

Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA  
Engenharia Eletrônica

# **Sistema Embarcado de Baixo Custo Para Análise Térmica em Ambientes Fechados**

Autor: Jucelino Ferreira de Brito Júnior  
Orientador: Dr. Diogo Caetano Garcia

Brasília, DF  
2021





Jucelino Ferreira de Brito Júnior

# **Sistema Embarcado de Baixo Custo Para Análise Térmica em Ambientes Fechados**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Dr. Diogo Caetano Garcia

Brasília, DF

2021

---

Jucelino Ferreira de Brito Júnior

Sistema Embarcado de Baixo Custo Para Análise Térmica em Ambientes Fechados/ Jucelino Ferreira de Brito Júnior. – Brasília, DF, 2021-

77 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Dr. Diogo Caetano Garcia

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA , 2021.

1. Sistemas Embarcados. 2. Análise Térmica em Ambientes. I. Dr. Diogo Caetano Garcia. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Sistema Embarcado de Baixo Custo Para Análise Térmica em Ambientes Fechados

---

Jucelino Ferreira de Brito Júnior

## **Sistema Embarcado de Baixo Custo Para Análise Térmica em Ambientes Fechados**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 16 de novembro de 2021:

---

**Dr. Diogo Caetano Garcia**  
Orientador

---

**Dr. Daniel Mauricio Muñoz Arboleda**  
Convidado 1

---

**Dr. Gerardo Antonio Idrobo Pizo**  
Convidado 2

Brasília, DF  
2021



*Esse trabalho é dedicado àqueles que trabalham para que os sonhos se tornem realidade.*





# Agradecimentos

Primeiramente, agradeço ao meu Deus pelo dom da vida. Agradeço porque creio que dEle emana todo saber e conhecimento. Agradeço porque creio que tudo o que tenho e o que sou é graças a Ele. Agradeço à minha esposa, Carol, por sempre estar ao meu lado, me dando todo o suporte necessário para superar todos os desafios e dificuldades da vida. Te amo meu amor. Agradeço aos meus pais, Jucelino e Raimunda, porque se não fosse pelo esforço e dedicação de ambos em se sacrificarem tanto pelos filhos, eu também não estaria aqui. Agradeço à minha irmã mais nova, Thais, que é um motivo de orgulho e inspiração para mim e sempre esteve ao meu lado em todas as minhas loucuras. Não posso deixar de agradecer também ao meu amigo, João Gabriel. Graças a ele posso estar aqui concluindo a minha graduação em Engenharia Eletrônica. Foi um anjo que Deus colocou em meu caminho e me incentivou a retomar meus estudos, mesmo após mais de dois anos parado. Por fim, quero agradecer ao meu professor e orientador, Diogo, que foi paciente e me auxiliou de todas as formas possíveis para que eu pudesse entregar um bom trabalho. A todos, meu muito obrigado, vocês fazem parte da minha história.



*"Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do  
céu."Eclesiastes 3:1*



# Resumo

Este trabalho se propôs a construir um sistema embarcado de baixo custo para realizar a análise térmica de um ambiente fechado a fim de quantificar o impacto da presença de pessoas na temperatura desse ambiente e, a partir disso, analisar se esse dado poderia servir como parâmetro para controle de sistemas de regulação de temperatura, também conhecidos como sistemas HVAC (Heating, ventilation and air-conditioning) ou, em tradução livre, sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado. A relevância do tema reside no fato de que a temperatura no ambiente afeta os seres humanos nos mais diversos níveis, desde o individual até o social, sendo necessária a sua regulação para que permaneça dentro de determinados parâmetros pré-estabelecidos, porém, essa regulação exige enorme demanda energética, pois estima-se que 40% da energia consumida no mundo seja por conta dos edifícios, e 39% da energia consumida nos edifícios seja por conta da utilização de sistemas HVAC, sendo tema de pesquisas e trabalhos o desenvolvimento de métodos e tecnologias para torná-los cada vez mais eficientes. Dessa forma, buscando-se quantificar o impacto da presença de pessoas na temperatura do ambiente em que estão inseridas por meio do sistema embarcado proposto, foram obtidos resultados que indicaram uma média de variação absoluta máxima de temperatura de  $0,31^{\circ}\text{C}$  nos testes realizados. Isso indica que se trata de um estudo promissor, pois considera-se que os dados obtidos são suficientemente relevantes para serem utilizados como direcionadores para melhor controle de sistemas HVAC a partir de trabalhos futuros que aprofundem ou proponham melhorias à abordagem adotada aqui.

**Palavras-chaves:** Sistemas Embarcados. Análise Térmica em ambientes. Processamento de Imagens. Raspberry Pi. Conforto Térmico. HVAC



# Abstract

This paper proposed to build a low-cost embedded system for the thermal analysis of a room to quantify the impact in the temperature of this room based on people presence, and from that, analyze whether this data could serve as a parameter for controlling temperature regulation systems, also known as HVAC (Heating, Ventilation, and Air-Conditioning) systems. The relevance of this theme comes from the fact that the environment temperature affects the humans in different ways, since from the individual until the social sphere, what demands its regulation to previous determined parameters. That, although, brings a huge energy consumption need. Research says that about 40% of the energy produced on the planet is used by buildings, and about 39% of the energy produced by HVAC systems and because of this fact, the improvement of these systems are themes of studying and development of new technologies. Thus, seeking to quantify the impact of the presence of people on the temperature of the environment in which they are inserted through the proposed embedded system, results were obtained that indicated an average of the maximum absolute temperature variation of  $0.31^{\circ}\text{C}$  in the tests performed. This indicates that this is a promising study, as it is considered that the data obtained are sufficiently relevant to be used as drivers for better control of HVAC systems from future work that deepen or propose improvements to the approach adopted here.

**Key-words:** Embedded Systems. Environment Thermal Analysis. Image Processing. Raspberry Pi. Thermal Comfort. HVAC





# Lista de ilustrações

Figura 1 – Modelo de sistemas embarcados (NOERGAARD, 2013) . . . . .	27
Figura 2 – Ilustração do funcionamento de um termopar (BLAZERPROBES, 2021)	29
Figura 3 – Ilustração do funcionamento de um sensor RTD (JMS, 2021) . . . . .	29
Figura 4 – Curva de operação de termistores PTC e NTC (BECKHOFF, 2020) . .	30
Figura 5 – Um diodo bipolar de silício (a.) é o elemento sensor de temperatura. Quando polarizado com uma corrente constante, sua queda de tensão varia com a temperatura. Quando parte de um CI, o diodo é simulado por meio de um curto entre a base e o emissor de um transistor PNP (b.). Chaveando o circuito entre duas fontes de corrente (c.), o efeito na acurácia da medição causado pelo processo de dependência da saturação da corrente é eliminado (SENSORTIPS, 2021) . . . . .	32
Figura 6 – Curva característica do modelo proposto por Fanger (FANGER, 1973)	34
Figura 7 – Ambiente termicamente aceitável de acordo com Fanger (FANGER, 1973) . . . . .	34
Figura 8 – Gráfico da relação entre número de pessoas no bote salva-vidas e a temperatura do ar no interior do bote (SOLBERG et al., 2017) . . . . .	36
Figura 9 – Exemplo da utilização da visão aérea para detecção de pessoas em uma imagem (PYIMAGESEARCH, 2020) . . . . .	40
Figura 10 – Extração de Blob para detecção de pessoas - método tradicional (AHMAD et al., 2019) . . . . .	41
Figura 11 – Extração de características - método moderno (AHMAD et al., 2019) .	42
Figura 12 – Esquemático de ligação entre Raspberry e sensores (fonte: autor) . . .	46
Figura 13 – Interface Serial Integrada destacada em vermelho (FOUNDATION, 2021)	47
Figura 14 – Raspberry Pi 3B (FOUNDATION, 2021) . . . . .	48
Figura 15 – Sensor DS18B20 e sua configuração de pinos (INTEGRATED, 2019) .	49
Figura 16 – Diagrama de blocos do sensor DS18B20 (INTEGRATED, 2019) . . . . .	50
Figura 17 – Esquema de representação dos dados de temperatura (INTEGRATED, 2019) . . . . .	50
Figura 18 – Exemplo da relação entre a temperatura medida e o dado digital correspondente (INTEGRATED, 2019) . . . . .	51
Figura 19 – Esquema de ligação do sensor utilizando uma fonte de energia externa (INTEGRATED, 2019) . . . . .	51
Figura 20 – Módulo de câmera a Raspberry Pi Camera Rev. 1.3 (FOUNDATION, 2021) . . . . .	52
Figura 21 – Diagrama de blocos representando o funcionamento do software (fonte: autor) . . . . .	53

Figura 22 – Definição dos caminhos até o arquivo com os dados da leitura dos sensores (fonte: autor) . . . . .	54
Figura 23 – Leitura dos dados dos sensores de temperatura (fonte: autor) . . . . .	54
Figura 24 – Ilustração de uma envoltória convexa e uma não convexa (ZURICH, ) .	56
Figura 25 – Exemplo de envoltória convexa de um conjunto de pontos (ZURICH, )	56
Figura 26 – Diagrama ilustrativo do posicionamento dos sensores (fonte: autor) . .	59
Figura 27 – Conjunto de hardware e instalação no local de testes (fonte: autor) . .	60
Figura 28 – Screenshot de um dos testes realizados (fonte: autor) . . . . .	61
Figura 29 – Screenshot de um dos testes realizados (fonte: autor) . . . . .	61
Figura 30 – Screenshot de um dos testes realizados (fonte: autor) . . . . .	62
Figura 31 – Curva da temperatura do ambiente no decorrer do dia (fonte: autor) .	64
Figura 32 – Número de pessoas no ambiente vs. Número de pessoas captadas pelo sistema (fonte: autor) . . . . .	66
Figura 33 – Curva da temperatura considerando a presença de pessoas (fonte: autor)	67
Figura 34 – Comparação entre as temperaturas antes, durante e após o teste (fonte: autor) . . . . .	68
Figura 35 – Variação absoluta de temperatura durante o teste (fonte: autor) . . . .	69

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Teste de perda de produtividade utilizando com a variação da temperatura para um ambiente com 10 pessoas (METZMACHER et al., 2018) . . . . .	33
Tabela 2 – Etapas em um projeto de processamento de imagens (ALBUQUERQUE, 2000) . . . . .	37
Tabela 3 – Custos para aquisição dos dispositivos de hardware (fonte: autor) . . . . .	45
Tabela 4 – Requisitos adotados para considerar uma blob como uma pessoa (fonte: autor) . . . . .	56
Tabela 5 – Dados de controle do experimento realizado (fonte: autor) . . . . .	63
Tabela 6 – Resultados dos testes(fonte: autor) . . . . .	66
Tabela 7 – Comparação de temperaturas(fonte: autor) . . . . .	67
Tabela 8 – Variações de temperatura média e absoluta(fonte: autor) . . . . .	68
Tabela 9 – Quantificação do impacto do número de pessoas na temperatura do ambiente(fonte: autor) . . . . .	68
Tabela 10 – Guia para interpretação do coeficiente de correlação de Pearson (MUKAKA, 2012) . . . . .	70



# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>21</b>
<b>1.1</b>	<b>DESCRIÇÃO DO PROBLEMA</b>	<b>21</b>
<b>1.2</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b>	<b>22</b>
<b>1.3</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>23</b>
1.3.1	Objetivo geral	23
1.3.2	Objetivos específicos	23
<b>1.4</b>	<b>REQUISITOS</b>	<b>23</b>
<b>1.5</b>	<b>ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO</b>	<b>24</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>25</b>
<b>2.1</b>	<b>SISTEMAS EMBARCADOS</b>	<b>25</b>
2.1.1	Requisitos para sistemas embarcados	26
2.1.2	Arquiteturas	27
<b>2.2</b>	<b>MONITORAMENTO DE TEMPERATURA</b>	<b>28</b>
2.2.1	Funcionamento de sensores de temperatura semicondutores	30
2.2.2	Sistemas de monitoramento existentes	32
2.2.3	Conforto térmico	33
<b>2.3</b>	<b>PROCESSAMENTO DE IMAGEM E VÍDEO DIGITAIS</b>	<b>36</b>
2.3.1	Visão Computacional e Detecção de pessoas	38
2.3.2	Detecção de pessoas a partir da visão aérea	40
<b>2.4</b>	<b>Considerações</b>	<b>43</b>
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>45</b>
<b>3.1</b>	<b>PROPOSTA</b>	<b>45</b>
<b>3.2</b>	<b>DESCRIÇÃO DE HARDWARE</b>	<b>45</b>
3.2.1	Funcionamento do Hardware	46
3.2.2	PLACA BASE PARA O SISTEMA EMBARCADO - RASPBERRY PI	47
3.2.3	SENSOR DE TEMPERATURA - DS18B20	49
3.2.4	CÂMERA PARA DETECÇÃO DE PESSOAS	51
<b>3.3</b>	<b>DESCRIÇÃO DE SOFTWARE</b>	<b>52</b>
3.3.1	Monitoramento da temperatura	53
3.3.2	Detecção de pessoas	54
3.3.3	Integração	57
<b>4</b>	<b>EXPERIMENTOS</b>	<b>59</b>
<b>4.1</b>	<b>Histórico de testes</b>	<b>60</b>

<b>4.2</b>	<b>RESULTADOS</b> . . . . .	<b>63</b>
4.2.1	Discussão . . . . .	67
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> . . . . .	<b>73</b>
5.1	Trabalhos futuros . . . . .	74
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>75</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A temperatura no ambiente pode afetar as pessoas mais do que se imagina. Muitos estudos das áreas da sociologia e psicologia chegaram à conclusão de que o comportamento das pessoas está diretamente associado à temperatura, sendo ela responsável por moldar emoções e percepções. Em um estudo publicado na revista *Psychological Science*, Ijzerman e Semin ([IJZERMAN; SEMIN, 2009](#)) demonstraram que a temperatura em uma sala tem relação direta com as interações sociais. Outros estudos afirmam ainda que ambientes excessivamente quentes podem tornar as pessoas agressivas, violentas ou instáveis ([LYNOTT et al., 2017](#)). Mais recentemente, Belkin e Kouchaki ([BELKIN; KOUCHAKI, 2017](#)) examinaram como temperaturas desconfortavelmente quentes poderiam afetar o comportamento social, em particular, a disposição das pessoas em ajudar umas às outras.

Observa-se que o tema em questão é de grande relevância para sociedade, sendo objeto de estudo de várias áreas do conhecimento, dentre elas a engenharia que, em suas mais variadas vertentes, tem importante papel em fornecer a temperatura ideal com a máxima eficiência energética a partir utilização de sistemas HVAC – Heating, Ventilation, and Air-Conditioning (Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado, em tradução livre).

## 1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A temperatura dos ambientes nos quais as pessoas estão inseridas não impacta somente no consumo de energia devido ao uso de sistemas HVAC, mas também tem grande importância na forma como elas se sentem em relação ao seu local de trabalho, estudo ou moradia. A condição mental que expressa satisfação com o ambiente térmico dá-se o nome de conforto térmico ([STANDARD, 2005](#)). Esse conceito está diretamente ligado à qualidade de vida, saúde, bem-estar e produtividade ([FISK, 2002](#)), e é um dos principais fatores associados à satisfação humana em edifícios ([MENDELL et al., 2002](#)). Dentre as variáveis relacionadas ao conforto térmico, a temperatura do ambiente está diretamente relacionada com a percepção de conforto dos indivíduos.

A ASHRAE – American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar-condicionado, em tradução livre) possui diversas diretrizes e modelos baseados no conceito de conforto térmico que são utilizados no mundo inteiro para o projeto de sistemas HVAC. Normalmente, os modelos de conforto térmico são utilizados na fase de projeto de construções, porém, para locais onde não houve esse cuidado durante o projeto ou para edifícios antigos, não há um controle eficiente desses sistemas. É comum encontrar locais onde a

temperatura não é regulada com critérios objetivos, sendo muitas vezes definido um valor de temperatura padrão. Esse cenário é motivo de reclamações, desconforto e insatisfação, além de fixar um consumo energético que muitas vezes poderia ser otimizado. Nesse sentido, faz-se importante a análise térmica dos ambientes a fim de possibilitar o controle de sistemas HVAC de forma eficiente e eficaz, tanto do ponto de vista de consumo energético como do ponto de vista de conforto térmico.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Muitos edifícios, senão a grande maioria, não possuem um sistema de controle de sistemas HVAC automático, que leve em consideração os diversos fatores associados ao conforto térmico. Mesmo em edifícios novos e modernos é comum haver uma central de controle desses sistemas, na qual há o monitoramento da temperatura e um responsável pelo controle que realiza as mudanças conforme é demandado. Esse método é ineficiente e ineficaz por diversos motivos, pois não leva em consideração as variáveis do ambiente, como a temperatura externa em diferentes horas do dia, em diferentes estações do ano, a presença de pessoas no ambiente, o tipo de ambiente (com contato direto com o meio externo ou não), as vestimentas comumente utilizadas pelas pessoas que frequentam aquele ambiente, dentre várias outras. Como exemplo, uma sala que está com a temperatura configurada para permanecer em 21°C durante o dia inteiro, todos os dias do ano, independentemente dos fatores acima citados, perde em eficiência e otimização do consumo energético, bem como perde em produtividade dos colaboradores por, a depender da situação da sala (mais ou menos pessoas), ser considerada uma temperatura alta ou baixa.

Por esse motivo, faz-se necessária a análise térmica dos ambientes, pois os seus resultados podem fornecer subsídios para realização de um controle de sistemas HVAC muito mais inteligente. Informações tais como a da relação de pessoas x temperatura em uma sala podem indicar que em uma mesma sala, a temperatura ideal do ar-condicionado é de 21 °C caso ela esteja com ocupação total, mas que pode ser de 25 °C caso a ocupação seja de 60%, por exemplo. Ou até mesmo que a temperatura do ar-condicionado durante a manhã, na época da primavera, pode ser diferente na época do outono, entre várias outras possibilidades. A construção de um modelo de parâmetros baseado na análise térmica dos ambientes pode trazer diversos benefícios, e em uma sociedade que está em constante evolução, onde busca-se alinhar o conforto humano à sustentabilidade, torna-se essencial buscar meios para que isso seja possível.



## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é a construção de um sistema embarcado para análise térmica em ambientes fechados a fim de estudar a influência da presença humana na temperatura do ambiente em que ela está presente

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Monitorar a temperatura em uma sala fechada utilizando sensores de temperatura;
- Utilizar uma câmera para captação de vídeo a fim de monitorar a presença de pessoas na sala;
- Utilizar uma *Raspberry Pi* para realizar a coleta e o processamento dos dados; e
- Quantificar o impacto da presença de pessoas na temperatura do ambiente em que estão inseridas por meio dos dados obtidos.

## 1.4 REQUISITOS

- Deve ser possível utilizar múltiplos sensores de temperatura simultaneamente;
- Deve ser possível identificar várias pessoas ao mesmo tempo utilizando uma única câmera;
- A coleta e o processamento dos dados deve ser feita por uma *Raspberry Pi*;
- Deve ser possível correlacionar claramente os dados de presença de pessoas e temperatura de forma visual;
- As medições e testes devem ser realizados em condições as mais variadas possíveis (número de pessoas, horários e dias);
- O ambiente deve possuir uma área menor que 15m<sup>2</sup>;
- Os testes deverão ser realizados com portas e janelas fechadas; e
- Os testes deverão ser feitos utilizando-se da iluminação artificial.

## 1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Até aqui foi apresentada a contextualização introdutória do tema, bem como os objetivos deste trabalho e como se pretende alcançá-los. Nas próximas seções serão abordados os principais conceitos teóricos relativos à proposta apresentada e serão apresentados o desenvolvimento, os resultados obtidos e as conclusões.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esse capítulo é dedicado à revisão da literatura e ao estudo dos principais trabalhos relativos ao tema, necessários à compreensão teórica para o desenvolvimento do projeto. Aborda-se aspectos importantes da teoria de sistemas embarcados, aspectos do monitoramento de temperatura, noções de processamento de imagem e vídeo e questões acerca do conforto térmico em ambientes.

### 2.1 SISTEMAS EMBARCADOS

De acordo com Noergaard (NOERGAARD, 2013), um sistema embarcado é um sistema de computador aplicado, o que o distingue de outros sistemas de computadores como os computadores pessoais (PCs) e os supercomputadores, geralmente de propósito geral. Dentre os exemplos de sistemas embarcados, pode-se incluir os sistemas de ignição, controle do motor e de freios ABS em carros modernos, eletrodomésticos de forma geral, brinquedos, robôs na indústria, marca-passos e ventiladores pulmonares entre vários outros.

Em suas obras, Noergaard (NOERGAARD, 2013) e Barkalov, Titarenko & Mazurkiewicz (BARKALOV; TITARENKO; MAZURKIEWICZ, 2019) trazem algumas características comuns a praticamente todos os sistemas embarcados que os diferenciam de outros sistemas computacionais, quais sejam: limitação em hardware e/ou software; requerimentos de qualidade e confiabilidade maiores; interface direta com sistemas físicos; requisitos de tempo real etc.

Em relação às limitações hardware/software, no que tange ao aspecto de hardware, normalmente isso significa limitações em performance de processamento, consumo de energia, memória, entre outras. Já em relação ao software, as limitações estão relacionadas ao código em baixo nível, sistema operacional inexistente ou limitado, aplicações limitadas, entre outras. Por outro lado, por serem sistemas especializados, torna-se possível otimizar hardware e software para uma determinada aplicação.

Já com relação aos requisitos de qualidade e confiabilidade, como exemplo, se o sistema de injeção eletrônica de um carro falha durante o funcionamento, isso pode causar um grave acidente. Ou seja, é comum que esse tipo de sistema, dependendo do campo de aplicação, exija uma confiabilidade muito maior do que a exigida de sistemas de propósito geral.

Outra característica inerente a maioria desses sistemas de propósito específico é sua interface com sistemas físicos, e isso implica em uma combinação de cálculos computa-

cionais com processos físicos. Como exemplo pode-se citar um sistema de ar-condicionado, que de acordo com a temperatura medida por seus sensores, regula a potência do motor condensador de ar.

Além disso, os sistemas embarcados podem ter de satisfazer requisitos de tempo real, quando as tarefas precisam ser executadas em um tempo pré-definido. Basicamente, existem três tipos de sistemas em tempo real (RTS – Real-time Systems): hard (criticidade alta), soft (criticidade baixa) e firm (criticidade direta), e cada um deles tem diferentes consequências no caso de não-atendimento aos parâmetros de tempo estabelecidos. Para um sistema que possui requisitos hard RTS, a falha no atendimento ao tempo máximo definido ocasiona falha total no sistema, um exemplo é o sistema de airbag de veículos automotores, milissegundos de atraso podem ser a diferença entre a vida e a morte do motorista. Para aqueles com requisitos soft RTS, o atraso não compromete imediatamente a utilidade ou funcionamento do sistema, que vai diminuindo com tempo até chegar em um instante de tempo onde fica totalmente prejudicada a utilização do sistema. Como exemplo pode-se citar um televisor, a princípio um pequeno atraso entre o som e a imagem pode não ser perceptível pelo usuário, porém, conforme esse atraso aumenta, a qualidade diminui consideravelmente até se tornar impossível a utilização. Já para os sistemas que possuem requisitos firm RTS, não há graves prejuízos no não cumprimento do tempo pré-definido para execução de determinada ação, porém, diferentemente dos sistemas soft RTS, não há mais utilidade para esse sistema após o tempo máximo projetado para resposta do sistema. Geralmente, eles também são chamados de soft RTS rigorosos. Exemplos práticos são os sistemas de transações online, nas quais caso não se respeite o tempo máximo definido para realização da transação, ela não ocorre.

### 2.1.1 Requisitos para sistemas embarcados

Segundo Barkalov, Titarenko & Mazurkiewicz ([BARKALOV; TITARENKO; MAZURKIEWICZ, 2019](#)), existem dois requisitos básicos para sistemas embarcados: confiabilidade e eficiência.

A confiabilidade de um sistema embarcado é inversamente proporcional à probabilidade de falhas desse sistema. Existem duas formas de prover confiabilidade para um sistema embarcado: redundância e diversificação. Porém, adicionar redundância e diversificação aumenta a complexidade dos sistemas, o que por sua vez aumenta a probabilidade de erros. Dessa forma, observa-se que se trata de um requisito essencial, porém complexo.

A eficiência normalmente se refere à habilidade de evitar desperdícios na execução de alguma tarefa ou na produção de um resultado almejado. Geralmente é determinada como a porcentagem da saída útil de um sistema pela entrada total. Em sistemas embarcados, existem métricas principais relacionadas à eficiência: consumo energético, tempo de execução, tamanho do código, peso e tamanho do dispositivo e custo.

## 2.1.2 Arquiteturas

Segundo Noergaard (NOERGAARD, 2013), todo sistema embarcado possui uma arquitetura, esteja ela documentada ou não, pois todo sistema embarcado é composto por elementos que interagem entre si (hardware e software). Uma arquitetura, por definição, é uma série de representações desses elementos e suas relações. Ela define como o Modelo de Sistemas Embarcados a abstração em mais alto nível da arquitetura dos sistemas embarcados, representada pela figura 1.

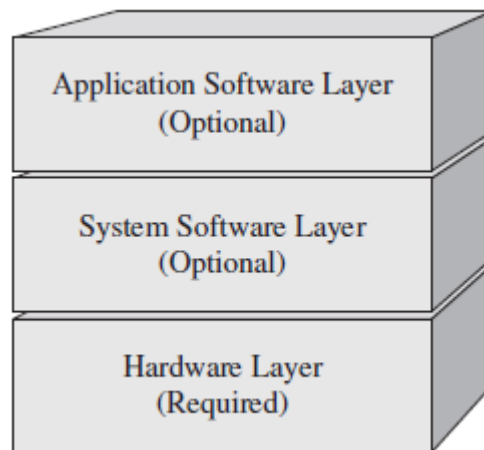


Figura 1 – Modelo de sistemas embarcados (NOERGAARD, 2013)

O Modelo de Sistemas Embarcados implica que todos os sistemas embarcados compartilham ao menos uma camada no nível mais alto de abstração, isto é, todos eles tem ao menos a camada de hardware (obrigatória), sendo as outras camadas, software do sistema e software da aplicação, opcionais.

Genericamente, a maior parte dos componentes de hardware da maioria das placas podem ser classificados em cinco categorias:

- CPU – Central processing unit (Unidade de processamento central): o processador principal ou mestre;
- Memória: onde o software do sistema e os dados são armazenados;
- Dispositivos de entrada: processadores secundários ou escravos de entrada e componentes eletrônicos correlatos;
- Dispositivos de saída: processadores secundários ou escravos de saída e componentes eletrônicos correlatos; e
- Barramento de dados: interconecta todos os outros componentes permitindo o tráfego de dados entre eles. Inclui quaisquer fios, pontes de comunicação ou controladores de barramento.

Os componentes de hardware em um sistema embarcado só podem transmitir, armazenar e executar diretamente código de máquina (1s e 0s). A fim de tornar a programação desses sistemas uma tarefa menos complexa, foram desenvolvidas diversas linguagens de programação, desde instruções de hardware específicas, como a linguagem Assembly até linguagens de programação de alto nível, com grande independência do hardware, como o C, C++ e Python, por exemplo.

De acordo com o Modelo de Sistemas Embarcados proposto por (NOERGAARD, 2013) e apresentado na figura 1, existem duas possíveis camadas de software em um sistema embarcado. A camada do software do sistema contém quaisquer softwares que são suporte para a aplicação principal, como device drivers, sistemas operacionais e middlewares. A camada do software de aplicação, no nível mais alto, define a função e o propósito do sistema embarcado. É nela onde a maioria da interação com os usuários e administradores do sistema é realizada. Além disso, segundo (NOERGAARD, 2013), é preciso ter em mente que o desenvolvimento de software para sistemas embarcados não é o mesmo que desenvolver software para computadores pessoais ou outros sistemas de computadores de propósito geral, sendo necessário possuir conhecimentos mínimos sobre o interfaceamento entre as camadas de software e hardware.

## 2.2 MONITORAMENTO DE TEMPERATURA

Neste trabalho o monitoramento da temperatura do ambiente é um dos requisitos funcionais para o alcance dos objetivos. Nesse sentido, passa-se à fundamentação a respeito do tema.

Segundo Mcmillan (MCMILLAN, 2011), temperatura é a medida da atividade molecular interna de um material. Conforme o nível de atividade molecular aumenta, a temperatura do material também aumenta. Temperatura é, frequentemente, a medida mais importante dentre as mais comuns (vazão, pressão e nível), pois funciona como um indicador de qualidade ou do fluxo de um processo. Observa-se então que o monitoramento da temperatura é um dos processos mais importantes nos mais distintos segmentos industriais, mas não somente neles, como também em diversos setores como o hospitalar, o da agricultura, o residencial e o comercial, pois a partir dessa medida é possível monitorar o comportamento de um sistema ou controlá-lo.

Dispositivos de medição de temperatura utilizam as escalas-padrão de temperatura e são capazes de prover a medição da temperatura de forma objetiva e quantitativa, podendo ser dos mais variados tipos, como termistores, sensores de resistência elétrica (RTD – resistance temperature detector), termopares, sensores semicondutores etc (PYROSALES, 2020).

Um termopar, segundo Mcmillan (MCMILLAN, 2011), consiste em dois fios de

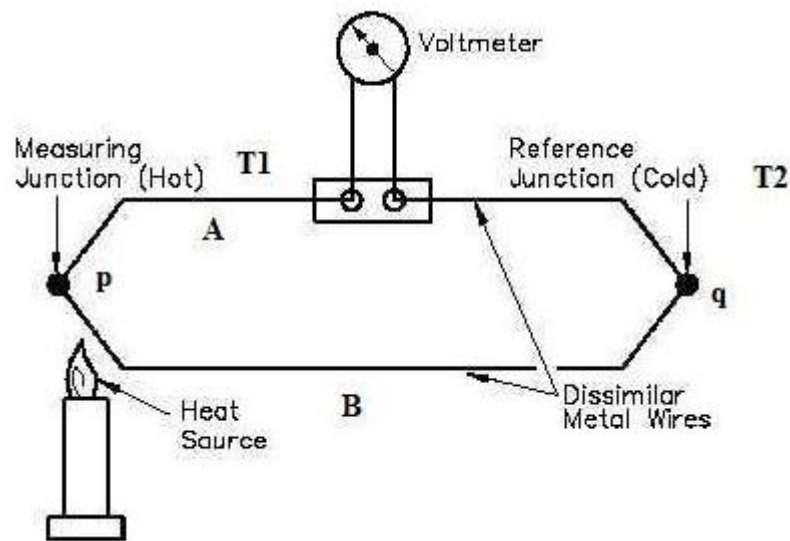


Figura 2 – Ilustração do funcionamento de um termopar (BLAZERPROBES, 2021)

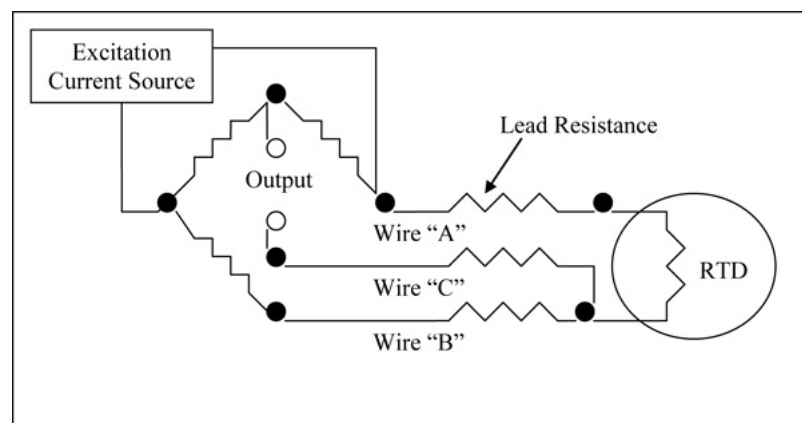


Figura 3 – Ilustração do funcionamento de um sensor RTD (JMS, 2021)

metais diferentes que são ligados em uma das pontas para formar uma junção quente (ou elemento sensor). A medição da temperatura é realizada na junção quente, a qual está em contato com o sistema ou processo alvo da medição. As outras pontas do termopar, quando ligadas a algum voltímetro ou circuito formam a junção fria ou de referência (figura 2).

Por sua vez, um RTD (figura 3) é um dispositivo sensor de temperatura em que a resistência varia com a temperatura. Tipicamente construídos de platina, níquel ou cobre, RTDs podem ter diferentes formatos, porém o princípio de funcionamento não varia muito: é aplicada uma corrente constante através do RTD, medida a tensão resultante e então determinada a resistência, que de acordo com a liga de metal da sua composição, indica a temperatura. Esse tipo de sensor possui uma curva característica bastante linear considerando sua região de operação (JMS, 2021).

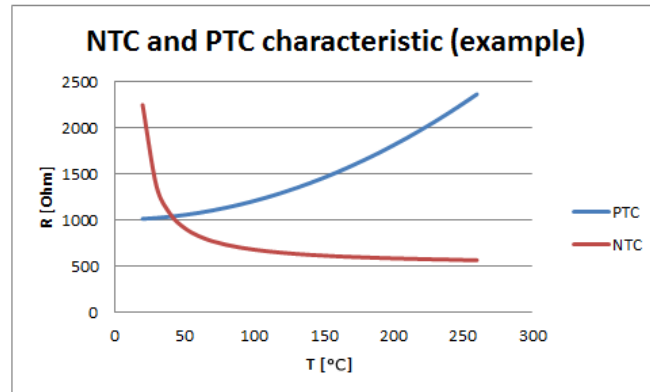


Figura 4 – Curva de operação de termistores PTC e NTC (BECKHOFF, 2020)

Similarmente a aos RTDs, termistores (figura 4) são dispositivos sensores de temperatura em que a resistência varia com a temperatura. Contudo, estes são feitos de material semicondutor e apresentam uma curva de resistência x temperatura altamente não-linear, o que significa que pequenas mudanças na temperatura provocam grandes mudanças na resistência observada, ou seja, são dispositivos altamente sensíveis à variação da temperatura, podendo possuir coeficiente positivo (PTC) ou negativo (NTC), em que no primeiro a resistência aumenta com a temperatura e no segundo ela diminui.

Já os sensores semicondutores são classificados em diferentes tipos de acordo com o sinal de saída que produzem, podendo ser analógicos, lógicos ou digitais. Também conhecidos como sensores CI (circuito integrado), eles são significativamente diferentes dos apresentados anteriormente, principalmente em relação ao princípio de funcionamento que se baseia em dispositivos semicondutores com características de tensão e corrente sensíveis à temperatura.

Como principais características desses tem-se que eles oferecem alta acurácia e linearidade em uma faixa de operação de  $-55^{\circ}\text{C}$  até  $+150^{\circ}\text{C}$ , não são caros, não requerem linearização, compensação de junção fria ou condicionamento de sinais externamente, podendo combinar diversas funções em um único chip. Além disso, graças ao seu tamanho pequeno, podem ser instalados diretamente em placas de circuitos ou embarcados em sistemas menores. A seção seguinte abordará um pouco mais o princípio de funcionamento desse tipo de sensor (??).

### 2.2.1 Funcionamento de sensores de temperatura semicondutores

Um sensor de temperatura semicondutor é um CI que combina o elemento sensor de temperatura com condicionamento de sinais, saídas e outros tipos de circuitos em um único encapsulamento. Ele se baseia na mudança de tensão através de uma junção PN (figura 5), normalmente em um diodo de silício, em resposta à variação de temperatura. Na prática, o elemento sensor é formado utilizando um transistor com a base e o coletor



conectados, e o efeito da temperatura na tensão de polarização direta em uma junção PN de silício é dado pela equação 2.1.

$$V_{BE} = V_{G0}\left(1 - \frac{T}{T_0}\right) + V_{BE0}\left(\frac{T}{T_0}\right) + \left(\frac{\eta KT}{q}\right)\ln\left(\frac{T_0}{T}\right) + \left(\frac{KT}{q}\right)\ln\left(\frac{I_C}{I_{C0}}\right) \quad (2.1)$$

Onde:

$V_{BE}$  = Temperatura em Kelvin (°K)

$T_0$  = Temperatura de referência em Kelvin (°K)

$V_{G0}$  = Tensão de bandgap no zero absoluto (V)

$V_{BE0}$  = Tensão de polarização direta para  $I_{C0}$  e temperatura  $T_0$  (V)

$K$  = Constante de Boltzmann (J/°K)

$q$  = Carga de um elétron (C)

$\eta$  = Constante associada a cada dispositivo específico

$I_C$  = Corrente de polarização direta na temperatura  $T$  (A)

$I_{C0}$  = Corrente de polarização direta na temperatura de referência  $T_0$  (A)

Contudo, determinar a temperatura utilizando a equação acima não é muito prático já que a tensão não depende somente da temperatura, mas também da corrente e de propriedades do dispositivo. Para eliminar o efeito dessas variáveis, circuitos práticas chaveiam o diodo alternadamente entre duas fontes de corrente e determina a temperatura baseando-se na diferença entre as duas tensões de polarização direta ou em sua razão:

$$\Delta V_{BE} = \left(\frac{KT}{q}\right)\ln\left(\frac{I_{C1}}{I_{C2}}\right) \quad (2.2)$$

Onde:

$I_{C1}$  = Corrente de polarização direta da primeira fonte de corrente (A)

$I_{C2}$  = Corrente de polarização direta da segunda fonte de corrente (A)

Normalmente  $I_{C2}$  é escolhido de forma a ser dez vezes maior que  $I_{C1}$ . Nesse caso, o coeficiente térmico do elemento sensor é aproximadamente  $200\mu V/^{\circ}C$

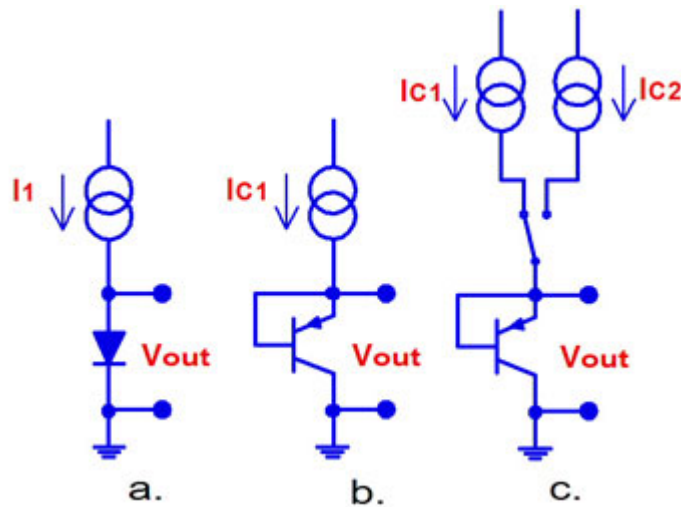


Figura 5 – Um diodo bipolar de silício (a.) é o elemento sensor de temperatura. Quando polarizado com uma corrente constante, sua queda de tensão varia com a temperatura. Quando parte de um CI, o diodo é simulado por meio de um curto entre a base e o emissor de um transistor PNP (b.). Chaveando o circuito entre duas fontes de corrente (c.), o efeito na acurácia da medição causado pelo processo de dependência da saturação da corrente é eliminado (SENSORTIPS, 2021)

## 2.2.2 Sistemas de monitoramento existentes

Os sistemas de monitoramento existentes são extremamente variados, conforme a área de interesse, partindo desde monitoramento da temperatura realizado por um sistema de ar-condicionado em uma residência até o monitoramento da temperatura de reatores nucleares. Porém, o que todos os sistemas de monitoramento têm em comum é que eles utilizam alguns dos sensores previamente explicados de acordo com sua necessidade, e o resultado do monitoramento, ou seja, a temperatura medida propriamente dita, é utilizada como variável de controle para um sistema ou como indicador de alerta sobre o funcionamento de um processo.

A partir daqui chega-se à questão do conforto térmico, pois, considerando que a temperatura é uma das mais importantes variáveis para sua definição, monitorá-la adequadamente é o ponto de partida para se atingir conforto com a máxima eficiência energética possível, considerando que os equipamentos que possibilitam esse conforto demandam grande consumo de energia elétrica. Faz-se mister então entender um pouco melhor o conceito de conforto térmico para compreensão de como o monitoramento da temperatura pode ajudar a alcançá-lo.

### 2.2.3 Conforto térmico

De acordo com Lamberts et al. ((LAMBERTS et al., 2013)), conforto térmico é a condição de mente que expressa satisfação com o ambiente térmico. Como existem grandes variações fisiológicas e psicológicas de pessoa para pessoa, é muito difícil satisfazer todos em um mesmo ambiente. Por esse motivo, pode-se afirmar que as condições ambientais que resultam em conforto térmico não são as mesmas para todos.

Apesar dessa característica não-linear ou não-objetiva do conforto térmico, trata-se de um tema de muita importância. Para se ter noção da importância e do impacto que o conforto térmico pode causar na vida das pessoas, estudos importantes com o da REHVA Scientific, demonstram que, quando maior o nível de desconforto em um ambiente, menos as pessoas tendem a produzir. A tabela 1 ilustra esse fenômeno.

Dif. temp. °C	% de pessoas desconfortáveis	Índice Wyon <sup>1</sup>	Efetivamente trabalhando
-1°C	6,3%	0%	10 pessoas
0°C	5%	1,9%	9,5 pessoas
+1°C	6%	5,4%	8,7 pessoas
+2°C	9%	10,1%	7,7 pessoas
+3°C	14%	15,3%	7 pessoas
+4°C	21%	20,6%	6,7 pessoas
+5°C	29%	25,7%	6,6 pessoas
+6°C	38%	30%	6,5 pessoas

Tabela 1 – Teste de perda de produtividade utilizando com a variação da temperatura para um ambiente com 10 pessoas (METZMACHER et al., 2018)

Observa-se então que é crítica a perda de produtividade para uma variação de temperatura de apenas +6°C, sendo que de 10 pessoas é como se apenas aproximadamente 6 estivessem trabalhando.

Devido a sua importância, diversos estudos foram feitos, e até hoje ainda são realizados, no que diz respeito ao conforto térmico. Atualmente existem muitos dados experimentais que embasam estatisticamente a definição de condições nas quais uma porcentagem de ocupantes (a maioria) se sentirá termicamente confortável. Para mensuração ou definição do conforto térmico, são utilizados alguns modelos, sendo os mais comuns o modelo estático, que trata de estudos efetuados em câmaras climatizadas ou com condições ambientais controladas em que o foco está em uma abordagem analítica que é baseada em modelos físicos de troca de calor entre o homem e o ambiente, e o modelo adaptativo, que tem como base pesquisas de campo sem intervenção sobre as condições ambientais.

O modelo estático, também conhecido como PMV/PPD e desenvolvido por Fanger (FANGER, 1973), utiliza equações de balanço de calor e estudos empíricos sobre a temperatura da pele para definir conforto. São considerados fatores como a temperatura do ar, a radiação de temperatura do meio, umidade relativa, velocidade do ar, taxa metabólica

do corpo humano e o isolamento térmico das roupas. Trata-se de um modelo aplicado globalmente, mas que não considera diretamente os mecanismos de adaptação do corpo humano e as condições climáticas do exterior dos ambientes. Os termos PMV e PPD se referem, respectivamente a Predicted Mean Vote (voto médio predito) e a Predicted Percentage of Dissatisfied (porcentagem predita de pessoas insatisfeitas), e se referem às análises estatísticas das condições térmicas preferidas pela maioria das pessoas realizadas por Fanger (figuras 6 e 7).

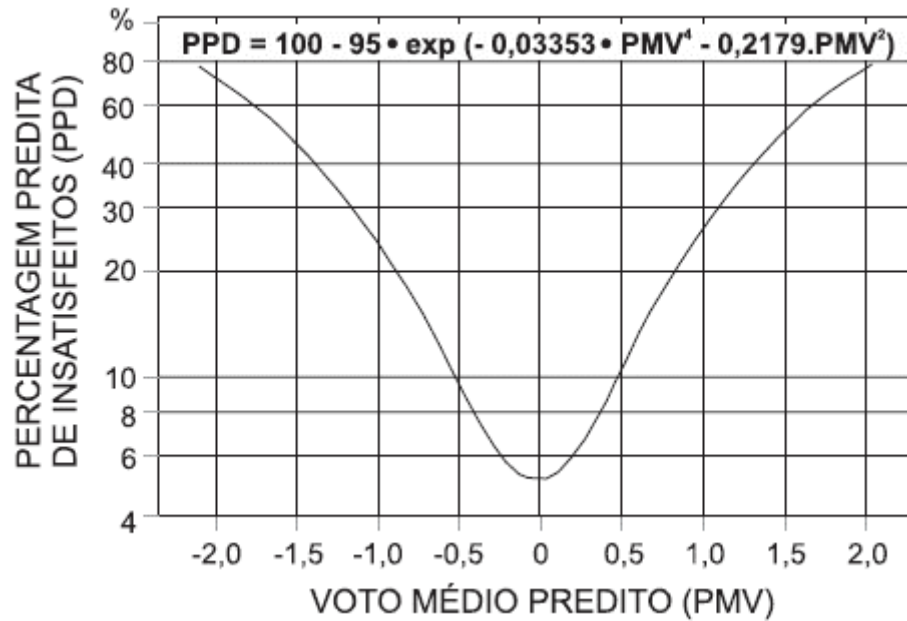


Figura 6 – Curva característica do modelo proposto por Fanger (FANGER, 1973)

#### **Ambiente termicamente aceitável para conforto térmico geral**

PPD	PMV
< 10	-0,5 < PMV < +0,5

Figura 7 – Ambiente termicamente aceitável de acordo com Fanger (FANGER, 1973)

O modelo adaptativo, por outro lado, é baseado na ideia de que o clima exterior influencia o conforto interior porque os seres humanos podem se adaptar a diferentes temperaturas durante diferentes épocas do ano. Esse modelo considera basicamente três categorias de adaptação térmica: comportamental, fisiológica e psicológica (NICOL; HUMPHREYS, 2002).

No mundo inteiro, existem diversos padrões e diretrizes utilizados para determinar os parâmetros de conforto, citando apenas os principais, tem-se:

- ISO 7730/2005 – Ergonomics of the thermal Environment – Analytical determination and interpretation of thermal Comfort using calculation of the PMV and PPD

índices and local thermal Comfort criteria: Essa norma apresenta métodos para que seja determinada a sensação térmica e o grau de desconforto das pessoas expostas a ambientes térmicos moderados. Ela permite a indicação analítica e a interpretação do conforto térmico por meio da utilização do cálculo de PMV e do PPD e do conforto térmico local, apresentando as condições ambientais consideradas aceitáveis para o conforto térmico geral e as que representam o desconforto;

- ISO/DIS 7726/98 – Ergonomics of the thermal Environment – Instruments for measuring physical quantities: essa norma tem por objetivo especificar as características mínimas dos instrumentos de medição das variáveis físicas, tanto para ambientes termicamente moderados como para ambientes extremos, assim como apresenta métodos de medição desses parâmetros;
- ASHRAE Fundamentals Handbook: É um guia normativo da sociedade americana de engenheiros de aquecimento, refrigeração e ar-condicionado que apresenta os fundamentos dos princípios básicos e dados utilizados na indústria de aquecimento, ventilação e ar-condicionado em edifícios;
- ASHRAE Standard 55:2017 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy: Essa norma especifica as condições ambientais aceitáveis para as pessoas em ambientes fechados, além de trazer novas métodos de cálculo para estimar o conforto térmico das pessoas; e
- Norma Regulamentadora 17 – NR17: Trata-se de uma norma brasileira do Ministério do Trabalho, que estabelece parâmetros que permitam as adaptações das condições de trabalho de modo a proporcionar o máximo de conforto, segurança e desempenho. Em relação ao conforto térmico, ela determina que, em espaços internos, a temperatura efetiva esteja em torno de 20°C e 23°C, a velocidade do ar não seja superior a 0,75 m/s e a umidade relativa do ar não seja inferior a 40%.

Utilizando-se desses modelos e das principais diretrizes, foi desenvolvida na Universidade de Berkeley um software que calcula o conforto térmico de acordo com os parâmetros de cada modelo, trata-se do CBE (Center for the Built Environment) Thermal Comfort Tool ([TARTARINI et al., 2020](#)).

Contudo, destaca-se que a maioria dos estudos correlaciona a variação da temperatura com o conforto térmico das pessoas em determinado ambiente, mas são poucos os que procuram correlacionar o número de pessoas em um ambiente com a temperatura desse ambiente. SOLBERG et al ([SOLBERG et al., 2017](#)), em seu estudo sobre a redução de riscos como resultado da implementação funcional do Código Polar IMO na indústria de navegação polar, que determina que os equipamentos e sistemas para suporte de sobrevivência aos passageiros/tripulação devem prover adequada proteção térmica por

um período mínimo de 5 dias, encontrou uma relação entre o número de pessoas em um ambiente e a temperatura desse ambiente.

A figura 8 mostra os resultados obtidos por Solberg. O experimento foi feito utilizando-se um *raft* que nada mais é que um bote salva-vidas totalmente fechado.

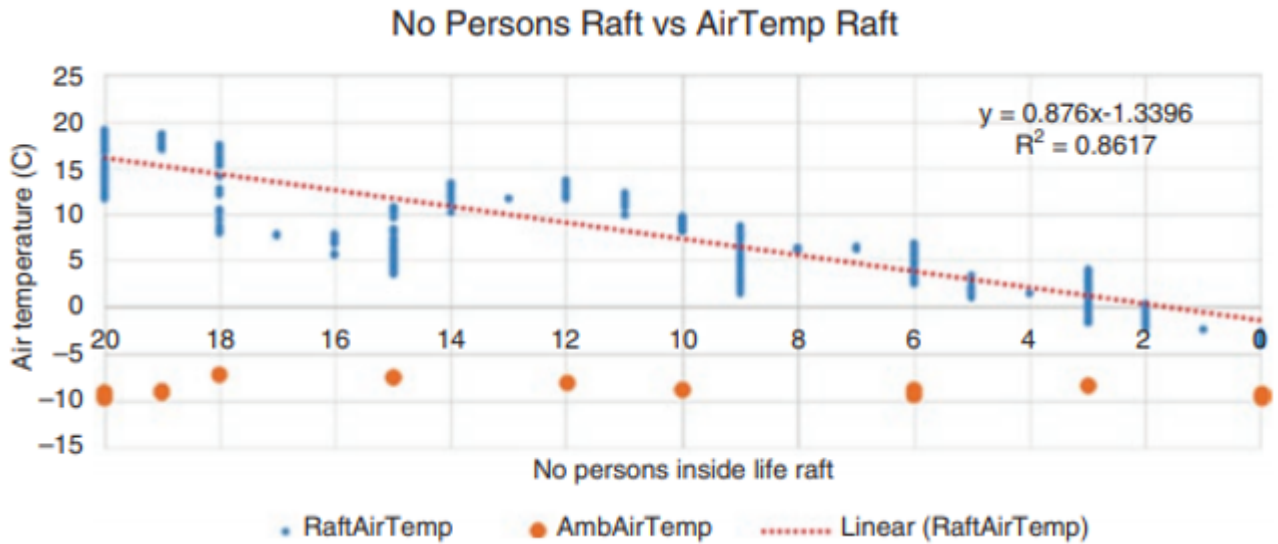


Figura 8 – Gráfico da relação entre número de pessoas no bote salva-vidas e a temperatura do ar no interior do bote (SOLBERG et al., 2017)

É possível ver claramente a relação quase linear entre o número de pessoas e a temperatura no interior do bote. Enquanto que com 20 pessoas no interior do bote a temperatura média ficou em torno de 15°C, com 2 pessoas ou menos a temperatura ficou abaixo de 0°C.

Isso implica que a hipótese inicial do trabalho, de que a presença de pessoas em um ambiente fechado pode interferir na temperatura desse mesmo ambiente, pode ser verdadeira. Porém, a questão é o quanto essa temperatura pode ser influenciada pela presença de pessoas considerando um ambiente não tão extremo, como no caso do experimento proposto por Solberg. Além disso, como mensurar essa temperatura adequadamente de forma a ser possível correlacioná-la dinamicamente à presença de pessoas no ambiente.

## 2.3 PROCESSAMENTO DE IMAGEM E VÍDEO DIGITAIS

Para identificar a presença de pessoas em um ambiente, vários métodos seriam possíveis, tais quais a utilização de sensores de presença ou outras formas indiretas. Contudo, considerando a necessidade de monitorar um ambiente em que o número de pessoas que o frequentam é altamente variável, bem como o fato de que saber quantas pessoas há no ambiente naquele exato instante de tempo é essencial para ser possível correlacionar esse fato com a temperatura medida no mesmo momento, optou-se pela utilização de

técnicas de processamento de imagem e vídeo para identificação de múltiplas pessoas de forma independente, pois com uma única câmera comum seria possível monitorar todo o ambiente, sendo também uma alternativa bem mais barata e menos complexa que a utilização de diversos sensores. Considerando essa realidade, faz-se mister trazer o pano de fundo teórico que embasaram o desenvolvimento dos algoritmos.

O processamento de imagens vem na realidade do processamento de sinais. Os sinais, como as imagens, são um suporte que contem um informação. Processar uma imagem, então, consiste em transformá-la sucessivamente com o objetivo de extrair mais facilmente a informação nela presente. Em seus mais diversos campos de aplicação, o processamento de imagens está em busca de informações quantitativas que representem o fenômeno estudado (ALBUQUERQUE, 2000).

Tem-se então que processamento de imagem digital se refere à técnica de realizar uma série de operações em uma imagem utilizando ferramentas computacionais a fim de se atingir algum propósito específico (GONZALEZ; WOODS, 2009). Apesar de ser possível realizar o processamento de imagens analógicas, o mais comum é o tratamento de imagens digitais, assim, normalmente processamento de imagens digitais é tratado como sinônimo de processamento de imagens. Além disso, considerando que um vídeo é uma série de imagens em sequência (frames por unidade de tempo), pode-se utilizar apenas o termo processamento de imagens.

Considerando a utilização do processamento de imagens para um sistema ou propósito específico, pode-se definir um "roteiro" ou uma série de etapas em um projeto desse tipo, conforme tabela 2.

ETAPA		DESCRIÇÃO
1.	Tratamento fora da imagem	Correção de iluminação, uso de colorantes químicos etc.
2.	Aquisição da imagem	Amostragem, armazenamento e compactação
3.	Melhoramento ("image enhancement")	Pré-tratamento digital da imagem
4.	Segmentação da informação	Extração dos "objetos" do "fundo" da imagem
5.	Parametrização	Determinação de grandezas de cada objeto
6.	Reconhecimento	Classificação dos objetos
7.	Análise Quantitativa	Associação das grandezas ao problema

Tabela 2 – Etapas em um projeto de processamento de imagens (ALBUQUERQUE, 2000)

Considerando as etapas apresentadas acima, trabalhar com processamento de imagens consiste então em utilizar as técnicas mais adequadas para a resolução de um problema específico dentro de cada uma das etapas do trabalho. A seguir são apresentadas as principais técnicas e ferramentas utilizadas no processamento de imagens, sem, contudo, aprofundar-se no desenvolvimento matemático por trás de cada uma.

- Interpolação de imagens: trata-se de uma ferramenta básica utilizada em tarefas como ampliação, redução, rotação e correções geométricas em imagens. Basicamente

é o processo no qual são utilizados dados conhecidos para estimar valores em pontos desconhecidos;

- Medidas de distância: é comum a necessidade de medir distâncias em processamento de imagens, para isso pode-se utilizar o conceito de distância euclidiana entre dois pontos para medir a distância entre dois pixels em uma imagem;
- Transformação de intensidade: ferramenta geralmente utilizada para o realce de imagens, tais como alteração de contraste, brilho, saturação, escalas de cinza, entre outras. Um exemplo é a utilização de processamento de histograma;
- Filtragem espacial: ferramenta também utilizada para realce de imagens, tais como filtros de suavização (passa-baixas), utilizados para borramento e redução de ruídos, filtros de aguçamento (passa-altas), cujo objetivo é salientar ou destacar transições de intensidade para o aumento de nitidez em uma imagem;
- Filtragem no domínio da frequência: tratamento de imagens após transformação dos seus dados para o domínio da frequência, geralmente através da transformada de Fourier. A construção de filtros no domínio da frequência é muito mais simples do que no domínio espacial, facilitando o processamento das imagens, sendo necessário contudo uma etapa adicional de transformada inversa para tradução do resultado para o domínio espacial;
- Restauração de imagens: são utilizadas uma série de combinações das técnicas e ferramentas anteriores para recuperação de imagens corrompidas ou com ruídos; e
- Processamento multirresolução: utilização de transformadas wavelets e filtros de Haar para o processamento de imagens. Trata-se de uma das técnicas mais avançadas no processamento de imagens, muito utilizada para reconhecimento e detecção de objetos.

Há um enorme escopo de aplicações práticas em que técnicas de processamento de imagens podem ser utilizadas para a solução de um problema. Contudo, considerando o escopo deste trabalho, cujo objetivo é detectar a presença de pessoas em um ambiente, passa-se a exploração desse campo de aplicação específico.

### 2.3.1 Visão Computacional e Detecção de pessoas

Visão Computacional é um campo científico interdisciplinar que trata em como os computadores podem adquirir alto nível de abstração a partir de imagens ou vídeos digitais. A visão computacional está voltada para a extração, análise e entendimento automáticos de informações úteis a partir de uma única imagem ou uma sequência de imagens.



Ela envolve o desenvolvimento de uma base teórica e de algoritmos para atingir o entendimento visual automático, buscando aproximar-se do que o sistema visual humano é capaz de fazer. Tarefas como reconhecimento facial, reconhecimento de gestos, reconhecimento de objetos, rastreamento de pessoas, sistemas de vigilância e segurança, interação entre humanos e máquinas etc., são exemplos da aplicação da visão computacional (SZELISKI, 2010).

A partir disso, tem-se que a identificação de pessoas é uma das tarefas mais importantes na área de visão computacional. Muitos pesquisadores tem estudado métodos para identificação de pessoas em imagens, sendo boa parte desses métodos baseados em características da face como olhos, nariz e boca. Um exemplo muito famoso que utiliza essa abordagem é o algoritmo proposto por Paul Viola e Michel J. Jones, em 2001 (VIOLA; JONES, 2001), que além da face, pode ser treinado para detecção de outras partes do corpo humano e objetos variados. Ele é um método baseado em aparência (appearance-based), que utiliza algoritmos de aprendizado de máquina e bancos de imagens para treinar classificadores.

Há ainda outros métodos como os baseados em conhecimento (knowledge-based) que utilizam regras baseadas no conhecimento humano sobre características das faces humanas, tais como posição dos olhos, boca e nariz e simetria, mas que possui a desvantagem de ser difícil derivar regras precisas que abranjam todas as possibilidades; métodos baseados em características (feature based), que procuram características invariantes que definem uma face humana, como regiões com cor de pele, formato dos lábios e bochechas, porém têm como desvantagem, tem-se que são bastante impactados por sombras e ruídos; métodos de casamento de padrões (template matching), que utilizam templates de faces predefinidos, como uma silhueta ou um mapa de borda, eles, porém, não lidam bem com variações de escala, poses, orientação e formatos de rosto (YANG; KRIEGMAN; AHUJA, 2002).

Apesar de serem métodos bastante utilizados e muito bem-sucedidos, eles possuem algumas limitações que os impedem de serem utilizados em determinadas aplicações. Destaca-se aqui a principal delas, qual seja a oclusão. Esses métodos necessitam de uma imagem de rosto para o processo de identificação, porém, imagens de rostos não são sempre capturadas corretamente por uma câmera, pois muitas vezes a distância entre a pessoa e a câmera ou a oclusão de outras pessoas ou objetos pode inviabilizar a detecção e identificação de rostos na imagem.

Por esse motivo, considerando o contexto da aplicação proposta neste trabalho, em que a oclusão de pessoas inviabilizaria o alcance dos objetivos propostos, buscou-se métodos alternativos para a detecção e identificação de pessoas em uma imagem, sendo o método escolhido a detecção de pessoas a partir da visão área ou "de cima"(Overhead view).

### 2.3.2 Detecção de pessoas a partir da visão aérea

Nos últimos anos, a detecção de pessoas a partir da visão aérea ganhou importância, devido ao fato de lidar bem com o problema de oclusão e também por prover melhor cobertura da cena (visão mais ampla), em comparação com a visão frontal. No campo de visão computacional, a detecção de pessoas utilizando a visão aérea possui grande relevância em muitas aplicações como na contagem de pessoas, no rastreamento de pessoas, na análise de comportamento, nos sistemas de vigilância etc. A figura 9 ilustra a detecção de pessoas utilizando esse conceito.

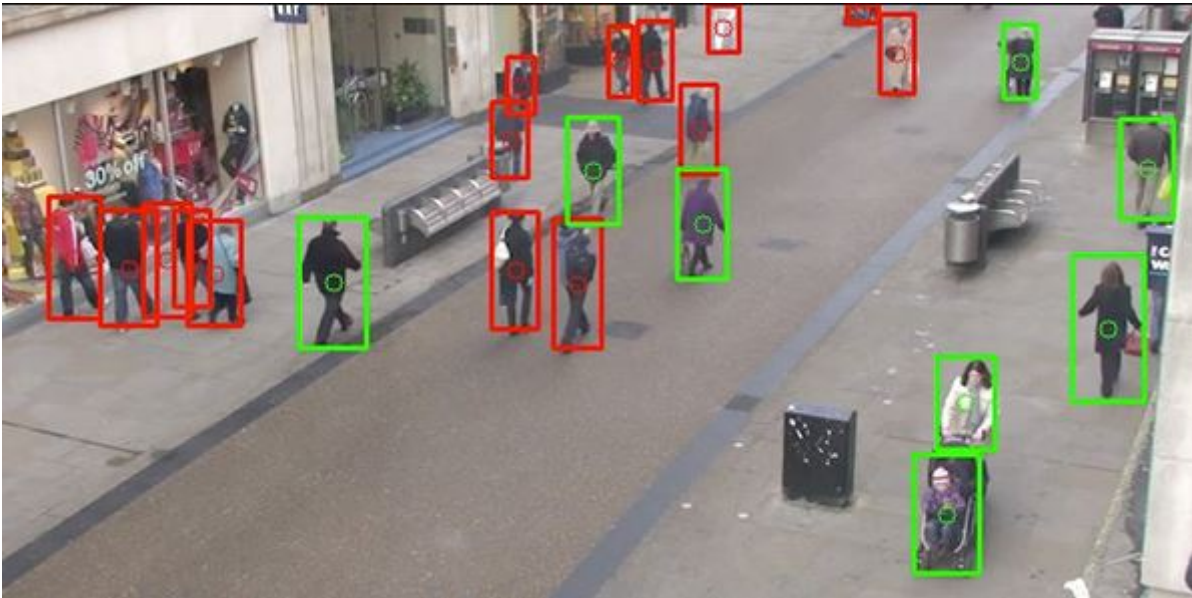


Figura 9 – Exemplo da utilização da visão aérea para detecção de pessoas em uma imagem (PYIMAGESEARCH, 2020)

Misbah Ahmad et al (AHMAD et al., 2019) trazem em seu trabalho uma ampla revisão bibliográfica a respeito dos principais métodos, técnicas, algoritmos e trabalhos relativos à detecção de pessoas por meio da visão aérea.

Em resumo, existem duas principais estratégias que podem ser descritas como a abordagem tradicional e a abordagem moderna. A primeira utiliza técnicas padrões de processamento de imagem (conversão RGB-Gray, filtragem e remoção de ruídos, diferenciação por frames, subtração de frames consecutivos, operadores morfológicos, thresholding etc.) para extrair a região de interesse ou ROI (region of interest). Basicamente é feito um pré-processamento nos dados de entrada, em seguida o plano de fundo ou background é removido para então ser detectada a região de interesse, que é conhecida também como "Blob". A figura 10 ilustra bem esse processo.

Essa estratégia, tida como a mais tradicional, é de longe a que possui mais trabalhos referenciados. Porém, possui alguns pontos de atenção a serem considerados, pois se utiliza como principal técnica o background subtraction ou remoção da imagem de fundo, em

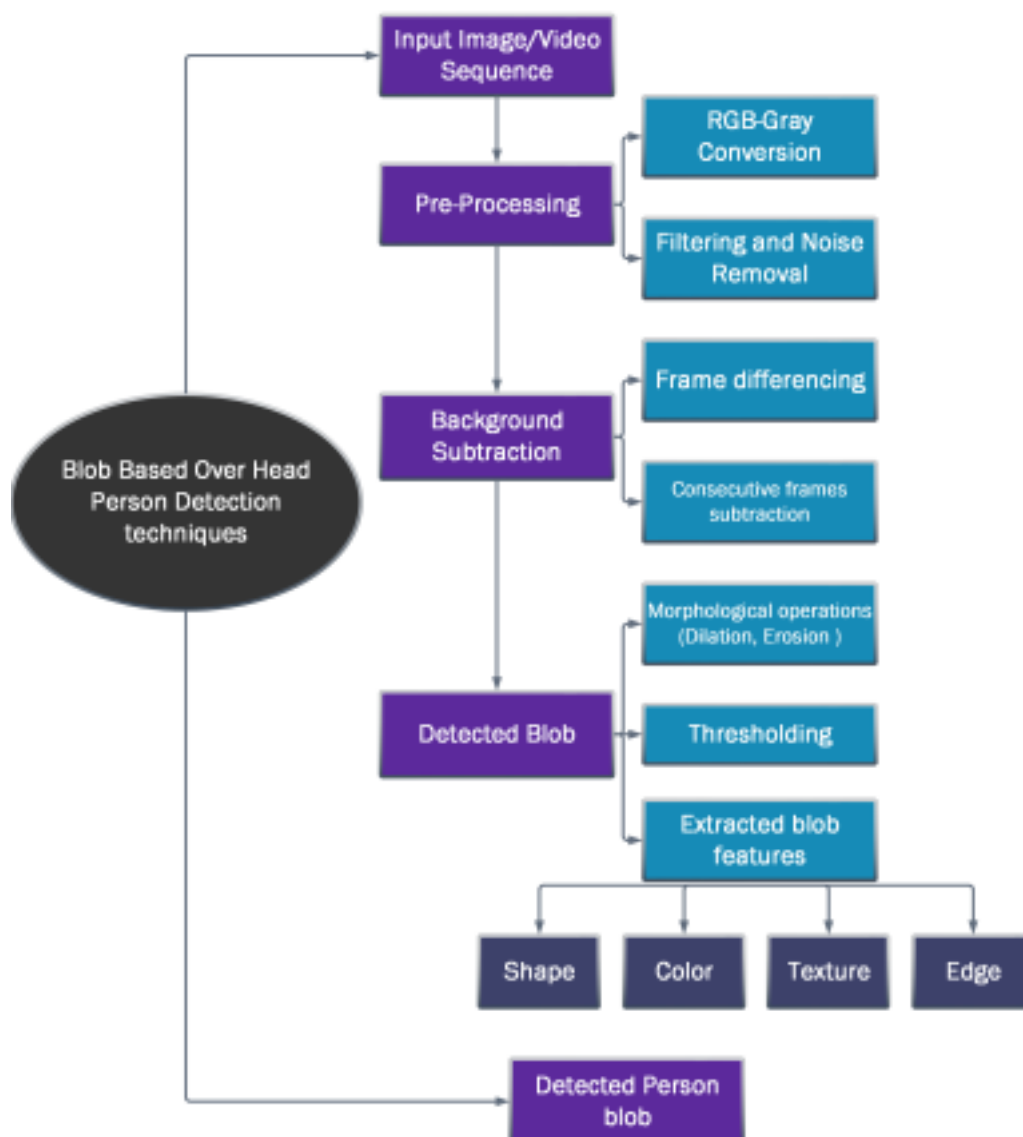


Figura 10 – Extração de Blob para detecção de pessoas - método tradicional (AHMAD et al., 2019)

tradução livre, que possui alguns problemas como a variação do ambiente, a variação das condições de iluminação, oscilação da câmera, ruídos, sombras etc. Por isso são necessárias algumas premissas como a de um ambiente controlado com condições de contorno bem delimitadas conforme a necessidade de cada aplicação em específico, além da utilização de um conjunto de dados próprio para as análises. Isso implica dizer que esses algoritmos não são escaláveis, não podendo ser utilizados em outros ambientes sem antes serem feitas diversas alterações e adaptações.

A segunda estratégia (figura 11), por sua vez, tida como a mais moderna, se baseia nos avanços da tecnologia, principalmente com relação ao campo do aprendizado de máquina e da inteligência artificial, utilizando como estratégia a detecção de pessoas ba-

seada na extração de características. O algoritmo se baseia em extrair as características desejadas da imagem de entrada, realizar a normalização, agrupá-las em um vetor de características e utilizar um classificador que irá treinar o modelo de acordo com as amostras definidas, para posterior aplicação na detecção. O algoritmo citado anteriormente de Viola e Jones é baseado nesse método.

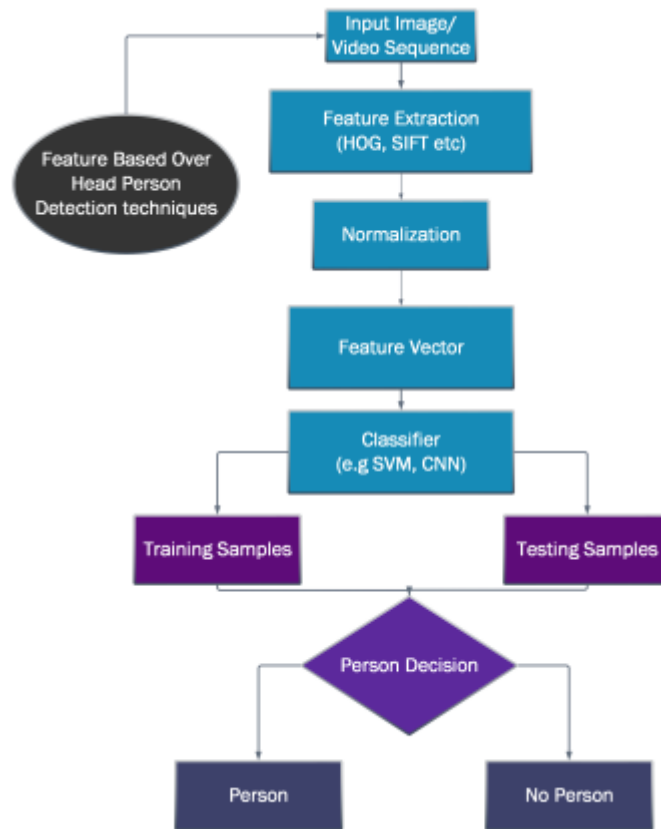


Figura 11 – Extração de características - método moderno (AHMAD et al., 2019)

Uma característica comum a esses algoritmos é o fato de serem baseados em aprendizado de máquina, isso implica em treinamento de um modelo para uma base de dados específica. Há sim diversos modelos já treinados que podem ser utilizados em aplicações genéricas, porém caso se deseje maior acurácia, é recomendado treinar o modelo em questão de acordo com os dados específicos, o que demanda maior tempo e esforço computacional.

Considerando os aspectos apresentados e o contexto deste trabalho, não há um banco de dados específico disponível e nem há a possibilidade de montar um, considerando as limitações por conta da pandemia de COVID-19 e, mesmo que houvesse dados suficientes disponíveis, não haveria tempo hábil para treinar um modelo. Por esse motivo, volta-se então para a abordagem mais tradicional, buscando-se utilizar técnicas para a extração da ROI ou "Blob".

É importante frisar que não foram abordadas técnicas para estimar a distância entre as pessoas, ou entre as pessoas e os sensores de temperatura, ou ainda a distân-

cia entre as pessoas detectadas e a câmera. Pois considerando o escopo deste trabalho, detectar a presença de pessoas no ambiente e realizar a contagem dessas pessoas seria o suficiente.

## 2.4 Considerações

A partir dessa fundamentação parte-se para o desenvolvimento do projeto. Utilizando-se dos conceitos abordados foram escolhidos os dispositivos de hardware (placa base para o desenvolvimento do sistema embarcado, sensores de temperatura e câmera) e as técnicas para implementação do software (método tradicional para detecção e extração de blobs de uma imagem). No capítulo seguinte será abordado todo o desenvolvimento realizado.



## 3 DESENVOLVIMENTO

### 3.1 PROPOSTA

O projeto consiste no desenvolvimento de um sistema embarcado utilizando uma Raspberry Pi 3B para o monitoramento da temperatura em uma sala e acompanhamento em vídeo para verificação da presença de pessoas nessa mesma sala. Os dados obtidos serão processados e analisados para que seja possível verificar a relação entre a presença de pessoas na sala e a temperatura dessa sala.

O desenvolvimento do projeto se deu em 4 partes:

- Desenvolvimento do software para monitoramento da temperatura;
- Desenvolvimento do software para detecção de pessoas;
- Integração entre os software desenvolvidos; e
- Testes para coleta de dados e análise dos resultados.

Considerando que todas as partes acima se resumem na construção de um sistema embarcado capaz de realizar toda a coleta de dados, processamento e análise, passa-se então às especificações hardware para posteriormente tratar do desenvolvimento em si.

### 3.2 DESCRIÇÃO DE HARDWARE

O conjunto de hardware utilizado no projeto juntamente com os custos para aquisição podem ser vistos na tabela 3:

ITEM	QUANTIDADE	PREÇO
Raspberry Pi 3B	1	R\$ 399,00
Sensor DS18B20	5	R\$ 55,00
Câmera Raspberry Pi 1.3	1	R\$ 56,00
Resistor 4,7k $\Omega$	1	R\$ 0,40
Fios e barramentos	vários	R\$ 20,00

Tabela 3 – Custos para aquisição dos dispositivos de hardware (fonte: autor)

O custo total do sistema ficou em R\$ 530,40, o que pode ser considerado um sistema de baixo custo em relação a um equipamento que poderia ser utilizado com alguma semelhança, qual seja uma câmera termográfica, que custa, a mais barata, em torno de R\$ 1.500,00. Além disso, há o fato da escalabilidade que o sistema proposto

possui, podendo ser aplicado em diversos ambientes com pouca ou nenhuma alteração de código, claro, considerando os pontos de melhoria levantados, que estão estritamente vinculados ao software, não implicando em mais custos.

### 3.2.1 Funcionamento do Hardware

O esquemático de ligação entre os sensores de temperatura e a Raspberry Pi pode ser visto na figura 12. Observa-se no circuito a vantagem obtida por conta da tecnologia 1-wire, em que foi possível a utilização de 5 sensores simultaneamente em uma única porta GPIO, por meio de um único barramento. Além disso, tem-se o resistor R1 de 4,7 k $\Omega$  funcionando como um resistor de pull-up no sistema. Destaca-se ainda que a ligação entre o módulo de câmera e a placa é feita por meio da interface serial integrada (CSI), sendo reconhecida automaticamente pela Raspberry Pi, sem a necessidade de configurações adicionais (figura 13).

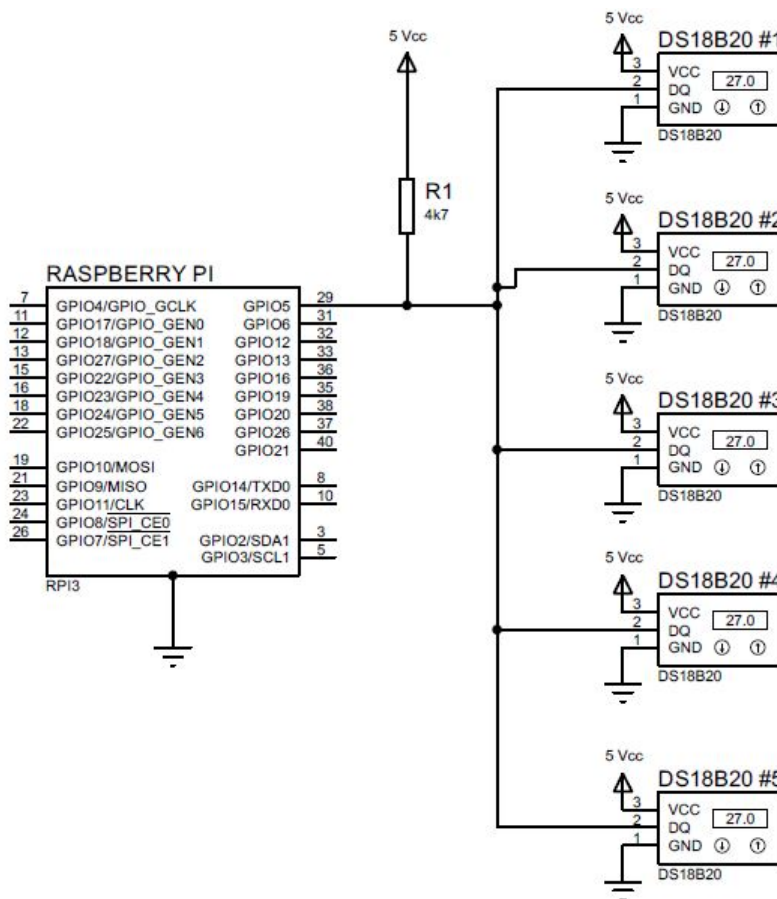


Figura 12 – Esquemático de ligação entre Raspberry e sensores (fonte: autor)





Figura 13 – Interface Serial Integrada destacada em vermelho (FOUNDATION, 2021)

### 3.2.2 PLACA BASE PARA O SISTEMA EMBARCADO - RASPBERRY PI

Como base do sistema embarcado deste projeto foi escolhida uma Raspberry Pi (figura 14), que é um SoC (System-on-Chip) de baixo custo, também conhecida como um SBC (Single Board Computer), desenvolvida pela Raspberry Pi Foundation em 2012.

Considerando o Modelo de sistemas embarcados apresentado em 2.1.2, a Raspberry Pi possui por si só possui as duas primeiras camadas, sendo a primeira a camada de Hardware, composta por diversos componentes tais quais:

- Processador Broadcom BCM2837 64bit Quad Core com frequência de 1.2GHz, arquitetura ARM Cortex-A53;
- Memória de 1GB RAM;
- GPU VideoCore IV de 400 MHz;
- Wifi integrado;
- Bluetooth de baixo consumo energético integrado;
- 40 pinos de GPIO;
- 4 portas USB
- Porta HDMI;
- Entrada para câmera de vídeo (interface de câmera serial – CSI);
- Porta Micro SD;
- Suporte à comunicação UART, SPI e I2C; etc

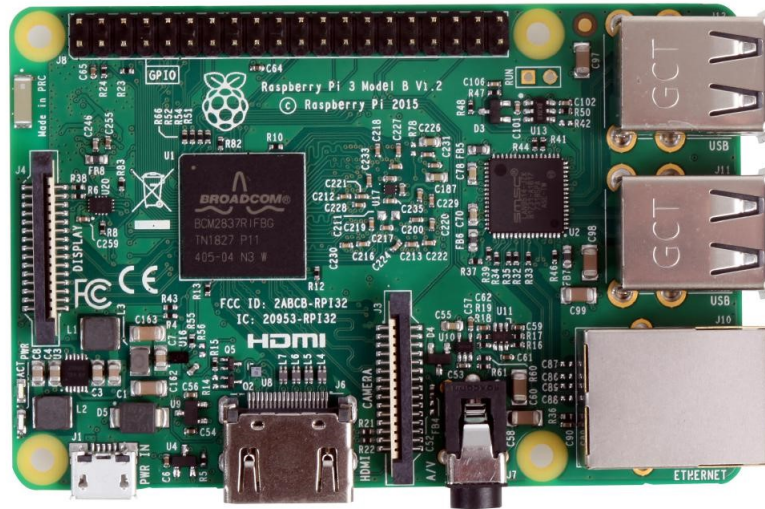


Figura 14 – Raspberry Pi 3B (FOUNDATION, 2021)

E a segunda a camada de System Software, onde encontra-se o sistema operacional feito especialmente para operar na Raspberry Pi, chamado de Raspberry Pi OS (anteriormente conhecido como Raspbian). Trata-se de um sistema baseado em Debian, otimizado para o hardware da Raspberry Pi.

Essa placa foi escolhida por alguns motivos, sendo os principais:

- Ampla documentação de hardware e software disponíveis na internet;
- Diversos fóruns e grande interação entre os usuários;
- Preço acessível, considerando outras opções semelhantes no mercado;
- Capacidade de processamento capaz de atender às necessidades do projeto, principalmente em relação ao processamento de vídeo para detecção de pessoas;
- Facilidade para desenvolvimento pelo fato de ser baseada em plataforma Linux;
- Variedade de itens e funcionalidades disponíveis, conforme mostrado acima.

Dessa forma, o sistema que será efetivamente embarcado na Raspberry Pi será a integração do sistema para monitoramento da temperatura e do sistema para detecção de pessoas por meio de vídeo. Estando na camada do Software de Aplicação. Além disso, serão utilizados ao menos mais dois tipos de hardware periféricos integrados à placa: sensores de temperatura e uma câmera.

### 3.2.3 SENSOR DE TEMPERATURA - DS18B20

Para o sistema de monitoramento da temperatura do ambiente buscou-se uma solução que fosse de fácil integração com a placa base para o sistema embarcado, a Raspberry Pi. Considerando o fato de se tratar de um sistema microprocessado, optou-se por um sensor que fosse baseado na tecnologia dos sensores semicondutores, especificamente do tipo com saída digital, de forma a facilitar ainda mais a comunicação com a Raspberry Pi. Por esse motivo, foi escolhido o sensor **DS18B20**..

De acordo com o seu datasheet ([INTEGRATED, 2019](#)), o DS18B20 é um termômetro digital de resolução programável com a tecnologia 1-Wire. A figura 15 ilustra o sensor sua configuração de pinos.

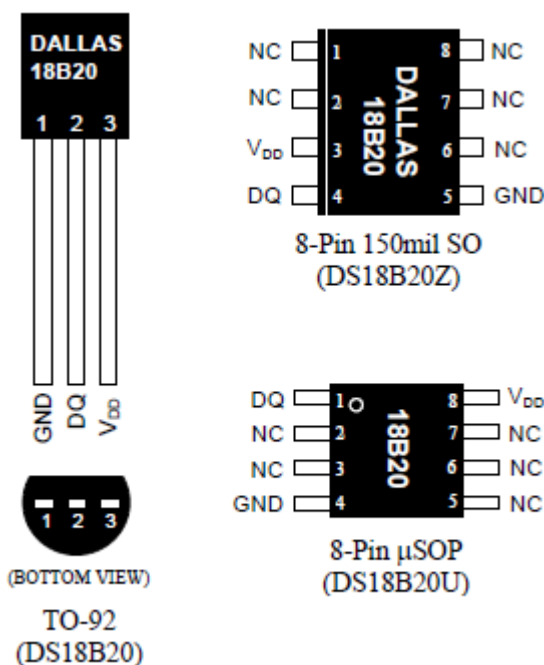


Figura 15 – Sensor DS18B20 e sua configuração de pinos ([INTEGRATED, 2019](#))

Dentre as principais características do sensor, pode-se destacar:

- Interface 1-Wire que requer somente uma porta ou um pino para comunicação: Essa tecnologia é semelhante a forma de comunicação I2C, em termos práticos, isso significa que um único dispositivo consegue controlar vários sensores DS18B20 distribuídos em uma grande área;
- Cada sensor possui um código serial de 64 bits único armazenado em sua memória ROM integrada;
- Pode ser alimentado diretamente pelo pino de dados;
- Possui um range, ou faixa de operação de temperatura de  $-55^{\circ}\text{C}$  até  $+125^{\circ}\text{C}$ ;

- Possui uma acurácia de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  entre  $-10^{\circ}\text{C}$  e  $+85^{\circ}\text{C}$ ;
- A resolução do termômetro, que é dada pela quantidade de bits do conversor A/D, é ajustável pelo usuário, podendo ser entre 9 e 12 bits, ou seja, cada passo de medição da temperatura pode ser de até aproximadamente  $0,0625^{\circ}\text{C}$ ;
- Possibilidade de adição de alarmes; e
- O tempo de conversão para uma palavra digital de 12 bits é de 750 ms.

O fato do sensor possuir essa tecnologia 1-Wire, além da possibilidade de ser alimentado diretamente pelo pino de dados, possibilita uma economia nos custos e na complexidade dos circuitos com a utilização de vários barramentos para uma rede de sensores maior.

A figura 16 ilustra o diagrama de blocos do sensor.

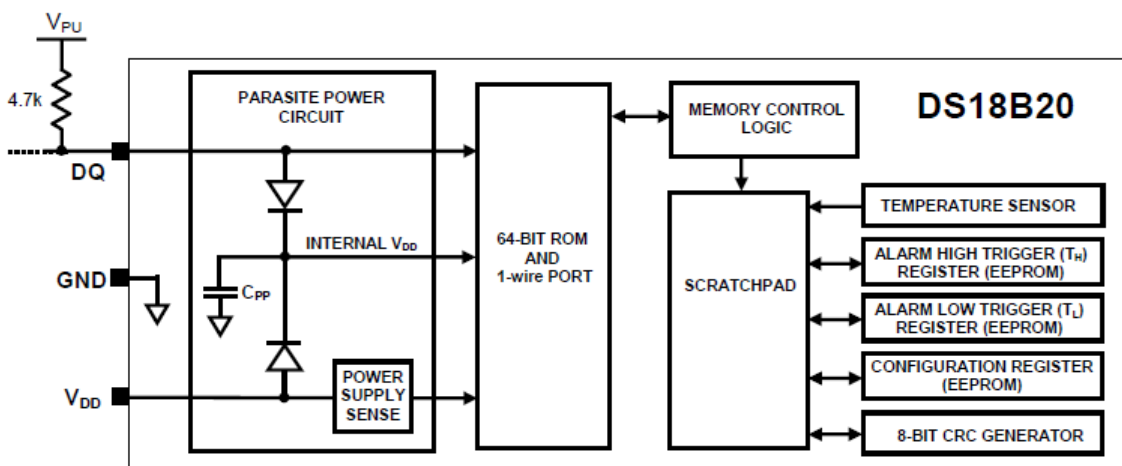


Figura 16 – Diagrama de blocos do sensor DS18B20 (INTEGRATED, 2019)

A temperatura fornecida pelo DS18B20 é calibrada em graus centígrados ou Celsius, sendo que, após ser lida pelo elemento sensor do circuito integrado, é convertida para o formato digital e armazenada no registrador de 16 bits (SCRATCHPAD), 5 bits são utilizados para indicação do sinal (temperatura negativa ou positiva) e os outros 11 podem ser utilizados para armazenamento dos dados de temperatura, podendo variar entre 9 e 11 bits (resolução), de acordo com a configuração do usuário (figuras 17 e 18).

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
<b>LS Byte</b>	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$	$2^{-1}$	$2^{-2}$	$2^{-3}$	$2^{-4}$
	bit 15	bit 14	bit 13	bit 12	bit 11	bit 10	bit 9	bit 8
<b>MS Byte</b>	S	S	S	S	S	$2^6$	$2^5$	$2^4$

Figura 17 – Esquema de representação dos dados de temperatura (INTEGRATED, 2019)

TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (Binary)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
+125°C	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85°C*	0000 0101 0101 0000	0550h
+25.0625°C	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125°C	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5°C	0000 0000 0000 1000	0008h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5°C	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125°C	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625°C	1111 1110 0110 1111	FE6Fh
-55°C	1111 1100 1001 0000	FC90h

Figura 18 – Exemplo da relação entre a temperatura medida e o dado digital correspondente (INTEGRATED, 2019)

A o esquema de ligação e operação do DS18B20 utilizando uma fonte de energia externo é ilustrado na figura 19.

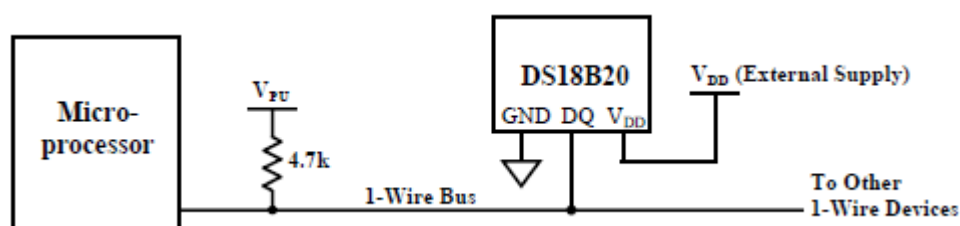


Figura 19 – Esquema de ligação do sensor utilizando uma fonte de energia externa (INTEGRATED, 2019)

Observa-se que se trata de um sensor altamente versátil, atendendo bem às necessidades da aplicação deste trabalho. Ao montar uma pequena rede de sensores espera-se conseguir extrair uma espécie de mapa de calor do ambiente.

### 3.2.4 CÂMERA PARA DETECÇÃO DE PESSOAS

Sendo um módulo essencial do projeto, optou-se por uma câmera que tivesse boa integração com a Raspberry Pi, de preferência via Interface Serial Integrada. Dessa forma, foi escolhida a câmera proprietária da Raspberry, a Raspberry Pi Camera Rev 1.3, ou v1 (figura 20), conforme ilustrado na figura abaixo.

A escolha desse módulo se deu, principalmente, devido ao seu baixo custo e atendimento às necessidades do projeto. Trata-se de uma câmera de 5 MP com lente de foco fixo, capaz de fornecer uma resolução de 2592 x 1944 pixels para imagens estáticas e 1080p30, 720p60 e 640x480p60/90 para vídeos. As principais especificações técnicas seguem abaixo:

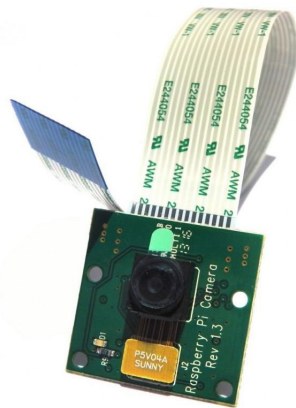


Figura 20 – Módulo de câmera a Raspberry Pi Camera Rev. 1.3 ([FOUNDATION, 2021](#))

- Módulo de câmera Omnivision 5647 de 5 MP;
- Resolução de captura de imagens estáticas de 2592 x 1944 pixels;
- Resolução de vídeo máxima de 1080p a 30fps com codec H.264 (AVC);
- Interface serial integrada (CSI);
- Tamanho físico de aproximadamente 25 x 24 x 9 mm;
- Peso aproximado de 3g;
- Área da imagem do sensor de 3,76 x 2,74 mm;
- Tamanho do pixel de 1,4  $\mu\text{m}$  x 1,4  $\mu\text{m}$ ;
- Lente de 3,6 mm com erro de mais ou menos 0,01 mm;
- Ângulo de visão de 53 (horizontal) x 41 (vertical) graus;
- Campo de visão de 2,0 x 1,33 m, a 2 m;

### 3.3 DESCRIÇÃO DE SOFTWARE

Considerando o desenvolvimento do sistema em etapas, sendo uma para o monitoramento da temperatura e outra para a detecção de pessoas, e a posterior integração, tem-se o seguinte fluxograma (figura 21) que ilustra o princípio de funcionamento geral.

Observa-se que o sistema embarcado baseia-se em duas threads paralelas que se comunicam entre si por meio de sinais ou flags, sendo uma das threads responsável pelo monitoramento do ambiente (detecção de pessoas e verificação da temperatura) e a outra, sendo a principal, responsável pela escrita do resultado em um arquivo de dados. O Objetivo final é correlacionar os dados da câmera com os dados dos sensores de temperatura de forma a se extrair as informações necessárias para a análise proposta.

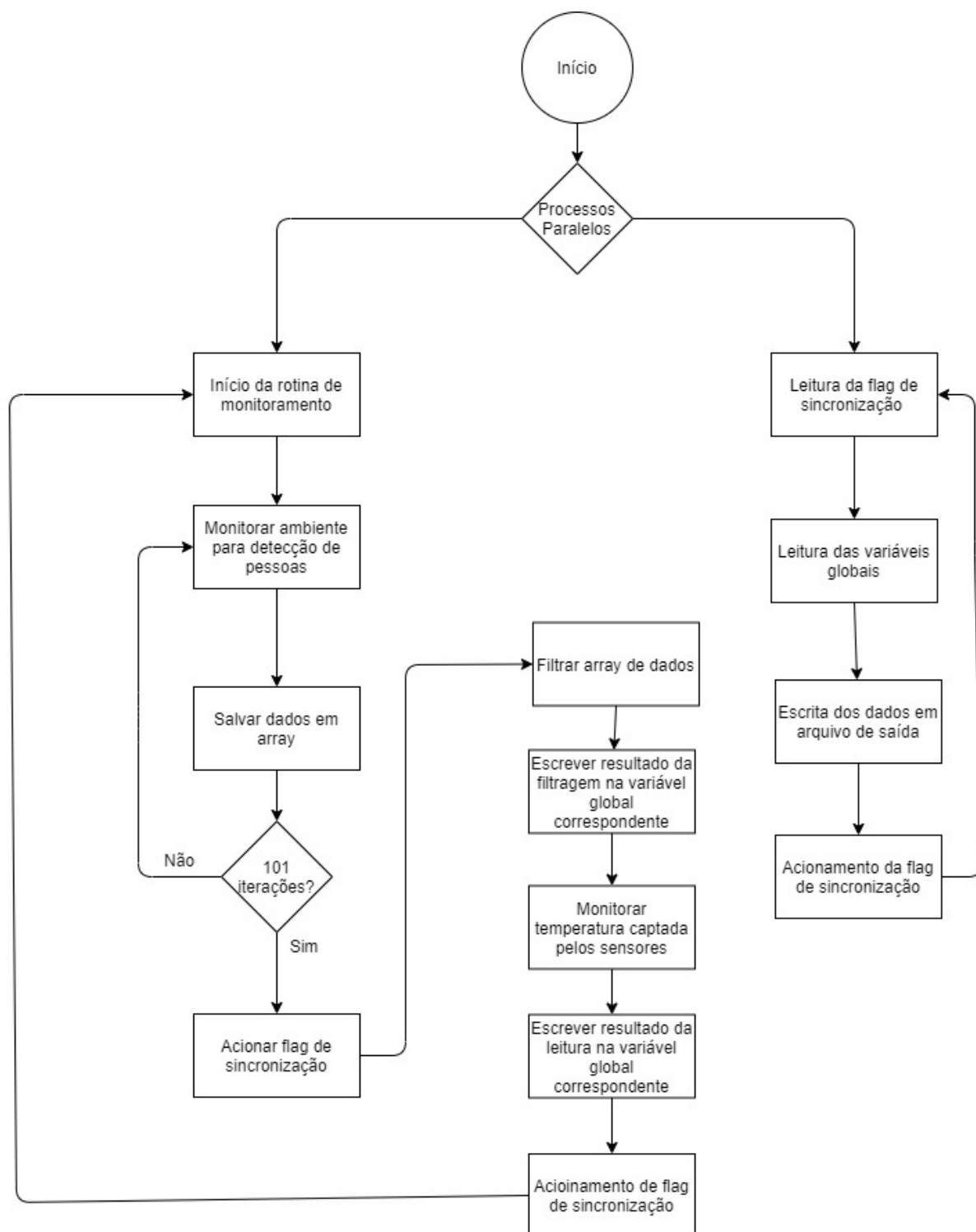


Figura 21 – Diagrama de blocos representando o funcionamento do software (fonte: autor)

### 3.3.1 Monitoramento da temperatura

O monitoramento da temperatura se deu por meio da disposição dos sensores de temperatura em um ambiente de 13,5m<sup>2</sup>. O objetivo era construir uma rede de sensores que pudesse captar a temperatura com maior precisão, evitando mensurar a temperatura em um único ponto.



O funcionamento se dá baseado no fato de que cada sensor DS18B20 possui um código hexadecimal identificador que é transmitido juntamente com os dados, assim, após a habilitação da interface One-Wire da Raspberry Pi, um arquivo chamado "w1\_slave" com os dados da leitura do sensor estará disponível em uma pasta com a identificação do sensor na pasta *devices* da Raspberry Pi. Foram utilizados 5 sensores ao todo, e após os testes iniciais para identificação de cada um no sistema, foi definido um PATH para o caminho até o arquivo dos dados, conforme mostrado na figura 22.

```
#define PATH1 "/sys/bus/w1/devices/28-3c01a81625b4/w1_slave" //caminho do arquivo sensor 1
#define PATH2 "/sys/bus/w1/devices/28-3c01a816346b/w1_slave" //caminho do arquivo sensor 2
#define PATH3 "/sys/bus/w1/devices/28-3c01a8169cc7/w1_slave" //caminho do arquivo sensor 3
#define PATH4 "/sys/bus/w1/devices/28-3c01a816a335/w1_slave" //caminho do arquivo sensor 4
#define PATH5 "/sys/bus/w1/devices/28-d00d991864ff/w1_slave" //caminho do arquivo sensor 5
```

Figura 22 – Definição dos caminhos até o arquivo com os dados da leitura dos sensores (fonte: autor)

Para leitura dos dados dos sensores foi criada uma função específica "float leitura\_sensor(int i)", em que o parâmetro passado para a função é o número do sensor. Em resumo, a função recebe o número do sensor e escolhe o PATH correspondente, procedendo à leitura do arquivo. Ele contém 74 caracteres de dados do tipo char, porém os dados da temperatura, em graus celsius e multiplicados por mil, são sempre os últimos 5 caracteres. Dessa forma, esses cinco caracteres são passados para um array que em seguida é convertido para float e dividido por mil, possibilitando obter um dado numérico de temperatura com precisão de 3 casas decimais (figura 23).

```
fp.read(buffer, TAM*NUMBYTES);

for(int i = 0; i <= 4; i++){
    temp_c[i] = buffer[69+i];
}

temp = (float)atof(temp_c)/1000;

fp.close();

return temp;
```

Figura 23 – Leitura dos dados dos sensores de temperatura (fonte: autor)

Após a leitura dos dados, é feita uma média simples entre as temperaturas capturadas por cada um dos sensores, sendo armazenada na variável "sensor\_data" e passada para a thread principal.

### 3.3.2 Detecção de pessoas

Pelo fato de a detecção de pessoas ser uma das premissas deste trabalho, optou-se por se utilizar a biblioteca OpenCV (Open Source Computer Vision Library) para C++.



Ela é uma biblioteca de software de visão computacional e aprendizado de máquina de código aberto, multiplataforma e voltada principalmente para aplicações de visão computacional em tempo real. Tendo sido lançada oficialmente em 1999 pela Intel Corporation, continua em constante desenvolvimento, contando, hoje, com mais de 2500 algoritmos otimizados, que incluem desde os mais clássicos até os que são referências de estado da arte em visão computacional e aprendizado de máquina. Além disso, serviu como base para este projeto o trabalho "OpenCV 3 - Multiple Object Tracking by Image Subtraction"(DAHAM, 2017).

A essência do software se baseia em extrair blobs ou elementos da imagem por meio da subtração de frames consecutivos. Dessa forma, sempre que houver movimento na imagem, será captada uma blob que, dependendo de algumas características pré-configuradas, pode ser considerada uma pessoa ou não. Inicialmente foi considerada a possibilidade de realizar apenas o background subtraction, porém essa abordagem limitaria muito as possibilidades do projeto de poder utilizá-lo para análise térmica em qualquer ambiente, pois sempre seria necessária uma pré-configuração, obtendo uma série de imagens do ambiente específico (background), em diversas condições de iluminação para, após ter uma média dessas imagens, poder realizar a extração dos elementos de interesse. Por esse motivo, considerou-se que a estratégia de subtrair frame a frame seria mais adequada. Nela, busca-se extrair as diferenças entre frames consecutivos, ou seja, sempre que há algum movimento na cena, essa diferença é computada e tratada para verificação da possibilidade de ser uma pessoa ou não.

Dessa forma, o algoritmo inicia-se por meio da captura do frame atual, armazenando-o em duas variáveis e realizando alguns pré-tratamentos como a conversão para escala de cinza e a aplicação de um filtro gaussiano para suavizar as bordas. A primeira iteração não resultará em nenhuma diferença, já que são os mesmos frames, porém, a partir da segunda iteração, o novo frame é capturado apenas em uma das variáveis, sendo que a segunda variável permanece com o frame anterior. Dessa forma então é possível computar a diferença entre eles por meio da função "cv::absdiff()", em seguida sendo feito threshold do resultado por meio da função "cv::threshold".

Após obter o threshold da diferença dos frames são realizados mais alguns tratamentos para realçar as bordas, sendo eles as funções de dilatar e erodir ("cv::dilate()" e "cv::erode()"), que servem respectivamente para expandir as bordas de acordo com especificações pré estabelecidas ("structuringElement") e em seguida diminui-las, claro, em proporções diferentes de forma a uma operação não anular a outra.

Após os tratamentos acima é definido um vetor de vetores de pontos em que serão armazenados os contornos por meio da função "cv::findContours()". Trata-se de uma etapa fundamental pois os contornos serão a base para construção dos elementos de interesse, ou blobs. Para isso foi utilizado o conceito de envoltórias convexas ou Convex Hulls, do inglês.

Trata-se de um conceito matemático que indica que, considerando um conjunto de pontos quaisquer, uma envoltória convexa  $H$  será a menor envoltória possível que contenha todos os pontos do conjunto de forma que seja possível construir uma linha reta entre quaisquer dois pontos do conjunto sem sair da envoltória. As figuras 24 e 25 ilustram esse conceito.



Figura 24 – Ilustração de uma envoltória convexa e uma não convexa (ZURICH, )

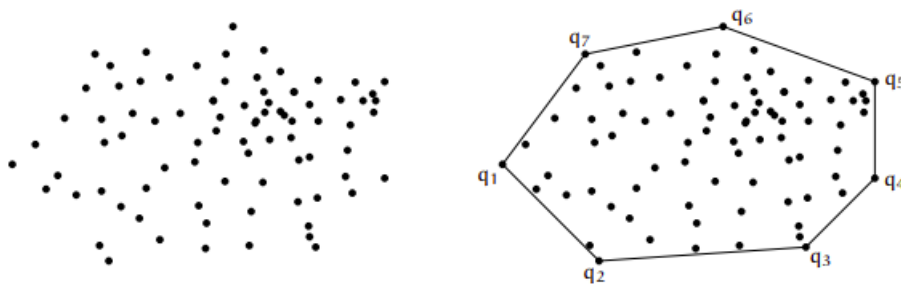


Figura 25 – Exemplo de envoltória convexa de um conjunto de pontos (ZURICH, )

Considerando o conceito acima, entende-se a relevância de armazenar os contornos obtidos em um conjunto de pontos, pois a partir desses pontos serão desenhadas as envoltórias convexas por meio da função "cv::convexHull()". Cada envoltória convexa é armazenada em um novo vetor de vetores de pontos, e daí cada uma será analisada de acordo com uma série de aspectos dimensionais tais quais a área, as proporções entre largura e altura, diagonal etc., e a partir de testes foram definidos valores considerados razoáveis (tabela 4) para considerar que um elemento definido pela envoltória convexa pode representar uma pessoa.

CARACTERÍSTICA	REQUISITO
Área do retângulo circundante	> 7000
Proporção entre largura e altura do retângulo circundante	> 0,2 e < 1,25
Largura do retângulo circundante	> 50
Altura do retângulo circundante	> 100
Diagonal do retângulo circundante	> 30
Razão entre área do contorno da Blob e área do retângulo circundante	> 0.5

Tabela 4 – Requisitos adotados para considerar uma blob como uma pessoa (fonte: autor)

Cada elemento considerado como uma pessoa é então armazenado em outro vetor e é desenhado sobre eles um retângulo com um círculo no centro para indicar a detecção na tela.

Porém, com essa abordagem, tem-se que a cada intervalo de alguns milissegundos é feita uma nova iteração, o que implica que o tempo inteiro a cada movimento na tela estão sendo detectados novos elementos. Buscou-se então compreender melhor o problema proposto, qual seja, a detecção de pessoas e a quantificação do impacto da presença delas na temperatura do ambiente. Considerou-se então que se uma pessoa foi detectada na imagem, dificilmente em alguns milissegundo ela sairia da imagem, bem como não faria diferença para a temperatura do ambiente se uma pessoa ficasse menos que 10 segundos ali. Por esse motivo, foi implementado um algoritmo que fizesse a análise por 10 segundos e dentro desse período computasse o número de pessoas que esteve no ambiente por um maior período de tempo. Ou seja, se 1 pessoa ficou no ambiente pelos 10 segundos e outra apenas entrou e saiu, essa segunda pessoa não seria considerada no cômputo. Essa foi a maneira encontrada para conseguir ter uma medição mais fidedigna. O algoritmo proposto se baseia em acumular todas as quantidades de elementos detectados durante os últimos 10 segundos, verificar então as quantidades de maior ocorrência e utilizar esse valor como o número de pessoas na sala naquele período.

Dessa forma, a cada 10 segundos os dados dos sensores de temperatura e da presença de pessoas no ambiente eram enviados para a thread principal, responsável por compilar esses dados em um arquivo de saída.

### 3.3.3 Integração

Cada parte do sistema foi construída e testada separadamente para que posteriormente fossem integradas em um único sistema.

Inicialmente foram pensadas em construir uma thread separada para monitoramento dos sensores e outra para o monitoramento da presença de pessoas, porém, achou-se melhor utilizar apenas uma thread para ambos de forma a garantir maior sincronia entre elas na leitura e envio dos dados. Foram feitos testes com os dois cenários e não foi perceptível nenhuma diferença relevante. Considerando-se que não se trata de um projeto hard real-time, mas sim soft real-time, não há problemas se houver algum atraso mínimo.

Dessa forma, a rotina de leitura dos sensores de temperatura foi integrada à rotina do algoritmo de detecção de pessoas, sendo realizada a cada intervalo de 15 segundos. Após cada leitura é acionada uma flag para indicar para a thread principal que deve ser feita a escrita no arquivo dos dados recebidos. O software completo pode ser encontrado no repositório do github do autor disponível no repositório do github criado para esta disciplina ([BRITO, 2021](#)).



## 4 EXPERIMENTOS

A fim de quantificar o impacto da presença de pessoas na temperatura do ambiente foram realizados experimentos utilizando o sistema embarcado proposto. O escopo da realização dos testes segue abaixo.

- Localização geográfica: Jardim Céu Azul, Valparaíso de Goiás, Goiás, Brasil
- Período: de 18 de outubro de 2021 a 24 de outubro de 2021
- Característica do ambiente de testes: Sala de 13,5m<sup>2</sup>, sendo 3 metros de largura e 4,5 metros de comprimento, pé direito de 2,40m
- Posição do ambiente em relação ao sol: Poente
- Aparelhos HVAC para controle da temperatura: Não foram utilizados nenhuma espécie de aparelho para resfriar o ambiente
- Número de pessoas: Variando entre 1 e 2 pessoas
- Condição das pessoas: Em pé, andando pela sala
- Número de sensores de temperatura utilizados: 5 sensores
- Posição dos sensores no teto conforme figura 26.

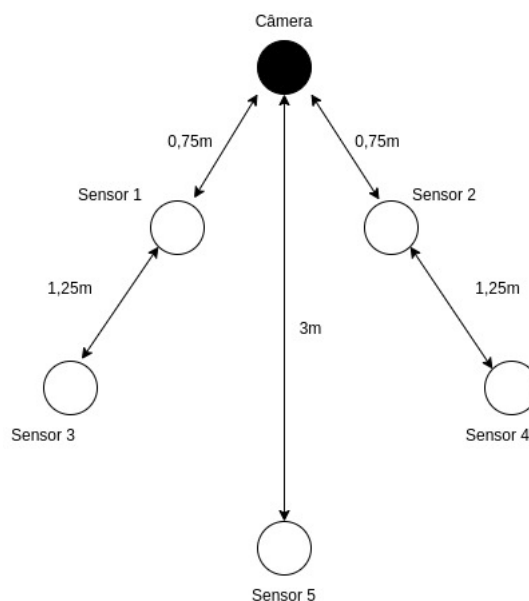


Figura 26 – Diagrama ilustrativo do posicionamento dos sensores (fonte: autor)

- Número de câmeras: 1 câmera
- Posição da câmera: 2,30 metros de altura em relação ao chão, fixada no ponto métrico (1,5m) de uma das paredes
- Condições do ambiente: Portas e janelas fechadas
- Horário de realização dos experimentos: variado

## 4.1 Histórico de testes

### Dia 1

Os testes iniciais foram feitos no dia 17 de outubro de 2021, de forma a verificar o funcionamento do sistema após a instalação no local de testes e para realizar alguma calibração adicional após a integração das partes dos softwares.

Na figura 27 é possível observar o hardware montado.

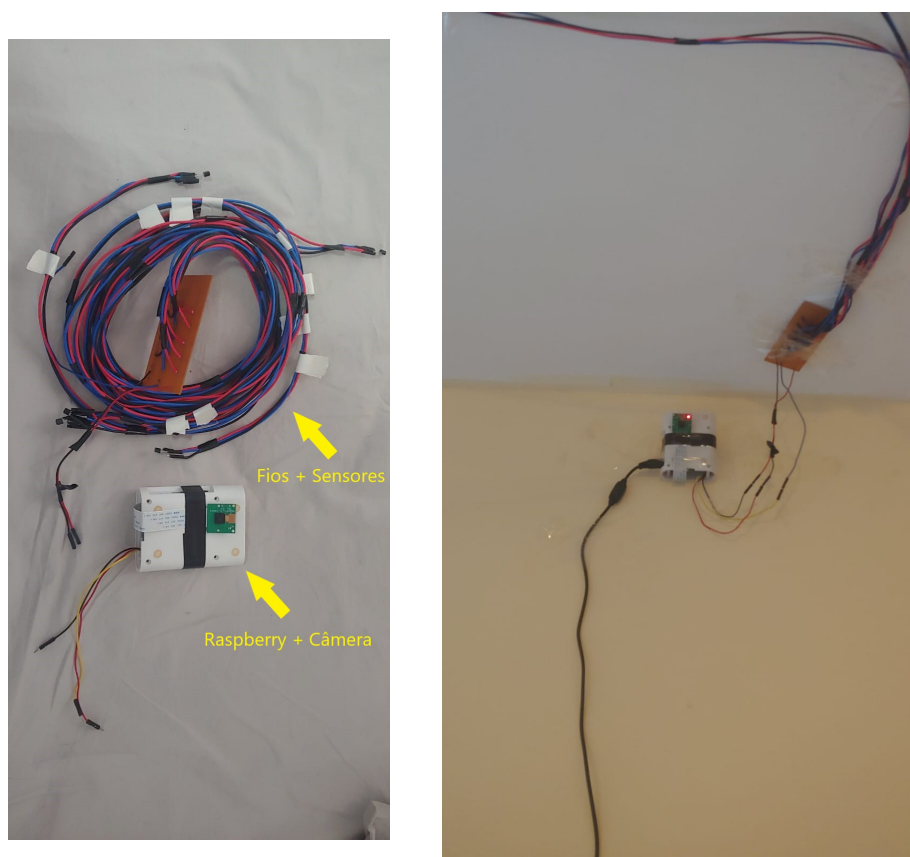


Figura 27 – Conjunto de hardware e instalação no local de testes (fonte: autor)

### Dia 2

No dia 18 de outubro de 2021 foi iniciado o experimento por meio da inserção de pessoas no ambiente, conforme ilustrado na figuras 28, 29 e 30.

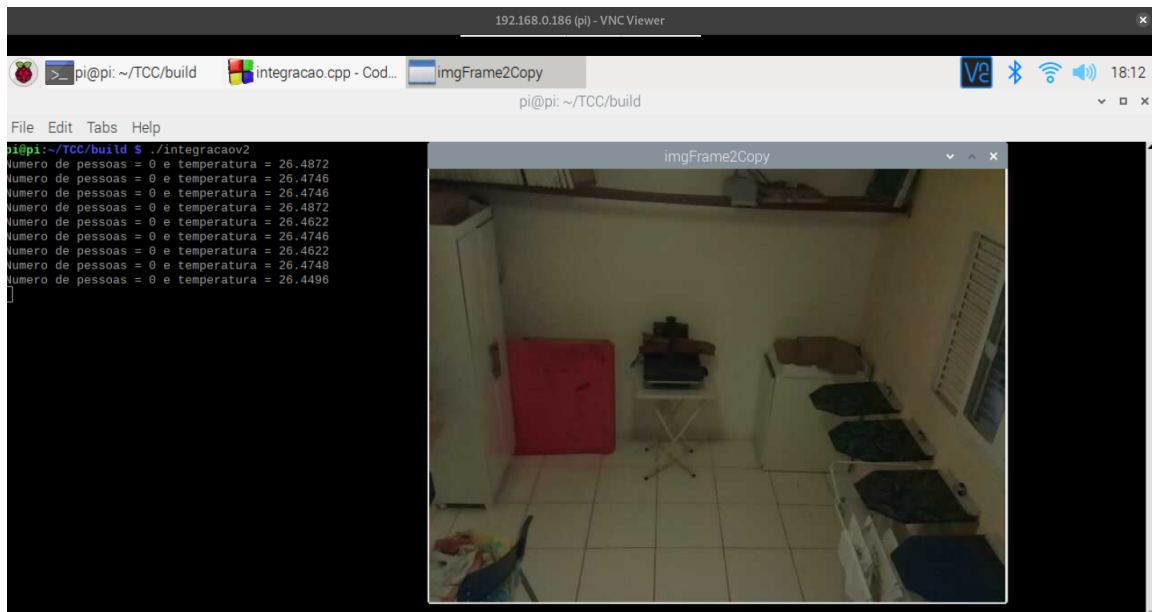


Figura 28 – Screenshot de um dos testes realizados (fonte: autor)

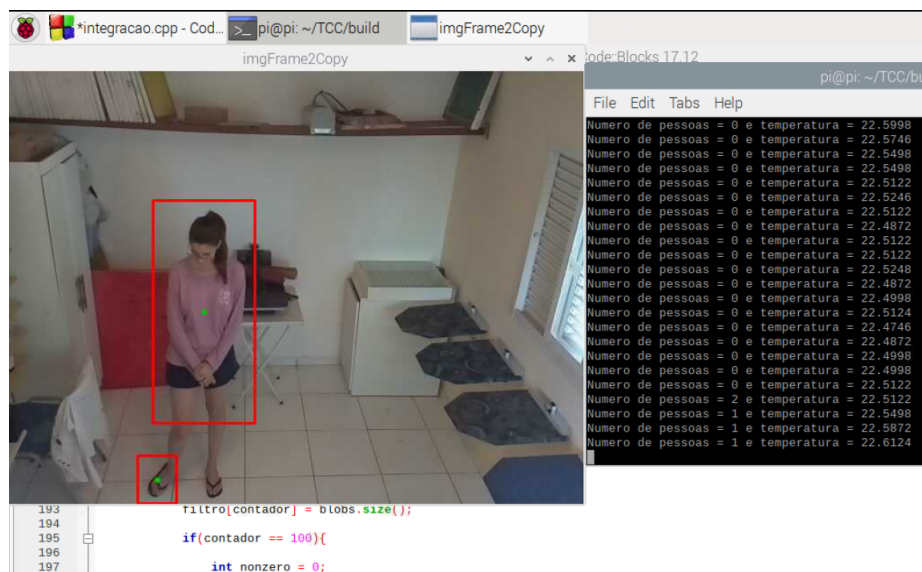


Figura 29 – Screenshot de um dos testes realizados (fonte: autor)

O experimento inicial se deu basicamente com a inserção e a retirada de uma pessoa do ambiente, sem quantificar ou estabelecer um tempo ou período fixo. O objetivo era verificar alguma possível oscilação na temperatura do ambiente, tanto para mais, enquanto a pessoa estava no ambiente, quanto para menos, quando a pessoa deixava o ambiente.

A partir disso foi possível perceber que:

- Considerando o tamanho do ambiente, seria possível que a presença de apenas uma pessoa não impactasse de forma perceptível ou relevante a temperatura do ambiente;

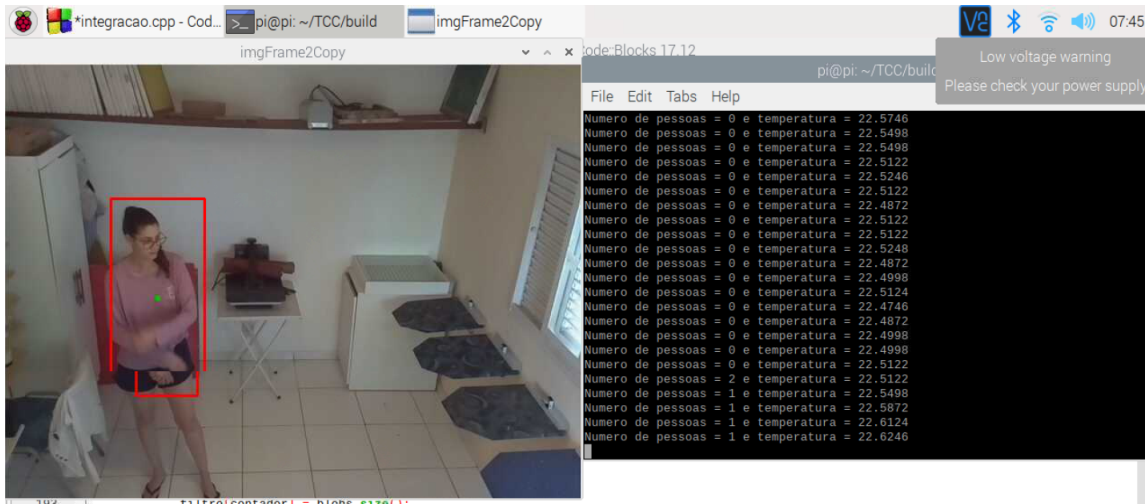


Figura 30 – Screenshot de um dos testes realizados (fonte: autor)

- O fato de não se estar em um ambiente controlado e não se estar utilizando dispositivos para regulação e controle da temperatura, prejudica o experimento, ao passo em que a temperatura do ambiente vai oscilar (aumentar e diminuir) acompanhando o passar do dia.
- Na figura 29 é possível perceber um erro causado pela limitação da técnica utilizada, em que apesar de haver apenas uma pessoa na cena, o software entende que há duas pessoas, por considerar o pé como uma blob diferente do restante do corpo.

### Dia 3

Foi dada continuidade ao experimento no dia 20 de outubro de 2021, utilizando-se basicamente da mesma ideia de colocar uma pessoa no ambiente por um período de tempo e retirá-la em seguida. Porém, ainda não fora adotada nenhuma abordagem experimental metodológica, o objetivo estava focado em tentar visualizar alguma variação em tempo real.

### Dia 4

Até então não fora feito um teste mais sistemático. No dia 22 de outubro 2021, porém, decidiu-se mudar a estratégia, em vez de monitorar o ambiente somente em um intervalo curto de tempo para verificar em tempo real alguma variação na temperatura, o objetivo agora seria monitorar o ambiente durante um dia inteiro, a fim de observar o comportamento da curva de variação da temperatura no decorrer do dia, sem pessoas no ambiente, dessa forma, posteriormente, poderia se comparar a curva de temperatura ao longo do dia sem a presença de pessoas com outra curva de temperatura, só que dessa vez inserindo pessoas no ambiente.



### Dias 5 e 6

No dia 23 de outubro 2021, com os resultados do dia anterior, foi possível plotar uma curva da temperatura no ambiente em função do tempo. A partir disso, no dia 24 de outubro de 2021 foi iniciado um novo experimento, porém, dessa vez a abordagem seria realizar testes sistemáticos inserindo pessoas no ambiente por determinado período de tempo em diferentes horários para buscar observar alguma variação na curva de temperatura. Assim, apesar de as condições serem diferentes (a temperatura externa e as condições climáticas não serem as mesmas), seria possível perceber algum comportamento diferente caso houvesse impacto da presença das pessoas na temperatura.

Convém dizer que houve uma pequena mudança no sistema a fim de captar mais informações: anteriormente os dados da temperatura e do ambiente estavam sendo registrados a cada intervalo de 20 segundos aproximadamente, fora feita uma alteração para diminuir esse intervalo para algo em torno de 10 segundos, aumentando a resolução da captura dos dados.

Os dados de controle do experimento podem ser observados na tabela 5.

Teste	Número de pessoas	Permanência no ambiente	Hora de início
1	1	10 minutos	21:10 - 23/10/2021
2	2	10 minutos	09:00 - 24/10/2021
3	2	10 minutos	09:40 - 24/10/2021
4	2	10 minutos	10:00 - 24/10/2021
5	2	10 minutos	10:30 - 24/10/2021
6	2	10 minutos	11:00 - 24/10/2021
7	2	10 minutos	11:30 - 24/10/2021
8	2	10 minutos	12:00 - 24/10/2021
9	2	10 minutos	12:30 - 24/10/2021
10	2	10 minutos	13:00 - 24/10/2021
11	2	10 minutos	13:30 - 24/10/2021
12	2	10 minutos	14:00 - 24/10/2021
13	1	10 minutos	18:00 - 24/10/2021
14	1	10 minutos	18:30 - 24/10/2021
15	1	10 minutos	19:00 - 24/10/2021
16	1	10 minutos	19:30 - 24/10/2021
17	1	10 minutos	20:00 - 24/10/2021

Tabela 5 – Dados de controle do experimento realizado (fonte: autor)

## 4.2 RESULTADOS

Do esforço realizado na pesquisa bibliográfica para levantamento da fundamentação teórica pode-se extrair que realmente existe um impacto da presença de pessoas na temperatura do ambiente em que estão inseridas. Ficou clara essa relação a partir do trabalho de (SOLBERG et al., 2017), bem como a partir de diversos trabalhos qualitativos a respeito do conforto térmico dos indivíduos. Fato é que na grande maioria dos traba-

lhos pesquisados, principalmente em relação ao conforto térmico, o foco sempre esteve em como a temperatura do ambiente impactava as pessoas, e não na relação contrária, sobre o impacto da presença das pessoas na temperatura dos ambientes.

Tendo isso mãos, a resposta à primeira parte da pergunta de pesquisa fora dada, é um fato que a presença de pessoas no ambiente impacta diretamente na temperatura desse ambiente. Porém, para responder à segunda parte, quantificando esse impacto para verificar se seria suficientemente relevante para servir como parâmetro de controle para sistemas HVAC, seria necessário realizar a análise térmica do ambiente x a presença de pessoas, e para isso fora proposto e construído o sistema embarcado apresentado.

Os primeiros testes não tiveram dados resultados relevantes, pois não fora adotada uma abordagem ou metodologia sistemática. Porém, os testes do dia 22, 23 e 24 resultaram em dados mais robustos. Toda a análise dos dados foi feita por meio da linguagem R, utilizando-se de técnicas básicas para tratamento e análise de dados.

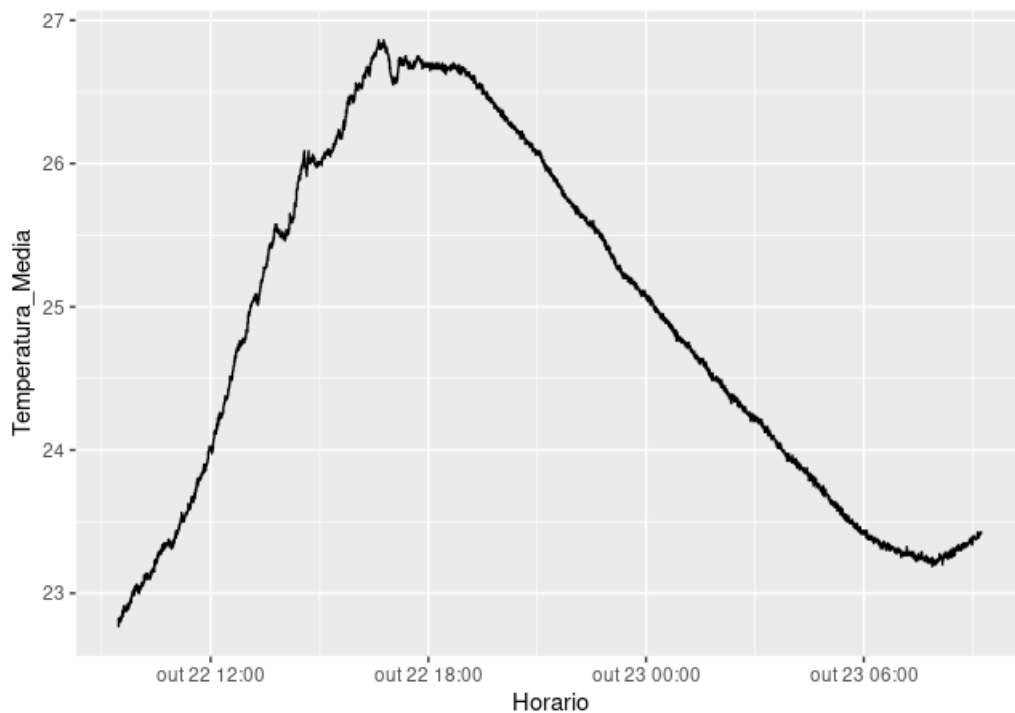


Figura 31 – Curva da temperatura do ambiente no decorrer do dia (fonte: autor)

A figura 31 traz a curva de temperatura do ambiente no decorrer do dia. A medição começou por volta das 9h da manhã do dia 22/10/2021 até por volta das 9h da manhã do dia 23/10/2021. Nesse primeiro dia não foram inseridas pessoas no ambiente, sendo possível observar um comportamento suave da curva na maior parte do tempo, se assemelhando a uma senóide.

- Temperatura máxima: 26,86°C

- Temperatura mínima: 22,76°C
- Temperatura média: 24,74°C

Em seguida, após a análise dos resultados do dia anterior, ainda no dia 23/10/2021 foi iniciado o novo experimento, dessa vez, porém, inserindo e retirando pessoas do ambiente, conforme explicitado na tabela com os dados de controle do experimento. O experimento iniciou-se por volta das 18h do dia 23/10/2021 e foi até aproximadamente 20h do dia 24/10/2021.

- Temperatura máxima: 27,01°C
- Temperatura mínima: 23,30°C
- Temperatura média: 25,27°C

Para cada teste realizado, conforme mostrado na tabela de dados de controle, a duração era de 10 minutos com a presença de pessoas no ambiente e os dados eram registrados a cada 10 segundos aproximadamente, dessa forma cada teste gerou em torno de 50 a 60 linhas de dados. É importante destacar esse fato pois, observa-se da figura 32, que a média de pessoas captadas se deve ao fato de que o algoritmo utiliza a diferenciação de frames como base para identificação das pessoas, ou seja, caso não seja percebido nenhum movimento naquele instante, a pessoa não será captada pela câmera, ou mesmo, dependendo do movimento realizado pela pessoa, ela pode ser contada mais de uma vez, o que significa que o valor pode oscilar. A tabela 6 apresenta um resumo dos resultados dos testes realizados.

Após os testes foi possível construir o gráfico da curva de temperatura, conforme se observa na figura 33, em que é possível ver claramente que há picos de temperatura em determinados momentos, momentos esses que são exatamente os mesmos em que havia pessoas no ambiente. A partir desse gráfico, buscou-se relacionar os valores médios e máximos de temperatura durante o teste, os valores médios de temperatura de 10 minutos antes e 10 minutos após o período em que havia pessoas no ambiente. Essa relação pode ser observada na tabela 7 e na figura 34.

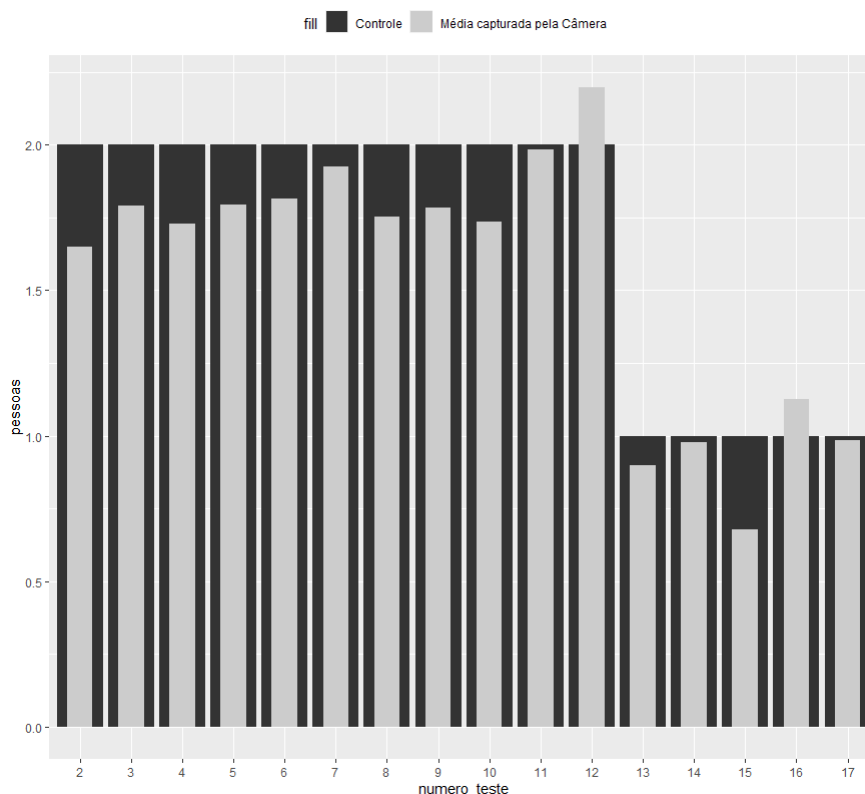


Figura 32 – Número de pessoas no ambiente vs. Número de pessoas captadas pelo sistema (fonte: autor)

Nº teste	Nº Pessoas esperadas	Média de pessoas	Temperatura média	Intervalo de tempo
1	1	1,0526	26,306771°C	21:11 a 21:21
2	2	1,6478	23,847971°C	09:00 a 09:10
3	2	1,7903	24,035429°C	09:40 a 09:50
4	2	1,7272	24,170563°C	10:00 a 10:10
5	2	1,7936	24,377342°C	10:30 a 10:40
6	2	1,8153	24,674377°C	10:59 a 11:10
7	2	1,9242	25,031178°C	11:29 a 11:40
8	2	1,7538	25,388371°C	12:00 a 12:10
9	2	1,7846	25,580888°C	12:30 a 12:40
10	2	1,7352	25,919069°C	12:59 a 13:10
11	2	1,9843	26,232558°C	13:30 a 13:40
12	2	2,1969	26,374532°C	13:59 a 14:10
13	1	0,8979	26,446489°C	17:58 a 18:10
14	1	0,9767	26,304650°C	18:30 a 18:40
15	1	0,6769	26,071313°C	19:00 a 19:10
16	1	1,1269	25,892082°C	19:30 a 19:40
17	1	0,9838	25,708160°C	19:59 a 20:10

Tabela 6 – Resultados dos testes (fonte: autor)

Com base nisso, foi possível estabelecer a variação absoluta média e a variação absoluta máxima para cada teste, conforme pode-se ver na tabela 8 e na figura 35.

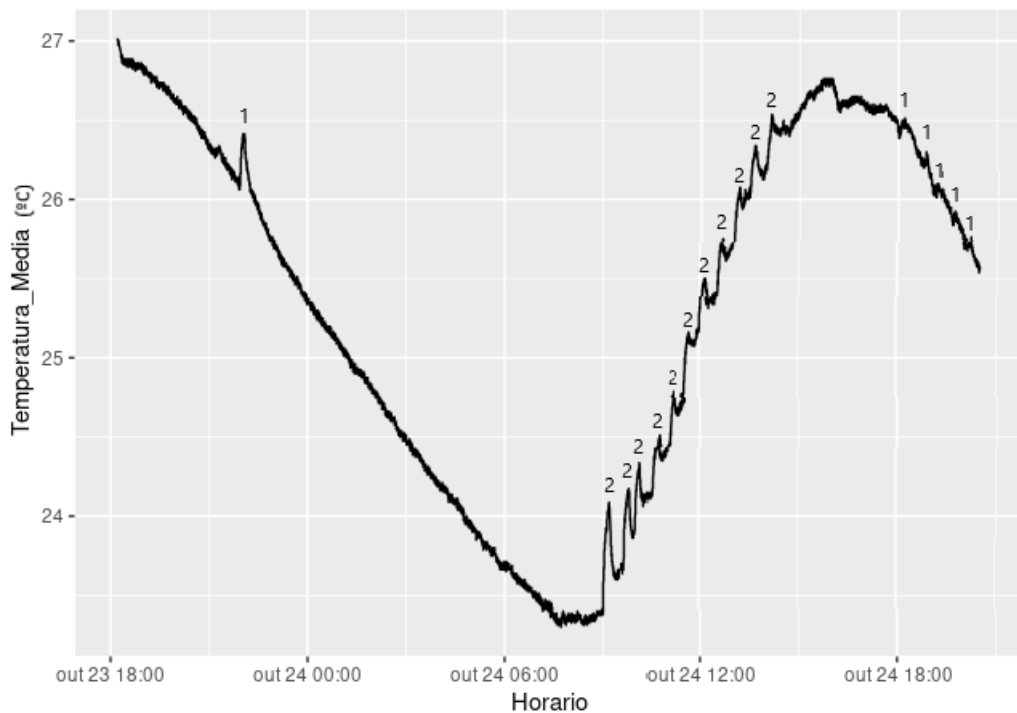


Figura 33 – Curva da temperatura considerando a presença de pessoas (fonte: autor)

Teste	Média de temperatura durante o teste	Max Temperatura do teste	Média de temperatura anterior	Média de temperatura posterior
1	26,306771°C	26,337200°C	26,312682°C	26,243047°C
2	23,847971°C	24,074799°C	23,386133°C	23,752018°C
3	24,035429°C	24,174799°C	23,667715°C	23,938865°C
4	24,170563°C	24,337399°C	23,938865°C	24,126550°C
5	24,377342°C	24,499798°C	24,129736°C	24,396520°C
6	24,674377°C	24,787399°C	24,407378°C	24,673741°C
7	25,031178°C	25,162201°C	24,709743°C	25,096739°C
8	25,388371°C	25,499798°C	25,121406°C	25,376840°C
9	25,580888°C	25,749798°C	25,365695°C	25,659909°C
10	25,919069°C	26,074799°C	25,669674°C	25,994645°C
11	26,232558°C	26,337399°C	26,026630°C	26,203199°C
12	26,374532°C	26,537201°C	26,169509°C	26,450510°C
13	26,446489°C	26,499798°C	26,505408°C	26,464121°C
14	26,304650°C	26,374599°C	26,410940°C	26,230940°C
15	26,071313°C	26,162201°C	26,195050°C	26,052812°C
16	25,892082°C	25,949799°C	25,988523°C	25,858318°C
17	25,708160°C	25,749599°C	25,792079°C	25,674151°C

Tabela 7 – Comparação de temperaturas(fonte: autor)

#### 4.2.1 Discussão

Após as análises, foi possível quantificar o impacto da presença de pessoas no ambiente em relação à média da variação máxima da temperatura e ao seu respectivo desvio padrão, conforme se observa na tabela 9.

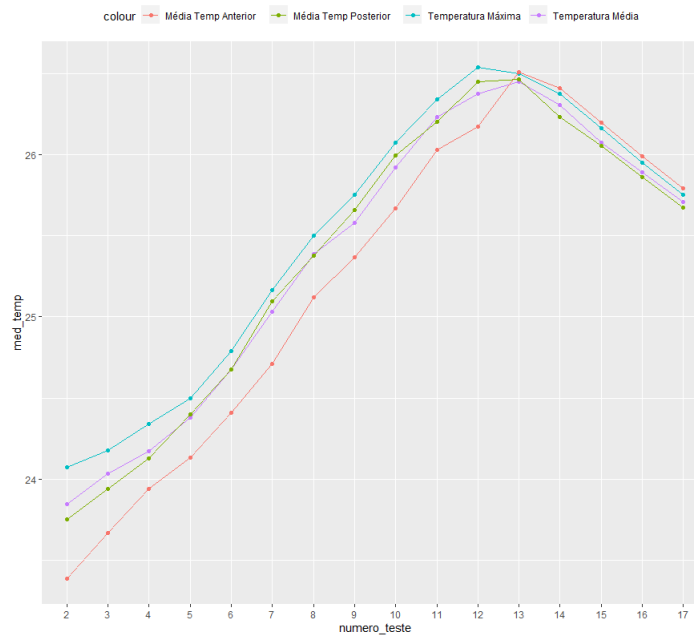


Figura 34 – Comparação entre as temperaturas antes, durante e após o teste (fonte: autor)

Teste	Número de pessoas	Variação absoluta média	Variação absoluta máxima
1	1	0,034827°C	0,059335°C
2	2	0,278895°C	0,505723°C
3	2	0,232139°C	0,371509°C
4	2	0,137855°C	0,304691°C
5	2	0,133392°C	0,255848°C
6	2	0,133817°C	0,246839°C
7	2	0,193498°C	0,324521°C
8	2	0,139248°C	0,250675°C
9	2	0,147107°C	0,316017°C
10	2	0,162485°C	0,318215°C
11	2	0,117643°C	0,222484°C
12	2	0,140500°C	0,303169°C
13	1	0,038275°C	0,091580°C
14	1	0,090000°C	0,159949°C
15	1	0,071119°C	0,162007°C
16	1	0,065102°C	0,122819°C
17	1	0,058964°C	0,100405°C

Tabela 8 – Variações de temperatura média e absoluta (fonte: autor)

Número de pessoas no ambiente	Média de variação máxima da temperatura	Desvio padrão
1	0,12°C	0,04°C
2	0,31°C	0,08°C

Tabela 9 – Quantificação do impacto do número de pessoas na temperatura do ambiente (fonte: autor)

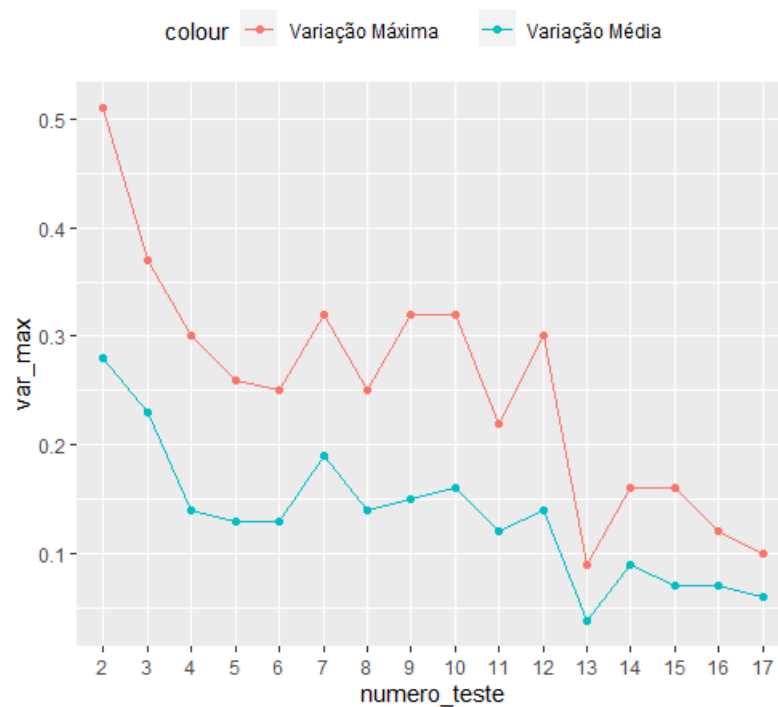


Figura 35 – Variação absoluta de temperatura durante o teste (fonte: autor)

É claro o impacto na temperatura do ambiente causado pela presença de pessoas, confirmando a hipótese inicial, bem como confirmando os dados teóricos dos trabalhos referenciados, porém aqui com uma abordagem diferente, em que, em vez de buscar o impacto da temperatura nas pessoas (conforto térmico), buscou-se quantificar o impacto das pessoas na temperatura do ambiente.

Utilizando-se do cálculo das variações de temperatura, considerando o arredondamento para duas casas decimais, foi possível chegar a uma média de variação máxima de  $0,31^{\circ}\text{C}$  aproximadamente quando duas pessoas estavam no ambiente, e de  $0,12^{\circ}\text{C}$  quando uma pessoa estava no ambiente. Além disso, a partir dos dados obtidos em relação à variação absoluta máxima de temperatura, foi possível obter o coeficiente de correlação linear de Pearson, definido pela equação 4.1 (MUKAKA, 2012), obtendo-se um coeficiente  $r = 0,8258757$ . Esse dado pode ser interpretado de acordo com a tabela 10, indicando uma correlação forte. Embora não implique causalidade, essa métrica permite verificar o grau em que duas variáveis independentes estão associadas uma com a outra, no caso deste trabalho, como a presença de pessoas no ambiente se relaciona com a variação da temperatura nesse mesmo ambiente, ou seja, o fato de se ter encontrado uma correlação forte a partir dos dados obtidos nos experimentos indica realmente que há uma relação positiva (diretamente proporcional), em que ao se observar o aumento do número de pessoas no ambiente, a variação da temperatura nesse ambiente tende a aumentar.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4.1)$$

Valor de $r$ (+ ou -)	Interpretação
0,00 a 0,19	Correlação bem fraca
0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

Tabela 10 – Guia para interpretação do coeficiente de correlação de Pearson ([MUKAKA, 2012](#))

É importante ressaltar, porém, que a tarefa de se estabelecer relações causais a partir de dados observacionais não é trivial. Por esse motivo não é possível dizer enfaticamente que, a partir dos resultados obtidos, o aumento da presença de pessoas no ambiente implica no aumento da temperatura desse ambiente. Neste trabalho, por exemplo, em que há muitas variáveis envolvidas, desde o impacto do clima externo, o metabolismo dos indivíduos submetidos aos testes, o tipo de atividade executada pelos indivíduos enquanto estavam participando do experimento, suas vestimentas etc., seriam necessários muito mais experimentos para se obter mais evidências de uma relação causal entre a presença de pessoas e a temperatura do ambiente em que elas estão inseridas.

Além disso, sabe-se que seriam necessários mais testes para dar mais robustez aos resultados obtidos (quantificação do impacto e correlação), por esse motivo o dado de desvio padrão obtido para os casos em que havia apenas uma pessoa no ambiente não é muito conclusivo, porém para o caso em que havia duas pessoas, o desvio padrão já pode indicar uma concentração maior em torno da média. Dessa forma, mesmo diante de uma quantidade menor de amostras, os dados obtidos somente com os testes realizados já indicam um resultado promissor.

É mister deixar claro também que o fato de não se estar em um ambiente controlado influencia diretamente na execução dos experimentos ou na sua repetibilidade, tendo em vista que as condições climáticas de uma dia para o outro nunca são exatamente as mesmas. Porém, ao se observar o comportamento da curva de temperatura durante o dia, por mais que as temperaturas máxima, mínima e média tivessem variações, o comportamento permanecia o mesmo, se assemelhando a uma senóide.

Outro fator que impactou a realização dos experimentos foi a pandemia de COVID-19, que limitou as possibilidades de utilização de locais mais controlados, como laboratórios da faculdade, ou mesmo a utilização de mais pessoas no mesmo ambiente, devido à impossibilidade de aglomeração e às recomendações de distanciamento social.



Em relação ao sistema embarcado propriamente dito, observou-se que o algoritmo para detecção de pessoas funcionou relativamente bem, porém ainda é necessário aperfeiçoá-lo, pois algumas vezes ainda erra a quantidade de pessoas, já que de acordo com o movimento que a pessoa tenha realizado, parte do corpo podem ser consideradas elementos diferentes e desconexas das demais, sendo computada como uma pessoa a mais. Uma possível solução seria computar a distância entre as blobs e determinar condições para as quais se mais de uma fosse detectada, deveria ser considerado apenas uma pessoa. Há também um fator limitante que fora observado durante a execução dos testes. Optou-se por um algoritmo que fosse independente do background para ser possível ter um sistema mais escalável, sabia-se por isso que, baseado no algoritmo adotado, seriam captadas as alterações entre frames consecutivos. Essa escolha se deu pois foi tomado como premissa o fato de que normalmente em um ambiente as pessoas não ficam paradas, mas sempre estão realizando algum movimento, por menor que seja. Dos testes, porém, viu-se que uma pessoa sentada, simulando uma condição de um estudante em uma sala de aula ou de um trabalhador num escritório, os movimentos realizados são quase imperceptíveis, dificultando o processo de detecção. Um possível contorno a essa condição seria implementar um algoritmo que acompanhasse um elemento detectado estabelecendo condições de que, por exemplo, se uma pessoa fora detectada no instante  $x$  e no local  $y$ , provavelmente em 1 min, dependendo do contexto onde estiver sendo feita a análise, naquele local  $y$  e no instante  $x + \Delta$  estará a mesma pessoa detectada anteriormente, dessa forma diminuindo um pouco a dependência do movimento.

Além disso, os resultados obtidos abrem espaço para outras discussões tais quais a estimação da quantidade máxima de pessoas que a técnica utilizada permite detectar na mesma imagem, se o aumento na quantidade ou no posicionamento dos sensores de temperatura poderia impactar os resultados de alguma forma, ou ainda se a partir de uma variação na temperatura poderia se estimar a quantidade de pessoas em um ambiente.



## 5 CONCLUSÕES

Foi realizada pesquisa bibliográfica para construção da fundamentação teórica, o que por si só possibilitou chegar a conclusão de que a presença das pessoas em um ambiente influencia e tem impacto direto na temperatura daquele ambiente. Diversos trabalhos como os citados no decorrer do texto abordam essa temática, a maior parte deles, porém, de forma qualitativa, em relação ao aspecto do conforto térmico, outros ainda procuraram estabelecer uma conexão mais quantitativa entre essas variáveis, porém não foi encontrado na literatura nenhum trabalho similar que realizasse uma abordagem como proposta aqui, de quantificar o impacto da presença de pessoas na temperatura do ambiente em que estão inseridas.

Aprofundando ainda mais no tema em busca das respostas às perguntas levantadas inicialmente, passou-se ao desenvolvimento de um sistema que fosse capaz de correlacionar tais variáveis (pessoas vs. temperatura) em tempo real por meio da utilização de uma câmera e sensores de temperatura. A partir de conceitos de sistemas embarcados, programação e algoritmos, processamento de imagem, matemática, física de semi-condutores, circuitos e instrumentação eletrônica, foi possível desenvolver um protótipo para realização de testes.

Os resultados obtidos, apesar da baixa quantidade de testes realizados, foram satisfatórios, tendo em vista que foi possível observar diretamente o impacto da presença de pessoas na temperatura do ambiente em que elas estavam inseridas e, a partir disso, quantificar esse relação e se obter um coeficiente de correlação forte.

Em relação à pergunta proposta inicialmente, se o impacto da presença de pessoas na temperatura do ambiente poderia ser quantificado de tal forma que possibilitasse ser utilizado como parâmetro para controle de sistemas HVAC, considera-se que sim, pois a partir dos resultados obtidos já foi possível obter uma correlação entre essas duas variáveis - presença de pessoas e temperatura do ambiente - fato esse que pode ser utilizado como premissa para se avançar nos estudos da causalidade entre as variáveis estudadas, de forma a se obter um modelo que possa ser utilizado como parâmetro adicional para controle desses tipos de sistemas.

Além disso, foi possível validar o sistema embarcado projetado e observar que há espaço para melhorias nos algoritmos implementados, principalmente em relação à detecção de pessoas, campo este da área de visão computacional que por si só já seria objeto de temas de estudos e trabalhos específicos.

O domínio dos conhecimentos técnicos adquiridos ao longo do curso foi demonstrado por meio da utilização de raciocínio técnico e analítico para resolução de um pro-

blema. Demonstrando que o autor é capaz de, a partir de um problema específico, planejar cenários, construir hipóteses, desenvolver soluções próprias, buscar soluções já existentes e interpretá-las corretamente para utilizá-las como parte de algo maior, interpretar resultados, extrair aprendizados e projetar ações de melhoria, tarefas que estão no cerne do profissional de engenharia. Dessa forma, considera-se que o trabalho foi satisfatório.

## 5.1 Trabalhos futuros

Para trabalhos futuros espera-se poder testar o sistema em ambientes mais controlados e com maior circulação de pessoas, realizando grande quantidade de testes nos mais variados cenários possíveis, seja em relação ao número de pessoas, ao tamanho do ambiente, aos horários etc. Após isso seria possível confirmar com maior grau de certeza os resultados já obtidos aqui, possibilitando avançar no estabelecimento de uma relação de causalidade entre as variáveis.

Além disso, outro avanço que pode ser feito é a construção de um mapa de calor em tempo real. Uma forma relativamente simples seria enviar os dados dos sensores para um servidor e esse mapa de calor poderia ser construído utilizando-se de ferramentas que permitam trabalhar com gráficos de maneira mais direta, tais quais Python ou Javascript, para que seja possível visualizar a variação da temperatura de forma mais clara, em relação ao posicionamento das pessoas no ambiente.

Com isso, seria possível utilizar os resultados obtidos para a criação de um modelo que correlacione a presença de pessoas à temperatura. Após isso, seria necessária a validação do modelo proposto e da sua utilização como parâmetro de controle de sistemas HVAC por meio de testes e pesquisas qualitativas com grupos focais para levantamento da percepção de conforto térmico sentido por eles durante os experimentos. Dessa forma, caso se comprove que há um modelo que possa ser usado como parâmetro para controle de sistemas HVAC, isso poderia ser implementado em larga escala, diminuindo a necessidade de utilização de sensores espalhados pelo ambiente, dessa forma, apenas com uma câmera seria possível estimar qual a temperatura ideal do sistema HVAC para aquele ambiente, além de que, aprimorando-se os algoritmos de detecção de pessoas, o modelo poderia ser melhorado ainda mais, identificando quando há mais movimentos em uma cena, o que resultaria em mais calor ou numa temperatura maior etc.

# Referências

- AHMAD, M. et al. Person detection from overhead view: A survey. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, The Science and Information Organization, v. 10, n. 4, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0100470>>. Citado 4 vezes nas páginas 15, 40, 41 e 42.
- ALBUQUERQUE, M. P. de. Processamento de Imagens SAR. *Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas*, p. 12 p., 2000. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 37.
- BARKALOV, A.; TITARENKO, L.; MAZURKIEWICZ, M. *Foundations of Embedded Systems*. [s.n.], 2019. v. 195. 180 p. ISBN 978-3-030-11960-7. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-11961-4>>. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.
- BECKHOFF. *Beckhoff Information System - English*. 2020. <<https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/el32xx/1495734667.html&id=>>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 30.
- BELKIN, L. Y.; KOUCHAKI, M. Too hot to help! Exploring the impact of ambient temperature on helping. *European Journal of Social Psychology*, v. 47, n. 5, p. 525–538, 2017. ISSN 10990992. Citado na página 21.
- BLAZERPROBES. *What is a Thermocouple & How Does it Work? Blaze Probes*. 2021. Disponível em: <<https://www.blazeprob.com/thermocouple-work-principle-working-thermocouple/>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 29.
- BRITO, J. *devjucelino/TCC*. 2021. Disponível em: <<https://github.com/devjucelino/TCC>>. Citado na página 57.
- DAHAM, C. *GitHub - MicrocontrollersAndMore/OpenCV\_3\_Image\_Subtraction\_Cpp*. 2017. <[https://github.com/MicrocontrollersAndMore/OpenCV\\_3\\_Image\\_Subtraction\\_Cpp](https://github.com/MicrocontrollersAndMore/OpenCV_3_Image_Subtraction_Cpp)>. (Accessed on 07/20/2021). Citado na página 55.
- FANGER, P. O. Assessment of man's thermal comfort in practice. *British Journal of Industrial Medicine*, v. 30, n. 4, p. 313–324, 1973. ISSN 00071072. Citado 3 vezes nas páginas 15, 33 e 34.
- FISK, W. J. How IEQ affects health, productivity. *ASHRAE Journal*, v. 44, n. 5, p. 56–58, 2002. ISSN 00012491. Citado na página 21.
- FOUNDATION, R. *Raspberry Pi*. 2021. <<https://www.raspberrypi.com/>>. (Accessed on 10/20/2021). Citado 4 vezes nas páginas 15, 47, 48 e 52.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. *Processamento Digital de Imagens*. [S.l.]: Pearson, 2009. 644 p. ISBN 9788581435862. Citado na página 37.
- IJZERMAN, H.; SEMIN, G. R. The thermometer of social relations: Mapping social proximity on temperature: Research article. *Psychological Science*, v. 20, n. 10, p. 1214–1220, 2009. ISSN 09567976. Citado na página 21.

- INTEGRATED, M. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer Absolute Maximum Ratings. v. 92, p. 1–20, 2019. Citado 4 vezes nas páginas 15, 49, 50 e 51.
- JMS. *What is an RTD - RTD Types, Uses, and More by JMS Southeast*. 2021. Disponível em: <<https://www.jms-se.com/rtd.php>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 29.
- LAMBERTS, R. et al. Towards a Brazilian Standard on Thermal Comfort 2013. *Research Report*, 2013. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios{\\\_}pesquisa/RP{\\\_}Towards{\\\_}a{\\\_}Brazilian{\\\_}Standard{\\\_}Co](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios{\_}pesquisa/RP{\_}Towards{\_}a{\_}Brazilian{\_}Standard{\_}Co)>. Citado na página 33.
- LYNOTT, D. et al. The effect of haptic and ambient temperature experience on prosocial behavior. *Archives of Scientific Psychology*, v. 5, n. 1, p. 10–18, 2017. ISSN 2169-3269. Citado na página 21.
- MCMILLAN, G. K. *Advanced Temperature Measure*. Second edi. [S.l.]: ISA - International Society of Automation, 2011. 335 p. ISBN 9781936007387. Citado na página 28.
- MENDELL, M. J. et al. Improving the health of workers in indoor environments: Priority research needs for a National Occupational Research Agenda. *American Journal of Public Health*, v. 92, n. 9, p. 1430–1440, 2002. ISSN 00900036. Citado na página 21.
- METZMACHER, H. et al. Real-time human skin temperature analysis using thermal image recognition for thermal comfort assessment. *Energy and Buildings*, Elsevier B.V., v. 158, p. 1063–1078, 2018. ISSN 03787788. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.032>>. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 33.
- MUKAKA, M. M. A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. *Malawi Medical Journal : The Journal of Medical Association of Malawi*, Medical Association of Malawi, v. 24, n. 3, p. 69, 2012. ISSN 19957262. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23811111/>>. Citado 3 vezes nas páginas 17, 69 e 70.
- NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*, v. 34, n. 6, 2002. Citado na página 34.
- NOERGAARD, T. *Embedded Systems Architecture*. [S.l.: s.n.], 2013. ISBN 9780123821966. Citado 4 vezes nas páginas 15, 25, 27 e 28.
- PYIMAGESEARCH. *Find distance from camera to object using Python and OpenCV*. 2020. Disponível em: <<https://www.pyimagesearch.com/2015/01/19/find-distance-camera-objectmarker-using-python-opencv/>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 40.
- PYROSALES. *How Do Temperature Sensors Work? | Applications & Basic Types*. 2020. Disponível em: <<https://www.pyrosales.com.au/blog/news/how-do-temperature-sensors-work>>. Citado na página 28.
- SENSORTIPS. *Designing with Semiconductor Temperature Sensors*. 2021. Disponível em: <<https://www.sensortips.com/temperature/designing-with-semiconductor-temperature-sensors/>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 32.

SOLBERG, K. E. et al. Risk Reduction as a Result of Implementation of the Functional Based IMO Polar Code in the Arctic Cruise Industry. *The Interconnected Arctic*, 2017. Citado 4 vezes nas páginas 15, 35, 36 e 63.

STANDARD, I. *ISO - ISO 7730:2005 - Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. 2005. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/39155.html>>. Citado na página 21.

SZELISKI, R. *Computer Vision (Texts in Computer Science)*. [S.l.: s.n.], 2010. v. 42. Citado na página 39.

TARTARINI, F. et al. CBE Thermal Comfort Tool: Online tool for thermal comfort calculations and visualizations. *SoftwareX*, Elsevier B.V., v. 12, p. 100563, 2020. ISSN 23527110. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100563>>. Citado na página 35.

VIOLA, P.; JONES, M. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features. p. 511–518, 2001. ISSN 1063-6919. Citado na página 39.

WYON, D. Indoor environmental effects on productivity. 01 1996. Nenhuma citação no texto.

YANG, M.-H.; KRIEGMAN, D.; AHUJA, N. Detecting faces in images: A survey. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, v. 24, p. 34 – 58, 02 2002. Citado na página 39.

ZURICH, E. Chapter 3 Convex Hull. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 56.