

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS PONTA GROSSA**

**RICARDO PLOVAS
DJALMA AGEU ALVES DE OLIVEIRA**

**MÓDULO REFRIGERADO PARA TRANSPORTE DE VACINAS EM
AUTOMÓVEIS.**

**PONTA GROSSA
2014**

**RICARDO PLOVAS
DJALMA AGEU ALVES DE OLIVEIRA**

**MÓDULO REFRIGERADO PARA TRANSPORTE DE VACINAS EM
AUTOMÓVEIS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa.

Orientador: Prof^o. Me. Alexandre Fenato

**PONTA GROSSA
2014**

TERMO DE APROVAÇÃO

**MÓDULO REFRIGERADO PARA TRANSPORTE DE VACINAS EM
AUTOMÓVEIS.**

por

RICARDO PLOVAS

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 17 de dezembro de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

(Alexandre Junior Fenato)
Prof. Orientador

(Abraham Elias Ortega Paredes)
Membro titular

(Paulo Sérgio Parangaba Ignácio)
Membro titular

(Julio Cesar Guimarães)
Responsável pelos Trabalhos
de Conclusão de Curso

(Márcio Mendes Casaro)
Coordenador do Curso
UTFPR - Campus Ponta Grossa

TERMO DE APROVAÇÃO

MÓDULO REFRIGERADO PARA TRANSPORTE DE VACINAS EM AUTOMÓVEIS.

por

DJALMA AGEU ALVES DE OLIVEIRA

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 17 de dezembro de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

(Alexandre Junior Fenato)
Prof. Orientador

(Abraham Elias Ortega Paredes)
Membro titular

(Paulo Sérgio Parangaba Ignácio)
Membro titular

(Julio Cesar Guimarães)
Responsável pelos Trabalhos
de Conclusão de Curso

(Márcio Mendes Casaro)
Coordenador do Curso
UTFPR - Campus Ponta Grossa

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus;

Por proporcionar conhecimento, curiosidade, saúde e força para que sempre possa evoluir como pessoa.

Meus pais Bonifácio e Eliane Plovas, que sempre me incentivaram e proporcionaram condições necessárias para estudar.

A Fernanda Navarro Marin, por sempre estar ao meu lado e mostrar que a felicidade está nas coisas simples da vida.

Ricardo Plovas

RESUMO

O transporte de substâncias que necessitam controle de temperatura, como é o caso de vacinas, deve seguir com rigor as especificações do fabricante. Porém, ainda é comum o transporte de vacinas em automóveis ser feito em caixas com gelo e sem controle de temperatura. A pastilha de Peltier é um componente eletrônico composto por duas junções de material semicondutor, quando alimentado com uma tensão 12 Vdc gera aquecimento em uma de suas faces e resfriamento na outra. Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um módulo refrigerado para transporte de vacinas em automóveis, cuja temperatura interna deva variar entre 2° e 8° C. A refrigeração interna foi feita por meio de uma pastilha de Peltier. Foi realizado levantamento bibliográfico sobre os componentes usados neste projeto, além de testes práticos em pastilhas de Peltier para definir qual melhor se encaixa para o projeto e conhecer seus limites. Esses testes incluíam o uso de diferentes modelos de dissipadores. Para manter esta temperatura foi necessário criar uma camada adicional de poliuretano, que atua como isolante térmico. Para monitorar a temperatura interna do módulo, foi utilizado um sensor de temperatura LM35 e um microcontrolador, que foi programado para realizar leituras do sensor e enviar essa informação para que possa ser lida em um *display* de LCD. Os resultados indicaram que a pastilha modelo tec1-12705 apresentou menor consumo e também a menor temperatura medida no lado frio, com -9,6° C. O uso de diferentes modelos de dissipadores apontaram que para máximo aproveitamento da refrigeração, o dissipador deve ter uma área de contato igual ou superior a área da pastilha. Desta forma conclui-se que a utilização de pastilhas de Peltier para este fim é seguramente viável, além de ser de uso simples e prático.

Palavras-chave: Peltier; Módulo resfriado; Capacidade de resfriamento; PWM no Arduino.

ABSTRACT

The transport of substances which require a control of temperature, such as vaccines, must follow accurately the manufacturer's specifications. However, it's still common the transport of vaccines in automobiles be made in boxes with ice and without temperature control. The Peltier chip is an electronic component that consists of two junctions of semiconductor material which generates heat in one of its faces and cooling in another when supplied with a 12 Vdc tension. This study aimed to develop a module for refrigerated transport vaccines in automobiles, whose internal temperature should range between 2° and 8° C. The internal cooling was made by chip Peltier. Was conducted a bibliographical survey about the components used in this project, and practice tests in Peltier chips to define what is the most suited for the project and know your limits. These tests included the use of different models of dissipators. To maintain this temperature was necessary to create an additional layer of polyurethane, which acts as a thermal insulator. The internal temperature of the module was monitored by using a temperature sensor (LM35) and a microcontroller which is programmed to make sensor readings and send this information to readable on an LCD display. The results indicated that the chip tec1-12705 showed lower consumption and also the lowest temperature measured in the cold side, which was -9,6° C. The use of different models of dissipators showed that the dissipator should have a contact area less than the area of the tablet for maximum utilization of cooling. Therefore we conclude that the use of Peltier chips for this purpose is certainly viable, as well as being simple and practical use.

Keywords: Peltier; Cold module; Cooling capacity; PWM in Arduino.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Método utilizado por Jean Charles Athanase Peltier	7
Figura 2	Pastilha de Peltier	8
Figura 3	Parte Interna da pastilha	9
Figura 4	Placa Arduino Uno	12
Figura 5	Esquema de Comunicação I2C	13
Figura 6	Esquema de Comunicação I2C	13
Figura 7	Barramento I2C	15
Figura 8	Diagrama de blocos PCF8574T	15
Figura 9	Placa de <i>hardware</i> I2C acoplada ao LCD.	16
Figura 10	<i>Display</i> LCD 16x2	16
Figura 11	Modulação por largura de pulso (PWM)	18
Figura 12	Chaveamento utilizando transistor bipolar NPN	19
Figura 13	Sensor de LM35	20
Figura 14	Teste com Isolamento simples e isolamento duplo	21
Figura 15	Teste com <i>cooler</i> alimentado com 5 e 11 Vdc	21
Figura 16	Pastilha Peltier com dissipador acoplado	23
Figura 17	Método aplicado para o teste 2	23
Figura 18	<i>Cooler</i> para processador Intel padrão 775	24
Figura 19	Posição da pastilha em relação ao dissipador	26
Figura 20	Caixa térmica adaptada	31
Figura 21	Implementação do dissipador no lado frio	32
Figura 22	Módulo adaptado com isolamento extra	34
Figura 23	Inclusão das bibliotecas para o <i>Display LCD</i>	36
Figura 24	Fluxograma do <i>software</i> de leitura da temperatura	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Principais dados técnicos das pastilhas de Peltier	9
Tabela 2	Relação da função básica da função PWM do Arduino	18
Tabela 3	Sensores de temperatura	20
Tabela 4	Procedimento para testes	24
Tabela 5	Resultado Primeiro teste	25
Tabela 6	Resultados do Teste 2 com alimentação 12Vdc	28
Tabela 7	Resultados do Teste 2 com alimentação 15,3Vdc	29
Tabela 8	Procedimentos para testes da caixa térmica	32
Tabela 9	Resultados do teste 3	33
Tabela 10	Resultados do teste 4	35
Tabela 11	Custos por unidade	40

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

IDE	Ambiente Integrado de Desenvolvimento
I2C	<i>Inter integrated Circuit</i>
LCD	<i>Display de Cristal Líquido</i>
SDA	<i>Serial Data</i>
SCL	<i>Serial Clock</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
1.1	TEMA DA PESQUISA	5
1.1.1	Delimitação do Tema	5
1.2	OBJETIVOS	5
1.2.1	Objetivo Geral	5
1.2.2	Objetivos Específicos	5
1.3	JUSTIFICATIVA	6
2	REVISÃO DA LITERATURA	7
2.1	Efeito Peltier	7
2.2	Pastilha Peltier	8
2.3	Manipulação das vacinas	10
2.4	Arduíno	10
2.5	Protocolo de comunicação I2C	12
2.6	<i>Hardware I2C</i>	14
2.7	<i>Display de LCD</i>	16
2.8	Modulação PWM no Arduino	17
2.9	Transistor	19
2.10	Controle da temperatura	20
2.11	Pastilha Peltier em módulos refrigerados	21
3	METODOLOGIA E RESULTADOS EXPERIMENTAIS	22
3.1	Testes das pastilhas de Peltier	22
3.2	Teste 1	24
3.3	Teste 2	27
3.4	Módulo refrigerado	31
3.5	Teste 3	33
3.6	Teste 4	34
3.7	Preparação da Placa Arduino do LCD e sensor de temperatura LM35	35
3.8	Desenvolvimento do <i>software</i> para leitura das temperaturas	36
3.9	<i>Software</i> de leitura da temperatura	38
3.10	Custos	40
4	CONCLUSÃO	40
	REFERENCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho serão apresentados estudos e uma aplicação prática da pastilha Peltier, um componente eletrônico que submetido a uma determinada tensão elétrica gera aquecimento em uma de suas faces e resfriamento na outra.

Os estudos terão como objetivos, pesquisar a capacidade da pastilha em um pequeno sistema de refrigeração e seus limites. Será desenvolvido um pequeno módulo de refrigeração para transportar pequenos volumes em automóveis, o qual utilizará como fonte de alimentação a própria bateria 12 Vdc do veículo. Pensando ainda em uma aplicação direcionada, o módulo será desenvolvido e adaptado para transporte de vacinas, pois de acordo com o memorando 127 de 2012 do Ministério da Saúde do Estado do Paraná, recomenda o transporte e armazenamento de vacinas em ambiente com temperatura mínima de 2° C e máxima de 8° C, exceto quando haja exceções declaradas pelos fabricantes.

Para o controle da temperatura foi utilizada a tecnologia Arduino, com a qual será programado um microcontrolador ATmega328 para controle da corrente elétrica no dispositivo utilizando o recurso de PWM. Também será feito a leitura de um sensor de temperatura responsável por enviar informações ao microcontrolador do Arduino, ao qual será interpretado e tratado pelo algoritmo gravado no microcontrolador.

A baixa confiabilidade das pastilhas encontradas no mercado, a escassez de literatura contendo informações sobre utilização da pastilha de Peltier e a dificuldade da obtenção e manutenção de temperaturas baixas são problemas a serem superados. A busca por soluções foi através da revisão da literatura acerca do assunto ou ainda quando não encontradas fontes confiáveis, foram desenvolvidas experiências práticas e através dos resultados foi apontada a suposta causa do problema.

Este trabalho foi organizado em três capítulos, o primeiro, a revisão da literatura, contém pesquisas necessárias para apoiar o desenvolvimento deste projeto, o segundo, de metodologia e resultados experimentais, relata passo a passo cada etapa do trabalho e também os resultados obtidos, e no último, a conclusão, aonde foram expostos os ganhos e vantagens do projeto e propusemos algumas propostas para trabalhos futuros.

1.1 TEMA DA PESQUISA

Pastilha Peltier em aplicações de refrigeração.

1.1.1 Delimitação do Tema

Será desenvolvido um pequeno módulo de refrigeração para automóveis utilizando a pastilha de Peltier. Para este desenvolvimento será usada uma placa com um microcontrolador Arduino, que fará a leitura e controle da temperatura interna do módulo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Aplicar a pastilha Peltier em módulos de transportes refrigerados para automóveis.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar o funcionamento da pastilha de Peltier;
- Estudar a aplicação e viabilidade da tecnologia Arduino para o controle da temperatura do módulo de refrigeração;
- Desenvolver um módulo de refrigeração para vacinas e pequenos volumes para automóveis.

1.3 JUSTIFICATIVA

A pastilha Peltier é um componente de material semicondutor com alto potencial de refrigeração. A cada dia sua aplicação está se tornando mais comum em diversos equipamentos, devido à sua alta variedade de aplicações, como por exemplo, filtro de água refrigerado, mini refrigeradores, aquecedores e etc.

No mercado não existem equipamentos de pequeno porte para transporte de vacinas que sejam produzidos em série para automóveis, esta pesquisa se mostra promissora na possibilidade de desenvolver um módulo de baixo custo utilizando pastilha de peltier.

Este projeto visa desenvolver um equipamento de refrigeração de pequeno porte, microcontrolado e de fácil utilização por profissionais que necessitam transportar vacinas que exigem uma temperatura de armazenamento e transporte entre 2° C e 8° C. Esse módulo refrigerado será alimentado com uma tensão de 12 Vdc, a mesma fornecida pela bateria elétrica dos veículos. Atualmente em vários lugares esse tipo de transporte utiliza-se de caixas de isopor com gelo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo estão referenciados os principais temas relacionados com o desenvolvimento do projeto, o efeito Peltier e a pastilha de Peltier, o motivo pelo qual foi optado por desenvolver um módulo para transportar vacinas, a Tecnologia Arduino, a modulação PWM, o sensor de temperatura LM35 e o *Display* de Cristal Líquido (LCD) que será utilizado pelo Arduino na leitura da temperatura.

2.1 EFEITO PELTIER

Fernandes (2012) cita em seu trabalho que em 1834 Jean Charles Athanase Peltier descobriu que quando uma corrente elétrica percorre uma junção constituída por dois metais diferentes, no caso era o Bismuto (Bi) e cobre (Cu), essa junção gerava uma diferença de temperatura entre as extremidades.

A explicação para tal fenômeno ocorre por que quando esses materiais são aplicados a uma diferença de potencial os elétrons de um material aceleram e de outro desaceleram, no primeiro caso a aceleração gera calor e o contrário ocorre com a desaceleração dos elétrons. A figura 1 mostra como foi o método utilizado por Peltier para elaboração do teste.

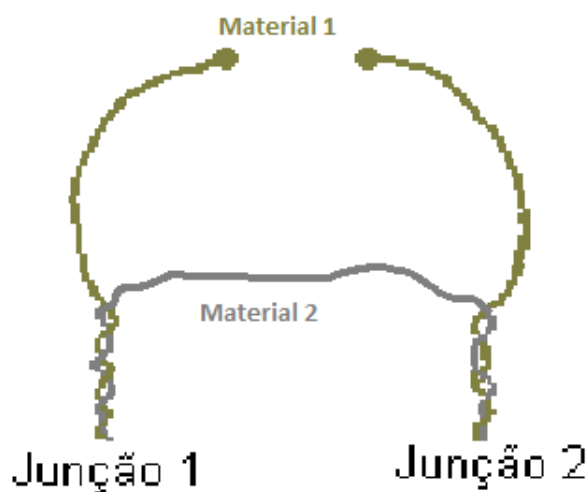


Figura 1: Método utilizado por Jean Charles Athanase Peltier.

Fonte: Fernandes (2012).

2.2 PASTILHA DE PELTIER

A pastilha de Peltier(<http://www.hebeiltd.com.cn>) é um componente eletrônico com medidas de 4 cm de largura por 4 cm de comprimento com espessura de 4 mm, possui dois terminais para conexão elétrica, a pastilha pode ser vista na figura 2.



Figura 2: Pastilha Peltier.

Fonte: *Datasheet* da pastilha Peltier tec1-12705

Como visto no item anterior, o efeito Peltier é gerado quando uma corrente elétrica passa por uma junção de materiais condutores do tipo P e N. Fernandes et al. (2010), cita que este efeito possui prática de aplicação muito limitada quando utilizada apenas uma junção, para ampliar este efeito é necessário criar uma grande associação em série. É essa grande associação em série que gera a pastilha de Peltier. O sentido da corrente elétrica é que define qual lado irá aquecer e qual irá resfriar. A figura 3 ilustra a composição interna uma pastilha Peltier.

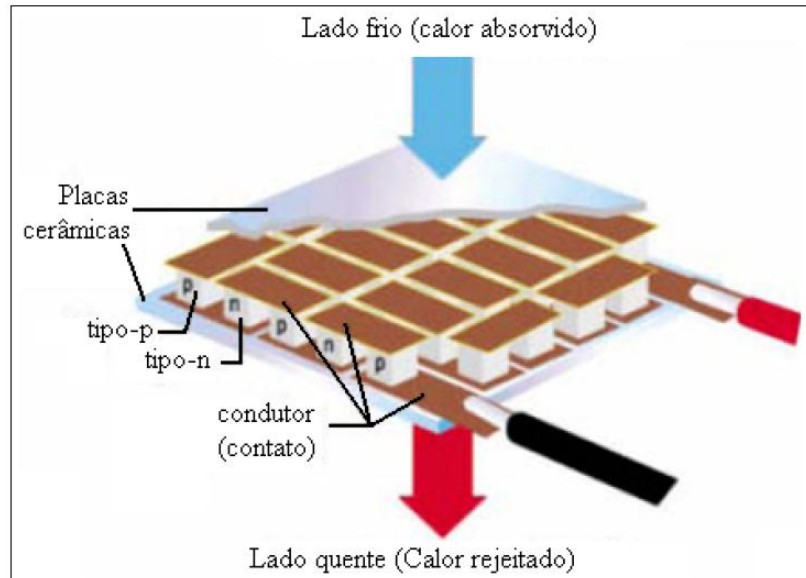


Figura 3: Parte interna da pastilha.

Fonte: Fernandes et al. (2010).

Para este projeto foram adquiridos vários modelos de pastilhas de Peltier, a tabela 1, mostra as principais informações das pastilhas que foram adquiridas e testadas.

Tabela 1: Principais dados técnicos das pastilhas de Peltier.

	Tec1-12705	Tec1-12706	Tec1-12709
Tensão máxima	15 Vdc	15 Vdc	16 Vdc
Corrente máxima	5 A	6 A	9 A
Resistência	2,4 a 2,9 ohms	2 a 2,5 ohms	1 a 1,3 ohms
Potência Max	42,5 W	51,4 W	85 W
Máx. diferença de temperatura	67° C	67° C	67° C

Fonte: Datasheet do fabricante.

2.3 MANIPULAÇÃO DE VACINAS

O memorando 127 de 2012 da Secretária de Saúde do estado do Paraná, é uma nota técnica que orienta quanto à comercialização e aplicação de vacinas em todo o estado do Paraná, alguns itens transcritos do memorando devem ser destacados:

7. Abaixo, os cuidados de armazenamento e dispensação que devem ser verificados nas farmácias que comercializam medicamento termolábeis, entre eles as vacinas.

I. Possuir geladeira apropriada com baixa variação de temperatura interna, entre 2 a 8°C, sendo vedado o uso de geladeiras tipo “duplex”, “frost-free” ou frigobar.

Nas limpezas rotineiras da geladeira para guarda de medicamentos termolábeis deverá ser observado o seguinte:

III. No caso de transferência, os medicamentos poderão ser mantidos na caixa térmica enquanto a temperatura for mantida entre 2 a 8°C.

Para o recebimento de medicamentos termolábeis deve ser observado:

III. Se o transporte ocorreu em veículo com isolamento térmico ou caixa térmica, com controle de temperatura de saída e chegada.

O primeiro item, referente ao armazenamento das vacinas, apesar do objetivo do projeto não se estender ao armazenamento de substâncias, nada impede que isto possa ser feito, contanto que a temperatura esteja entre os valores aceitáveis. No segundo tópico em relação a limpeza, e transferência das substâncias, que também devem ser mantidas sobre temperatura padrão. E por último, para o transporte deverá ter controle de temperatura na entrada e saída.

2.4 ARDUINO

Para o objetivo de manter o controle da temperatura interna do módulo de transporte de vacinas será necessário o emprego de técnicas de controle que possibilitem a utilização de algumas tecnologias atuais, e uma destas tecnologias é o Arduino.

A placa Arduino(<http://arduino.cc>), por ser descrito como sendo uma placa de silício onde encontra-se um micro controlador da família ATmega da ATMEL. A placa do Arduino é composta por 14 pinos digitais de entrada e saída configuráveis, dos quais 6 podem ser usados para modulação PWM, possui 6 pinos usados como entradas analógicas, um cristal oscilador de 16 Mhz para garantir a frequência do microcontrolador. Uma porta USB (*Universal Serial Bus*), um *jack* para alimentação, um ICSP (*In-Circuit Serial Programming*) e um botão reset usado para reiniciar o *software* gravado no microcontrolador. O modelo de Arduino usado no projeto é o Arduino Uno R3 com todos os componentes auxiliares necessários para o funcionamento do microcontrolador, e também por se tratar de um modelo mais atual e de fácil aquisição no mercado nacional. Nos pinos A0 e A2 do Arduino Uno R3, serão conectados os pinos SDA (*Serial Data*) e SCL (*Serial Clock*), da placa com o *chip* PCF8574T(<http://www.nxp.com>), o diagrama de bloco do *chip* responsável por fazer a comunicação entre LCD(*Liquid Crystal Display*) e a placa Arduino. Essa comunicação usa um protocolo padrão chamado de I2C. O I2C é responsável pela comunicação entre o Arduino e o LCD usado para exibir informações oriundas do sensor de temperatura. A simplicidade desta comunicação usa apenas de 4 fios, 2 para alimentação do LCD e 2 para comunicação.

Ainda para a leitura, dos valores referentes as temperaturas internas no módulo, será usado um sensor de temperatura comum modelo LM35 fabricado pela *National Semiconductor*(www.national.com).

A escolha pela tecnologia Arduino justifica-se por vários motivos, plataforma *open-source* baseadas em *hardware* e *softwares* flexíveis. das quais podemos destacar, gravação do código de programação do microprocessador via USB do computador usando o próprio *software* de desenvolvimento de programação do Arduino. Configuração das portas analógicas de entrada para leituras, monitoramentos e interação de sinais de diversos dispositivos externos tais como: sensores, LCDs, potenciômetros, controlando diversos dispositivos. Configuração das portas digitais para controle de entrada ou saídas de sinais. Destas portas podemos ainda destacar cinco delas para a implementação de PWM para controles de motores de corrente contínua e corrente alternada, controle de tensão contínua e tensão alternada, também é possível controlar a corrente. Para controlar tensões elevadas deverá ser desenvolvidos circuitos auxiliares de potência, utilizando-se componentes eletrônicos necessários para adequação aos equipamentos que

queremos controlar ou monitorar. A placa do Arduino já vem pronta com todos os seus componentes e circuitos conectado ao microcontrolador ATmega328, com suas entradas analógicas e entradas e saídas digitais, que podem fornecer uma tensão contínua 5 volts e corrente máxima 40 mA por saída. Ainda dispomos de 2 pinos para alimentação de tensão contínua de 3.3 volts e 50 mA e um conector de 5 volts e 40 mA para alimentação de circuitos auxiliares que necessitam de tensões separados. O fornecimento de energia necessário para os circuitos do Arduino pode ser de duas maneiras: alimentação através do próprio conector USB do computador que tem corrente máxima de 500 mA e tensão de 5 volts ou pelo conector *jack* onde podemos conectar com fonte externa ou uma bateria de 12 volts.

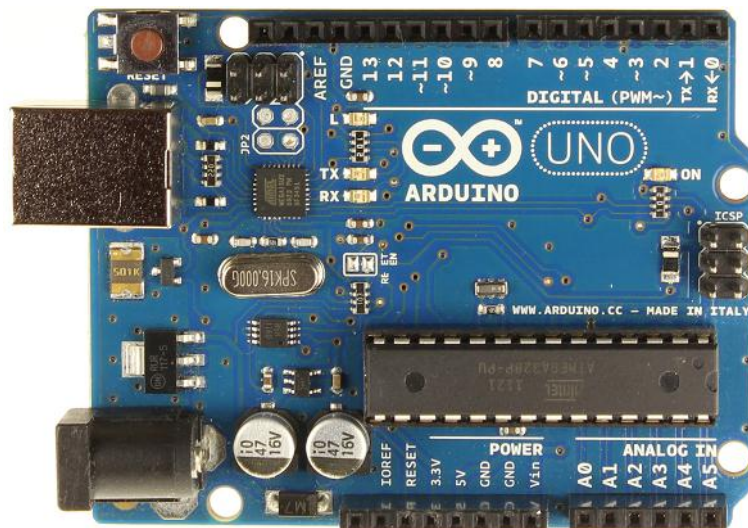


Figura 4: Placa Arduino Uno R3 com microcontrolador.

Fonte: <http://arduino.cc>

2.5 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO I2C.

Originalmente, o I2C (*Inter Integrated Circuit*), (figura 6) (<http://www.nxp.com>) é definido pela Philips (Jean Marc Irazabal e Steve Blozis) como sendo um protocolo simples de comunicação que utiliza poucos pinos, entre o CI e o periférico que se deseja comunicar. Um conjunto de especificações para construir um barramento simples universal que garanta a compatibilidade dos dispositivos de diferentes fabricantes. Tornando-se um padrão reconhecido em toda a indústria, e é usado por todos os principais fabricantes de CI.

A figura 5 e a figura 6 ilustra como é o comportamento dessa comunicação no barramento de dados, o endereçamento, e a troca de informações do chip de controle do *hardware* I2C e o periférico conectado no mesmo barramento.

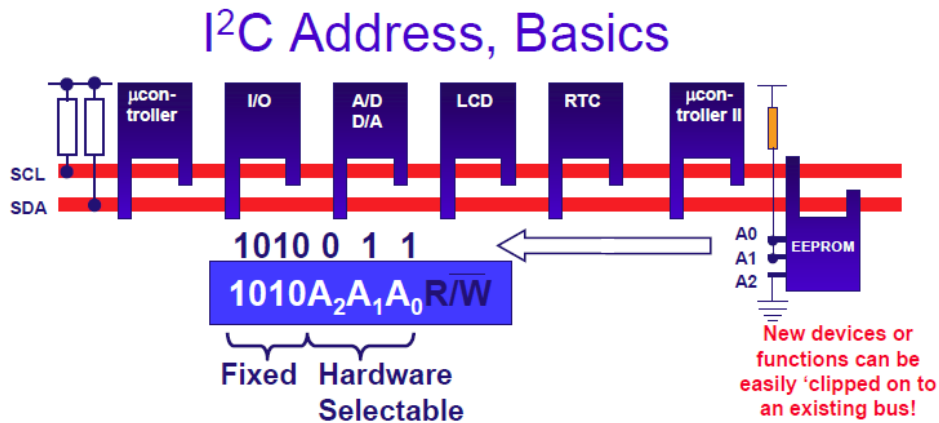


Figura 5: Esquema de Comunicação I2C

Fonte: DesignCon 2003 TecForum I2C Bus Overview.

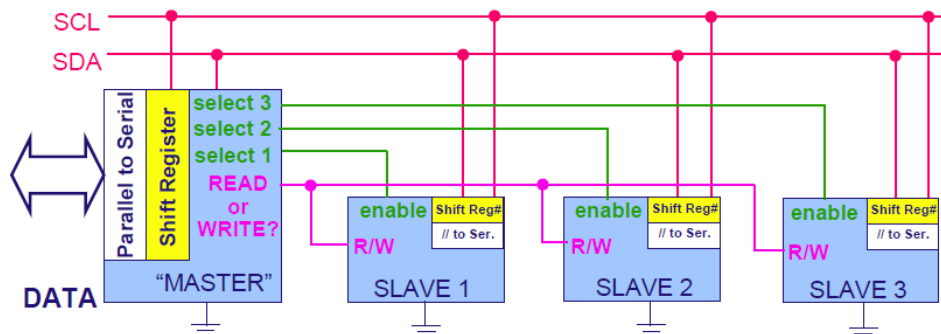


Figura 6: Esquema de Comunicação I2C

Fonte: DesignCon 2003 TecForum I2C Bus Overview.

O protocolo de comunicação I2C tem dois tipos de dispositivos, *Master* e *Slave*. Onde o *Master* (mestre), é a unidade de controle responsável por coordenar todos os outros periféricos (*Slaves*). A linha SCL é responsável pelo *clock* do barramento, e a linha SDA pela transmissão de dados. Nenhum dos *Slaves* podem se comunicar entre si sem que o *Master* faça intermediação entre eles. Somente o *Master* pode iniciar uma comunicação.

O protocolo I2C descreve o funcionamento de um barramento de comunicação serial que utiliza apenas dois fios. Este protocolo é muito utilizado para conectar periféricos de baixa velocidade a microcontroladores.

Os dispositivos que se deseja a comunicação devem necessariamente ser implementado com o mesmo suporte ao I2C, seja via *hardware* no próprio CI externamente, também pode ser emulado via *software*, através de um método chamado *bit-bang*, onde o funcionamento do protocolo é emulado *bit a bit*.

2.6 HARDWARE I2C

O Chip de controle PCF8574T(<http://www.nxp.com>) do protocolo de comunicação I2C, de uma forma geral esse componente é apenas um expensor de portas para o protocolo I2C, usando dois fios para comunicação bidirecional *I2C-bus* SCL (*Clock Serial*), e SDA (*Serial Data*). Consiste de oito portas quasi-bidirecionais de 100 kHz de interface I2C-bus, três entradas de endereçamento de *hardware* e interrupção e saída, operando entre 2,5 V e 6 V. A porta quasi-bidirecional pode ser atribuída de forma independente como uma entrada para monitorar o *status* de interrupção, ou como uma saída para ativar dispositivos indicadores tais como LCDs. O sistema mestre pode ler a partir da porta de entrada ou escrever para a porta de saída através de um único registro.

O baixo consumo de corrente da ordem de 2,5 mA faz desse componente ideal para aplicações, pois permitem a ligação diretamente a suas portas de saída.

A saída ativa *LOW* e aberto interrupção (*INT*) pode ser conectado com uma lógica de interrupção do microcontrolador, pois é ativado quando qualquer estado de entrada é diferente da sua porta de entrada correspondente registro de estado. É usado para indicar para o microcontrolador que um estado de entrada foi alterado e o dispositivo necessita de ser interpretado sem o microcontrolador continuamente fazendo a leitura do registro de entrada por meio do *I2C-bus*.

O barramento I2C é composto de dois fios, SDA e SCL, além dos fios de alimentação de 3.3 V ou 5 V. Os fios de comunicação devem possuir resistores de *pull-ups*, conforme visto na figura 7. No caso deste projeto esses componentes já estão presentes na placa adquirida e é demonstrado mais adiante.

O número de “nós” em um único barramento é limitado tanto pelo tamanho do endereço, que pode ser de 7 bits, 10 bits ou 16 bits; que tem como restrição o comprimento dos fios de conexão que podem ultrapassar alguns metros. Ao ultrapassar esse limite o funcionamento correto do barramento é comprometido.

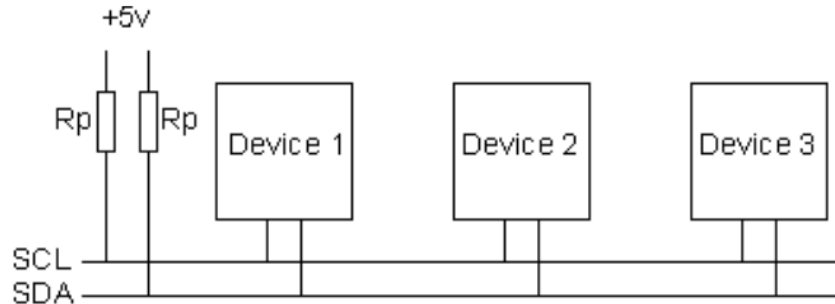


Figura 7: Barramento I2C

Fonte: <http://www.univasf.edu.br>

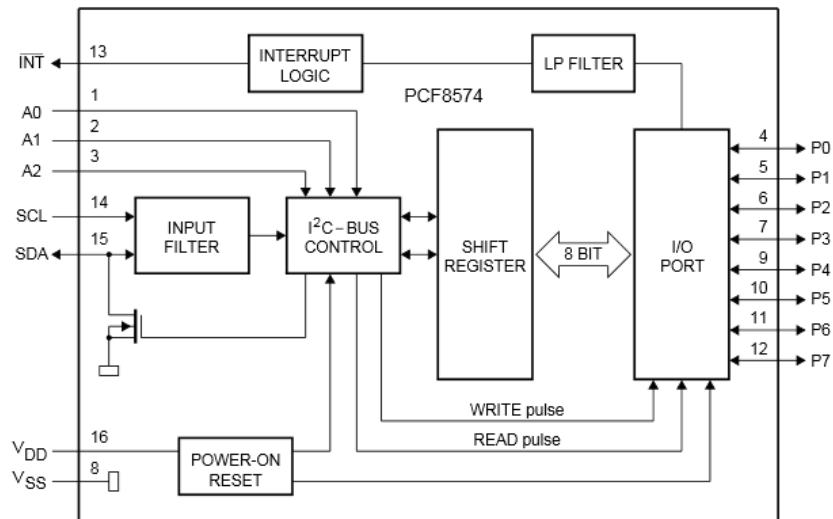


Figura 8: Diagrama de blocos PCF8574T

Fonte: <http://www.nxp.com>

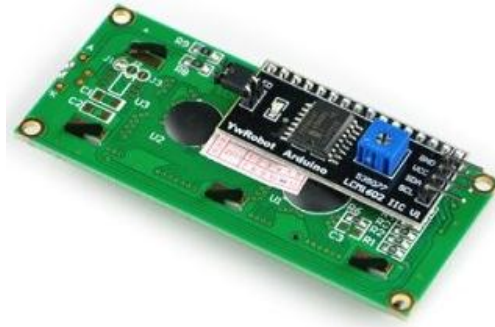


Figura 9: Placa de *hardware* I2C acoplada ao LCD.

Fonte: Autoria Própria.

2.7 DISPLAY DE LCD.

Na figura 10 pode ser visto um *display* de LCD 16x2 com *LED backlight* (iluminação de fundo), sem o *hardware* i2C acoplado aos seus terminais.

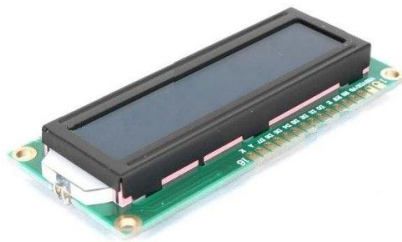


Figura 10: *Display* LCD 16x2.

Fonte: <ftp://ftp.dca.fee.unicamp.br>.

Segundo (Ilton L. Barbacena Claudio Afonso Fleury), os módulos de LCD podem ser encontrados no mercado em diversas configurações, tamanhos e modelos diversos, com resoluções variadas. Geralmente com 20 pinos para conexões. Os LCDs comuns são especificados em números de colunas e números de linhas. Também disponíveis com *LED backlight* possibilitando a leitura e visualização em ambientes com pouca iluminação.

Estes módulos de LCD, possuem um *chip* de controle próprio, o que permite sua interconexão com outras placas, onde deverá se conectar a alimentação e ao barramento de dados do circuito responsável por transmitir as informações ao *display*. Porém não basta simplesmente conectar o *display* de LCD ao barramento. Para o correto funcionamento, será necessário que o *chip* controlador do LCD seja capaz de receber os dados vindo do barramento e os interprete de maneira correta, para isso faz-se necessário o uso de protocolos de comunicação que é o envio de bytes de instruções e bytes de dados vindo do barramento.

2.8 MODULAÇÃO PWM NO ARDUINO.

Mello(2011) explica que a modulação PWM, ou modulação por largura de pulso, é uma técnica que permite controlar a potência elétrica através da transformação de um sinal contínuo em pulsos, e para esta transformação é necessária atuação de uma chave(transistor). Todo modulador PWM possui frequência fixa, variando apenas a largura do pulso.

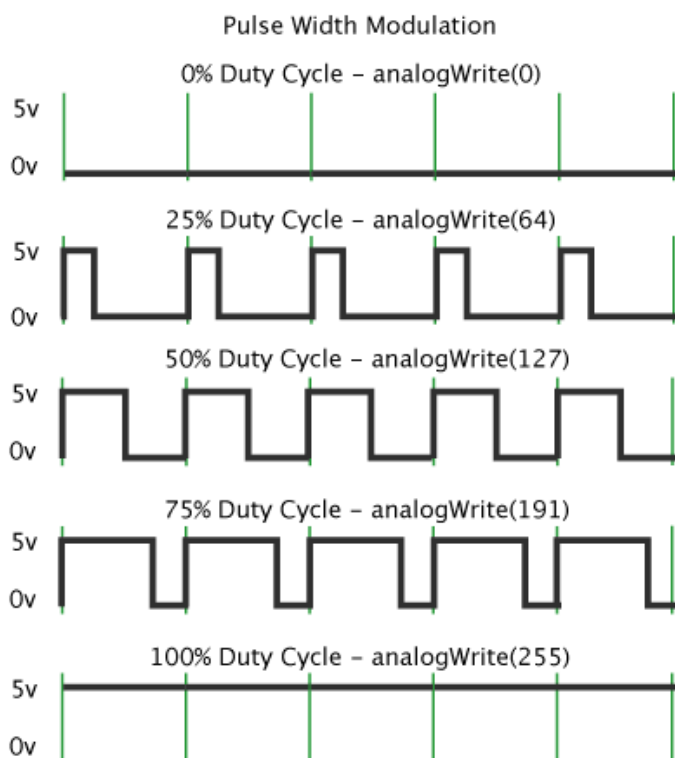
A modulação PWM no Arduino(<http://arduino.cc>) utiliza níveis de tensão da própria placa Arduino para realizar a modulação PWM e controlar a largura do pulso. Isso é feito gerando ciclos de tensão máxima(nível lógico 1) e tensão mínima(nível lógico zero) e alterando o tempo em que o dispositivo encontra-se em nível lógico 1 e nível lógico 0, com isso é possível gerar um controle de potência. A largura do pulso é definida através do tempo em que o sinal permanece em nível lógico 1 durante o período. O modelo do processador que será utilizado oferece chaveamento com frequência de 500 Hz, ou dois milissegundos.

As portas 3,5,6,9,10 e 11 do Arduino conforme visto na figura 4 são as responsáveis por permitir a modulação PWM, a saída PWM é 8 bits(0 – 255) através da função *AnalogWrite()*, que será exemplificada na tabela 2 e figura 11.

Tabela 2: Relação da função básica da função PWM do Arduino.

<i>AnalogWrite()</i>	Largura do Pulso
<i>AnalogWrite(0)</i>	0%
<i>AnalogWrite(64)</i>	25%
<i>AnalogWrite(127)</i>	50%
<i>AnalogWrite(191)</i>	75%
<i>AnalogWrite(255)</i>	100%

Fonte: <http://arduino.cc>.

**Figura 11:** Modulação por largura de pulso(PWM)

Fonte: <http://arduino.cc>.

As pastilhas usadas neste projeto podem atingir um consumo de até seis amperes e de acordo com o fabricante da placa Arduino o limite máximo nas portas analógicas e digitais não deve ultrapassar 40 mA, para contornar esta limitação, a modulação em PWM deve ser feita para controlar um circuito transistorizado que controla a passagem de corrente elétrica para as pastilhas.

2.9 TRANSISTOR

De acordo com Mello(2011) transistor é um componente eletrônico semicondutor, podendo ser sua polarização PNP ou NPN e que possui capacidade de controle e amplificação de corrente elétrica, sendo o controle de corrente, ou também conhecido como chaveamento, o necessário para este projeto.

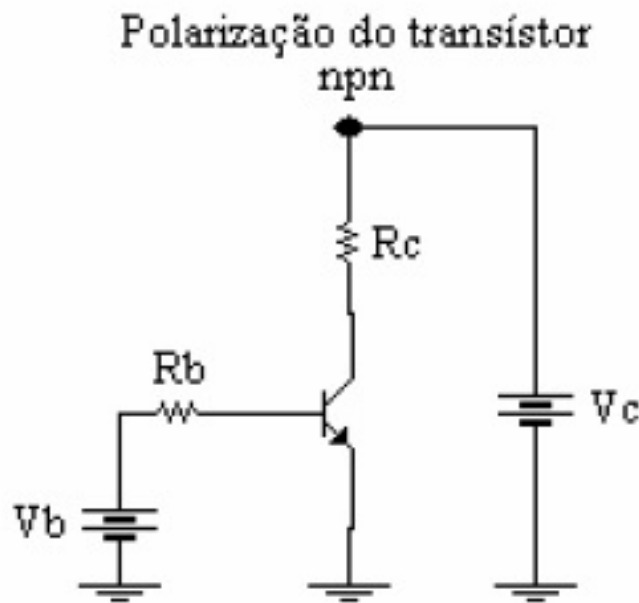


Figura 12: Chaveamento utilizando transistor bipolar NPN.

Fonte: <http://www.primecursos.com.br>.

A figura 12 demonstra a forma mais simples de chaveamento utilizando um transistor, neste caso utiliza-se um transistor NPN, o coletor e emissor do transistor estão ligados em paralelo a uma fonte V_{dc} . Mello(2011) explica que quando um pulso de corrente é aplicado na base ele irá chavear o transistor permitindo passagem de corrente elétrica através do coletor, quando o pulso elétrico da base é cortado, o transistor abre impedindo passagem de corrente no emissor.

Neste esquema simples existem dois resistores, o resistor do coletor do transistor(R_C) que representa a carga a ser controlada, no caso deste projeto esta resistência seria a pastilha de Peltier. A resistência da base(R_B) é simplesmente uma resistência calculada para que o pulso de corrente elétrica seja apenas o suficiente para causar chaveamento do transistor evitando curto circuito.

2.10 CONTROLE DA TEMPERATURA

O controle da temperatura também é feito com a placa Arduino, através da leitura do sensor de temperatura LM35 (figura 13) que é um circuito integrado de precisão, com uma tensão de saída linear proporcional à temperatura em graus centígrados. Assim, o LM35 tem uma vantagem, pois não necessita de qualquer tipo de calibração externa e proporciona uma precisão de $0,25^{\circ}\text{C}$ à temperatura ambiente, e $0,75^{\circ}\text{C}$ até 150°C . Sua temperatura de trabalho varia de -55°C a 150°C . Tem um baixo custo, e consome apenas 60 mA da alimentação.

Em sua saída um determinado valor de tensão será lido e interpretado pelo microcontrolador que irá atuar conforme as condições e parâmetros especificados no algoritmo do microcontrolador.

Tabela 3: Sensores de temperatura.

Fabricante	Modelos	Range de temperatura
NATIONAL	LM35	-55 a 150°C
NATIONAL	LM35A	-55 a 150°C
NATIONAL	LM35C	-40° a 110°C
NATIONAL	LM35AC	-40° a 110°C
NATIONAL	LM35D	0° a 100°C

Fonte: <http://pdf.datasheetcatalog.com>.

A tabela acima apenas mostra uma pequena gama de opções que podem ser usada no projeto. Os sensores quando do mesmo fabricante possuem *ranges* muito similares, a variação dos modelos refletem em outras características como tamanho, resistências, sensibilidade e etc. O modelo escolhido para este projeto será o LM35.



Figura 13: Sensor de LM35

Fonte: <http://pdf.datasheetcatalog.com>

2.11 PASTILHA PELTIER EM MÓDULOS REFRIGERADOS

Kouren et al. (2010) aponta em suas pesquisas utilizando pastilha de Peltier as diferentes reações de temperatura dentro de uma caixa de isopor quando se utiliza apenas a caixa de isopor em comparação com a mesma, porém com isolamento adicional de 25 mm de poliuretano, que segundo o autor é tão eficiente quanto o isopor. Também foi testada a efetividade da pastilha quando os *cooler* dos dissipadores foram aplicados a uma tensão de 5Vdc e 11 Vdc.

Os resultados obtidos por Kouren et al.(2010), apontam maior eficiência quando utilizado com isolamento de poliuretano e também com quando nível de tensão no *cooler* é superior, esses resultados são demonstrados nas figuras 14 e 15.

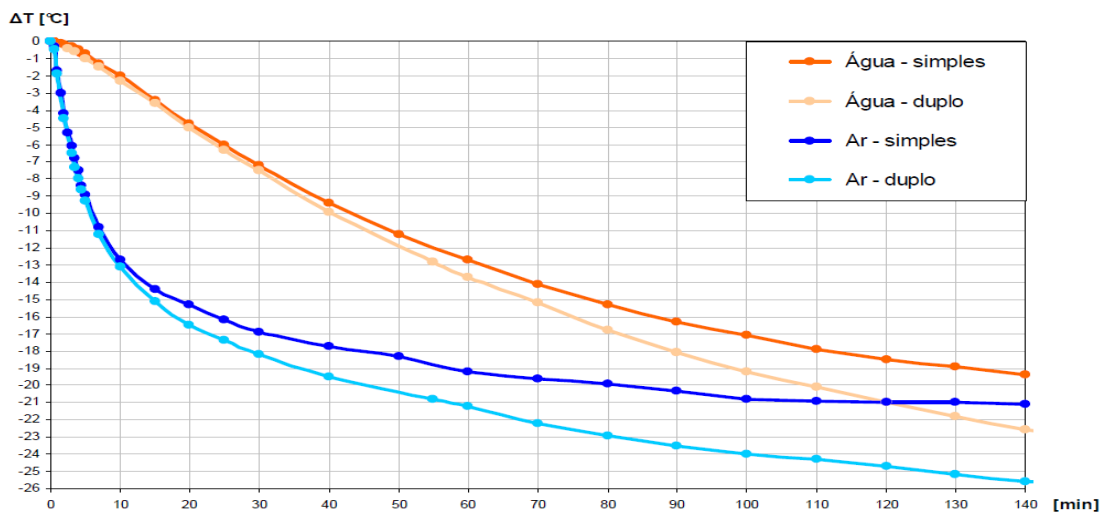


Figura 14: Teste com Isolamento simples e isolamento duplo

Fonte: Kouren et al.(2010)

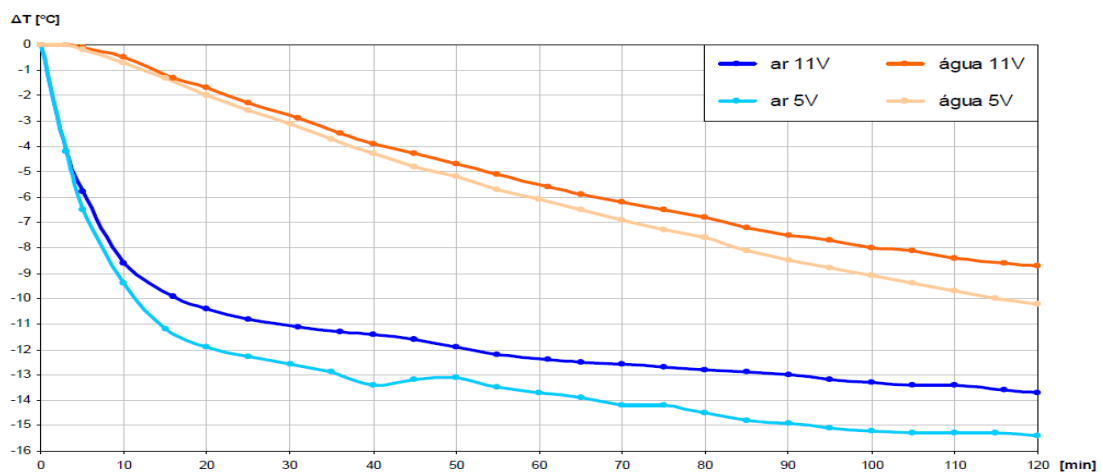


Figura 15: Teste com *cooler* alimentado com 5 e 11 Vdc.

Fonte: Kouren et al.(2010)

3 METODOLOGIA E RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Neste capítulo, estão descritos os métodos utilizados para o desenvolvimento do projeto, os quais baseiam-se em testes práticos com os componentes integrantes do módulo, desta forma, a cada teste, problemas foram solucionados, até a obtenção de resultados satisfatórios.

3.1 TESTE DA PASTILHA DE PELTIER

Esta experiência visa testar vários modelos de pastilhas individualmente para conhecer suas características e seu funcionamento, a fim de viabilizar o desenvolvimento do dispositivo refrigerador.

Para os testes foi utilizado um dissipador com *cooler*, uma pastilha de Peltier, 3ml de água, um leitor de temperatura e pasta térmica. A figura 16 mostra a disposição física de todos os dispositivos para realização do teste. O lado da pastilha onde o calor é maior (face quente) e que necessita de dissipação está com sua face em contato direto com o dissipador, e entre os dois é aplicado uma pequena camada de pasta térmica, no lado oposto, na face fria da pastilha, são acomodados os 3ml de água para verificar sua capacidade de resfriamento. É esperado que água aplicada alcance temperaturas negativas, até o congelamento. O sensor para medir a temperatura será posicionado no centro da pastilha de Peltier, conforme demonstrado na figura 17.

Fernandes (2012), explica que toda superfície mesmo que plana possui ranhuras que afetam a dissipação térmica e a pasta térmica tem como uma de suas funções preencher essas ranhuras aumentando o contato entre as superfícies eliminando essas deficiências, então para um melhor aproveitamento do efeito de Peltier, para cada componente é necessário que a aplicação da pasta térmica seja uniforme em toda o componente.

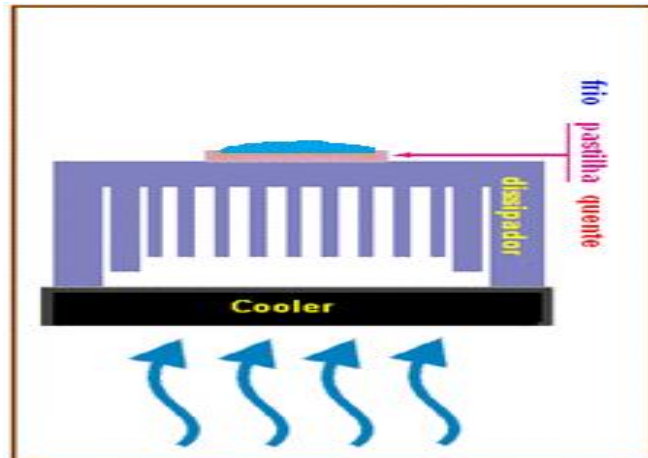


Figura 16: Pastilha Peltier com dissipador acoplado.

Fonte: Autoria Própria.



Figura 17: Método aplicado para o teste 2

Fonte: Autoria Própria

Na sequencia (tabela 4), estão descritos os procedimentos para realização dos testes que são divididos em nove etapas, as quais serão utilizadas para os dois testes subsequentes com as pastilhas (testes1 e 2):

Tabela 4: Procedimento para testes.

Passo	Procedimentos
1	Medição da resistência elétrica da pastilha Peltier com o multímetro;
2	Aplicação de uma fina camada de pasta térmica na face que irá aquecer.
3	A pastilha é colocada no centro do dissipador e levemente pressionada.
4	É adicionado na face fria da pastilha 3 ml de água;
5	Energização da fonte de alimentação responsável por acionar a pastilha e o <i>cooler</i> ;
6	Aguarda-se cinco minutos para que ocorra estabilização de temperatura da pastilha;
7	Com o auxílio de um multímetro são coletados dos terminais da pastilha valores da sua tensão e corrente elétrica, e então é calcula-se sua potência;
8	Utilizando-se de um sensor de temperatura são medidas as temperaturas no lado frio e no lado quente da pastilha;
9	É calculada a diferença entre a temperatura da face quente e a da face fria;

.Fonte: Autoria própria.

3.2 TESTE 1

Para a primeira bateria de testes foram utilizadas as pastilhas tec1-12705 e tec1-12706, pasta térmica e dissipador para processadores Intel, conforme é apresentado na figura 18. Os procedimentos são os mesmo descritos na tabela 4 e os resultados estão disponíveis na tabela 5.



Figura 18: Cooler para processador Intel padrão 775.

Fonte: www.intel.com

Tabela 5: Resultado primeiro teste

Tec1-12705							
Tensão(Volts)		10,95		Resistência(OHMs)		4	
Corrente(Ampere)		3,35		Potência(Watts)		36,6825	
Lado quente	52° C	Lado frio	9° C	Diferença de temp.	43° C		
Tec1-12706aj							
Tensão(Volts)		10,9		Resistência(OHMs)		3,7	
Corrente(Ampere)		3,9		Potência(Watts)		42,51	
Lado quente	63,1° C	Lado frio	21° C	Diferença de temp.	42,1° C		

Fonte: Autoria própria.

Analisando os resultados é observado que a temperatura no lado frio das duas pastilhas ficou distante da temperatura pretendida, que é 2° C. Como a menor temperatura atingida foi 9° C, conclui-se que em ambos os casos seria pouco provável que o interior do módulo atinja a temperatura inferior ao atingido na face fria da pastilha, visto que a única fonte de resfriamento é a pastilha.

Incropera et al. (2008) afirma que é possível aumentar a transferência de calor ampliando a superfície de contato, indicando que uma das causas da incapacidade das pastilhas de gerar resfriamento é o fato da mesma possuir uma superfície superior à do dissipador, ao analisar o experimento é notado que a área central da pastilha apresenta resfriamento e nas suas extremidades aquecimento, para resolução deste problema foi sugerido alterar o dissipador por um modelo onde área de contato do dissipador seja superior à área da face da pastilha. A figura 19 exemplifica a diferença de área entre o dissipador e a pastilha.

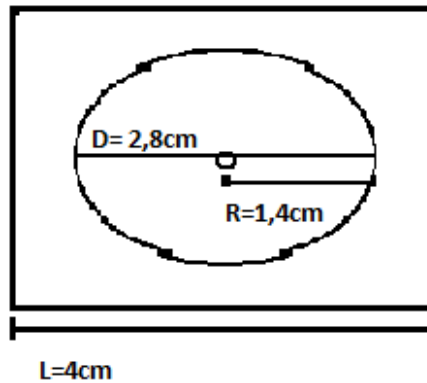


Figura 19: Posição da pastilha em relação ao dissipador

Fonte: Autoria própria.

Para evidenciar a diferença entre as áreas dos dispositivos foram calculadas suas áreas e diferença entre elas.

$$A1 = L \times L \quad (1)$$

$$A1 = 4 \times 4 = 16 \text{cm}^2$$

$$A2 = \pi \times r^2 \quad A2 = 3,1416 \times 1,4^2 \quad (2)$$

$$A2 = 6,16 \text{cm}^2$$

$$A3 = A1 - A2 \quad (3)$$

$$A3 = 16 - 6,16 = 9,84 \text{cm}^2$$

$$\text{ANR} = (A3 \times 100) / A1 \quad (4)$$

$$\text{ANR} = 984 / 16$$

$$\text{ANR} = 61,5\%$$

Em que:

- A1 é a área da pastilha;
- L é o lado da pastilha em cm;
- A2 é a área do dissipador que efetivamente entra em contato com a pastilha;
- r é o raio da face do dissipador que entra em contato com a pastilha;
- A3 é a área que não sofre efetiva ação de resfriamento pelo dissipador;
- ANR é a área em porcentagem não resfriada da pastilha.

Pode-se observar a área útil do dissipador que efetivamente entra em contato com a pastilha é circular e possui 6,18 cm². Como as pastilhas possuem 16cm², percebemos que 61,5% da área pastilha não é efetivamente resfriada pelo dissipador. Também pode se concluir que para atingir temperaturas muito baixas os *coolers* para processadores Intel não são recomendados justamente por apresentarem esta área efetiva de contato inferior a outros modelos encontrados no mercado. Baseando-se nesta análise, decidiu-se realizara uma segunda bateria de testes (teste 2) a fim de melhorar a transferência de calor.

3.3 TESTE 2

Para segunda bateria de testes foi utilizado um dissipador para processadores AMD, o qual possui sua área de contato maior que a pastilha de Peltier é o que segundo Incropera et al. (2008), afetar^á positivamente a capacidade de transferência de calor, melhorando os resultados de resfriamento encontrados no teste 1. O *cooler* do dissipador trabalha com nível de tensão de 12 Vdc.

Neste experimento foram testadas uma pastilha tec1-12705, quatro pastilhas tec1-12706 e duas pastilhas tec1-12709. Todos os testes foram executados analogamente ao procedimento usado no Teste 1. Para verificar também a influência da tensão de alimentação sobre o comportamento dos componentes, foram feitas análises quando eles eram submetidos a uma tensão de 12 Vdc e posteriormente a 15,3 Vdc, e com isso verificar se com o aumento da potência aplicada também existe aumento do resfriamento. Os resultados são apresentados nas tabelas 6 e 7 respectivamente.

Tabela 6: Resultados do Teste 2 com alimentação 12 Vdc

Tec1-12705								
Tensão(Volts)		10,75		Resistência(OHMs)		4		
Corrente(Ampere)		3,28		Potência(Watts)		35,26		
Lado quente	35,6° C		Lado Frio	-9,5° C		Diferença de temp.	45,2° C	
Tec1-12706 n°1								
Tensão(Volts)		10,62		Resistência(OHMs)		3,6		
Corrente(Ampere)		3,88		Potência(Watts)		41,2		
Lado quente	39° C		Lado Frio	-7,5° C		Diferença de temp.	46,5° C	
Tec1-12706 n°2								
Tensão(Volts)		11,55		Resistência(OHMs)		8		
Corrente(Ampere)		1,48		Potência(Watts)		17,1		
Lado quente	35° C		Lado Frio	3,5° C		Diferença de temp.	31,5° C	
Tec1-12706 n°3								
Tensão(Volts)		10,83		Resistência(OHMs)		5,8		
Corrente(Ampere)		3,32		Potência(Watts)		35,95		
Lado quente	34,8° C		Lado Frio	-7,5° C		Diferença de temp.	42,3° C	
Tec1-12706 n°4								
Tensão(Volts)		10,55		Resistência(OHMs)		3,7		
Corrente(Ampere)		3,83		Potência(Watts)		40,4		
Lado quente	36° C		Lado Frio	-5,7° C		Diferença de temp.	41,7° C	
Tec1-12709 n°1								
Tensão(Volts)		10		Resistência(OHMs)		2,3		
Corrente(Ampere)		5,53		Potência(Watts)		55,3		
Lado quente	40° C		Lado Frio	6,6° C		Diferença de temp.	33,4° C	
Tec1-12709 n°2								
Tensão(Volts)		9,8		Resistência(OHMs)		2,7		
Corrente(Ampere)		5,56		Potência(Watts)		54,5		
Lado quente	44,4° C		Lado Frio	4,2° C		Diferença de temp.	40,2° C	

Fonte: Autoria própria.

Tabela 7: Resultados do Teste 2 com alimentação 15,3Vdc

Tec1-12705							
Tensão(Volts)		14		Resistência(OHMs)		4	
Corrente(Ampere)		4,16		Potência(Watts)		58,24	
Lado quente	34,5° C	Lado Frio	-7,5° C	Diferença de temp.	42° C		
Tec1-12706 nº1							
Tensão(Volts)		13,9		Resistência(OHMs)		3,6	
Corrente(Ampere)		4,74		Potência(Watts)		65,9	
Lado quente	40,7° C	Lado Frio	-2,5° C	Diferença de temp.	43,2° C		
Tec1-12706 nº2							
Tensão(Volts)		15,47		Resistência(OHMs)		8	
Corrente(Ampere)		1,93		Potência(Watts)		29,6	
Lado quente	29° C	Lado Frio	3,5° C	Diferença de temp.	25,5° C		
Tec1-12706 nº3							
Tensão(Volts)		14,1		Resistência(OHMs)		5,8	
Corrente(Ampere)		4,28		Potência(Watts)		60,3	
Lado quente	40,5° C	Lado Frio	-1,5° C	Diferença de temp.	42° C		
Tec1-12706 nº4							
Tensão(Volts)		13,82		Resistência(OHMs)		3,7	
Corrente(Ampere)		4,8		Potência(Watts)		66,33	
Lado quente	43° C	Lado Frio	4° C	Diferença de temp.	39° C		
Tec1-12709 nº1							
Tensão(Volts)		12,9		Resistência(OHMs)		2,3	
Corrente(Ampere)		6,65		Potência(Watts)		85,785	
Lado quente	49,6° C	Lado Frio	13,6° C	Diferença de temp.	36° C		
Tec1-12709 nº2							
Tensão(Volts)		12,8		Resistência(OHMs)		2,7	
Corrente(Ampere)		6,4		Potência(Watts)		81,92	
Lado quente	54,6° C	Lado Frio	16,9° C	Diferença de temp.	37,7° C		

Fonte: Autoria própria.

Por meio dos dados demonstrados nas tabelas 7 e 8, é notável que para os dois níveis de tensão utilizados, as pastilhas com maior potencial, Tec1-12709, atingiram níveis de resfriamento menores, em contrapartida a pastilha com potencial inferior obteve maior nível de resfriamento. Como a resistência da pastilha é fixa, quanto maior a tensão, maior será a corrente elétrica através da pastilha, fator responsável pelo aquecimento da mesma. Desta forma, concluiu-se que a temperatura está relacionada diretamente com o valor da corrente, principal responsável pelo grande aquecimento do lado quente da pastilha. Como a pastilha Tec1-12709 apresenta resistência interna menor que as outras ela opera com níveis corrente superiores, exigindo um dissipador com maior capacidade de dissipação de calor.

Os resultados também mostram baixa confiabilidade das pastilhas adquiridas, pois como pode ser visto no *datasheet* das pastilhas, elas deveriam possuir resultados próximos entre modelos iguais. As tabelas 6 e 7 apontam variação em mais de 100% da potência medida nas pastilhas de modelos iguais, isso se deve a resistência interna que na medição prática apresenta uma grande variação de pastilha para pastilha, o que não condiz com valores informados pelo fabricante.

O projeto visa à utilização do dispositivo em automóveis. A tensão fornecida por um veículo ao dispositivo sempre irá variar entre dois níveis, primeiro quando o veículo encontra-se com o motor ligado, sendo neste caso o valor da tensão igual ao nível gerado pelo alternador, o que na maioria dos carros é de aproximadamente 14,2 Vdc. No segundo caso, quando o veículo estiver desligado, a tensão de alimentação será igual ao nível da bateria. Uma bateria em boas condições deve sempre apresentar nível de tensão superior a 12 Vdc.

No do Teste 2 foi possível simular o comportamento das pastilhas como se estivessem sendo alimentadas pelo sistema elétrico de um veículo. A perda da capacidade de resfriamento é notável com pequenas variações na tensão, isso tudo devido ao limite do dissipador, assim, conclui-se que para a projeção do dissipador é aconselhável superdimensionar o dissipador no projeto.

Por fim, podemos considerar os resultados do teste 2 satisfatórios, pois foram atingidas temperaturas negativas no lado frio da pastilha, mostrando que é possível implementar esta pastilha em sistemas refrigerados, o que será mostrado no teste 3.

3.4 MODULO REFRIGERADO

A montagem do módulo refrigerado (figura 20) foi baseada nos resultados obtidos dos testes 1 e 2, pois eles mostram dois fatores devem ser considerados, a correta escolha do dissipador e o modelo adequado de pastilha para esta aplicação específica, neste caso a pastilha tec1-12705. Visando não gerar sobrecarga do dissipador foi adquirido um novo modelo com capacidade de dissipação térmica superior em relação ao utilizado no teste 2, o modelo escolhido foi o *Cooler ArcticAlpine 11 Plus*, que possui preço mais acessível entre *coolers* mais robustos.

Para montagem do módulo foi necessário fazer encaixes apenas na tampa da caixa de isopor, onde é acomodada a pastilha de Peltier. Como a pastilha possui 4 mm de espessura e a parede da caixa é de 15 mm foi necessário implementar um dissipador para auxiliar a transferência de calor no face fria da pastilha e acelerar o resfriamento, uma boa opção para esse caso são os dissipadores utilizados em placas mães de computadores *desktop* para dissipar calor dos seus *chipsets*. A figura 21 ilustra esta implementação.



Figura 20: Caixa térmica adaptada

Fonte: Autoria própria

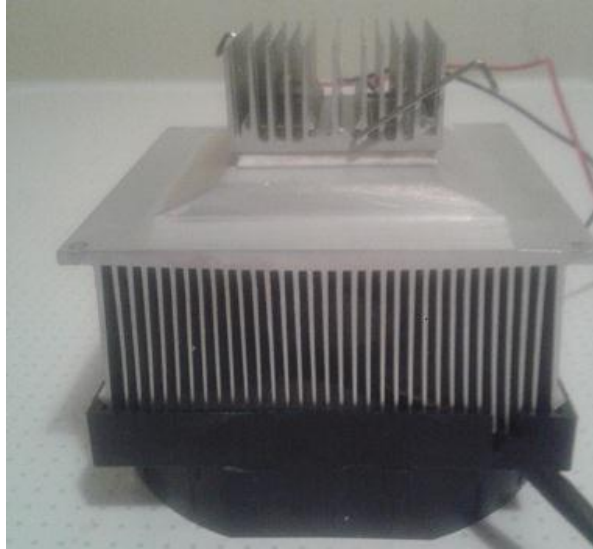


Figura 21: Implementação do dissipador no lado frio.

Fonte: Autoria própria.

A tabela 8 descreve os procedimentos para realização dos testes que são divididos em seis etapas, e são utilizados para os testes 3 e 4;

Tabela 8: Procedimentos para testes da caixa térmica

Passo	Descrição
1	Com um sensor de temperatura, adquirir a temperatura ambiente no momento do teste;
2	Com um sensor de temperatura monitorar quantos minutos o interior do módulo refrigerador levou para atingir temperatura de 8° C;
3	Com um sensor de temperatura monitorar quantos minutos o interior do módulo refrigerador levou para atingir temperatura de 2° C;
4	Desligar a fonte de alimentação e aguardar até que o interior do módulo refrigerado retorne a temperatura ambiente;
5	Com o interior do módulo na temperatura ambiente, ligar a fonte de alimentação e inserir no módulo um copo com 300 ml de água congelada e aguardar que a temperatura interna chegue a 5° C;
6	Remover o conteúdo do interior do módulo, aguardar 3 minutos e realizar medição para verificar se o módulo manteve a temperatura.

Fonte: Autoria própria.

O objetivo deste procedimento consiste em verificar o tempo de resfriamento do módulo, sua capacidade máxima, bem como forçar um resfriamento interno rápido com auxílio de água congelada e removendo-a assim que atingir uma temperatura desejada para observar se o módulo é capaz de manter temperatura interna.

3.5 TESTE 3.

O teste 3 consiste simplesmente em colocar em operação o módulo de refrigeração para verificar sua capacidade de resfriamento, a tabela 9 apresenta os resultados.

Tabela 9: Resultados teste 3.

Etapa	Resultado
1	Temperatura ambiente 24° C.
2	Não atingiu 8° C.
3	Não atingiu 2° C.
4	Módulo desligado e aguardado retorno do seu interior para temperatura ambiente.
5	Inserido água congelada no seu interior e aguardado atingir 5° C
6	Após atingir 5° C e retirar a água congelada o módulo não manteve temperatura, subiu rapidamente para 14° C.

Fonte: Autoria própria.

Os resultados do teste 3 apontam ineficiência do módulo para gerar resfriamento interno. Após duas horas de monitoramento o interior do módulo estabilizou sua temperatura em 16,5° C, gerando um resfriamento de apenas 7,5° C. Após a temperatura atingir 5° C a tampa do módulo foi aberta, notando-se que a temperatura interior elevou-se rapidamente para 14° C, mostrando que o módulo não consegue manter a temperatura interna. Kouren et al. (2010) aponta em suas pesquisas que ao adicionar uma camada de poliuretano é possível aumentar a

capacidade de isolamento de uma caixa de isopor, o teste 4 será realizado com o auxílio desta camada extra de isolante.

3.6 TESTE 4.

Os resultados obtidos no teste 3 mostram ineficiência do módulo como foi construído anteriormente. Para resolução do problema duas medidas foram tomadas, a primeira é a redução da área interna da caixa de isolamento de 3 litros para 1,3 litros e a segunda foi adicionar uma camada extra com material isolante conhecida como poliuretano, que segundo Kouren et al. (2010) possui capacidade isolante superior a do isopor, a figura 22 ilustra esta alteração.



Figura 22: Módulo adaptado com isolamento extra.

Fonte: Autoria própria.

O poliuretano expansível é aplicado através de uma lata aerossol que libera uma espuma, durante o período de secagem ela se expande e enrijece, sendo similar ao isopor, porém com rigidez superior. Para conseguir manter um padrão cúbico dentro da caixa, foi preciso confeccionar uma pequena caixa de Eucatex

(também conhecida como eucaplac) com dimensões de 7,5 cm de largura por 11 cm de altura por 16 cm de comprimento, totalizando 1,3 litros.

Na tabela 10 estão aponta os resultados utilizando esta metodologia.

Tabela 10: Resultados do teste 4.

Etapa	Resultado
1	22,1° C.
2	Atingiu 8° C após 45 minutos
3	Atingiu 2° C após 110 minutos
4	Módulo desligado e aguardando a temperatura do interior iguala-se a temperatura ambiente.
5	Inserido água congelada no seu interior e aguardado atingir 5° C, esta etapa consiste em forçar o resfriamento do interior do módulo para verificar se o mesmo está mantendo a temperatura, verificando assim seu isolamento.
6	Temperatura atingiu 5° C antes dos três minutos.

Fonte: Autoria própria.

Os resultados apresentados neste teste foram satisfatórios, indicando a capacidade da pastilha em resfriar uma pequena área e manter esta temperatura.

A temperatura no dissipador auxiliar que está instalado no lado frio da pastilha (figura 22), chegou a uma temperatura de -12,6° C. Após o encerramento do teste 4 o módulo permaneceu ligado e após 210 minutos ela atingiu 0,3° C.

Observa-se que com menos de duas horas o interior da caixa já apresentou um resfriamento de 20,1° C, entrando no limite máximo exigido pelo projeto que é 2° C, isso indica que a pastilha tem potencial. Um controle de potência poderia ser implementado no sistema para regulagem da temperatura e evitar que ela fique abaixo dos 2° C.

3.7 PREPARAÇÃO DA PLACA ARDUINO, DO LCD E SENSOR DE TEMPERATURA LM35.

Segundo Michael McRoberts (2011) o Arduino antes de qualquer programação para ser utilizado com seus periféricos de maneira que antes de conectarmos quaisquer outros periféricos as suas portas primeiro deve-se adicionar pequenos *softwares* que aqui serão chamados de bibliotecas. Essas bibliotecas tem o propósito de adequar os periféricos tais como: *LCDs*, sensores etc.. Para que funcionem corretamente, criando a comunicação e a troca de informações entre o Arduino e o periférico a ele conectado. Essas bibliotecas estão disponíveis para *download* no site do fabricante do periférico e também disponível no site do Arduino(<http://arduino.cc>).

3.8 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE PARA LEITURA DA TEMPERATURA.

Para a leitura da temperatura do projeto do módulo refrigerado usaremos além das bibliotecas padrões do Arduino mais duas bibliotecas, *Wire.h*, *LiquidCrystal_I2C.h*, esta última esta conjugado a biblioteca de configuração do *display* de *LCD* bem como do protocolo de comunicação *I2C*, adicionada no início do algoritmo na figura 23 que convenientemente será feito o *upload* no microcontrolador do Arduino. Para o sensor de temperatura LM35, não será necessário nenhuma biblioteca adicional pois a mesma já está inclusa no *software* padrão do Arduino, previamente instalado no computador.

```
// YWROBOT
// Compatible with the Arduino IDE 1.0
// Library version: 1.1
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

Figura 23: Inclusão das bibliotecas para o *Display*

Fonte: Autoria própria

No *software* do Arduino o ambiente de desenvolvimento também pode ser chamado de IDE (Ambiente Integrado de desenvolvimento) cujo o programa também pode ser chamado de *Sketch*, que tem base na linguagem de programação C e C++. Para o desenvolvimento do *software* para leitura da temperatura, além das bibliotecas já definidas, tem início a definição de algumas variáveis necessárias para o recebimento temporário de dados:

- `const int LM35 = A0;` Define o pino analógico do Arduino onde vai ser conectado ao pino de saída analógica do sensor LM35.
- `const int ledVerde = 12;` atribui a o nome *led Verde* a saída digital 12 do Arduino.
- `const int ledVermelho = 11;` atribui a o nome *led Vermelho* a saída digital 11 do Arduino.
- `const int BUFFER_SIZE = 500;` Quantidade leituras por segundo do sensor de temperatura, a fim de obter a média, tornando a medição mais precisa.
- `const int REFRESH_RATE = 2000;` Tempo de atualização entre as leituras em milissegundos.
- `const float CELSIUS_BASE = 0.4887585532746823069403714565;` Base para conversão das leituras analogias para conversão em Graus Celsius ($(5/1023) * 100$)
- `LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);` Seleciona o endereço hexadecimal 0x27 para o Arduino reconhecer o *display* de .

Função `void setup()` (Michael McRoberts 2011) que neste projeto tem somente quatro instrução para executar, que diz ao compilador do Arduino que será executada apenas uma vez, e que não retornara nenhum dado (*void*), representado por (). Seu propósito é preparar tudo que é necessário para que o programa funcione antes da execução do loop principal. Que neste projeto foi defino da seguinte maneira:

`void setup()`

- `pinMode(A0, INPUT);` Define o pino A0 do Arduino como entrada, que receberá as leituras do sensor de temperatura LM35.
- `pinMode(ledVerde, OUTPUT);` Define o pino digital 12 atribuído anteriormente a *ledVerde* como saída.

- *pinMode(ledVermelho, OUTPUT)*; o pino digital 11 atribuído anteriormente a *ledVermelho* como saída.
- *lcd.init()*; Inicialização do *display lcd*
- *lcd.backlight()*; Liga o *backlight* do *display lcd*
- *lcd.clear()*; Faz com que qualquer informação presente *display* o *lcd* seja eliminada preparando-o para as próximas leituras.

Função *void loop()* (Michael McRoberts 2011) A função *loop()* é a função principal do programa que é executada continuamente até que o Arduino seja desligado ou resetado. Qualquer instrução que estiver dentro da função *loop()*, ou (dentro das chaves) serão executadas uma de cada vez, passo a passo, até que se alcance o fim da função que então retornará ao início, e dessa maneira, repetindo-se infinitamente, até que o Arduino seja desligado ou o botão *Reset* pressionado.

3.9 SOFTWARE DE LEITURA DA TEMPERATURA.

Partindo do princípio que todas as bibliotecas, constantes, variáveis, definições de portas estejam corretamente configuradas, feito o *upload* no microcontrolador e o Arduino conectado a uma fonte de tensão Vdc, tem-se a execução do programa.

O *software* faz a leitura do sensor LM35 através da porta analógica do Arduino "A0" que previamente foi configurada como entrada, esses dados são armazenados numa variável inteira que foi definida como o nome *sensorValue1* (`int sensorValue1 = analogRead(A0)`), então através de outra variável chamada *readTemperature*, faz-se a multiplicação do valor de *analogRead(A0)* pela *constant CELSIUS_BASE*.

Outra *constant readTemperatureWithBuffer* do tipo *float analogRead(LM35)* trata os dados e faz o incremento através de um *for*. O valor de retorno dos dados já estão convertidos para graus Celsius, através da instrução *buffer/BUFFER_SIZE* * *CELSIUS_BASE* (O Valor obtido da *constant CELSIUS_BASE* é obtido através de um cálculo da seguinte maneira: O valor analógico do sensor LM35 que pode ser de 0 a 1023, multiplicado pela tensão 5Vcc e dividindo por 100, que seria a temperatura de 100° Celsius, valor máximo para este sensor). A instrução

`lcd.print(readTemperatureWithBuffer())` faz com que os dados já tratados sejam exibido no *display* de LCD.

O módulo de transportes de vacinas também dispõe de dois LEDs (diodo emissor de luz), um de cor verde que acenderá quando a temperatura interna do módulo estiver abaixo de 8° Celsius, e outro *LED* de cor vermelho que acenderá quando a temperatura estiver acima de 8° Celsius.

Os *LEDs* estarão conectados a placa do Arduino por meio das portas digitais A12 e A11 anteriormente configuradas para atuar como saída, e seu funcionamento será pela condição *IF* (se), que usará a variável *readTemperature*, que contém os valores das temperaturas lidas do sensor. Os valores de temperaturas a serem comparados com os da variável *readTemperature* foram previamente estabelecidos no código fonte para maior que oito, e menor que oito. De uma forma básica, podemos ilustrar o funcionamento do algoritmo através do fluxograma na figura 24.

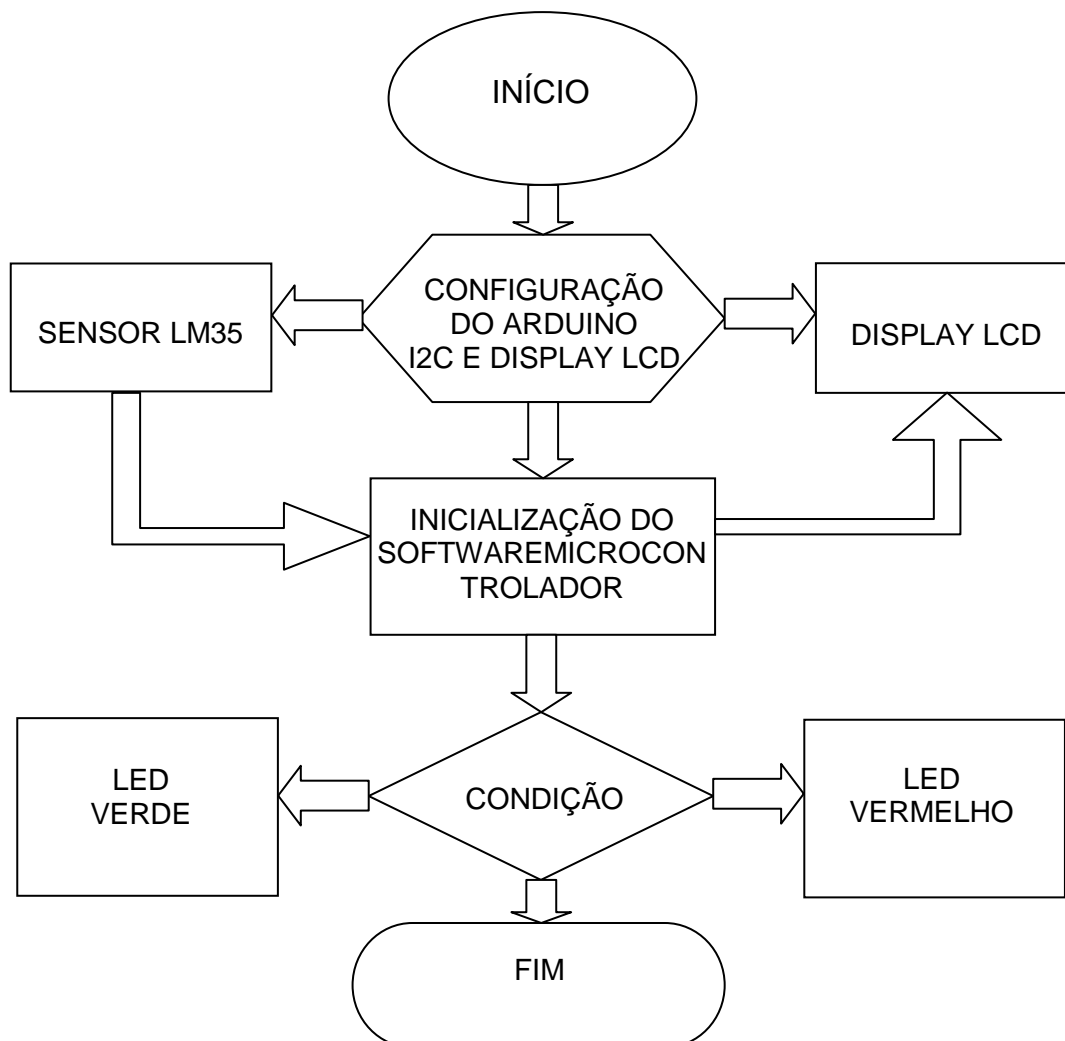


Figura 24: Fluxograma do *software* de leitura da temperatura

Fonte: Autoria própria.

3.10 CUSTOS

Aqui está descrito o custo dos principais itens que utilizados para a montagem de apenas um módulo e está demonstrado na tabela 11.

Tabela 11: Recursos por unidade.

ITEM	CUSTO UNITÁRIO (R\$)
Pastilha de Peltier	20,00
Programador Arduino	30,00
Processador ATMEGA328P-UP	15,00
Fonte de alimentação ATX 24 pinos	70,00
Cooler de computador com dissipador	45,00
Pasta térmica	5,00
Caixa de isopor tamanho médio	9,00
Sensor LM35	7,00
<i>Display LCD</i>	13,00
<i>Hardware I2C</i>	8,00
Dissipador <i>Chipset</i>	14,00
Lata Poliuretano	12,00
Total	248,00

Fonte: Autoria Própria

4 CONCLUSÃO

Com base nos estudos, procedimentos e resultados apresentados verificamos que o módulo refrigerado, utilizando pastilhas de Peltier para transporte de pequenos volumes é seguramente viável. Seu processo construtivo é relativamente simples e seu funcionamento é condizente com as necessidades da aplicação.

Deve se ressaltar também a importância deste projeto no âmbito acadêmico, pois a escassez de referências envolvendo a pastilha de Peltier fez com que fosse necessária a realização de variados testes, indicando dentre os vários resultados obtidos que, os dissipadores devem ter uma área de contato igual ou maior que a face da pastilha para ocorrer efetivo resfriamento. Entre o dissipador e a pastilha deve ser aplicado pasta térmica ou produto similar que auxilie na transferência de calor. Sobre o modelo de pastilha a ser utilizada, a mesma deve ser escolhida de acordo com as características do projeto, pois pastilhas com maior potencial demandam de dissipadores maiores, limitando sua aplicação em pequenos espaços. Para o caso estudado, por exemplo, o tamanho do módulo deve ser pequeno, limitando o tamanho do dissipador a ser usado.

Pesquisas e testes com códigos de programas para o Arduino, comunicação de *displays LCDs*, leituras de sensores de temperatura, acionamentos de entradas e saída digitais e analógicas do Arduino para controle de estado, e também PWM, indicam que essa tecnologia de baixo custo e de fácil implementação pode ser aplicada neste projeto.

À medida que os testes foram feitos, a fim de contornar os problemas encontrados, tanto o módulo quanto a pastilha, apresentavam aumento do resfriamento consideráveis, aproximando-se dos resultados desejados. Com base nos resultados apresentados no último teste o módulo atingiu $0,3^{\circ}\text{C}$ e ultrapassou a temperatura mínima esperada, superando as expectativas, os testes também mediram temperatura de $-12,6^{\circ}\text{C}$ no dissipador instalado na face fria da pastilha, mostrando que é possível aumentar sua refrigeração com novos projetos.

Como proposta de trabalho futuro existe a possibilidade de implementar um controle de potência por meio do PWM, pois a partir do momento que o módulo atinge a temperatura desejada, a atuação do PWM evitará que a temperatura fique abaixo do valor esperado, reduzindo o consumo de energia.

REFERÊNCIAS

Arduino Uno. Disponível em
<<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>> Acessado em 07 de nov. de 2014
<www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/.../Seraguci_Vinicius_Gomes.pdf> acessado em 07 de nov. de 2014.

Datasheet da pastilha de Peltier. Disponível em
<<http://www.hebeiltd.com.cn/peltier.datasheet/>> acessado em 11 de jan. 2014.

Datasheet da placa Arduino e modulação PWM. Disponível em
<<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>> acessado em 11 de jan. 2014.

Datasheet do *Chip* de controle PCF8574T. Disponível em
<http://www.nxp.com/documents/data_sheet/PCF8574.pdf> acessado em 11 de nov. de 2014.

FERNANDES, A E S dos S(2012). **Efeito Peltier**. Disponível em
<http://run.unl.pt/bitstream/10362/8084/1/Fernandes_2012.pdf> acessado em 11 jan. 2014.

FERNANDES et al. (2010). **Pastilha de Peltier**. Disponível em <<http://www.cefet-rn.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/383/321>> acessado em 11 jan. 2014.

INCROPERA, Frank P. Et al. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

LCD (Liquid Crystal Display). Disponível em
<<ftp://ftp.dca.fee.unicamp.br/pub/docs/ea079/complementos/Lcd.pdf>> acessado em 06 de nov. de 2014

McRoberts, Michael. **Arduino Básico**. São Paulo: Novatec Editora Ltda, 2011.

MELLO, Luiz Fernando Pereira de. **Projetos de fontes chaveadas**. São Paulo: Érica, 2011.

Memorando 127/12 da Secretaria da Saúde do estado do Paraná, sobre Orientação de aplicação das vacinas no estado. Disponível em:
<<http://www.sesa.pr.gov.br/arquivos/File/notatecnica devacinagripe completo.pdf>> acessado em 10 jan. 2014.

Pastilha Peltier em Módulos Refrigerados em Kouren et al. (2010). Disponível em
<<http://www.abcm.org.br/pt/wp-content/anais/conem/2010/PDF/CON10-0331.pdf>> acessado em 1º de nov. 2014.

Protocolo I2C de Comunicação. Disponível em

<<http://i2c.info/>> acessado em 11 de nov. de 2014.

<http://www.nxp.com/products/interface_and_connectivity/i2c/i2c_general_purpose_i_o/PCF8574T.html> acessado em 11 de nov. de 2014.

<<http://www.univasf.edu.br/~romulo.camara/novo/wp-content/uploads/2013/11/Barramento-e-Protocolo-I2C.pdf>> acessado em 06 de nov. de 2014.

Sensor LM35. Disponível em

<<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/nationalsemiconductor/DS005516.PDF>> acessado em 11 de jan. 2014.