ....	47
Figura 43: Fluxograma do programa principal.....	48
Figura 44: Fluxograma da rotina de aquisição .....	49
Figura 45: Bancada de desenvolvimento.....	51
Figura 46: Vista frontal do relê. ....	53
Figura 47: Esquema de ligação do relê.....	54
Figura 48: Funcionamento normal. ....	55

Figura 49: Desarme por sobrecarga.....	55
Figura 50: Desarme por falta de fase.....	56
Figura 51: Desarme por desbalanceamento.....	56

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Rotina para manipulação de entradas e saídas. ....	33
Quadro 2: Rotina de aquisição e cálculo da corrente RMS.....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características de máquinas RISC e CISC .....	23
Tabela 2: Tempo de desarme.....	34
Tabela 3: Classe de disparo. ....	35
Tabela 4: Valores de tensão do circuito amplificador/retificador. ....	43

## **RESUMO**

Este trabalho de estagio supervisionado visa realizar a construção de um protótipo de relê de proteção multifunção para motores de indução trifásicos. Através do monitoramento da corrente do motor, o relê identifica a presença de sobrecarga, desbalanceamento e falta de fase. O relê é baseado no microcontrolador PIC16F877 e nas especificações da norma IEC 947-4-1.

## **ABSTRACT**

This traineeship work intend to build a multifunction protection relay for triphase inductor motors. Through the sink monitor, the relay identifies the overloading, umbalance and phase loss. The relay was building using the PIC16F877 microcontroler and IEC 947-4-1 especification.

# 1 INTRODUÇÃO

O mundo sofreu uma mudança tecnológica e social profunda com o advento da eletrônica, impulsionada com o desenvolvimento dos microprocessadores (Ideali,1987).

Particularmente na área dos semicondutores, a eletrônica tem evoluído a passos largos, onde pode-se notar as diferentes fases, a descoberta do transistor, o surgimento dos circuitos integrados e a apresentação dos microprocessadores (Ideali,1987).

Com o nascimento do primeiro microprocessador, desencadeou-se no mundo, uma concorrência fenomenal na criação de novas pastilhas, mais rápidas, com maior capacidade de acesso à memória, grande versatilidade de operação e utilização, gerando uma crescente utilização dos mesmos em equipamentos destinados à pesquisa, assistência, entretenimento, contabilidade e todos os setores industriais (Visconti,1988).

Analisando o mercado de acionamentos elétricos, observa-se muitos equipamentos eletromecânicos para proteção e manobra de motores elétricos, como contadores, disjuntores e relês de sobrecarga térmica, os quais estão sendo aperfeiçoados ou substituídos utilizando alguma forma de eletrônica, seja ela analógica ou digital, tornando-se o que hoje se chama de equipamento mecatrônico.

Porém, por questões de custo, os equipamentos mecatrônicos detêm uma fatia ainda pequena do mercado de acionamentos elétricos, mas com grande expectativa de crescimento, onde várias empresas de classe mundial já possuem uma linha de equipamentos mecatrônicos como complemento de sua linha eletromecânica, tais como contator em estado sólido, relê de sobrecarga eletrônico e relê de proteção multifunção.

Nos últimos anos tem crescido a exigência do mercado por uma proteção mais completa, porém compacta e de baixo custo. Os fabricantes de equipamentos de manobra e proteção de motores elétricos estão respondendo este desejo dos consumidores oferecendo ao mercado produtos que agregam varias funções de proteção em um único produto, onde anteriormente somente era possível com vários equipamentos em separado (Soares,2000).

Na busca por equipamentos com proteção completa para motores elétricos, os microcontroladores e microprocessadores aparecem como uma alternativa interessante, uma vez que sua capacidade de processamento e recursos internos são de grande utilidade, pois existem inúmeras variáveis envolvidas na proteção dos motores e sua flexibilidade em agregar novas funções deve ser destacada.

Seguindo as tendências, a empresa Weg Indústrias, Divisão Acionamentos, propõe o desenvolvimento de um relê de proteção multifunção, baseado em soluções já existentes, para complementar sua linha de produtos.

O relê de proteção multifunção realizará a proteção térmica do motor elétrico, monitorando corrente elétrica. Os sinais são processados por um microcontrolador e comparados com referências ajustadas. O resultado deste processamento permitirá a identificação de sobrecarga, desbalanceamento e falta de fase no motor elétrico. Na presença de alguma anomalia citada anteriormente, o relê desligará o motor elétrico através de saídas à relê, preservando a integridade do mesmo.

De acordo com a descrição acima, será utilizado a linguagem C proprietária do microcontrolador para implementar o algoritmo.

## **1.1 MOTIVAÇÃO**

A grande questão era encontrar um tema que fosse ao encontro aos conhecimentos em eletroeletrônica adquiridos na empresa e os de programação na graduação em Ciências da Computação. Os microcontroladores e microprocessadores surgiram como o elo de ligação, abrindo um grande leque de possibilidades, onde o relê de proteção multifunção para motores elétricos aparece como uma aplicação que agrega conhecimento em ambos os campos de conhecimento.

## **1.2 OBJETIVOS**

Implementar um protótipo de relê multifunção para proteção de motores elétricos, baseado em soluções já existentes, utilizando um microcontrolador.



Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) avaliar as funções de proteção de relês concorrentes conforme norma IEC 947-4-1;
- b) avaliar tecnologias utilizadas e soluções já existentes;
- c) implementar proteção do motor elétrico contra sobrecarga, desbalanceamento e falta de fase;
- d) implementar modelo térmico (característica de aquecimento e resfriamento) do motor elétrico.

### **1.3 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO**

O segundo capítulo faz um breve histórico dos motores elétricos, tipos de motores e princípios de funcionamento.

O terceiro capítulo trata de uma revisão bibliográfica dos conceitos envolvidos no trabalho como corrente alternada, sistema trifásico, ligação triângulo, ligação estrela e conceitos sobre controle.

O quarto capítulo descreve os microcontroladores, arquiteturas Harvard e Von Neumann, arquiteturas RISC e CISC e microcontroladores PIC.

O capítulo 5 explica o conversor A/D e descreve o conversor A/D do PIC16F877, utilizado para leitura da corrente do motor.

O sexto capítulo descreve a linguagem de programação C, e faz um comparativo entre o C ANSI e o C para PIC.

No capítulo 7 temos as especificações da norma IEC 947-4-1 para relês de proteção de motores.

No oitavo capítulo temos a especificação do protótipo do relê de proteção multifunção, o modelo térmico utilizado, o desenvolvimento do hardware e o software.

No capítulo 9 temos a descrição dos equipamentos e softwares utilizados, a implementação do programa do microcontrolador e o funcionamento do protótipo.

No décimo capítulo tem-se as conclusões, limitações e trabalhos futuros.

## 2 MOTORES ELÉTRICOS

O motor de indução trifásico foi “inventado” pelo russo Michael Dolivo-Dobrovolski, que era engenheiro da AEG – Alemanha, em 1889. Tal concepção prevalece até hoje (Filho,2000).

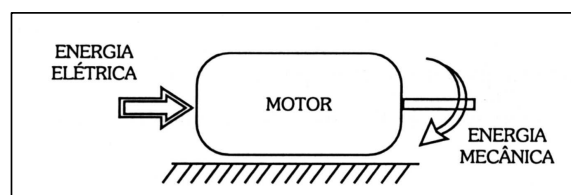
O princípio da indução magnética foi estabelecido por M. Faraday, em 1831, embora tenha sido descoberto alguns anos antes por F.D Arago, em 1824. Nessa época, já se sabia que um ímã rotativo era capaz de fazer girar um disco metálico pela ação da indução (Filho,2000).

Depois de uma década, por volta de 1897, o croata naturalizado norte-americano Nikola Tesla e o italiano Galileo Ferraris conseguiram obter um campo girante, a partir de duas bobinas defasadas de  $90^\circ$  no espaço e alimentadas por correntes senoidais defasadas de  $90^\circ$  no tempo. Era o campo girante bifásico (Filho,2000).

Logo em seguida iniciou-se a produção dos motores assíncronos bifásicos pela empresa norte –americana Westinghouse. Eram os motores precursores dos atuais motores de indução monofásicos. Pouco tempo depois da invenção de Dobrovolski, teve início a produção seriada dos motores de indução trifásicos (Filho,2000).

### 2.1 DEFINIÇÃO DE MOTOR ELÉTRICO

O motor elétrico é uma máquina que transforma energia elétrica em energia mecânica, usualmente disponibilizada num eixo em rotação, como mostra a figura1 (Filho,2000).



**Figura 1: Transformação de energia no motor**

O motor elétrico é a máquina mais utilizada na indústria, no meio rural, no comércio, nos serviços e nas residências. Isto se deve às qualidades inerentes da energia elétrica, ou seja, trata-se de uma energia limpa, de baixo custo e de fornecimento instantâneo. Pelo lado dos motores, eles são fabricados desde potências minúsculas de alguns *watts*, até potências gigantescas de milhares de quilowatts. Suas características operacionais atendem a quaisquer tipos de cargas, aliadas a um rendimento na transformação de energia. A instalação e manutenção são razoavelmente simples. É uma máquina extremamente segura. Sob o ponto de vista econômico, são imbatíveis frente a quaisquer outros tipos de motores (Filho,2000).

Existem diversos tipos de motores elétricos, os quais são divididos em duas grandes famílias. A primeira é dos motores acionados por corrente alternada (motores ca). A Segunda é a dos motores acionados por corrente contínua (motores cc) (Filho,2000). A figura 2 apresenta o quadro geral dos motores elétricos.

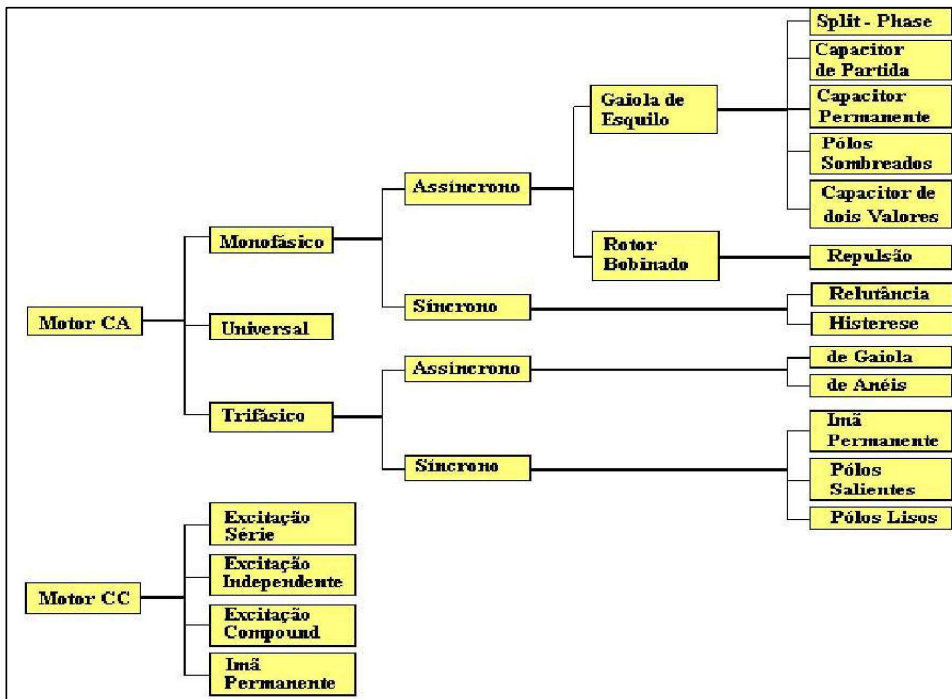


Figura 2: Quadro geral de motores elétricos

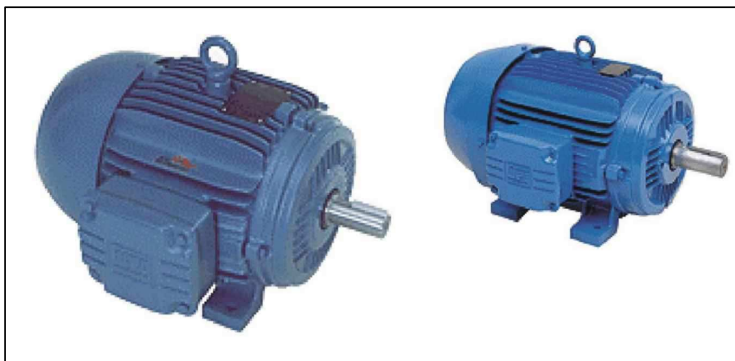
Os motores elétricos acionados por corrente alternada trifásicos e monofásicos dividem-se em dois grandes grupos: Motores Síncronos e Motores Assíncronos:

- a) motor síncrono: esse tipo de motor opera com velocidade fixa. Normalmente, esses motores são empregados para grandes potências, ou quando se necessita de velocidade invariável (Capelli,2001). A figura 3 ilustra um modelo de motor síncrono;



**Figura 3: Motor síncrono.**

- b) motor assíncrono: também conhecido como motor de indução (ou gaiola), como ilustrado na figura 4, é o mais utilizado no meio industrial. Opera com velocidade constante, mas pode variar a velocidade com a variação da carga. Com a evolução da tecnologia dos conversores de frequência, ele veio a substituir em grande parte os motores de corrente contínua (Capelli,2001).



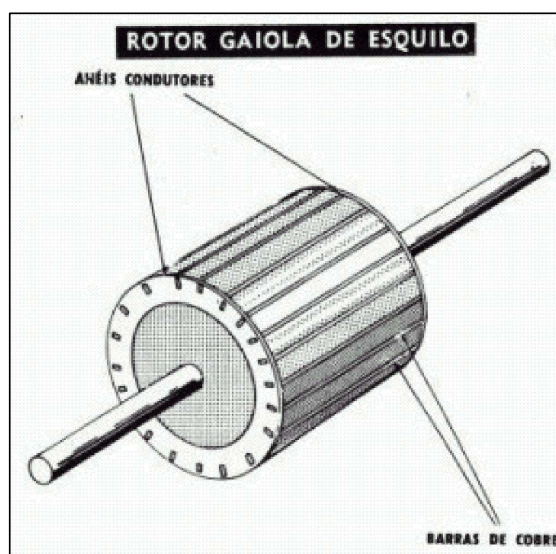
**Figura 4: Motor assíncrono.**

## 2.2 MOTOR ELÉTRICO DE INDUÇÃO

Este é o motor mais utilizado na indústria atualmente. Tem a vantagem de ser mais econômico em relação a outros tipos de motores elétricos tanto na sua construção como na sua utilização (Cerqueira,1998).

O motor de indução, é composto fundamentalmente por duas partes: rotor e estator.

O rotor é constituído por um núcleo de chapas ferromagnéticas, isoladas entre si, sobre o qual são colocadas barras de alumínio (condutores), dispostos paralelamente entre si e unidas nas suas extremidades por dois anéis condutores, também em alumínio, que curto-circuitam os condutores (Cerqueira,1998), como ilustra a figura 5.

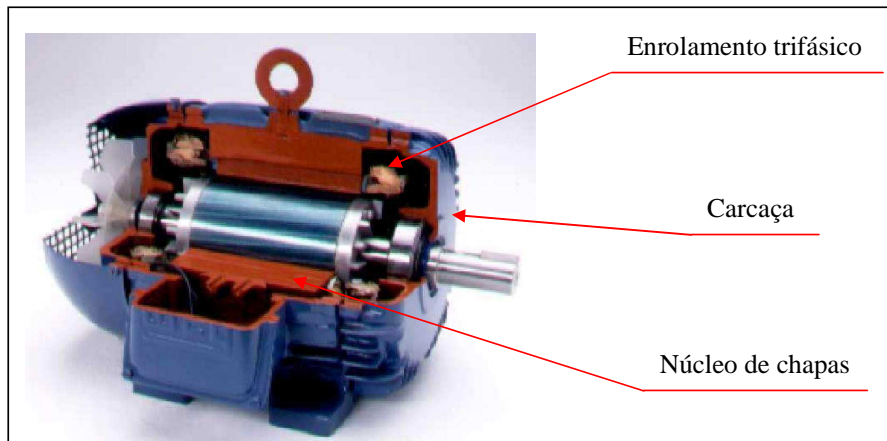


**Figura 5: Rotor gaiola.**

De acordo com (Weg,2000), o estator é constituído por carcaça, núcleo de chapas e enrolamento trifásico, como ilustra a figura 6.

O estator é uma parte estática do motor de indução, constituído por um núcleo de chapas finas de aço magnético, tratadas termicamente para reduzir ao mínimo as perdas por correntes parasitas e por histerese ou não, no caso de aços siliciosos (Filho,2000).

Essas chapas têm a forma de um anel com ranhuras internas, e servem para acomodar os conjuntos de bobinas, ou simplesmente enrolamentos, que irão criar o campo girante. As bobinas localizadas nas ranhuras do estator recebem a potência elétrica diretamente da rede (Filho,2000).

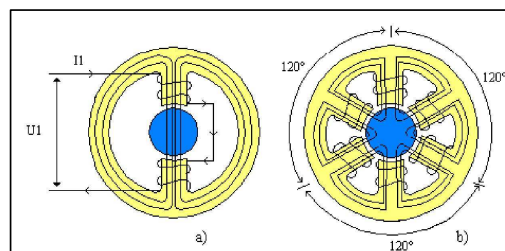


**Figura 6: Vista do estator com o motor em corte.**

O conjunto estator-rotor constitui um circuito magnético que possibilita ao fluxo um caminho fechado de baixa relutância. O vão livre entre o estator e o rotor, necessário para o desenvolvimento da rotação, é chamado de entreferro.

### 2.2.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

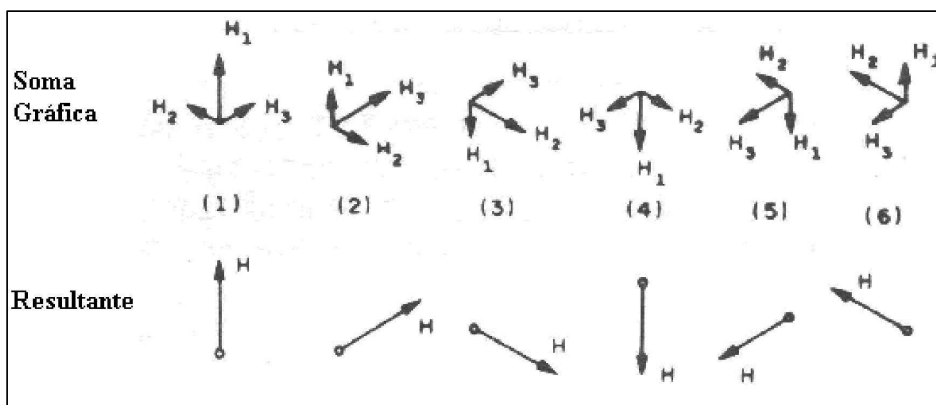
Quando uma bobina é percorrida por uma corrente elétrica, é criado um campo magnético dirigido, conforme o eixo da bobina e de valor proporcional à corrente (Capelli,2001).



**Figura 7: Campo magnético.**

Na figura 7 é ilustrado um “enrolamento trifásico”, que é transformado por três monofásicos espaçados entre si à  $120^\circ$ . Se este enrolamento for alimentado por um sistema trifásico, as correntes  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  criarão, do mesmo modo, os seus próprios campos magnéticos  $H_1$ ,  $H_2$  e  $H_3$ . Estes campos são espaçados entre si de  $120^\circ$  (Weg,2000).

Além disso, como são proporcionais às respectivas correntes, serão defasados no tempo, também de  $120^\circ$  entre si e podem ser representados por um gráfico igual ao da figura 8. O campo total  $H$  resultante, a cada instante, será igual à soma gráfica dos três campos  $H_1$ ,  $H_2$  e  $H_3$  naquele instante (WEG,2000).



**Figura 8: Soma gráfica dos campos para seis instantes sucessivos.**

No instante (1), a figura 8 mostra que o campo  $H_1$  é máximo e os campos  $H_2$  e  $H_3$  são negativos e de mesmo valor, iguais a  $0,5$  de  $H_1$ . Os três campos são representados na figura 8 (1), parte superior, levando em conta que o campo negativo é representado por um vetor de sentido oposto ao que seria normal; o campo resultante (soma gráfica) é mostrado na parte inferior da figura 8, tendo a mesma direção do enrolamento da fase 1. Repetindo a construção para os pontos 2, 3, 4, 5 e 6 da figura 8, observa-se que o campo resultante  $H$  tem intensidade “constante”, porém sua direção vai “girando”, completando uma volta no fim de um ciclo (WEG,2000).

Assim, quando um enrolamento trifásico é alimentado por correntes trifásicas, cria-se um “campo girante”, como se houvesse um único par de pólos girantes, de intensidade constante. Este campo girante, criado pelo enrolamento trifásico do estator, induz tensões nas



barras do rotor (linhas de fluxo cortam as barras do rotor) as quais geram correntes, e consequentemente, um campo no rotor, de polaridade oposta à do campo girante. Como campos opostos se atraem e como o campo do estator (campo girante) é rotativo, o rotor tende a acompanhar a rotação deste campo. Desenvolve-se então, no rotor, um conjugado motor que faz com que ele gire, acionando a carga (WEG,2000).

**[SAF1] Comentário:** Talvez isto seja eliminado..... ou siga como extensão

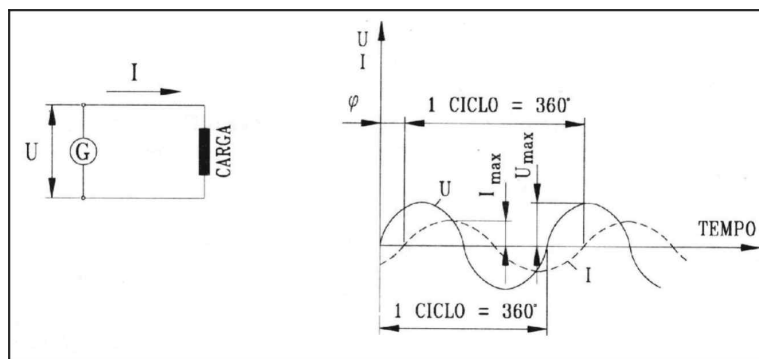
### 3 CONCEITOS COMPLEMENTARES

Para que seja possível um maior entendimento do trabalho torna-se importante observar alguns conceitos que estão envolvidos.

#### 3.1 CORRENTE ALTERNADA

A corrente alternada caracteriza-se pelo fato de que a tensão, em vez de permanecer fixa, como entre os pólos de uma fonte de tensão, varia com o tempo, mudando de sentido alternadamente. No sistema monofásico uma tensão alternada  $U$  (volt) é gerada e aplicada entre dois fios, aos quais se liga a carga, que absorve uma corrente  $I$  (ampére).

Representando em um gráfico os valores de  $U$  e  $I$ , a cada instante, vamos obter a figura 9, estão também indicadas algumas grandezas que serão definidas em seguida. Note que as ondas de tensão e de corrente não estão em fase, isto é, não passam pelo valor zero ao mesmo tempo, embora tenha a mesma frequência, isto acontece para muitos tipos de carga, por exemplo, enrolamentos de motores (cargas reativas).



**Figura 9: Sinal CA monofásico característico.**

- **Frequência:** É o número de vezes por segundo que a tensão muda de sentido e volta a condição inicial. É expressa em ciclos por segundo ou Hertz, simbolizada por Hz;

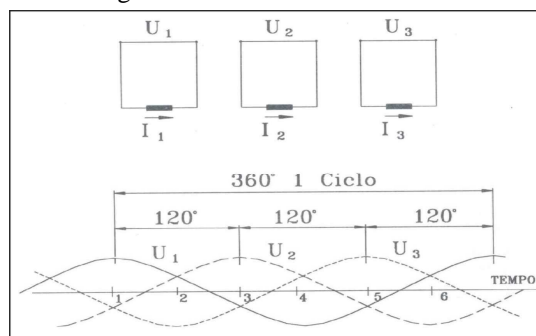
- **Tensão Máxima ( $U_{máx}$ ):** É o valor de pico da tensão, ou seja, o maior valor instantâneo atingido pela tensão durante um ciclo (este valor é atingido duas vezes por ciclo, uma vez positivo e uma vez negativo).
- **Corrente Máxima ( $I_{máx}$ ):** É o valor de pico da corrente;
- **Valor eficaz de tensão e corrente ( $U$  e  $I$ ):** É o valor da tensão e corrente alternadas que desenvolvem potência correspondente àquela desenvolvida pela corrente contínua. Pode-se demonstrar que o valor eficaz vale:

$$U = \frac{U_{máx}}{\sqrt{2}} \quad \text{e} \quad I = \frac{I_{máx}}{\sqrt{2}}$$

- **Defasagem ou fator de deslocamento ( $\phi$ ):** é o “atraso” ou “adiantamento” da onda de corrente em relação a onda da tensão. Em vez de ser medido em tempo (segundos), este atraso é geralmente medido em ângulo (graus) correspondente a fração de um ciclo completo, considerando 1 ciclo =  $360^\circ$ . A defasagem é freqüentemente expressa pelo **coseno** do ângulo.

### 3.1.1 SISTEMA DE CORRENTE ALTERNADA TRIFÁSICO

O sistema trifásico é formado pela associação de três sistemas monofásicos de tensões  $U_1$ ,  $U_2$  e  $U_3$ , onde a defasagem entre elas seja de  $120^\circ$ , ou seja, os “atrasos” de  $U_2$  em relação a  $U_1$ , de  $U_3$  em relação a  $U_2$  e de  $U_1$  em relação a  $U_3$  sejam iguais a  $120^\circ$  (considerando um ciclo completo =  $360^\circ$ ). O sistema é equilibrado, isto é, as três tensões têm o mesmo valor eficaz  $U_1 = U_2 = U_3$  conforme figura 10.



**Figura 10: Sinal CA trifásico característico.**

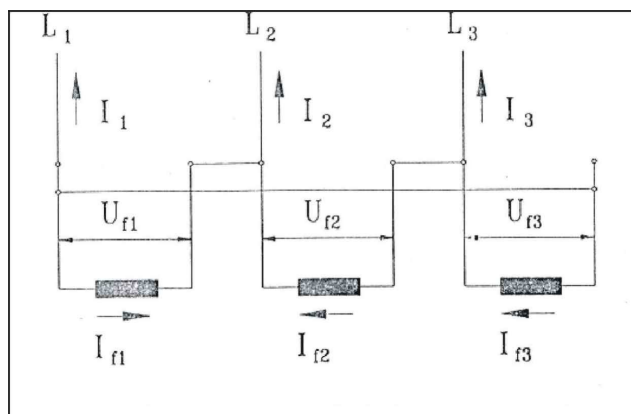
Ligando entre si os três sistemas monofásicos e eliminando os fios desnecessários, tem-se um sistema trifásico: três tensões  $U_1$ ,  $U_2$  e  $U_3$  equilibradas, defasadas entre si de  $120^\circ$  e aplicadas entre os três fios do sistema. A ligação pode ser feita de duas maneiras, representadas nas figuras seguintes. Nestes esquemas costuma-se representar as tensões com setas inclinadas ou valores girantes, mantendo entre si o ângulo correspondente à defasagem ( $120^\circ$ ).

### 3.1.1.1 LIGAÇÃO TRIÂNGULO

Ligando-se os três sistemas monofásicos entre si, como indica a figura 11, pode-se eliminar três fios, deixando apenas um em cada ponto de ligação, e o sistema trifásico ficará reduzido a três fios  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$ .

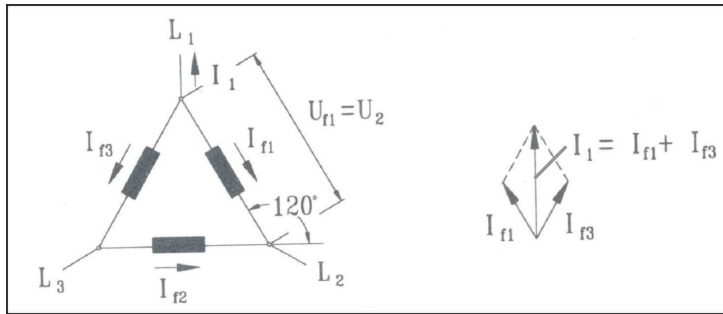
Tensão de linha ( $U$ ): É a tensão nominal do sistema trifásico aplicada entre dois quaisquer dos três fios  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$ .

Corrente de linha ( $I_L$ ): É a corrente em qualquer um dos três fios  $L_1$ ,  $L_2$ , e  $L_3$ .



**Figura 11: Ligação triângulo.**

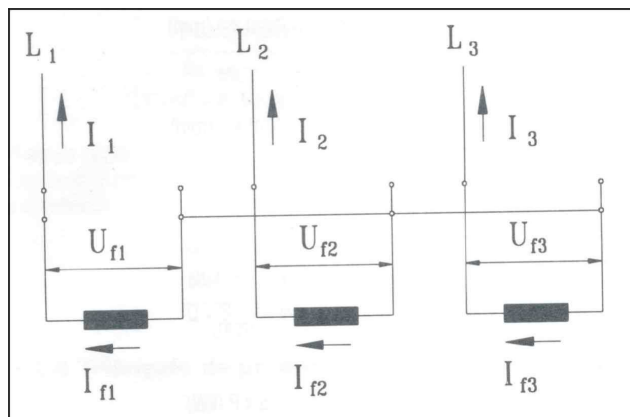
Tensão e corrente de fase ( $U_1$  e  $I_1$ ): É a tensão e a corrente de cada um dos três sistemas monofásicos considerados, como ilustra a figura 12.



**Figura 12: Tensão e corrente de fase na ligação triângulo.**

### 3.1.1.2 LIGAÇÃO ESTRELA

Ligando um dos fios de cada sistema monofásico a um ponto comum aos três, os três fios restantes formam um sistema trifásico conhecido como ligação estrela, ilustrado na figura 13. Às vezes, o sistema trifásico em estrela é “a quatro fios”, ou “com neutro”. O quarto fio é ligado ao ponto comum às três fases. A tensão de linha ou tensão nominal do sistema trifásico e a corrente de linha, são definidas do mesmo modo que na ligação triângulo.

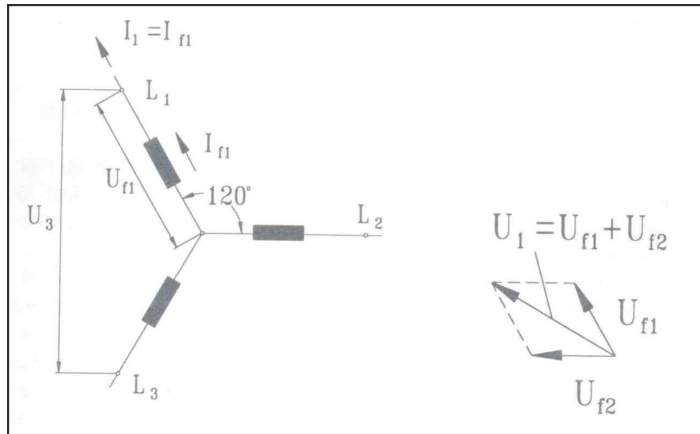


**Figura 13: Ligação estrela.**

Quando liga-se uma carga trifásica em estrela, e a potência das cargas em cada fase for igual, não há necessidade de se ligar o ponto central (comum) ao neutro, pois não irá circular corrente alguma por este ponto, neste caso tem-se um sistema equilibrado.

Caso as potências forem diferentes deve-se ligar o ponto central ao neutro, pois do contrário ficariam tensões diferentes em cima de cada carga e teríamos um sistema desequilibrado.

A figura 14 ilustra a tensão e corrente de fase na ligação estrela.



**Figura 14: Tensão e corrente de fase na ligação estrela.**

### 3.2 DEFINIÇÃO DE CONTROLE

Nos últimos anos, os sistemas de controle automáticos têm assumido uma importância crescente no desenvolvimento e avanço da tecnologia. Praticamente todas as atividades envolvidas no nosso dia a dia, são afetadas por algum tipo de sistema de controle

Os sistemas de controle automático são encontrados em abundância em setores da indústria, tais como controle de qualidade e fabricação de produtos, linhas de montagem automática, controle de ferramentas, tecnologia espacial e de armamento, sistemas de transporte, sistemas de potência, robôs e muitos outros (Ogata,1998).

Segundo (Ogata,1998) os sistemas de controle automático representam um papel vital no avanço da engenharia e da ciência, tornando-se parte integrante e importante dos processos industriais e de fabricação modernos.

O controle automático é realizado com um “dispositivo de controle”(também chamado de equipamento ou sistema controlante), que deve ser acrescentado ao sistema existente. O

dispositivo de controle compõe-se, geralmente, de três partes, tendo cada parte a sua função específica (Fröhr,1990).

A primeira função do dispositivo de controle é exercida pelo transdutor de medição. Ele mede a variável controlada e a transforma em um sinal compreensível para o restante do dispositivo de controle (Fröhr,1990).

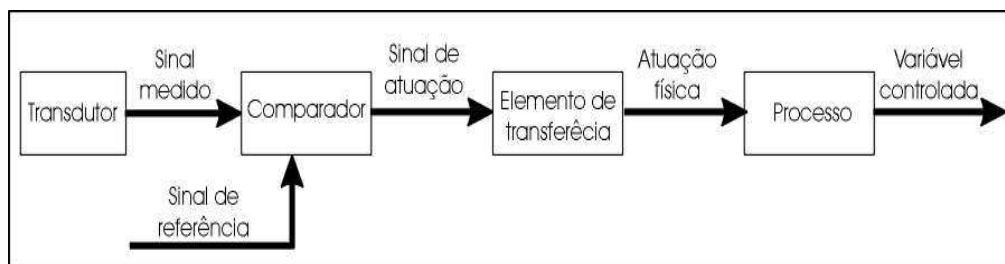
A Segunda função é executada pelo comparador, onde é realizado a comparação do valor da variável controlada com o valor de comando e determina o erro de controle(Fröhr,1990).

A terceira função do dispositivo de controle é executada pelo elemento de transferência, que a partir do erro de controle e através do melhor ajuste possível dos parâmetros de controle, forma a variável manipulada necessária para uma ação ótima de controle (Fröhr,1990).

### 3.2.1 SISTEMA DE CONTROLE EM MALHA ABERTA

Um sistema de controle de malha aberta é aquele no qual a saída não tem efeito sobre a entrada (Fröhr,1990).

Em um sistema de controle em malha aberta, a saída não é medida e nem é realimentada para comparação com a entrada. Assim, a previsão do sistema depende de uma calibração, sendo que o sistema deve manter esta calibração de forma a operar corretamente. A figura 15 ilustra um sistema de controle em malha aberta (Ogata,1998).



**Figura 15: Sistema de controle em malha aberta.**

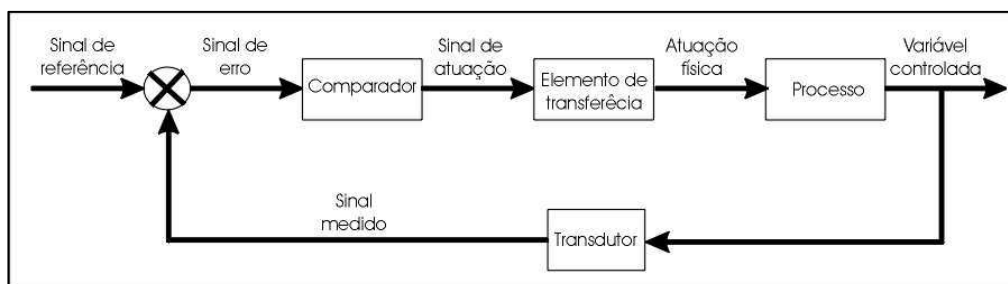
Devido a sua simplicidade e economia, os sistemas de controle em malha aberta são utilizados em aplicações não críticas.

### 3.2.2 SISTEMA DE CONTROLE EM MALHA FECHADA

Um sistema de controle em malha fechada é aquele no qual o sinal de saída possui um efeito direto no sinal de entrada (Fröhr,1990).

Sistemas de controle em malha fechada são sistemas de controle realimentados. O sinal de erro atuante, que é a diferença entre o sinal de entrada e o sinal realimentado, é fornecido ao controlador de modo a reduzir o erro e manter a saída do sistema em um valor desejado (Ogata,1998), como ilustra a figura 16.

Um controle realimentado se caracteriza por uma operação que, na presença de distúrbios, tende a reduzir a diferença entre a saída do sistema e a entrada de referência. Um controlador compara o valor real da saída do processo com o valor desejado, determina o desvio, e produz um sinal de controle que reduz o desvio a um valor nulo ou muito pequeno. Assim, uma vantagem do sistema com realimentação é tornar a resposta do sistema relativamente insensível a distúrbios externos e variações internas em parâmetros do sistema (Ogata,1998).



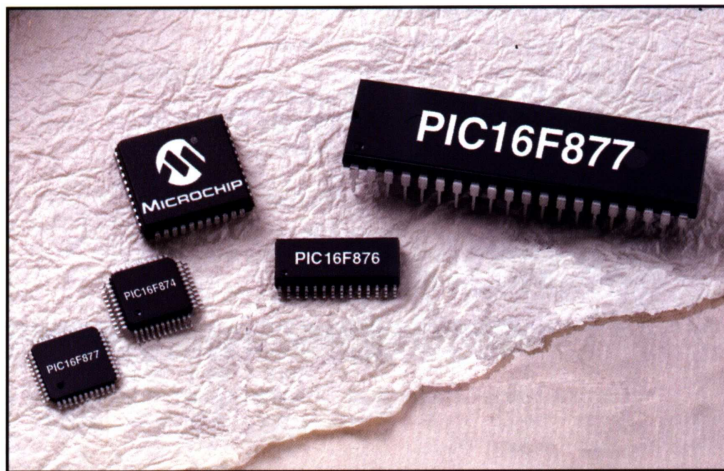
**Figura 16: Sistema de controle em malha fechada.**



## 4 MICROCONTROLADORES

Em poucas palavras, pode-se definir o microcontrolador como um “pequeno” componente eletrônico, dotado de uma “inteligência” programável, utilizado no controle de processos lógicos (Souza,2000), como ilustra a figura 17.

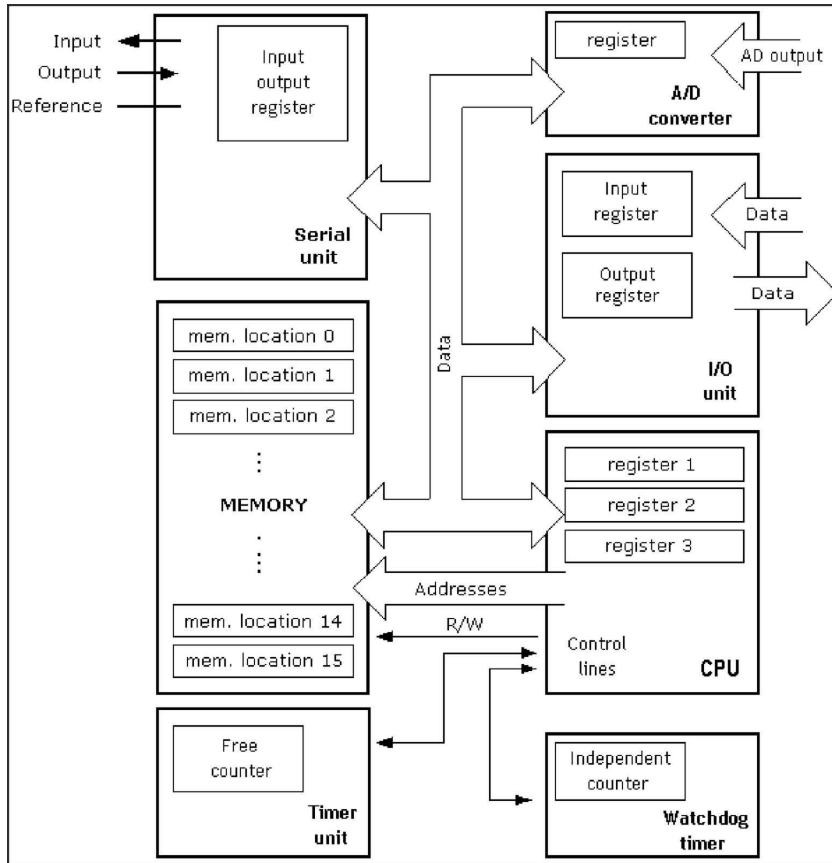
O controle de processos deve ser entendido como o controle de periféricos, tais como: LED's, botões, display's de segmentos, display's de cristal líquido (LCD), resistências, relês, sensores diversos (pressão, temperatura, etc.) e muitos outros. São chamados de controles lógicos, pois a operação do sistema baseia-se nas ações lógicas que devem ser executadas, dependendo do estado dos periféricos de entrada e/ou saída (Souza,2000).



**Figura 17: Microcontroladores.**

O microcontrolador é programável, pois toda lógica de operação é estruturada na forma de programa e gravada dentro do componente. Depois disso, toda vez que o microcontrolador for alimentado, o programa será executado. Quanto á inteligência do componente, pode associá-la à Unidade Lógica Aritmética (ULA), pois é nessa unidade que todas as operações matemáticas e lógicas são executadas. Quanto mais “poderosa” a ULA do componente, maior sua capacidade de processar informações (Souza,2000).

O microcontrolador possui em uma única patilha de silício encapsulada, todos os componentes necessários ao controle de um processo, ou seja, memória de programa, memória de dados, portas de entrada e/ou saída paralela, *timer's*, contadores, comunicação serial, PWM's, conversores A/D, etc.



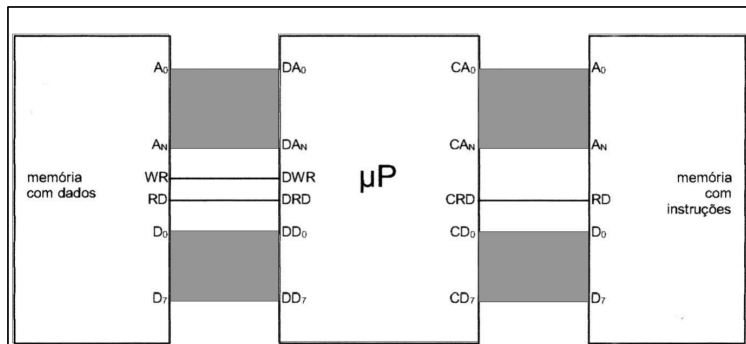
**Figura 18: Estrutura interna de um microcontrolador.**

#### 4.1.1 ARQUITETURA HARWARD VERSUS VON NEUMANN

Os microcontroladores apresentam uma estrutura de máquina interna do tipo Harward ou Von-Neumann.

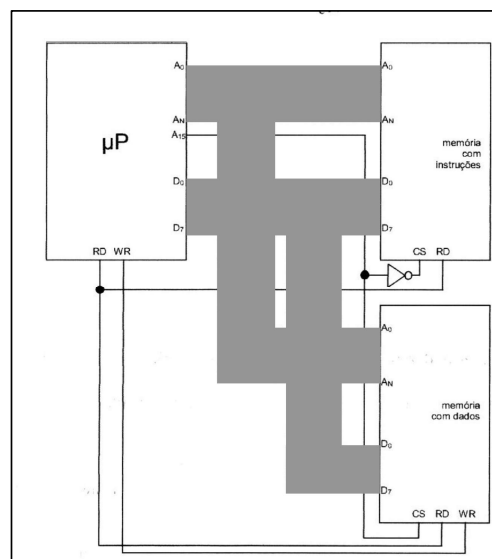
Na arquitetura Harward, há um barramento de instruções independente do barramento de dados. Enquanto um desses barramentos serve para a leitura de instruções de um programa, o outro serve para a leitura e escrita de dados. Com isso, é possível operar

simultaneamente uma instrução e um byte de dados. Isso garante maior velocidade de processamento (Tutorial,1999).



**Figura 19: Arquitetura Harvard**

Na arquitetura Von Neumann, há apenas um barramento de dados e instruções. Neste caso, as instruções estariam em uma faixa de endereços que ative a memória que possui as instruções e os dados estão em outra faixa de endereços que ative outra memória onde pode-se ler e escrever os dados. Nessa arquitetura só é possível o acesso a uma memória de cada vez (Tutorial,1999).



**Figura 20: Arquitetura Von Neumann.**

Comparando ambas, pode-se concluir que Harvard é mais veloz, mas exige mais de um barramento e Von Neumann utiliza apenas um barramento, mas não pode efetuar acessos simultâneos às memórias (Tutorial,1999).

### 4.1.2 ARQUITETURA RISC VERSUS CISC

RISC é a abreviação em inglês de Computador com Conjunto Reduzido de Instruções (*Reduced Instruction Set Computer*) nome dado em contraste com a arquitetura tradicional de computadores CISC (*Complex Instruction Set Computer*), ou Computador com Complexo Conjunto de Instruções. Como exemplo desta arquitetura temos os antigos *mainframes*, IBM 360, DEC VAX, Intel 80386, Motorola 68030 e outros( Tutorial,2000).

No começo da década de 80, a tendência era construir *chips* com conjuntos de instruções cada vez mais complexos. Porém, alguns fabricantes resolveram seguir o caminho oposto, criando o padrão RISC, capazes de executar apenas algumas poucas instruções simples. Justamente por isso, os *chips* baseados nesta arquitetura são mais simples e muito mais baratos. Outra vantagem dos processadores RISC, por terem um menor número de circuitos internos, e que podem trabalhar a frequências mais altas (Morimoto,1999).

Um processador RISC é capaz de executar tais instruções muito mais rapidamente. A idéia principal, é que apesar de um processador CISC ser capaz de executar centenas de instruções diferentes, apenas algumas são usadas frequentemente. Pode-se então criar um processador otimizado para executar apenas estas instruções simples que são usadas mais frequentemente. Em conjunto com um software adequado, este processador seria capaz de desempenhar quase todas as funções de um processador CISC, acabando por compensar suas limitações com uma maior velocidade de processamento. É indiscutível, porém, que em instruções complexas os processadores CISC saem-se melhor. Por isso, ao invés da vitória de uma das duas tecnologias, atualmente existem processadores híbridos, que são essencialmente processadores CISC, mas incorporam muitos recursos encontrados nos processadores RISC ou vice-versa (Morimoto,1999).

Examinando de um ponto de vista um pouco mais prático, a vantagem de uma arquitetura CISC é que já tem muitas das instruções guardadas no próprio processador, o que

facilita o trabalho dos programadores, que já dispõe de praticamente todas as instruções que serão usadas em seus programas (Morimoto,1999).

No caso de um *chip* estritamente RISC, o programador já teria um pouco mais de trabalho, pois como disporia apenas de instruções simples, teria que combinar várias instruções sempre que precisasse executar alguma tarefa mais complexa (Morimoto,1999).

Máquinas RISC diferem das máquinas CISC basicamente em 8 pontos críticos, como apresentado a seguir (Tutorial,2000):

RISC	CISC
Instruções simples em apenas um ciclo	Instruções complexas de múltiplos ciclos
Apenas LOADS/STORES referenciam a memória	Qualquer instrução referencia a memória
Presença forte de <i>pipeline</i>	Pouco ou nenhum <i>pipeline</i>
Instruções executadas pelo hardware	Instruções interpretadas por microprograma
Instruções de formato fixo	Instruções de formato variado
Poucas instruções e modos	Muitas instruções e modos
Complexidade no compilador	Complexidade no microprograma
Vários conjuntos de registradores	Único conjunto de registradores

**Tabela 1: Características de máquinas RISC e CISC**

Apesar das máquinas RISC terem alcançado a admiração de um bom número de usuários e estudiosos em arquitetura de computadores, existem ainda muitas controvérsias a respeito da superioridade das máquinas RISC em relação às antigas máquinas CISC. Além disso, máquinas CISC dominaram o mercado de computadores por décadas e existem também algumas limitações para máquinas RISC nas quais uma CISC apresenta rendimento bem melhor.

### 4.1.3 MICROCONTROLADOR PIC

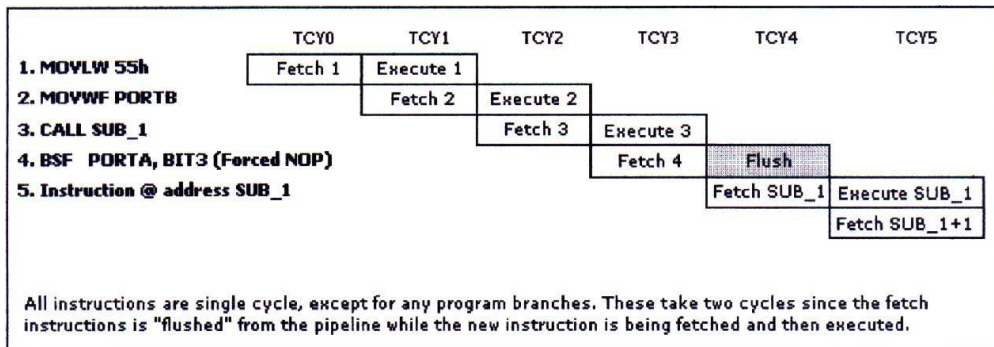
O PIC é um circuito integrado produzido pela Microchip Technology Inc, que pertence a categoria dos microcontroladores, ou seja, um componente que contém todos os recursos necessários para realizar um completo sistema digital programável, dentro de um único encapsulamento.

O PIC pode ser visto externamente como um circuito TTL ou CMOS, mas internamente dispõe de todos os dispositivos típicos de um sistema microprocessado, como:

- a) CPU;
- b) memória EEPROM;
- c) memória RAM;
- d) linhas de I/O;
- e) sofisticados periféricos, como PWM, A/D e D/A, USART;
- f) dispositivos auxiliares ao funcionamento, como gerador de *clock*, contadores, *timers*, acessíveis por meio de registradores.

A presença de todos estes dispositivos em um espaço extremamente pequeno, oferece ao desenvolvedor menos trabalho na montagem de um sistema básico, bem como redução de custos de componentes que seriam necessários caso fosse um microprocessador.

Os PICs utilizam a arquitetura RISC, apresentando assim cerca de 35 instruções (variado de acordo com o microcontrolador). Permite também a estrutura *pipelining* onde enquanto uma instrução está sendo processada outra esta sendo carregada pela via de memória de programa (Souza,2000), como ilustra a figura 21.



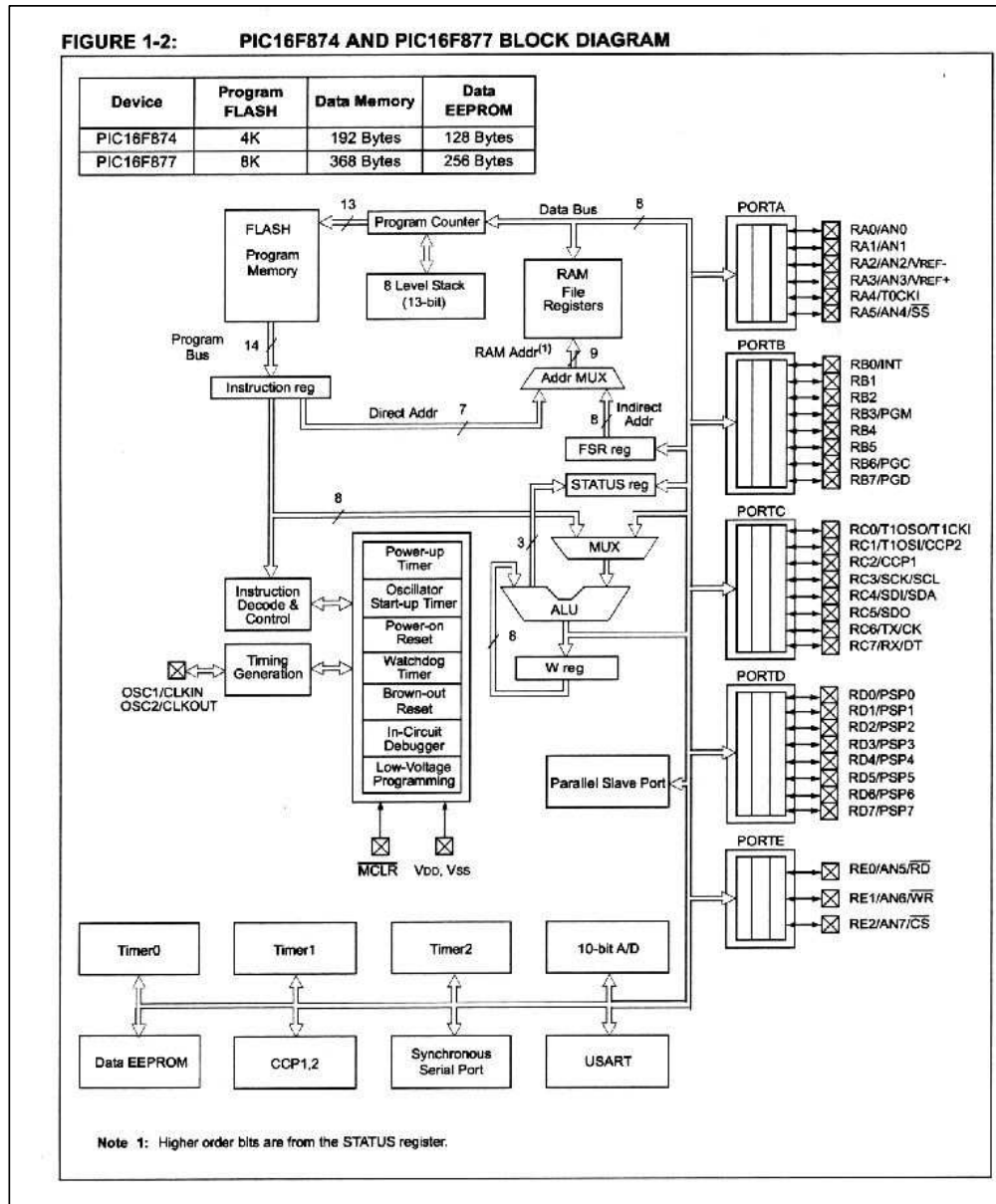
**Figura 21: Estrutura *pipelining*.**

Os microcontroladores PIC apresentam uma estrutura de máquina do tipo Harvard, onde o barramento de dados é de 8 bits e o barramento de instruções pode ser de 12, 14 ou 16 bits (Souza,2000).

#### 4.1.3.1 PIC16F877

O PIC 16F877 é um microcontrolador CMOS da família 16 da Microchip de 8 bits com 40 pinos. A figura 22 mostra o diagrama de blocos do PIC16F877 conforme (Microchip,2001), onde podem ser visualizadas as partes que o compõe:

- Apresenta cinco portas de I/O: Port A, B, C, D, E;
- Frequência de operação de 4 MHz a 20 MHz;
- Apresenta três temporizadores/contadores: TIMER0, TIMER1; TIMER2;
- Dois módulos PWM;
- Comunicação serial do tipo USART;
- Comunicação paralela PSP;
- Modulo conversor A/D com 8 entradas e resolução de 10 bits;



**Figura 22: Diagrama interno do PIC 16F877.**

- Memória de programa FLASH de 8K bytes;
- Memória de dados (RAM) de 368 bytes;



- Memória de dados EEPROM de 256 bytes;
- Conjunto de instruções com 35 instruções;
- Pilha com 8 níveis;
- Três modos de endereçamento, direto, indireto e relativo;
- Apresenta 14 interrupções;
- Barramento de dados de 8 bits;
- Barramento de endereço de 14 bits;

Conforme (Microchip,2001), a figura 23 ilustra o diagrama de pinos do PIC 16F877, com suas respectivas funções.

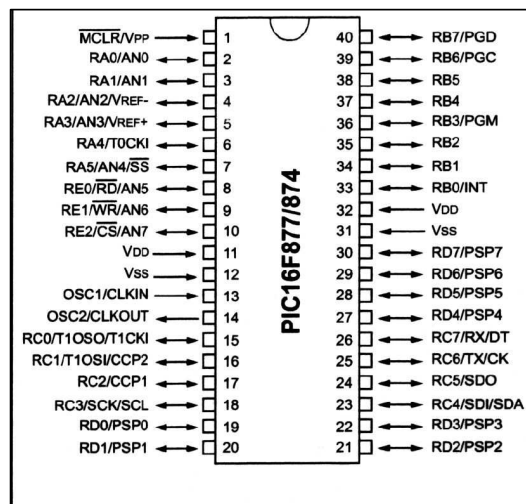
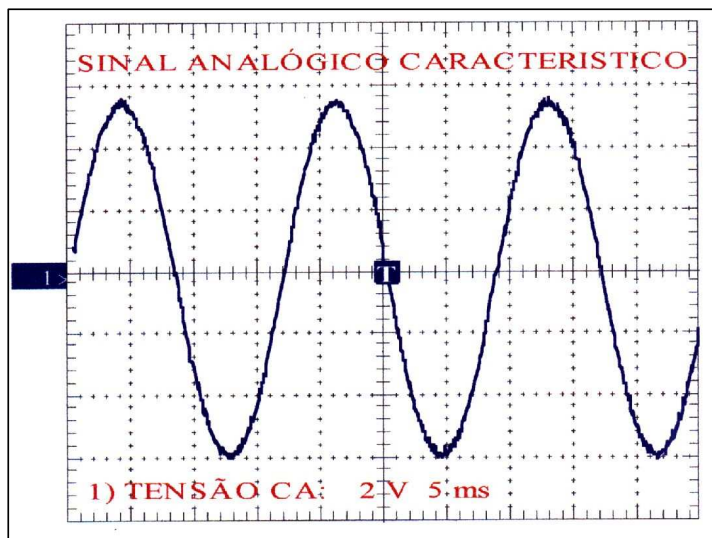


Figura 23: Diagrama dos pinos do PIC 16F877.

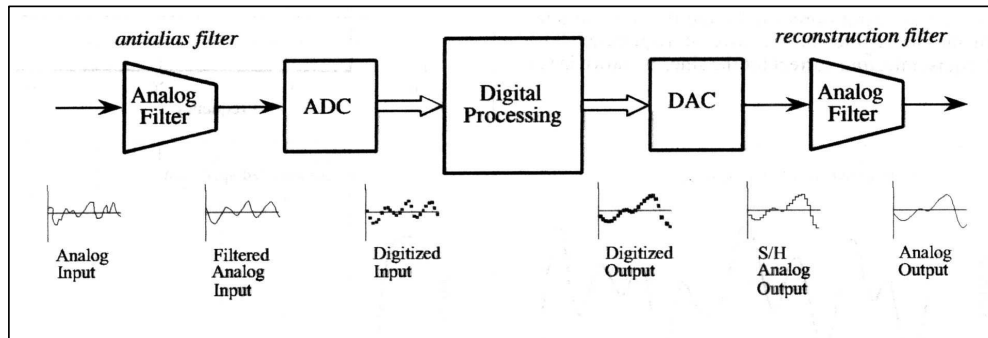
## 5 CONVERSOR A/D

O mundo real em que vivemos é praticamente analógico. Todos os sinais analógicos, são contínuos no tempo, não ocorrendo transições abruptas entre dois valores, como ilustra a figura 24. Quando sinais analógicos devem ser processados, estes devem ser digitalizados, isto é, transformados em forma de combinação de bits, pois há uma grande vantagem na conversão do sinal para a forma digital, de tal modo que o processamento possa ser feito digitalmente (Taub,1982).



**Figura 24: Sinal analógico característico.**

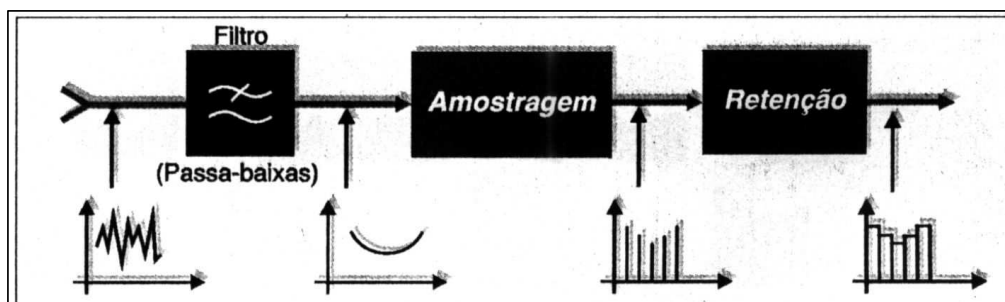
Microcomputadores e microprocessadores digitais são largamente utilizados na indústria atual, seja para fins de supervisão ou de controle dos processos. No entanto, um grande número de sistemas industriais são de natureza analógica. Sempre que um microcomputador faz parte de um sistema analógico a presença de conversores A/D e D/A se faz necessária (Braga,2001), como ilustra a figura 25.



**Figura 25: Configuração básica.**

Existem diversas tecnologias que podem ser empregadas para se fazer a conversão de uma tensão analógica em um sinal digital. É importante saber diferenciar os diversos tipos de conversores, levando em conta principalmente os requisitos de velocidade que ocorrem em determinadas aplicações (Braga,2001).

O processo global de conversão, ilustrado na figura 26, de um sinal analógico para uma forma digital envolve uma sequência de quatro processos individuais chamados amostragem, retenção, quantização e codificação. Estes processos não são necessariamente realizados em operações separadas. A amostragem e retenção são feitas simultaneamente em um tipo de circuito chamado circuito amostrador-segurador de primeira ordem, enquanto a quantização e a codificação são feitas simultaneamente em um circuito chamando conversor analógico digital (A/D) (Taub,1982).



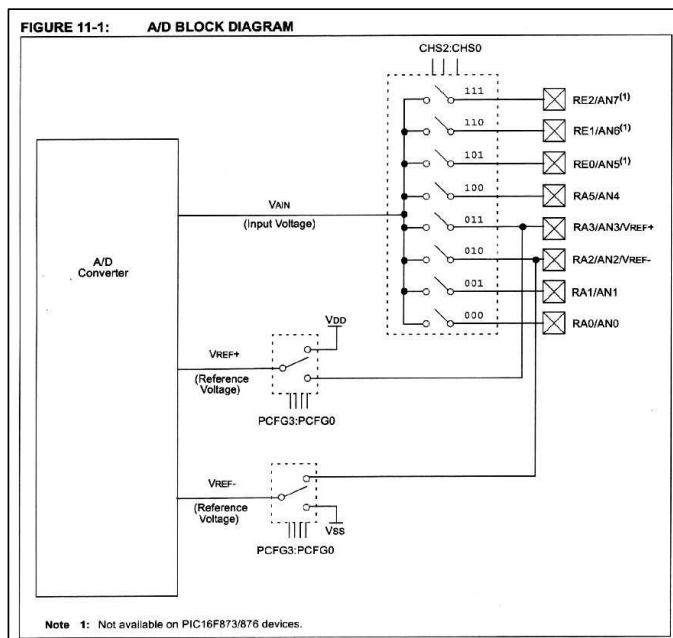
**Figura 26: Processo global de conversão.**

## 5.1 CONVERSOR A/D DO PIC16F877

Antigamente era necessário acoplar um conversor A/D ao sistema microcontrolado, hoje, porém, já há conversores embutidos, por exemplo, o PIC16F877 possui um módulo de conversão A/D com 8 entradas de resolução de 10 bits, conforme figura 27. O módulo é do tipo *Dual Slope* ADC, que apresenta alta resolução e imunidade a efeitos externos, tais como variação de tensão, temperatura e etc.

O módulo A/D possui quatro registradores:

- ADCON0: responsável pelos controles de operação do módulo A/D.
- ADCON1: configura a função das portas que podem ser entradas analógicas ou entradas/saídas digitais;
- ADRESH e ADRESL : contém o resultado da conversão;



**Figura 27: Diagrama do módulo A/D.**

A precisão do conversor A/D é especificado através da carga do capacitor  $C_{hold}$  até o nível de tensão da entrada analógica  $An_x$ , como mostra a figura 28. A impedância  $R_s$  da fonte

$V_a$  e a impedância interna  $R_{ss}$  afetam diretamente o tempo de carga do capacitor  $C_{hold}$ . A impedância  $R_{ss}$  varia de acordo com a tensão  $V_{dd}$ . O valor máximo da impedância  $R_s$  é 10 K (Microchip,2001).

O tempo de aquisição de um sinal analógico é de aproximadamente 20us e pode ser calculado utilizando a seguinte equação:

$$T_{acq} = T_{amp} + T_c + T_{coff}$$

$$T_{amp} = 2 \text{ us}$$

$$T_{coff} = [(temperatura - 25^\circ\text{C}) * (0,05\text{u s} / ^\circ\text{C})]$$

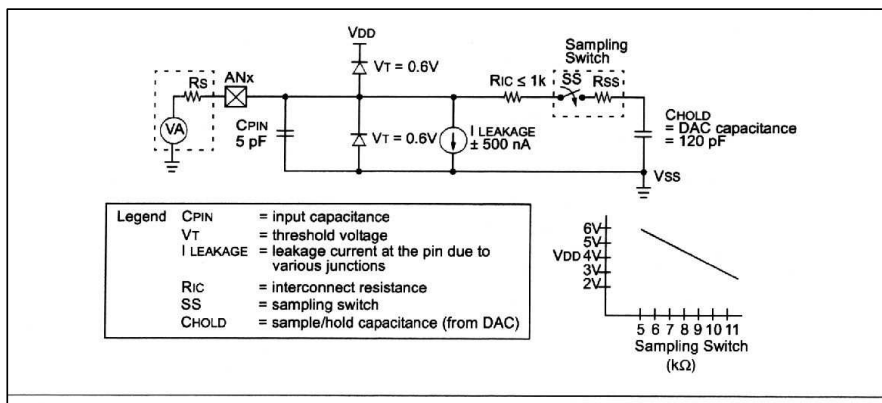
$$T_c = - C_{hold} * (R_{ic} + R_s + R_{ss}) \ln(1/2048)$$

Onde:

**T<sub>amp</sub>**: Tempo de ajustamento do amplificador;

**T<sub>coff</sub>**: Coeficiente de temperatura;

**T<sub>c</sub>**: Tempo de carga de  $C_{hold}$ .



**Figura 28: Modelo da entrada analógica.**

O tempo de conversão A/D por bit é definido como  $T_{ad}$  e requer no mínimo  $12 \times T_{ad}$  para 10 bits, onde  $T_{ad}$  pode ser no mínimo 1,6us (Microchip,2001).

## 6 LINGUAGEM C

A linguagem C foi implementada primeiramente por Dennis Ritchie em um DEC PDP-11 que utilizava o sistema operacional UNIX. C é o resultado de um processo de desenvolvimento que começou com uma linguagem mais antiga, chamada BCPL. BCPL foi desenvolvida por Martin Richards e influenciou uma linguagem chamada B, inventada por Ken Thompson. Na década de 70, B levou ao desenvolvimento de C (Schildt, 1990).

C é frequentemente chamada de linguagem de médio nível para computadores. Isso não significa que C é menos “poderosa”, difícil de usar ou menos desenvolvida que uma linguagem de alto nível. C é tratada como uma linguagem de médio nível porque combina elementos de alto nível com a funcionalidade da linguagem assembly (Schildt, 1990).

Como linguagem de médio nível, C permite a manipulação de bits, bytes e endereços, elementos básicos com os quais o computador funciona. Um código escrito em C é muito portátil, compacto e rápido (Schildt, 1990).

O fato de C ser usada em lugar da linguagem assembly e ser portátil, são os fatores mais importantes para a sua popularidade entre os programadores.

### 6.1 LINGUAGEM C PARA PIC

Segundo (Gardner, 1998), o uso da linguagem C no desenvolvimento de aplicações para microcontrolador é possível graças a grande área de memória de programa e RAM e a alta velocidade de processamento.

O compilador C utilizado é o modelo PCM da CCS (Custom Computer Service), é um compilador para microcontroladores PIC com barramento de programa de 14 bits.

De acordo com (Custom, 2001), o compilador apresenta algumas limitações quando comparado com os tradicionais compiladores C. As limitações de hardware tornam inúteis os compiladores C tradicionais. Uma limitação do compilador é não permitir ponteiros para *arrays* constantes, pois há dúvidas na separação do segmento CODE/DATA dentro do hardware do PIC e a incapacidade para trabalhar com os dados na área da ROM.

O compilador PCM apresenta comandos específicos para inicialização e configuração de contadores, temporizadores, leitura e escrita dos pinos de entrada e saída, configuração dos módulos A/D, PWM, i2C, leitura e escrita da memória EEPROM e funções para leitura e conversão do valor analógico, comunicação com LCD, comunicação via RS232, além dos comandos e funções do C padrão ANSI.

O compilador C dispensa que o programador necessite conhecimentos detalhados da estrutura interna do microcontrolador, liberando a preocupação no controle da pilha ou mudança de banco de memória e abstraindo os modos de endereçamento.

O quadro 1 mostra uma rotina construída no PCM para forçar nível alto no pino B0 quando o pino A0 do microcontrolador estiver em nível alto e vice versa.

```
MAIN ()
{ SET_TRIS_A(0B11111111); // CONFIGURA PORTA COMO ENTRADA
  SET_TRIS_B(0B00000000); // CONFIGURA PORTB PARA SAIDA
  WHILE (TRUE)
  { IF (INPUT(PIN_A0)==1) // VERIFICA SE O PINO A0 ESTÁ EM 1
    OUTPUT_HIGH(PIN_B0); // COLOCA PINO B0 EM 1
    ELSE
    OUTPUT_LOW(PIN_B0); // COLOCA PINO B0 EM 0
  }
}
```

**Quadro 1: Rotina para manipulação de entradas e saídas.**

## 7 NORMA IEC 947-4-1

A norma internacional IEC 947-4-1, foi elaborada pelo Comitê Internacional de Eletrotécnica (IEC – *Internacional Electrotechnical Commission*) e estabelece requisitos e especificações para contatores eletromecânicos e chaves de partidas para motores elétricos em baixa tensão (até 1000Vca).

### 7.1 ESPECIFICAÇÕES PARA RELÊS DE PROTEÇÃO

De acordo com (IEC947-4-1,2000), chave de partida é o dispositivo que parte o motor, acelerando o mesmo até sua velocidade nominal, assegurando sua contínua proteção contra sobrecarga e falhas no circuito.

Para assegurar a proteção térmica do motor, protegendo o mesmo contra sobrecargas e falhas no circuito como falta de fase, a norma IEC 947-4-1 especifica as características de funcionamento do relê.

A norma determina o tempo de desarme ( $T_d$ ) para relês de proteção com todos os pólos energizados, onde este tempo determinará a curva de resposta do mesmo, determinando o tempo de desarme para determinada corrente de sobrecarga, de acordo com a tabela 2.

Ela também especifica a classe de disparo do relê, estabelecendo 3 classes que variam a faixa de valor de  $T_d$  conforme o tempo de partida dos motores, como indica a tabela 3.

Etapa	Sobrecarga	Tempo de desarme
		$T_d$
A	$1,05 \times I_n$	$T_d > 2hs$
B	$1,2 \times I_n$	$T_d < 2hs$
C	$1,5 \times I_n$	$T_d < 4min$
D	$7,2 \times I_n$	Conforme tabela 3

**Tabela 2: Tempo de desarme.**



A norma estabelece quatro etapas, que devem ser avaliadas conforme a sequência abaixo:

- a) Com o relê energizado em todos os pólos com a corrente especificada no item A, o relê não deve apresentar desarme durante 2 horas, partindo do estado frio. Após esse tempo, deve-se aplicar a corrente especificada no item B, onde o mesmo deve apresentar um  $T_d$  menor que 2 horas.
- b) Com o relê energizado em todos os pólos com a corrente especificada no item A, não deve apresentar desarme durante 2 horas, partindo do estado frio. Após esse tempo, deve-se aplicar a corrente especificada no item C, onde o mesmo deve desarmar em 4, 8 ou 12 minutos para classe de disparo 10, 20 e 30, respectivamente.

Classe de disparo	Tempo de desarme - $T_d$
	s
10	$4 < T_d > 10$
20	$6 < T_d > 20$
30	$9 < T_d > 30$

**Tabela 3: Classe de disparo.**

- c) Com o relê energizado em todos os pólos com a corrente especificada no item D, partindo do estado frio, o mesmo deve apresentar um  $T_d$  especificado na tabela 3, respeitando a classe de disparo para que foi projetado.

## 8 ESPECIFICAÇÃO

O relê de proteção multifunção segue as especificações da norma IEC 947-4-1, para proteção de motores elétricos , conforme descrição no capítulo 7.

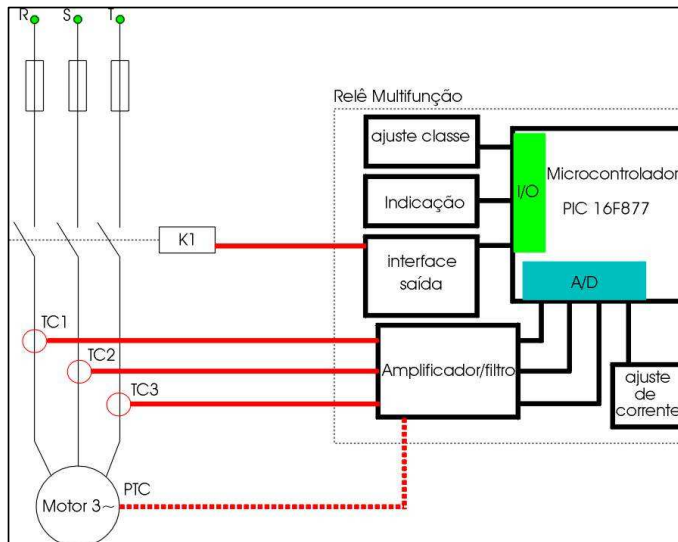
### 8.1 CARACTERÍSTICAS DO RELÊ MULTIFUNÇÃO DE PROTEÇÃO

O relê de proteção multifunção realizará a proteção térmica do motor elétrico, utilizando um sistema de controle em malha aberta , o qual monitora a corrente elétrica, que por sua vez será convertida em sinal digital por meio dos conversores A/D para processamento digital. No processamento será calculada a corrente eficaz ( $I_{rms}$ ) de cada fase e a corrente média ( $I_{med}$ ) que alimentará o modelo térmico do motor, responsável pela simulação da característica térmica do mesmo e funcionamento conforme limites estabelecidos na norma IEC 947.4-1.

O resultado deste processamento permitirá a identificação de sobrecarga, desbalanceamento e falta de fase no motor elétrico. A proteção do motor realizada pelo relê de proteção multifunção pode ser melhorada com a adição de um sensor de temperatura (PTC), que é opcional nos motores elétricos, que informa para o relê se o limite de temperatura de trabalho do motor foi ultrapassado.

Na presença de alguma anomalia citada anteriormente, o relê desligará o contator, através de saídas à relê, que desligará o motor elétrico preservando a integridade do mesmo. A figura 29 mostra o diagrama do relê de proteção multifunção.

O relê de proteção multifunção possuirá faixa de corrente de 1A à 5A, ou seja, o mesmo protegerá motores que abrangem sua faixa de ajuste de corrente.



**Figura 29: Diagrama do relê de proteção multifunção.**

## 8.2 MODELO TÉRMICO

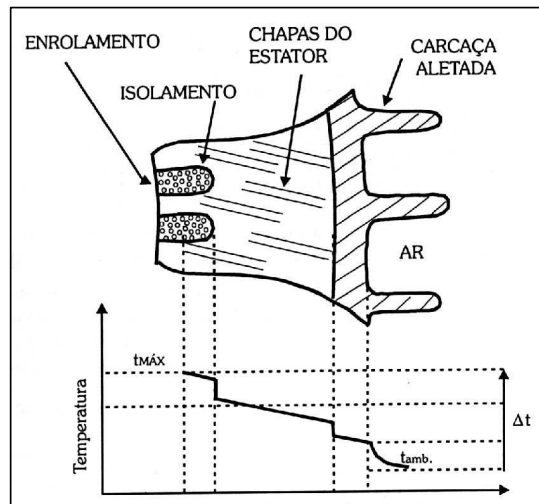
É necessário a utilização de um modelo térmico para atender as especificações da norma IEC 947-4-1 e possibilitar uma precisa proteção do motor elétrico.

### 8.2.1 ASPECTOS TÉRMICOS

Tanto as bobinas do enrolamento do estator como do rotor, ou sua barras, caso se trate de um rotor de gaiola, dissipam calor. Além disso, o fluxo variável atuando no núcleo magnético estator-rotor induz correntes indesejáveis nas chapas de aço. Essas corrente são chamadas de parasitas, ou correntes de Foucault. Elas também são fonte de aquecimento por efeito Joule (Filho,2000).

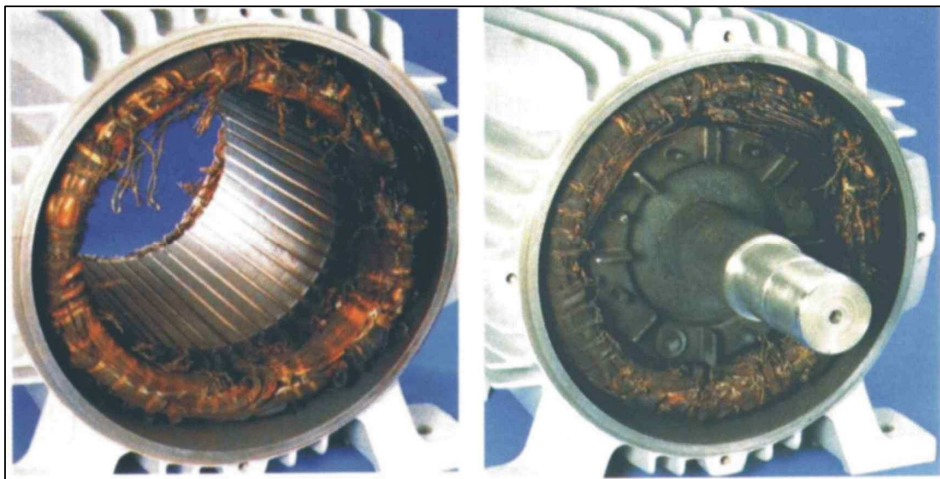
No motor, além das perdas no “cobre” e no “ferro”, soma-se as perdas mecânicas, como por exemplo, aquelas geradas pelo atrito entre o eixo e os rolamentos e pelo acionamento do ventilador (Filho,2000).

O enrolamento constitui-se na parte mais crítica do motor sob ponto de vista térmico. Os fios das bobinas devem ser isolados. Para tanto, os fios são recobertos com esmalte sintético de natureza orgânica. Após a montagem do enrolamento há um reforço do isolamento pela impregnação de verniz (Filho,2000).



**Figura 30: Elevação da temperatura no enrolamento.**

Se a temperatura das bobinas ultrapassar determinado valor, o material isolante dos fios acaba queimando, colocando as bobinas em curto, como indica a figura 31. Uma regra antiga diz que a cada 10°C acima do limite de temperatura, a vida do motor é reduzida à metade (Filho,2000).



**Figura 31: Motor de indução com característica de queima por sobrecarga.**

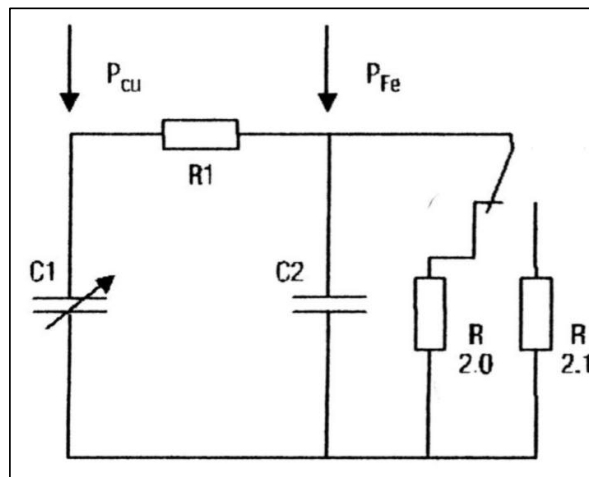
As principais causas que contribuem para o sobreaquecimento dos motores são:

- obstrução da ventilação;

- temperatura ambiente elevada;
- variação excessiva da tensão e da frequência da rede;
- bloqueio do rotor;
- excesso de partidas, inversões de rotação e frenagens;
- falta de fase;
- sobrecarga excessiva;
- regime de trabalho muito variável.

## 8.2.2 SIMULAÇÃO DA TEMPERATURA

O motor apresenta um comportamento térmico complexo, onde o circuito térmico equivalente mostrado na figura 32 tem mostrado alta confiabilidade, oferecendo precisa proteção sobre condições instáveis de operação (Rockwell,1997).



**Figura 32: Modelo térmico.**

O modelo proposto para o relê multifunção, utiliza uma função para aquecimento e uma função para resfriamento, de acordo com o modelo térmico proposto.

- função de aquecimento:

$$v_{C_{i+1}} = v_{C_i} + \left( \frac{I_{med}(t)}{R_1 \cdot C} - \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \cdot v_{C_i} \right) \Delta t$$

- função de resfriamento:

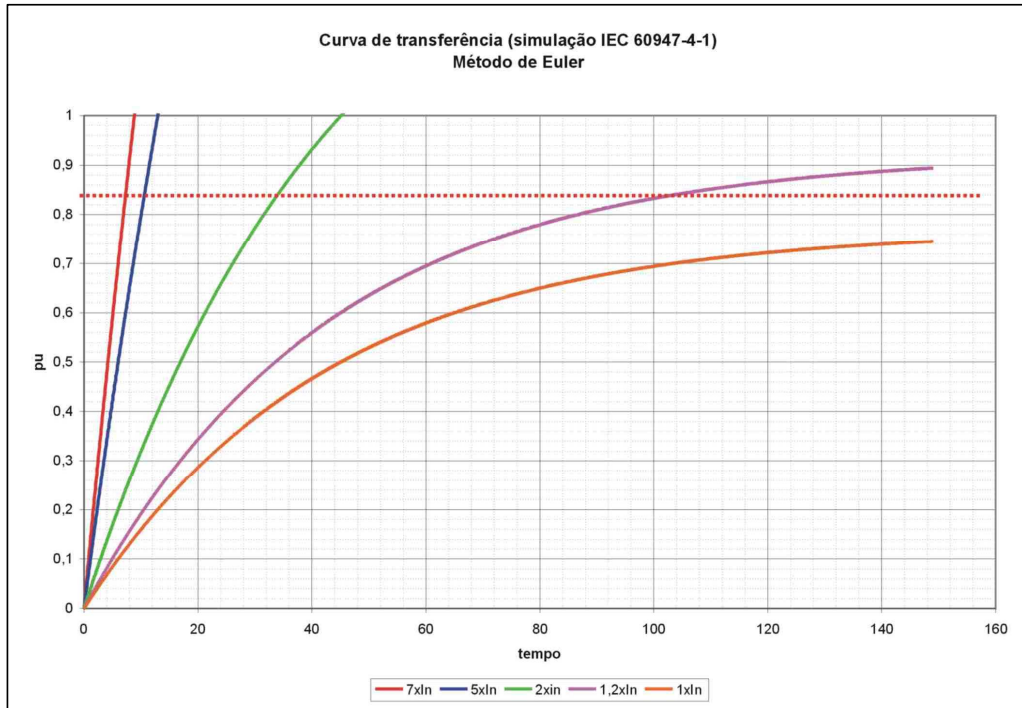
$$v_{C_i} = R_2 \cdot I_{i+1}$$

A utilização de duas funções se faz necessário pois a constante térmica de resfriamento é maior que a constante térmica de aquecimento devido a convecção forçada pelo ventilador.

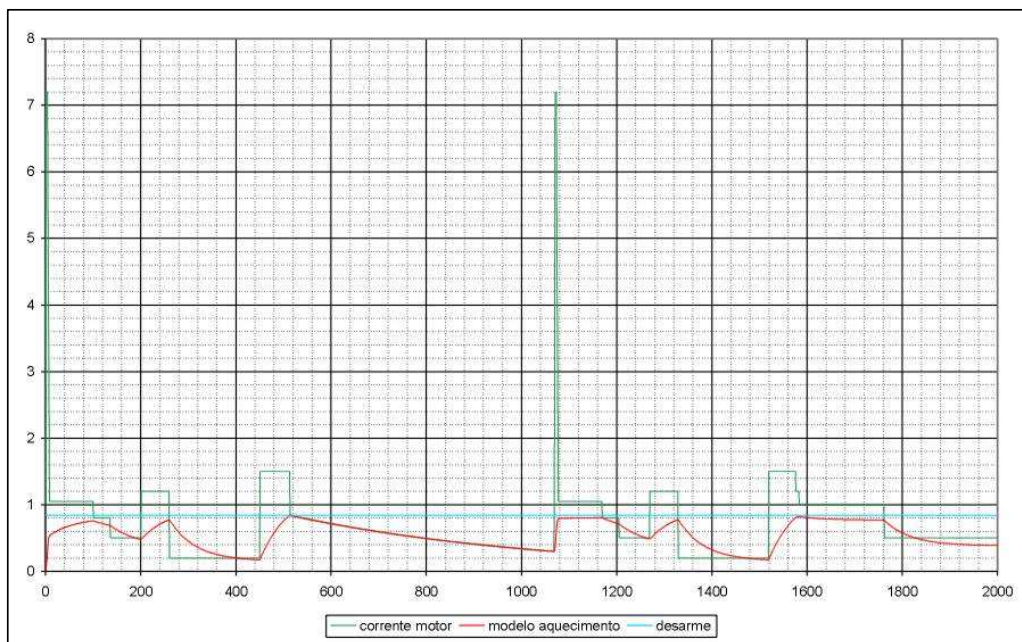
O modelo térmico proposto obedece os limites de operação e classes de disparo para relês de proteção de motores estabelecidos pela norma internacional IEC 947.4-1.

A qualidade da proteção do relê não pode ser medida na característica de desarme, pois a mesma indica somente o tempo de desarme do relê quando o motor parte a temperatura ambiente e com carga constante. Uma boa simulação permite o religamento do motor com intervalos curtos de partida (Rockwell, 1997).

As figuras 33 e 34 ilustram a simulação das funções de aquecimento e resfriamento conforme modelo térmico da figura 32, realizada na planilha eletrônica Excel.



**Figura 33: Tempos de desarme conforme IEC947-4-1.**



**Figura 34: Simulação do modelo térmico.**

## 8.3 HARDWARE DO RELÊ MULTIFUNÇÃO

O microcontrolador PIC16F877 necessita de alguns circuitos adicionais para sua operação, tais como fonte de tensão CC e oscilador (fornecerá a frequência de funcionamento) e circuitos mais elaborados para tratamento dos sinais que o se pretende digitalizar através do modulo de conversão A/D. A figura 35 mostra o circuito eletrônico proposto para o relê multifunção.

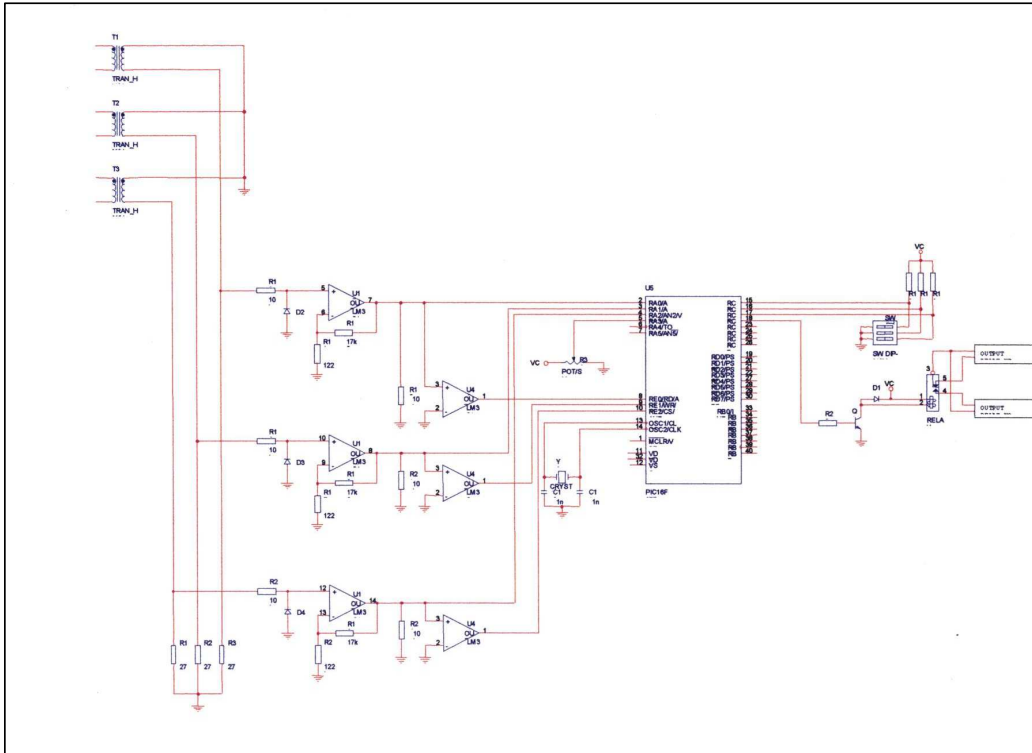
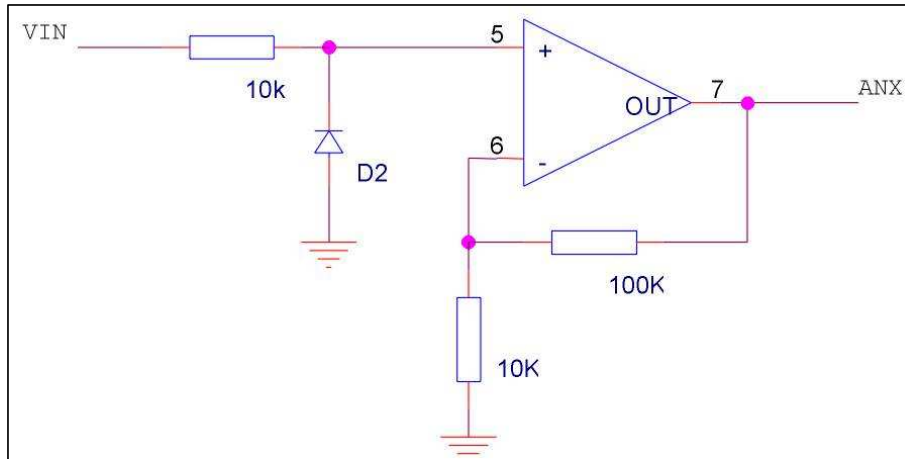


Figura 35: Circuito eletrônico do relê

### 8.3.1 CIRCUITO AMPLIFICADOR / RETIFICADOR DO SINAL DE CORRENTE ELÉTRICA

Conforme (Microchip,2001), o módulo A/D do microcontrolador admite uma faixa de tensão de  $0 \text{ Vca}$  à  $\text{Vref} + 0,3 \text{ Vca}$  para o sinal de entrada analógico, sendo  $\text{Vref}$  pode variar de  $2,5 \text{ Vcc}$  à  $5 \text{ Vcc}$ , portanto o circuito eletrônico proposto na figura 36, pegará o sinal analógico em  $\text{VIN}$ , retificando-o, cortando a parte negativa do sinal e amplificando a positiva para que o sinal tenha no máximo a amplitude de  $5,3 \text{ Vca}$ .





**Figura 36: Circuito eletrônico para tratamento do sinal analógico.**

Partindo deste parâmetro e conhecendo a faixa de corrente que o relê de proteção multifunção irá trabalhar (1A - 5A), podemos comprovar o funcionamento do circuito, aplicando o sinal analógico da corrente na entrada **VIN** e verificar o nível de tensão do sinal analógico na saída **ANX**, como ilustram as figuras 37 e 38.

A tabela 4 traz os valores de **VIN** a **ANX** para 1A e 5A e os múltiplos de corrente  $1 \times I_n$ ,  $7,2 \times I_n$  especificado na norma IEC 947-4-1 e  $10 \times I_n$  como valor de segurança.

Corrente no motor	Múltiplo de corrente	Tensão entrada VIN	Tensão saída ANX	Figura
		Vpp	Vp	
1	1	22 mV	112 mV	37
7,2	7,2	154 mV	816 mV	
10	10	198 mV	1,06 v	
5	1	104 mV	650 mV	38
36	7,2	680 mV	3,88 V	
50	10	960 mV	5,2 V	

**Tabela 4: Valores de tensão do circuito amplificador/retificador.**

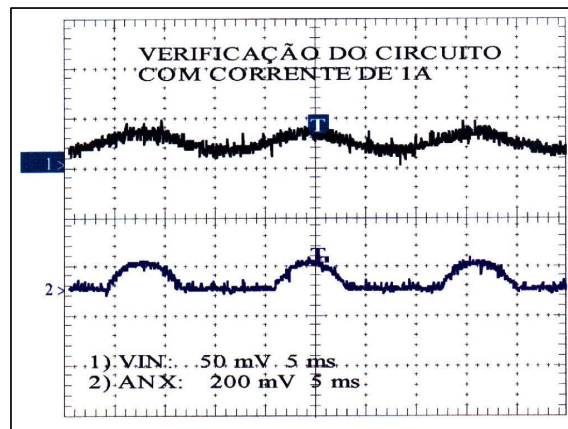


Figura 37: Tensão VIN e ANX para corrente de 1A.

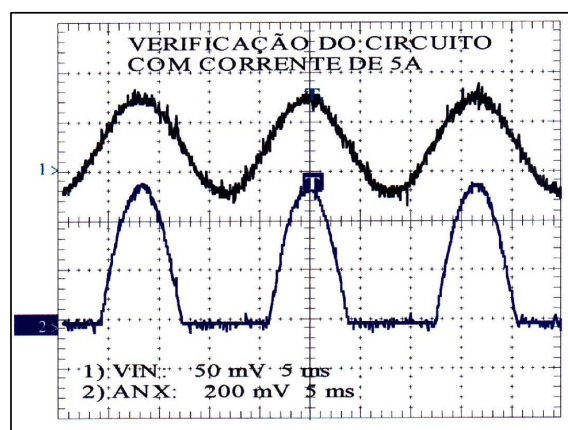


Figura 38: Tensão VIN e ANX para corrente de 5A.

### 8.3.2 CIRCUITO PARA DETECÇÃO DE PASSAGEM POR ZERO

Para que a conversão do sinal analógico ANX aconteça com precisão, é necessário montar um circuito que sensibilize quando o sinal está em nível baixo (0) e nível alto (1), informado ao microcontrolador o momento exato de início e fim da aquisição do sinal analógico ANX.

O circuito ilustrado na figura 39, compara o sinal de ANX com o terra (0 Vcc), quando ANX está em zero o sinal na saída REX está em zero e quando ANX é diferente de zero o sinal na saída REX vai para um , como mostra a figura 40.

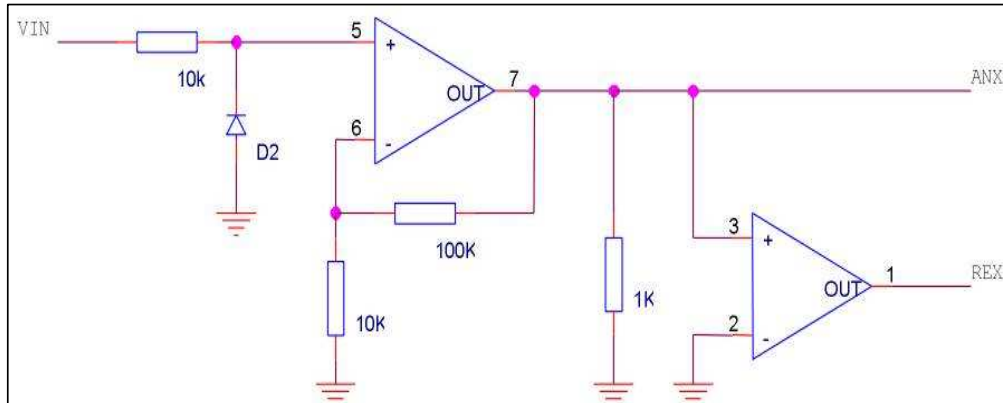


Figura 39: Circuito detector de passagem por zero.

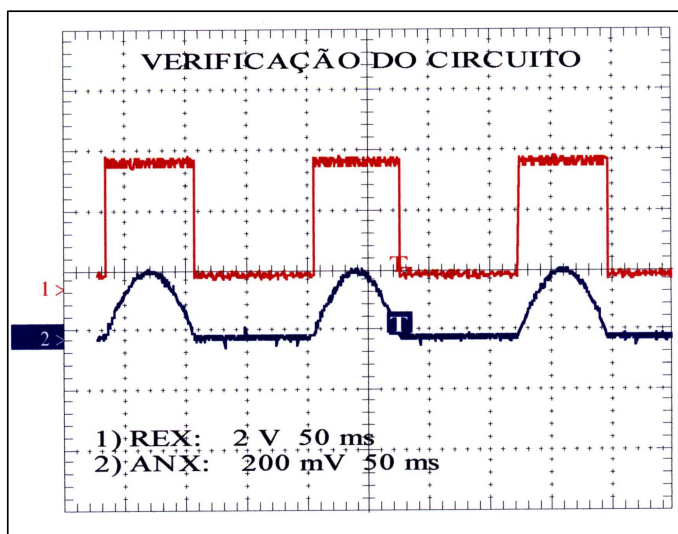
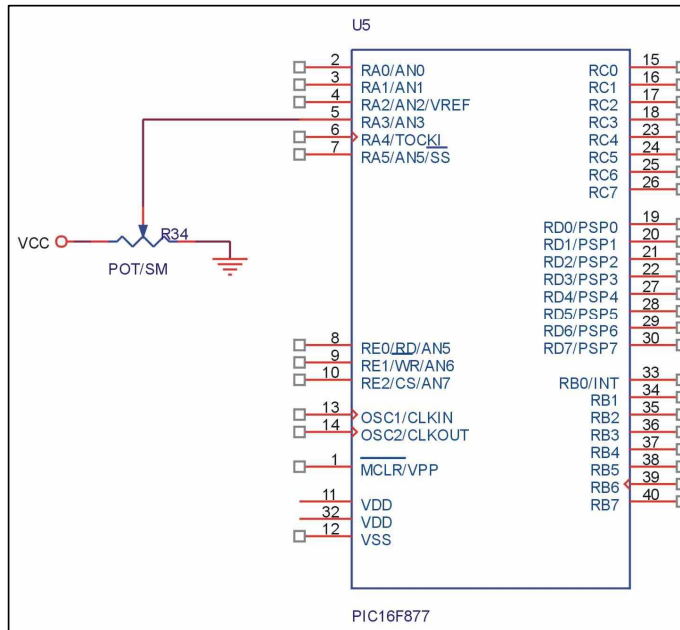


Figura 40: Sinal de saída REX com ANX.

### 8.3.3 AJUSTE DE CORRENTE

O ajuste de corrente do relê de proteção multifunção é realizado variando o valor da tensão de referência do módulo A/D do microcontrolador, entre 2,5 Vcc à 5 Vcc, como mostra a figura 41.



**Figura 41: Circuito para ajuste da corrente do relê.**

Variando a tensão de referência, obtêm-se padronização no valor digital para valores de corrente nominal diferentes, ou seja, se o relê está regulado em 1A, o valor digital será 500 e se regular o relê em 5A, o valor digital permanecerá em 500. Com isso o microcontrolador saberá se a corrente do motor está na nominal (500) ou está com sobrecarga que é representado por um valor digital maior que 500.

### 8.3.4 AJUSTE DA CLASSE DE DISPARO

A classe de disparo é selecionada através do circuito da figura 42, onde através de chaves, seleciona-se o código binário referente a classe de disparo:

- a) Classe 10 - 001;
- b) Classe 20 – 010;
- c) Classe 30 – 100.

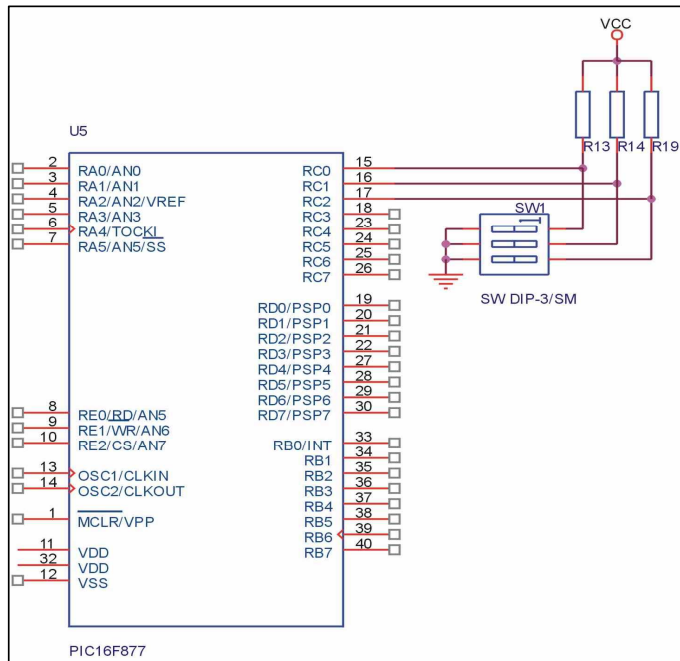


Figura 42: Circuito para seleção da classe de disparo.

## 8.4 SOFTWARE DO RELÊ MULTIFUNÇÃO

O software do relê de proteção multifunção é formado por dois módulos:

- a) principal;
- b) aquisição e cálculo da corrente RMS;

### 8.4.1 PROGRAMA PRINCIPAL

O programa principal é responsável pela configuração e inicialização das entradas e saídas, entradas analógicas e temporizadores do microcontrolador, interfaceamento com o LCD, simulação térmica e chamada da subrotina de aquisição, como ilustra a figura 43.

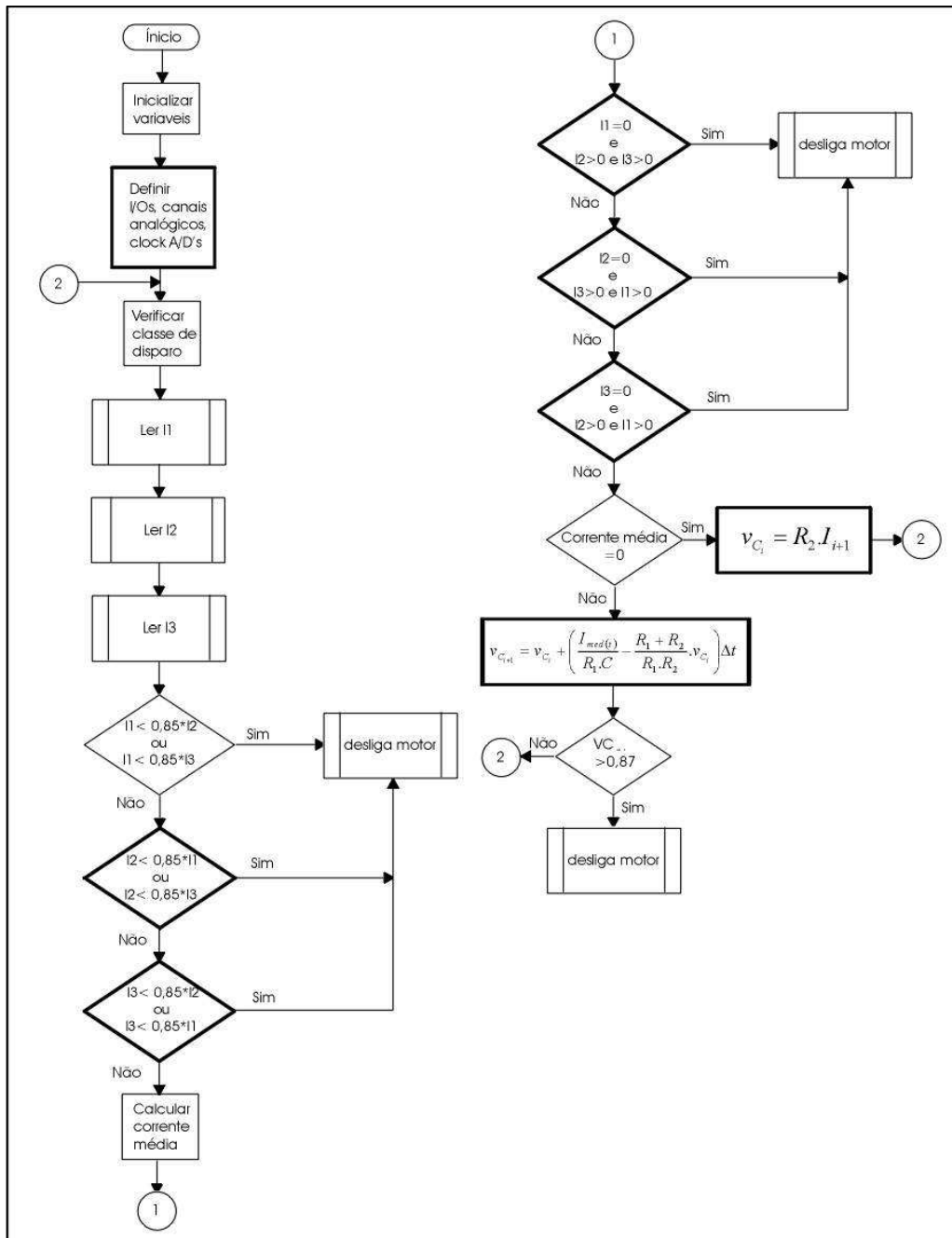
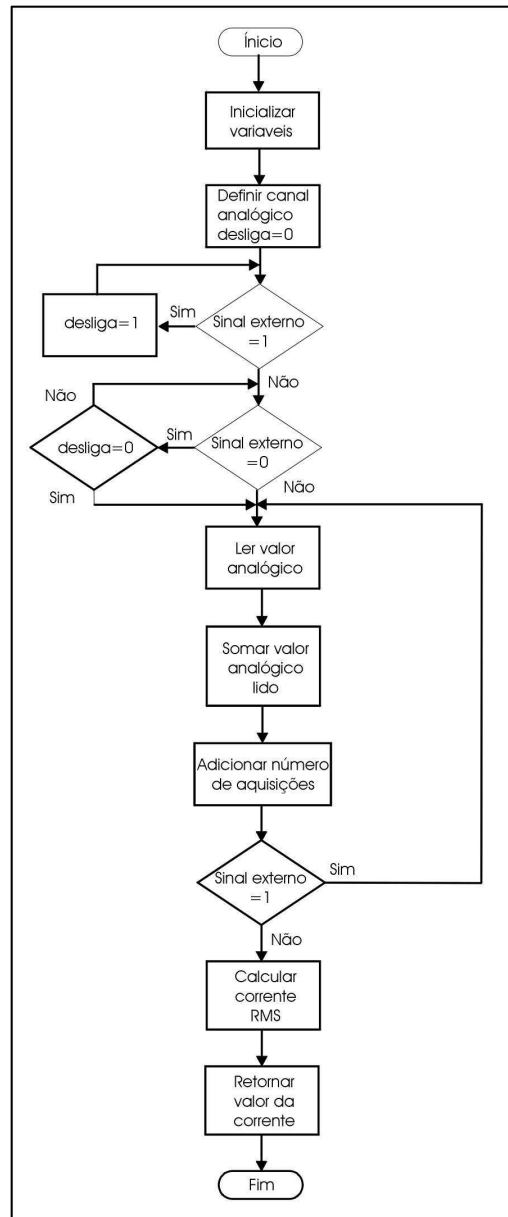


Figura 43: Fluxograma do programa principal.

## 8.4.2 AQUISIÇÃO E CÁLCULO DA CORRENTE RMS

Responsável pela leitura do valor analógico de corrente, possibilitando assim o cálculo da corrente RMS do motor.



**Figura 44: Fluxograma da rotina de aquisição**

## 9 IMPLEMENTAÇÃO

Neste tópico será demonstrado o desenvolvimento do protótipo, desde a construção do hardware até implementação e a execução do programa do microcontrolador.

### 9.1 EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS

Os equipamentos relacionados abaixo foram utilizados para montagem, ajuste e teste do relê de proteção multifunção.

- a) osciloscópio: equipamento para medição e análise de sinais;
- b) multímetro digital: equipamento para medição de tensão, corrente e resistência;
- c) gerador de função: equipamento utilizado para gerar sinais analógicos, possibilitando a regulação da amplitude, tipo de onda e frequência;
- d) fonte de tensão CC: equipamento utilizado para fornecer tensão ao funcionamento do circuito;
- e) fonte de corrente CA: equipamento responsável pela geração de corrente CA, simulando o motor elétrico e utilizada para ajuste e teste do protótipo;
- f) gravador para microcontrolador: utilizado para transferência do programa criado em linguagem C para a memória do microcontrolador;
- g) matriz de contatos: utilizada para montagem dos circuitos eletrônicos.

A figura 45 mostra a bancada utilizada para desenvolvimento do protótipo, destacando os equipamentos citados acima.





**Figura 45: Bancada de desenvolvimento.**

## 9.2 SOFTWARES NECESSÁRIOS

Os softwares utilizados no desenvolvimento do relê de proteção multifunção foram:

- a) CCS PCM : compilador C para microcontroladores PIC com barramento de programa de 14 bits;
- b) TURBOC2: compilador C padrão ANSI, utilizado para teste das rotinas, principais, antes de serem transferidas para o PCM;
- c) MPLAB 5.0: montador *assembly* para microcontroladore PIC, utilizado para gravação do software no microcontrolador.

## 9.3 IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO

Os circuitos eletrônicos para tratamento do sinal analógico, detecção de passagem por zero, ajuste de corrente e classe de disparo, descritos no capítulo 8, agora são conjugados com o programa no microcontrolador, possibilitando o funcionamento do relê de proteção multifunção.

A rotina de aquisição do sinal analógico, recebe do programa principal, o canal que deve ser lido. Ela é referenciada pela entrada **PIN\_EX** correspondente ao canal analógico, que informa o início e término da aquisição. Durante a aquisição é contado o número de aquisições realizadas e somado os valores adquiridos, para após o término da aquisição calcular a corrente RMS, que é enviada para o programa principal. O quadro 2 traz a rotina de aquisição e cálculo da corrente RMS.

```

CORRENTE_RMS(BYTE X)
{ // INICIALIZACAO DAS VARIAVEIS
  LEITURA=0;
  SOMA_AD=0;
  VALOR_AD=0;
  MEDIA=0;
  IRMS=0;
  DESLIGA=0;

  SET_ADC_CHANNEL(X);          // SELECIONA CANAL ANALÓGICO

IF(X==0){                      // VERIFICA ENTRADA PARA REFERENCIA
  WHILE(INPUT(PIN_E0)==1){ // ESPERA SINAL EXTERNO =0
    DESLIGA=1;}
  WHILE(INPUT(PIN_E0)==0){ // ESPERA SINAL EXTERNO =1
    IF (DESLIGA=0)        // VERIFICA DE SINAL PASOU POR 1
      BREAK;              // SAI DO LOOP
  }
  DO{
    VALOR_AD=READ_ADC(); // LE VALOR ANALOGICO
    SOMA_AD=SOMA_AD+VALOR_AD; // SOMA VALOR DIGITALIZADO
    ++LEITURA;           // CONTA NUMERO DE AQUISICOES
    DELAY_US(10);        // TEMPO ENTRE AS AQUISICOES
  } WHILE(INPUT(PIN_E0)==1); // ENQUANTO SINAL FOR 1, FAZ AQUISICAO
}
IF(X==1){                      // VERIFICA ENTRADA PARA REFERENCIA
  WHILE(INPUT(PIN_E1)==1){ // ESPERA SINAL EXTERNO =0
    DESLIGA=1;}
  WHILE(INPUT(PIN_E1)==0){ // ESPERA SINAL EXTERNO =1
    IF (DESLIGA=0)        // VERIFICA DE SINAL PASOU POR 1
      BREAK;              // SAI DO LOOP
  }
  DO{
    VALOR_AD=READ_ADC(); // LE VALOR ANALOGICO
    SOMA_AD=SOMA_AD+VALOR_AD; // SOMA VALORDIGITALIZADO
    ++LEITURA;           // CONTA NUMERO DE AQUISICOES
    DELAY_US(10);        // TEMPO ENTRE AQUISICOES
  }WHILE(INPUT(PIN_E1)==1); // ENQUANTO SINAL FOR 1, FAZ AQUICAO
}
IF(X==2){                      // VERIFICA ENTRADA PARA REFERENCIA
  WHILE(INPUT(PIN_E2)==1){ // ESPERA SINAL EXTERNO =0
    DESLIGA=1;}
  WHILE(INPUT(PIN_E2)==0){ // ESPERA SINAL EXTERNO =1
    IF (DESLIGA=0)        // VERIFICA DE SINAL PASOU POR 1

```

```

        BREAK;           // SAI DO LOOP
    }
    DO{
        VALOR_AD=READ_ADC();           // LE VALOR ANALOGICO
        SOMA_AD=SOMA_AD+VALOR_AD;     // SOMA VALOR DIGITALIZADO
        ++LEITURA;                   // CONTA NUMERO DE AQUISICOES
        DELAY_US(10);                 // TEMPO ENTRE AQUISICOES
        }WHILE(INPUT(PIN_E2)==1);     // ENQUANTO SINAL FOR 1, FAZ AQUISICOES
    }
    MEDIA=(FLOAT)SOMA_AD/(FLOAT)LEITURA; // CALCULA VALOR MEDIO
    IRMS=MEDIA*0.0888;                 // CALCULA VALOR DE CORRENTE
    RETURN(IRMS);                     // RETORNA VALOR DA CORRENTE
}

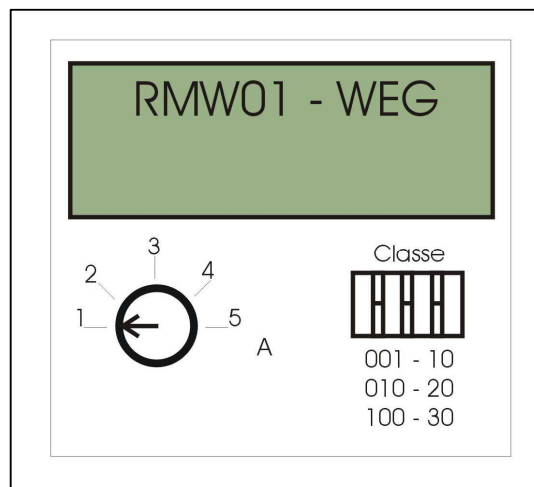
```

**Quadro 2: Rotina de aquisição e cálculo da corrente RMS.**

## 9.4 FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO

O protótipo possui na sua parte frontal um *display* de cristal líquido (LCD), um potenciômetro e três micro chave, como mostra a figura 46.

O LCD é utilizado para informar a condição atual do monitoramento do motor, informando se o motor está normal, com sobrecarga ou falta de fase. O potenciômetro é utilizado para informar ao relê qual a corrente nominal do motor, referenciando o relê para a proteção do mesmo. A micro chave é utilizada para alterar a classe de disparo do relê, alterando seus tempos de desarme para condições de sobrecarga.



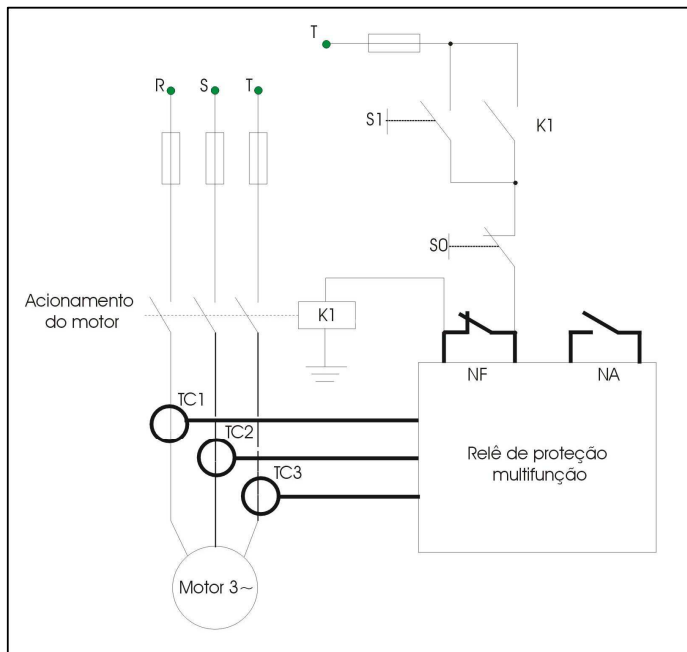
**Figura 46: Vista frontal do relê.**

O protótipo possui as seguintes características:

- a) ajuste de corrente de 1 A à 5 A;
- b) ajuste da classe de disparo (conforme IEC 947-4-1);
- c) proteção contra sobrecarga;
- d) proteção contra desbalanceamento e falta de fase.

Para o funcionamento do protótipo, devem ser conectadas as três fases do motor aos transformadores de corrente (TC) que formam a entrada de dados do relê, informando a corrente do motor. A saída do relê é um contato normalmente aberto (NA) e outro normalmente fechado (NF), um dos dois deve ser ligado ao equipamento que realiza o acionamento do motor, pois, em caso de alguma anomalia no mesmo, o estado dos contatos é alterado, realizando o desligamento do motor.

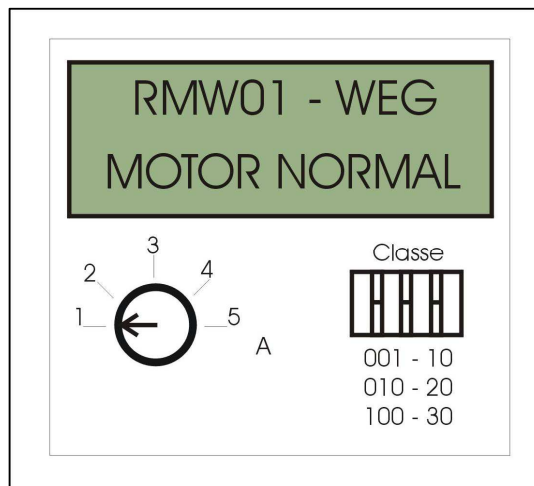
A figura 47 ilustra a ligação do relê ao sistema de acionamento ou partida do motor de indução elétrica trifásico.



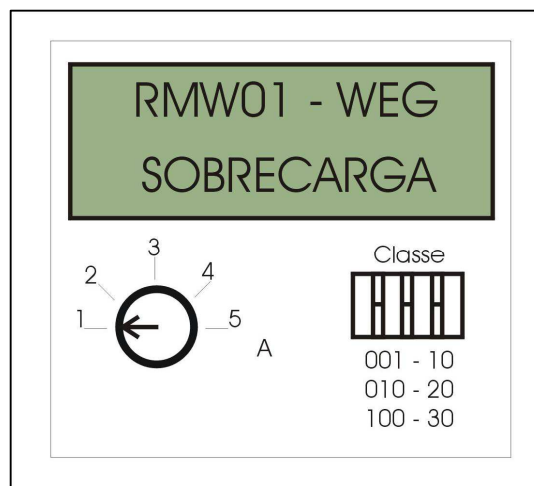
**Figura 47: Esquema de ligação do relê.**

Pressionando a chave S1, o contator K1 é ligado, fechando o contato de selo K1 e partindo o motor. Com o motor em funcionamento, o relê de proteção multifunção realiza o monitoramento do mesmo e em caso de alguma anomalia no motor, os contatos NF e NA do relê mudam de estado passando para NA e NF, respectivamente, desligando o contator K1 que desligará o motor.

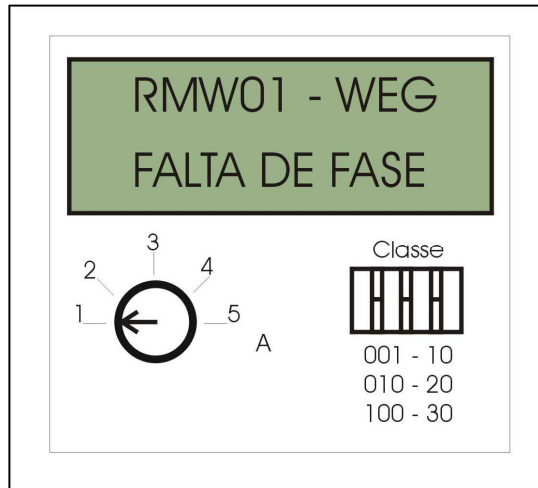
As figuras 48, 49, 50 e 51, mostram as possíveis mensagens de saída do relê, durante o monitoramento do motor elétrico de indução trifásico.



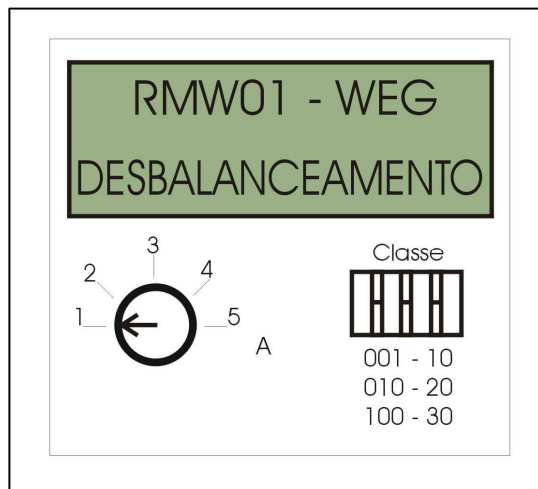
**Figura 48: Funcionamento normal.**



**Figura 49: Desarme por sobrecarga.**



**Figura 50: Desarme por falta de fase.**



**Figura 51: Desarme por desbalanceamento.**

## 10 CONCLUSÕES

O projeto apresentou grandes dificuldades, começando pela demora no recebimento do compilador C dedicado para o PIC, uma vez que teria que existir a familiarização com o mesmo e implementação do programa do relê.

Enquanto o compilador demorava a chegar, era preciso familiarizar-se com o microcontrolador PIC16F877, estudando suas características e seus módulos, principalmente o módulo de conversão A/D, o qual teve grande utilidade no protótipo e que possui uma série de parâmetros.

Depois de estudar o manual do microcontrolador, era preciso implementar o circuito básico para funcionamento do mesmo e programá-lo, verificando realmente suas características e de seus módulos, porém o compilador C não estava sendo utilizado devido a demora na entrega por parte do fornecedor, então, os primeiros programas foram implementados em assembly. Uma alternativa que poderia ser utilizada em caso de não recebimento do compilador C.

Ao longo dessa espera era preciso projetar, montar e testar os circuitos eletrônicos do relê, responsáveis pelo tratamento do sinal analógico e detecção de passagem por zero, preparando o sinal a ser digitalizado e a referência para aquisição, respectivamente.

Ao chegar o compilador C, o tempo estava escasso e então era preciso correr contra ele, pois a partir desse momento faltaria menos de um mês para concretizar o protótipo. Após a primeira semana de ambientação com o compilador, começou-se de fato a implementação das rotinas e construção do relê, interligando o hardware com o software e onde foram detectados alguns problemas.

O primeiro problema foi na ligação do LCD ao circuito, pois apresentava problemas na comunicação com o microcontrolador, devido ao mal contato. Como o circuito estava sendo montado em uma matriz de contatos, aprendi a conviver e superar estes problemas.

Com o LCD funcionando, começou-se a testar a rotina de aquisição do sinal analógico, uma vez que o sinal já estava devidamente preparado. Essa etapa exigiu um pouco

mais de tempo e dedicação, pois o módulo A/D possui parâmetros, quais eram alterados na rotina e testados no circuito. Porém a cada alteração, era preciso gravar a rotina no microcontrolador e testar na matriz de contatos .

Após o funcionamento da rotina de aquisição, se deu a implementação do programa completo do relê, possibilitando o teste do protótipo.

O protótipo foi somente testado em bancada, não sendo realizado um teste com motor de indução, uma vez que podemos simular as correntes de um motor com a fonte de corrente CA trifásica.

Após intensa dedicação durante o semestre, pode-se afirmar que os objetivos deste trabalho foram alcançados, uma vez que se tem implementado um protótipo de relê de proteção multifunção capaz de proteger um motor de indução trifásico de possíveis sobrecargas, desbalanceamentos e falta de fase, baseado no modelo térmico do motor que atende as especificações da norma IEC 947-4-1.

## **10.1 LIMITAÇÕES**

Devido ao tempo para execução deste trabalho, notou-se que o mesmo possui algumas limitações, como por exemplo:

- Falta da opção para proteção do motor através de termistor;
- Falta de memória térmica na ausência da alimentação do relê.

## **10.2 EXTENSÕES**

Como extensão deste trabalho pode-se adicionar a proteção do motor através de termistor, implementar memória térmica na falta de alimentação do relê, criar novas funções como comunicação com rede industrial, comunicação via RS232 e armazenamento das falhas ocorridas no motor.

Utilização dos processadores de sinais digitais (DSP), melhorando o monitoramento do motor, passando para monitoramento em tempo real.



Pode-se ainda utilizar outras técnicas para desenvolvimento, como a utilização de inteligência artificial para detecção de falhas no motor.

## GLOSSÁRIO

Conversor de frequência:	Transforma uma tensão e frequência fixa da rede, seja ela monofásica ou trifásica, em uma saída trifásica com tensão e frequência variáveis, permitindo a variação da velocidade dos motores de indução.
Histerese:	Propriedade de uma função, em que o caminho de ida é diferente do retorno, tendo um intervalo entre estes dois pontos.
Relutância:	Oposição que encontram as linhas de força magnética. Análogo a resistência elétrica.
<i>Pulse width modulation (PWM):</i>	Técnica de modulação utilizada para controle de grandezas físicas, através da variação da largura de pulso.
<i>Transistor transistor logic (TTL):</i>	Tecnologia utilizada para fabricação de circuitos integrados.
<i>Complementary metal oxide semiconductor (CMOS):</i>	Tecnologia utilizada para fabricação de circuitos integrados .
Memória Flash:	Permite ser apagada e reprogramada eletricamente, onde apenas parte da memória pode ser reprogramada durante o processo de regravação.
Memória EEPROM	Permite ser apagada e reprogramada eletricamente, onde toda a memória é reprogramada durante o processo de regravação.
Termistor:	São detetores térmicos compostos de sensores semicondutores que variam sua resistência bruscamente ao atingirem uma determinada temperatura.

Contator:

Chave de operação não manual , capaz de estabelecer, conduzir e interromper correntes em condições normais do curto circuito, inclusive sobrecargas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAGA, Newton C. **DSP – Filtros e Conversores DAC e ADC**. Saber Eletrônica, São Paulo, n. 338, p. 14-24, março 2001.
- CAPELLI, Alexandre. Motores elétricos CA. **Saber Eletrônica**, São Paulo, n. 338, p. 4-9, março 2001.
- CERQUIERA, Acácio José Gomes; ALVES, Nuno Jorge Viana. **Motores de Indução**. Lisboa, jun. 1998. Disponível em: <<http://alummi.dee.uc.pt/~acacioc/motores>>. Acesso em: 19 set. 2001.
- CUSTOM COMPUTER SERVICES, INC. **C compiler reference manual**. Brookfield: Custom Computer Service, 2001.
- FILHO, Guilherme Filippo. **Motor de indução**. São Paulo: Érica, 2000.
- FRÖHR, Friedrich; ORTTENBURGER, Fritz. **Técnicas de controle eletrônico: controle automático para acionamentos reguláveis de corrente contínua**. Tradução Harald Kreidel. São Paulo: Nobel, 1990.
- GARDNER, Nigel; SIEGESMUND, Mark. **PIC C – na introduction to programming the Microchip PIC in CCS C**. UK: Character Press Limited, 1998.
- IDEALI, Wagner. **68000 família de microprocessadores 32 bits: hardware**. São Paulo: Livros Érica editora, 1987.
- IEC 60947-4-1. **Contactors and motor-starters – electromechanical contactors and motor-starters**. Geneva: Internacional Electrotechnical Commission, 2000.
- MICROCHIP TECHNOLOGY INC. **PIC 16F87X data sheet**. Chandler: Microchip, 2001.
- MORIMOTO, Carlos E. **Processadores RISC x CISC**. São Paulo, fev. 1999. Disponível em: <<http://guiadohardware.tcinet.com.br/artigos/index.asp>>. Acesso em: 15 set. 2001.
- OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. Tradução Bernardo Severo. São Paulo : LTC, 3. ed., 1998.

ROCKWELL AUTOMATION. **Optimizing plant production and operation through protection**. USA: Rockwell Automation, 1997.

SCHILD, Herbert. **C completo e total**. Tradução Marcos Ricardo Alcântara Morais. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1990.

SOARES, Itamar Fernandes. **Análise das proteções de motores e proposta de um dispositivo baseado em microprocessador para proteção de motores**. Jaraguá do Sul: Weg Industrias S.A, 2000.

SOUZA, David José de. **Desbravando o PIC**. São Paulo: Érica, 3. ed., 2000.

TAUB, Herbert; SSHILLING, Donald. **Eletrônica digital**. Tradução Paulo Elyot Meirelles Villela, Jorge Guedes de Silvair, Juarez Sagebin Correa. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982.

Tutorial em arquitetura avançada de computadores. São Bernardo do Campo, set. [2000]. Disponível em: <<http://tathy.comp.ita.cta.br/~sobreira/risc.htm>>. Acesso em 15 set. 2001.

Tutorial sobre microprocessadores. São Paulo, fev. 1999. Disponível em: <<http://200.19.73.252/coele/apostilas/micro/texto1.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2001.

VISCONTI, Antonio Carlos José Franceschini. **Microprocessadores 8080 e 8085: hardware**. São Paulo: Livros Érica editora, 7. ed.,1988.

VISCONTI, Antonio Carlos José Franceschini. **Microprocessadores 8080 e 8085: software**. São Paulo: Livros Érica editora, 6. ed.,1987.

WEG MOTORES LTDA. **Catálogo geral – motores elétricos**. Jaraguá do Sul: Weg, 2000.