

MARINHA DO BRASIL
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE ALEXANDRINO

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM
SISTEMA DE CONTROLE E ELETRICIDADE DE NAVIOS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

INSTRUMENTAÇÃO APLICADA AOS SISTEMAS NAVAIS: Viabilidade de um protótipo
para monitoração de temperatura.



1ºTen NARCISO GOMES DE OLIVEIRA JUNIOR

Rio de Janeiro
2023

1ºTen NARCISO GOMES DE OLIVEIRA JUNIOR

INSTRUMENTAÇÃO APLICADA AOS SISTEMAS NAVAIS: Viabilidade de um protótipo
para monitoração de temperatura.

Monografia apresentada ao Centro de Instrução
Almirante Alexandrino como requisito parcial à
conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em
Sistema de Controle e Eletricidade de Navios.

Orientadores:

D. Sc. Carlos Fernando Teodósio Soares

Capitão de Corveta (EN) Anderson Figuerêdo Lopes

CIAA
Rio de Janeiro
2023

FOLHA DE APROVAÇÃO

1ºTen NARCISO GOMES DE OLIVEIRA JUNIOR

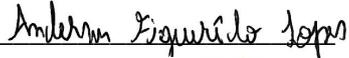
INSTRUMENTAÇÃO APLICADA AOS SISTEMAS NAVAIS: Viabilidade de um protótipo para monitoração de temperatura.

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Alexandrino como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Sistema de Controle e Eletricidade de Navios.

Aprovada em _____

Banca Examinadora:

Carlos Fernando Teodósio Soares, D. Sc. – UFRJ 

Capitão de Corveta (EN) Anderson Figuerêdo Lopes, M. Sc. – DEN 

Capitão-Tenente (EN) Bruno Souza Lopes da Costa, D. Sc. – INPG 

CIAA
Rio de Janeiro
2023

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, quero agradecer a Deus por ter me abençoado e iluminado nessa nova etapa da minha carreira, foram inúmeras as oportunidades em que Ele me deu forças para que eu tivesse energia e inspiração na produção deste árduo e belo trabalho de conclusão de curso. Sem ti, meu Pai, nada seria possível.

Neste plano, por sua vez, tenho muito que agradecer a minha amada esposa, Luma, por todo o suporte e apoio oferecido durante esses longos meses de produção. Sem você, meu amor, não teria força e determinação para passar madrugadas empenhado neste trabalho. Tenho certeza de que você será o melhor exemplo de mãe para o nosso filho, que está por vir. A família vai crescer, assim como meu amor por você.

Também não poderia deixar de agradecer aos meus pais, que ainda na fase adulta seguem cuidando de mim, mesmo à distância. Mãe, obrigado por todo o incentivo e orações para que eu atingisse meus objetivos, te amo. Pai, obrigado por todas as dúvidas de eletrotécnica que você sanou, bem como pelas inúmeras videochamadas me perguntando se haveria algo em que poderia ajudar. Beijo do coração.

Não mais importante também foi o papel de meu irmão e minha cunhada que me orientaram com dicas acadêmicas de extrema valia para este trabalho. Muito obrigado pela paciência e prestatividade, vocês moram em meu coração.

Ao meu grande amigo Alexandre Boechat, quero externar os meus mais profundos agradecimentos, por toda proatividade e preocupação em me ajudar durante a confecção deste árduo trabalho, principalmente durante a fase de construção do protótipo, onde diversas dúvidas surgiram, e prontamente foram sanadas.

Ao Capitão de Corveta Anderson Figuerêdo Lopes, por toda a disponibilidade e rapidez em responder as dúvidas no que tange as fontes bibliográficas do referencial teórico deste trabalho.

Ao meu coordenador Prof. Dr. Cesar Augusto Lampe Linhares da Fonseca, pela disponibilidade, dedicação e atenção. Sua orientação precisa, me norteou e direcionou para que eu superasse os inúmeros momentos de tormenta para conclusão deste projeto.

Por fim, ao meu incansável orientador Prof. Dr. Carlos Fernando Teodósio Soares, pelas magníficas aulas de eletrônica ministradas ao longo do curso. Foi através da disciplina do Senhor que pude obter inspiração para redigir este trabalho.

INSTRUMENTAÇÃO APLICADA AOS SISTEMAS NAVAIS: Viabilidade de um protótipo para monitoração de temperatura.

Resumo

Este trabalho tem por finalidade construir um protótipo para monitoração de temperatura, em especial, utilizando o sensor LM35, conhecido pelo seu circuito integrado de precisão e pelo seu baixo valor de aquisição. Para isso, foi realizada uma pesquisa descritiva e exploratória sobre o sensor LM35, na qual será descrita a funcionalidade e o custo para produção a fim de evidenciar a sua viabilidade econômica. Ao longo desta pesquisa, será detalhado seus componentes básicos responsáveis pelo sistema proposto de monitoração, composto pelo sensor de temperatura, pelo microcontrolador Arduíno, e seus demais periféricos. Destacando por fim a possibilidade de aplicação aos sistemas navais dos meios da Marinha do Brasil (MB) que propiciarão um custo relativamente baixo para implementação aos equipamentos que não possuam sistema de monitoração.

Palavras- chave: Instrumentação. Arduíno. Monitoração. Sensor LM35. Temperatura

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Característica da termorresistência.....	19
Figura 02 – Representação do termopar.....	20
Figura 03 – Curva termistor PTC.....	22
Figura 04 – Curva termistor NTC.....	22
Figura 05 – Arduíno UNO R3 SMD.....	24
Figura 06 – Vista frontal do display LCD 1602A.....	25
Figura 07 – Vista posterior do display LCD 1602A.....	25
Figura 08 – Estrutura do módulo I2C.....	26
Figura 09 – Esquema da conexão do Microcontrolador e o display LCD.....	27
Figura 10 – Sensor LM35.....	28
Figura 11 – Vista de baixo do sensor LM35.....	28
Figura 12 – Protoboard e fios jumpers.....	30
Figura 13 – Resistência 1 k Ω	30
Figura 14 – Dispositivo equivalente ao protótipo proposto.....	31
Figura 15 – Teste do display com o Arduíno.....	32
Figura 16 – Potenciômetro ajustável.....	32
Figura 17 – Teste do protótipo simplificado.....	33
Figura 18 – Leitura da temperatura.....	33
Figura 19 – Versão do protótipo com display LCD.....	34
Figura 20 – Versão do protótipo com display LCD sofrendo ação externa.....	34
Figura 21 – Versão expandida do protótipo.....	35
Figura 22 – Aplicativo de termômetro para celular android.....	36
Figura 23 – Feedback do aplicativo.....	36
Figura 24 – Leitura feita pelo aplicativo.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Principais informações técnicas do Arduino UNO R3 SMD:.....	24
Tabela 02 – Datasheet das características elétricas do display LCD 1602A.....	25
Tabela 03 – Funções dos pinos do sensor LM35.....	29
Tabela 04 – Custo de aquisição do Protótipo.....	31
Tabela 05 – Registro das temperaturas durante a construção do protótipo.....	38

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CC	Corrente contínua
GND	Ground
IHM	Interface Homem Máquina
MB	Marinha do Brasil
NBR	Norma Brasileira
NTC	Negative Thermal Coeficient
PTC	Positive Thermal Coeficient
SPI	Serial Peripheral Interface
TWI	Two Wire Interface
SI	Sistema Internacional de Unidades

LISTAS DE SÍMBOLOS

Ω	Unidade de medida de resistência (Ohm)
$^{\circ}\text{C}$	Unidade de medida de temperatura (Celsius)
$^{\circ}\text{F}$	Unidade de medida de temperatura (Fahrenheit)
K	Unidade de medida de temperatura (Kelvin)
A	Unidade de medida de corrente elétrica (ampere)
T	Temperatura
R	Resistência
V	Tensão
μA	Submúltiplo da unidade de ampere do Sistema Internacional equivalente a 10^{-6} A
mA	Submúltiplo da unidade de ampere do Sistema Internacional equivalente a 10^{-3} A
k Ω	Múltiplo da unidade de resistência do Sistema Internacional equivalente a 10^3 Ω

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Apresentação do Problema	11
1.2 Justificativa e Relevância	12
1.3 Objetivos	13
1.3.1 Objetivo Geral	13
1.3.2 Objetivos Específicos	13
1.4 Metodologia	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Contextualização da instrumentação para os meios navais	16
2.2 Temperatura	16
2.3 Sensores de Temperatura	17
2.3.1 Termorresistências.....	18
2.3.2 Termopares.....	19
2.3.3 Termistores.....	21
3 PROTÓTIPO	23
3.1 Componentes	23
3.1.1 Arduíno.....	23
3.1.2 Display LCD.....	24
3.1.3 Sensor LM35.....	27
3.1.4 Protoboard e Jumpers.....	29
3.1.5 Resistência.....	30
3.1.6 Custo de aquisição e viabilidade econômica.....	30
3.2 Programação	31
3.3 Construção	31
3.4 Limitações	35
3.5 Aplicações	37

4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	38
5 CONCLUSÃO.....	39
5.1 Considerações Finais.....	39
5.2 Sugestões para futuros trabalhos.....	39
REFERÊNCIAS.....	40
APÊNDICE A – CÓDIGO DO PROTÓTIPO.....	43

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a crescente necessidade de monitorar a temperatura em diversas aplicações, que vão desde sistemas de climatização e controle de processos industriais até dispositivos portáteis e eletrônicos, tem gerado um interesse significativo na pesquisa e desenvolvimento de sensores de temperatura acessíveis.

Os sensores de temperatura desempenham um papel fundamental em garantir a segurança, eficiência e qualidade de uma ampla gama de processos e produtos, tornando-se, assim, componentes críticos em nossa sociedade – cada vez mais conectada e orientada pela tecnologia.

A instrumentação industrial é a ciência e a tecnologia da medição adotada em controle de processos, incluindo o desenvolvimento, a fabricação e a aplicação de instrumentos de medição e controle, bem como a análise e interpretação dos dados coletados.

É devido aos instrumentos de medição que são coletadas as informações sobre as diversas variáveis de um processo, dos quais destaca-se a temperatura. Com base nisso, os maquinários operam em acordo com os parâmetros padrões a fim de monitorar e controlar os inúmeros sistemas existentes. Garantindo, desse modo, maior confiabilidade aos equipamentos.

Embora o termo instrumentação industrial, faça referência ao campo industrial, diversas áreas fazem uso em seus sistemas, e na área naval isso não é diferente. Por isso, os sensores de temperatura têm se tornado cada vez mais essenciais para o funcionamento eficiente e seguro dos diversos sistemas navais a bordo dos navios da Marinha do Brasil.

1.1 Apresentação do Problema

A obtenção de dados e sua monitoração contínua ao longo dos anos vêm se tornando cada vez mais essenciais e primordiais para execução de qualquer processo. Diante disso, o monitoramento da temperatura em Navios de Guerra da Marinha do Brasil caracteriza-se como desafiador devido às diversas variáveis como: a corrosão, exposição à água salgada, variações extremas de temperatura, entre outros.

Assim, um dos principais problemas enfrentados ao lidar com sensores de temperatura no meio naval é o alto custo das soluções convencionais. Outro desafio é a necessidade de sensores que sejam duráveis e capazes de resistir à exposição constante à água salgada e às variações extremas de temperatura. Esses fatores podem acelerar a degradação dos componentes eletrônicos, reduzindo a vida útil dos sensores e afetando sua precisão ao longo do tempo.

A presente pesquisa abordará a viabilidade da construção de um protótipo utilizando sensor de temperatura de baixo custo para monitoração de temperatura para os Sistemas dos Meios Navais da Marinha do Brasil, a fim de elevar o grau de confiabilidade dos equipamentos, contribuindo para a otimização de recursos destinados aos meios navais.

Para isso, serão estudados os sensores de temperatura, em especial o sensor LM35. Este é um dispositivo eletroeletrônico de baixo custo que ao longo deste trabalho será apresentado com uma viável possibilidade para implementação a bordo, ressaltando que a relação sobre custo-benefício tem ganhado cada vez mais relevância diante das diversas restrições orçamentárias enfrentadas pelas Forças Armadas.

Portanto, o problema em questão é a busca por sensores de temperatura de baixo custo, mas altamente confiáveis e duráveis, que possam ser implantados de maneira eficaz no meio naval. Tais sensores devem ser capazes de resistir às condições adversas do ambiente marinho, exigir manutenção mínima e fornecer leituras de temperatura precisas e consistentes para garantir a segurança, eficiência operacional e confiabilidade das operações navais. Encontrar soluções inovadoras e acessíveis para esse desafio é essencial para o avanço da tecnologia de medição de temperatura no contexto naval.

Assim, surge a questão: de que forma o sensor LM35 pode ser construído para monitorar a temperatura nos sistemas navais?

1.2 Justificativa e Relevância

Para que haja segurança nos meios navais, é necessária a existência de diversos sistemas de monitoramentos, nos quais inúmeras variáveis são medidas e monitoradas, dentre elas, ressalta-se a temperatura. Uma notória peculiaridade sobre os meios navais ao longo de seu ciclo de vida é o seu desafiador ambiente, onde uma série de fatores adversos, como: água

salgada, flutuações de temperatura, e funcionamento contínuo dos equipamentos, tornam a medição de temperatura uma questão vital para garantir tanto o desempenho dos equipamentos quanto a segurança durante as operações navais.

Assim, o sistema de monitoramento só é possível através da aplicabilidade dos conceitos da instrumentação industrial. Neste trabalho, será destacada a medição e leitura da temperatura por meio do protótipo que utiliza o sensor LM35, para futura possibilidade de aplicação em equipamentos para monitoramento nos sistemas navais. Com isso, os sensores de temperatura de baixo custo ganham papel fundamental para elevar o grau de confiabilidade dos equipamentos dos sistemas navais dos meios operativos da Marinha do Brasil.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem por finalidade descrever e construir o protótipo para monitoração de temperatura, cujo componentes são de custos relativamente baixos para os Meios Navais da Marinha do Brasil, no intuito de proporcionar a economia de recursos, e elevar a confiabilidade dos equipamentos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Abordar a importância da instrumentação;
- b) Descrever os tipos de sensores de temperatura;
- c) Construir um protótipo para monitoração de temperatura utilizando o microcontrolador Arduíno com o sensor de temperatura LM35;
- d) Descrever os desafios e limitações observadas durante a construção do protótipo.

1.4 Metodologia

De acordo com Lakatos e Marconi (2008), a definição de pesquisa é um procedimento formal, através do pensamento sistemático e reflexível, que é necessário que se tenha um tratamento científico, sendo uma maneira para conhecer determinada realidade, ou a descoberta de novos fatos.

Conforme afirma Prodanov (2013), a pesquisa aplicada é caracterizada por gerar conhecimentos para aplicação prática que é destinada à solução de problemas específicos. Devido aos fins práticos relacionados ao protótipo de baixo custo para monitoração de temperatura, foi utilizada a pesquisa de natureza aplicada.

Para melhor elaboração desta pesquisa, observou-se que ela é classificada como pesquisa exploratória e descritiva. Isso devido ao fato do uso de fontes bibliográficas e descritivas para entendimento das principais variáveis no processo da medição de temperatura, bem como na descrição do processo de construção do sensor de temperatura.

Como descrito por Gil (2008), a pesquisa exploratória tem por finalidade desenvolver e esclarecer conceitos e ideias, levando em consideração a formulação de problemas mais precisos. Normalmente, envolvem levantamentos bibliográficos, estudos de casos, entre outros. Enquanto a pesquisa descritiva é caracterizada pela descrição de fenômenos ou estabelecimento da relação entre variáveis, destacando a utilização de técnicas de coleta de dados.

Segundo Gil (2008), o contexto das pesquisas quantitativas relaciona-se à capacidade que um instrumento possui para mensurar a variável em questão. Assim, devido ao trabalho descrever sobre a construção de um protótipo para monitoração de temperatura, a pesquisa que foi utilizada possui abordagem quantitativa.

Assim, o método que foi utilizado durante este trabalho foi o hipotético-dedutivo, em virtude de o procedimento de pesquisa adotado ter sido experimental. Assim, a partir da construção do protótipo, e leitura feita por esse dispositivo chegou-se a algumas premissas baseadas nas etapas elaboradas ao longo da construção, medição e leitura da variável: temperatura.

Devido à pesquisa ter característica experimental, por meio da construção de um protótipo, houve limitações no momento da realização. Dentre elas: não foi possível obter um instrumento confiável para comparar a leitura de temperatura obtida pelo protótipo, sendo utilizado um aplicativo de celular para tal comparação; não foi realizado o experimento em local com recursos técnicos (o experimento foi realizado em área residencial).

Assim, como não foi possível ter alto grau de confiabilidade na comparação da temperatura medida pelo protótipo e o instrumento de referência, este trabalho possuirá a finalidade de mostrar que o protótipo funciona, demonstrando características técnicas que são descritas ao longo do trabalho em virtude de seu circuito integrado. Desta forma, é o intuito deste trabalho servir como base a pesquisas futuras que possam comprovar com maior confiabilidade nos resultados a alta precisão do protótipo.

Desse modo, o trabalho de conclusão de curso estrutura-se em cinco capítulos, apresentando no primeiro a motivação, justificativa, e metodologia para execução deste trabalho. No segundo capítulo, versa sobre definições básicas de contextualização para construção utilizando o sensor LM35. Em seguida, o terceiro capítulo apresenta os componentes, as etapas, e limitações no processo de construção do protótipo. No quarto capítulo, é analisado o resultado do protótipo, destacando a medição feita durante as etapas de construção. Por fim, no quinto capítulo, é feita a conclusão sobre os sensores de temperatura de baixo custo, com destaque para o protótipo escolhido.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Contextualização da instrumentação para os meios navais

A instrumentação teve grande crescimento e evolução a partir do campo industrial, sendo essencial para o funcionamento seguro e eficiente de variados processos e sistemas. A partir desse contexto, a área naval aprimorou inúmeros sistemas navais existentes em navios com a finalidade de medir, registrar, controlar e atuar em uma ampla gama de variáveis físicas, como: temperatura, pressão, vazão, entre outros. "A medição de variáveis físicas é essencial para o controle e a otimização de processos e sistemas" (Aguirre, 2003, p. 1).

De acordo com Starling (2003), instrumentação é o conjunto de dispositivos usados para medir, indicar, registrar ou controlar as variáveis de um processo. Diante disso, fica claro que o objetivo da instrumentação é tornar os processos de um sistema mais seguro e eficiente. Assim, é possível otimizar recursos necessários para o funcionamento dos sistemas, seja qual for a sua natureza.

2.2 Temperatura

A temperatura é uma das grandezas físicas mais fundamentais e universalmente relevantes em nosso universo. Ela é um parâmetro fundamental que pode ser utilizado como sensor em uma ampla variedade de aplicações. Ou seja, trata-se de uma medida da energia térmica presente em um sistema ou objeto. De acordo com Ramalho, Nicolau e Toledo (2017), é uma grandeza física que mede o grau de agitação das moléculas.

Como bem nos assegura Bega (2006), pode-se dizer que a temperatura quantifica o calor, que é uma forma de energia associada à atividade molecular de uma substância. Nesse contexto, quanto maior a agitação molecular, maior a quantidade de calor e maior será a temperatura da substância.

Conforme explicado acima, é interessante afirmar que a temperatura pode ser definida como grau de agitação das moléculas. A partir dessa definição fundamental, a temperatura é uma importante grandeza física, que é utilizada como variável para leitura, medição e controle dos diversos processos existentes, nos quais a leitura de dados é feita pelos sensores.

Junto com a pressão, a vazão e o nível, a temperatura é uma das principais variáveis de processo. Sua medição e controle são de fundamental importância numa vasta gama de

aplicações, que abrange desde processos físicos e químicos até a proteção de equipamentos (BEGA, 2006, p. 207).

Ao longo do subcapítulo, destacamos como a temperatura é uma grandeza fundamental que influencia desde a física das partículas até os processos industriais que possuem aplicabilidade num vasto ramo de atuação. Em resumo, a temperatura é uma grandeza que transcende barreiras disciplinares, desempenhando um papel vital na compreensão do mundo ao nosso redor e na melhoria de nossa qualidade de vida.

Com isso, fica evidente, que através dessa importante variável, os sensores de temperatura, em especial de baixo custo, emergem como uma tecnologia crucial, tornando a monitorização e o controle da temperatura mais acessíveis e eficazes. Eles têm implicações e aplicabilidade significativas, em diversas áreas, destaco a área naval, a bordo dos Navios de Guerra da Marinha do Brasil, que serão abordadas nos próximos capítulos deste trabalho.

2.3 Sensores de temperatura

Os sensores de temperatura têm uma história que remonta ao século XVIII, começando com o termômetro de mercúrio de Fahrenheit. Ao longo dos anos, surgiram tecnologias como termopares, termorresistências, termistores e sensores digitais, cada um com suas aplicações específicas. Hoje, a tecnologia continua a evoluir, com sensores de estado sólido, infravermelhos e de fibra óptica desempenhando papéis importantes em várias indústrias. Esses sensores desempenham um papel vital na medição precisa da temperatura em diversas condições e aplicações.

Desse modo, a importância dos sensores na automação de processos é indiscutível, uma vez que esses dispositivos desempenham um papel primordial na coleta de informações essenciais sobre o sistema. Os sensores são vitais para garantir que as informações necessárias sobre o andamento do processo estejam sempre disponíveis. Essas informações são fundamentais para que os sistemas possam operar de acordo com as configurações preestabelecidas, facilitando o controle e a monitorização eficazes. (THOMAZINI & ALBUQUERQUE, 2009).

Outra notória referência é a norma NBR 14610 (2000), que define sensor como: o elemento sensível de um instrumento de medição. Pode ser conceituado como dispositivo que

interage diretamente com o mensurando e converte suas variações em um sinal de medição. Os principais sensores de temperatura são: termopar; termorresistência; dispositivos semicondutores (podemos citar: diodos e transistores), termistor (NTC, PTC); e o sensor de quartzo.

O autor deixa claro que a especificação de um sistema de medição de temperatura é um fator sensível, devido à ampla variedade de sensores existentes. Por isso, é fundamental que seja escolhido o sensor adequado para a finalidade desejada. Assim, são considerados os principais fatores técnicos, como faixa de temperatura, precisão, repetibilidade e tempo de resposta (BEGA, 2006).

“Os sensores de temperatura podem ser classificados, de um modo geral, em mecânicos e eletrônicos. Os sensores mecânicos mais usados são os seguintes:

1. Bimetal;
2. Enchimento termal;
3. Haste de vidro.

Os sensores eletrônicos mais usados são:

1. Termopar;
2. Resistência metálica;
3. Termistores ou resistência a semicondutor.

“Há ainda os pirômetros ópticos e de radiação, para medição de temperatura sem contato direto” (RIBEIRO, 2009, p. 258).

Em virtude dos diversos tipos de sensores de temperatura existentes, foram escolhidos os sensores elétricos a serem apresentados abaixo, em uma breve abordagem, devido ao fato do sensor LM35 (dispositivo escolhido para base do sensor proposto) possuir algumas características que remetem a esses sensores, como, por exemplo, os termistores.

2.3.1 Termorresistência

As termorresistências, bulbos de resistência, termômetro de resistência ou RTD têm seu princípio de funcionamento na variação da resistência ôhmica em função da temperatura. Elas aumentam a resistência com o aumento da temperatura (ELETROBRÁS, 2008).

Aguirre (2013) afirma que os sistemas de medição de temperatura provenientes de termorresistências não têm por finalidade a medição de sua resistência, mas sim alguma grandeza diretamente relacionada a ela.

Sendo assim, fica claro que seu funcionamento é em função da variação ôhmica das resistências, conforme citado acima, para que, desse modo, possa obter a grandeza desejada, que possui relação direta com a resistência elétrica. Porém, não é exagero afirmar que esse tema possui inúmeras possibilidades para a medição da temperatura de acordo com o sensor escolhido, para o qual temos vantagens e desvantagens seja qual for a ferramenta de medição escolhida.

Na figura 01 são elencadas algumas vantagens e desvantagens relacionadas às termorresistências.

Figura 01 – Característica da termorresistência.

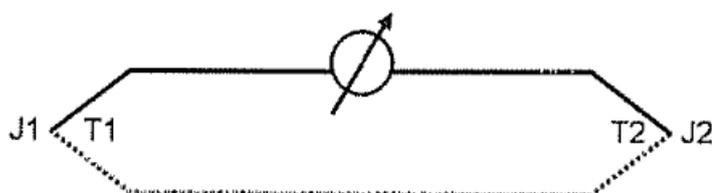
Características para a escolha das termorresistência	
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Possui maior precisão dentro da faixa de utilização do que outros tipos de sensores. • Tem boas características de estabilidade e repetibilidade. • Com ligação adequada, não existe limitação para distância de operação. • Dispensa o uso de fios e cabos especiais, sendo necessários somente fios de cobre comuns. • Se adequadamente protegido (poços e tubos de proteção), permite a utilização em qualquer ambiente. • Curva de resistência x temperatura mais linear. • Menos influência por ruídos elétricos.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • É mais caro do que os outros sensores utilizados nesta mesma faixa. • Baixo alcance de medição (máx. 630°C). • Deteriora-se com mais facilidade, caso ultrapasse a temperatura máxima de utilização. • É necessário que todo o corpo do bulbo esteja com a temperatura estabilizada para a correta indicação. • Possui um tempo de resposta elevado. • Mais frágil mecanicamente. • Autoaquecimento, exigindo instrumentação sofisticada.

Fonte: ELETROBRÁS, 2009, P.122.

2.3.2 Termopares

Quando se fala dos Termopares é necessário abordar sobre seu princípio, cujo fenômeno termoelétrico é compreendido pelos seguintes efeitos: Seebeck, Thomson e Peltier. Na figura 02 é possível representar o termopar.

Figura 02 – Representação do termopar.



Fonte: (BEGA, 2006, p. 222)

Como afirma o autor, a circulação da corrente no circuito composto por dois fios condutores diferentes é ocasionada por uma Força Eletromotriz (FEM). Essa FEM está relacionada com o campo elétrico proveniente do aquecimento entre as juntas metálicas. Por sua vez, a geração da FEM pode ser explicada por três efeitos: Thomson, Seebeck e Peltier.

- a) Thomson: O campo elétrico é criado devido ao aquecimento de uma barra condutora;
- b) Seebeck: ocorre uma circulação de corrente em um circuito formado por dois metais de diferentes naturezas, quando eles possuem diferentes temperaturas em suas junções;
- c) Peltier: Há uma liberação ou absorção de calor em uma junção termoelétrica (THOMAZINI & ALBUQUERQUE, 2009).

Sobre os termopares, pode-se afirmar que:

Existem várias combinações de dois metais condutores operando como termopares. As combinações de fios devem possuir uma relação razoavelmente linear entre temperatura e força eletromotriz (f.e.m.) devem desenvolver uma f.e.m. por grau de mudança de temperatura, que seja detectável pelos equipamentos normais de medição. (PROCEL, 2009, p.122)

Assim, como foi citado o princípio de funcionamento dos termopares opera a partir da diferença de temperatura entre dois condutores metálicos diferentes, que ocasiona uma diferença de potencial elétrico (d.d.p), que é diretamente proporcional à temperatura. Desta forma, fica evidente que a combinação de diferentes juntas de condutores metálicos distintos

possibilitará inúmeros tipos de termopares, que, por sua vez, possuirão diferentes faixas de operação devido as características intrínsecas dos condutores, possibilitando, assim, uma vasta área de atuação.

2.3.3 Termistores

“São resistores termicamente sensíveis. São semicondutores eletrônicos cuja resistência elétrica varia com a temperatura” (THOMAZINI E ALBUQUERQUE, 2009).

Segundo Bega (2006), esta é uma aproximação da relação entre a resistência e a temperatura, onde pode ser obtida pelas curvas dos fabricantes dos dispositivos:

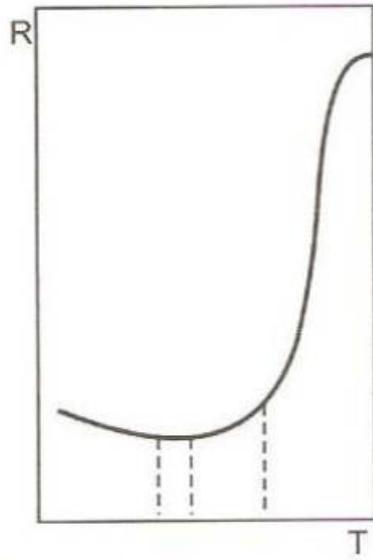
$$R = R_0 \cdot e^{k(1/T - 1/T_0)} \quad (1)$$

Onde:

- R = resistência para temperatura T em (K);
- R_0 = resistência na temperatura de referência T_0 (K);
- e = base dos logaritmos neperianos;
- k = constante do material (de acordo com sua faixa de temperatura).

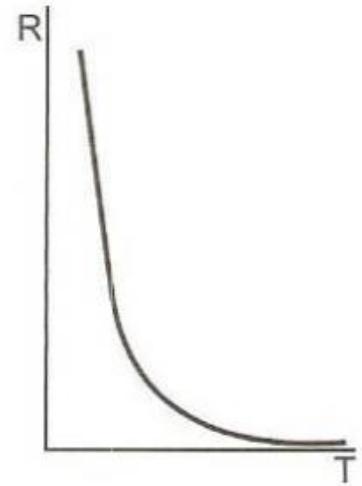
Há dois tipos de termistores: os que possuem coeficiente positivo de temperatura (PTC) e os que possuem coeficiente negativo de temperatura (NTC). Nos PTCs, a resistência aumenta com o aumento da temperatura, enquanto nos NTC, ocorre o oposto, a resistência diminui à medida que a temperatura se eleva.

Figura 03 – Curva termistor PTC



Fonte: (THOMAZINI E ALBUQUERQUE, 2009).

Figura 04 – Curva termistor NTC



Fonte: (THOMAZINI E ALBUQUERQUE, 2009).

3 PROTÓTIPO

Este capítulo tem por finalidade abordar a respeito das etapas de construção do sensor de temperatura de baixo custo proposto. Para isso, foram utilizados os seguintes componentes: microcontrolador Arduíno UNO; display LCD 1602A; protoboard; elemento resistivo; e o sensor LM35. Para tal, serão apresentados os dados técnicos dos componentes utilizados, bem como a simulação de funcionamento do sensor.

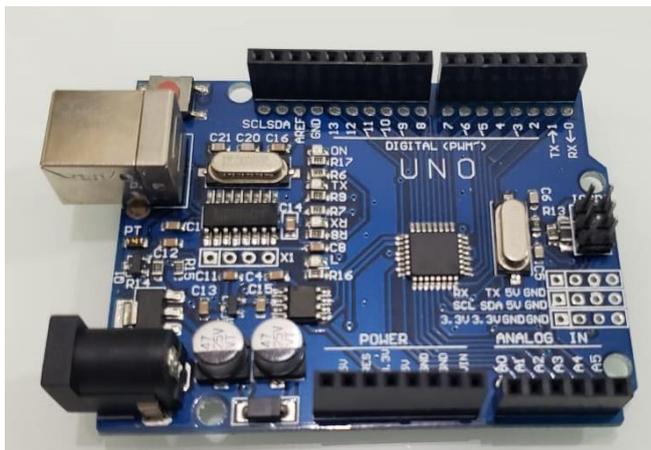
3.1 Componentes

3.1.1 Arduíno

O Arduíno é uma plataforma de código aberto, que consiste em hardware e software projetados para facilitar a criação de projetos interativos e controlados por microcontroladores, com o objetivo de tornar a eletrônica mais acessível a pessoas que desejam criar dispositivos eletrônicos. "O Arduíno é o que chamamos de plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software" (McRoberts, 2011, p.22).

O autor afirma que, desde sua criação até o presente momento, foram criadas uma série de versões do Arduíno, todas baseadas no microprocessador de 8 bits Atmel AVR *Reduced Instruction Set Computer*. Sua placa possui 14 pinos digitais, cada um dos quais pode ser configurado como entrada ou saída, e seis entradas analógicas. Além disso, seis dos pinos digitais podem ser configurados para fornecer uma saída analógica por modulação de largura de pulso (PWM). Dispõe de diversos protocolos de comunicação, incluindo serial, barramento de interface periférica serial (SPI) e I2C/TWI. Incluídos em cada placa como recursos padrão estão um cabeçalho de programação serial em circuito (ICSP) e um botão de reset (M. Evans; J. Noble; J. Hochenbaum, 2013).

Figura 05 – Arduíno UNO R3 SMD.



Fonte: O autor.

Tabela 01: Principais informações técnicas do Arduíno UNO R3 SMD:

ARDUINO UNO R3 SMD	
Microcontrolador	ATmega328P
Tensão de operação	5V
Tensão de entrada recomendada	7 – 12V
Tensão de entrada limite	6 – 20V
Pinos digitais de entrada e saída	14 (dos quais 6 fornecem saída PWM)
Pinos analógicos de entrada	6
Corrente CC por pino de entrada e saída	40 mA
Corrente CC para pino de 3,3 V	50 mA

Fonte: Autor.

3.1.2 Display LCD

Os Displays LCD são muito úteis para o uso em conjunto com um micro-controlador para desenvolver determinado processo. Eles permitem uma interface visual entre homem e máquina (IHM) de baixo custo e de simples utilização (BLOG DO ELETROGATE, 2018).

Figura 06 – Vista frontal do display LCD 1602A.



Fonte: O autor

Segundo McRoberts (2013), os displays de LCD necessitam de chips controladores, sendo esses chips integrados ao display. O tipo de chip controlador mais comum é o Hitachi HD44780 (ou compatível).

Figura 07 – Vista posterior do display LCD 1602A.



Fonte: O autor.

Para fins técnicos das etapas de construção do sensor de temperatura de baixo custo, serão apresentados os dados de características elétricas do dispositivo em questão:

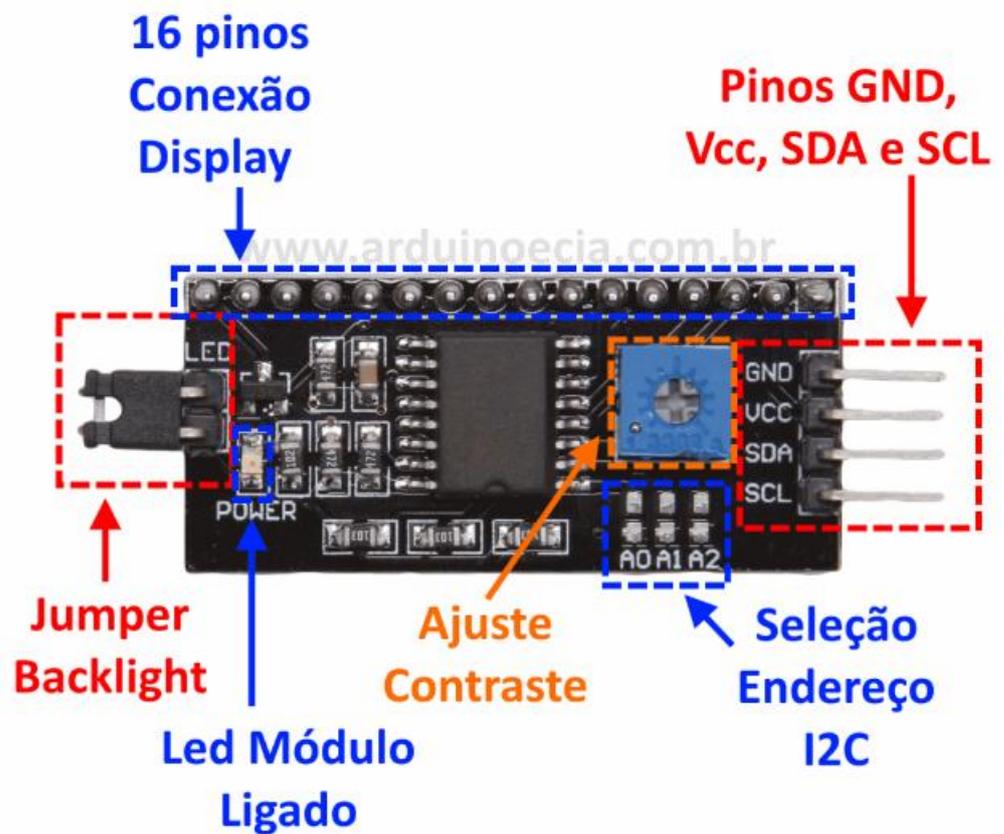
Tabela 02 – Datasheet das características elétricas do display LCD 1602A.

ITEM	SÍMBOLO	CONDIÇÃO DE TESTE	MÍN	TIPO	MÁX	UNIDADE
FONTE DE ALIMENTAÇÃO PARA LÓGICA	VDD	--	4,7	5,0	5,5	V
TENSÃO	VDD-VO	--	--	5,0	--	V

OPERACIONAL PARA LCD						
ENTRADA DE ALTA TENSÃO	Vih	--	2,2	--	Vdd	V
ENTRADA DE BAIXA TENSÃO	Vil	--	-0,3	--	0,6	V
SAÍDA DE ALTA TENSÃO	Voh	-Ioh=0,2mA	2.4	--	--	V
SAÍDA DE BAIXA TENSÃO	Vol	Iol=1,2mA	--	--	0,4	V
CORRENTE DE ALIMENTAÇÃO	Idd	Vdd=3,0v	--	1,1	--	mA

Fonte: SHENZHEN EONE ELECTRONICS CO., LTD.

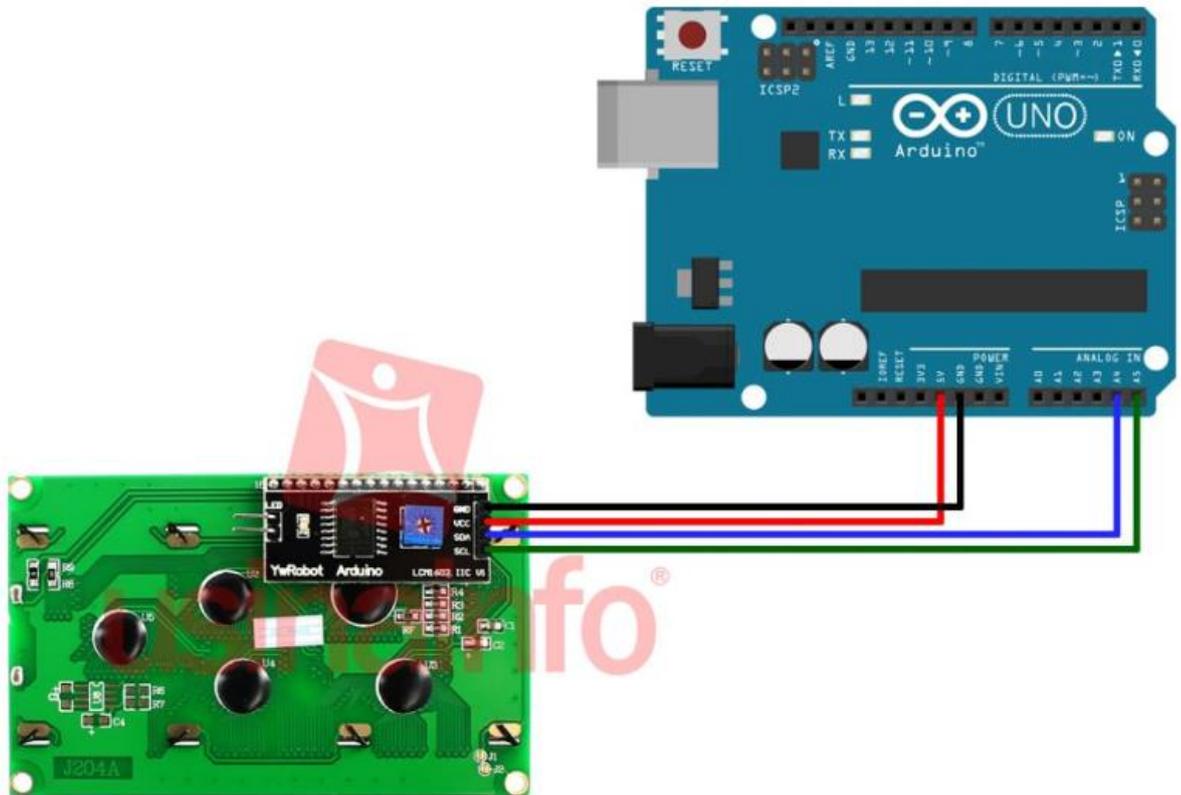
Figura 08 – Estrutura do módulo I2C.



Fonte: www.arduinoocia.com.br

Na figura acima, é possível identificar que o display possui um módulo I2C soldado a sua estrutura. Esse módulo é responsável por simplificar a comunicação dos CIs (circuitos integrados) entre o microcontrolador (Arduíno) e o display LCD 1602A.

Figura 09 – Esquema da conexão do Microcontrolador e o display LCD.



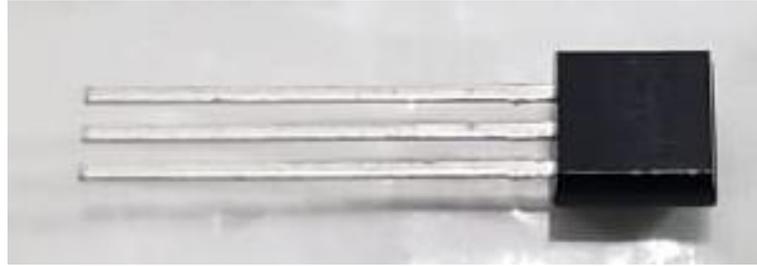
Fonte: <https://www.usinainfo.com.br/>.

O protocolo I2C (ou Inter-IC), às vezes chamado TWI, ou Two Wire Interface, foi desenvolvido pela Philips Semiconductors (também conhecida como NXP) para criar um barramento bidirecional simples, utilizando apenas duas linhas de comunicação para controle entre os CIs (McRoberts, 2013, p. 367).

3.1.3 Sensor LM35

Segundo a folha de dados do equipamento (Texas Instrument, 2017), a série LM35 é composta por dispositivos de circuito integrado de alta precisão que produzem uma tensão de saída diretamente proporcional à temperatura em graus Celsius.

Figura 10 – Sensor LM35.



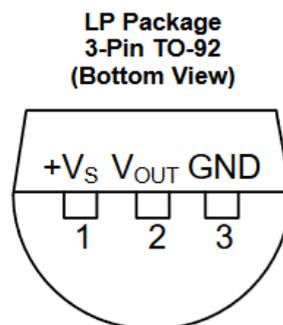
Fonte: O autor.

O LM35 possui uma notória vantagem sobre sensores de temperatura calibrados em Kelvin, pois não é necessário que o usuário subtraia uma grande tensão constante da saída para obter uma escala conveniente em graus Celsius. O dispositivo LM35 tem por característica fornecer precisões típicas de $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$ à temperatura ambiente e $\pm 3/4^{\circ}\text{C}$ em toda a faixa de temperatura de -55°C a 150°C , sem requisitar de calibração externa ou ajuste.

Além disso, possui outras vantagens que serão descritas abaixo:

- a) Possui um custo mais baixo e garantido por meio de ajuste e calibração no nível do wafer;
- b) A baixa impedância de saída, comportamento linear e calibração precisa inerente do dispositivo LM35 tornam a interface com circuitos de leitura ou controle de fácil manuseio; e
- c) Possui um auto aquecimento muito baixo, de menos de $0,1^{\circ}\text{C}$ em ar parado, devido ao fato do dispositivo LM35 consumir apenas $60\ \mu\text{A}$ da fonte.

Figura 11 – Vista de baixo do sensor LM35.



Fonte: Datasheet LM35.

Acima, são identificados os pinos dos terminais do dispositivo, nos quais são descritas suas funções de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 03 – Funções dos pinos do sensor LM35.

Nome	Identificação	Tipo	Descrição
Vout	1	O	Saída do sensor de temperatura analógico
GND	2	Aterramento	Pino de aterramento do dispositivo, conecte ao negativo da fonte de alimentação terminal
+Vs	3	Alimentação	Pino positivo da fonte de alimentação

Fonte: Folha de dados LM35 modificada.

A característica de precisão do sensor LM35 é fornecida pela função:

$$V_{OUT} = 10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C} \times T \quad (2)$$

Onde:

- Vout é a tensão de saída do LM35; e
- T é a temperatura em °C.

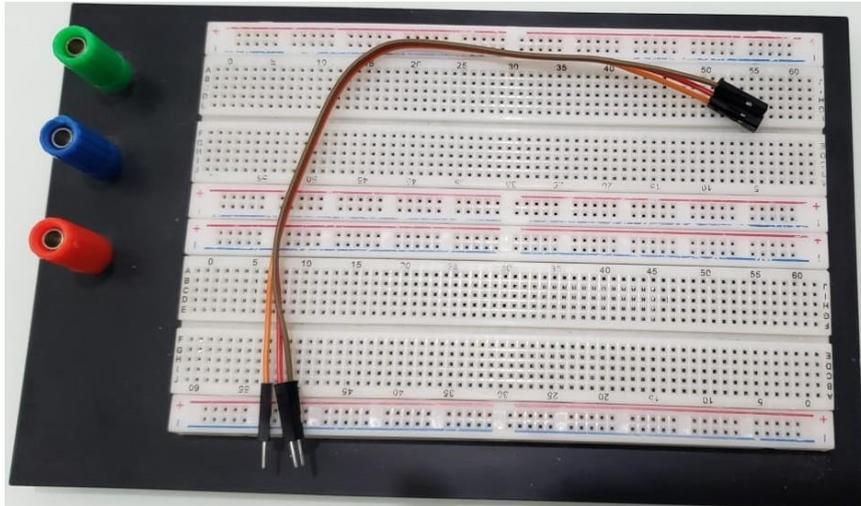
3.1.4 Protoboard e Jumpers

“A protoboard é um dispositivo reutilizável, sem solda, utilizado para prototipar um circuito eletrônico ou para experimentar projetos de circuitos. A placa consiste em uma série de furos em uma grade; sob a placa, esses furos são conectados por uma tira de metal condutivo” (McRoberts, 2013, p. 46).

Para a construção desse projeto, em uma das etapas, foi utilizado um protoboard de 1660 pontos com base de metal para arduíno, a fim de possibilitar inserir no protótipo para

monitoração de temperatura, elementos adicionais que propiciarão aproximar as condições reais a bordo de um Navio de Guerra. Além disso, foram utilizados os fios Jumpers (pequeno condutor utilizado para conexão entre dois pontos do circuito eletrônico).

Figura 12 – Protoboard e fios jumpers.



Fonte: O autor

3.1.5 Resistor 1 k Ω

Dispositivo projetado para provocar resistência a uma corrente elétrica, resultando em queda na voltagem em seus terminais.

Figura 13 – Resistência 1 k Ω .



Fonte: O autor

3.1.6 Custo de aquisição e viabilidade econômica

Inicialmente, foi feita a pesquisa de preço dos componentes, para que pudesse ser comprovada a viabilidade econômica do protótipo para monitoração de temperatura. Destaco que foi feita a pesquisa de preço, e posteriormente a compra no site Mercado Livre, e os

mesmos componentes podem variar de preço a depender da data e disponibilidade do item para compra.

Tabela 04 – Custo de aquisição do Protótipo realizado em 13 de outubro de 2023.

Componentes	Quantidade	Valor (R\$)
Microcontrolador Arduino UNO R3 SMD	1	59,75
Display LCD com módulo I2C soldado	1	35,99
Kit de fios jumpers	1	15,99
Protoboard	1	78,90
Resistência de 1 k Ω	1	1,49
Sensor LM35	1	28,00
Valor Total (R\$)		220,12

Fonte: O autor

Na tabela acima foi exibido preço total contendo todos os componentes, mas ressalto que para fins operacionais, não seria necessário a utilização do protoboard, uma vez que devido a dimensão reduzida dos componentes, é possível soldar a resistência de 1k Ω na conexão do sensor LM35. Desta maneira o Valor Total para a versão operacional do protótipo ficaria em: R\$ 141,22.

Na figura 14, é possível observar que o dispositivo para monitoração de temperatura (possui faixa de operação próximo ao protótipo) está avaliado em R\$ 736,30, assim confirmando a viabilidade do protótipo proposto, cujo valor mínimo para operação custou R\$ 141,22.

Figura 14 – Dispositivo equivalente ao protótipo proposto.



Fonte: www.casaferreira.com.br

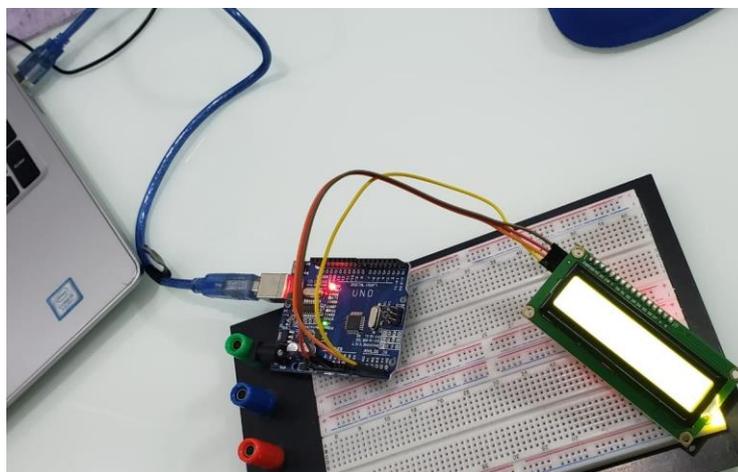
3.2 Programação

Para o funcionamento do protótipo de monitoração de temperatura foi utilizado o software Arduino IDE para que os dispositivos possam operar integrados. No apêndice A, consta a compilação de todo o código feito para operação do protótipo.

3.3 Construção

Iniciou-se com a fase de teste com o display e o microcontrolador Arduino. Após feita toda a compilação da programação no Arduino, foi observada a seguinte “anomalia”: durante a alimentação do dispositivo (Arduino e display) a tela ficou energizada, porém sem apresentar nenhum caractere no display.

Figura 15 – Teste do display com o Arduino.



Fonte: O autor

Assim, foi iniciada uma pesquisa a fim de investigar a possível “anomalia” tendo em vista que toda a programação havia sido efetuada corretamente. Ao pesquisar no site: www.arduinoocia.com.br, observou-se que um dos elementos que compõem o módulo era o potenciômetro. E, através desse potenciômetro, foi possível ajustar o contraste do display, assim descobrindo que não havia anomalia, mas sim a falta de ajuste.

Figura 16 – Potenciômetro ajustável.

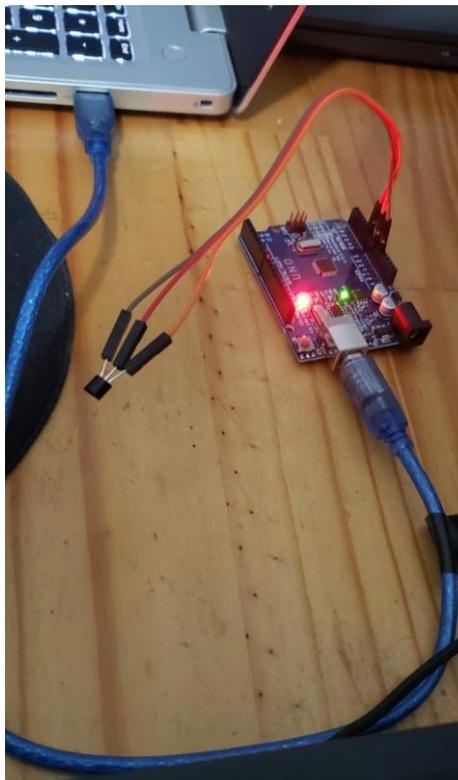


Fonte: <https://www.baudaeletronica.com.br>

Após efetuado o ajuste necessário, citado acima, começaram a aparecer os caracteres que eram digitados pelo software do Arduíno no display LCD, comprovando o correto funcionamento.

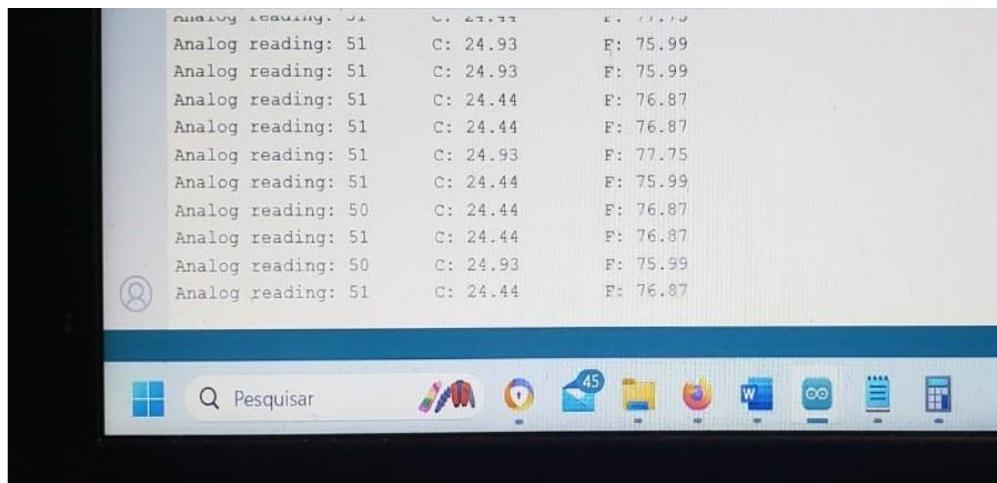
Cumprida a etapa de configuração e teste do display, iniciou-se a construção do protótipo com apenas o com microcontrolador Arduíno R3 SMD e o sensor de temperatura LM35, utilizando os fios Jumps para conexão entre os dispositivos, cuja alimentação foi fornecida pelo notebook. Esta versão foi a construção mais simplificada possível.

Figura 17 – Teste do protótipo simplificado.



Fonte: O autor

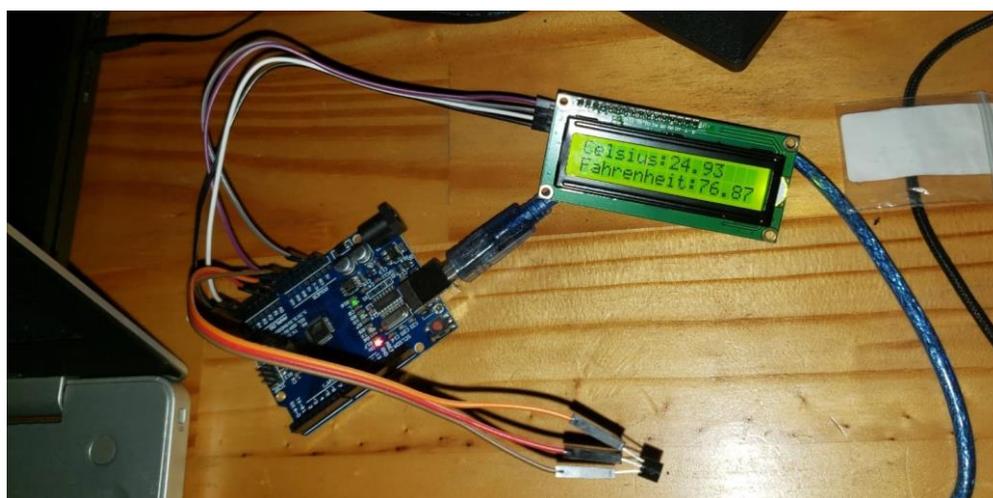
Figura 18 – Leitura da temperatura.



Fonte: O autor

A figura acima comprova a leitura do sensor de temperatura LM35 feita pelo protótipo na versão simplificada, sendo replicada a leitura da temperatura ambiente em graus Celsius, indicada por: “C” e Fahrenheit, indicada por: “F” no software Arduino IDE.

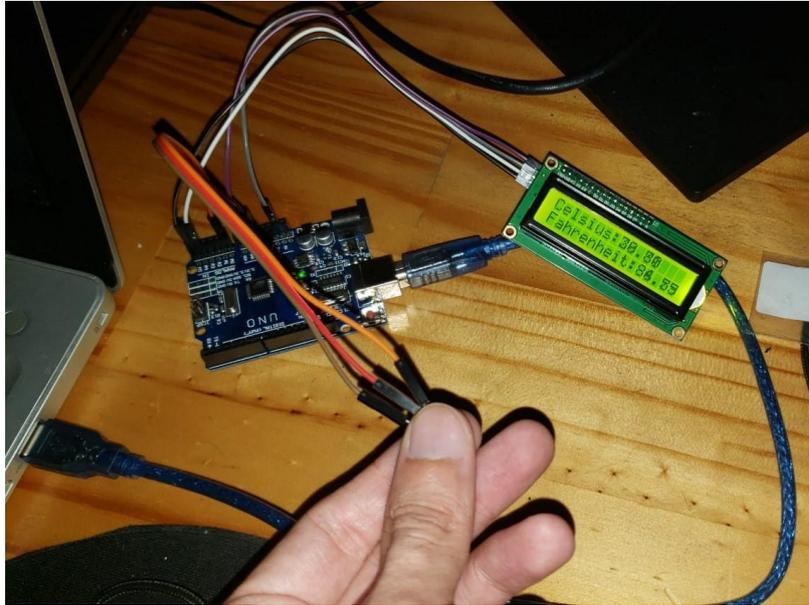
Figura 19 – Versão do protótipo com display LCD.



Fonte: O autor

A figura 19 comprova o funcionamento do protótipo na versão com o display LCD. Na ocasião, registrou a temperatura ambiente como parâmetro a ser analisado.

Figura 20 – Versão do protótipo com display sofrendo ação externa.

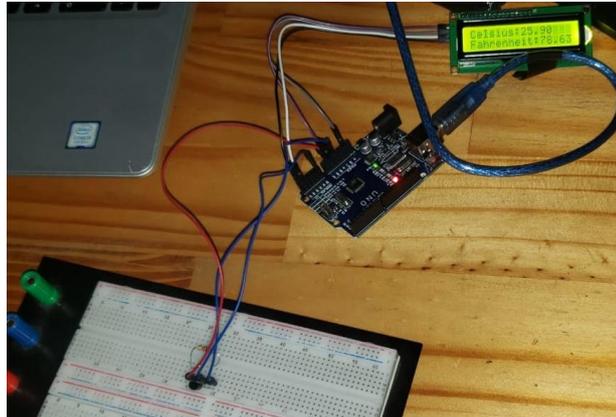


Fonte: O autor.

Na figura 20 foi possível verificar o protótipo com o display lendo a variação de temperatura ocorrida pelo calor transferido do corpo humano para o sensor LM35. Através desse teste, foi possível verificar que o protótipo é capaz de fazer a leitura da temperatura para qualquer fonte de calor (desde que esteja dentro da faixa de operação do sensor). Desse modo, justificando a possibilidade de uso em diversos sistemas navais. Assim, destaca-se a vantagem desse dispositivo não necessitar de calibração externa, comprovando, desse modo, sua confiabilidade para leitura de variações de temperaturas.

Em seguida, foram adicionados os seguintes componentes: uma protoboard de 1660 pinos, uma resistência de $1k\Omega$ para chegar à versão expandida do protótipo, conforme a figura 21. Destaco que foi inserida a protoboard, apenas para fins acadêmicos de prototipagem, e tentar simular as perturbações que os sistemas navais possam sofrer a bordo dos Navios de Guerra da Marinha do Brasil.

Figura 21 – Versão expandida do protótipo.



Fonte: O autor.

Na versão expandida do protótipo, a inserção da resistência possui uma função essencial, pois ela drena a corrente do sinal de saída, pois haverá uma menor flutuação de sinal, deixando o sistema mais estável. Assim, o Arduino fará a leitura da tensão de forma mais precisa e com menos variação.

3.4 Limitações

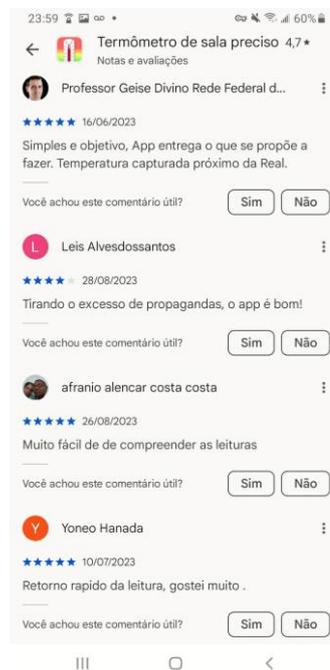
Durante a fase de testes do protótipo, não foi possível obter um instrumento de referência para comparar a temperatura medida pelo protótipo. Desse modo, foi utilizado um aplicativo no celular, como interface intermediária para realizar a Interação Homem Máquina de medição de temperatura do ambiente em que o protótipo estava operando, a fim de obter algum parâmetro comparativo. Através do sinal de GPS, o aparelho celular realizou uma busca em sites de meteorologia para indicar a temperatura no local por intermédio do aplicativo.

Figura 22 – Aplicativo de termômetro para celular android.



Fonte: O autor.

Figura 23 – Feedback do aplicativo.



Fonte: O autor.

Ressalta-se que, embora o aplicativo tenha apresentado feedbacks positivos de alguns usuários, não é possível considerá-lo como instrumento de referência confiável.

Figura 24 – Leitura feita pelo aplicativo.



Fonte: O autor.

A leitura apresentada na figura 24 foi feita no mesmo momento em que o protótipo em sua versão simplificada (microcontrolador, Sensor LM35 e fios jumpers), ilustrada pela figura 17, estava em operação.

3.5 Aplicações

Segundo o datasheet do sensor LM35, esse dispositivo é utilizado para diversos fins de detecção de temperatura devido à sua alta precisão. Apesar de não ter sido testado em navios, o dispositivo por ter seu tamanho reduzido, pode ser utilizado em estudos futuros para implementação em máquinas elétricas a fim de medir a temperatura de seus enrolamentos. Outra possibilidade, é a aplicação do dispositivo para monitoração de temperatura de câmaras frigoríficas que trabalhem dentro dos parâmetros do protótipo em questão. Ressalta-se que ambas as possibilidades haverá a necessidade de adaptação física do protótipo.

4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Ao longo das etapas de construção e testes dos dispositivos foi possível verificar a leitura da temperatura medida pelo protótipo, cuja representação é exposta na tabela 05.

Tabela 05 – registro das temperaturas durante a construção do protótipo.

Configuração do Protótipo	Nº da figura	Temperatura (°C)	Varição em Graus Celsius em relação ao aplicativo (23,9°C)	Varição percentual em relação ao aplicativo (23,9°C)
Protótipo simplificado	17	24,44 °C	0,54 °C	2,26%
Protótipo com display LCD	19	24,93 °C	1,03 °C	4,31%
Protótipo expandido	21	25,90 °C	2,00 °C	8,37%

Fonte: O autor.

Assim, é possível notar pelas configurações testadas a ocorrência de variações a cada inclusão dos elementos, até chegar na sua configuração denominada completa. Destaco que na configuração completa houve maior “erro”, embora não seja possível mensurar com exatidão, devido à imprecisão da referência utilizada.

Uma notória característica observada foi a simplicidade para construir o protótipo, pois como foi visto, com a forma simplificada já pode observar um funcionamento satisfatório, ainda que apresentasse algumas flutuações no ambiente controlado. Lembrando que esse tipo de sensor é composto por elementos integrados em que não há a necessidade de calibração externa, fato que garante maior confiabilidade em suas medições.

O fato de construir o protótipo com a protoboard, display e resistência foi com o intuito de considerar outras variáveis para que possam influenciar na medição de temperatura. Assim, aproximando a realidade da vida de bordo nos Navios de Guerra da Marinha do Brasil.

Como o protótipo entrou em operação em um ambiente residencial, onde as condições eram controladas, não foi possível observar como esse dispositivo se comportaria em sistemas navais. Porém, ficou comprovado que o dispositivo apresentou a medição de temperatura satisfatória diante dos testes realizados.

5 CONCLUSÃO

5.1 Considerações Finais

O desenvolvimento da presente pesquisa possibilitou conhecer sobre alguns tipos de sensores de temperatura, embora o objetivo principal foi descrever as etapas de construção de um protótipo para monitoração de temperatura, cujos componentes possuem custo relativamente baixo para a área militar naval.

Ao longo do trabalho, foi detalhado sobre um essencial componente que era o sensor LM35, conhecido por seu circuito integrado, propiciando alta precisão, sem a necessidade de calibração externa (embora é preciso da integração de todos os componentes para que o protótipo funcione).

Durante o experimento, a construção ocorreu de forma satisfatória, sendo descritas algumas dificuldades, as quais foram posteriormente solucionadas. Ao chegar no momento de análise comparativa dos dados, houve grande limitação, em virtude de não ter disponível um instrumento de referência confiável (foi utilizado um aplicativo de celular) para comparação com o protótipo. Além disso, o experimento foi conduzido em um ambiente controlado, porém tentou simular o mínimo de interferência que existem a bordo dos navios (umidade, corrosão causada pela água salgada) com a inserção de elemento adicional (protoboard).

Assim, esse trabalho teve o intuito de servir como base para que trabalhos futuros possam fazer a análise dos resultados com maior confiabilidade. Mesmo assim, apesar das limitações durante os experimentos, o protótipo cumpriu com sua função, servindo como possibilidade para aplicações aos sistemas navais da Marinha do Brasil.

5.2 Sugestões para Futuros Trabalhos

Utilizar instrumentos de referência que sejam certificados tecnicamente para comparação com o protótipo;

Realizar teste em locais que possam simular as perturbações sofridas por equipamentos em operação;

Estudar elementos que atuem na otimização no processo de medição do sensor LM35 a fim de elevar o grau de precisão do protótipo, em condição de ambientes não controlados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resumos: NBR-14610**. Rio de Janeiro, 2000. 5 p.

AGUIRRE, L. A. **Fundamentos da Instrumentação**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

ARDUINO. **Arduino Software (IDE)**. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment>. Acesso em: 15 de outubro de 2023.

ARDUINO E CIA. **Como usar o módulo I2C com Arduino e display LCD 16x2**. Disponível em: <https://www.arduinoocia.com.br/modulo-i2c-display-16x2-arduino>. Acesso em 20 de outubro de 2023.

BAU DA ELETRÔNICA. **Trimpots**. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/componentes-eletronicos/potenciometros/trimpots>. Acessado em 20 de outubro de 2023.

BEGA, E. A. **Instrumentação Industrial**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

BRINCANDO COM IDEIAS. **Conheça os segredos para usar o display de LCD no Arduino via I2C**. YouTube, 15 de fevereiro de 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=5OSPk5oHhVM>. Acessado em: 16 de outubro de 2023.

CASA FERREIRA. **TERMOMETRO DIGITAL FULL GAUGE PENTAIII COM 5 SENSORES**. Disponível em: https://www.casaferreira.com.br/produto/termometro-digital-full-gauge-pentaiii-com-5-sensores-75800?gad_source=4&gclid=Cj0KCQiA67CrBhC1ARIsACKAa8SVz5IEkjbGYWpfZjo7puo0oqQv5RQR8qJZmaQtXE8vebQckCf04BkaAIYEEALw_wcB. Acesso em 24 de novembro de 2023.

FUNBOTS. **Sensor de temperatura de alta precisão e baixo custo | Como usar o sensor LM35 com o Arduino!** YouTube, 12 de julho de 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=VjHfjkd5KuE&t=749s>. Acessado em: 15 de outubro de 2023.

DEMO, P. **Introdução à metodologia da ciência**. São Paulo: Atlas, 1985.

ELETROBRÁS. **Instrumentação e controle: guia básico**. Brasília: IEL/NC, 2008.

EVANS M; NOBLE J; HOCHENBAUM J. **Arduino in Action**. Shelter Island: Manning, 2013.

FARNELL. **Arduino A000073**. Disponível em: https://handsontec.com/?s=DISPLAY+E+ARDUINO&post_type=product. Acessado em: 17 de outubro de 2023.

MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas 2003.

MCROBERTS M. **Arduíno Básico**. São Paulo: Novatec editora, 2011.

MERCADO LIVRE. **Cabo Wire Jumper 20cm 40 Fios Fêmea-macho Protoboard Arduino**. https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2137220322-cabo-wire-jumper-20cm-40-fios-fmea-macho-protoboard-arduino-_JM#position=11&search_layout=stack&type=item&tracking_id=33bd56bd-34e5-4e65-88d8-7dcb8c8a164e. Acesso em: 13 de outubro de 2023.

MERCADO LIVRE. **Display Lcd 1602 16x2 Fundo Verde Com Módulo I2c Soldado**. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2707914397-display-lcd-1602-16x2-fundo-verde-com-modulo-i2c-soldado-_JM. Acesso em: 13 de outubro de 2023.

MERCADO LIVRE. **Placa Compatível Arduíno Uno R3 Atmega328 Smd Com Cabo Pino**. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3242910895-placa-compativel-arduino-uno-r3-atmega328-smd-com-cabo-pino-_JM#position=5&search_layout=stack&type=item&tracking_id=223e5854-73f4-492c-8568-bf1f12f3ecef. Acesso em 13 de outubro de 2023.

MERCADO LIVRE. **Protoboard 1660 Furos + 3 Bornes + Base Metal**. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1340332087-protoboard-1660-furos-3-bornes-base-metal-_JM#position=7&search_layout=stack&type=item&tracking_id=08c0f658-6fdd-4671-95c1-963f81aebede. Acesso em 13 de outubro de 2023.

MERCADO LIVRE. **Resistor 1k**. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1813597916-resistor-1k-14w-x10-unidades-arduino-prototipagem-_JM. Acesso em 13 de outubro de 2023.

MERCADO LIVRE. **Sensor De Temperatura Lm35 To92 – Original**. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3419484829-sensor-de-temperatura-lm35-to92-original-_JM. Acesso em 13 de outubro de 2023.

PRODANOV, C. C; FREITAS E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAMALHO. **Os fundamentos da Física 2**. Editora Moderna, 2017.

RIBEIRO, M. A. **Instrumentação**. Salvador: Tek Treinamento & Consultoria Ltda, 2002.

STARLING, A. N. **Controle e automação I: introdução a instrumentação industrial**. Belo Horizonte, 2003.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM35**. Disponível em: <http://www.ti.com/product/LM35>. Acesso em: 19 jun. 2023.

THOMAZINI & ALBUQUERQUE. **Sensores Industriais: fundamentos e aplicações**. Edição 4. Editora Érica, 2015.

USINAINFO. **Projeto arduino com display lcd e adaptador i2c**. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/blog/projeto-arduino-com-display-lcd-e-adaptador-i2c/>. Acesso em: 20 de outubro de 2023.

ZANELLA, L. C. H. **Metodologia de pesquisa**. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC, 2013.

APÊNDICE

APÊNDICE A – CÓDIGO UNIFICADO DO PROTÓTIPO

```
#include <temp.h>
#include <wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C Lcd(0x27,16,2);
LM35 lm35(A0);
float C, F;
void setup()
{
  lcd.init();
  lcd.backlight();

  Serial.begin(9600);
}

Void loop()
{
  C = lm35.readCelsius();
  F = lm35.readFahrenheit();

  lcd.setBacklight (HIGH);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Celsius:");
  lcd.print(C);
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Fahrenheit:");
  lcd.print(F);
  delay(1000);
}
```