

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**CONTROLE DE TEMPERATURA E DESCARTE DE ÁGUA EM SISTEMAS
DE RESFRIAMENTO INDUSTRIAL.**

Área de Engenharia Elétrica

por

Cícero Cazotti

Antônio Assis Bento Ribeiro, Mestre
Orientador

Itatiba (SP), dezembro de 2009

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**CONTROLE DE TEMPERATURA E DESCARTE DE ÁGUA EM SISTEMAS
DE RESFRIAMENTO INDUSTRIAL.**

Área de Engenharia Elétrica

por

Cícero Cazotti

Monografia apresentada à Banca Examinadora
do Trabalho de Conclusão do Curso de
Engenharia Elétrica para análise e aprovação.
Orientador: Antonio Assis Bento Ribeiro, Mestre

Itatiba (SP), dezembro de 2009

AGRADECIMENTO

Primeiramente agradeço a Deus, por me dar forças para terminar mais essa etapa da minha vida. Aos meus pais, Jurandir e Ester, e ao meu irmão Jaime pelo incentivo de sempre continuar nos estudos, e a minha namorada Gabriela pela paciência que sempre teve. Aos alunos da turma de Engenharia Elétrica, em especial Davilson Luzetti, André Cristiano, André Gasparoti e Julio Certo, pela amizade e conhecimentos transmitidos durante todo o curso. Aos professores que além de ensinar mantiveram uma ótima relação com todos os alunos. Ao meu orientador Professor Antônio Assis Bento Ribeiro pela ajuda na elaboração desse trabalho de conclusão de curso.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.1.1. Objetivo Geral.....	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
1.2. METODOLOGIA.....	2
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1. REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL	4
2.1.1. TORRES DE RESFRIAMENTO.....	6
2.1.2. TROCADORES DE CALOR	9
2.2. INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA	12
2.2.1. TRANSDUTORES DE TEMPERATURA.....	12
2.2.2. PONTE DE WHEATSTONE	16
2.2.3. AMPLIFICADORES OPERACIONAIS	18
2.3. MICROCONTROLADORES	22
2.3.1. MICROCONTROLADORES PIC	23
2.4. LINGUAGEM “C”.....	24
2.4.1. LINGUAGEM C PARA MICROCONTROLADORES.....	25
2.5. CONTROLADORES ON-OFF	26
3. PROJETO.....	27
3.1. SIMULAÇÃO EM SOFTWARE DE DESENVOLVIMENTO.....	28
3.2. DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA	29
3.3. SIMULAÇÃO EM KIT DE DESENVOLVIMENTO.....	34
3.4. LEVANTAMENTO DA CURVA DO TERMISTOR NTC	35
3.5. ROTEAMENTO E MONTAGEM DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO	38
3.6. INSTALAÇÃO DA PLACA DE CONTROLE.....	40
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
APÊNDICE A – SOFTWARE DO MICROCONTROLADOR.....	44

ANEXO I –ESTRUTURA INTERNA DO MICROCONTROLADOR PIC 18F452	55
Figura I: Diagrama em blocos – Estrutura interna do microcontrolador PIC 18F452.....	55
ANEXO II – FUNÇÃO DOS PINOS DO MICROCONTROLADOR PIC 18F452	56
Tabela II: Função de cada pino do microcontrolador PIC 18F452	56
Figura II: Pinagem do microcontrolador PIC 18F452 referente ao encapsulamento DIP.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS

A/D	Conversor Analógico Digital
AMP OP	Amplificador Operacional
CC	Corrente Contínua
CCP	<i>Compare Capture PWM</i>
CI	Circuito Integrado
CLP	Controlador Lógico Programável
CMRR	<i>Common Mode Rejection Ratio</i>
CPU	Unidade Central de Processamento
D/A	Conversor Digital Analógico
DIP	<i>Dual In-Line Pin</i>
DRAM	<i>Dynamic RAM</i>
EEPROM	<i>Eletrical Erasable ROM</i>
EPROM	<i>Erasable ROM</i>
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
GND	<i>Ground</i> (Terra)
I/O	<i>Input / Output</i>
IHM	Interface Homem Máquina
LCD	Display de Cristal Líquido
MCLR	<i>Master Clear</i>
MIPS	Milhões de Instruções por Segundo
MSSP	<i>Master Synchronous Serial Port</i>
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i>
PROM	<i>Programable ROM</i>
RAM	<i>Randon Access Memory</i>
ROM	<i>Read Only Memory</i>
RTD	<i>Resistance Temperature Detectors</i>
SRAM	<i>Static RAM</i>
USART	<i>Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação dos componentes utilizados em uma Refrigeração Industrial: a) Sistema da torre de resfriamento. b) trocador de calor água / óleo.....	5
Figura 2. Representação do resfriamento e da aproximação em uma torre de resfriamento. Fonte: Adaptado de STOECKER (1985)	6
Figura 3. Representação esquemática do ciclo da água na Torre de Resfriamento	7
Figura 4. Torre de Resfriamento Alpina: (a) Torre; (b) Sistema com tubulações e bombas.	8
Figura 5. Processo de transferência dos trocadores de calor: a) Contato Direto. b) Contato Indireto – Transferência Direta. c) Contato Indireto – Armazenamento. Fonte: Adaptado de BRAGA (2004).....	10
Figura 6. Trocador de calor tipo Placa. Fonte: ALMATHI (2009).....	10
Figura 7. Trocador de calor Tubular: a) Casco – Tubo. b) Tubo Duplo. c) Serpentina. Fonte: Adaptado de BRAGA (2004).....	11
Figura 8. Curva característica dos termistores PTC e NTC. Fonte: Adaptado de RIBEIRO (2007).14	
Figura 9. Circuito básico de um termopar. Fonte: Adaptado de RIBEIRO (2007).....	15
Figura 10. Configuração do circuito da Ponte de Wheatstone. Fonte: Adaptado de RIBEIRO (2007)	16
Figura 11. Amplificador Operacional: a) Símbolo do Amp Op. b) Amp Op com pinos de alimentação. Fonte: Adaptado de SEDRA (2000)	19
Figura 12. Configuração de Amp ops: a) Inversora. b) Não-Inversora. c) Seguidor de Tensão Fonte: Adaptado de SEDRA (2000).....	21
Figura 13. Configuração de um amplificador de diferenças. Fonte: Adaptado de SEDRA (2000).....	22
Figura 14. Representação do Controlador <i>ONN-OFF</i>	26
Figura 15. Diagrama em blocos do funcionamento do projeto.	27
Figura 16. Simulação do circuito proposto para o projeto de controle.	28
Figura 17. Janela de desenvolvimento do software de compilação de linguagem C para microcontroladores.....	30
Figura 18. Tela inicial do software de gravação de microcontroladores.	30
Figura 19. Fluxograma da programação do projeto, estrutura principal.	31
Figura 20. Fluxograma da programação do projeto, estrutura interrupção.	32
Figura 21. Kit de desenvolvimento específico para PIC utilizado para simulação do projeto.	35
Figura 22. Experimento para levantamento da curva do termistor NTC.	36
Figura 23. Curva de resposta do termistor NTC.	36
Figura 24. Real esquemático da placa de controle.	38
Figura 24. Desenvolvimento do roteamento da placa de circuito impresso do projeto.	39
Figura 25. Placa final do controlador de temperatura e descarte de água.	39
Figura 26. Instalação da placa de controle: (a) Painel elétrico da torre de resfriamento. (b) Detalhe do termistor NTC.	40
Figura 27. Software utilizado no microcontrolador.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tipos de termopares	16
Tabela 2. Tabela dos valores de tensão e temperatura do experimento da curva NTC.	36

RESUMO

CAZOTTI, Cícero. Controle de Temperatura e Descarte de Água em Sistemas de Resfriamento Industrial. Itatiba, 2009. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, Itatiba, 2009.

No processo industrial, é comum o uso de equipamentos para diminuir a temperatura dos fluidos hidráulicos. Esse processo é conhecido como Refrigeração Industrial e possui como seus componentes básicos: ventiladores, trocadores de calor, bombas, tubos, dutos e controles. Os fluidos utilizados para esse processo de resfriamento são geralmente ar, água e algum líquido refrigerante. O fluido geralmente utilizado para a movimentação de um sistema em um processo industrial é o óleo hidráulico, que circula entre bombas, válvulas e cilindros, retornando para uma unidade hidráulica (tanque), onde fica armazenado. O óleo hidráulico em contato com as bombas, cilindros, válvulas e mangueiras, acaba por aquecer e transfere seu calor para outros equipamentos, prejudicando assim todo o sistema. Portanto, para uma melhor eficiência do sistema é importante a medida e controle da temperatura do fluido. Para o controle dessa temperatura será utilizado um microcontrolador PIC 18F452, responsável pelo processamento das informações enviadas através de um sensor de temperatura (termistor NTC), que será imerso na bacia da torre de resfriamento, ligado a uma Ponte de Wheatstone e um amplificador de instrumentação. No processo da torre de resfriamento, é necessário drenagens periódicas, afim de eliminar os sais dissolvidos presentes na água de reposição. Será utilizado um temporizador interno ao microcontrolador para a programação desse tempo de descarte.

Palavras-chave: Torre de Resfriamento. Microcontrolador. Termistor NTC.

ABSTRACT

In the industrial process, it is common to use equipment to reduce the temperature of hydraulic fluids. This process is known as Industrial Refrigeration and has as its basic components: fans, heat exchangers, pumps, pipes, ducts and controls. The fluids used for this cooling process is usually air, water and some coolant. The fluid usually used for movement of a system in an industrial process is the hydraulic oil which runs between pumps, valves and cylinders, returning to a hydraulic unit (tank), where it is stored. The hydraulic oil in contact with the pumps, cylinders, valves and hoses, ultimately warm and transfers its heat to other equipment, thus undermining the entire system. Therefore, for better system efficiency is important to measure and control the temperature of the fluid. To control this temperature will be a PIC 18F452 microcontroller, responsible for processing the information sent by a temperature sensor (NTC thermistor), which will be immersed in the basin of the cooling tower, connected to a Wheatstone bridge and an instrumentation amplifier. In the process of cooling tower is necessary periodic drainage in order to remove dissolved salts in water replacement. It will use a timer internal to microcontroller for programming this time of disposal.

Keywords: *Cooling Tower. Microcontroller. NTC Thermistor.*

1. INTRODUÇÃO

A Refrigeração Industrial é um processo utilizado nas empresas que visa melhorar o rendimento dos componentes hidráulicos de um equipamento. Os fluidos utilizados para esse processo de resfriamento são geralmente ar, água e algum refrigerante.

O fluido hidráulico geralmente utilizado para a movimentação de um sistema em um processo industrial é o óleo hidráulico, que circula entre bombas, válvulas e cilindros, retornando para uma unidade hidráulica (tanque), onde fica armazenado. O óleo hidráulico em contato com as bombas, cilindros, válvulas e mangueiras, se aquece e transfere o seu calor para outros equipamentos, prejudicando assim todo o sistema. Para o resfriamento desse óleo, são utilizados trocadores de calor água/óleo, compostos basicamente de dois dutos de passagem de fluido. Em um duto passa o óleo hidráulico aquecido, e pelo outro passa um outro fluido (geralmente água) de menor temperatura, que pelo processo de transferência de calor acaba resfriando o óleo e aquecendo a água. O óleo resfriado é utilizado no sistema e a água aquecida é devolvida para uma Torre de Resfriamento, que também por um processo de transferência de calor e massa, faz o resfriamento e reutiliza a mesma água para ir novamente aos trocadores de calor, completando assim o ciclo e fechando a malha do sistema. O controle dessa temperatura é importante para uma melhor eficiência do sistema e gerando uma redução de energia, diminuindo o tempo do motor responsável pela ventilação ser acionado.

Para o controle dessa temperatura será utilizado um microcontrolador PIC 18F452, responsável pelo processamento das informações enviadas através de um sensor de temperatura (termistor NTC), que será imerso na bacia da torre de resfriamento, ligado a uma Ponte de Wheatstone e um amplificador de instrumentação.

Na torre de resfriamento, é necessário drenagens periódicas, afim de eliminar os sais dissolvidos presentes na água de reposição (*make up*). Essa água de reposição é necessária, pois quando o ar frio entra em contato com a água mais quente, ocorre a transferência de calor e massa. A massa perdida é devido a evaporação da água em contato com o ar frio, principal motivo do resfriamento. Será utilizado um temporizador interno ao microcontrolador para a programação desse tempo de descarte.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Projetar um controlador de temperatura e descarte de água, para aplicação em um sistema de resfriamento industrial através de uma torre de resfriamento.

1.1.2. Objetivos Específicos

Para o controle de temperatura e descarte de água da torre de resfriamento foram determinados alguns objetivos importantes para o projeto.

- Fazer a aquisição do sinal de um sensor de temperatura (termistor NTC) através de uma Ponte de Wheatstone e um amplificador de instrumentação;
- Realizar o processamento digital do sinal de aquisição através de um microcontrolador PIC18F452 para o controle de temperatura, e utilizar um temporizador interno para o controle do descarte de água;
- Desenvolver uma placa de circuito impresso com uma interface ao usuário para a aplicação em uma torre de resfriamento.

1.2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para este trabalho seguiu os seguintes tópicos:

- Foi realizada uma revisão bibliográfica sobre refrigeração industrial, termistores NTC, microcontroladores, controladores *ON-OFF* e linguagem C;
- Estudo da programação, compilação e gravação em linguagem C para microcontroladores, através de softwares dedicados;
- Simulação do projeto através de um software de desenvolvimento e também em um kit de desenvolvimento específico para microcontroladores PIC;
- Após a validação do projeto, foi desenvolvido o layout da placa de circuito impresso, através do software de roteamento, e a montagem do projeto para a aplicação na torre de resfriamento.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi dividido em 5 capítulos: Introdução, Fundamentação Teórica, Projeto, Considerações Finais e Referências Bibliográficas.

No capítulo 1 é relatado o objetivo do trabalho e a metodologia utilizada para a sua elaboração.

No capítulo 2 é exposta a fundamentação teórica dos assuntos abordados no trabalho. É feito uma revisão bibliográfica sobre refrigeração industrial, instrumentação eletrônica, microcontroladores, linguagem C e controladores.

No capítulo 3 são mostradas as atividades relacionadas ao projeto, como a programação do microcontrolador, simulação em software e em kit de desenvolvimento, layout de roteamento da placa de circuito impresso, montagem e aplicação da placa de controle de temperatura e descarte.

No capítulo 4 é feito as considerações finais do trabalho e a conclusão dos benefícios da aplicação do projeto.

No capítulo 5 estão descritos as referências bibliográficas utilizadas para a elaboração do projeto de trabalho de conclusão de curso.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, é feita uma introdução teórica sobre a refrigeração industrial e os equipamentos que a formam, termistores NTC e suas aplicações, microcontroladores, linguagem C para programação de microcontroladores e controladores *ON-OFF*.

2.1. REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL

A Refrigeração Industrial tem como objetivo o processo de redução de calor de alguma substância ou meio para uma determinada aplicação. Para esse processo, o calor do corpo a ser refrigerado deve ser transferido para outro corpo com temperatura inferior ao corpo refrigerado. A refrigeração e o aquecimento são extremidades opostas de um único processo, sendo que o resultado desejado acaba distinguindo um do outro (DOSSAT, 2004). Caracteriza-se, além de outros parâmetros, pela faixa de temperatura de operação, sendo que nas temperaturas inferiores os valores podem atingir até $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, e às temperaturas menores correspondem às aplicações chamadas criogênicas.

A aplicação da refrigeração industrial inclui processamentos e conservação de alimentos, remoção de calor de substâncias em indústrias químicas e de petróleo e várias aplicações nas indústrias de construção e manufatura. Na indústria de manufatura, nos processos de usinagem e conformação de metais, a refrigeração é frequentemente exigida, por exemplo, em fluidos de corte nas máquinas de usinagem. Outro processo de refrigeração industrial é o resfriamento de água, responsável pelo resfriamento de fluidos hidráulicos através de trocadores de calor instalados em equipamentos (STOECKER, 2002).

Os componentes que formam a refrigeração industrial são basicamente:

- Torre de Resfriamento – Equipamento onde ocorre a transferência de calor e massa da água;
- Trocadores de Calor – São chamados de resfriadores de processo e são instalados diretamente nos equipamentos onde se quer realizar a refrigeração do fluido hidráulico através da água resfriada;

- Ventilador – Motor elétrico com hélice acoplada ao eixo, responsável pelo resfriamento da água retornada à torre de resfriamento, através do insulflamento de ar frio contra a água aquecida;
- Bombas – Realizam a circulação da água da bacia da torre, passando pelos trocadores de calor e retornando à torre para ser posteriormente resfriada;
- Tubulação – Responsável pela condução da água a todos os equipamentos do sistema da refrigeração industrial.
- Controle – Responsável pela eficiência e economia do processo de refrigeração e pelo tratamento químico da água.

A Figura 1 (a) mostra o sistema da torre de resfriamento e (b) um trocador de calor utilizado nos equipamentos, formando os componentes utilizados na refrigeração industrial.

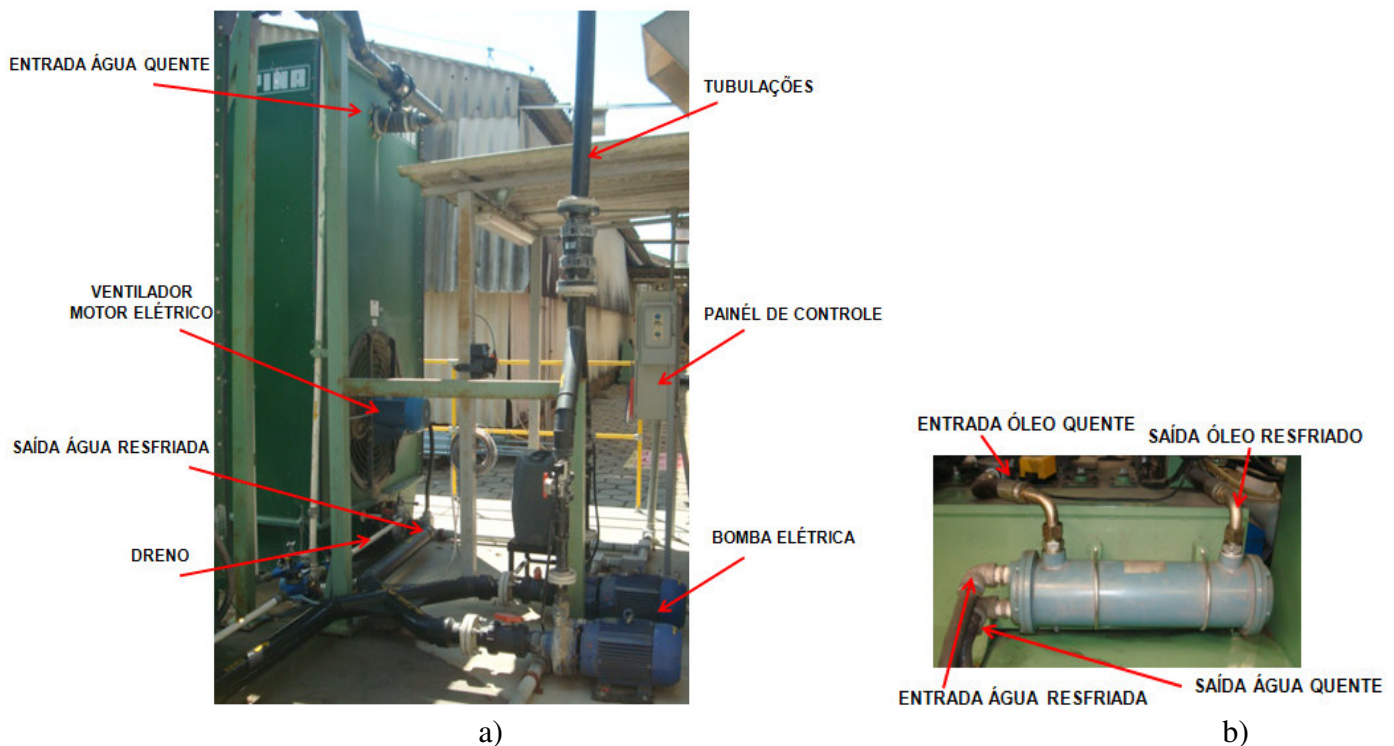


Figura 1. Representação dos componentes utilizados em uma Refrigeração Industrial:

a) Sistema da torre de resfriamento. b) trocador de calor água / óleo.

2.1.1. TORRES DE RESFRIAMENTO

As torres de resfriamento são equipamentos industriais responsáveis pelos efeitos de transferência de calor e massa, resultando no resfriamento da água utilizada nos trocadores de calor instalados em equipamentos hidráulicos na produção industrial.

A água que entra na torre desce pelos enchimentos de contato, aumentando a área superficial de água, e assim, ocorre uma interação dessa superfície com o ar.

O resfriamento se dá como resultado da aspersão de água em uma corrente de ar frio, normalmente à temperatura ambiente. Nesse contato direto das correntes de ar e água ocorrem dois fenômenos responsáveis pelo resfriamento. Uma contribuição para o resfriamento é a diferença de temperatura do ar entre a água, e a outra parcela é a evaporação de uma parte dessa água, (transferência de massa da fase líquida para a fase gasosa), que é o principal fenômeno responsável pelo resfriamento.

O desempenho de uma torre de resfriamento é expresso em termos da temperatura de resfriamento e aproximação. O resfriamento é a redução da temperatura da água através da torre de resfriamento, sendo a diferença entre a temperatura de entrada da água na torre e a temperatura de saída. A aproximação é a diferença entre a temperatura do bulbo úmido do ar que entra na torre e a temperatura de saída da água (STOECKER, 1985). A Figura 2 mostra a representação do resfriamento e da aproximação em uma torre de resfriamento.

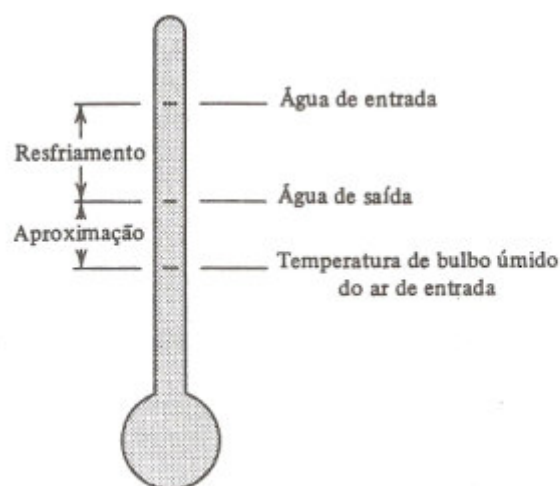


Figura 2. Representação do resfriamento e da aproximação em uma torre de resfriamento.
Fonte: Adaptado de STOECKER (1985)

Para compensar as perdas por evaporação proveniente do resfriamento da água, é necessária uma linha de água de reposição. Porém, essa água de reposição contém sais dissolvidos que acabam sendo depositados na bacia da torre, sendo necessária uma válvula para drenagem dessa água contaminada (*blow dow*), de acordo com laudos da empresa responsável pelo tratamento químico da água. Essa drenagem é feita por uma bomba que envia essa água contaminada para uma ETE interna da empresa para posterior descarte.

A representação esquemática do circuito da água em uma torre de resfriamento é mostrada na Figura 3.

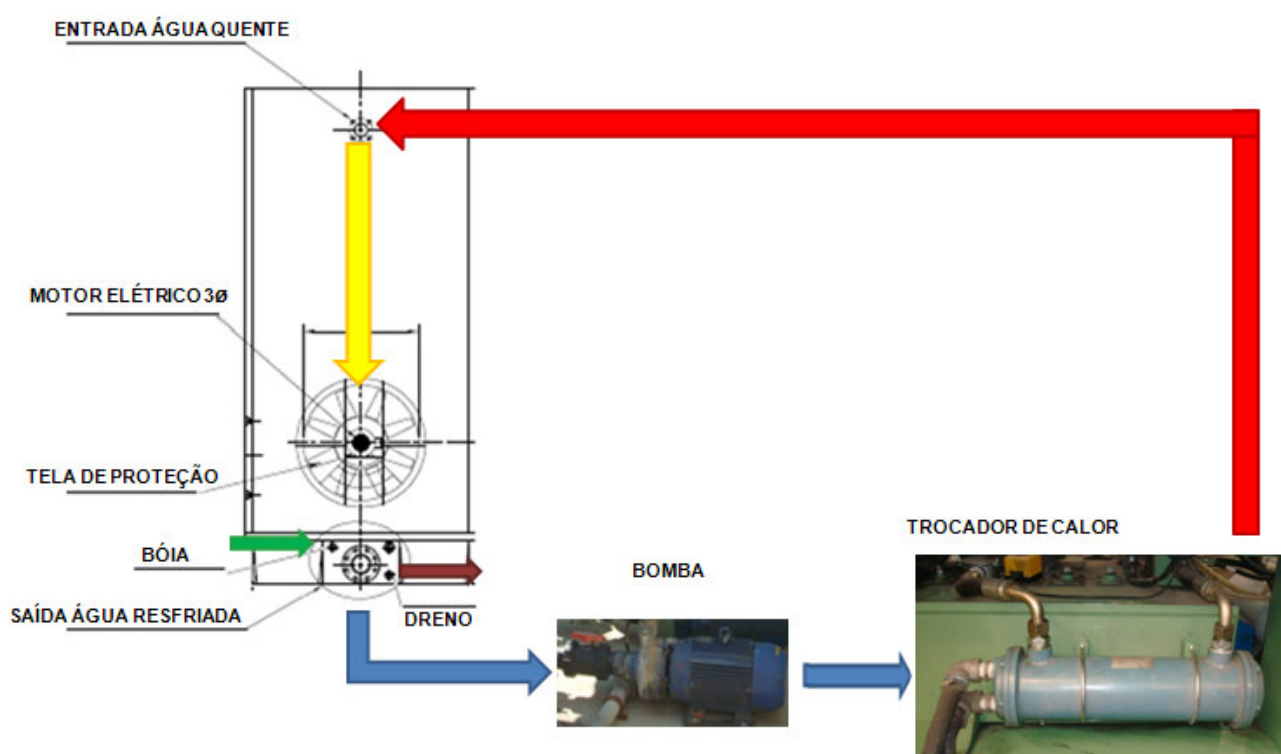


Figura 3. Representação esquemática do ciclo da água na Torre de Resfriamento.

Na representação da Figura 3, a saída de água resfriada é enviada através de uma bomba elétrica para um trocador de calor, que é responsável pelo resfriamento do óleo hidráulico utilizado no sistema. A água de saída aquecida do trocador de calor, devido ser um bem finito na natureza e por questões ambientais é reutilizada e redirecionada para a torre de resfriamento para seu posterior uso. Só é descartada, através de uma bomba de recalque ligada ao dreno, a água contaminada, e assim mesmo é tratada em uma ETE (Estação de Tratamento de Efluentes) interna da empresa para o seu retorno correto na natureza.

A Torre de Resfriamento utilizada nesse projeto é fabricada pela empresa ALPINA EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS, modelo 25/2-SG-II-INS e possui as seguintes características:

- Insulflamento do ar em contracorrente com descargas do ar úmido na vertical para cima;
- Pequena área ocupada;
- Totalmente desmontável;
- Possui fácil acesso de inspeção, manutenção e limpeza.

A Figura 4 (a) mostra a torre de resfriamento utilizada e (b) o sistema com as tubulações e bombas.



(a)



(b)

Figura 4. Torre de Resfriamento Alpina: (a) Torre; (b) Sistema com tubulações e bombas.

2.1.2. TROCADORES DE CALOR

Os trocadores de calor são dispositivos utilizados para a realização da troca térmica entre dois fluidos em temperaturas diferentes. Este equipamento é muito utilizado em aplicações de Engenharia, nos processos de aquecimento e resfriamento de ambientes, condicionamento de ar, produção de energia, recuperação de calor, etc. As principais classificações quanto aos tipos de trocadores de calor são as que dividem de acordo com o processo de transferência e quanto ao tipo de construção (BRAGA, 2009).

Com relação ao processo de transferência, é dividido em dois modos:

- Contato Direto: Processo onde ocorre a mistura entre os dois fluidos. As aplicações mais comuns desse processo envolvem, além da transferência de calor, a transferência de massa. Comparados aos processos de contato indireto, são alcançadas altas taxas de transferência de calor, porém sua aplicação se limita a processos onde o contato direto entre dois fluidos é permitido.
- Contato Indireto: Neste processo, os fluidos permanecem separados por uma parede, onde continuamente ocorre a transferência de calor. São divididos em dois tipos:
 - a) Transferência Direta: Neste tipo, um fluxo contínuo de calor do fluido quente a frio ocorre entre a parede que os separa, não havendo mistura entre os fluidos. É chamado de trocador de calor de recuperação (recuperador). Esses recuperadores constituem a maioria dos trocadores de calor utilizados.
 - b) Armazenamento: Nesse processo, os dois fluidos percorrem a mesma passagem, de forma alternada. Uma estrutura chamada matriz é a superfície onde ocorre a transferência de calor. No aquecimento, primeiramente um fluido de maior temperatura atravessa a matriz, onde é armazenada a energia térmica, e posteriormente o outro fluido de menor temperatura percorre o mesmo caminho, e na matriz ocorre a troca de energia térmica. No processo de resfriamento o caso é o inverso. Esse trocador de calor é chamado de regenerador.

A Figura 5 representa os modos do processo de transferência dos trocadores de calor líquido/líquido.

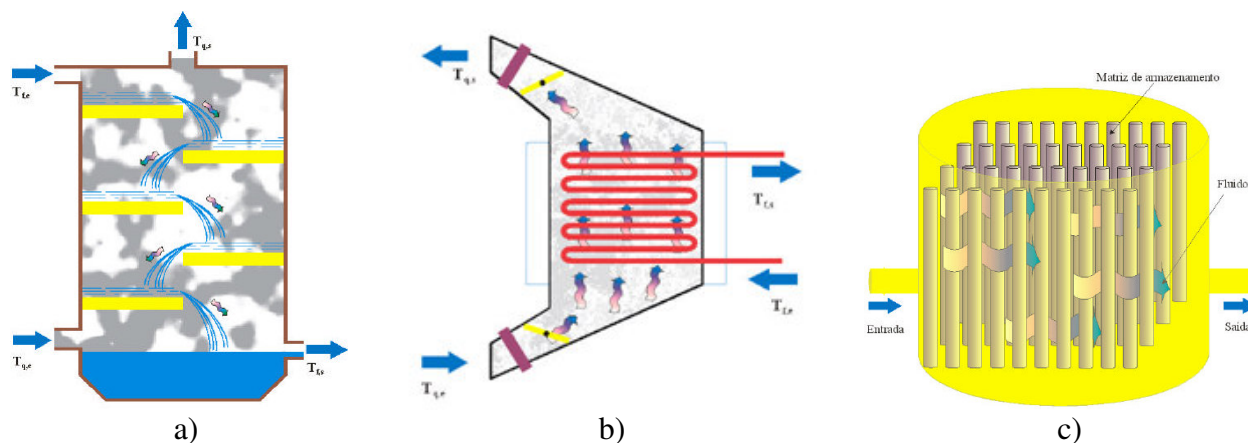


Figura 5. Processo de transferência dos trocadores de calor: a) Contato Direto. b) Contato Indireto – Transferência Direta. c) Contato Indireto – Armazenamento.

Fonte: Adaptado de BRAGA (2004)

Quanto ao tipo de construção, são divididos em dois grupos básicos:

- **Tipo Placa:** Neste tipo de construção, os fluidos escoam por entre as placas através de um canal de comunicação formado pelos furos nas laterais de cada placa. Um dos fluidos utiliza as paredes pares, enquanto o outro utiliza as paredes ímpares, sem se misturarem. As placas são corrugadas para criar uma turbulência dos fluidos, resultando em uma máxima eficiência do sistema (ALMATHI, 2009). A Figura 6 mostra um trocador de calor tipo Placa.

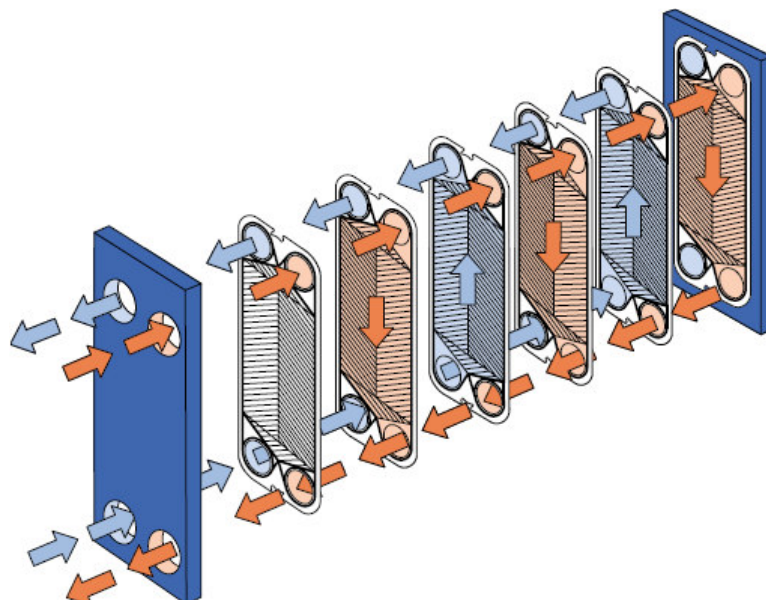


Figura 6. Trocador de calor tipo Placa.

Fonte: ALMATHI (2009)

•Tipo Tubular: Geralmente construídos por tubos circulares, e são utilizados para troca de calor líquido/líquido, tendo também uma ótima resposta gás/gás para altos valores de temperatura e pressão. São divididos em três subgrupos:

- a) Carcaça – Tubo: Também chamado de casco – tubos, nesta construção utilizam-se tubos colocados paralelo ao eixo longitudinal do casco cilíndrico. Um fluido percorre os tubos, enquanto o outro percorre o casco do trocador de calor, resultando na transferência de calor no contato das paredes dos tubos.
- b) Tubo Duplo: Também chamado de tubo coaxial, consiste em dois tubos concêntricos, onde um fluido escoar pelo tubo interno e o outro pela parte anular entre os tubos em uma direção de contra fluxo. É considerado o mais simples dos trocadores de calor, e sua aplicação limita-se pela pequena capacidade de troca térmica.
- c) Serpentina: É composto de uma ou mais serpentinas de tubos circulares ordenadas em uma carcaça. Possui uma alta taxa de transferência de calor se comparado ao tubo duplo, podendo ter uma grande superfície acomodada em um pequeno espaço, devido a utilização das serpentinas. As expansões térmicas não são problema para este tipo de construção de trocador de calor, porém a limpeza é muito dificultada.

A Figura 7 mostra os 3 tipos de construção para os trocadores de calor tubular apresentados anteriormente.

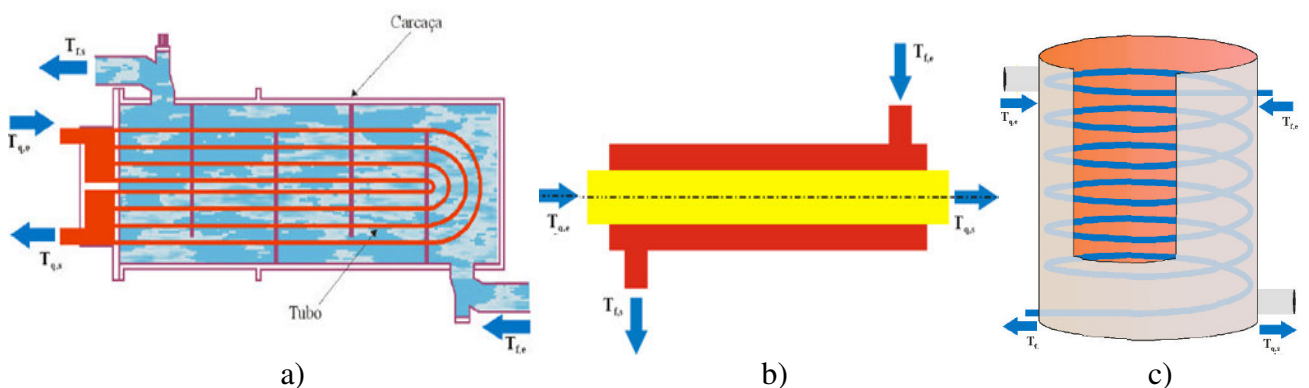


Figura 7. Trocador de calor Tubular: a) Casco – Tubo. b) Tubo Duplo. c) Serpentina.
Fonte: Adaptado de BRAGA (2004)

2.2. INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA

Na Engenharia, a Instrumentação Eletrônica é uma ferramenta utilizada para análise de sistemas de aquisição de dados amostrados de grandezas físicas, utilizando computadores digitais. Com ela pode-se determinar as características estáticas e dinâmicas de instrumentos e sensores, e realizar análises de dados, como a aquisição de dados e condicionamento de sinais, envolvendo controle.

A medição é o processo que permite atribuir um número a uma propriedade física como resultado de comparação entre quantidades semelhantes, sendo uma delas padronizada e adotada como unidade. Um sistema de medida é dividido basicamente em estágio do sensor e transdutor, condicionamento do sinal, estágio de saída e estágio de controle.

A instrumentação eletrônica envolve o estudo das características dos instrumentos quanto à resolução, linearidade, sensibilidade, erros, histerese, exatidão, precisão, etc (RIBEIRO, 2007).

2.2.1. TRANSDUTORES DE TEMPERATURA

A temperatura é influenciada pela maioria dos fenômenos físicos, e os componentes eletrônicos variam suas características de funcionamento em função da temperatura. Os principais sensores eletrônicos para medição de temperatura são os termistores, termopares, RTDs (*Resistance Temperature Detectors*) e junção semicondutora.

Os transdutores resistivos têm como base a mudança da resistividade de alguns metais e semicondutores, que são os materiais que os formam.

A resistência de um condutor é caracterizada pela relação da Equação 1, onde ρ é a resistividade (ρ) que varia com a temperatura.

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} \quad \text{Equação 1}$$

onde:

R = Resistência do condutor, ρ = Resistividade, L = Comprimento, A = Área Transversal.

2.2.1.1. RTD

Os RTDs são Transdutores Resistivos de Metal, construídos através de um fio metal envolvendo uma estrutura isolada, eliminando o "stress" mecânico. Possuem uma faixa de aplicação de -200 à 800°C, com alta linearidade, porém apresentam baixa sensibilidade.

A relação entre a temperatura e a resistência do metal é expressa através de uma aproximação polinomial, conforme Equação 2.

$$R = R_0.[1 + \alpha.(T - T_0) + \beta.(T - T_0)^2 + \dots] \xrightarrow{\text{PEQUENAS VARIAC\~OES}} R = R_0.[1 + \alpha.(T - T_0)] \quad \text{Equação 2}$$

onde:

R_0 = Resistência de referência medida em T_0 (temperatura de referência)

α, β = Coeficiente de Temperatura (parâmetro do material)

O material mais utilizado nos RTDs é a platina ($\alpha = 0,003927^\circ C^{-1}$), que apresenta grande precisão na medição da temperatura, devido à extensa faixa de linearidade e alta estabilidade.

Os RTDs apresentam boa linearidade, porém são limitados na prática por possuírem altos valores de constante de tempo.

2.2.1.2. TRANSDUTORES SEMICONDUTORES

Os termistores são sensores resistivos sensíveis à temperatura fabricados com materiais semicondutores. São classificados em dois tipos:

- NTC- *Negative Temperature Coefficient* – São sensores que apresentam uma resposta de diminuição da resistência com o aumento da temperatura.
- PTC - *Positive Temperature Coefficient* – São inversos ao NTC, apresentando um aumento da resistência com o aumento da temperatura.

Os termistores possuem uma resposta exponencial a variação da resistência em função da temperatura, fato que os tornam não-linear. A Figura 8 mostra a curva característica dos termistores NTC e PTC.

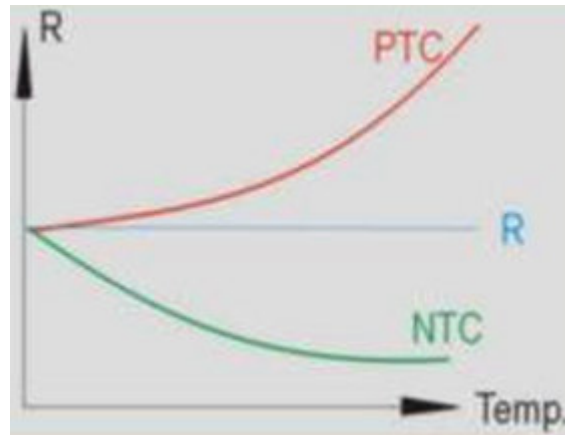


Figura 8. Curva característica dos termistores PTC e NTC.
Fonte: Adaptado de RIBEIRO (2007)

A relação entre a resistência e a temperatura nos termistores é representada através da Equação 3.

$$R = R_0 \cdot e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

Equação 3

onde:

R_0 = Resistência de Referência medida em T_0 (temperatura de referência);

β = Constante do termistor, que varia entre 3500 à 4600K;

$T - T_0$ = Temperaturas expressas em Kelvin.

Uma forma simples de reduzir a linearidade dos termistores é a colocação de um resistor em paralelo ao sensor, porém acarreta em uma menor sensibilidade.

2.2.1.3. TERMOPAR

O circuito elétrico termopar é o método mais comum para medida e controle de temperatura. Seu circuito consiste em dois condutores elétricos feitos de materiais diferentes, com uma conexão elétrica. A Figura 9 mostra o circuito básico de um termopar.

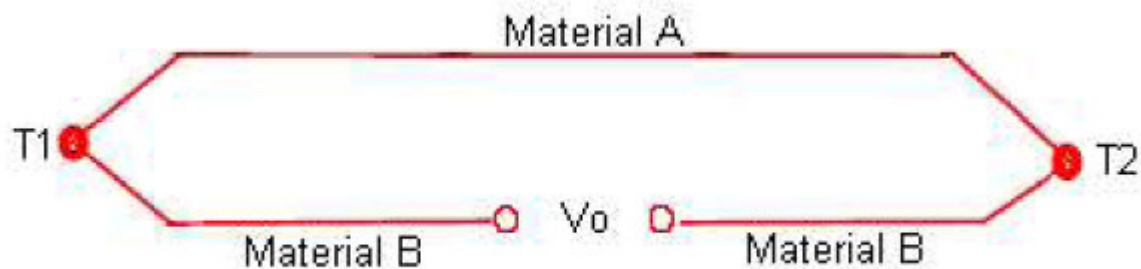


Figura 9. Circuito básico de um termopar.
Fonte: Adaptado de RIBEIRO (2007)

Na saída do termopar, existe uma tensão relacionada com a diferença de temperatura submetida pelas junções T1 e T2, sendo a magnitude dessa tensão dependente das temperaturas e dos metais utilizados. A Equação 4 representa a tensão de saída de um termopar.

$$V = \alpha \cdot (T1 - T2) + \gamma \cdot (T1^2 - T2^2) \xrightarrow{\text{APROXIMADA}} V = \alpha \cdot (T1 - T2) \quad \text{Equação 4}$$

onde:

α = Coeficiente de SEEBECK, sensibilidade térmica, dependente do termopar;

$T1 - T2$ = Variação das temperaturas nas junções.

Os termopares possuem três leis fundamentais:

- LEI DO MATERIAL HOMOGÊNEO: Não pode-se criar um circuito termopar utilizando um material homogêneo, sendo construído com, no mínimo, dois materiais diferentes.
- LEI DOS MATERIAIS INTERMEDIÁRIOS: A soma algébrica das forças termoelétricas em um circuito composto por diferentes metais é zero.

- c) **LEI DA TEMPERATURA INTERMEDIÁRIA:** Se em um circuito termopar produzir uma tensão V_1 quando as junções forem submetidas às temperaturas T_1 e T_2 , e produzir uma tensão V_2 quando submetidas a T_2 e T_3 , quando forem submetidas a uma diferença de temperatura T_1 e T_3 a tensão de saída será V_1+V_2 .

A Tabela 1 representa os mais comuns tipos de termopar, relacionando o coeficiente, os materiais e a aplicação.

Tabela 1. Tipos de termopares

TIPO	α ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)	POSITIVO	NEGATIVO	APLICAÇÃO
E	80	CHROMEL	CONSTANTAN	ALTA SENSIBILIDADE
J	52	IRON	CONSTANTAN	AMBIENTE NÃO OXIDANTE
K	40	CHROMEL	ALUMEL	ALTA TEMPERATURA
S	6,5	PLATINUM/RHODIUM	PLATINUM	ALTA ESTABILIDADE E TEMP.
T	4,5	COOPER	CONSTANTAN	BAIXA TEMPERATURA

Fonte: Adaptado de RIBEIRO (2007)

2.2.2. PONTE DE WHEATSTONE

A Ponte de Wheatstone é uma interface muito utilizada na medição de variáveis como temperatura, força, deslocamento, etc.

A configuração do circuito é mostrada na Figura 10.

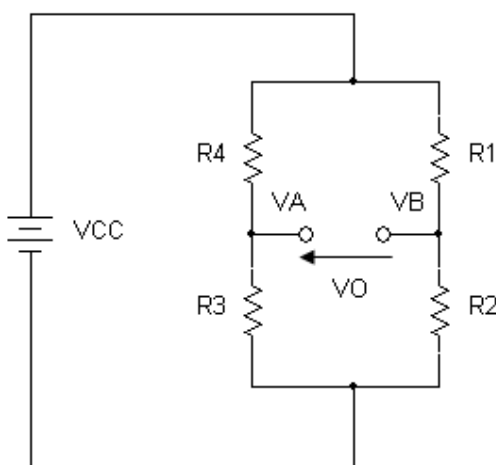


Figura 10. Configuração do circuito da Ponte de Wheatstone.

Fonte: Adaptado de RIBEIRO (2007)

De acordo com a Figura 10, o sinal V_o é dependente dos resistores que formam a Ponte de Wheatstone, e pode-se escrever que:

$$V_o = V_a - V_b \quad \text{Equação 5}$$

Como:

$$V_a = V_{R3} = V_{cc} \times \frac{R3}{R3 + R4} \quad \text{Equação 6}$$

$$V_b = V_{R2} = V_{cc} \times \frac{R2}{R2 + R1} \quad \text{Equação 7}$$

Então:

$$V_o = V_{cc} \times \left[\frac{R3}{R3 + R4} - \frac{R2}{R2 + R1} \right] \quad \text{Equação 8}$$

Ou ainda:

$$V_o = V_{cc} \times \left[\frac{R3 \cdot (R2 + R1) - R2 \cdot (R3 + R4)}{(R3 + R4) \cdot (R1 + R2)} \right] \quad \text{Equação 9}$$

Quando $V_o = 0$, temos que:

$$R3 \cdot (R1 + R2) - R2 \cdot (R3 + R4) = 0 \quad \text{Equação 10}$$

$$R3 \cdot R1 + R3 \cdot R2 - R2 \cdot R3 + R2 \cdot R4 = 0 \longrightarrow R3 \cdot R1 - R2 \cdot R4 = 0 \quad \text{Equação 11}$$

$$R3 \cdot R1 = R2 \cdot R4 \quad \text{Equação 12}$$

De acordo com a Equação 12, a tensão de saída $V_o = 0$ e pode-se dizer que a Ponte está em equilíbrio. A Ponte é utilizada para a aplicação quando trocamos um ou mais resistores por transdutores resistivos, como o NTC. Quando temos $R2 = R3 = R4 = R_x$, e no lugar de $R1$ temos um termistor NTC, a tensão de saída V_o será zero quando o valor da resistência (proporcional à temperatura) do termistor for igual à R_x . Com esse ΔR do NTC, podemos obter um sinal proporcional à variação da temperatura e enviar ao amplificador de instrumentação para assim depois enviarmos para um AD (Conversor Analógico Digital).

2.2.3. AMPLIFICADORES OPERACIONAIS

A amplificação de sinais, do ponto de vista conceitual, é considerada a mais simples tarefa na função de processamento de sinais. Devido aos transdutores fornecerem sinais na faixa de micro volt ou mili volt possuindo baixa energia, existe a necessidade da amplificação desse sinal de uma forma linear a fim de não modificar as informações contidas e não introduzir novas informações. Em outras palavras, a forma de onda do sinal da saída do amplificador deve ser uma réplica do sinal aplicado na entrada, exceto quanto à amplitude que é determinada pelo ganho formado pela configuração do amplificador; caso contrário, qualquer modificação na forma de onda de saída é uma distorção do sinal, sendo indesejável. O ganho do amplificador é definido pela relação da saída sobre a entrada do sinal.

A Equação 13 caracteriza a relação da representação de um amplificador que conserva os detalhes da forma de onda de um sinal.

$$vo(t) = A.vi(t) \longrightarrow A = \frac{vo(t)}{vi(t)} \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

vo = Sinal de saída do amplificador;

vi = Sinal de entrada do amplificador;

A = Ganho diferencial do amplificador, determinado pela configuração de montagem do amplificador.

Os Amplificadores Operacionais, conhecidos como AMP OPs, inicialmente foram utilizados nas áreas de computação e instrumentação analógica, e eram construídos a partir de componentes discretos, primeiramente com válvulas e posteriormente com transistores e resistores. O primeiro CI (Circuito Integrado) desse componente foi criado na metade da década de 60, e era constituído de um elevado número de transistores e resistores em uma única pastilha de silício.

O uso dos amp ops se popularizou devido a versatilidade desse componente, podendo ser configurado para trabalhar em diversas aplicações diferentes. Sua função é a execução de algumas operações matemáticas como soma, subtração, multiplicação, integração, comparação, entre outras.

A característica do comportamento do amp op responder muito próxima do ideal também é um atrativo para seu uso, tornando muito próximo dos níveis previstos no projeto teórico. O símbolo do amp op é mostrado na Figura 11 (a) e (b) os pinos de alimentação do componente.

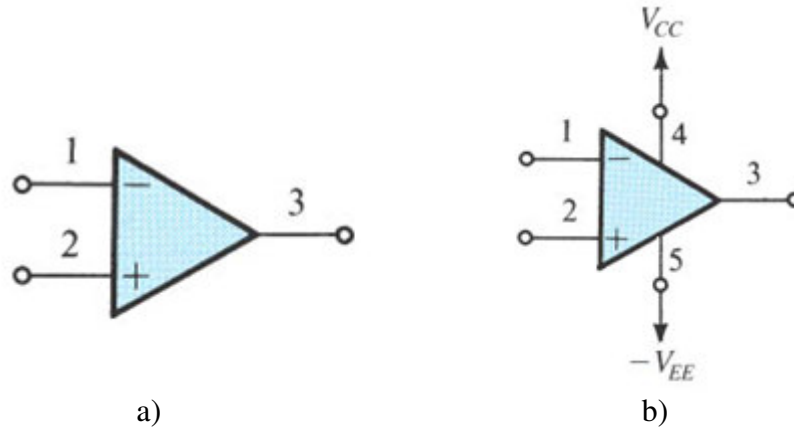


Figura 11. Amplificador Operacional: a) Símbolo do Amp Op. b) Amp Op com pinos de alimentação Fonte: Adaptado de SEDRA (2000)

Desconsiderando a configuração interna do circuito do amp op, do ponto de vista dos sinais, o componente possui três terminais, conforme a Figura 11 (a), sendo dois terminais de entrada (1 e 2) e um terminal de saída (3). O terminal 1 é chamado de terminal da entrada inversora e o terminal 2 é chamado de terminal da entrada não-inversora.

A maioria dos amp ops são alimentados através de uma fonte *cc* simétrica, onde, de acordo com a Figura 11 (b), os terminais 4 e 5 são os pinos de alimentação devendo ser alimentados com V_+ e V_- , respectivamente. Porém existem amp ops que não necessitam de uma fonte de alimentação simétrica, e podem ser alimentados simplesmente com V_+ e GND.

2.2.3.1. Características dos Amplificadores Operacionais Ideais

Os amp ops ideais possuem como características de funcionamento alguns parâmetros com valores nulos e outros infinitos. Na prática, como isso não é possível, alguns valores são bastante altos e outros bastante baixos para uma aproximação dos valores ideais. Alguns desses parâmetros são apresentados a seguir:

- Impedância de entrada: Nos amp ops ideais é suposto que nenhuma corrente de entrada seja drenada, ou seja, as correntes dos terminais 1 e 2 são ambas iguais a zero, tornando a impedância de entrada supostamente infinita. Na prática os valores chegam a $10\text{M}\Omega$, correspondendo ao não consumo de corrente pelas entradas.

- Ganho (A): Chamado de ganho diferencial ou ganho em malha aberta, sendo a relação do sinal de saída pela entrada, chegando a valores muito altos em torno de 10^4 a 10^6 , e nos amp ops ideais o valor seria infinito. Na prática é utilizada uma configuração do amp op com realimentação, fechando a malha em torno do amp op, gerando o ganho A de acordo com a configuração aplicada.
- Impedância de saída: A saída do amp op é suposto como se fosse uma fonte de tensão ideal, sendo independente da corrente drenada pela saída por uma impedância de carga. Idealmente a impedância de saída é igual a zero. Na prática valores como 75Ω são utilizados, significando ausência de queda de tensão interna na saída.
- Relação de rejeição de modo comum: Conhecido como CMRR, do inglês *Common Mode Rejection Ratio*, significa que para qualquer valor igual na entrada do amp op ideal, a saída será zero. Na prática, nesta condição existe um valor de sinal na saída e é definido como ganho de modo comum. Expressa em decibéis, CMRR é a relação dos ganhos do modo diferencial (sinais de entrada diferentes) e o ganho do modo comum (sinais de entrada igual) e é dado pela Equação 14. Teoricamente o valor de CMRR de um amp op ideal é infinito.

$$CMRR = 20.\log\left(\frac{\text{ganho}_{\text{modo diferencial}}}{\text{ganho}_{\text{modo comum}}}\right) \quad \text{Equação 14}$$

- Resposta de frequência: A faixa de passagem de um amp op ideal varia de zero a infinito, mantendo o mesmo ganho (A). Na prática utilizam-se tipos de amp ops com resposta bastante acima das frequências que irão operar, aproximando-se do ideal.

2.2.3.2. Configurações dos Amplificadores Operacionais

Os amp ops podem ser configurados de diversas formas para aplicação, através da utilização de impedâncias. Cada configuração possui um determinado ganho correspondente. As configurações mais comuns são: Inversora, Não-Inversora e Seguidor de Tensão (*Buffer*). A Figura 12 mostra as configurações dos amp ops.

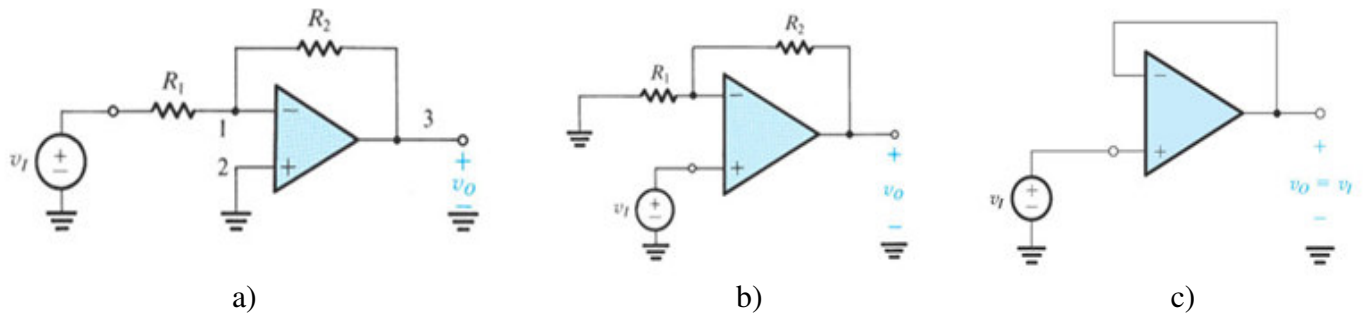


Figura 12. Configuração de Amp Ops: a) Inversora. b) Não-Inversora. c) Seguidor de Tensão
Fonte: Adaptado de SEDRA (2000)

Em cada configuração da Figura 12, um ganho é aplicado ao sinal do pino de entrada do amplificador operacional.

Na Figura 12 (a), configuração inversora, o ganho é dado por:

$$A = -\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \longrightarrow v_o = -\left(\frac{R_2}{R_1}\right).v_i \quad \text{Equação 15}$$

De acordo com a Equação 15, na configuração inversora, o sinal de saída do amp op é inverso ao sinal de entrada. Se conectarmos um sinal positivo na entrada, na saída obtemos um sinal negativo (proporcional ao ganho), e vice-versa.

Na Figura 12 (b), configuração não-inversora, o ganho é dado por:

$$A = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \longrightarrow v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right).v_i \quad \text{Equação 16}$$

Nesta configuração, de acordo com a Equação 16, a polaridade do sinal permanece inalterada, mantendo a polaridade do sinal de entrada no sinal da saída.

Na Figura 12 (c), configuração seguidor de tensão, o ganho é dado por:

$$A = 1 \longrightarrow v_o = v_i \quad \text{Equação 17}$$

Este tipo de configuração não gera nenhum ganho na saída do amp op, pois de acordo com a Equação 17, o mesmo valor de sinal na entrada é obtido na saída. Esta configuração é utilizada como um amplificador isolador, conectando um estágio com alta impedância de saída a uma carga de baixa impedância, a fim de eliminar interferências de um estágio a outro (SEDRA, 2000).

A configuração utilizada nesse projeto é de um amplificador de diferenças, conforme mostrado na Figura 13.

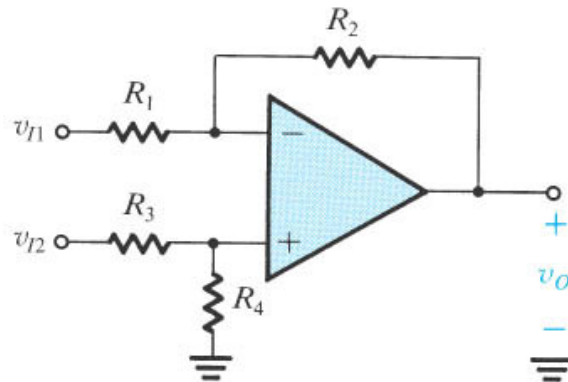


Figura 13. Configuração de um amplificador de diferenças.
Fonte: Adaptado de SEDRA (2000)

Neste circuito, a saída do amp op é proporcional à diferença dos sinais de entrada ($v_{i1} - v_{i2}$) considerando o ganho dessa configuração. Através de uma análise por superposição podemos representar a resposta da configuração desse circuito, conforme a Equação 18.

$$v_O = -\frac{R_2}{R_1} \cdot v_1 + \frac{1 + R_2/R_1}{1 + R_3/R_4} \cdot v_2 \quad \text{Equação 18}$$

2.3. MICROCONTROLADORES

Os microcontroladores são dispositivos semicondutores em forma de CI, que integram todas as partes básicas de um microcomputador, como microprocessador, memórias não voláteis (ROM / PROM / EPROM/ EEPROM), memórias voláteis (RAM, SRAM, DRAM, Flash RAM), portas de entrada e saída (portas de comunicação paralela, portas de comunicação serial, conversores analógicos digitais (A/D), conversores digitais analógicos (D/A), temporizadores, etc). Este dispositivo também é conhecido como microcomputador implementado em um único CI. Geralmente é limitado em termos de quantidade de memória de dados, e é utilizado em aplicações específicas, em que não há a necessidade de se armazenar grandes quantidades de dados. Como exemplo destas aplicações tem:

- Automação residencial / eletrodomésticos (fornos de microondas, máquinas de lavar louça, máquinas de lavar roupas, telefones, alarmes residenciais, automação de portões etc.)
- Automação predial (elevadores, controladores de energia, etc)
- Automação industrial (robótica, controladores lógicos programáveis (CLP), controladores de acesso restrito, relógios de ponto etc.)
- Automação embarcada (computadores de bordo, alarmes, etc).

A idéia básica de um microcontrolador é unir todos os componentes em uma única pastilha, reunindo características de hardware e software, dedicadas a aplicações de automação.

Em média, os microcontroladores apresentam um custo baixo e os principais fabricantes e fornecedores são: Motorola, Microchip, Atmel, Mitsubishi, NEC, Philips, SGS, Intel, Hitachi, Toshiba (ARRUDA, 2009).

Neste projeto, foi utilizado um microcontrolador fabricado pela Microchip, de uma subdivisão de Família (18F) que é o PIC 18F452.

2.3.1. MICROCONTROLADORES PIC

Uma linhagem de microcontroladores é a família PIC. Estes dispositivos apresentam uma estrutura interna do tipo Harvard (onde o barramento de dados é separado do barramento de instruções) aumentando a velocidade de processamento das informações, enquanto grandes partes dos microcontroladores atuais apresentam uma arquitetura de Von-Neuman (mesmo barramento para dados e instruções). O barramento de dados é sempre de 8 bits e o de instruções pode ser de 12, 14 ou 16, dependendo do microcontrolador. No caso do microcontrolador PIC 18F452, o barramento de instruções é de 16 bits. Utiliza a tecnologia RISC (*Reduced Instruction Set Computer*), compreendendo um número reduzido de instruções (35 instruções), divididos em transferência de dados, lógicas e aritméticas, operações sobre bits, direcionamento de programa entre outras.

As principais características do microcontrolador PIC 18F452, do fabricante Microchip são:

- 40 pinos podendo ter até 34 I/O (Input/Output digital);
- 8 canais A/D de 10 Bits multiplexado;

- 02 Módulos CCP – capture, compare e PWM;
- Memória de Programa Flash – 32K
- Memória RAM – 1536 bytes;
- Memória EEPROM – 256 bytes;
- Velocidade de processamento – até 10MIPS (milhões de instruções por segundo);
- Módulo MSSP (Master Synchronous Serial Port);
- Módulo USART;
- Possibilita até 100.000 ciclos de escrita/leitura na memória de programa;
- Possibilita 1.000.000 de ciclos de escrita/leitura na EEPROM;
- Retenção dos dados na memória por até 40 anos;
- Possibilita habilitação do Watchdog Timer;
- Detector de baixa tensão programável;
- Possibilita interrupção externa através de 3 pinos do Microcontrolador;
- 4 Temporizadores/Contadores.

A estrutura interna do microcontrolador PIC 18F452 é mostrada conforme Anexo I, e a função de cada pino é mostrada na Tabela II conforme Anexo II.

2.4. LINGUAGEM “C”

O Assembly é uma linguagem de baixo nível que não possui comandos, instruções ou funções além dos que são definidos no conjunto de instruções do processador utilizado. Foi criada para representar de forma alternativa os códigos de máquina (0 e 1) através de mnemônicos (abreviações que descrevem a operação efetuada pelo comando em código de máquina). Esses mnemônicos são convertidos por um programa chamado Assembler (montador), tornando a programação menos complexa comparada ao código de máquina (fitas perfuradas, discos magnéticos, etc). Devido a complexidade desse tipo de programação, é comum o uso de alternativas para a programação de microcontroladores. Uma delas é a utilização da linguagem C.

A Linguagem C foi desenvolvida em 1972 por Denis Ritchie e Brian Kernighan pela Bell Laboratories e consiste em uma linguagem de nível intermediário entre o Assembly e as linguagens de alto nível.

A linguagem C possui uma programação estruturada, com os programas divididos em módulos ou estruturas independentes entre si, e com o objetivo de realizar uma determinada tarefa. Na Linguagem C essa estrutura é conhecida como funções.

A linguagem C possui diversos benefícios, como a eficiência e rapidez para o desenvolvimento do programa, portabilidade para desenvolvimento de outros programas, sequência do fluxo mais fácil e programas menos extensos.

Apesar das vantagens na utilização da linguagem C, os programas em Assembly são mais eficientes devido a proximidade com o hardware, tornando-os assim mais rápidos. Isso é um importante fato na hora da escolha da linguagem, tendo em vista a aplicação (PEREIRA, 2007).

2.4.1. LINGUAGEM C PARA MICROCONTROLADORES

A cada ano aumenta o número de programadores de microcontroladores que migram da Linguagem Assembly para o C. Os microcontroladores de hoje em dia contam com compiladores de linguagem C para o desenvolvimento de softwares, o que torna um atrativo. Com a utilização do C, é possível criar programas e aplicações muito mais complexas do que seria viável utilizando o Assembly. A velocidade para a criação também é uma vantagem, visto que permite a portabilidade para adaptação de programas existentes para outro com mínimo esforço.

Com a linguagem C, o programador preocupa-se mais com a programação da aplicação em si, deixando para o compilador o gerenciamento das tarefas de controle e localização das variáveis, operações matemáticas e lógicas e a verificação de bancos de memória.

Hoje no mercado existem diversos compiladores de linguagem C para uso em microcontroladores, como o CCS, Hi-Tech, PICmicro, MPLAB, MikroC. Esses compiladores já possuem uma vasta biblioteca com funções prontas para o uso, como Comunicação Serial, LCD, PWM, I2C, EEPROM, AD, etc.

2.5. CONTROLADORES ON-OFF

Chamamos de ação de controle em uma determinada planta a atuação de um controlador que compensa o erro gerado através da comparação da variável de saída da planta com um valor desejado, tornando este erro nulo ou então próximo de zero. O controle ON-OFF foi um dos primeiros métodos utilizados, sendo o mais simples e robusto. Sua forma de controle atua em duas condições: alimentando totalmente o atuador (ON) ou desligando completamente o atuador (OFF), a partir de um valor de ajuste desejado (set point). Esse tipo de controlador não suporta o trabalho em altas frequências, tendo por característica de controle um valor de histerese (erro) próximo ao valor de set point, também conhecido como janela proporcional. Essa propriedade faz com que o atuador não seja ligado e desligado constantemente em um curto período de tempo, causando danos ao atuador e consequentemente ao sistema. A representação do Controlador ON-OFF é mostrada de acordo com a Figura 14.

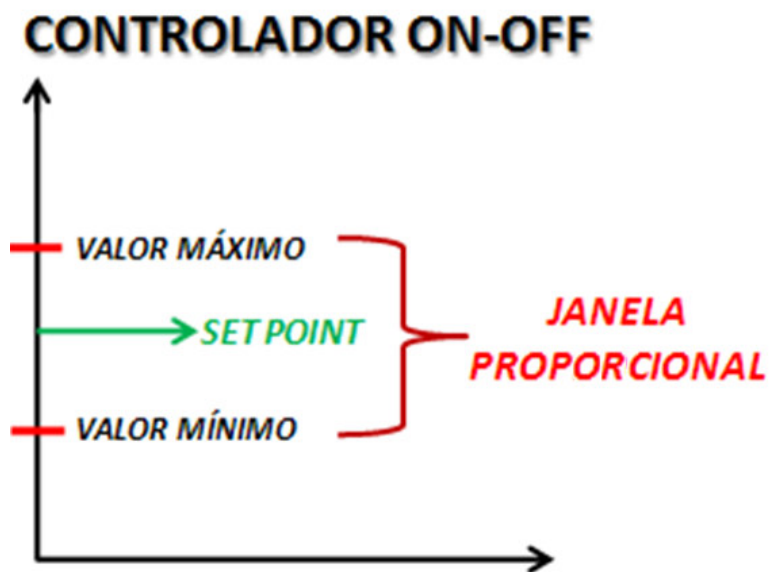


Figura 14. Representação do Controlador ON-OFF.

3. PROJETO

O projeto do controlador de temperatura e descarte de água para aplicação em uma torre de resfriamento seguiu de acordo com os seguintes procedimentos:

- Definição do Hardware a ser utilizado;
- Simulação em um software de desenvolvimento;
- Desenvolvimento do programa, em Linguagem C, utilizado pelo microcontrolador;
- Simulação em um kit de desenvolvimento específico para PIC;
- Levantamento experimental da curva do termistor NTC;
- Roteamento e montagem dos componentes da placa de circuito impresso;
- Instalação da placa no painel de comando da Torre de resfriamento.

O projeto consiste na leitura de um sinal, enviado pelo termistor NTC através da Ponte de Wheatstone e amplificado pelo Amp Op, através da porta analógica RA0 do microcontrolador, para atuação no motor do ventilador, responsável pelo resfriamento da água do sistema de refrigeração industrial. Foi realizada a programação de um *timer* interno ao microcontrolador para a realização de drenagens periódicas através de uma bomba acoplada na saída da torre de resfriamento. Os valores para o controle dos atuadores são definidos pelo usuário através de uma interface LCD e botões de entrada de dados.

A Figura 15 mostra uma visão geral do projeto, através de um diagrama em blocos.

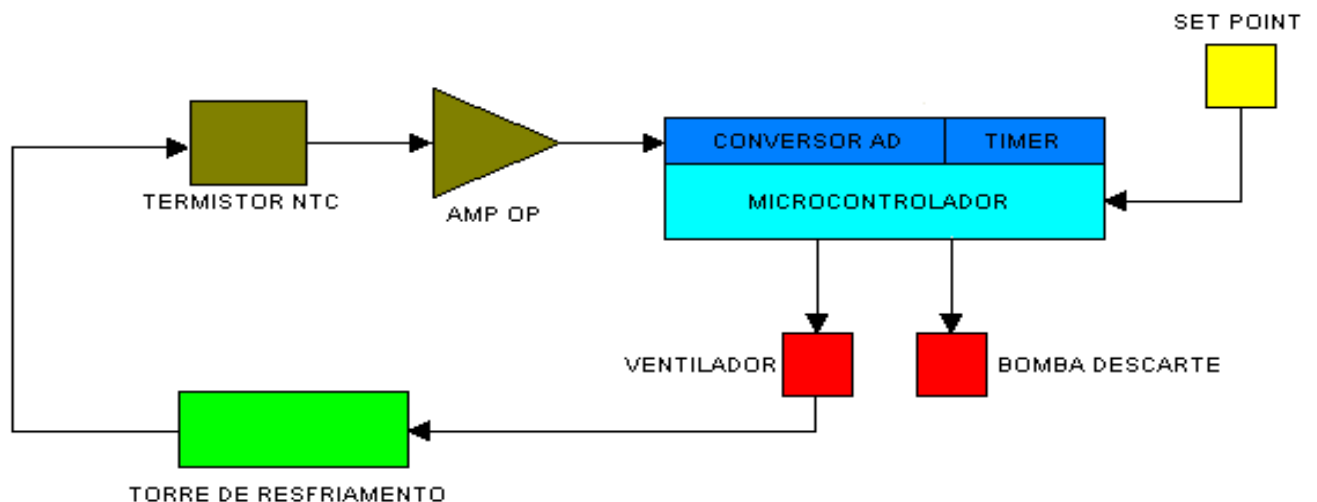


Figura 15. Diagrama em blocos do funcionamento do projeto.

Após definido o funcionamento projeto, foi proposto um Hardware para ser utilizado, sendo mostrado de acordo com a representação esquemática da Figura 16, através da simulação.

3.1. SIMULAÇÃO EM SOFTWARE DE DESENVOLVIMENTO

Para a validação de projetos, é comum o uso de softwares de simulação que reproduzem fielmente o circuito projetado. Isso se faz necessário para que não aconteçam imprevistos, e se ocorrerem, possa ser corrigido antes da montagem da placa. Nesse projeto foi utilizado um software de desenvolvimento que apresenta uma ótima resposta para a simulação de circuitos que utilizam microcontroladores.

A Figura 16 mostra o circuito proposto para o projeto do controlador de temperatura e descarte de água da torre de resfriamento.

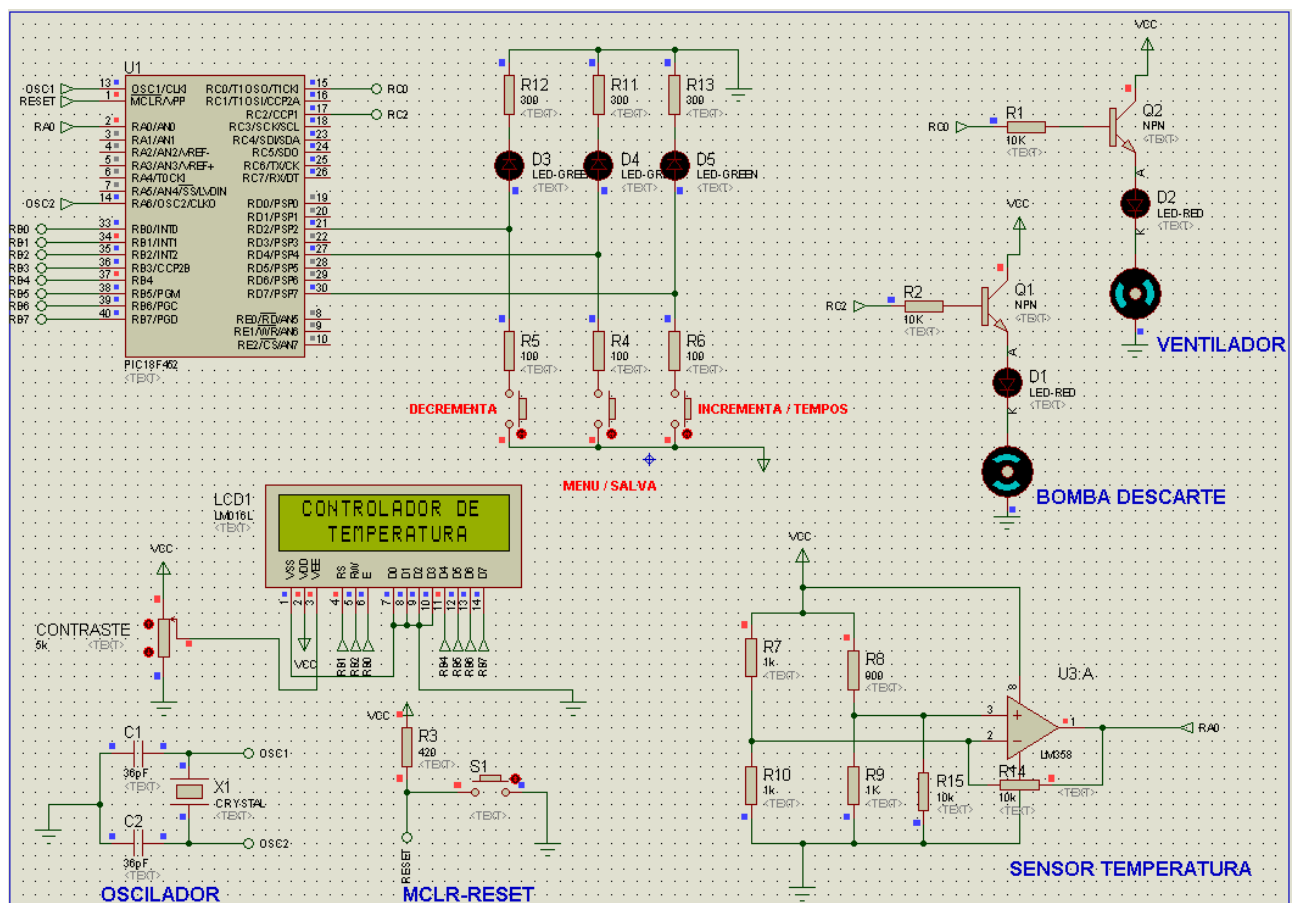


Figura 16. Simulação do circuito proposto para o projeto de controle.

O circuito proposto é formado basicamente por um microcontrolador PIC18F452, botões de acionamento para entrada de dados, um circuito oscilador para o funcionamento do microcontrolador, um circuito de *reset* (MCLR), um display LCD para uma interface IHM, um circuito de aquisição do sinal através da Ponte de Wheatstone e um amp op, e transistores para acionamento do sinal para a ligação do motor (ventilador) e a bomba.

Para o funcionamento do Hardware proposto, é necessário o desenvolvimento de um programa que rodará dentro do microcontrolador, apresentado conforme o Tópico 3.2.

3.2. DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

Para o desenvolvimento do programa foi utilizado um software específico para programação em Linguagem C, que abrange toda linha de microcontroladores PICs das famílias 12, 14, 16 e 18 da Microchip. Esse software / compilador possui uma vasta biblioteca de funções prontas para o uso, como ADC, CAN, EEPROM, I2C, LCD, PWM, etc. A sua janela de desenvolvimento é mostrada na Figura 17.

Nesse software, o usuário escolhe qual o modelo do microcontrolador utilizado no projeto, e determina algumas configurações iniciais através da habilitação dos *fuses*. Nesses *fuses* são configurados, por exemplo, o Cristal de Oscilação Externo, WatchDog Timer, Power On, Brown Out, e demais bits de configuração específicos de cada microcontrolador.

Ao final do desenvolvimento é compilado o programa e caso tenha alguma irregularidade é mostrado a linha onde está o erro. Caso não tenha nenhuma irregularidade, são gerados os arquivos para a gravação no microcontrolador. O principal arquivo é o hexadecimal (.hex) e este é utilizado pelo software de gravação. Através de um cabo de comunicação entre a placa de gravação e o computador, é gravado o arquivo hexadecimal no microcontrolador.

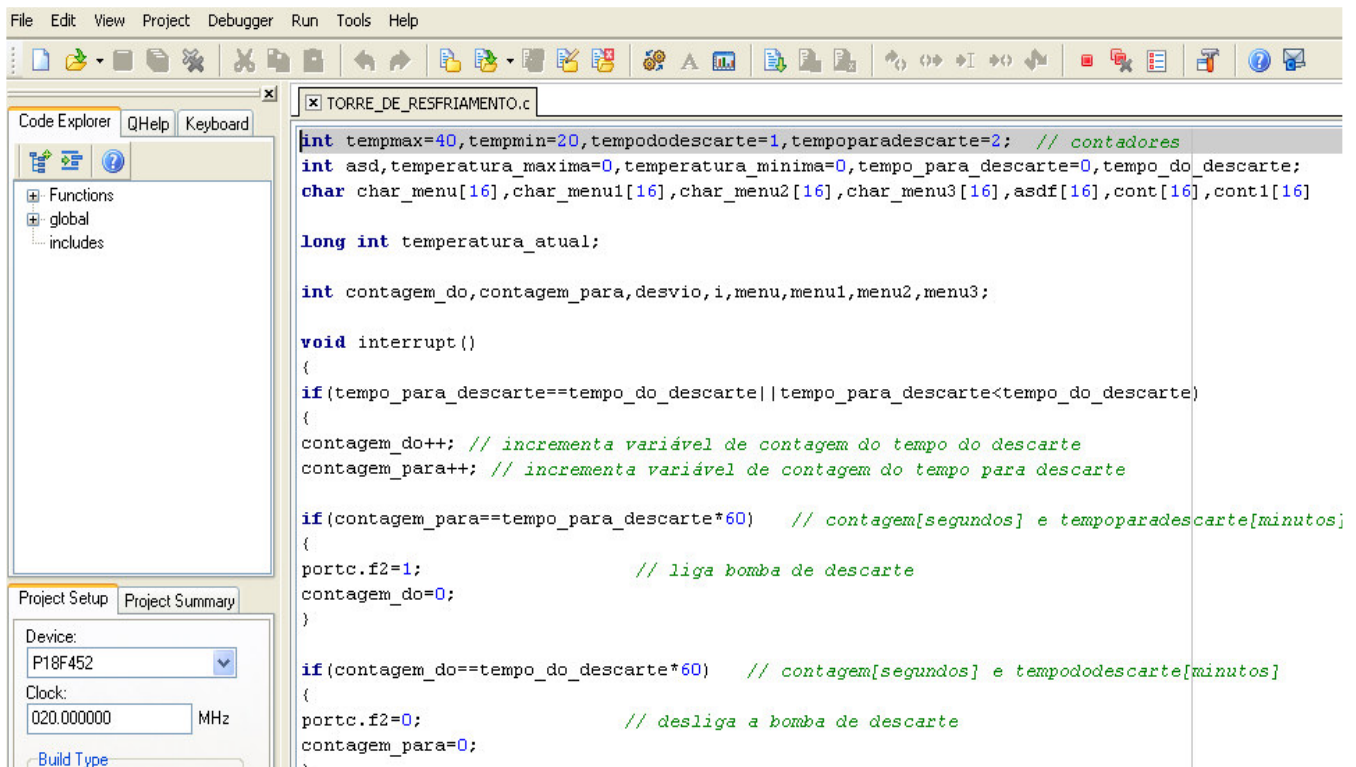


Figura 17. Janela de desenvolvimento do software de compilação de linguagem C para microcontroladores.

A tela inicial do software de gravação é mostrada na Figura 18.

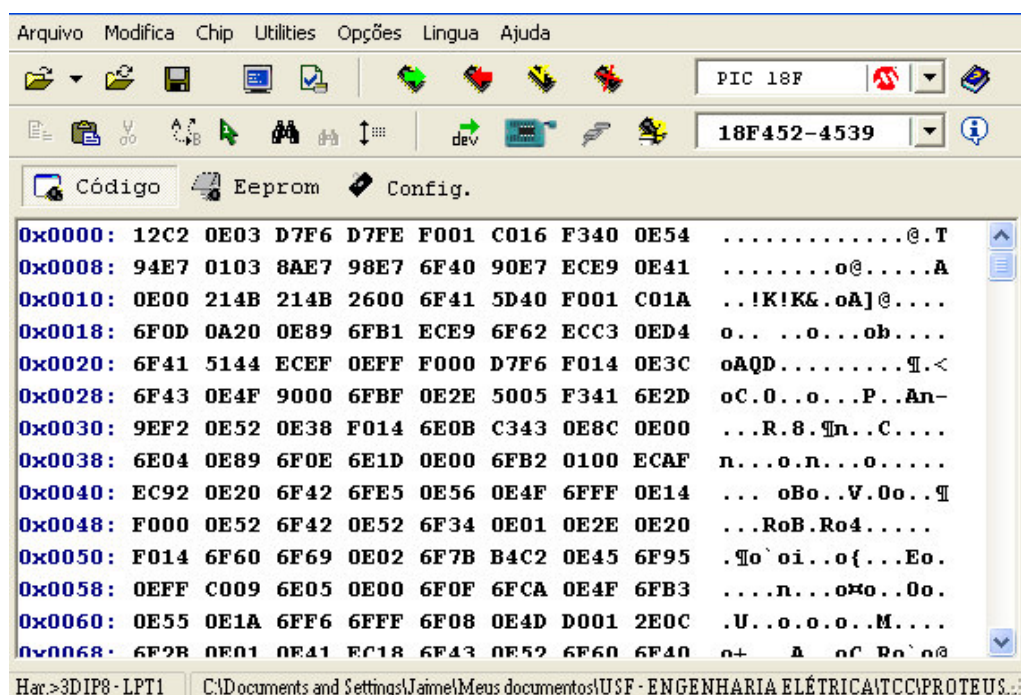


Figura 18. Tela inicial do software de gravação de microcontroladores.

Para a realização do programa, primeiramente foi desenvolvido um fluxograma com as atividades a serem executadas no projeto, dividido em duas partes. A primeira parte consiste no “*void main*”, que é o programa principal onde é realizado a aquisição do sinal e o acionamento do ventilador, além dos acessos do usuário ao menu. A segunda parte do fluxograma é referente ao “*void interrupt*”, que é a interrupção do *Timer 0*, responsável pelo controle do tempo de descarte da água.

A Figura 19 mostra o fluxograma principal (*void main*) e a Figura 20 o fluxograma interrupção (*void interrupt*), utilizados para a sequência do desenvolvimento do programa para o projeto.

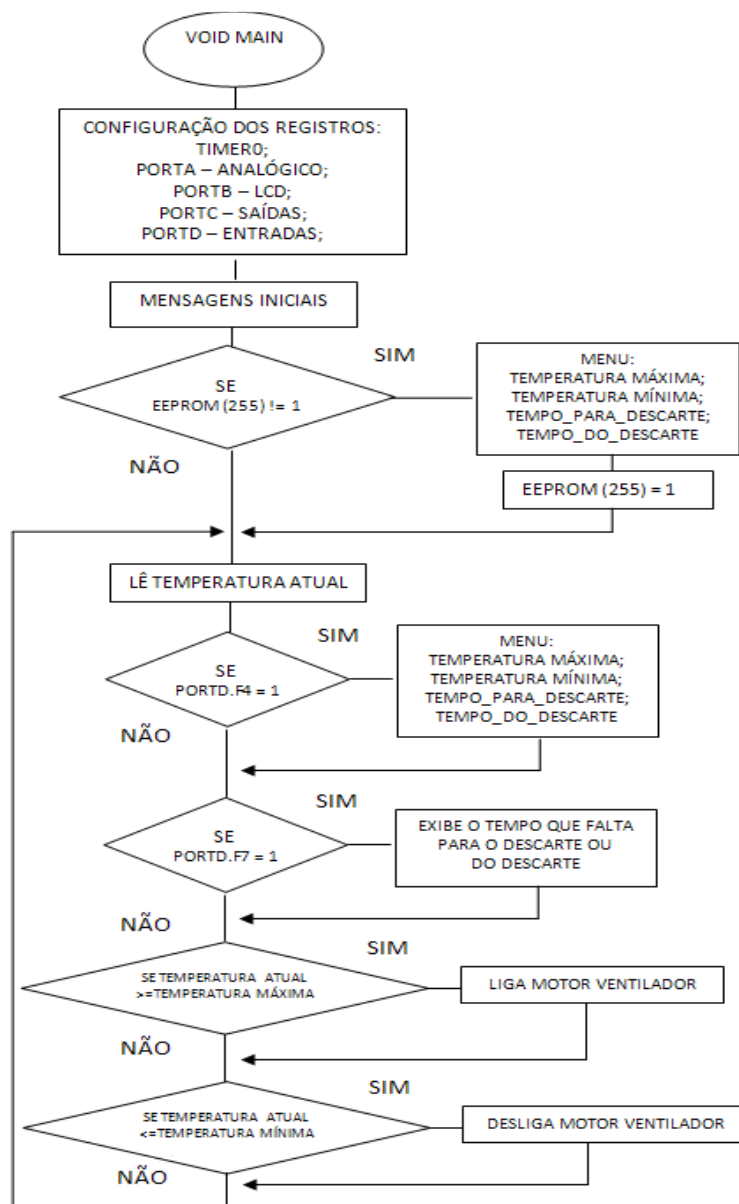


Figura 19. Fluxograma da programação do projeto, estrutura principal.

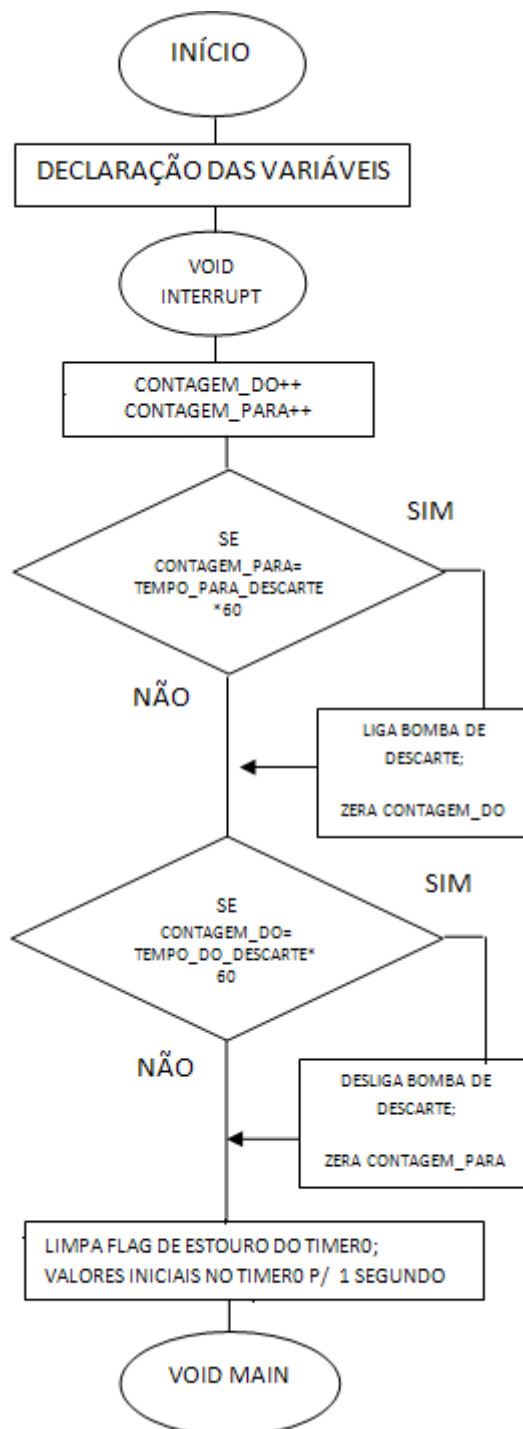


Figura 20. Fluxograma da programação do projeto, estrutura interrupção.

Para a programação do controle do tempo de descarte, foi utilizado o registro T0CON, responsável pela configuração do *Timer0*, composto de 8 bits. Os três primeiros bits (T0PS0, T0PS1, T0PS2) são responsáveis pela seleção do *prescaler*, variando de 1:2 à 1:256. O 4º bit (PSA)

é a seleção do *prescaler*, se será ou não utilizado. O 5º bit (T0SE) faz a seleção da borda de subida ou descida do clock. O 6º bit (T0CS) seleciona se o clock será por um pulso externo aplicado no pino T0CKI (RA4) ou utilizará um cristal interno. O modo de operação é definido pelo 7º bit (T08BIT), e configura se o *Timer0* será de 8 ou 16 bits (contagem de 0 – 255 ou 0 - 65535). O 8º bit (TMR0ON) é responsável pela ativação / desativação do *Timer0*.

No projeto, o registro T0CON ficou com a seguinte configuração:

TMR0ON	T08BIT	T0CS	T0SE	PSA	T0PS2	T0PS1	T0PS0
1	0	0	0	0	1	1	1

Em conjunto com o T0CON, existem dois registros que são responsáveis pela contagem do *Timer0*, chamados de TMR0L e TMR0H. O TMR0L é responsável pela contagem da parte baixa, sendo de 0 – 255, e o TMR0H é responsável pela contagem da parte alta, sendo de 0 – 65535. Se o *Timer0* estiver trabalhando em 8 bits, utiliza-se somente o TMR0L, enquanto que estiver em 16 bits utiliza o TMR0L e o TMR0H.

No projeto, a cada 1 segundo é gerado uma interrupção, incrementando as variáveis de contagem de tempo. Para que ocorra a interrupção a cada 1 segundo é utilizado a Equação 20 para a definição do ajuste dos registros.

$$tempo = ciclo_de_máquina.prescaler.(modo_8_ou_16_bits - valor_inicial) \quad \text{Equação 19}$$

onde,

tempo = Tempo em que irá demorar a ocorrer o estouro do *Timer0*.

$$ciclo_de_máquina = \frac{1}{Fosc/4} - Fosc = \text{Frequência Cristal Externo.}$$

Modo 8 ou 16 bits = Modo escolhido pelo registro T08BIT.

Para obtermos o valor de 1 segundo, precisamos encontrar o valor dos registros TMR0L e TMR0H e a definição do modo 8 / 16 bits, após escolhido os valores do *prescaler* e cristal, utilizando a Equação 20.

$$tempo = ciclo_de_máquina \cdot prescaler \cdot X$$

$$onde_X = (modo_8_ou_16_bits - valor_inicial)$$

$$1_segundo = \frac{1}{20M/4} \cdot 256 \cdot X$$

$$1 = 51,2\mu \cdot X \longrightarrow X = \frac{1}{51,2\mu} = 19531,25 \xrightarrow{\text{como}} X > 256 \xrightarrow{\text{Habilita-se}} (modo_16_bits = 65536)$$

$$X = (65536 - valor_inicial) = 19531,25 \rightarrow valor_inicial = 65536 - 19531,25 = 46006,75 \xrightarrow{HEX} B3B6h$$

Como o resultado da Equação 20 em hexadecimal é B3B6, devemos carregar os registros TMR0H e o TMR0L com os valores B3 e B6 respectivamente, para gerar a interrupção a cada 1 segundo.

O programa utilizado no microcontrolador é apresentado conforme Apêndice A.

3.3. SIMULAÇÃO EM KIT DE DESENVOLVIMENTO

Após a validação do projeto no software de simulação, foi utilizado um kit de desenvolvimento específico para microcontroladores PIC para a realização de testes com componentes reais. Esse kit de desenvolvimento utilizado possui o hardware compatível especificamente para o microcontrolador PIC 18F452. Nesse kit, as saídas são representadas por leds e relés, indicando o acionamento. Possui conexão com uma IHM (Interface Homem Máquina) para ser visualizado as mensagens e o monitoramento das condições atuais das entradas e saídas. Possui um gravador para o microcontrolador integrado na placa de desenvolvimento, facilitando a alteração do programa utilizado. As entradas analógicas podem ser representadas através de um potenciômetro ligado diretamente em uma entrada analógica do microcontrolador, podendo simular a variação da “temperatura” para o processamento digital desse sinal pelo microcontrolador.

A Figura 21 mostra a simulação no kit de desenvolvimento utilizado para o projeto do controlador de temperatura e descarte de água.

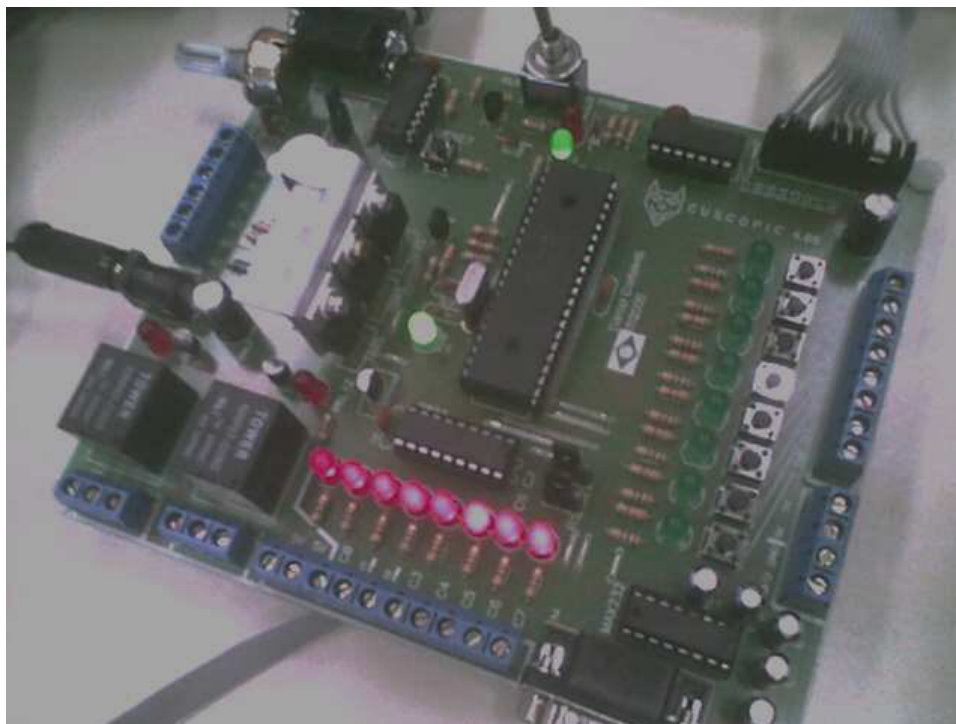


Figura 21. Kit de desenvolvimento específico para PIC utilizado para simulação do projeto.

3.4. LEVANTAMENTO DA CURVA DO TERMISTOR NTC

Para o levantamento da curva característica do termistor NTC foi montado o circuito de aquisição do sinal composto da Ponte de Wheatstone com o termistor NTC e resistores de precisão de 490Ω e um amplificador operacional LM358. Foi soldado um cabo de 5 metros no termistor NTC, que será utilizado na instalação do projeto na torre de resfriamento, a fim do valor de resistência do cabo não influenciar na resistência do NTC. Foi utilizado um aquecedor TERMOLYNE (0 – 350°C) Modelo: HPA1915B-13 e um béquer com água para o aquecimento. O circuito foi alimentado com uma fonte de tensão cc, utilizando a saída fixa de 5V (TTL). Foi imerso no béquer o termopar e o NTC e através de um multímetro foram lidos os valores de tensão produzidos na saída do amplificador operacional, de acordo com a variação da temperatura, lida em outro multímetro através de um termopar tipo K.

A Figura 22 mostra a montagem do experimento para o levantamento da curva do termistor NTC utilizado.

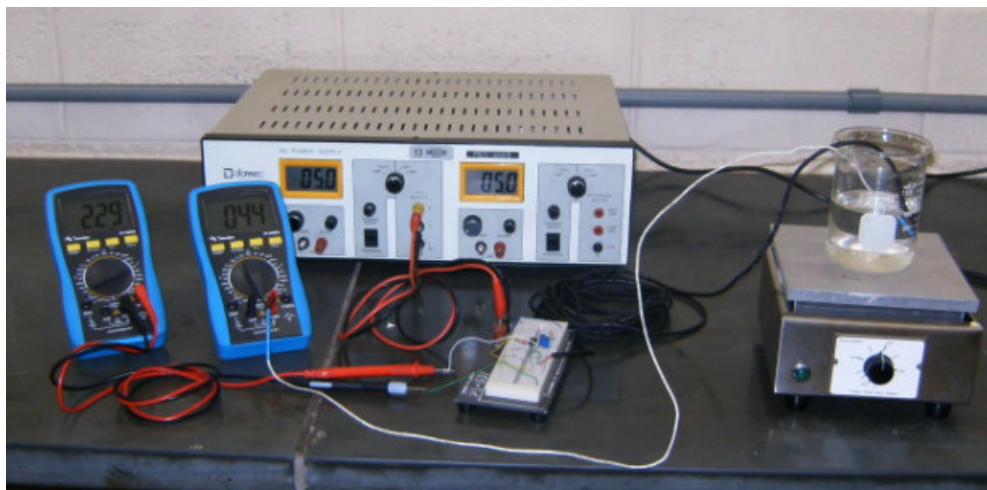


Figura 22. Experimento para levantamento da curva do termistor NTC.

A cada variação da temperatura foi anotado o valor correspondente da saída do amplificador e gerado a Tabela 2 com esses valores.

Tabela 2. Tabela dos valores de tensão e temperatura do experimento da curva NTC.

VOUT	°C
0,97	23
1,10	25
1,30	30
1,65	35
1,90	40
2,35	45

Com os dados de tensão de saída e temperatura adquiridos da Tabela 2, foi plotada a curva de resposta do termistor NTC e obtido a linha de tendência linear, conforme mostra a Figura 23.

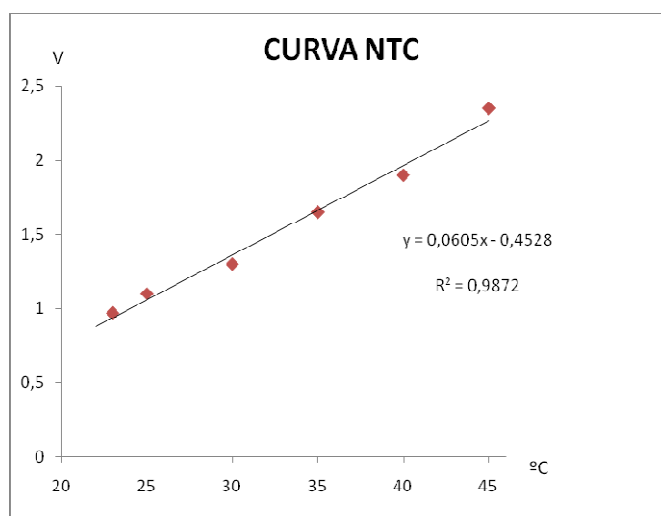


Figura 23. Curva de resposta do termistor NTC.

A Equação 20 representa a resposta do circuito de aquisição do sinal, de acordo com a linha de tendência obtida pelo gráfico, com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,9872$.

$$y = 0,0605 \cdot x - 0,4528 \quad \text{Equação 20}$$

onde:

y = tensão de saída do amplificador operacional (em volts)

x = valor da temperatura (em °C)

Para a utilização no projeto do controlador de temperatura, foi utilizada a Equação 20 na programação, onde podemos realizar o processamento digital do sinal enviado na entrada analógica do microcontrolador. Porém, como a variável de entrada no microcontrolador é a tensão (v), devemos deixar a Equação 20 em função da tensão (y). A Equação 21 mostra o valor de saída em função da tensão de entrada.

$$y = 0,0605 \cdot x - 0,4528 \longrightarrow 0,0605 \cdot x = y + 0,4528 \longrightarrow x = \frac{y + 0,4528}{0,0605} = 16,5289 \cdot y + 7,484 \quad \text{Equação 21}$$

Com o sinal analógico na entrada do microcontrolador, é feito uma conversão AD e esse valor correspondente é utilizado na programação. Como o Conversor AD do microcontrolador PIC 18F452 é de 10 bits, sua resolução é dada pela Equação 22:

$$Re\ solução = \frac{V_{ref}}{2^n - 1} = \frac{5}{2^{10} - 1} = 4,88mV \quad \text{Equação 22}$$

Para trabalharmos com os valores de tensão na programação, devemos multiplicar o valor convertido digitalmente pela resolução. A Equação 23 mostra a equação utilizada no programa.

$$x = 16,5289 \cdot y \cdot Re\ solução + 7,484 = 16,5289 \cdot y \cdot 4,888m + 7,484 \quad \text{Equação 23}$$

3.5. ROTEAMENTO E MONTAGEM DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO

Para o roteamento da placa de circuito impresso foi utilizado o mesmo software da simulação, pois possui um ambiente para roteamento com base nos componentes utilizados pela simulação da Figura 16. O real esquemático da placa utilizada é mostrado conforme Figura 24.

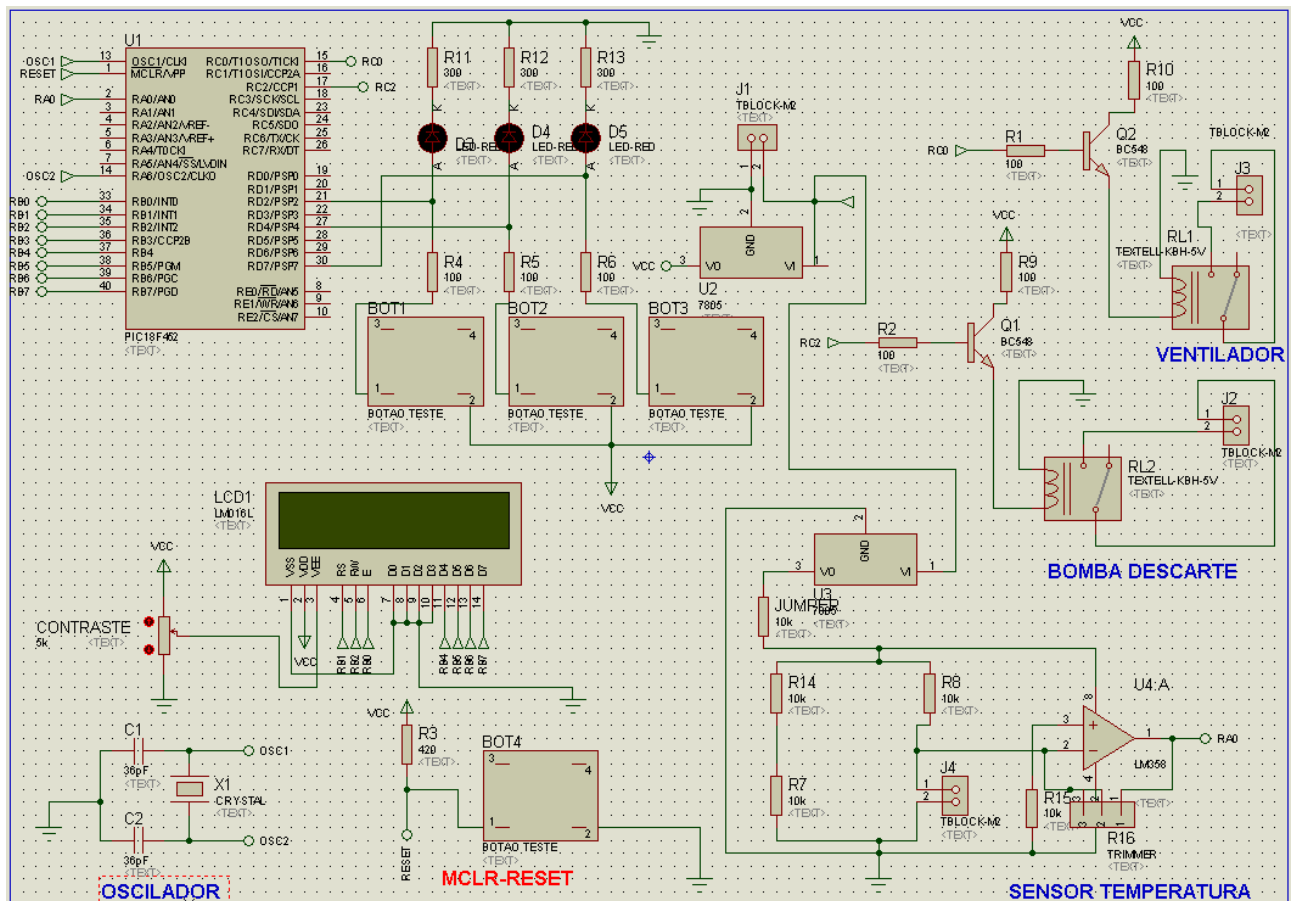


Figura 24. Real esquemático utilizado para a placa de controle.

A Figura 25 mostra a janela de desenvolvimento do ambiente de layout para a placa de circuito impresso utilizada no projeto de controle de temperatura e descarte de água.

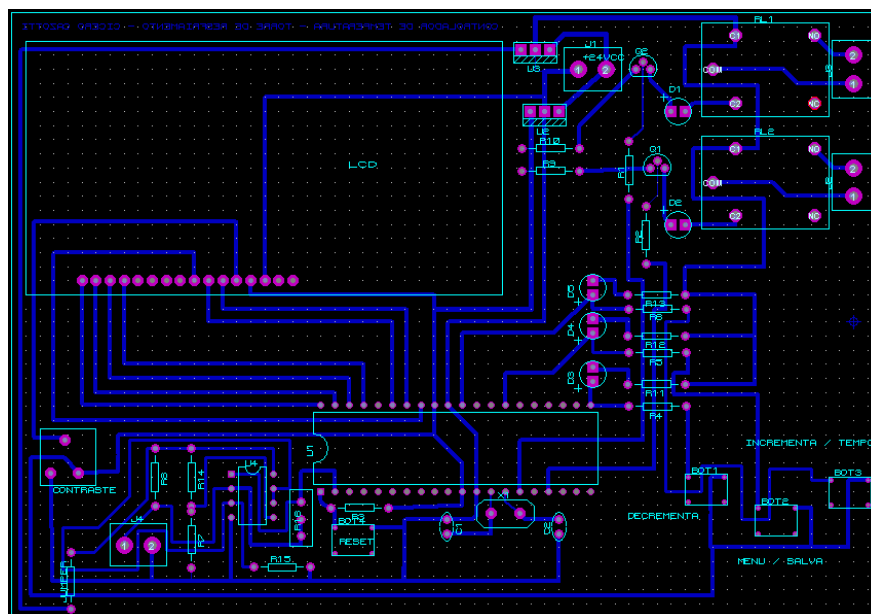


Figura 25. Desenvolvimento do roteamento da placa de circuito impresso do projeto.

Após roteado o circuito do projeto, esse arquivo foi impresso em papel fotográfico *gloss paper* e transferido para uma placa de cobre através do aquecimento por um ferro elétrico. Depois de transferido o circuito para a placa de cobre, ela foi imersa em uma bacia com percloreto de ferro para a corrosão. Após a corrosão da placa, foi feito a montagem e solda dos componentes.

A Figura 26 mostra a placa montada utilizada no projeto.

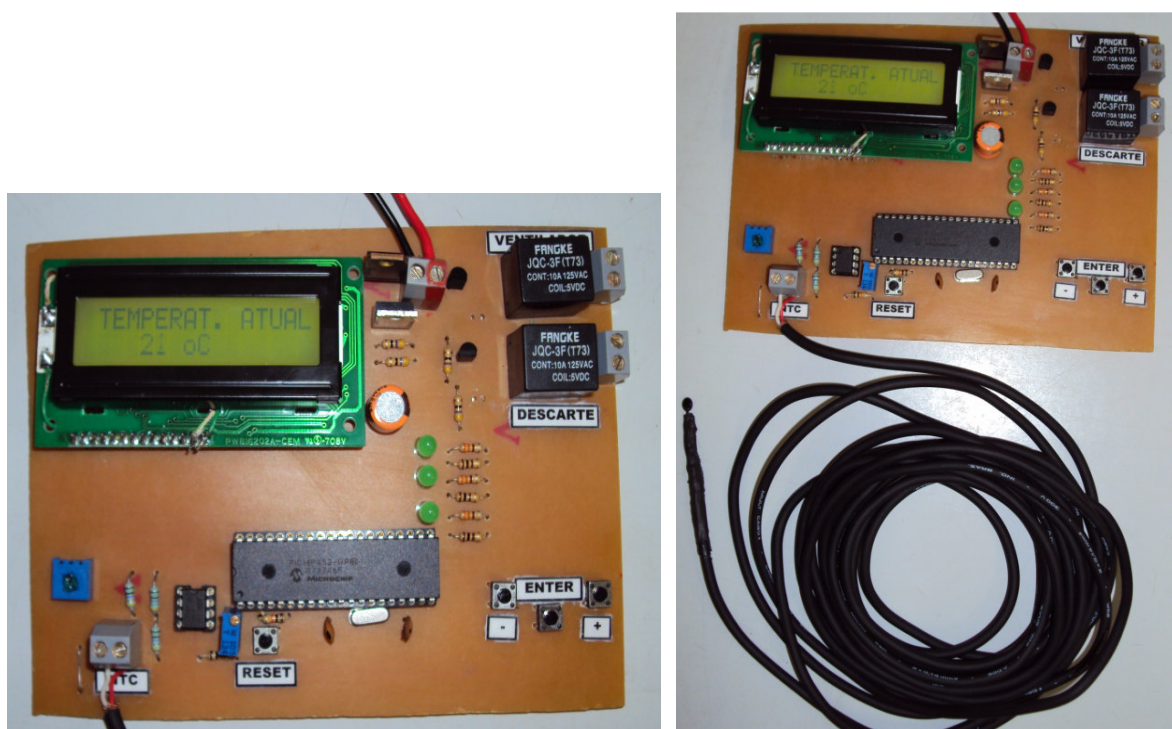


Figura 26. Placa final do controlador de temperatura e descarte de água.

3.6. INSTALAÇÃO DA PLACA DE CONTROLE

Para a instalação da placa de controle na torre de resfriamento, foi retirada a alimentação das bobinas dos contatores responsáveis pelo acionamento do motor do ventilador e da bomba de descarte, que anteriormente eram ligados diretamente quando acionava uma chave frontal ao painel, e ligados no relé eletrônico da placa de controle para serem acionados conforme a execução do programa. A alimentação da placa de controle foi feita através de uma fonte de tensão 12VCC. Através de um furo na lateral da estrutura, foi imerso o termistor NTC diretamente na bacia de água da torre de resfriamento.

A Figura 27 (a) mostra a instalação da placa de controle no painel elétrico da torre de resfriamento e a (b) o detalhe do cabo do termistor NTC na bacia da torre de resfriamento.

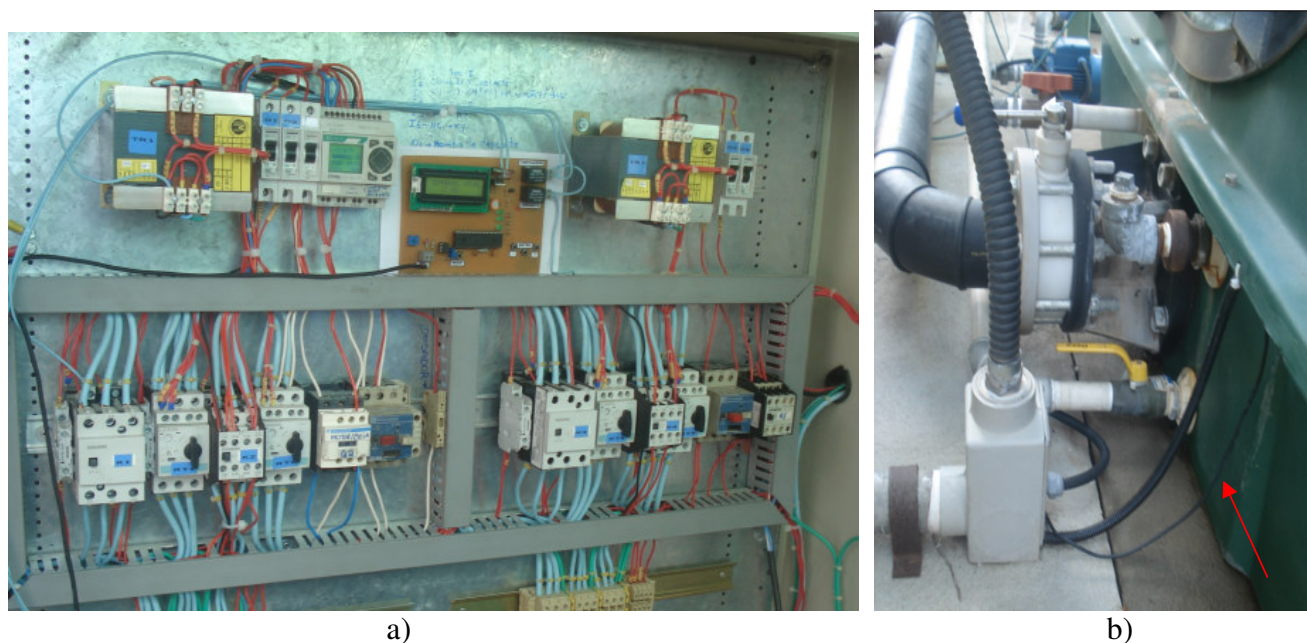


Figura 27. Instalação da placa de controle: (a) Painel elétrico da torre de resfriamento. (b) Detalhe do termistor NTC.

Após a instalação da placa de controle no painel elétrico da torre de resfriamento, foram feitos testes para verificar o funcionamento da atuação dos relés da placa de controle acionando os contatores responsáveis pela alimentação dos motores do ventilador e da bomba de descarte. Os testes foram validados com o acionamento dos atuadores, de acordo com os valores definidos pelo usuário através do menu.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho de conclusão de curso demonstra uma aplicação de controle de temperatura e temporização, utilizando um microcontrolador PIC 18F452. Possui uma aplicação industrial no processo de refrigeração de água utilizada em trocadores de calor, podendo também ser utilizada para fins educacionais, demonstrando uma aplicação de controle.

Foi desenvolvido um programa em Linguagem “C”, utilizando um software específico para microcontroladores PIC, e utilizado um software de simulação a fim de realizar testes funcionais durante a fase de desenvolvimento.

Uma placa de circuito impresso foi projetada com base na simulação e montada a placa de controle com os componentes dimensionados. Como elemento sensor de temperatura foi utilizado um termistor NTC, devido sua faixa de linearidade nas temperaturas utilizadas na aplicação do projeto. Uma curva de temperatura foi levantada experimentalmente para a determinação da resposta do circuito de aquisição do sinal analógico, utilizando a configuração da Ponte de Wheatstone e um Amplificador de Instrumentação.

Durante o trabalho foram encontradas algumas dificuldades, principalmente na montagem da placa de controle devido ao não conhecimento aprofundado na implementação do *hardware*, como ruídos no sinal de alimentação, sendo corrigido por capacitor em paralelo com o regulador de tensão. No levantamento da curva do termistor NTC, por utilizar um amplificador operacional (LM358) alimentado com 5V, o máximo na saída desse componente é 3,7V, limitando a aplicação desse projeto em aplicações de aproximadamente 68,5 °C, de acordo com a Equação 23. Porém, esse fato não interfere na aplicação desse projeto, uma vez que a temperatura máxima da água utilizada no sistema de resfriamento industrial não chega a esse valor.

Através de testes funcionais, obteve-se o resultado esperado do projeto controlador, podendo ser validado e implementado na prática através da torre de resfriamento.

O controle de temperatura e descarte de água proposto neste trabalho de conclusão de curso possui uma importante utilidade industrial, visando os benefícios como a redução do consumo de energia com a diminuição do tempo do motor do ventilador responsável pelo resfriamento ficar acionado. O baixo custo de investimento desse projeto também é um fator que o torna atrativo, comparado com controladores existentes no mercado.

A facilidade para alterações dos parâmetros a serem definidos pelo usuário é um item que deve ser levado em consideração devido às constantes mudanças impostas pela empresa responsável pelo tratamento, devido às variações das condições analisadas na água da torre de resfriamento.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DOSSAT, R. J. **Princípios de Refrigeração**. 1.ed. São Paulo: Hemus, 2004.
- [2] STOECKER, W. F.; JABARDO, M. S. **Refrigeração Industrial**. 2.ed. São Paulo: Blucher, 2002.
- [3] STOECKER, W.F.; JONES, J.W. **Refrigeração e Ar Condicionado**. 1.ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.
- [4] RIBEIRO, Assis. Notas de aula: Instrumentação Eletrônica. Universidade São Francisco, 2007.
- [5] ZANCO, W. S. **Microcontroladores PIC®: Técnicas de Software e Hardware para Projetos de Circuitos Eletrônicos**. 1.ed. São Paulo: Érica, 2006.
- [6] PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC: Programação em C**. 7.ed. São Paulo: Érica, 2007.
- [7] ARRUDA, Maurício. **Apostila Curso Básico Microcontrolador PIC-18F452** – Uptex Tecnologia, 2009.
- [8] SEDRA, A. S.; SMITH, K. C. **Microeletrônica**. 4.d. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2000.
- [9] Retirado Via URL:
W. BRAGA; J. MILLION - Trocadores de Calor - Universidade de Caxias do Sul .
Disponível em: <<http://www.ucs.br/ccet/demc/craltafi/TrocadoresdeCalor.pdf>>
Acesso em: 25 de outubro 2009.
- [10] Retirado Via URL:
ALMATHI COMERCIAL - Trocadores de Calor a Placas.
Disponível em: <http://www.almathi.com.br/trocador%20base_line.html>
Acesso em: 25 de outubro de 2009.
- [11] Retirado Via URL:
Datasheet do componente Microcontrolador PIC 18F452.
Disponível em: <<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010296>>
Acesso em: 10 de setembro de 2009.
- [12] Retirado Via URL:
Datasheet do componente Amplificador Operacional LM 358.
Disponível em: <http://www.datasheetcatalog.net/pt/datasheets_pdf/L/M/3/5/LM358.shtml>
Acesso em: 22 de setembro de 2009.

APÊNDICE A – SOFTWARE DO MICROCONTROLADOR

```
int tempmax=40,tempmin=20,tempododescarte=1,tempoparadescarte=2; // contadores
int temperatura_maxima=0,temperatura_minima=0,tempo_para_descarte=0,tempo_do_descarte;
char char_menu[16],char_menu1[16],char_menu2[16],char_menu3[16],asdf[16],cont[16],
cont1[16], cont2[16],cont3[16],tmax[3], tmin[3], tpdesc[3], tddesc[3], tempatual[16];//inttostr

long int temperatura_atual;

int contagem_do,contagem_para,desvio,i,menu,menu1,menu2,menu3;

void interrupt()
{
if(tempo_para_descarte==tempo_do_descarte||tempo_para_descarte<tempo_do_descarte)
{
contagem_do++; // incrementa variável de contagem do tempo do descarte
contagem_para++; // incrementa variável de contagem do tempo para descarte

if(contagem_para==tempo_para_descarte*60) //contagem[segundos] e tempoparadescarte[minutos]
{
portc.f2=1;    // liga bomba de descarte
contagem_do=0;
}

if(contagem_do==tempo_do_descarte*60) //contagem[segundos] e tempododescarte[minutos]
{
portc.f2=0;    // desliga a bomba de descarte
contagem_para=0;
}
}
else if(desvio==1) // TEMPO DO DESCARTE MAIOR QUE TEMPO PARA DESCARTE
{
contagem_para++;

if(contagem_para==tempo_para_descarte*60) //contagem[segundos] e tempoparadescarte[minutos]
{
portc.f2=1;    // liga bomda de descarte
contagem_do=0;
desvio=2;
}}
else
{
contagem_do++; // incrementa variável de contagem do tempo do descarte
contagem_para++; // incrementa variável de contagem do tempo para descarte

if(contagem_para==tempo_para_descarte*60) //contagem[segundos] e tempoparadescarte[minutos]
{
portc.f2=1; // liga bomda de descarte
```

```

contagem_do=0;
}

if(contagem_do==tempo_do_descarte*60) // ontagem[segundos] e tempododescarte[minutos]
{
portc.f2=0; // desliga bomda de descarte
contagem_para=0;
}}
tmr0l=0xB6;
tmr0h=0xB3;
intcon=0x20; // Seta T0IE, e limpa a flag do estouro do TMR0 = T0IF
}

void main()    // INÍCIO
{
t0con=0b10000111; // habilita contagem do TMR0, configura para 16 bits e prescaler 256

tmr0l=0xB6;    // valores iniciais para o tempo de 1 segundo
tmr0h=0xB3;

intcon=0xA0; // Habilita chave geral para estouro do TMR0

trisc=0;    // portc = saída (acionamento dos motores e bombas);
trisd=255;    // portd = entrada (botões para seleção do descarte e reposição);
trisb=0;    // portb = saída (configuração do LCD);
trisa.f0=1;    // RAO como entrada Analógica;
adcon1=0b00001110; // configura RA0 (PT100) como entrada analógica e
    // demais pinos como I/O digital;
portd=0;
portc=0;    // coloca todo portc e portd em nível lógico baixo;

lcd_config(&portb,1,0,2,7,6,5,4); // configurações para o LCD - 4 bits dados (b.7,b.6,b.5,b.4);
lcd_cmd(lcd_cursor_off);    // comando para desligar o cursor;

for(i=0;i<=10;i++)
{
lcd_cmd(lcd_shift_left);
lcd_out(1,6, "MAGNETI MARELLI"); // função para mover o texto na tela
lcd_out(2,4, "SISTEMAS AUTOMOTIVOS");
delay_ms(400);
}
lcd_cmd(lcd_clear);

lcd_out(1,2, "CONTROLADOR DE");
lcd_out(2,4, "TEMPERATURA");
delay_ms(2000);
lcd_cmd(lcd_clear);

lcd_out(1,5, "TORRE DE");

```

```

lcd_out(2,3, "RESFRIAMENTO");
delay_ms(2000);
lcd_cmd(lcd_clear);

if(eeprom_read(255)!=1) //Obrigatório entrar com os parâmetros após a gravação
{
lcd_out(1,3, "ENTRE COM OS");
lcd_out(2,4, "PARAMETROS:");
delay_ms(2000);
lcd_cmd(lcd_clear);

while(temperatura_maxima!=tempmax) // executa o laço até portd.f2=1;
{
delay_ms(100);

lcd_out(1,1, "TEMPERATURA MAX.");
lcd_out(2,6, " oC");

if (button(&portd,7,20,1))
{
delay_ms(100);          // portd.f0 incrementa contador tempmax;
tempmax++;
}
if(button(&portd,2,20,1))
{
delay_ms(100);          // portd.f1 decrementa contador tempmax;
tempmax--;
}
inttostr(tempmax,tmax);
lcd_out(2,2,tmax);

if(button(&portd,4,20,1))
{
lcd_cmd(lcd_clear);
lcd_out(1,1,"SALVANDO..... "); // portd.f2 guarda valor da temperatura_máxima
temperatura_maxima=tempmax;    // igualando com o contador e sai do laço;
eeprom_write(0,temperatura_maxima);
delay_ms(1000);
lcd_cmd(lcd_clear);
}}

while(temperatura_minima!=tempmin) // executa o laço até portd.f2=1;
{
lcd_out(1,1, "TEMPERATURA MIN.");
lcd_out(2,6, " oC");

if (button(&portd,7,20,1))
{

```



```

delay_ms(100);          // portd.f0 incrementa contador tempmin;
tempmin++;
}
if(button(&portd,2,20,1))
{
delay_ms(100);          // portd.f1 decrementa contador tempmin;
tempmin--;
}
inttostr(tempmin,tmin);
lcd_out(2,2,tmin);

if(button(&portd,4,20,1))
{
lcd_cmd(lcd_clear);
lcd_out(1,1,"SALVANDO..... "); // portd.f2 guarda valor da temperatura_mínima
temperatura_minima=tempmin;      // igualando com o contador e sai do laço;
eeprom_write(1,temperatura_minima);
delay_ms(1000);
lcd_cmd(lcd_clear);
}}
while(tempo_para_descarte!=tempoparadescarte)
{
lcd_out(1,1, "TEMPO P/DESCARTE");    // executa o laço até portd.f2=1;
lcd_out(2,6, "  MINUTOS");

if (button(&portd,7,20,1))
{
delay_ms(100);          // portd.f0 incrementa contador tempoparadescarte;
tempoparadescarte++;
}
if(button(&portd,2,20,1))
{
delay_ms(100);          // portd.f1 decrementa contador tempoparadescarte;
tempoparadescarte--;
}
inttostr(tempoparadescarte,tpdesc);
lcd_out(2,2,tpdesc);

if(button(&portd,4,20,1))
{
if(tempoparadescarte>0)
{
lcd_cmd(lcd_clear);
lcd_out(1,1,"SALVANDO..... "); // portd.f2 guarda valor do tempo_para_descarte
tempo_para_descarte=tempoparadescarte;// igualando com o contador e sai do laço;
eeprom_write(2,tempo_para_descarte);
delay_ms(1000);
lcd_cmd(lcd_clear);
}
}

```

```

else
{
  lcd_cmd(lcd_clear);
  lcd_out(1,6,"VALOR");
  lcd_out(2,2,"NAO PERMITIDO");
  delay_ms(1000);
}}}

while(tempo_do_descarte!=tempododescarte)
{
  lcd_out(1,1, "TEMPO DODESCARTE"); // executa o laço até portd.f2=1;
  lcd_out(2,6, "  MINUTOS");

  if (button(&portd,7,20,1))
  {
    delay_ms(100);          // portd.f0 incrementa contador tempododescarte;
    tempododescarte++;
  }
  if(button(&portd,2,20,1))
  {
    delay_ms(100);          // portd.f1 decrementa contador tempododescarte;
    tempododescarte--;
  }
  inttostr(tempododescarte,tddesc);
  lcd_out(2,2,tddesc);

  if(button(&portd,4,20,1))
  {
    if(tempododescarte>0)
    {
      lcd_cmd(lcd_clear);
      lcd_out(1,1,"SALVANDO..... "); // portd.f2 guarda valor do tempo_para_descarte
      tempo_do_descarte=tempododescarte; // igualando com o contador e sai do laço;
      eeprom_write(3,tempo_do_descarte);
      delay_ms(1000);
      lcd_cmd(lcd_clear);
    }
    else
    {
      lcd_cmd(lcd_clear);
      lcd_out(1,6,"VALOR");
      lcd_out(2,2,"NAO PERMITIDO");
      delay_ms(1000);
    }
  }
  if(tempoparadescarte>tempododescarte)
  {
    // para entrar no else do void interrupt
    desvio=1;          // caso tempo para descarte seja maior
  }
  portc=0;

```

```

contagem_para=0;    // zera os contadores de tempo
contagem_do=0;      // após entrar com os parâmetros

eeprom_write(255,1); // para executar somente na 1ª vez após ser gravado
}                  // FIM DO IF INICIAL

if(eeprom_read(2)>eeprom_read(3)) // para entrar no else do void interrupt
{
    // caso tempo para descarte seja maior
    desvio=1;          // UTILIZADO QUANDO "ACABA ENERGIA" [RESET]
}
contagem_do=0; // Inicializa variável contagem do descarte
contagem_para=0; // Inicializa variável contagem para descarte

do
{
    delay_ms(100);
    temperatura_atual=adc_read(0); // faz a leitura do Termistor NTC na RA0;

    temperatura_atual=(16.5289*temperatura_atual*0.004887)+7.484; //EQUAÇÃO 23-CURVA NTC

    if(button(&portd,4,20,1)) // entra no MENU
    {
        lcd_cmd(lcd_clear);
        lcd_out(1,3, "ENTRE COM OS");
        lcd_out(2,4, "PARAMETROS:");
        delay_ms(2000);
        lcd_cmd(lcd_clear);

        temperatura_maxima=1000; // = 1000 (para ser um valor diferente dos
        tempmax=eeprom_read(0); // contadores e forçar entrar no MENU)
        temperatura_minima=1000;
        tempmin=eeprom_read(1); // = 40,20,2,1 = valores DEFAULT para o MENU 1ª vez
        tempo_para_descarte=1000; // após, exibe o último valor gravado na eeprom
        tempoparadescarte=eeprom_read(2);
        tempo_do_descarte=1000;
        tempododescarte=eeprom_read(3);

        menu=menu1=menu2=menu3=0;

        while(temperatura_maxima!=tempmax) // executa o laço até portd.f2=1;
        {
            delay_ms(100);

            lcd_out(1,1, "TEMPERATURA MAX.");
            lcd_out(2,6, " °C");

            menu++;
            //inttostr(menu,char_menu);

```

```

//lcd_out(1,1,char_menu);

if(menu>=250)          // para não ficar "preso" no MENU
                        // 250 = 30 segundos
{
temperatura_maxima=tempmax;
}

if (button(&portd,7,20,1))
{
delay_ms(100);        // portd.f0 incrementa contador tempmax;
tempmax++;
menu=0;   // para quando usuário estiver alterando os valores, não sai do MENU
}          // senão teria apenas 30 segundos para alterar os valores.
if(button(&portd,2,20,1))
{
delay_ms(100);   // portd.f1 decrementa contador tempmax;
tempmax--;
menu=0;   // para quando usuário estiver alterando os valores, não sai do MENU
}
inttostr(tempmax,tmax);
lcd_out(2,2,tmax);

if(button(&portd,4,200,1)) // para não SALVAR quando entrar no MENU (mesmo portc.f2)
{
lcd_cmd(lcd_clear);
lcd_out(1,1,"SALVANDO..... "); // portd.f2 guarda valor da temperatura_máxima igualando com o
contador
temperatura_maxima=tempmax;    // e sai do laço;
eeprom_write(0,temperatura_maxima);
delay_ms(1000);
lcd_cmd(lcd_clear);
menu1=0;
}}
while(temperatura_minima!=tempmin) // executa o laço até portd.f2=1;
{
lcd_out(1,1, "TEMPERATURA MIN.");
lcd_out(2,6, "  oC");

menu1++;
//inttostr(menu1,char_menu1);   // para não ficar "preso" no MENU
//lcd_out(1,1,char_menu1);

if(menu1>=1500)          // 1500 = 30 segundos
{
temperatura_minima=tempmin;
}

if (button(&portd,7,20,1))

```

```

{
delay_ms(100);          // portd.f0 incrementa contador tempmin;
tempmin++;
menu1=0; // para quando usuário estiver alterando os valores, não sai do MENU
}
if(button(&portd,2,20,1))
{
delay_ms(100);          // portd.f1 decrementa contador tempmin;
tempmin--;
menu1=0; // para quando usuário estiver alterando os valores, não sai do MENU
}
inttostr(tempmin,tmin);
lcd_out(2,2,tmin);

if(button(&portd,4,20,1))
{
lcd_cmd(lcd_clear);
lcd_out(1,1,"SALVANDO..... "); // portd.f2 guarda valor da temperatura_mínima igualando com o
contador
temperatura_minima=tempmin; // e sai do laço;
eeprom_write(1,temperatura_minima);
delay_ms(1000);
lcd_cmd(lcd_clear);
menu2=0;
}}

while(tempo_para_descarte!=tempoparadescarte)
{
lcd_out(1,1, "TEMPO P/DESCARTE"); // executa o laço até portd.f2=1;
lcd_out(2,6, " MINUTOS");

menu2++;
//inttostr(menu2,char_menu2);
//lcd_out(1,1,char_menu2); // para não ficar "preso" no MENU

if(menu2>=1500) // 1500 = 30 segundos
{
tempo_para_descarte=tempoparadescarte;
}

if (button(&portd,7,20,1))
{
delay_ms(100); // portd.f0 incrementa contador tempoparadescarte;
tempoparadescarte++;
menu2=0; // para quando usuário estiver alterando os valores, não sai do MENU
}
if(button(&portd,2,20,1))
{
delay_ms(100); // portd.f1 decrementa contador tempoparadescarte;

```

```

tempoparadescarte--;
menu2=0; // para quando usuário estiver alterando os valores, não sai do MENU
}
inttostr(tempoparadescarte,tpdesc);
lcd_out(2,2,tpdesc);

if(button(&portd,4,20,1))
{
if(tempoparadescarte>0)
{
lcd_cmd(lcd_clear);
lcd_out(1,1,"SALVANDO..... "); // portd.f2 guarda valor do tempo_para_descarte igualando com
o contador
tempo_para_descarte=tempoparadescarte;// e sai do laço;
eeprom_write(2,tempo_para_descarte);
delay_ms(1000);
lcd_cmd(lcd_clear);
menu3=0;
}
else
{
lcd_cmd(lcd_clear);
lcd_out(1,6,"VALOR");
lcd_out(2,2,"NAO PERMITIDO");
delay_ms(1000);
}}}
while(tempo_do_descarte!=tempododescarte)
{
lcd_out(1,1, "TEMPO DODESCARTE"); // executa o laço até portd.f2=1;
lcd_out(2,6, "  MINUTOS");

menu3++;
//inttostr(menu3,char_menu3);
//lcd_out(1,1,char_menu3); // para não ficar "preso" no MENU

if(menu3>=1500) // 1500 = 30 segundos
{
tempo_do_descarte=tempododescarte;
}

if (button(&portd,7,20,1))
{
delay_ms(100); // portd.f0 incrementa contador tempododescarte;
tempododescarte++;
menu3=0; // para quando usuário estiver alterando os valores, não sai do MENU
}
if(button(&portd,2,20,1))
{
delay_ms(100); // portd.f1 decrementa contador tempododescarte;

```

```

tempododescarte--;
menu3=0;
}
inttostr(tempododescarte,tddesc);
lcd_out(2,2,tddesc);

if(button(&portd,4,20,1))
{
if(tempododescarte>0)
{
lcd_cmd(lcd_clear);
lcd_out(1,1,"SALVANDO..... "); // portd.f2 guarda valor do tempo_para_descarte igualando com
o contador
tempo_do_descarte=tempododescarte;// e sai do laço;
eeprom_write(3,tempo_do_descarte);
delay_ms(1000);
lcd_cmd(lcd_clear);
menu=0;          // para zerar o contador do próximo MENU que entrar
}
else
{
lcd_cmd(lcd_clear);
lcd_out(1,6,"VALOR");
lcd_out(2,2,"NAO PERMITIDO");
delay_ms(1000);
}}

if(tempoparadescarte>tempododescarte)
{
// para entrar no else do void interrupt
desvio=1;          // caso tempo para descarte seja maior
}
temperatura_atual=adc_read(0); // V E R I F I C A R
portc.f2=0;        // desliga o descarte caso estivesse ligado na hora da entrada no MENU
contagem_para=0;    // zera os contadores de tempo
contagem_do=0;      // após entrar com os parâmetros
//menu=0;
} // FIM DO MENU
tempo_para_descarte=eeprom_read(2);
tempo_do_descarte=eeprom_read(3);

lcd_cmd(lcd_clear);
inttostr(temperatura_atual,tempatual);
lcd_out(1,2,"TEMPERAT. ATUAL");
lcd_out(2,1, tempatual);
lcd_out(2,8,"oC");

inttostr(contagem_do,cont1);    // monitoramento tempo do descarte
//lcd_out(1,10,cont1);
inttostr(contagem_para,cont);  // monitoramento tempo para descarte

```

```

//lcd_out(2,10,cont);
inttostr(eeprom_read(2)*60,cont2); // seleção do tempo para descarte
//lcd_out(2,10,cont3);
inttostr(eeprom_read(3)*60,cont3); // seleção do tempo do descarte
//lcd_out(2,10,cont3);

if(temperatura_atual>=eeprom_read(0)) //temperatura_maxima
{
portc.f0=1; // portc.f0 = 1
} // motor do ventilador ligado;
if(temperatura_atual<=eeprom_read(1)) //temperatura_minima
{
portc.f0=0; // portc.f0 = 0 motor do ventilador DESligado;
}
if (button(&portd,7,20,1))
{
if(portc.f2==0) // bomba de descarte DESLIGADA mostra
{ // tempo PARA o descarte
lcd_cmd(lcd_clear);
lcd_out(1,3,"TEMPO PARA O");
lcd_out(2,5,"DESCARTE");
delay_ms(2000);
lcd_cmd(lcd_clear);
lcd_out(1,1,"ATUAL");
lcd_out(1,11,cont);
lcd_out(2,1,"PROGRAMADO");
lcd_out(2,11,cont2);
delay_ms(2500);
}
else // bomba de descarte LIGADA mostra
{ // tempo DO descarte
lcd_cmd(lcd_clear);
lcd_out(1,5,"TEMPO DO");
lcd_out(2,5,"DESCARTE");
delay_ms(2000);
lcd_cmd(lcd_clear);
lcd_out(1,1,"ATUAL");
lcd_out(1,11,cont1);
lcd_out(2,1,"PROGRAMADO");
lcd_out(2,11,cont3);
delay_ms(2500);
}}}
while(1); }

```

Figura 28. Software utilizado no microcontrolador.

ANEXO I –ESTRUTURA INTERNA DO MICROCONTROLADOR PIC 18F452

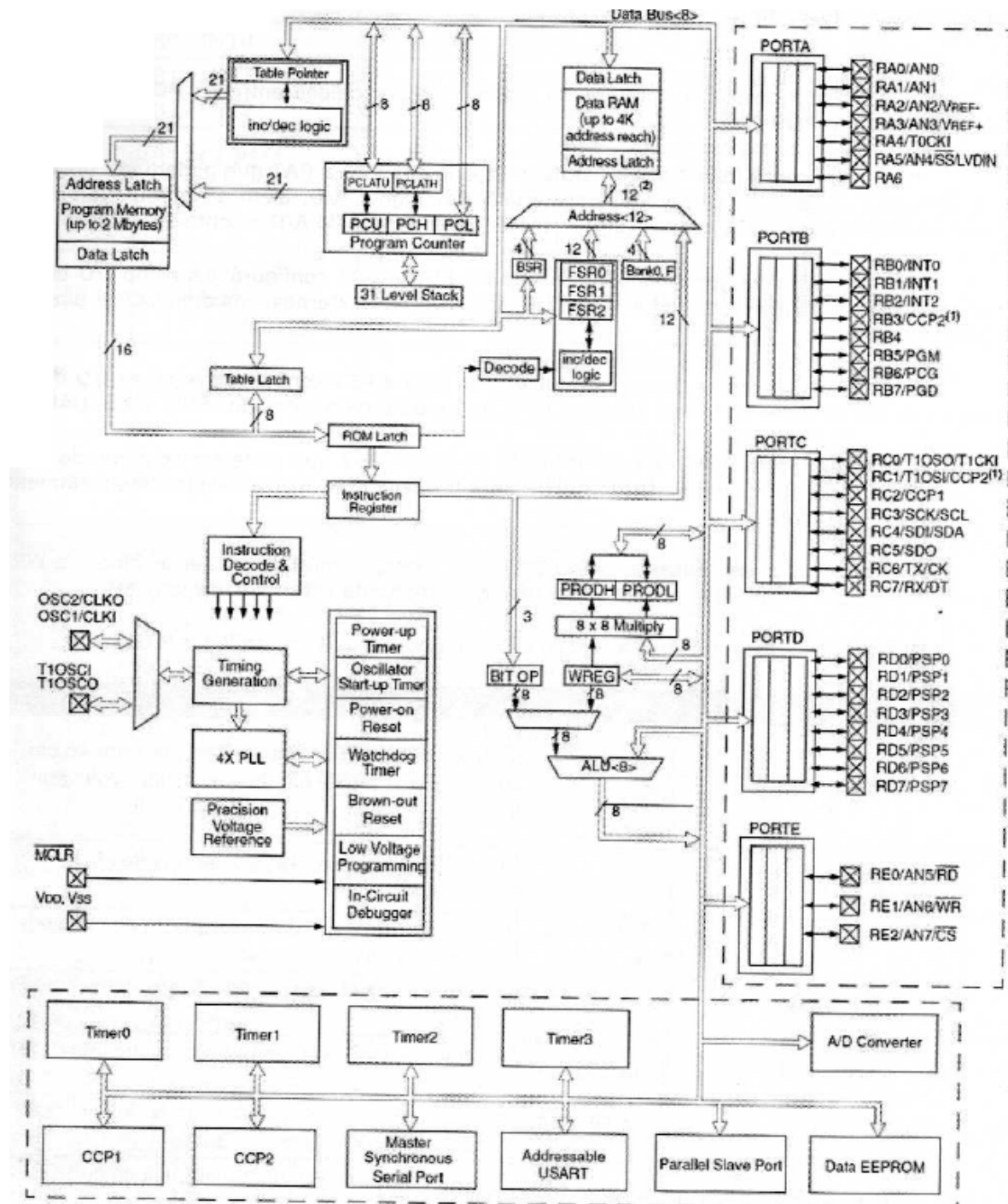


Figura I: Diagrama em blocos – Estrutura interna do microcontrolador PIC 18F452.

ANEXO II – FUNÇÃO DOS PINOS DO MICROCONTROLADOR PIC 18F452

Tabela II: Função de cada pino do microcontrolador PIC 18F452

PINO	FUNÇÃO	TIPO	FUNCIONALIDADE
1	/MCLR / VPP	ENTRADA –ENTRADA	ENTRADA DO RESET EXTERNO / PROGRAMAÇÃO ALTA VOLTAGEM ICSP
2	RA0 / AN0	I/O – ENTRADA	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / ENTRADA DO CONVERSOR AD0
3	RA1 / AN1	I/O – ENTRADA	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / ENTRADA DO CONVERSOR AD1
4	RA2 / AN2 / VREF-	I/O-ENTRADA – ENTRADA	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / ENTRADA DO CONVERSOR AD2 / ENTRADA DE REFERÊNCIA BAIXA DO A/D
5	RA3 / AN3 / VREF+	I/O- ENTRADA - ENTRADA	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / ENTRADA DO CONVERSOR AD3 / ENTRADA DE REFERÊNCIA ALTA DO A/D
6	RA4 / T0CKI	I/O- ENTRADA - ENTRADA	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / ENTRADA DE CLOCK TIMER()
7	RA5 / AN4 / SS/ LVDIN	I/O- ENTRADA - ENTRADA	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / ENTRADA DO CONVERSOR AD4 / ENTRADA DE SELEÇÃO SPI, DETECTOR DE BAIXA VOLTAGEM
8	RE0 / RDV AN5	I/O	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / CONTROLE DE LEITURA DO PORT PARALELO / ENTRADA ANALÓGICA AD5
9	RE1 / WR / AN6	I/O	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / CONTROLE DE ESCRITA DO PORT PARALELO / ENTRADA ANALÓGICA AD6
10	RE2 / CS / AN7	I/O	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / CONTROLE DE SELEÇÃO DO PORT PARALELO / ENTRADA ANALÓGICA AD7
11	VCC	ALIMENTAÇÃO	NEGATIVO
12	GND	ALIMENTAÇÃO	POSITIVO
13	OSC1 / CLK1	ENTRADA	ENTRADA DO CRISTAL OSCILADOR / ENTRADA DO CLOCK EXTERNO
14	OSC2 / CLK1 / RA6	SAÍDA - SAÍDA - I/O	SAÍDA DO CRISTAL OSCILADOR / SAÍDA DO CLOCK EXTERNO / ENTRADA E SAÍDA DIGITAL
15	RC0 / TIO0 / TICK1	I/O - SAÍDA - ENTRADA	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / SAÍDA DO 2º OSCILADOR / CONTADOR EXTERNO TIMER1 / TIMER3
16	RC1 / TIO1 / CCP2	I/O - ENTRADA – SAÍDA	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / ENTRADA DO 2º OSCILADOR / SAÍDA DO MÓDULO CCP2
17	RC2 / CCP1	I/O - I/O	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / MÓDULO CCP1
18	RC3 / SCK/ SCL	I/O - I/O - I/O	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / ENTRADA E SAÍDA DO CLOCK SERIAL PARA O MODO SPI / ENTRADA E SAÍDA DO CLOCK SERIAL PARA O MODO I2C
19	RD0 / PSP0	I/O - I/O	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / PORTA DE COMUNICAÇÃO PARALELA
20	RD1 / PSP1	I/O - I/O	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / PORTA DE COMUNICAÇÃO PARALELA
21	RD2 / PSP2	I/O - I/O	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / PORTA DE COMUNICAÇÃO PARALELA
22	RD3 / PSP3	I/O - I/O	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / PORTA DE COMUNICAÇÃO PARALELA
23	RC4 / SDI / DAS	I/O - ENTRADA - I/O	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / ENTRADA DE DADOS SPI / ENTRADA E SAÍDA DE DADOS I2C

24	RC5 / SD0	I/O – SAÍDA	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / SAÍDA DE DADOS SPI
25	RC6 / TX / CK	I/O - SAÍDA - I/O	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / CANAL DE TRANSMISSÃO UART / CLOCK DE SINCRONISMO UART
26	RC7 / RCX / DT	I/O - ENTRADA - I/O	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / CANAL DE RECEPÇÃO UART / DADOS DO UART
27	RD4 / PSP4	I/O - I/O	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / PORTA DE COMUNICAÇÃO PARALELA
28	RD5 / PSP5	I/O - I/O	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / PORTA DE COMUNICAÇÃO PARALELA
29	RD6 / PSP6	I/O - I/O	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / PORTA DE COMUNICAÇÃO PARALELA
30	RD7 / PSP7	I/O - I/O	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / PORTA DE COMUNICAÇÃO PARALELA
31	GND	ALIMENTAÇÃO	NEGATIVO
32	VCC	ALIMENTAÇÃO	POSITIVO
33	RB0 / INT0	I/O – ENTRADA	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / INTERRUPÇÃO EXTERNA 0
34	RB1 / INT1	I/O – ENTRADA	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / INTERRUPÇÃO EXTERNA 1
35	RB2 / INT2	I/O – ENTRADA	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / INTERRUPÇÃO EXTERNA 2
36	RB3 / CCP2**	I/O - I/O	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / MÓDULO CCP2 (MULTIPLEXADO COM RB3)
37	RB4	I/O	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL / PINO DE INTERRUPÇÃO POR MUDANÇA DE NÍVEL
38	RB5 / PGM	I/O - I/O	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL (INTERRUPÇÃO POR MUDANÇA DE ESTADO) / PINO DE HABILITAÇÃO ICSP BAIXA VOLTAGEM
39	RB6 / PGC	I/O - I/O	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL (INTERRUPÇÃO POR MUDANÇA DE ESTADO) / PINO ICSP IN-CIRCUIT DEBUGGER
40	RB7 / PGD	I/O - I/O	ENTRADA E SAÍDA DE USO GERAL (INTERRUPÇÃO POR MUDANÇA DE ESTADO) / PINO ICSP IN-CIRCUIT DEBUGGER

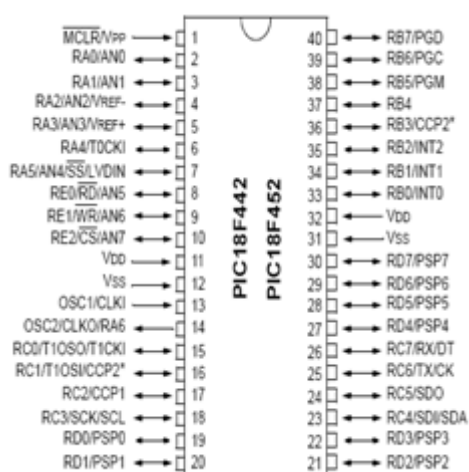


Figura II: Pinagem do microcontrolador PIC 18F452 referente ao encapsulamento DIP.