

Vinicius Stefano Aguiar Gutierrez Duarte

**Estudo comparativo de medição de temperatura com
sensores termopar e sensor infravermelho**

São Carlos -SP

2018

Vinicius Stefano Aguiar Gutierrez Duarte

**Estudo comparativo de medição de temperatura com
sensores termopar e infravermelho**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à Escola de
Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo
Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em
Sistemas de Energia e Automação

ORIENTADOR: Prof.ºDr. Edson Gesualdo

São Carlos - SP
2018

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

D 785e	Duarte, Vinicius Stefano Aguiar Gutierrez Estudo comparativo de medição de temperatura com sensores termopar e infravermelho / Vinicius Stefano Aguiar Gutierrez Duarte; orientador Edson Gesualdo. São Carlos, 2018. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2018. 1. Sensores de Temperatura. 2. Arduino. 3. ESP 12-E. 4. Módulo Wireless. I. Título.
-----------	--

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Vinicius Stefano Aguiar Gutierrez Duarte

Título: “Estudo comparativo de medição de temperatura com sensores termopar e infravermelho”

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 05/06/2018,

com NOTA 5,0 (cinco, zero), pela Comissão Julgadora:

Prof. Assistente Edson Gesualdo - Orientador - SEL/EESC/USP

Mestre Elian João Agnoletto - Doutorando - SEL/EESC/USP

Mestre Heitor Vinicius Mercaldi - Doutorando - SEL/EESC/USP

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino

Dedico este trabalho aos meus pais e amigos.

Agradecimentos

À minha família que me apoiou em todas as decisões que tomei durante os anos de graduação, em especial à minha mãe Vânia Ferreira Aguiar ao meu irmão Victor Henrique e ao meu pai Henrique Gutierrez.

Ao Carlos Magnani por me proporcionar diversos conhecimentos.

À minha família da república, Guilherme Porto, Rafael Mariano, Rodrigo Rovere, Fabio Bilotto, Rafael Roque, William Nogueira, Levi Braquehais, Yukio Shiota, William Beckert, Matheus Perez, Thiago Moura, Ramon Mathias, Pedro Sugimoto, Matheus Pusinhol, Caio Martins, Luiz Mendes, Lucas Breder, Rodrigo Gallego, Vitor Moulaiabb, Leonardo Cunha, Alexandre Dib, Allan Specian, Daniel Faria, Gabriel Carrara.

À Larissa Rayel, que foi muito importante durante a minha graduação.

À todos os outros amigos que fiz durante a Faculdade, Débora Vasconcelos, Aldelir, Pedro Arantes, Vinicius Gaspar, Stefânia, Mayra, Meigarom, Rachid, Fabiano, Murilo, Ana Julia, Julia Lopes, entre outros.

Sumário

Lista de Figuras	- 13 -
Lista de Tabelas.....	- 15 -
Lista de Siglas	- 17 -
RESUMO	- 19 -
ABSTRACT.....	- 21 -
1. INTRODUÇÃO	- 23 -
1.1. Objetivo.....	- 23 -
1.2. Motivação.....	- 23 -
1.3. Organização do trabalho.....	- 23 -
2. FREIOS À DISCO	- 25 -
2.1. Freio à disco fixo.....	- 26 -
2.2. Freio à disco flutuantes :	- 26 -
2.3. Freios Baja	- 27 -
3. SENSORES DE TEMPERATURA	- 29 -
3.1. Termopares.....	- 29 -
3.1.1. Tensão Seebeck	- 29 -
3.1.2. Termopar tipo K	- 30 -
3.1.3. Termopar tipo E.....	- 31 -
3.1.4. Termopar tipo J	- 31 -
3.2. Pirômetros	- 31 -
3.3. Termistores.....	- 32 -
3.4. Sensores por InfraVermelho.....	- 32 -
4. MATERIAIS E MÉTODOS	- 34 -
4.1. Módulo Wifi ESP8266 ESP-12E	- 36 -
4.2. Instrumentação para medida de temperatura com termopar Tipo K	- 38 -
4.3. Instrumentação para medida de temperatura com sensor infravermelho	- 42 -
5. COMENTÁRIOS E DISCUSSÕES.....	- 46 -
6. CONCLUSÕES FINAIS.....	- 51 -
6.1. Acerca do Projeto.....	- 51 -
6.2. Trabalhos Futuros.....	- 51 -
7. BIBLIOGRAFIA.....	- 53 -
APÊNDICES	- 55 -
APÊNDICE A – Código para teste do funcionamento do Sensor IR.....	- 57 -
APÊNDICE B – Código para Teste com Termopar tipo K.....	- 59 -
APÊNDICE C – CÓDIGO PARA SENSOR IR E TERMOPAR.....	- 61 -
APÊNDICE D – ESPECIFICAÇÕES CONVERSOR MAX6675	- 63 -

Lista de Figuras

Figura 1 - Exemplo de freio à disco fixo.....	- 26 -
Figura 2 - Modelo de Freio à disco Flutuante	- 27 -
Figura 3 - Demonstração Efeito Seebeck - f.e.m. térmica AB	- 30 -
Figura 4 - Organograma	- 34 -
Figura 5 - Ilustração do termopar tipo K utilizado.....	- 35 -
Figura 6 - Ilustração do sensor infravermelho MLX90614 utilizado.....	- 35 -
Figura 7 - Multímetro Victor VC9808+.....	- 36 -
Figura 8 - ESP8266 NodeMCU ESP-12	- 37 -
Figura 9 - ESP8266 ESP12-E.....	- 37 -
Figura 10 - A tensão de Seebeck é gerada apenas nos segmentos momentaneamente não isotérmicos b-c e d-e, à medida em que são movidos para dentro do banho.	- 38 -
Figura 11 - Diagrama de medição com termopar. As molduras ao redor das junções indicam que elas estão numa situação isotérmica e que nenhuma tensão é produzida ali	- 39 -
Figura 12 - Organograma ilustrando a base de leitura utilizando o termopar tipo K.....	- 40 -
Figura 13 - Conversor MAX6675	- 42 -
Figura 14 – Ideia geral de conexão do sensor MLX90614	- 43 -
Figura 15 - Esquemático do sistema de medição.	- 44 -
Figure 16 - Componentes Utilizados. 1 – Voltímetro; 2 – Sensor Infravermelho; 3 – Módulo Microcontrolador NodeMCU ESP8266-12; 4 – Conversor MAX6675; 5 – Termopares tipo K.....	- 45 -
Figura 17 - Interface do Arduino durante funcionamento do sistema.....	- 45 -
Figure 18 – Gráfico Temperatura x Intervalos de tempo para o termopar tipo K conectado ao multímetro.....	- 46 -
Figure 19 - Gráfico Temperatura x Intervalos de tempo para o termopar tipo K conectado ao microcontrolador.	- 47 -
Figure 20 - Gráfico Temperatura x Intervalos de tempo para o sensor infravermelho	- 47 -
Figure 21 – Comparativo entre os gráficos gerados.....	- 48 -
Figure 22 - Gráfico para verificação da eficácia do sistema de medição criado.....	- 49 -
Figura 23 - Gráfico padrão mV x °C dos termopares.....	- 49 -

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Parcial dos dados obtidos	- 50 -
--	--------

Lista de Siglas

RAM – Random Access Memory

GPIO – General Purpose Input/Output

SOC – System On a Chip

NTC – Negative Temperature Coefficient

PTC – Positive Temperature Coefficient

IV – Infra-Vermelho

ADC – Analog-to-Digital Converter

PWM – Pulse-Width Modulation

I2C – Inter-Integrated Circuit

SMBus – System Management Bus

TWI – Two Wire Interface

IDE – Integrated Development Environment

SPI – Serial Peripheral Interface

UART - Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

ROM – Read Only Memory

I/O – Input/Output

DSP – Digital Signal Processor

HW – Hardware

RISC - Reduced Instruction Set Computer

F.E.M – Força Eletromotriz

USB – Universal Serial Bus

SCK - Serial Clock Input

CS - Chip Select.

SO - Serial Data Output

RESUMO

Este projeto tem como objetivo o estudo comparativo de medição de temperatura com sensores termopar e infravermelho. Os dados coletados pelos sistemas possibilitam análises acerca da confiabilidade do sistema projetado, utilizando como padrão um voltímetro comercial, partindo-se do pressuposto de que testes de calibração válidos e controlados foram efetuados no mesmo. Através de um sistema composto pelos sensores de temperatura, conversores e microcontroladores, foi possível atingir o objetivo de forma eficaz, como será descrito neste projeto. À fim de obter-se uma comparação mais realista, criou-se um código para a leitura simultânea do termopar e do sensor infravermelho no sistema Arduino, facilitando os testes e a validação deste projeto. Os resultados obtidos foram satisfatórios, demonstrando a eficácia dos dispositivos utilizados, concluindo-se a viabilidade do projeto e sua possível utilização em trabalhos futuros.

Palavras-chaves: Sensores de Temperatura, Arduino, Módulo *wireless*, ESP-12e.

ABSTRACT

This project aims at the comparative study of temperature measurement with thermocouple and infrared sensors. The data collected by the systems allow for the analysis of the reliability of the designed system, using as standard of a commercial voltmeter, based on the assumption that valid and controlled calibration tests were carried out on the same. Through a system composed of temperature sensors, converters and microcontrollers, it was possible to achieve the objective effectively, as will be described in this project. In order to obtain a more realistic comparison, a code was created for the simultaneous reading of the thermocouple and the infrared sensor in the Arduino system, facilitating the testing and validation of this project. The results were satisfactory, demonstrating the effectiveness of the devices used, concluding the feasibility of the project and its possible use in future works.

Keywords: Temperature sensors, Arduino, wireless module, ESP-12e.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Objetivo

Este projeto consiste nas validações de um sistema de medição de temperatura, utilizando e comparando os sensores termopar e infravermelho.

O intuito deste trabalho está vinculado à análise de uma nova metodologia e comprovação da eficácia da mesma, comparado à um sistema já existente, visando a possibilidade de sua implementação em diversos projetos de competição automobilística do campus.

1.2. Motivação

A ideia do trabalho se apoiou no fato de que a tecnologia está sempre presente em competições como as dos veículos Baja. Todos os anos as equipes são incentivadas a apresentar inovações tecnológicas e práticas para ganhar pontos e conseguir alcançar o objetivo final: vencer a competição.

Inicialmente desenvolvido durante o primeiro semestre de 2017, consiste em um estudo comparativo entre sensores de temperatura, visando uma futura utilização para medição da temperatura das pastilhas de freio semi-metálicas de um veículo Baja.

A proposta era a de estudar quais sensores poderiam ser utilizados no veículo em diversas situações, sendo elas para testes na oficina ou no asfalto ou até mesmo durante uma competição, onde o veículo estaria sujeito à intempéries tais como chuva e barro. As funcionalidades escolhidas para o projeto foram: medição de temperatura com termopares e sensores infravermelho e conversão de sinais elétricos. Esses periféricos estavam ligados à dois processadores. O microcontrolador ESP8266-12 e um computador com Arduino instalado.

1.3. Organização do trabalho

Esta monografia será dividida da seguinte forma: O capítulo 2 apresenta uma breve explicação sobre freios à disco em geral e os freios utilizados no veículo, o Capítulo 3 detalha alguns dos sensores de temperaturas existentes e que poderiam ser utilizados no projeto, o Capítulo 4 apresenta os materiais escolhidos e métodos utilizados durante o projeto, detalhando a implementação do *hardware* e do *software* e discussões acerca dos resultados obtidos. No capítulo 5, finalmente encontram-se as

conclusões acerca dos trabalhos realizados. Ao final da monografia estão as referências bibliográficas citadas e os apêndices.

Durante o primeiro semestre, o objetivo era estudar os sensores e os problemas que a equipe de Baja SAE da Escola de Engenharia de São Carlos encontravam ao tentar obter as medidas de temperatura das pastilhas.

Para o segundo semestre, após definidos os materiais que seriam utilizados no projeto, com *hardwares* e *softwares* prontos, as tarefas consistiram em realizar testes de validação dos componentes para que os mesmos pudessem ser acoplados e utilizados de forma eficiente pela equipe. Exemplos de questões abordadas nessa época foram de como instalar os sensores no veículo de forma que o mesmo resistisse às competições e de como transmitir os dados em tempo real.

2. FREIOS À DISCO

Segundo **INGRAM (1983)** já no início da década de 60, alguns veículos já eram equipados com freios à disco, como ônibus urbanos e rodoviários, utilizando-os nos eixos dianteiro e traseiro.

Com o sucesso advindo dessa inovação tecnológica, diversas fábricas começaram a considerar o uso desse tipo de freio nos projetos de ônibus e caminhões. Entretanto, apesar desse grande avanço tecnológico, a vida útil das pastilhas de freio nesse tipo de veículo não agradava, durando aproximadamente entre 16 e 24 mil km, quando se esperava uma vida útil de 120mil km. Devido a esse fato, na década seguinte, aqueles começaram a ser instalados em veículos mais leves, reduzindo o desgastes dos discos e aumentando a vida útil.

De modo geral, os freios à disco apresentam algumas vantagens no desempenho dos veículos. Segundo **IOMBRILLER (2002)** são algumas dessas vantagens: facilidade de operação devido à menores variações na frenagem com as mudanças de velocidade; manutenção da eficiência mesmo em altas temperaturas pois a redução da força de frenagem é pequena mesmo após repetidas aplicações do freio; possuir curva de torque plana, com uma leve mudança da força de frenagem durante a aplicação dos freios; possuir maior força de frenagem, característica usada por fabricantes de veículos pesados para aumentar o desempenho e reduzir a distância de frenagem; sua insensibilidade ao coeficiente de fricção da pastilha, efeito que é bom para a estabilidade do veículo e para manter constante a força de frenagem. Todavia, torna-se necessário que se apresente algumas características que definam o seu projeto, entre elas o desempenho mecânico, o desempenho térmico, a durabilidade e o acondicionamento.

Diversos pesquisadores já realizaram a comparação entre os freios à disco e os freios à tambor. De acordo com **GOHRING & VON GLASNER (1988)**, uma das características significativas nessa comparação, é a facilidade de troca de pastilhas nos freios à disco, porém os mesmos viam como desvantagem o desgaste das mesmas. Já **NEWCOMB & MILLNER (1965)**, destacam a capacidade de resfriamento. Dentre os resultados obtidos, os freios à disco dianteiros resfriavam-se cerca de 25% mais rápido que os de tambor. E por último, **GOHRING & VON GLASNER (1990)**, concluíram que os freios à tambor sofrem uma redução no torque de 14% a mais que os freios à disco ao se aumentar a temperatura inicial e a velocidade de frenagem, e além disso, sob condições de superaquecimento, os freios à tambor apresentaram uma redução de 51% no torque a uma temperatura de 580°C contra uma redução de 15% no torque a uma temperatura de 750°C nos freios à disco.

Pôde-se concluir portanto que os freios à disco são muito mais eficazes que os à tambor. A disposição do freio no conjunto da roda pode ser dividida em freio à disco do tipo fixo ou tipo flutuante.

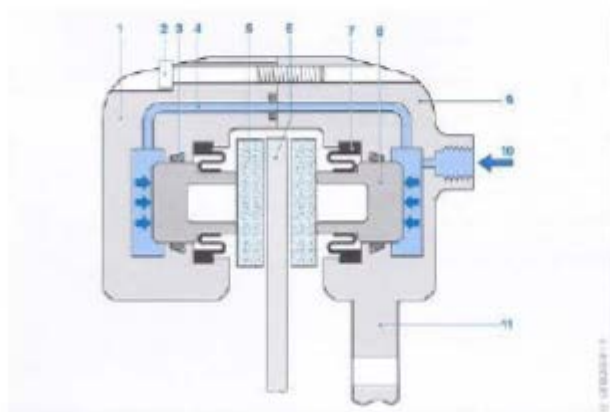
2.1. Freio à disco fixo

O freio à disco fixo pode possuir dois ou mais êmbolos em lados opostos que movimentam as pastilhas contra o disco ao se aplicar a pressão hidráulica conforme mostra a figura 1.

São mais robustos que os do tipo flutuante. A vantagem desse tipo de freio se dá por ter um desgaste das pastilhas interna e externa mais balanceado e com baixo desgaste cônico além de não existir pressão de contato residual.

Como desvantagem, eles podem vir a gerar vazamentos cujo modo de falha é considerado de grau alto para severidade e muito alto no quesito concorrência dentro da competição.

Figura 1 - Exemplo de freio à disco fixo



(1) carcaça externa; (2) parafuso de junção; (3) anel de vedação; (4) canal de fluido;
(5) pastilha de freio; (6) disco de freio; (7) guarda-pó de borracha; (8) êmbolo;
carcaça interna flangeada; (10) furo de alimentação do fluido; (11) flange de montagem

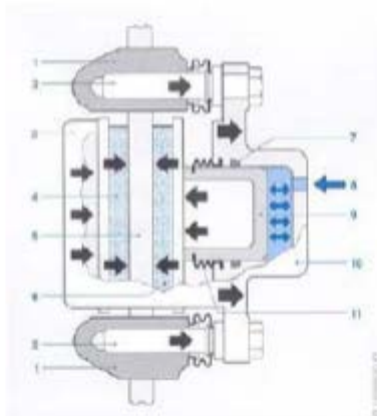
(KAWAGUCHI, 2007)

2.2. Freio à disco flutuantes :

Os freios à disco flutuantes são de fácil instalação nas rodas pois não possuem pistões do lado externo. São mais leves e possuem menor quantidade de peças (de vedação, êmbolos, conexões e outros). Possuem um maior potencial de torque residual decorrente do arraste da pastilha e um melhor ajuste na distância entre a pastilha e o disco, juntamente com o retorno da pinça, o que acarreta um menor nível de vibrações. Entretanto, apresentam mais ruídos que os fixos (YOSHIDA, 2013).

Opta-se por esse sistema devido aos quesitos avaliados nas competições.

Figura 2 - Modelo de Freio à disco Flutuante



(1) suporte; (2) pino-guia; (3) carcaça; (4) pastilha de freio externa; (5) disco de freio;
(6) pastilha de freio interna; (7) anel de vedação; (8) furo de alimentação do fluido;
(9) êmbolo; (10) carcaça; (11) guarda-pó de borracha.

(KAWAGUCHI, 2007)

2.3. Freios Baja

Segundo a **EESC USP BAJA SAE** dentre os tipos de freio citados, a Equipe após realizar diversos estudos, decidiu utilizar em seu carro freios à disco flutuantes devido à diversos fatores:

- Maior eficiência na frenagem por suportar temperaturas mais altas
- Estrutura ser aberta facilitando o seu resfriamento devido ao fluxo de ar
- Dilatação axial na direção das pastilhas aumentando a pressão de contato
- Maior sensibilidade por não possuir efeito autoenergizante
- Menor peso
- Manutenção mais simples
- Melhor desempenho em ambientes úmidos.

A pinça do freio foi projetada para trabalhar com pastilhas de motocicleta CG – 125 Titan da Honda, de material semi metálico, sendo considerado para essa escolha, o coeficiente de atrito do material, sua disponibilidade no mercado e seu custo.

Informações da equipe sobre testes feitos através de medições da temperatura por câmaras térmicas (os quais não foram documentados pela equipe), constataram que as pastilhas chegavam a temperaturas próximas a 310°C, o que levou à utilização dos sensores escolhidos para esse projeto e que serão descritos nos capítulos que se seguem.

3. SENSORES DE TEMPERATURA

Sensores são dispositivos eletrônicos capazes de captar informações do ambiente e de objetos e de transformá-las em sinais elétricos que podem ser interpretados por um computador.

Existem diversos tipos de sensores de temperatura, termopares, termistores NTC e PTC, pirômetros, termômetros à expansão de gás, termorresistências, termômetros de vidro e bimetálicos.

Neste capítulo serão citados termopares, termistores, pirômetros e sensores por infravermelho, considerados de maior importância e relevância para o estudo realizado.

3.1. Termopares

São sensores de construção simples e por isso são de baixo-custo o que os torna muito populares.

Eles funcionam através da junção de dois metais diferentes em um mesmo ponto, sendo possível verificar uma diferença de potencial nas pontas livres do termopar ao se modificar a temperatura da junção.

As diferentes ligas metálicas dos termopares geram diferentes faixas de medição, algumas mais comuns são expressas por letras, como os tipos K, E e J (**BORCHARDT, 1979**).

Há diversos tipos de encapsulamentos dos termopares, porém todos tem o mesmo princípio de funcionamento, alguns deles serão exemplificados abaixo.

Antes de apresentarmos alguns dos tipos de termopares, devemos citar o efeito Seebeck, que é de extrema importância para que seja possível entender o funcionamento dos mesmos.

3.1.1. Tensão Seebeck

O efeito Seebeck (1821) - demonstrado na figura 3 - pode ser descrito por uma corrente elétrica que flui em um circuito contínuo de dois metais se as junções entre eles estão em temperaturas diferentes. Dois efeitos termoelétricos se combinam para produzir a corrente observada por Seebeck.

i) Efeito Peltier (1834): uma corrente elétrica fluindo através da junção de dois metais diferentes faz com que seja liberado ou absorvido calor. A direção de fluxo de calor depende da direção da corrente. A taxa de fluxo de calor é proporcional à corrente, mas depende também da temperatura e dos materiais usados.

ii) Efeito Thomson: quando uma corrente elétrica flui em um material homogêneo no qual existe um gradiente de temperatura, calor é liberado ou absorvido, dependendo da direção da corrente, o que depende também da temperatura e do material.

A f.e.m gerada é proporcional à diferença entre as temperaturas e à diferença entre as constantes de transporte térmico dos materiais empregados conforme a equação abaixo:

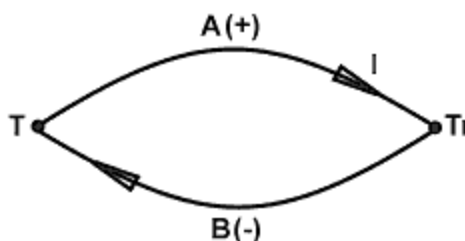
$$E = \int_{T_1}^{T_2} (Q_A - Q_B) dT$$

Sendo,

T_1 e T_2 : temperatura das junções em “K”.

Q_a e Q_b : constantes de transporte térmico dos metais A e B.

Figura 3 - Demonstração Efeito Seebeck - f.e.m. térmica AB



(Fonte: http://www.termopares.com.br/teoria_sensores_temperatura_termopares_efeito_seebeck/ .

Acesso em 04/06/2018)

3.1.2. Termopar tipo K

O termopar tipo K é formado pela junção de Alumel e Cromel . Seu termo elemento positivo é o Cromel e o negativo o Alumel com faixa de utilização variando entre -270°C à 1200°C e tensão produzida entre $-6,458\text{mV}$ a $48,838\text{mV}$.

É um termopar de uso genérico, baixo custo e com sensibilidade de aproximadamente $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.
(MUNDO DA ELÉTRICA, 2016)

3.1.3. Termopar tipo E

O termopar tipo E é formado pela junção de Constantan e Cromel. Seu termo elemento positivo é o Cromel e o negativo o Constantan. Sua faixa de utilização varia entre -270°C até 1000°C , e tensão produzida entre $-9,835\text{mV}$ a $76,373\text{mV}$. Esse sensor tem uma sensibilidade elevada, aproximadamente $68\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ o que o torna adequado para baixas temperaturas. (MUNDO DA ELÉTRICA, 2016)

3.1.4. Termopar tipo J

O termopar tipo J é formado pela Junção de Constantan e ferro. Seu termo elemento positivo é o Ferro e o negativo o Constantan. Sua faixa de utilização varia entre -40°C até 760°C , com uma tensão produzida entre $-8,096\text{mV}$ a $42,919\text{mV}$. Esse sensor tem uma sensibilidade de aproximadamente $50\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$. (MUNDO DA ELÉTRICA, 2016)

3.2. Pirômetros

O termo "pirômetro" (do grego pyros, fogo) foi originalmente atribuído a todos os instrumentos destinados à medição de temperaturas acima da incandescência (aproximadamente 550°C). Os primeiros pirômetros foram construídos por Henri-Louis Le Châtelier em 1892, quando já recebeu o nome de pirômetro ótico. Pirômetros são sensores de temperatura que utilizam como informação a radiação eletromagnética emitida pelo corpo a medir. Todo corpo, com temperatura superior a 0 Kelvin, emite radiação eletromagnética com uma intensidade que depende de sua temperatura. A intensidade também varia com o comprimento de onda, sendo que a principal parcela está entre os comprimentos de onda de $0,1$ a $100\mu\text{m}$. Nessa faixa a radiação eletromagnética é chamada radiação térmica. Dentro desse espectro encontra-se a luz visível (de $0,3$ a $0,72\mu\text{m}$) e o infravermelho ($0,72$ a $100\mu\text{m}$). Os pirômetros são sensores que não necessitam de contato físico, diferente dos outros sensores, podendo ser divididos em duas classes distintas: i - os pirômetros óticos, que atuam dentro do espectro visível; ii - os pirômetros de radiação, que atuam numa faixa de comprimento de onda mais amplo (do visível ao infravermelho curto).

Na indústria esse tipo de medidor é aplicado em processos de temperatura muito alta e em situações em que os locais para medição são de difícil acesso, como em processos de fabricação: metais e tratamento térmico, vidro, alimentos, cura e secagem de pinturas, em manutenção de fabricas e

instalações: motores, bombas e mancais, entre outras, também é usado para medir temperaturas médias de grandes superfícies. (FERNANDES, 2014)

3.3. Termistores

Termistores são dispositivos elétricos que tem sua resistência elétrica alterada através da temperatura.

Os termistores são amplamente utilizados como sondas de temperatura em aplicações industriais, em aparelhagem médica, em eletrodomésticos, em instrumentação para investigação científica, no setor automobilístico, em telecomunicações, em aplicações militares e para controlar as temperaturas de dispositivos eletro-eletrônicos como alarmes, termômetros, relógios e dissipadores de calor, etc.

Existem dois tipos básicos de termistores, o PTC que aumenta sua resistência com o aumento da temperatura e o NTC que diminui sensivelmente a sua resistência elétrica com o aumento da temperatura. (AGUSTI, 2017)

3.4. Sensores por InfraVermelho

Os modelos mais simples de termômetros por infravermelho possuem uma lente utilizada para focar a energia infravermelha (IV) presente no detector, convertendo-a em um sinal elétrico que pode ser exibido em unidades de temperatura, após a compensação da variação da temperatura ambiente.

Isso facilita a medição da temperatura à distância, sem que haja contato com o objeto a ser medido tornando-o útil para a medição da temperatura em condições onde termopares ou outros sensores do tipo de sonda não podem ser utilizados ou não fornecem dados exatos por diversas razões, por exemplo, quando o objeto a ser medido encontra-se em movimento; ou esteja cercado por um campo eletromagnético, como ocorre na indução de aquecimento; quando esteja contido em um vácuo ou em outra atmosfera controlada; ou mesmo, em aplicações onde seja necessário rápido tempo de resposta.

A faixa IV localiza-se entre a porção visível do espectro e as ondas de rádio. O espectro IV estende-se de 0,7 a 1000 micrômetros porém, só se utiliza a banda de 0,7 a 20 micrômetros para a medição de temperatura. Isso ocorre porque os detectores de infravermelho atualmente disponíveis para a indústria não são sensíveis o suficiente para detectar as quantidades muito pequenas de energia disponíveis em comprimentos de onda superiores a 20 micrômetros.

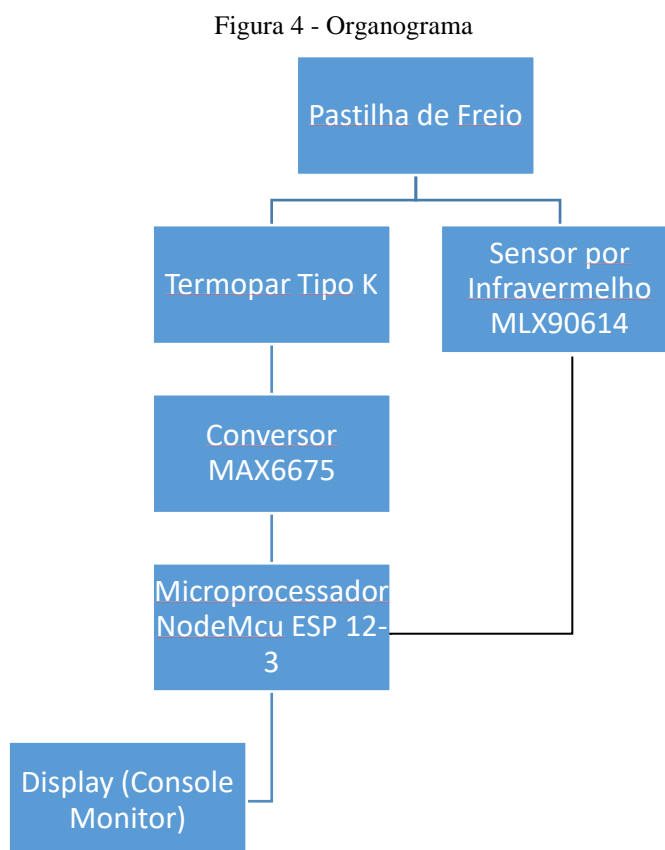
Para cada tipo de material, utiliza-se um sensor com uma resposta espectral em uma banda diferente, por exemplo, um sensor com uma resposta em comprimento de onda de 1 micrômetro, é utilizado para medir metais e lâminas metálicas.

A intensidade da energia IV emitida por um objeto aumenta ou diminui, proporcionalmente à sua temperatura. É a energia emitida, corrigida de acordo com a emissividade do material, que indica a temperatura do objeto. Os termômetros IV possuem ajuste da emissividade, normalmente de 0,1 a 1,0, o que permite a medição precisa da temperatura de diversos tipos de superfície. Ao atingir o Sistema óptico do instrumento, a energia emitida é conduzida para um ou mais detectores fotossensíveis. O detector converte essa energia IV em um sinal elétrico que, por sua vez é convertido em um valor de temperatura. Este valor de temperatura pode ser indicado no *display* do termômetro ou, no caso de sensores inteligentes, ser convertido em um sinal digital e indicado num terminal de computador. **(OXIGÊNIO, 2014).**

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão abordados todos os materiais utilizados para realização do projeto, bem como as práticas para validação do mesmo.

A figura 4 abaixo, retrata a organização do experimento, utilizando os dois sensores conectados ao mesmo microprocessador.



(Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018)

Para realização dos testes, utilizou-se um termopar tipo K da Hikari, que pode ser comprado através da internet por aproximadamente R\$10,00 (Figura 5), um sensor por infravermelho da empresa melexis com valor aproximado de R\$20,00 (Figura 6), um conversor ADC para o termopar por aproximadamente R\$25,00 (figura 13) e um módulo microprocessador (Figura 8) por aproximadamente R\$30,00.

Já para validação do projeto utilizamos o multímetro comercial VICTOR VC9808+ que possui uma precisão de $\pm 1.0\% + 4D < 400^{\circ}\text{C}$; $\pm 1.5\% + 15D > 400^{\circ}\text{C}$ e resolução de 1°C (Figura 7) e custa aproximadamente R\$200,00.

Figura 5 - Ilustração do termopar tipo K utilizado



(Group, 2018)

Figura 6 - Ilustração do sensor infravermelho MLX90614 utilizado



(AuBreey, 2018)

Figura 7 - Multímetro Victor VC9808+



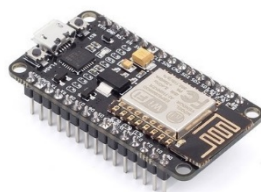
(Gemini, 2018)

Os próximos capítulos irão abordar de forma mais detalhada como os testes foram realizados bem como a descrição dos componentes.

4.1. Módulo Wifi ESP8266 ESP-12E

Com o crescente avanço da tecnologia, se vê o surgimento de diversos dispositivos móveis e conectados à internet. Dentre os inúmeros módulos que surgiram recentemente para explorar o surgimento da internet das coisas (“IoT”), o que mais se destaca é o ESP-8266, da empresa “ESPRESSIF” apresentado na Figura 9 juntamente à uma placa de desenvolvimento (EMBARCADOS, 2015), cujas características serão apresentadas abaixo.

Figura 8 - ESP8266 NodeMCU ESP-12



(EMBARCADOS, 2015)

O ESP8266 NodeMCU ESP-12 (figura 8) consiste em uma placa que une o ESP8266, um chip de arquitetura de 32 bits com wifi integrado, a um regulador de tensão 3,3V e a uma interface usb-serial. A programação pode ser feita usando LUA – linguagem de programação projetada para estender aplicações - ou a IDE do Arduino, utilizando a comunicação via cabo micro-usb.

O módulo possui antena embutida e conector micro-usb para conexão ao computador, além de 11 pinos de I/O e conversor analógico-digital.

A programação do módulo é simples, sendo necessário apenas ligar um cabo USB que também serve como alimentação para o circuito.

Figura 9 - ESP8266 ESP12-E



(EMBARCADOS, 2015)

O módulo se destaca por ser muito compacto (9 x 25,5 x 7 mm), de preço muito baixo (aproximadamente R\$10,00) e pela extrema capacidade de ser integrado a diversas situações.

Abaixo seguem algumas características do ESP8266:

- Módulo WIFI padrão 802.11 BGN, com funções de estação e ponto de acesso.
- Processador: Tensilica L106 32-bit microcontroller, 16-bit RISC, o clock speed é 80 MHz

- Possui arquitetura RISC de 32 bits ,64 KB de memória RAM de instruções, 96 KB de dados e 64kb de ROM para boot.
- Flash QSPI Externo - de 512 KB a 4 MB
- Interfaces: UART/SDIO/SPI/I2C/I2S/GPIO/ADC/PWM
- Protocolos de Rede: IPv4, TCP/UDP/HTTP/FTP

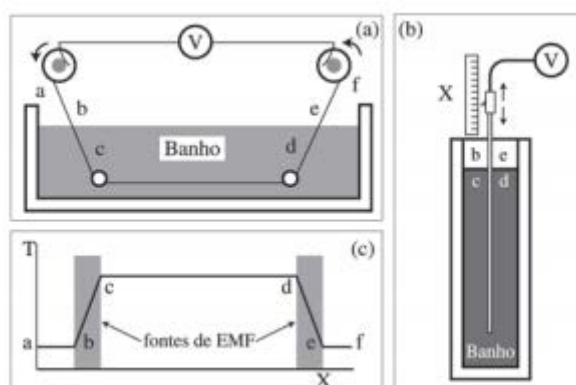
4.2. Instrumentação para medida de temperatura com termopar Tipo K

Há mais de um modo de se utilizar um termopar para medição de temperatura. O primeiro deles consiste em utilizar uma junção de referência. Para isso, alguns detalhes da sua instalação requerem extrema atenção para que se possa garantir a correta indicação da temperatura:

- É necessário garantir que a junção de medição esteja em uma condição isotérmica. Deve-se imergir o termopar a uma profundidade adequada (entre 5 e 15 vezes seu diâmetro externo – incluindo as proteções).
- O transdutor responde a um gradiente de temperatura, portanto ele deve ser conectado a dois sistemas físicos cada um em uma temperatura.
- A junção de referência deve ser isotérmica para propiciar uma temperatura conhecida e auxiliar na obtenção de uma interface do sinal, que isola o sensor da instrumentação.

Os principais aspectos de uma medição com termopar são ilustrados na figura 10 abaixo:

Figura 10 - A tensão de Seebeck é gerada apenas nos segmentos momentaneamente não isotérmicos b-c e d-e, à medida em que são movidos para dentro do banho.

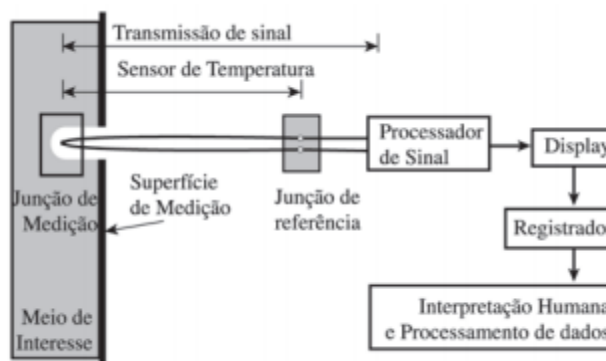


(Fonte: MOREIRA, 2003)

Para se medir temperatura com termopares, segundo **MOREIRA (2003)** são necessários dois tipos de medição: a tensão do termopar e a temperatura da junção de referência. A necessidade de se conhecer a temperatura da junção de referência torna a instrumentação para termopares complicada sendo necessária a utilização de diversos métodos para tornar esses instrumentos convenientes para o uso. Para garantir confiança na medição com termopar, os seguintes passos devem ser cumpridos:

- a) Uma junção de referência isotérmica deve ser estabelecida;
- b) Conhecer a temperatura da junção de referência;
- c) Usar as tabelas padronizadas ou as funções de referência para determinar a tensão Seebeck na temperatura da junção de referência;
- d) Fazer uma medição exata da tensão Seebeck do termopar;
- e) Somar as duas tensões;
- f) Usar as tabelas padronizadas ou as funções de referência para determinar a temperatura medida.

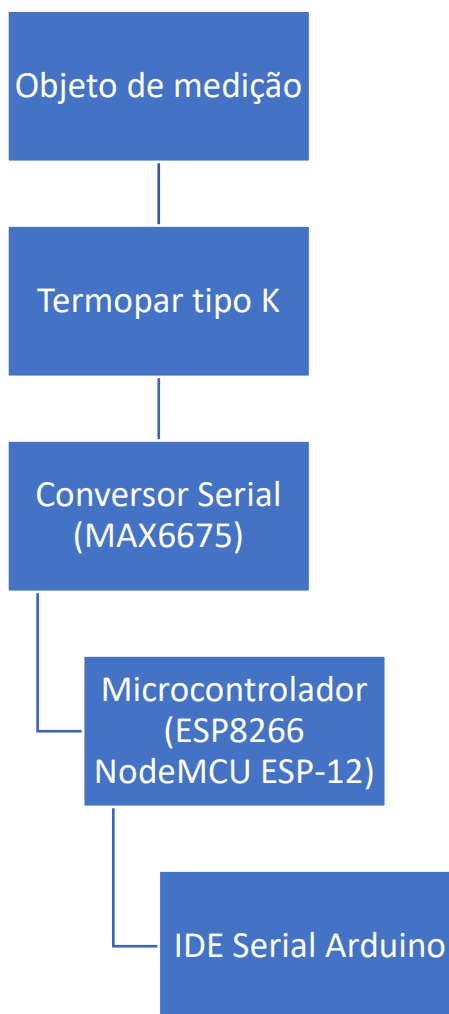
Figura 11 - Diagrama de medição com termopar. As molduras ao redor das junções indicam que elas estão numa situação isotérmica e que nenhuma tensão é produzida ali



(Fonte: MOREIRA, 2002)

Com o avanço da tecnologia, esse processo de medição de temperatura utilizando o termopar, pode ser substituído utilizando o conversor Serial MAX6675. Dessa forma, podemos diminuir o diagrama de blocos, deixando-o como na figura 12 abaixo:

Figura 12 - Organograma ilustrando a base de leitura utilizando o termopar tipo K



(Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018)

O conversor realiza a compensação de junção fria, a correção de linearidade e detecção de defeito do termopar e utiliza somente a comunicação SPI de três fios, mais uma sonda termopar. Este é projetado para trabalhar em conjunto com um microcontrolador externo e seu resultado de medição pode ser exibido em uma IDE serial Arduino. Nele está incluso um *hardware* de condicionamento de sinal para converter o sinal do termopar em uma tensão compatível com os canais de entrada do microcontrolador. As entradas T+ e T, conectam-se aos circuitos internos, o que reduz a introdução de erros de ruído dos fios do termopar.

Antes de converter as tensões termoelétricas em valores de temperaturas equivalentes, é necessário compensar a diferença entre o lado da junção fria do termopar (temperatura ambiente) e uma referência virtual de 0°C. Para um termopar do tipo K, a voltagem muda em $41\mu\text{V} / ^\circ\text{C}$, o que aproxima a característica do termopar com a seguinte equação linear (1):

$$V_{out} = (41\mu V / ^\circ C) \times (T_r - T_{amb}) \quad (1)$$

Onde:

V_{out} é a tensão de saída do termopar (μV).

T_r é a temperatura da junção do termopar remoto ($^\circ C$).

T_{amb} é a temperatura ambiente ($^\circ C$)

A função do termopar é detectar uma diferença de temperatura entre as duas extremidades dos fios do termopar. A junção quente do termopar pode ser lida de $0^\circ C$ a $+1023,75^\circ C$. A extremidade fria (temperatura ambiente da placa na qual o MAX6675 está montado) só pode variar de $-20^\circ C$ a $+85^\circ C$. Enquanto a temperatura na extremidade fria flutua, o MAX6675 continua a sentir com precisão a diferença de temperatura na extremidade oposta.

O MAX6675 detecta e corrige as alterações na temperatura ambiente com compensação de junção fria.

O dispositivo converte a leitura da temperatura ambiente em uma voltagem usando um diodo sensor de temperatura. Para fazer a medição real da temperatura do termopar, o MAX6675 mede a tensão da saída do termopar e do diodo sensor.

O circuito interno do dispositivo passa a tensão do diodo (temperatura ambiente de detecção) e a tensão do termopar (temperatura remota de detecção menos a temperatura ambiente) para a função de conversão armazenada no ADC para calcular a temperatura da junção a quente do termopar. O desempenho ideal do MAX6675 é alcançado quando a junção fria do termopar e o MAX6675 (figura 13) estão na mesma temperatura. Deve-se evitar colocar dispositivos ou componentes geradores de calor perto do MAX6675, pois isso pode produzir erros relacionados à junção fria.

Figura 13 - Conversor MAX6675



(Extreme, 2018)

As especificações do conversor MAX6675 podem ser encontradas no APÊNDICE D.

4.3. Instrumentação para medida de temperatura com sensor infravermelho

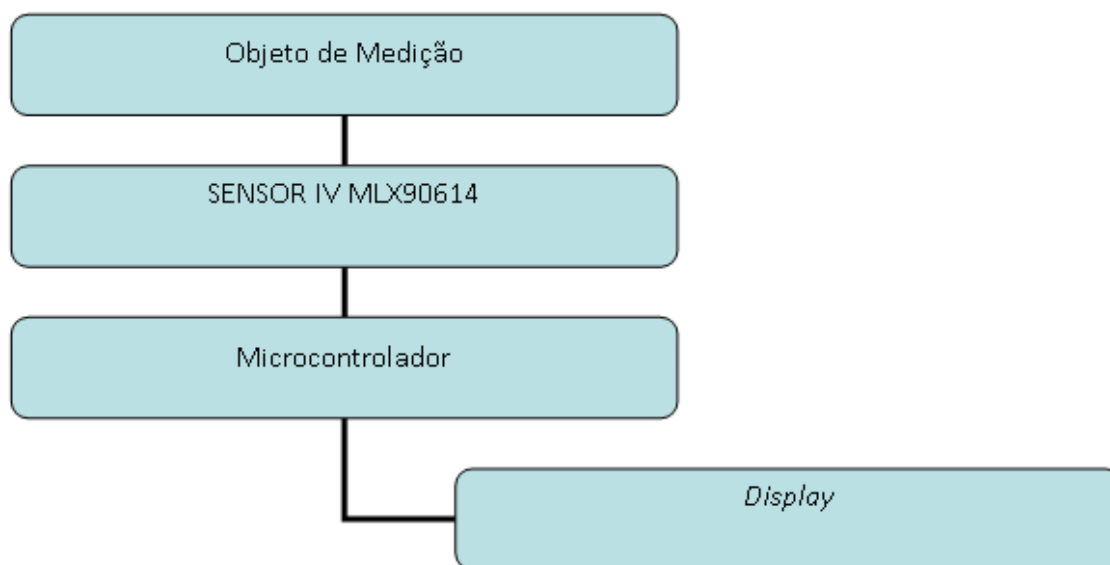
O termômetro infravermelho da Melexis MLX90614ESF-BAA possui um conversor ADC de 17-bits e um poderoso DSP, que juntos contribuem para que este sensor tenha uma alta precisão e resolução. Este sensor possui inúmeras aplicações como medida de temperatura corpórea e detecção de movimentos. (ROBOCORE, 2017)

O MLX90614 possui dois métodos de saída: PWM - customizável para leitura contínua - e SMBus (ou seja, TWI, I2C). A saída PWM de 10-bit possui uma resolução de 0,14°C, enquanto que a interface TWI possui uma resolução de 0,02°C. Este sensor sai de fábrica calibrado em uma grande faixa de temperatura: -40 a 85°C para ambientes e -70 a 382,2°C para temperaturas de objetos. O valor medido é a média de temperaturas de todos os objetos do campo de visão do sensor. O MLX90614 oferece uma precisão padrão de 0,5°C em temperatura ambiente.

Além das características já citadas, o sensor possui um tamanho reduzido (10x10x10 mm), um ótimo custo-benefício é fácil de ser integrado e possui calibração de fábrica com uma grande faixa de temperatura além de contar com um modo de economia de energia.

Para que as informações do sensor por IR possam ser lidas, necessita-se o uso do microcontrolador, assim como o termopar tipo K. Entretanto, o mesmo não precisa de um conversor, pois já o possui internamente. Sendo assim, seu organograma é representado pela figura 14.

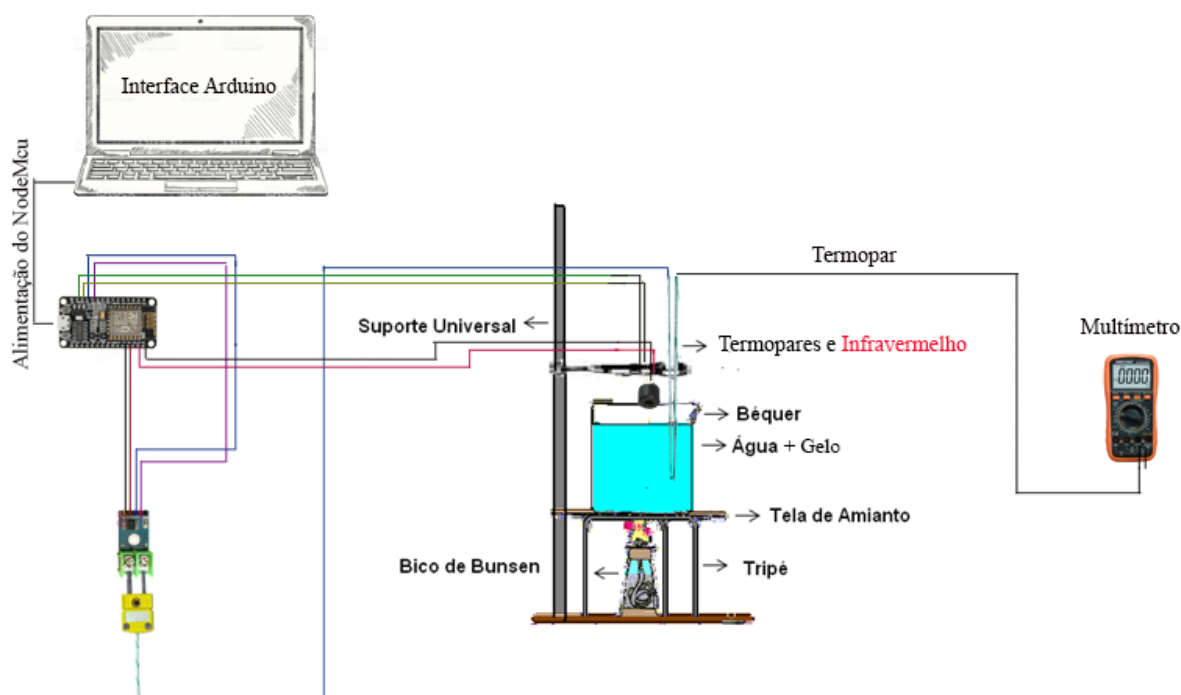
Figura 14 – Ideia geral de conexão do sensor MLX90614



(Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018)

O teste foi realizado seguindo-se o esquemático representado na Figura 15. O cabo de alimentação do módulo utilizado foi conectado na saída USB do *notebook*, o sensor infravermelho teve os cabos de *power* e *ground* conectados na saída 3v, e G do módulo, respectivamente. Os cabos de *clock* e *data* foram conectados nos GPIOs D1 e D2. O termopar teve seu positivo e negativo conectados ao conversor MAX6675. Este teve sua saída *ground* e *power* conectados na saída 3v, e G do módulo. As saídas SCK, CS e SO, foram conectadas nas GPIO D6, D5 e D4, respectivamente.

Figure 15 - Esquemático do sistema de medição.



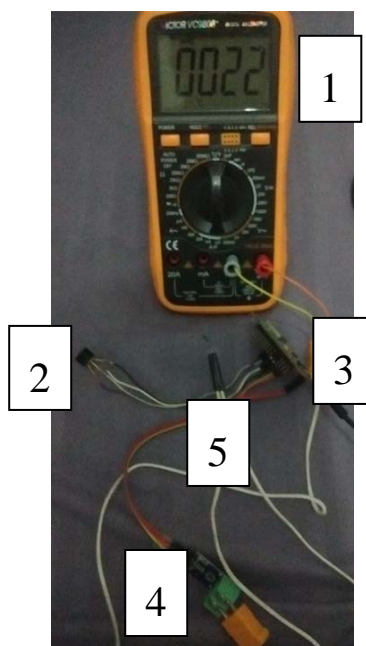
(Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018)

Embora sejam sistemas diferentes, as medições foram efetuadas simultaneamente a fim de obterem-se os resultados mais próximos, aonde as condições de contorno dos experimentos seriam as mesmas, tais como a temperatura do ambiente, a disposição dos componentes e o exato momento de medição dos sensores.

O experimento padrão foi realizado com o termopar tipo K e com o multímetro VICTOR VC9808+. Com a intenção de se obter uma medição mais precisa, o segundo termopar conectado ao sistema projetado foi fixado junto ao primeiro. O sensor infravermelho também conectado ao sistema projetado foi apontado na direção dos termopares à uma distância de 10 centímetros. Verificou-se que para distâncias acima desta, houveram variações consideráveis para este tipo de experimento. Os componentes do sistema podem ser visualizados na figura 16.

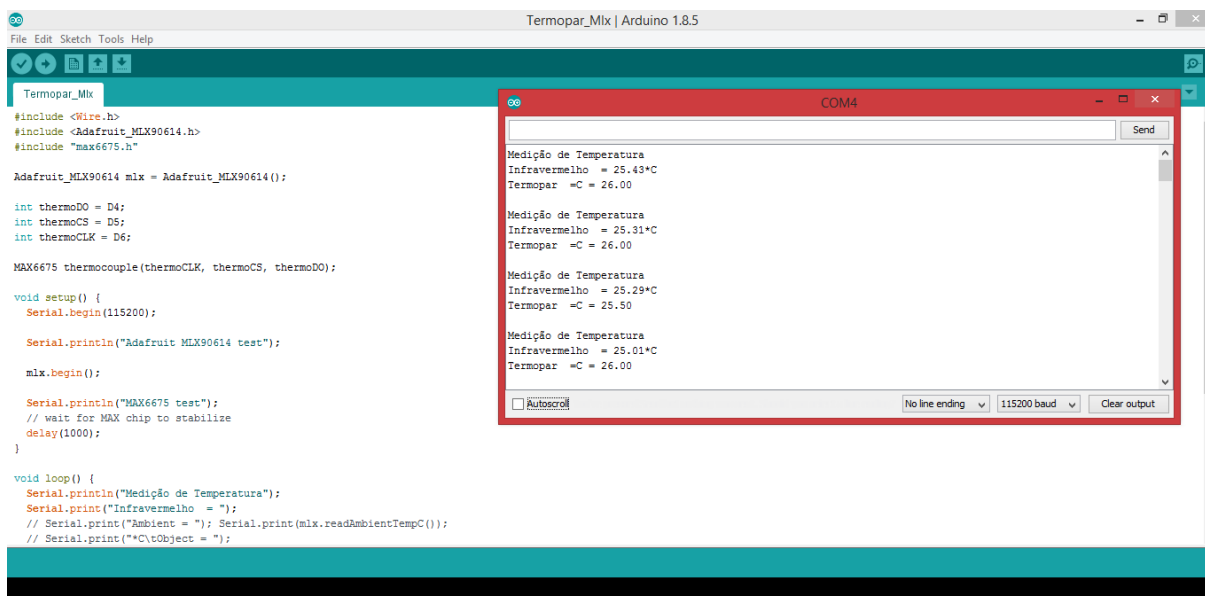
Os códigos utilizados foram programados para medições intervaladas em 10 segundos. Os dados do multímetro foram anotados simultaneamente aos valores apresentados na interface do Arduino, como pode ser visto na figura 17.

Figure 16 - Componentes Utilizados. 1 – Voltímetro; 2 – Sensor Infravermelho; 3 – Módulo Microcontrolador NodeMCU ESP8266-12; 4 – Conversor MAX6675; 5 – Termopares tipo K



(Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018)

Figura 17 - Interface do Arduino durante funcionamento do sistema.



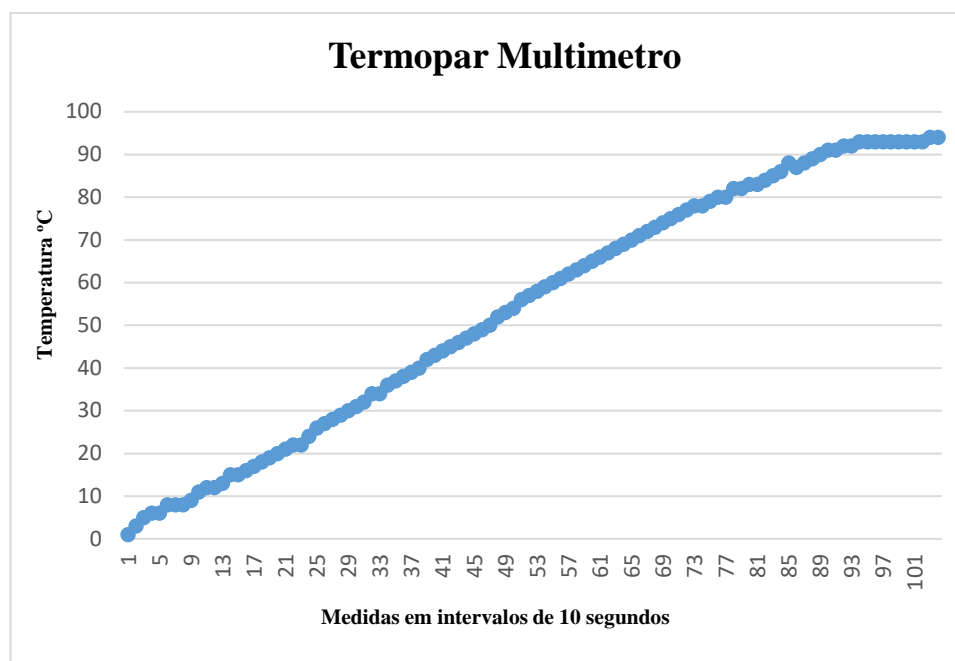
(Fonte: Elaborado pelo próprio Autor, 2018)

5. COMENTÁRIOS E DISCUSSÕES

Os dados obtidos no primeiro experimento serviram de base para validação dos outros testes, partindo-se do pressuposto de que testes de calibração válidos e controlados foram efetuados no multímetro comercial.

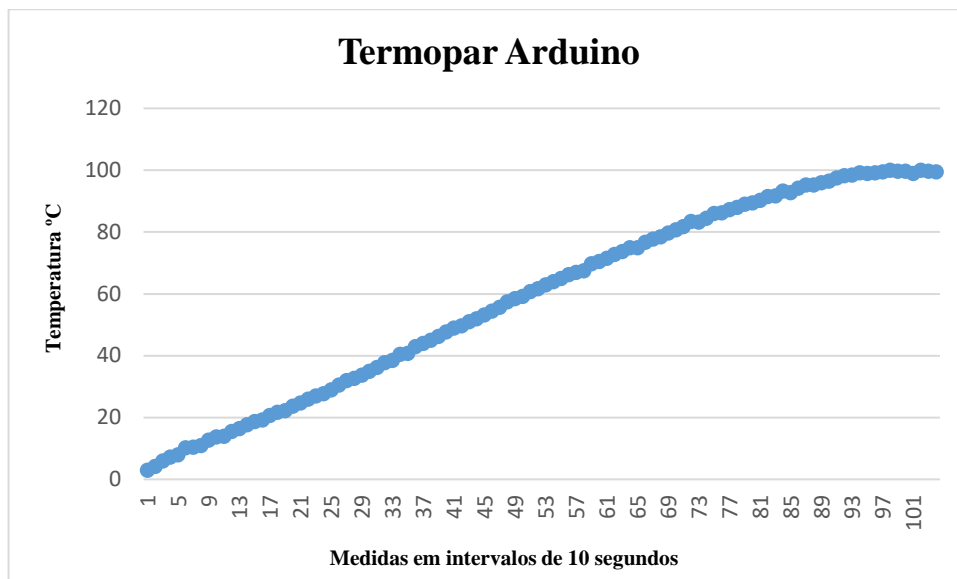
Os gráficos com os valores foram obtidos com a ajuda do Excel, representado nas figuras 18, 19 e 20, com o eixo das ordenadas representando a temperatura em graus Celsius, e o eixo das abcissas representando os intervalos de tempo à cada 10 segundos. A figura 21 ilustra as medições em um mesmo gráfico, para que possamos verificar visualmente a diferença na medição e a figura 23 ilustra o gráfico padrão de um termopar tipo K em função da variação de tensão.

Figure 18 – Gráfico Temperatura x Intervalos de tempo para o termopar tipo K conectado ao multímetro.



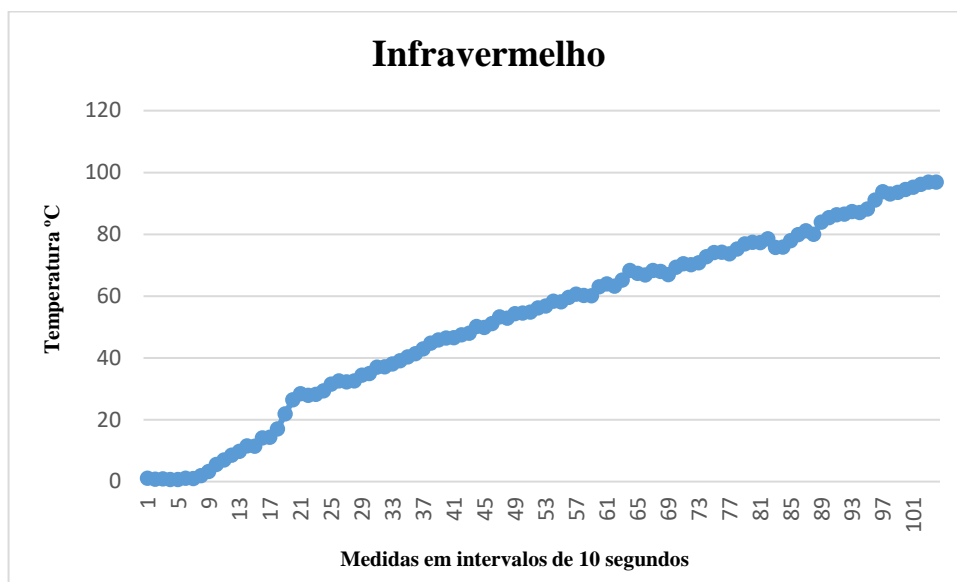
(Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018)

Figure 19 - Gráfico Temperatura x Intervalos de tempo para o termopar tipo K conectado ao microcontrolador.



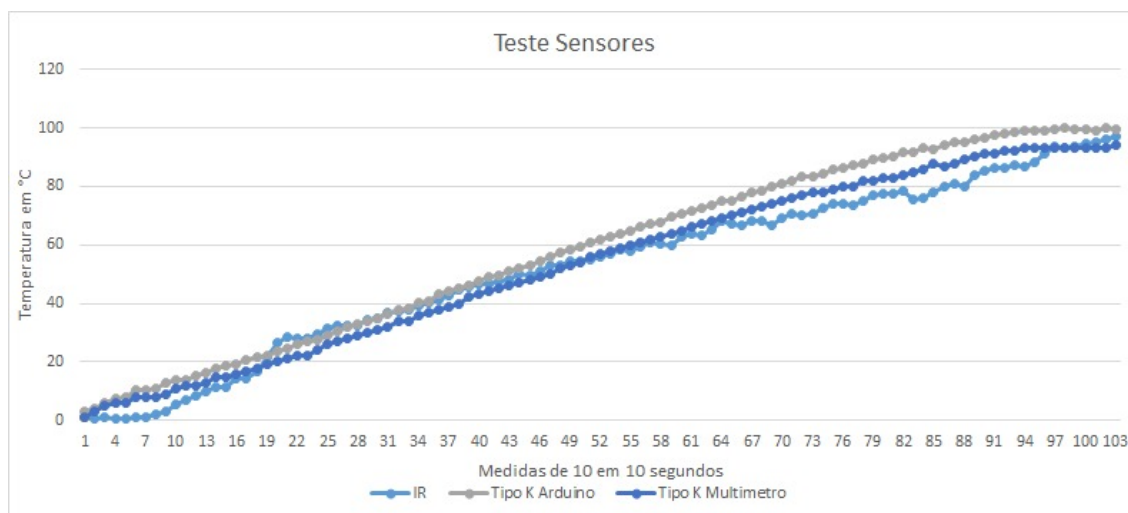
(Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018)

Figure 20 - Gráfico Temperatura x Intervalos de tempo para o sensor infravermelho



(Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018)

Figure 21 – Comparativo entre os gráficos gerados.



(Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018)

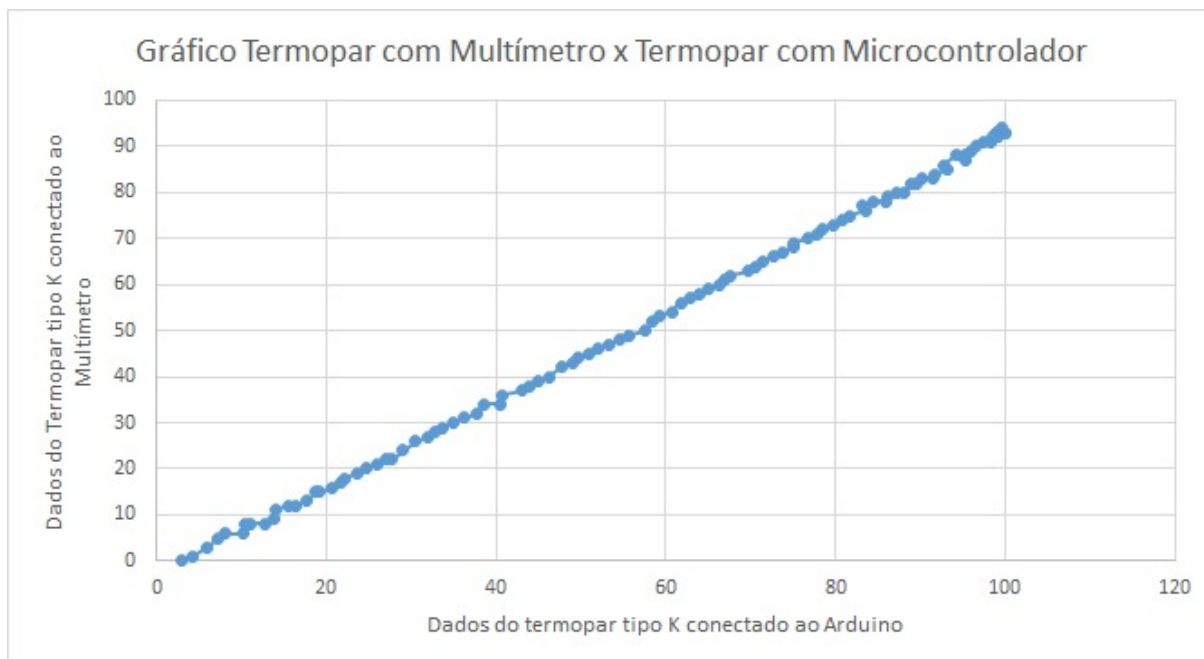
Durante os testes, pode-se verificar que o sistema desenvolvido não possui uma variação significativa se comparado ao multímetro comercial, como mostrado através da reta na figura 20. O coeficiente angular encontrado para a mesma através do Excel foi de 1,045, corroborando a hipótese de equidade entre os sistemas.

Os dados coletados podem ser verificados no apêndice F.

Outros testes foram realizados para verificar a eficácia do sistema. Para a temperatura ambiente, o multímetro registrava 25°C enquanto a interface do arduino marcava 27,5°C. Já para a temperatura corpórea, 32°C e 35°C respectivamente.

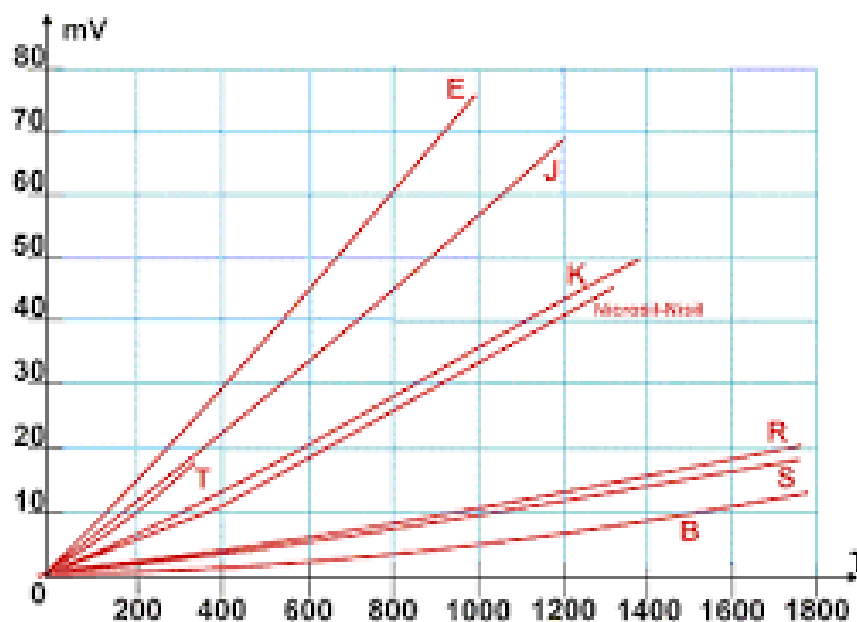
Para que fosse verificada a eficácia do sistema de medição, foi gerado um gráfico onde as ordenadas foram representadas pela temperatura medida pelo padrão e as abcissas representadas pelas medidas do sistema. Através da função *SLOPE* do Excel, calculou-se a inclinação da reta, resultando em um coeficiente angular de 1,045 ou 46,26°, ou seja, os valores possuem uma variação mínima.

Figure 22 - Gráfico para verificação da eficácia do sistema de medição criado.



(Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018)

Figura 23 - Gráfico padrão mV x °C dos termopares.



(GOMES, 2008)

Como podemos verificar na tabela 1, os resultados apresentados pelo termopar conectado ao sistema projetado, se encontram dentro da faixa de precisão da medição feita com o multímetro. Por exemplo: ao marcar 61°C no multímetro, o sistema apontava 66,25°C. A precisão do multímetro é de $\pm 1.0\% + 4D < 400^\circ\text{C}$, no caso, $\pm 1,6625^\circ\text{C}$. Já a do termopar é de $\pm 2,5^\circ\text{C} < 400^\circ\text{C}$, assim pode existir uma variação de 3,1625°C no valor medido pelo multímetro nesse ponto, e há ainda a faixa de erro do termopar conectado ao sistema. Todos os pontos analisados se encontram dentro da faixa de precisão.

Tabela 1 – Parcial dos dados obtidos

IR	Tipo K Arduino	Tipo K Multímetro
58,35	64	59
58,09	65	60
59,53	66,25	61
60,61	67	62
60,19	67,5	63
60,09	69,75	64

(Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2018)

6. CONCLUSÕES FINAIS

Ao final os sensores e o software não apresentaram nenhum mau funcionamento.

Os resultados apresentados pelo sistema projetado, se encontraram dentro da faixa de precisão do multímetro ($\pm 1.0\% + 4$ contagens).

6.1. Acerca do Projeto

Existe uma tendência no aumento do uso de microcontroladores em diversas áreas, justificada pela necessidade de se estar conectado a todo momento. Com os avanços tecnológicos, acredita-se que a conectividade torne-se cada dia mais presente no dia-a-dia em qualquer lugar do mundo.

Atualmente, inúmeros módulos vem surgindo buscando explorar o surgimento da Internet das Coisas, e atualmente o que mais se destaca é o ESP8266, que pode ser integrado à diversas soluções (tomadas inteligentes, automação residencial, monitoramento remoto, segurança residencial, etc), bastando o uso de uma comunicação serial UART.

No caso dos sensores, o termopar é de simples utilização, ao contrário do sensor por infravermelho que possui diversas aplicações (monitoramento de gado, cuidados da saúde, medição de temperatura corporal, detecção de ângulo cego automotivo, controle de temperatura de múltiplas zonas – até 100 sensores podem ser lidos através de 02 fios comuns – relé térmico, etc).

O projeto foi de fácil criação. Tanto os sensores como o módulo e o conversor possuem preços acessíveis e são fáceis de serem encontrados na internet.

6.2. Trabalhos Futuros

Existe uma ideia principal de trabalho futuro para esse projeto: Utilizar os dados obtidos, gerando gráficos em tempo real para que possam ser utilizados pela equipe durante uma competição ou teste *on-road* à fim de ajudar a equipe em estudos de *fading* das pastilhas de freio, arrefecimento do sistema de freio e até melhora na performance do piloto durante uma corrida.

7. BIBLIOGRAFIA

NEWCOMB, T. P.; MILLNER, N. Cooling rates of brake drums and discs. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers: Automobile Division**, v. 180, n. 1, p. 191-205, 1965.

BORCHARDT, Ildon Guilherme; GOMES, Alvaro Ferreira. Termometria Termoelétrica: Termopares. **Livro texto–Sagra: Porto Alegre**, 1979.

OXIGÊNIO, D. B. C. DBC Oxigênio. 2014.

EESC, USP BAJA SAE. Equipe EESC USP BAJA SAE.

EMBARCADOS, Apresentando o módulo ESP8266. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/modulo-esp8266/>> Acesso em: 12/09/2017

KAWAGUCHI, Hiroaki. **Comparação da análise de conforto de frenagem subjetiva x objetiva de um veículo de passeio**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

INFANTINI, Mauricio Blanco. Variáveis de desempenho dos sistemas de freio. 2008.

IOMBRILLER, Silvia Faria. **Análise térmica e dinâmica do sistema de freio a disco de veículos comerciais pesados**. 2002. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

YOSHIDA, Lucas Silva et al. **Projeto adaptativo de um sistema de freios para utilização em carro de competição classe Fórmula SAE®**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo

MUNDO DA ELÉTRICA. Termopar, como funciona? 2016. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=3tjPbP7RAB0&t=6s>>. Acesso em: 12/12/2017

DEALE EXTREME, **MAX6675 termopar tipo K Módulo Sensor de temperatura para Arduino – Azul**, 2018. Disponível em <<http://www.dx.com/pt/p/max6675-type-k-thermocouple-temperature-sensor-module-for-arduino-blue-368277>>. Acesso em 04/06/2018

MOREIRA, Lúcia. Medição de temperatura usando-se termopar. **Cerâmica Industrial**, v. 7, n.5, 2002.

INGRAM, B. Application of disc brakes to commercial vehicles. **Braking of Road Vehicles**, 1983.

AGUSTI, Carlos Augusto Bohm; CORRÊA, Luiza Souza. Instrumentação A, 2017, UFRGS, DELET.

GÖHRING, E.; VON GLASNER, E. C. **The Impact Of Tyre Characteristics On The Braking And Steering Performance Of Commercial Vehicles**. SAE Technical Paper, 1988.

GOHRING, Ernst; VON GLASNER, Egon-Christian. **Performance comparison of drum and disc brakes for heavy duty commercial vehicles**. SAE Technical Paper, 1990.

FERNANDES, João Candido. **Tema 10: Medidas de pressão e temperatura na manutenção Preditiva**, 2014.

AUBREEY. (04 de Junho de 2018). *amazon.com*. Fonte: Amazon:
<https://www.amazon.com/AuBreey-MLX90614-MLX90614ESF-BCC-SENSOR-MELEXIS/dp/B0718XSK9X>. Acesso em : 04/06/2018.

EXTREME, D. (2018). *dx.com*. Fonte: Deal Extreme: http://www.dx.com/pt/p/max6675-type-k-thermocouple-temperature-sensor-module-for-arduino-blue-368277#.WxdBdUgvw_4. Acesso em : 04/06/2018.

GEMINI. (04 de Junho de 2018). *aliexpress*. Fonte: AliExpress:
<https://m.pt.aliexpress.com/item/32823828520.html>. Acesso em : 04/06/2018.

GROUP, A. (04 de Junho de 2018). *aliexpress.com*. Fonte: AliExpress:
<https://pt.aliexpress.com/item/10PCS-LOT-K-type-surface-thermocouple-temperature-sensor-1m-wire-thermocouple-probe-20-500C/32741639710.html>. Acesso em : 04/06/2018.

GOMES, Reben Rudson Mendes. **Efeito Peltier em estruturas semicondutoras quasiperiódicas**. 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Código para teste do funcionamento do Sensor IR

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MLX90614.h>

Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  Serial.println("Adafruit MLX90614 test");

  mlx.begin();
}

void loop() {
  Serial.print("Ambient = "); Serial.print(mlx.readAmbientTempC());
  Serial.print("°C\tObject = "); Serial.print(mlx.readObjectTempC()); Serial.println("°C");
  Serial.print("Ambient = "); Serial.print(mlx.readAmbientTempF());
  Serial.print("°F\tObject = "); Serial.print(mlx.readObjectTempF()); Serial.println("°F");

  Serial.println();
  delay(500);
}
```


APÊNDICE B – Código para Teste com Termopar tipo K

```
#include "max6675.h"

int thermoDO = 4;
int thermoCS = 5;
int thermoCLK = 6;

MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);
int vccPin = 3;
int gndPin = 2;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  // use Arduino pins
  pinMode(vccPin, OUTPUT); digitalWrite(vccPin, HIGH);
  pinMode(gndPin, OUTPUT); digitalWrite(gndPin, LOW);

  Serial.println("MAX6675 test");
  // wait for MAX chip to stabilize
  delay(500);
}

void loop() {
  // basic readout test, just print the current temp

  Serial.print("C = ");
  Serial.println(thermocouple.readCelsius());
  Serial.print("F = ");
  Serial.println(thermocouple.readFahrenheit());

  delay(1000);
}
```


APÊNDICE C – CÓDIGO PARA SENSOR IR E TERMOPAR

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);

  Serial.println("Adafruit MLX90614 test");

  mlx.begin();

  Serial.println("MAX6675 test");
  // wait for MAX chip to stabilize
  delay(1000);
}

void loop() {
  Serial.println("Medição de Temperatura");
  Serial.print("Infravermelho = ");
  // Serial.print("Ambient = "); Serial.print(mlx.readAmbientTempC());
  // Serial.print("*C\tObject = ");
  Serial.print(mlx.readObjectTempC()); Serial.println("*C");
  // Serial.print("Ambient = "); Serial.print(mlx.readAmbientTempF());
  // Serial.print("*F\tObject = "); Serial.print(mlx.readObjectTempF()); Serial.println("*F");
  Serial.print("Termopar =");
  Serial.print("C = ");
  Serial.println(thermocouple.readCelsius());
  //Serial.print("F = ");
  //Serial.println(thermocouple.readFahrenheit());

  delay(5000);

  Serial.println();
  delay(5000);
}
```


APÊNDICE D – ESPECIFICAÇÕES CONVERSOR MAX6675

Especificações do MAX6675:

Tensão de funcionamento: 3.0 ~ 5.5V

Circuito de compensação interno integrado junção fria;

Interface SPI simples de três fios;

Sinal de temperatura pode ser convertida em 12-bits digital

Resolução de temperatura de: 0.25° graus;

Faixa de compensação junção fria: - 20 ~ + 80 graus,

Faixa leitura junção quente (12bits): 0° C a + 1023,75° C

Circuito de detecção de quebra de termopar incorporado.

APÊNDICE F – DADOS OBTIDOS NO EXPERIMENTO

IR	Tipo K Arduino	Tipo K Multimetro	47,93	51	46	81,15	95,25	88
			50,13	52	47	79,99	95,25	89
1,01	3	1	49,81	53,25	48	83,93	96	90
0,71	4,25	3	51,09	54,5	49	85,37	96,5	91
0,87	6	5	53,23	55,75	50	86,23	97,5	91
0,59	7,25	6	52,81	57,5	52	86,5	98,25	92
0,67	8	6	54,33	58,5	53	87,3	98,5	92
1,01	10,25	8	54,49	59,25	54	87	99,25	93
0,97	10,5	8	54,81	60,75	56	88,13	99	93
1,85	11	8	56,17	61,75	57	91,09	99,25	93
3,23	12,75	9	56,79	63	58	93,69	99,5	93
5,55	13,75	11	58,35	64	59	93,01	100	93
6,91	14	12	58,09	65	60	93,51	99,75	93
8,47	15,5	12	59,53	66,25	61	94,47	99,75	93
9,75	16,5	13	60,61	67	62	95,21	99	93
11,55	17,75	15	60,19	67,5	63	96,09	100	93
11,45	18,75	15	60,09	69,75	64	96,87	99,75	94
14,11	19,25	16	62,97	70,5	65	96,81	99,5	94
14,35	20,75	17	63,89	71,5	66			
16,95	21,75	18	63,17	72,75	67			
21,91	22,25	19	65,15	73,75	68			
26,47	23,75	20	68,29	75	69			
28,37	24,75	21	67,33	75	70			
27,87	26	22	66,81	76,75	71			
28,19	27	22	68,29	77,75	72			
29,31	27,75	24	67,99	78,5	73			
31,49	29	26	66,89	79,75	74			
32,53	30,5	27	69,29	80,75	75			
32,25	32	28	70,45	81,75	76			
32,49	32,75	29	70,09	83,5	77			
34,37	33,75	30	70,77	83,25	78			
34,89	35	31	72,75	84,5	78			
37,03	36,25	32	74,01	86	79			
37,11	37,75	34	74,17	86,25	80			
38,01	38,5	34	73,61	87,25	80			
39,11	40,5	36	75,17	88	82			
40,25	40,75	37	76,89	89	82			
41,29	43	38	77,41	89,5	83			
42,87	44	39	77,27	90,25	83			
44,75	45	40	78,55	91,5	84			
45,79	46,25	42	75,75	91,75	85			
46,45	47,75	43	75,87	93,25	86			
46,47	49	44	77,91	92,75	88			
47,47	49,75	45	79,81	94,25	87			