

CENTRO PAULA SOUZA
FATEC SANTO ANDRÉ
Tecnologia em Mecatrônica Industrial

Guilherme Mendes Specian

Lucas D'Elia da Silva

Rafael Mendes de Barros

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA INTELIGENTE PARA
MONITORAMENTO DE AMBIENTES FECHADOS NO CENÁRIO PÓS-
PANDEMIA**

Santo André

2023

Guilherme Mendes Specian

Lucas D'Elia da Silva

Rafael Mendes de Barros

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA INTELIGENTE PARA
MONITORAMENTO DE AMBIENTES FECHADOS NO CENÁRIO PÓS-
PANDEMIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Tecnologia em Mecatrônica
industrial da Fatec Santo André, orientado pelo
Prof. Me. Eliel Marcelino, como requisito
parcial para obtenção do título de tecnólogo
em mecatrônica industrial

Santo André

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

S741i

Specian, Guilherme Mendes

Implementação de um sistema inteligente para monitoramento de ambientes fechados no cenário pós-pandemia / Guilherme Mendes Specian, Lucas D'Elia da Silva, Rafael Mendes de Barros. - Santo André, 2023. – 99f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, 2023.

Orientador: Prof. Eliel Wellington Marcelino

1. Mecatrônica. 2. Sensores. 3. Protótipo. 4. Ambientes fechados. 5. Tecnologia. 6. Sistema de monitoramento inteligente. 7. Qualidade do ar. 8. Projeto. 9. Arduino Mega 2560 R3. 10. Covid-19. 11. Bem-estar. I. Silva, Lucas D'Elia da. II. Barros, Rafael Mendes de. III. Implementação de um sistema inteligente para monitoramento de ambientes fechados no cenário pós-pandemia.

629.892

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 23 DE JUNHO DE 2023.

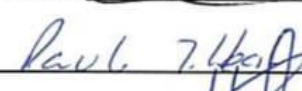
LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA:
“IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA INTELIGENTE PARA
MONITORAMENTO DE AMBIENTES FECHADOS NO CENÁRIO
PÓS-PANDEMIA” DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. ELIEL WELLINGTON MARCELINO 

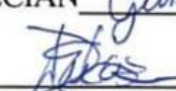
MEMBROS:

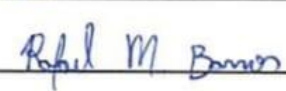
PROF. PAULO TETSUO HOASHI 

PROF. FERNANDO GARUP DALBO 

ALUNOS:

GUILHERME MENDES SPECIAN 

LUCAS D'ELIA DA SILVA 

RAFAEL MENDES DE BARROS 

Aos nossos pais, familiares e amigos que sempre estiveram nos incentivando e apoiando para conseguir concluir nossos objetivos.

Agradecimentos

Agradecemos o trabalho ao nosso orientador Prof. Me. Eliel Wellington Marcelino por ter aceitado a orientar o nosso projeto e por ajudar e ensinar tantas coisas no nosso dia a dia. Também agradecemos aos professores e professoras do curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial da Fatec de Santo André, que nos guiaram até este momento. Em especial, gostaríamos de agradecer ao professor Fernando Garup Dalbo, ao professor Paulo Tetsuo Hoashi, ao professor Pedro Adolfo Galani e ao Maurício José Oliveira pelo auxílio na elaboração de pontos importantes do nosso projeto.

“Visão sem execução é apenas
alucinação.”

HENRY FORD

Resumo

Devido ao surgimento da pandemia do vírus COVID-19, se teve muitas mudanças em ambientes com aglomeração, pois passou a ser necessário manter um ambiente fechado livre de possíveis formas de contaminação e transmissão de doenças, com isso, mudanças ocorreram para que tivesse uma melhor ventilação em locais fechados, surgindo a proposta do projeto que proporciona um bem-estar aos usuários por meio de um sistema capaz de monitorar e controlar parâmetros dentro de um local fechado. Para a realização do protótipo, foram determinados os fatores para o controle da qualidade do ar, umidade e temperatura, a fim de buscar um monitoramento de todos esses parâmetros por meio de sensores, analisados pelo microcontrolador Arduino Mega 2560 R3, e assim, acionando os atuadores dentro do ambiente criado a partir de uma maquete para representar em escala, foi possível simular na prática as mudanças de situações que ocorrem em uma sala e conseguir aplicar as ações corretas que cada ambiente pede.

Palavras-chave: COVID-19. Bem-estar. Arduino. Protótipo. Sensores.

Abstract

Due to the emergence of the COVID-19 virus pandemic, we had many changes in environments with agglomeration, as it became necessary to maintain a closed ambience free from possible forms of contamination and transmission of diseases, with this, changes occurred so that there was better ventilation in locked places, emerging the project proposal that provides well-being to users through a system capable of monitoring and controlling parameters within a hermetic place. For the realization of the prototype, the factors for the control of air quality, humidity, and temperature were determined, to seek monitoring of all these parameters through sensors, analyzed by the Arduino Mega 2560 R3 microcontroller, and thus, activating the actuators within the environment created from a model to represent in scale, it was possible to simulate in practice the changes of situations that occur in a room and manage to apply the correct actions that each environment requires.

Keywords: COVID-19. Welfare. Arduino. Prototype. Sensors.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável	21
Figura 2 – Objetivo 3	22
Figura 3 - Objetivo 4 e 8.....	23
Figura 4 – Objetivo 9	23
Figura 5 - Fluxograma básico de funcionamento do sistema	29
Figura 6 – Módulo ESP8266 NodeMCU.....	34
Figura 7 - Módulo ESP32 NodeMCU	34
Figura 8 - Arduino UNO R3	35
Figura 9 - Arduino MEGA 2560	36
Figura 10 - Raspberry Pi 3	36
Figura 11 - Sensor SGP30	42
Figura 12 - Sensor MiCS-6814.....	43
Figura 13 - Sensor MQ-135.....	44
Figura 14 - Sensor DHT22	46
Figura 15 - Sensor DHT11	47
Figura 16 - Sensor AHT10.....	47
Figura 17 - Cooler Fan Rise Mode, 120mm, Preto	50
Figura 18 - Mini Umidificador de Ar Ultrassônico	51
Figura 19 - Mini Ar-condicionado.....	52
Figura 20 - Esquema de Funcionamento do Protótipo com Componentes teórico ...	54
Figura 21 - Climatizador TWIST	55
Figura 22 - Sensor QPA2062	55
Figura 23 - Sala 3.....	58
Figura 24 - Modelagem 3D da sala 3 utilizando a escala real.....	59
Figura 25 - Sala 3 representada em desenho técnico	61
Figura 26 - Teste com os sensores e display	65
Figura 27 - Teste de torque do micro servo motor	67
Figura 28 - Atuador EM56-L250	68
Figura 29 - Base e paredes da maquete	68
Figura 30 - Lousa, quadro de aviso e quadro de força.....	69
Figura 31 - Janelas da maquete	69

Figura 32 - Paredes ainda não coladas.....	70
Figura 33 - Caixa para o micro servo motor e o mini umidificador	71
Figura 34 - Caixa com o micro servo motor e mini umidificador, com ligações	71
Figura 35 - Esquema Elétrico	72
Figura 36 – Maquete final com os componentes.....	74
Figura 37 - Comparação entre real e escala	75

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comportamento da sensibilidade do sensor MQ-135.....	45
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índice de iluminação por grupos de tarefas visuais	31
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparativo entre os microcontroladores.....	37
Quadro 2 - Gases detectáveis do MiCS-6814	43
Quadro 3 - Comparações entre os sensores de temperatura e umidade.....	48
Quadro 4 - Comparação entre o projeto em escala para o real	56
Quadro 5 - Comparação entre a medida real e em escala.....	59
Quadro 6 - Primeira cotação de materiais	62
Quadro 7 - Pinos utilizado no código final	73
Quadro 8 - Custo total de investimento no projeto	76

Lista de siglas, acrônimos e abreviaturas

ABC	Automação Baseada em Comportamento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADC	Conversor Analógico-Digital
AP	Modo de Ponto de Acesso
ASCII	Código padrão americano para troca de informações
AURESIDE	Associação Brasileira de Automação Residencial
C	Celsius
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CLP	Controlador Logico Programável
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
CPU	Unidade central de processamento
DC	Corrente Contínua
DHT	Temperatura e umidade digital
EEPROM	Memoria Somente de Leitura Programável Eletronicamente Apagável
et al.	E Outros
Etc.	E Outras Coisas
Fatec	Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo
Fig.	Figura
GB	Gigabyte
GHz	Giga-hertz
GPIO	Entradas e Saídas de Uso Geral
GSM	Sistema Global para Comunicações Móveis
HDMI	Interface Multimídia de Alta-Definição
I2C	Circuito Inter Integrado
I2S	Som Inter-IC
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IoT	Internet das Coisas
IQA	Índice de Qualidade do Ar
IR	Infravermelho
k	Quilo (1×10^3)

K	Kelvin
Kb	Quilobyte
Kgf.cm	Quilograma-força centímetro
LDR	Resistor Dependente de Luz
LED	Diodo Emissor de Luz
m/s	Metros por Segundos
mA	Miliampere
Mb	Megabytes
MHz	Megahertz
MOX	Metal-Óxido
NBR	Norma Brasileira
NH3	Amônia
NR	Normas Regulamentadoras
ONU	Organização das Nações Unidas
OTP	Uma Vez Programável
OX	Gases Oxidantes
PC	Computador Pessoal
ppb	Partes por Bilhão
ppm	Partes por milhão
PWM	Modulação por Largura de Pulso
R\$	Reais
RAM	Memória de Acesso Aleatório
RED	Gases Redutores
ROM	Memória Somente de Leitura
Rs/Ro	Concentração de gases
s.d.	Sem Data
SCADA	Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados
SD	<i>Secure Digital</i>
SDIO	<i>Secure Digital Input Output</i>
SMS	Serviço de Mensagens Curtas
SPI	Interface Periférica Serial
STA	Modo <i>Station</i>
TCP/IP	Protocolo de Controle de Transmissão
UART	Protocolo transmissor/receptor assíncrono universal

USB

Porta Serial Universal

V

Volts

Wi-fi

Fidelidade sem fio

Sumário

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 MOTIVAÇÃO	19
1.2 OBJETIVOS RELACIONADOS AO PROJETO	21
1.3 ORGANIZAÇÃO DO PROJETO	24
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1 AUTOMAÇÃO LOCAL.....	27
2.2 DOMÓTICA	28
2.2.1 Domótica Inteligente.....	29
3 ERGONOMIA NO AMBIENTE	31
3.1 ILUMINAÇÃO	31
3.2 CONFORTO TÉRMICO	32
4 BASE TEÓRICA PARA DESENVOLVIMENTO DO PROTOTIPO	33
4.1 DISPOSITIVOS DE PROCESSAMENTO	33
4.1.1 ESP8266	33
4.1.2 ESP32	34
4.1.3 ARDUINO UNO R3	35
4.1.4 ARDUINO MEGA 2560	35
4.1.5 RASPBERRY PI 3.....	36
4.1.6 Características técnicas	37
4.1.7 Custos	39
4.1.8 Disponibilidade	40
4.1.9 Suporte/Fóruns.....	40
4.1.10 Documentação	40
4.1.11 Ferramentas de Debug.....	41
4.1.12 Possibilidade de expansão.....	41
4.2 SENSORES DE GÁS E QUALIDADE DO AR.....	41

4.2.1 SGP30.....	41
4.2.2 MiCS-6814	42
4.2.3 MQ-135	43
4.3 SENSORES DE UMIDADE E TEMPERATURA.....	45
4.3.1 DHT22	45
4.3.2 DHT11	46
4.3.3 AHT10	47
4.3.4 Comparações entre sensores	48
4.4 ATUADORES	48
4.4.1 Ventilador	49
4.4.2 Umidificador	50
4.4.3 Ar-condicionado.....	51
5 METODOLOGIA.....	53
5.1 CONDIÇÕES REAIS	54
6 DESENVOLVIMENTO.....	58
6.1 COTAÇÃO E AQUISIÇÃO DE MATERIAIS	61
6.1.1 Teste do microcontrolador	63
6.1.2 Teste do sensor MQ-135 e o sensor DHT22	63
6.1.3 Teste dos coolers e motor <i>Shield</i> Arduino.....	65
6.1.4 Teste do mini umidificador de fumaça.....	66
6.1.5 Testes e montagem da maquete	67
6.2 IMPLEMENTAÇÃO DE SENSORES E ATUADORES	71
6.3 IMPLEMENTAÇÃO DE COMPONENTES NA MAQUETE	74
6.4 CUSTO TOTAL INVESTIDO NO PROJETO	76
7 RESULTADOS OBTIDOS	78
8 PROPOSTAS FUTURAS	80
8.1 Integração de mais sensores	80

8.2 Implementação de algoritmos avançados de processamento de dados	80
8.3 Uso de tecnologias de comunicação sem fio	81
8.4 Melhoria módulo umidificador e coolers	81
8.5 Desenvolvimento de uma interface de usuário intuitiva.....	81
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	83
APÊNDICE A – Código para teste do sensor MQ-135, sensor DHT22 e display.....	88
APÊNDICE B – Código para o teste dos coolers utilizando o drive <i>Shield</i> Arduino ..	90
APÊNDICE C – Código para o teste dos coolers utilizando os módulos relés	91
APÊNDICE D – Código para o teste de acionamento do mini umidificador por um micro servo motor.	92
APÊNDICE E – Código para teste do torque do servo motor.....	92
APÊNDICE F – Código final do sistema inteligente de monitoramento.....	93

1 INTRODUÇÃO

Durante a pandemia, foi preciso se acostumar diversas vezes com cuidados diários ao nosso redor: passar álcool em gel frequentemente, usar máscara, fazer a sua manutenção e evitar tocar em locais de acesso frequente. E o que antes era realizado em locais fechados, como abrir janelas, ligar ventiladores, acender e apagar as luzes para uma melhor visualização, tornaram-se tarefas manualmente exaustivas para as pessoas em pleno século XXI.

Dentro disso, a automação local pôde proporcionar diversos avanços tecnológicos em ambientes habitados que facilitaria uma vida pós pandemia e complementarmente auxiliaria quesitos de bem-estar do dia a dia simplificando a vida diárias das pessoas proporcionando conforto, segurança e economia.

Com isso, nota-se que o ambiente de toda e qualquer instituição de ensino deve ser devidamente adequado para que haja total eficiência e segurança na vida acadêmica logo em uma sala de aula, como por exemplo, a temperatura está diretamente relacionada ao bem-estar e conforto dos alunos, bem como a iluminação que afeta o desempenho e na visualização do conteúdo. De acordo com Gatti (1993, apud MAINART; SANTOS, 2010, p. 03), “A incorporação das inovações tecnológicas só tem sentido se contribuir para a melhoria da qualidade do ensino”.

Logo, o controle e supervisão dos parâmetros de salas variadas são de extrema importância, assim, torna-se necessário a elaboração de um sistema automatizado que monitora e ajusta o ambiente, de acordo com as condições presenciadas (SHIREHJINI, KLAR, KIRSTE, 2005). O projeto a ser desenvolvido trata-se de uma integração de sensores de temperatura, luz e gás carbônico, que juntos, proporcionam segurança e conforto, abrangendo o conceito proposto por Heider e Kirste (2005), em que o ambiente se tornará “inteligente”, se adaptando conforme às necessidades e situações em que as pessoas se encontram. A integração tecnológica, segundo Campos (2014, p. 13), “está levando ao conceito de ubiquidade, no qual dispositivos coordenam entre si para promover aos usuários acesso imediato aos serviços disponibilizados de forma transparente”.

Para poder desenvolver o ambiente integrado, tratado como o objetivo principal, é necessário primeiramente analisar, separar e selecionar os melhores componentes a serem utilizados, sempre tendo como foco utilizar aquele que por meio

de um estudo melhor se adeque ao protótipo. Sendo assim uma das principais partes do trabalho é determinar qual melhor microcontrolador a ser aplicado as condições do projeto, além de claro definir quais os sensores de temperatura, luz e gás carbônico deve ser utilizado.

Após a definição dos melhores componentes a serem utilizados é necessário realizar testes para analisar se são de fato a melhor escolha e se o objetivo principal estabelecido consegue ser realizado, para isso se faz necessário o desenvolvimento de um protótipo, que consiga simular um ambiente fechado em menor escala, já que a utilização de uma sala real não seria viável.

1.1 MOTIVAÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu uma série de objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) essa são um conjunto de metas estabelecidas para orientar e promover ações globais que visem a sustentabilidade em diversas áreas até o ano de 2030. Compreender e explicar corretamente esses objetivos é fundamental para qualquer análise aprofundada e informada sobre o tema. A seguir, é apresentado uma descrição formal e precisa de cada um dos 17 ODS:

1. Erradicação da Pobreza: Acabar com a pobreza em todas as suas formas e em todos os lugares, garantindo que todas as pessoas possam desfrutar de uma vida digna e livre de privações.
2. Fome Zero e Agricultura Sustentável: Assegurar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável para garantir que todos tenham acesso a uma alimentação adequada e saudável.
3. Saúde e Bem-Estar: Garantir uma vida saudável e promover o bem-estar para todas as idades, assegurando o acesso universal aos serviços de saúde de qualidade
4. Educação de Qualidade: Assegurar uma educação inclusiva, equitativa e de qualidade para todos, promovendo oportunidades de aprendizado ao longo da vida.

5. Igualdade de Gênero: Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas, promovendo a igualdade de oportunidades em todas as esferas da vida.
6. Água Potável e Saneamento: Garantir a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos, assegurando o acesso universal a água potável segura e saneamento básico adequado.
7. Energias Renováveis e Acessíveis: Assegurar o acesso a energias limpas, acessíveis, sustentáveis e modernas para todos, promovendo a transição para uma matriz energética mais sustentável.
8. Trabalho Decente e Crescimento Econômico: Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, garantindo o pleno emprego e trabalho decente para todos.
9. Indústria, Inovação e Infraestrutura: Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável, fomentar a inovação e apoiar a adoção de tecnologias limpas.
10. Redução das Desigualdades: Reduzir as desigualdades dentro dos países e entre eles, promovendo a inclusão social, econômica e política de todos os indivíduos.
11. Cidades e Comunidades Sustentáveis: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, buscando o equilíbrio entre o desenvolvimento urbano e a preservação ambiental.
12. Consumo e Produção Sustentáveis: Assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis, promovendo o uso eficiente dos recursos naturais e a redução do desperdício.
13. Ação contra a Mudança Global do Clima: Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos, por meio de ações de mitigação e adaptação.
14. Vida na Água: Conservar e utilizar de forma sustentável os oceanos, mares e recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.
15. Vida Terrestre: Proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação e reverter a degradação da terra.

16. Paz, Justiça e Instituições Eficazes: Promover sociedades pacíficas, justas e inclusivas, fortalecer as instituições eficazes e promover o acesso à justiça para todos.

17. Parcerias e Meios de Implementação: Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável, por meio da mobilização de recursos, transferência de tecnologia e cooperação internacional.

Esses são os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, que estão representados de maneira geral na Fig. 1, abrangendo uma ampla gama de áreas, desde a erradicação da pobreza até a proteção do meio ambiente, com o objetivo de promover um futuro mais sustentável e inclusivo para todos onde visa acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e cuidar que todas as pessoas possam viver uma vida longe de possíveis problemas sociais e de saúde. Pensando nisso, procuramos relacionar os objetivos da ONU com o projeto e com os problemas que levaram a idealização.

Figura 1 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



Fonte: Organização Das Nações Unidas, 2022.

1.2 OBJETIVOS RELACIONADOS AO PROJETO

Um dos primeiros objetivos que encontra forte relação com o nosso trabalho é o objetivo 3, saúde e bem-estar. O foco desses objetivos é garantir que todas as pessoas independentes da idade ou etnia possam ter de bem-estar e uma vida

saudável. Dentro do objetivo temos diversos subtópicos e os principais que se encaixa com a ideia de projeto é os subtópicos 3.3, 3.9 e 3.d. O subtópico 3.3 tem como foco até 2030 acabar com epidemias de doenças transmissíveis, e uma das principais motivações dos projetos foi pensado em um cenário pós pandemia onde os ambientes não estavam preparados para receber aglomerações de pessoas pois não tinha espaço suficiente e por não ter um sistema de circulação de ar, permitindo, assim, que os vírus/bactérias possam sair do ambiente sem contaminar ninguém presente no local. Toda essa circulação de ar permite que gases possivelmente nocivos para o ser humano possam ser eliminados para atmosfera, no qual se encaixa com o subtópico 3.9, que planeja reduzir o números de mortos por poluição/ contaminação do ar. Por último, o subtópico 3.d possui forte vínculo com o projeto, pois ele visa reforçar a capacidade de todos os países para redução de riscos na saúde como todo. Certamente, um sistema de automação inteligente que monitora e controla a circulação do ar pode muito bem auxiliar nessa redução de riscos. Dentro dos objetivos, está representado na Fig. 2

Figura 2 – Objetivo 3



Fonte: ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2022.

O objetivo 4 “Educação de Qualidade” e o 8 “Trabalho decente e crescimento econômico”, que podem ser vistos na Fig. 3 vem acompanhado de diversos subtópicos que abrangem um foco em diversas áreas sociais e dentro dos objetivos selecionados foram sujeitas as subcategorias 4.a; 8.4; 8.5. No objetivo 4, o foco é garantir o acesso à educação inclusiva, e com qualidade, e em seu sub tópico 4.a ele se refere a isso por meio das instalações das escolas que podem se tornar mais seguros aos alunos se tiverem um controle de luminosidade, umidade, temperatura, ou seja, tudo aquilo que melhora o bem-estar do aluno e o induz a aprender mais, que se trata do foco deste trabalho. Já no objetivo 8, é voltado para a busca pelo

desenvolvimento econômico e trabalho digno para todos, e em sua sub categoria 8.4 e 8.5 ele se refere a uma eficiência de consumo e recursos globais, além do trabalho digno a todas pessoas, sem qualquer tipo de discriminação, algo que este trabalho busca por meio do controle que aumenta a eficiência energética através da otimização do consumo dos nossos equipamentos, o que acaba tornando um ambiente mais confortável para os profissionais que estão presentes naquele ambiente fechado.

Figura 3 - Objetivo 4 e 8



Fonte: ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2022.

A produção de um sistema de monitoramento inteligente abrange o Objetivo 9 da ONU, pois a sua base está centrada na inovação e aprimoramento de todo o ambiente tratado, representado na Fig. 4. O projeto se consiste em princípios de segurança e saúde, mantendo o maior custo-benefício para sua confecção, a fim de ser possível aplicar de maneira ampla em todas as áreas.

Com o foco na evolução, a eficiência energética é mais um dos objetivos dentro do sistema de monitoramento, utilizando-se um sensoriamento de todos os parâmetros relevantes para o controle do ambiente e, assim, aperfeiçoando a qualidade de vivência e uso de energia elétrica.

Figura 4 – Objetivo 9



Fonte: ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2022.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO PROJETO

O projeto está organizado com separação em capítulos, sendo o primeiro capítulo após a introdução a revisão bibliográfica, onde o foco deste capítulo será a base de conhecimento e métodos de aplicação que foram analisados a fim de desenvolver o projeto, bem como a estrutura base de funcionamento. Os próximos três capítulos são os referenciais teóricos (automação local, domótica e ergonomia do ambiente), que tem como função estabelecer os conceitos necessários para realização e entendimento do projeto em si. O sexto capítulo é base teórica para desenvolvimento do protótipo, onde será analisado e selecionado as diferentes opções de componentes para o projeto e o sétimo capítulo se trata da metodologia, onde é definido os componentes analisados e mostrando teoricamente como eles irão trabalhar juntos. O oitavo capítulo documenta toda parte do desenvolvimento do projeto, incluindo desde a parte de medição de ambiente físico, aquisição de produtos, teste e integração de componentes e montagem do protótipo. O nono capítulo mostrará e analisará os resultados obtidos através do protótipo já pronto, já o decimo servirá para apresentar propostas de melhorias bem-vindas ao projeto que certamente deixaria todo o sistema mais completo. E o decimo primeiro capítulo tem como função apresentar as considerações finais dos autores em relação a todo o projeto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O artigo realizado por Araújo et al., (2012), tem como princípio de desenvolvimento de um protótipo de automação de ambientes externos, com o foco na área de educação, assim utilizando ele como meio de construir uma conexão maior entre a tecnologia e a educação. Nele, são usados sensores para medir a luminosidade (LDR), temperatura (LM35) e de presença (*Reed Switch*). Os elementos a serem controlados são a ventilação, que será feita por *coolers* de CPU e a iluminação com LEDs. A plataforma utilizada no projeto é a do Arduino (ATmega 1280), pois possui uma grande base de sensores implementáveis e com sua programação feita através do *framework* com maior flexibilidade.

Braga (2007) se aprofundou no modelo de consumo de energia elétrica predial, visando a utilização de métodos para alcançar a eficácia, bem como promover um controle de todos os processos envolvidos no ambiente (clima, iluminação, insumos, entre outros). Tem como foco principal a eficiência no uso de sensores e atuadores para uma automação, tendo uma análise ampla da porcentagem de redução no consumo de energia elétrica. O sensoriamento e controle são de extrema importância na garantia da segurança, tendo como um dos exemplos, o uso de sistemas que detectam e realizam ações contra o incêndio.

Em adição, Braga et al., (2009), desenvolveu sistema didático de automação residencial, proporcionando um ambiente automatizado a fim de propagar o ensino em escolas e universidades. Dentro do projeto, foram aplicados os parâmetros dentro de um módulo domótico em escala de um laboratório existente na própria universidade, sendo controlados através de um Controlador Lógico Programável (CLP), juntamente com o Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA). O controle e supervisão é baseado em taxas de temperatura, umidade e luminosidade do local, levando a uma faixa padrão e de conforto para a convivência saudável.

Tendo em vista um projeto de baixo custo utilizando uma maquete, Angelo (2014) construiu uma simulação em escala de uma residência, contendo automações relevantes numa casa atual, tendo isso controlado por um aplicativo feito para *Android*, com o objetivo de controlar um Arduino de processador ATmega 2560 que é responsável pelo controle, podendo ter os dois serviços conectados via internet ou por *Bluetooth*.

Fiúza (2018) proporcionou segurança e controle de acesso de moradores em suas residências. Para tanto, foi desenvolvido um controle de acesso através de um portão eletrônico e um sistema de alarme o qual é ativado quando uma senha é inserida corretamente. O sistema de alarme é composto por sensores e por um acionamento aleatório de lâmpadas, com objetivo de simular que os moradores estão presentes no momento. Caso ocorra alguma detecção pelos sensores e a senha correta não for inserida em três tentativas em um determinado tempo, a sirene é ativada. Para desativar o alarme, deve ocorrer a inserção da senha mestre do sistema. Todo controle do sistema é feito pelo Arduino Mega2560. O sistema foi instalado em uma maquete a fim de demonstrar todo funcionamento.

Tendo um foco mais abrangente na acessibilidade, Piloti (2014) proporcionou um sistema para que as pessoas com deficiência consigam maior autonomia em suas tarefas domiciliares, desenvolvendo um sistema de automação residencial de baixo custo que busque oferecer a tetraplégicos dentre outros, além de um maior controle de sua residência e maior autonomia e independência a esses sujeitos.

O projeto apresentado por Cardoso (2014) tem como objetivo a automatização, a fim de analisar questões como luminosidade e tensão presente em uma residência e ainda conseguir mandar essas informações para um celular. Para isso foi utilizado um Arduino modelo Uno R3 responsável justamente por controlar os sensores e receber as informações que estavam sendo transmitidas além disso com um auxílio de um *Shield* GSM conseguia mandar SMS para um número já definido todos os dados coletados pelos sensores. Após utilizar uma tabela de conversão do código ASCII de informação na hora de enviar os dados foi possível enviar para um celular em tempo real valores de tensão e luminosidade e com algumas alterações no código poderia mandar qualquer dado de sensores para um celular.

Pereira (2016) propôs uma ideia de automatizar um ambiente de forma conjunta a um aplicativo, podendo ter informações relevantes de um ambiente, como a umidade e temperatura. A comunicação é feita de forma completamente remota e podendo a todo momento interagir com ambiente. Para realização desse trabalho, foram utilizados dispositivos como MPSoc, ARM, Arduino Uno R3, um *Shield Ethernet* e um relé *Shield* para o Arduino, além da necessidade de sistemas como *Android* para criar o aplicativo, tratando-se de um sistema de armazenamento em nuvem. Ao final do projeto, foi criado o aplicativo onde conseguia mostrar as informações de

temperatura e umidade, além de um gráfico com informações recebidas anteriormente e botoeiras de comando para uma lâmpada.

Santos, Ribeiro e Giacomelli (2012) implementaram um sistema de controle através de mensagens de textos, podendo controlar lâmpadas, ar-condicionado, exibir suas informações etc. No trabalho foram utilizados um Arduino Atmega 1280, que contém vários pinos para entrada e saída, contendo um modem GSM SIM900D, que ficaria responsável para realizar a comunicação via um serviço de mensagens curtas (SMS) com algum número já cadastrado. Ao final do projeto se teve como um resultado a interface onde a qualquer momento é possível mandar informações pedindo para que ligue ou desligue uma lâmpada em diferentes cômodos, além de mostrar os status das lâmpadas em tempo real e o comando de ativar ou desativar um alarme.

2.1 AUTOMAÇÃO LOCAL

A automação é um sistema automático onde diversos sensores verificam seu próprio funcionamento, efetuando medições e introduzem correções através de atuadores, sem a necessidade da interferência de alguém. A automação local se desenvolveu tendo como objetivo principal a melhoria do estilo de vida dos ocupantes de um edifício através do aumento do conforto do ambiente, da segurança física e de dados e do aumento da eficiência energética, tornando o ambiente mais confortável, seguro e eficiente (PINHEIRO, 2004). Cronologicamente, o desenvolvimento dos sistemas de automação predial deu início depois de seus similares das áreas industriais e comerciais emergirem com os primeiros sistemas de controle concebidos na década de 1970 para aplicações industriais.

Efetivada a automação industrial, o comércio foi o segmento contemplado com as tecnologias de automação na década de 1980, que se trata do período do surgimento dos primeiros prédios inteligentes, que eram voltados para o uso comercial e equipados com sistemas automatizados destinados ao atendimento dos serviços de comunicação, sistemas de ar-condicionado e aquecimento, segurança patrimonial, controle de acesso, entre outros (PINHEIRO, 2004).

Logo na década de 1990, com as propostas de padronização dada pelos grupos de padronização internacionais e aos avanços das redes de computadores,

foram obtidos maiores índices de integração entre os diversos ramos existentes (PINHEIRO, 2004).

A integração de tecnologias representou o suporte necessário aos diversos dispositivos e acessórios envolvidos na elaboração de um projeto de automação predial completo, portanto, os projetos que até então se destinavam apenas à telefonia ou aos sistemas de aquecimento e energia foram destinados a observar os novos requisitos dos sistemas para voz, dados, imagem etc. Com o avanço da tecnologia embarcada, os microcontroladores já conseguiam ter seus sistemas de integrados e instaurando diversas outras possibilidades. (CAMPOS, 2014)

Dentro da automação local, existem três graus de integração de sistemas:

- Sistemas Autônomos - são sistemas independentes e que não há a interligação entre os dispositivos;
- Sistemas Integrados - todos os sistemas estão integrados a um controlador (central de automação);
- Sistemas Complexos - princípio de funcionamento inteligente, onde o sistema pode ser personalizado de acordo com a vontade do usuário. (PINHEIRO, 2004)

Segundo a Associação Brasileira de Automação Residencial (AURESIDE), esse mercado está em ascensão e prevê que no Brasil cerca de 55% das residências de médio e alto padrão já apresentam algum sistema de automação.

2.2 DOMÓTICA

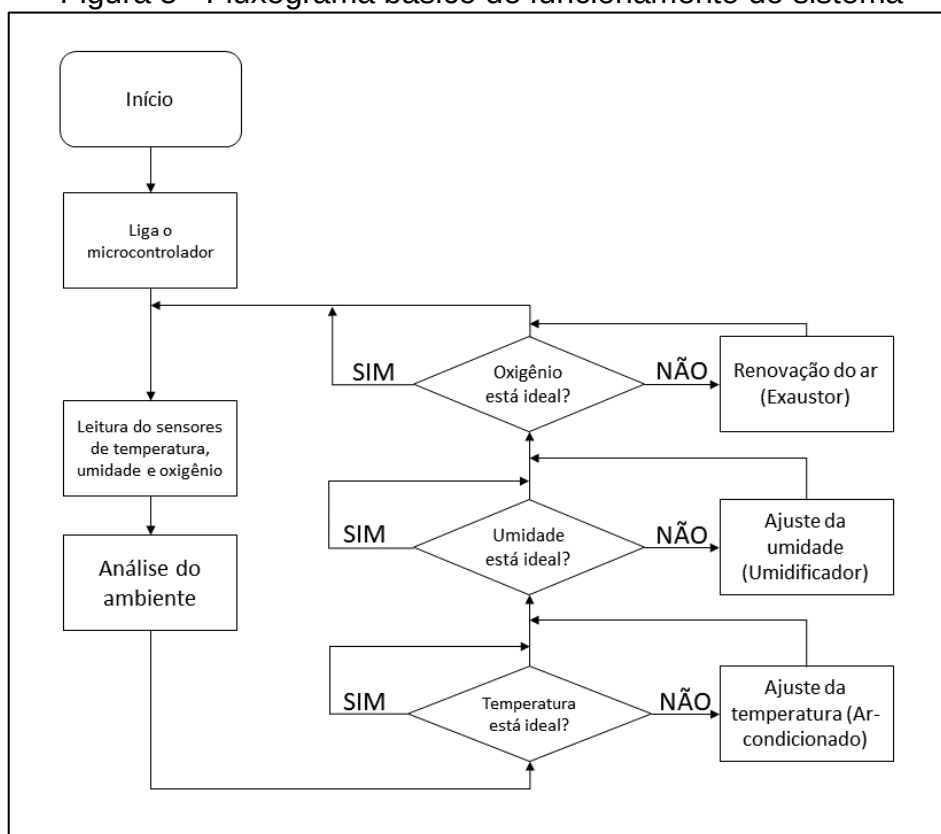
Trata-se da automatização de ambientes utilizando tecnologias aplicadas para cada situação, proporcionando uma maior segurança e qualidade de vida. Basicamente, o foco está na melhoria das condições de vivência utilizando atuadores e sensores interligados dentro do ambiente, que serão gerenciados por um controlador principal, transmitindo e recebendo informações (ANGEL, 1993).

O gerenciamento de todos os dados e informações vindos dos sensores são realizados dentro de um ambiente automatizados, tendo uma arquitetura própria para cada método adotado, sempre visando o conforto utilizando o menor nível de energia elétrica (BOLZANI, 2004b).

Tendo isso em vista, foi pensado como seria a base de funcionamento do sistema inteligente de monitoramento, a fim de listar e detectar as possíveis situações que serão enfrentadas no ambiente trabalhado.

A Fig. 5 representa como o sistema se comporta e quais são as condições necessárias para realizar alguma ação ou ajuste. Os campos principais de análise são a qualidade do ar, temperatura e umidade. Primeiramente, o microcontrolador será ligado juntamente com os sensores do ambiente, fazendo assim a análise dos parâmetros do ambiente e tomando ação de acordo com o valor obtido através das medidas, sendo realizado de maneira contínua.

Figura 5 - Fluxograma básico de funcionamento do sistema



Fonte: Os autores, 2023.

2.2.1 Domótica Inteligente

Segundo Sgarbi (2007), um sistema ser considerado inteligente, ele deve integrar todos os elementos, proporcionando uma aplicação em diversas condições juntamente com a flexibilidade de uso.

Dentro desse conceito, a Domótica Inteligente se trata da adaptação da automação de acordo com o comportamento dos indivíduos presentes, realizando ajustes e leituras periódicas, tratando-se de um sistema com Automação Baseada em Comportamento (ABC). Neste sistema, existe a constante verificação dos dados do ambiente e o agrupamento em um banco de dados para permitir um maior controle e eficácia nas ações tomadas pelos atuadores do projeto (TONIDANDEL; TAKIUCHI; MELO, 2004).

3 ERGONOMIA NO AMBIENTE

A Ergonomia é de extrema importância em todos os ambientes fechados, pois ela contribui para que haja o aprimoramento do conforto e bem-estar, juntamente da produtividade que está presente em locais de trabalho (SANTOS et al, 1997). Portanto, torna-se necessário adotar medidas para que todos presentes no ambiente possam exercer suas atividades sem quaisquer dificuldades.

3.1 ILUMINAÇÃO

Dentro de um ambiente fechado, a construção do sistema de iluminação, busca uma maior eficiência e uma garantia de ergonomia. O gerenciamento é feito de forma sequencial e começa na escolha dos tipos de iluminação, quantidade e posicionamento dos equipamentos, além do levantamento dos fatores externos que podem prejudicar o sistema.

Tendo isso em vista, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) criou um amplo conjunto de normas que regulamentam a iluminação, que é o caso da NBR 5413.

Mais especificamente, a NBR 5413/1992 define que a intensidade luminosa por unidade de área (Lux) deve-se manter na faixa de 200 a 500 Lux, tendo ressalvas para pessoas com idades divergentes e em diferentes situações físicas, com maior detalhamento na Tabela 1.

Tabela 1 – Índice de iluminância por grupos de tarefas visuais

Faixa	Iluminância mínima (Lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas com tarefas visuais simples	20 – 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 – 100	Orientação simples para permanência curta
	100 – 200	Recintos não usados para trabalho contínuo
	200 – 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
B Iluminação geral para áreas de trabalho	500 – 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios
	1000 – 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas
	2000 – 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno, relógios
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	5000 – 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000 – 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Fonte: NBR5413/92.

3.2 CONFORTO TÉRMICO

Trata-se do estado no qual o indivíduo tenha total satisfação com as características térmicas do ambiente em que se encontra (LABEEEE, 2022).

Para atingir tal objetivo, a ABNT possui a NR-17, que regulamenta um índice de temperatura efetiva que se mantém entre 20° e 23°C, com a velocidade do ar menor ou igual a 0,75m/s.

Ainda no âmbito de conforto térmico, as características favoráveis em território brasileiro têm que se manter com uma temperatura de 20° a 24°C, juntamente com uma umidade relativa de 40 a 60% e velocidade do ar em 0,2 m/s. Em adição, a diferença de temperatura dentro do ambiente não podem ultrapassar 4°C (LIDA, 2001).

Diferentes fatores, como a qualidade do ar, temperatura, umidade, ventilação, iluminação, acústica e o tamanho das escolas e salas de aula, estão relacionados diretamente ao desempenho dos estudantes (GRAÇA, KOWALTOWSKI, PETRECHE, 2007; SCHNEIDER, 2002). Esses fatores podem afetar tanto o aprendizado dos alunos quanto a capacidade dos professores de lecionar, ressaltando a importância de ferramentas e recursos que abrangem diferentes aspectos da educação.

É de extrema importância realizar estudos empíricos para determinar os limites aceitáveis desses fatores e seu impacto nos resultados acadêmicos a longo prazo (SCHNEIDER, 2002). A constante manutenção de um clima confortável nos espaços escolares é essencial para aprimorar o desempenho dos alunos e docentes (KROEMER, GRANDJEAN, 2005; WARGOCKI et al., 2005). Grandes mudanças nas condições climáticas, como um ambiente muito quente, podem causar cansaço e sonolência, comprometendo a prontidão e aumentando a chance de erros. Já um ambiente mais frio pode reduzir o estado de alerta e a concentração dos estudantes (KROEMER, GRANDJEAN, 2005).

A criação de ambientes escolares confortáveis é vital para promover o melhor desempenho acadêmico dos alunos. É fundamental considerar esses aspectos no planejamento e projeto de escolas, buscando tecnologias e materiais que proporcionem um conforto térmico e ambiental adequado nas salas de aula.

4 BASE TEÓRICA PARA DESENVOLVIMENTO DO PROTOTIPO

Um fator muito importante para o desenvolvimento do protótipo é a seleção dos componentes a serem utilizados, porém, existem no mercado diversos modelos e versões para um mesmo sensor ou microcontrolador, com cada uma dessas versões tendo suas características, qualidades e vantagens próprias.

4.1 DISPOSITIVOS DE PROCESSAMENTO

Para o protótipo foi analisado alguns dispositivos de processamento para atuarem em cima dos dados, enviar comandos e exercer uma comunicação. Tendo em vista isso pensamos em tais quais: ESP8266, ESP32, Arduino UNO, Arduino MEGA 2560, Raspberry Pi 3. Para uma análise completa, foram definidos os principais parâmetros de análise, sendo características as técnicas como a arquitetura, consumo, periféricos, velocidade, capacidade de processamento, tamanho, encapsulamento, escalabilidade e outros critérios relevantes, como o preço, disponibilidade, suporte, documentação, ferramentas de *debug* e possibilidade de expansão.

4.1.1 ESP8266

O módulo *Wi-fi* ESP8266 NodeMCU é uma placa de desenvolvimento que combina o chip ESP8266, em uma interface com usb-serial e regulador de tensão 3.3V. Os módulos do ESP8266 são fornecidos numa ampla variedade de modelos, com diferenças principalmente na quantidade de entradas e saídas, no acesso externo, e na sua dimensão. Até o presente momento, existem módulos numerados de ESP-01 até ESP-12, na Fig.6 há uma imagem real do módulo ESP8266.

Figura 6 – Módulo ESP8266 NodeMCU

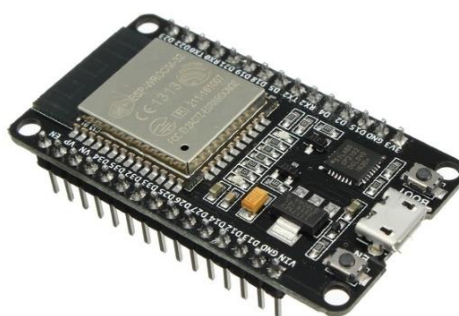


Fonte: Espressif Systems, [s.d.].

4.1.2 ESP32

O módulo ESP32 é um módulo de alta performance para desenvolvimento que envolve baixo consumo de energia, alto desempenho de potência, amplificador de baixo ruído, robustez, versatilidade e confiabilidade. Evoluído do comentado ESP8266, com novas tecnologias, maior poder de processamento e uma enorme capacidade de memória, em comparação com seus antecessores, o ESP32 permite criar variadas aplicações para projetos de IoT, acesso remoto, *webserver*s e *dataloggers*, além de sua plataforma de prototipagem acompanhada de um conversor USB serial integrado e porta micro USB para alimentação e programação, na Fig. 7 é possível ver uma imagem real do módulo.

Figura 7 - Módulo ESP32 NodeMCU

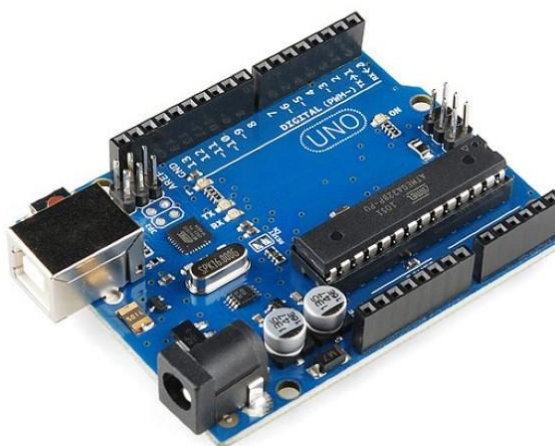


Fonte: Espressif Systems, [s.d.].

4.1.3 ARDUINO UNO R3

A Placa Arduino Uno R3 é um módulo de desenvolvimento livre em hardware e código fonte, com um microcontrolador Atmel, permitindo a conexão com computadores por meio de comunicação USB, tanto para alimentação quanto para transmissão de dados dentro de seu desenvolvimento integrado. Possui uma linguagem baseada em C/C++ para fazer a sua programação e se trata de uma opção mais econômica e de maior custo-benefício para todos os possíveis desenvolvedores. O microcontrolador apresenta compatibilidade com a maioria dos extensores e suporte na disponibilidade de códigos e bibliotecas por diversos fóruns, na Fig. 8 é possível ver uma imagem real do módulo.

Figura 8 - Arduino UNO R3

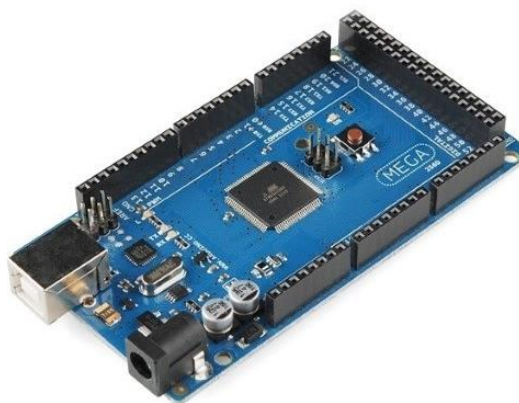


Fonte: Arduino Store, [s.d.].

4.1.4 ARDUINO MEGA 2560

O Arduino Mega 2560 consiste na mesma ideia e benefícios do Arduino UNO, porém com a alteração do Atmega 328 para o Atmega 2560, um aumento no número de entradas e saídas, contando com uma expansão de memória, logo, ele é voltado para projetos mais complexos e com uma necessidade maior de variáveis a se explorar, na Fig. 9 é possível ver uma imagem real do módulo.

Figura 9 - Arduino MEGA 2560



Fonte: Arduino Store, [s.d.].

4.1.5 RASPBERRY PI 3

A Raspberry Pi 3 Model B+ Anatel é um mini-PC que roda distribuições Linux, como o Raspbian e Ubuntu, além de suportar outros sistemas operacionais como o Windows 10 IoT e versões customizadas do Linux. Dispondo dessas designações, em adição, é possível usá-lo através de suas entradas e saídas que ele disponibiliza, sendo mais bem visualizado na Fig. 10.

Figura 10 - Raspberry Pi 3



Fonte: Raspberry Pi Store, [s.d.].

4.1.6 Características técnicas

Com todas essas opções foi feito então o Quadro 1 com o comparativo técnico de todos esses microcontroladores.

Quadro 1 - Comparativo entre os microcontroladores.

-	ESP8266	ESP32	ARDUINO UNO	ARDUINO MEGA 2560	RASPBERRY PI 3
Processador	IP Diamond Standard LX3	Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6	ATmega328	ATmega2560	Broadcom BCM2837 B0, Cortex-A53 64-bit
Clock	160MHz	240 MHz	16MHz	16MHz	1,4 GHz (com possibilidade de "Overclock")
FLASH	4 Mb	4 Mb	32Kb	256Kb	Varia de acordo com o cartão microSD acoplado
ROM	64KB	448 Kb	-	-	-
RAM	32KB	520 Kb	2Kb	8Kb	1 GB LPDDR2 SDRAM
EEPROM	4MB	-	1Kb	4Kb	Nenhuma

WiFi	802.11b/g/n	802.11 b/g/n - 2.4GHz	Somente através de periféricos	Somente através de periféricos	Wi-Fi 2,4 GHz e 5,0 GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac
Bluetooth	Bluetooth V4	Bluetooth Low Energy padrão 4.2 integrado	Somente através de periféricos	Somente através de periféricos	Bluetooth 4.2 BLE
Ethernet	-	-	Somente através de periféricos	Somente através de periféricos	1x conector RJ45
USB	1x Micro USB	1x Micro USB	1x USB Serial	1x USB Serial	4x Portas USB 2.0
Vídeo	-	-	-	-	1x conector HDMI padrão
Tensão de Operação	3,3V/1,0 V	3,3V	5,0V	5,0V	3,3V
Corrente DC de saída	80mA	80mA	40mA	40mA	16mA
GPIO	13 incluindo PWM, I2C, SPI etc.	25 (todos com PWM)	14 (dos quais 6 podem ser saídas PWM) e 6 analógicas.	54 (dos quais 14 podem ser saídas PWM) e 16 analógicas.	40 GPIOs (nenhuma analógica)
Comunicação	Até 5 conexões TCP/IP	Cartão SD, UART, SPI, SDIO, I2C, I2S, I2C, IR	UART, SPI, I2C	UART, SPI, I2C	UART, SPI, I2C

Tensão de Alimentação	4,5 a 9V	4,5 V a 9 V (o módulo possui regulador integrado para 3,3 V)	7-12V	7-12V	5 V pelo conector micro USB
Preço (média dos sites Filipeflop, RoboCore, Curto Circuito, UsinaInfo)	R\$49,90	R\$75,00	R\$ 89,00	R\$200,00	R\$ 399,00
Resolução do PWM	10 Bits	16 Bits	10 Bits	10 Bits	12 Bits
Conversor ADC	1 conversor	18 ADC com 12-bit de resolução (4096 bits)	1 conversor	1 conversor	4 conversores
Modos de Operação	STA/AP /STA+AP	Access Point / Estação / Access Point + Estação	-	-	-

Fonte: Espressif Systems, Arduino Store, Raspberry Pi. (2022)

4.1.7 Custos

É necessário que se pense comercialmente quando é feita a escolha de um microcontrolador, o preço de um produto não indicado para novos desenvolvimentos pode ser muito caro, tendo que ser analisado o tipo de processador e as vantagens em relação aos outros, como por exemplo microcontroladores entre ARM7 e CORTEX M3, que possuem características técnicas e de custos divergentes (LIMA, 2022).

Uma característica que contribui com o aumento do preço é a tecnologia em que a FLASH é construída, permitindo que um maior número de componentes seja construído em uma mesma área, sendo assim, menos material é utilizado e o preço é reduzido. Microcontroladores que acabam de ser lançados geralmente possuem um

preço mais atraente, apesar da disponibilidade ser crítica, com os tempos de fornecimento tendendo a serem maiores (LIMA, 2022).

4.1.8 Disponibilidade

O tempo é importante para montagem de projetos eletrônicos, logo, é natural que seja dependido de processos aduaneiros e da Receita Federal, além de que itens importados de forma não totalmente correta podem ter problemas para entrar no Brasil e efetuar suas entregas. Além disso, tragédias naturais ou não naturais como tufões, terremotos, roubos, feriados na Ásia, podem provocar atrasos na entrega de mercadorias ou até mesmo cancelamento de pedidos (LIMA, 2022).

4.1.9 Suporte/Fóruns

Diversas empresas, além de disponibilizar tempo de dimensionamento, criam projetos personalizados experimentais para que possa acelerar o desenvolvimento de novos complementares. Em diversas oportunidades, um desenvolvedor da própria empresa fabricante de um circuito integrado visita o cliente para dar suporte e até mesmo se senta ao lado da equipe responsável por determinado projeto e auxilia no desenvolvimento, trabalhando no esquema *hands-on* (LIMA, 2022).

4.1.10 Documentação

A documentação de uma família de microcontroladores e, códigos prontos para integração no projeto, auxilia o desenvolvimento ganhando um tempo em testes de hardware, podendo ser aplicado ao desenvolvimento do projeto. Além do que microcontroladores mais novos podem ter problemas escondidos, ainda não conhecidos ou não oficialmente reportados e documentados, porém, os mais tradicionais possuem correções e auxiliam o desenvolvedor a se prevenir contra eventuais problemas (LIMA, 2022).

4.1.11 Ferramentas de Debug

As utilizações de ferramentas compiladoras permitem que se monitore as variáveis internas de um microcontrolador em tempo real, auxiliando as ferramentas de software, no tempo de desenvolvimento e se adiantam à correção de bugs, prevenindo eventuais erros. É possível também com um grupo de ação de teste em conjunto realizar um teste de varredura de limite, que permite verificar a integridade da montagem do hardware (LIMA, 2022).

4.1.12 Possibilidade de expansão

Utilizar microcontroladores da mesma família ou do mesmo fabricante é uma ótima opção, caso seja necessária a mudança do microcontrolador principal do projeto, pois como o tempo de aprendizado de um novo microcontrolador pode ser grande devido a diferentes ambientes de desenvolvimento, ferramentas e/ou *datasheets*, é desejável que, se possível, o fabricante continue sendo o mesmo do projeto original para que seja possível economizar em tempo de desenvolvimento (LIMA, 2022).

4.2 SENSORES DE GÁS E QUALIDADE DO AR

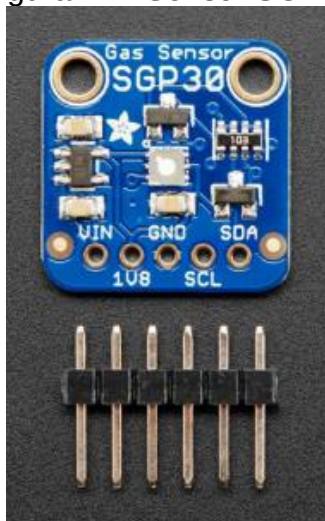
Existe uma vasta gama de sensores de gás e de qualidade do ar no mercado, mas, para realizar a seleção dos sensores ao projeto, foram destacados aqueles com parâmetros apropriados para o uso dentro de um ambiente de representação em escala.

4.2.1 SGP30

O SGP30 é um sensor de qualidade totalmente integrado que tem seu funcionamento baseado na alteração da resistência elétrica de sua superfície aquecida de metal-óxido (MOX), na Fig. 11 podemos ver aparência do sensor, alterando de acordo com a matéria detectada no ar.

A precisão de detecção deste sensor é de 15%, obtendo uma identificação ampla de Compostos Orgânicos Voláteis (COV). O foco de funcionamento está em aplicações internas nos ambientes.

Figura 11 - Sensor SGP30



Fonte: Adafruits Industries, 2021.

O alcance de detecção para índices de gás carbônico se encontra em torno de 400 a 60.000 partes por milhão (ppm), com a taxa de Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVT) de 0 a 60.000 partes por bilhão (ppb).

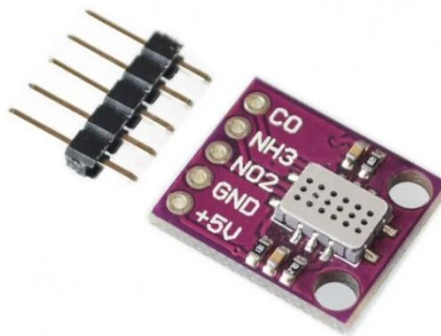
Para o uso correto do sensor, ele deve ser calibrado para as condições adversas que ele possa encontrar no ambiente, trata-se de um sensor aplicações mais simples e que não necessitam de uma alta precisão.

4.2.2 MiCS-6814

Obtendo o mesmo princípio de funcionamento através de MOX, este sensor obtém robustez para aplicações em ambientes com parâmetros adversos, além de uma detecção rápida e uma construção compacta.

Possui três chips para sensoriamento com bases e camadas diferentes, o que proporciona uma integração e qualidade de detecção ampla para todas as aplicações. O primeiro chip é direcionado a detecção de gases oxidantes (OX), o segundo é para gases redutores (RED) e por último temos o de Amônia (NH₃), na Fig. 12 temos a estrutura real do MiCS-6814.

Figura 12 - Sensor MiCS-6814



Fonte: SGX SENSORTECH, 2021.

O sensor possui uma ampla faixa de detecção, que varia de 0 a 1.000 ppm, dependendo do tipo de gás em análise, obtendo maior detalhe no Quadro 2. Essa característica proporciona o monitoramento preciso de uma variedade de gases e a capacidade de determinar a presença e quantidade de gases no ambiente em diferentes níveis de concentração.

Quadro 2 - Gases detectáveis do MiCS-6814

GÁS	DETECÇÃO
Monóxido de Carbono	1 – 1000ppm
Dióxido de Nitrogênio	0,05 – 10ppm
Etanol	10 – 500ppm
Hidrogênio	1 – 1000ppm
Amônia	1 – 500ppm
Metano	>1000ppm
Propano	>1000ppm
Isso-butano	>1000ppm

Fonte: PEWATRON. (2021)

4.2.3 MQ-135

O sensor de gás MQ-135 detecta diversos tipos de gases tóxicos, como por exemplo: Amônia, benzeno, óxido nítrico e dióxido de carbono. Ele permite detectar também certos níveis de álcool e fumaça no ar.

Este sensor dispõe de largas faixas de detecção com uma resposta rápida e sensível a alterações (valores entre 5% a 10%), ainda mantendo um circuito simples

e de fácil entendimento. Sua construção é compacta e permite maior flexibilidade no uso, sendo mostrado na Fig. 13.

Figura 13 - Sensor MQ-135

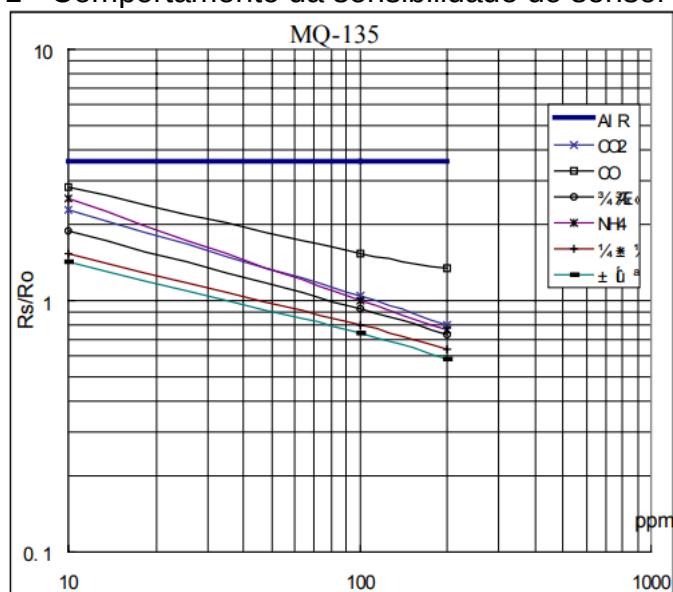


Fonte: OEM, 2022.

O princípio de funcionamento do sensor MQ-135 se faz através da variação da resistência numa superfície aquecida, obtendo 4 pinos para detecção de sinais e 2 para proporcionar corrente na placa do circuito.

As características de sensibilidade podem variar de acordo com o gás trabalhado. O Gráfico 1 representa estas propriedades com maiores detalhes, através da resistência do sensor em diversas concentrações de gases pela quantidade do soluto presente no ar. A relação do eixo vertical do gráfico se trata da resistência do gás alvo em diferentes concentrações com a resistência do sensor em ar puro. O comportamento segue de acordo com a concentração em ppm no eixo horizontal e, tomando como exemplo, pode-se notar uma constância na detecção do ar em si, sendo a primeira linha em azul escuro (AIR), que permanece na mesma faixa até o final da análise.

Gráfico 1 - Comportamento da sensibilidade do sensor MQ-135



Fonte: OEM, 2022.

4.3 SENSORES DE UMIDADE E TEMPERATURA

Um fator importante no projeto é a medição da umidade e temperatura do ambiente, que será feita através de sensores. Existem no mercado inúmeros sensores que possibilitam realizar a medição de temperatura e umidade no mesmo componente, e, assim como os outros dispositivos utilizados, se faz necessário a comparação de diferentes componentes para que seja possível definir o melhor sensor para as necessidades do projeto, com isso, foram analisados através de trabalhos acadêmicos e *datasheets* os sensores DHT22, DHT11 e o AHT10.

4.3.1 DHT22

O sensor DHT22 ou AM2302, representado na Fig.14, é um sensor que pode ser aplicado em desumidificadores, eletrodomésticos, reguladores de umidades, estações meteorológicas, residências e entre outros lugares, podendo trabalhar com uma faixa de temperatura em graus Celsius de -40 até 80 e uma faixa de umidade relativa de 0 até 100%.

Figura 14 - Sensor DHT22



Fonte: AOSONG, [s.d.].

O dispositivo ainda apresenta como características segundo o *datasheet* da AOSONG (s.d.) baixa potência, calibração automatizada, alta precisão para medição de temperatura, boa estabilidade a longo prazo, uso de sensores de umidade capacitivo e sendo totalmente intercambiável. Além de ser um componente muito utilizado para aplicações de monitoramento climático devido a sua fácil comunicação com microcontroladores (JUNIOR et al., 2015).

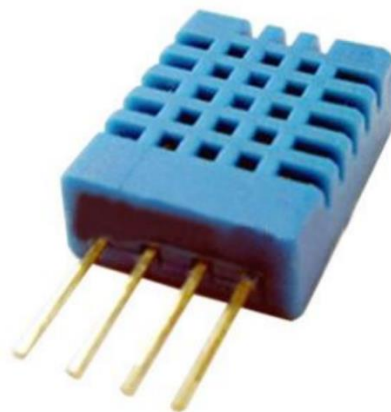
No geral o sensor AM2302 consegue trabalhar com uma faixa de 3,3 volts até 5,5 volts e a sua margem de erro para detecção da umidade é cerca de 2% á 25°C, com uma margem de erro em torno de 0,5°C para medições de temperatura.

4.3.2 DHT11

O sensor DHT11 apresenta uma saída com sinal digital que permite a conexão a microcontroladores de 8 bits e recebe em sua fabricação uma calibragem precisa em laboratório com o objetivo de obter uma alta precisão na medição de umidade, além de que os coeficientes de calibração são armazenados na memória OTP (*One Time Programmable* – Uma Vez Programável) como programas para serem utilizadas para detecção do sinal interno emitido pelo sensor de umidade.

O DHT11 consegue trabalhar com uma faixa de temperatura de 0 a 50°C e uma faixa de umidade relativa de 20 a 90%, tendo uma margem de erro na temperatura em torno de 2°C, e na umidade 5%. Além disso, o sensor consegue trabalhar com 3 a 5,5 volts com uma corrente de 0,5 mA até 2,5 mA. A representação visual do sensor pode ser vista na Fig.15.

Figura 15 - Sensor DHT11



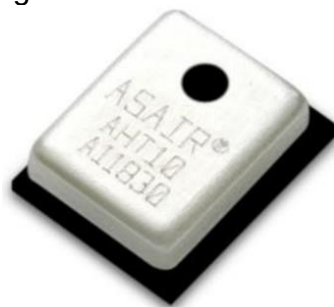
Fonte: Mouser Electronics, [s.d.].

4.3.3 AHT10

O sensor AHT10, assim como o DHT22, apresenta umas aplicações bem parecidas, então é possível utilizar esse sensor em residências, eletrodomésticos e desumidificadores, além de apresentar tudo isso, o componente, segundo o *datasheet* da ASAIR (2018), entrega uma saída digital, uma grande estabilidade, respostas rápidas e uma grande capacidade de não sofrer com interferências.

O componente na Fig. 16, é o que apresenta a menor faixa de tensão para se trabalhar em comparação com o DHT22 e o DHT11, podendo ser utilizado nele de 1,8V até 3,6V, porém a sua faixa de temperatura de trabalho é a maior, sendo entre -40°C até 85°C e dispondo de uma margem de erro de 0,3°C. A sua faixa de trabalho em relação a umidade relativa é de 0 a 100%, com margem de erro de mais ou menos 2%, sendo então bem similar ao AM2302.

Figura 16 - Sensor AHT10



Fonte: ASAIR, 2018.

4.3.4 Comparações entre sensores

Além das características técnicas dos dispositivos, é necessário também analisar o preço de cada componente para aquisição, com isso o Quadro 3 separa as informações importantes para análise, bem como para comparações rápidas entre cada sensor.

Quadro 3 - Comparações entre os sensores de temperatura e umidade.

	DHT22	DHT11	AHT10
Faixa de Temperatura (°C)	-40 a 80	0 a 50	-40 a 85
Margem de erro para temperatura (°C)	± 0,5	± 2	± 0,3
Faixa de umidade relativa (%)	0 a 100	20 a 90	0 a 100
Margem de erro para umidade (%) a 25°C	± 2	± 4	± 2
Voltagem (V)	3,3 a 5,5	3 a 5,5	1,8 a 3,6
Preço (R\$)	55	15	16

Fonte: Adaptado de AOSONG (s.d.), ASAIR (2018), MOUSER (s.d.).

Para definir a linha “Preço” no Quadro 3 foi feito uma média dos valores encontrados em diversos sites de vendas de componentes da internet no mês de novembro de 2022.

4.4 ATUADORES

Atuador é um dispositivo que produz movimento, convertendo energia que é normalmente criada por eletricidade, ar ou líquido para algum tipo de movimento tipicamente mecânico, além da possibilidade de ser usado para aplicar uma força. No caso do projeto é necessário utilizar atuadores que influenciem no conforto do estudante, logo, alteradores de temperatura, umidade e qualidade do ar.

Alteradores de temperatura podem utilizar correntes de ar e/ou gases para resfriar o ambiente externo e levar para o interno, mesclado também com uma refrigeração mecânica e/ou com seu processo inverso de esquentar o ambiente. Umidificadores são aparelhos que aumentam a umidade relativa do ar dentro dos níveis recomendados para o ambiente, com diversas funções e tipos. Purificadores de ar são filtros que retira o ar ambiente e o faz passar por diversos filtros que retém substâncias nocivas, partículas poluentes e micro-organismos e então devolve ao ambiente livre.

4.4.1 Ventilador

Os ventiladores são equipamentos capazes de converter energia mecânica de rotação, de ambientes médios, em correntes de ar que, porventura, diminuem a sensação térmica do ambiente, reduzindo em até três graus dependendo da quantidade de pás e a altura na qual foi instalado. Podem ser prejudiciais à saúde caso usado em ambientes com maior presença de poeiras ou gases.

Em conjunto, possuem a função de exaustor, que através da rotação contrária do motor possibilita retirar o ar quente acumulado ao topo do ambiente por meio de janelas ou coifas, realizando a troca pelo ar frio sem gerar sensações térmicas menores como na função comum do ventilador, com a possibilidade de uso combinado de filtros para melhorar a qualidade do ar. Logo, ventiladores são uma ótima opção de baixo custo e praticidade podendo-se usar para soluções criativas, como mostra na Fig. 17, uma imagem real de um pequeno ventilador com 7 pás, comumente usados para o resfriamento dos processadores de computadores, com velocidade de 1500 rpm (USINAINFO, 2022).

Figura 17 - Cooler Fan Rise Mode, 120mm, Preto

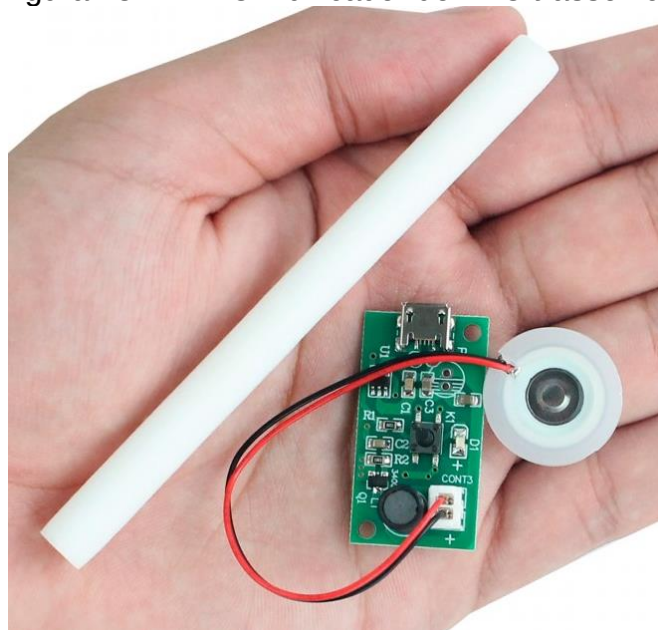


Fonte: Rise Mode, 2022.

4.4.2 Umidificador

Umidificadores funcionam com o aproveitamento de gotículas de água que são dispersas por ele, assim alterando a umidade do ambiente, contendo diversas formas de produzi-los, como por exemplo: vaporizadores fervendo a água; impulsores que impulsionam a água através de um difusor para que o líquido se espalhe em gotículas; ultrassônicos que usufruem de um diafragma de metal que vibra em altas frequências para a criar gotículas de água. Logo, os umidificadores também são ótimos e baratos atuadores para se fazer a manutenção da umidade do ar, e na Fig. 18 pode-se ver uma imagem do mini umidificador de ar ultrassônico DIY1 V2.0 com 2 watts de potência com capacidade de produzir 40ml/h de névoa, ideal para projetos. (USINAINFO, 2022).

Figura 18 - Mini Umidificador de Ar Ultrassônico



Fonte: UsinaInfo, 2022.

4.4.3 Ar-condicionado

O ar-condicionado é um dispositivo que tem a função de resfriar o ambiente, promovendo maior conforto térmico. Ele opera através da utilização de um gás refrigerante, como o R-22, para realizar a troca do ar ambiente pelo ar resfriado. Seu funcionamento consiste em uma sequência de etapas. Após retirar o ar interno, o gás refrigerante é referenciado à temperatura ambiente. Em seguida, o gás passa pelo compressor, onde sua temperatura é elevada acima da temperatura ambiente. Assim, o gás quente e com alta pressão passa por um condensador auxiliado por ventilador que dissipa o calor para o ambiente externo.

Após a conclusão desses processos, a temperatura sofre uma redução à medida que o gás passa por uma válvula de expansão. Durante essa etapa, o gás perde pressão ao passar por serpentinas, enquanto um ventilador que sopra ar através delas, resfriando o gás. O ar resfriado é então direcionado de volta ao ambiente interno.

O ar-condicionado tem função refrigerante para ambiente, dispondo de uma alta eficiência e com capacidade de alterar qualquer temperatura, podendo ser equipados com filtros para melhora da qualidade do ar, porém retirando a umidade do ar.

Há diversos tipos de sistemas de ares-condicionados podendo ser *Split* - tendo um *design* mais compacto; o de janela - que toda estrutura consiste em uma abertura na parede onde o aparelho é instalado; central - que serve para grandes ambientes, mas que necessita uma passagem de tubulações para a instalação ideal do equipamento; e os ares-condicionados portáteis - com função prática e servindo apenas para ambientes pequenos. Contudo, mesmo os ares-condicionados sendo uma ótima solução, eles possuem um preço mais exorbitante, e na Fig. 19 é possível ver uma imagem real de um mini ar-condicionado portátil com potência de 8 watts, e com capacidade para água de 375 ml.

Figura 19 - Mini Ar-condicionado



Fonte: Amazon, 2022.

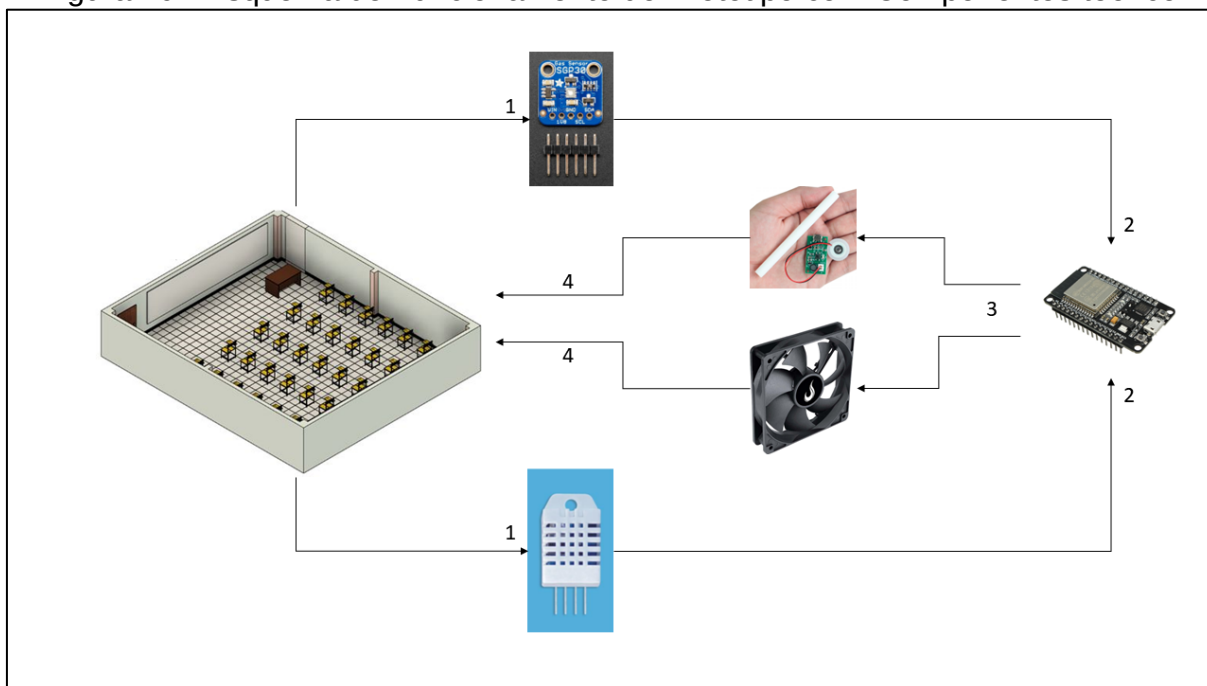
5 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do projeto, foi selecionado o microcontrolador ESP-32 devido a diversos fatores como a memória ROM de 448 Kb, a memória RAM de 520 Kb, os 25 pinos de entradas e saídas com PWM, as diversas formas de comunicação, os 18 conversores de analógicos para digital e o custo de aquisição do componente.

Para os componentes responsáveis por coletar e enviar os dados da sala ao microcontrolador, ou seja, os sensores, o SGP30 acabou sendo escolhido para verificação de gases e qualidade de ar, por conta da sua baixa margem de erro e alta detecção para índices de gás carbônico (400 a 60.000 ppm) e, mesmo o custo não sendo o menor em relação as outras opções, é o que, teoricamente, apresenta o melhor custo-benefício. Já sobre o sensor de umidade e temperatura, o que melhor se encaixa seria o DHT22, que apresenta uma pequena margem de erro na detecção de temperatura ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) e umidade ($\pm 2\%$), além de conseguir trabalhar em uma grande faixa de temperatura (-40°C a 80°C). E mesmo tendo um custo maior comparado a outros sensores que apresentam faixas de trabalho e margens de erro similares, como por exemplo o AHT10, o DHT22 é o que apresenta melhor estrutura e menos sensibilidade para integração com o projeto. Em relação aos atuadores, foram analisadas as questões de praticidade e preço.

Para ser realizada a alteração da temperatura e a purificação do ar, foram selecionados os miniventiladores junto de filtros de malha, pois além de serem capazes de alterar a sensação térmica ambiente, ainda é possível filtrar parcialmente o ar com a função de exaustores. Para umidificadores é pensado em um mini umidificador ultrassônico que se encaixa na faixa de eficiência para lugares simulados em escala. A partir de todos os componentes selecionados, se tornou possível a realização da Fig. 20, onde mostra um esquema de funcionamento utilizando as imagens dos componentes reais.

Figura 20 - Esquema de Funcionamento do Protótipo com Componentes teórico



Fonte: Os autores, 2022.

O esquema de funcionamento mostrado na Fig. 20 sinaliza todas as etapas de funcionamento previstas, sendo a etapa 1 representando o sensor de gás SGP30 e o sensor de umidade e temperatura DHT22 lendo as informações presentes no ambiente, a etapa 2 sinaliza que as informações coletadas pelos sensores são transmitidas para o ESP32. Na etapa 3 o microcontrolador realiza a análise do ambiente verificando se os valores medidos e recebidos pelos sensor estão de acordo com os valores ideais do projeto e caso os parâmetros estiverem fora do ideal é mandado um comando do ESP32 aos atuadores. Já a etapa 4 representa os coolers e o mini umidificador realizando o ajuste dos fatores de umidade, temperatura e qualidade do ar no ambiente.

5.1 CONDIÇÕES REAIS

Foram dimensionados alguns componentes para a utilização no protótipo em escala, como os sensores, ventiladores e o umidificador, porém para tal uso em escala real se tornou necessário um novo dimensionamento dos atuadores. Primeiramente, o uso de apenas um atuador se tornou viável para aplicação, tratando-se de um climatizador, mais especificamente o modelo TWIST da empresa Juno, possuindo 460 watts, que tem o alcance de até 200 m² de área e contêm funções de resfriamento,

umidificador e purificador de ar, assim suprimindo todos os parâmetros medidos para um ambiente fechado (JUNO, 2022). A estrutura real do climatizador está representada na Fig. 21.

Figura 21 - Climatizador TWIST



Fonte: JUNO, 2022.

Para os sensores em uma escala real o uso de apenas um componente já seria viável para conseguir realizar as medições da temperatura, umidade e qualidade do ar, sendo o componente em questão o QPA2062 da Siemens que é um sensor de ambiente para concentrações de dióxido de carbono, temperatura e umidade relativa do ar e sendo representado na Fig. 22.

Figura 22 - Sensor QPA2062



Fonte: SIEMENS, 2023.

O sensor apresenta uma faixa de medição de qualidade do ar de 0 a 2000 ppm com uma margem de erro de mais ou menos 50 ppm mais 2% do valor medido. Para temperatura consegue apresentar duas faixas de trabalho, sendo a primeira faixa chamada de R1 entre -35°C e 35°C e a segunda faixa chamada de R2 sendo entre 0°C e 50°C, ambas as faixas de trabalho tem uma margem de erro de 0,3 K. Para a umidade relativa do ar consegue trabalhar com a faixa de 0 a 95% e tendo uma margem de erro de mais ou menos 2% dentro da faixa de 10 a 90% da umidade relativa.

Como analisado na metodologia, o projeto em escala teve o foco no custo-benefício com a substituição do climatizador e do sensor por componentes independentes que faziam o mesmo serviço, porém, em situações reais, o investimento nestes componentes não se torna favorável por conta da necessidade de posicionar uma quantidade razoável de componentes para suprir toda a área da sala de aula, mesmo sendo equipamentos industriais. Tendo isso em vista, tomou-se como a base para desenvolvimento de um comparativo de preços do protótipo em escala para o em tamanho real, tendo maior detalhe no Quadro 4.

Quadro 4 - Comparação entre o projeto em escala para o real

-	Projeto em escala	Projeto real
Alterador de temperatura	ZX-3010(R\$32,21) (USINAINFO, 2022)	X
Umidificador	DIY1 V2.0(R\$35,06) (USINAINFO, 2022)	X
Purificador de ar	Best 493V (R\$9,75) (USINAINFO, 2022)	X
Climatizador	Artic Air Ultra (R\$138,95, não escolhido para o projeto final) (AMAZON,2022)	JUNO TWIST (R\$ 7.800,00) (JUNO, 2022)

Sensor de qualidade do ar	SGP30 (R\$85,02) (ADAFRUIT,2023)	QPA2062 (R\$6.602,44) (SIEMENS, 2023)
Sensor de umidade e temperatura	DHT22 (R\$56,91) (USINAINFO,2023)	
Preço Final(R\$)	R\$218,95	R\$14.402,44

Fonte: Adaptado de USINAINFO (2022), USINAINFO (2023), ADAFRUIT (2023), JUNO (2022), AMAZON (2022), SIEMENS (2023).

Como foi analisado, os projetos possuem uma diferença de R\$14.183,49 entre os custos, sendo inviável para os autores executarem esse projeto em escala real.

6 DESENVOLVIMENTO

A primeira etapa após a definição teórica dos componentes é a definição dos parâmetros do ambiente, a fim de determinar a escala e os materiais necessários para a construção do protótipo. Esses parâmetros foram estabelecidos por meio de uma análise da sala física, para isso se teve a escolha de uma das salas de aula da FATEC Santo André, sendo a selecionada a sala 3, podendo ser vista na Fig. 23. Durante essa análise, foram levantados dados como o comprimento e altura das paredes, permitindo a determinação dos espaços disponíveis para janelas, portas, lousa, mesas e carteiras.

Com as informações da sala 3 adquiridas, foi possível realizar uma modelagem completa no programa *Fusion 360*, podendo ser vista na Fig. 24, que serviu para conseguir definir parâmetros de escala e posicionamento de componentes no protótipo.

Figura 23 - Sala 3



Fonte: Os autores, 2023.

Figura 24 - Modelagem 3D da sala 3 utilizando a escala real.



Fonte: Os autores, 2023.

Com todas as medidas obtidas e a modelagem feita, foi definido a escala 1:15 em que o protótipo seria criado, o Quadro 5 foi construído a fim de mostrar a relação entre a escala real e a escala definida para o projeto. Após o quadro, a Fig. 25 é apresentada mostrando o desenho técnico obtido através da modelagem 3D da sala de aula em escala de 1:15.

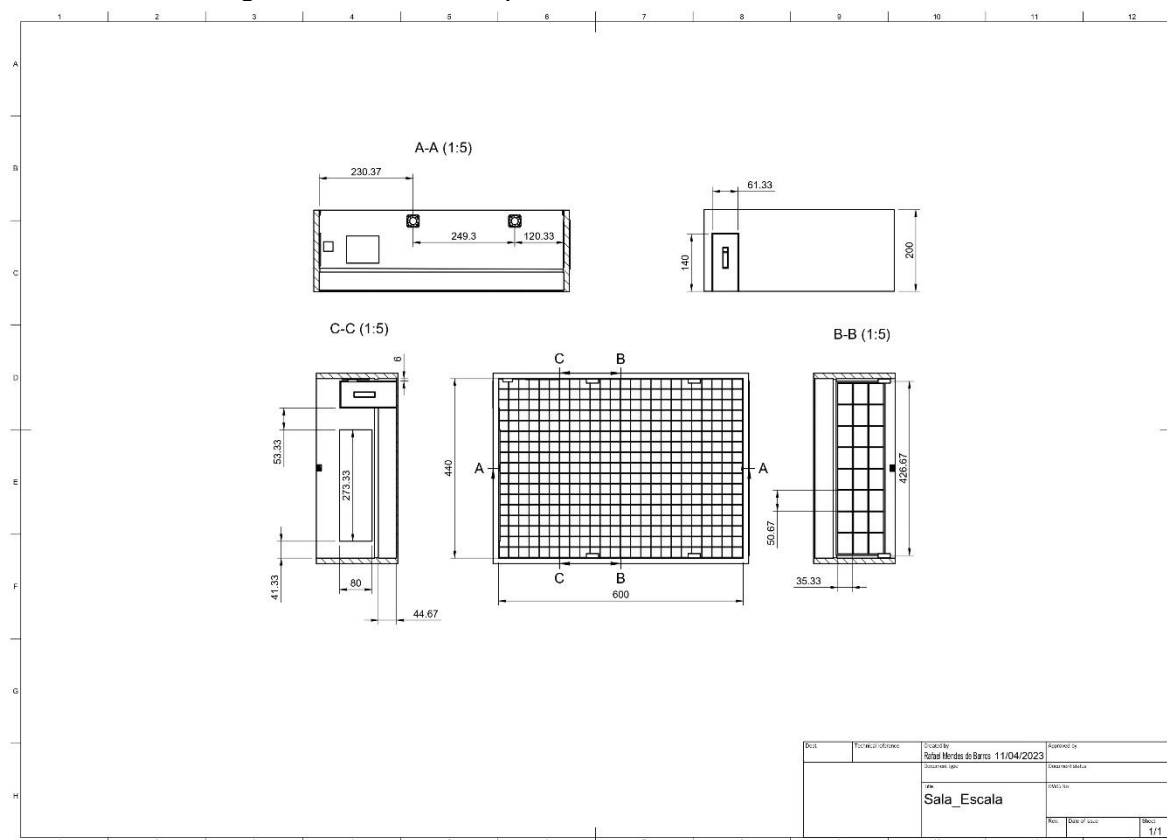
Quadro 5 - Comparação entre a medida real e em escala

Definição	Escala Real (metros)	Escala 1:15 (milímetros)
Comprimento das paredes da sala	2 paredes com 9 m; 2 paredes com 6,6m;	2 paredes com 600 mm; 2 paredes com 440 mm;
Altura da sala	3 m	200 mm
Base da porta x Altura da porta	0,92 m x 2,10m	61,3 mm x 140 mm
Base do quadro de força x Altura do quadro de força	0,35 m x 0,35 m	23,3 mm x 23,3 mm
Distância da caixa de força para porta e para o chão	0,16 m e 1,44 m	10,7 mm e 96 mm

Base do quadro de aviso x Altura do quadro de aviso	1 m x 1,20 m	66,7 mm x 80 mm
Base da lousa x Altura da lousa	4,1 m x 1,2 m	273,3 mm x 80 mm
Distância da lousa para porta e para o chão	0,79 m e 0,9 m	52,7 mm e 60 mm
Dimensões da mesa do professor	1,2 m x 0,6 m x 0,75 m	80 mm x 40 mm x 50 mm
Distância entre ventiladores	3,74 m	249,3 mm
Distância do começo da parede até o primeiro ventilador e distância do segundo ventilador até o final da parede	3,23 m e 2,22m;	215,3 mm e 148 mm;
Distância do chão até a janela e distância da janela até o teto	0,83 m e 0,5 m	55,3 mm e 33,3 mm
Altura da janela	1,8 m	120 mm
Espessura da borda da janela	0,45 m	30 mm
Dimensões do vidro da janela	Janelas que abrem: 0,76 m x 0,53 m janelas que não abrem: 0,76 m x 0,55 m	Janelas que abrem: 50,7 mm x 35,3 mm janelas que não abrem: 50,7 mm x 36,7 mm
Dimensões do protetor de parede	0,14 m (se estendendo pela parede toda)	9,3 mm

Fonte: Os autores. (2023)

Figura 25 - Sala 3 representada em desenho técnico



Fonte: Os autores, 2023.

6.1 COTAÇÃO E AQUISIÇÃO DE MATERIAIS

Após definir os componentes para utilização no projeto e obter as medidas da sala em escala foi possível realizar a primeira cotação de matérias e componentes, vista no Quadro 6, nessa cotação foram adicionados os sensores, atuadores e microcontroladores, além dos materiais específicos para criação do protótipo em escala e componentes para auxiliar os dispositivos presentes na maquete, como os drives de motores que serão utilizados juntos aos coolers. Na própria cotação já está presente a quantidade extra de cada componente comprar para ter como reposição caso ocorrer algum imprevisto.

Quadro 6 - Primeira cotação de materiais

Descrição	Quantidade	Preço unitário	Preço total	Categoria	Frete
Cooler 5V 30 mm	6	R\$ 15,65	R\$ 93,90	Eletrônica	R\$ 19,32
Sensor de gás – MQ-135	2	R\$ 19,90	R\$ 39,90	Eletrônica	
Mini umidificador de ar ultrassônico 5V	2	R\$ 32,90	R\$ 65,80	Eletrônica	
Filtro para exaustor de fumaça	1	R\$ 10,26	R\$ 10,26	Eletrônica	
Motor <i>shield</i> arduino L2935D <i>driver</i> ponte H	4	R\$ 32,90	R\$ 131,60	Eletrônica	
Sensor de temperatura e umidade – DHT22	1	R\$ 55,90	R\$ 55,90	Eletrônica	-
Papelão Paraná – 80 cm x 110 cm – 5 unidades	1	R\$ 49,40	R\$ 49,40	Maquete	R\$ 8,75
Subtotal sem frete	R\$ 438,46				
Subtotal com frete	R\$ 466,53				

Fonte: Os autores. (2023).

É importante ressaltar que o sensor de gás utilizado, MQ-135, difere do que foi definido na base teórica, o SGP30. Durante a cotação e aquisição dos componentes, o sensor originalmente escolhido não estava disponível em estoque no

momento. A fim de evitar atrasos no projeto, foi decidido utilizar outro sensor que foi analisado em conjunto com o sensor anterior. Além disso, é válido destacar que, caso haja necessidade, outros componentes e materiais poderão ser adicionados ao longo do projeto. Ao final, se fará presente todas as informações referentes aos gastos do projeto final concluído, garantindo uma visão completa dos recursos utilizados.

Após a cotação e a aquisição dos materiais ter sido realizada era necessário a realização de teste de cada componente eletrônico individualmente para poder se certificar que o seu funcionamento, além de servir para compreender melhor o componente em si conseguir analisar e perceber possíveis problemas que o componente pode apresentar.

6.1.1 Teste do microcontrolador

Ao longo dos testes dos componentes, também verificamos se o microcontrolador selecionado seria capaz de funcionar corretamente de acordo com o projeto. Inicialmente, utilizamos o ESP32s, porém identificamos alguns problemas de comunicação entre ele e a plataforma Arduino, onde o código era criado e importado para o microcontrolador.

Para solucionar esse problema, decidimos substituir o microcontrolador pelo Arduino Mega 2560, onde teríamos a quantidade necessária de pinos para o projeto e poderíamos evitar qualquer problema na integração que poderia ocorrer ao utilizar o Arduino UNO com um Shield de expansão de pinos ou até mesmo com outro Arduino UNO. Essa escolha nos proporcionaria uma maior estabilidade e confiabilidade na comunicação do microcontrolador com os demais componentes do projeto.

6.1.2 Teste do sensor MQ-135 e o sensor DHT22

Durante os testes com os sensores, surgiu a necessidade de visualizar os dados que estavam sendo obtidos em tempo real, uma vez que na plataforma Arduino era possível acompanhar os valores, mas na maquete em si essa funcionalidade não estava presente.

Para solucionar esse problema, foi decidido adicionar um display à maquete. Esse display seria dedicado exclusivamente para mostrar os valores das medições

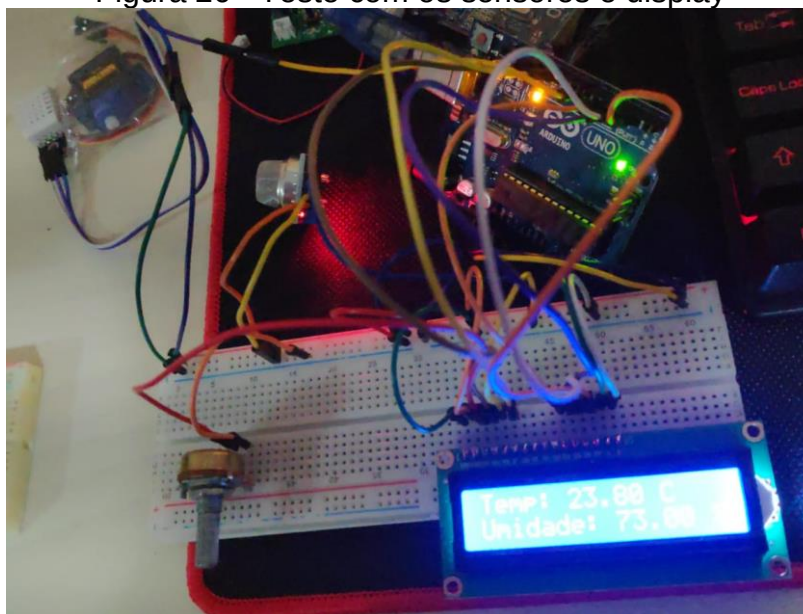
feitas pelos sensores, permitindo que qualquer pessoa possa acompanhar as informações em tempo real. Essa adição do display traria uma forma mais acessível e intuitiva de visualizar os dados coletados pelos sensores durante o funcionamento da maquete.

Realizamos o primeiro teste utilizando o sensor de gás MQ-135, o sensor de temperatura e umidade DHT22, e o display de 16x2. Para esse teste, utilizamos o microcontrolador Arduino UNO, já que o Arduino MEGA ainda não estava disponível na ocasião. O objetivo do teste era verificar o funcionamento correto dos sensores em conjunto com o microcontrolador e exibir os dados coletados no display. Embora tenhamos utilizado o Arduino UNO temporariamente, a intenção final era utilizar o Arduino MEGA para esses testes.

Para realizar o teste, foi desenvolvido um código na plataforma Arduino utilizando a linguagem comumente utilizada pelos microcontroladores Arduino, chamada de "C Arduino". Essa linguagem é essencialmente uma adaptação da linguagem C++ com algumas modificações. No código, foram utilizadas as bibliotecas LiquidCrystal para controlar o display e a biblioteca DHT para obter as informações do sensor DHT22. Além disso, foram configurados os seguintes pinos: 12, 11, 5, 4, 3 e 2 para o funcionamento do display, o pino 7 para o sensor DHT22 e o pino A0 para o sensor MQ-135. O código específico criado para esse teste pode ser visualizado no Apêndice A.

Com o teste realizado, foi possível constatar o correto funcionamento dos dois sensores e do display. Na Fig. 26, é possível visualizar os sensores e o display conectados ao Arduino, que desempenhou o papel de realizar o teste dos componentes. Além disso, na imagem, é possível observar a presença de um potenciômetro, responsável por ajustar o contraste da tela do display.

Figura 26 - Teste com os sensores e display



Fonte: Os autores, 2023.

6.1.3 Teste dos coolers e motor *Shield* Arduino

Os coolers necessitam dos drives *Shield* Arduino para serem controlados pelo microcontrolador. Durante o teste conjunto, utilizando um código em C Arduino, descrito no Apêndice B, constatou-se que os drives não eram capazes de controlar a velocidade e o sentido de rotação dos coolers. Após diversas análises foi possível perceber que o drive não consegue controlar esses parâmetros devido a construção dos coolers, onde na estrutura deles se encontra ímãs permanentes bloqueando a mudança do sentido de giro e a presença de uma impedância impedindo o controle da velocidade. Com essas informações obtidas, se definiu que o controle envolvendo os coolers seria dado através do tempo de funcionamento e não através da velocidade e sentido de giro. E para que ainda conseguisse simular a operação de um exaustor, foi estabelecido que dois dos coolers seriam montados na maquete para simular ventiladores e os outros dois seriam montados de forma que sua posição conseguisse operar de maneira similar a um exaustor.

Após constatar os problemas relacionados aos coolers e ao *Shield* Arduino, percebeu-se que essa não era a melhor escolha para o projeto, especialmente devido à sua incompatibilidade com o Arduino MEGA. Para contornar essa questão, decidiu-se adquirir módulos de relés, proporcionando uma solução mais prática para o acionamento dos coolers. Esses módulos de relés permitirão um melhor controle e

integração dos coolers com o Arduino MEGA, superando as limitações encontradas com o Shield Arduino.

Com a escolha dos módulos de relé para o controle dos motores dos coolers, foi desenvolvido um código na plataforma Arduino para o Arduino MEGA, a fim de testar e comprovar o funcionamento dos módulos de relé em conjunto dos coolers. No código, foram atribuídos os pinos 22, 24, 26 e 28 do Arduino MEGA para a conexão dos módulos de relé. Além disso, definiu-se que os módulos operariam com a configuração de ligação normalmente aberta. O código completo referente a esse segundo teste, envolvendo os coolers e os módulos de relé, pode ser encontrado no Apêndice C.

6.1.4 Teste do mini umidificador de fumaça

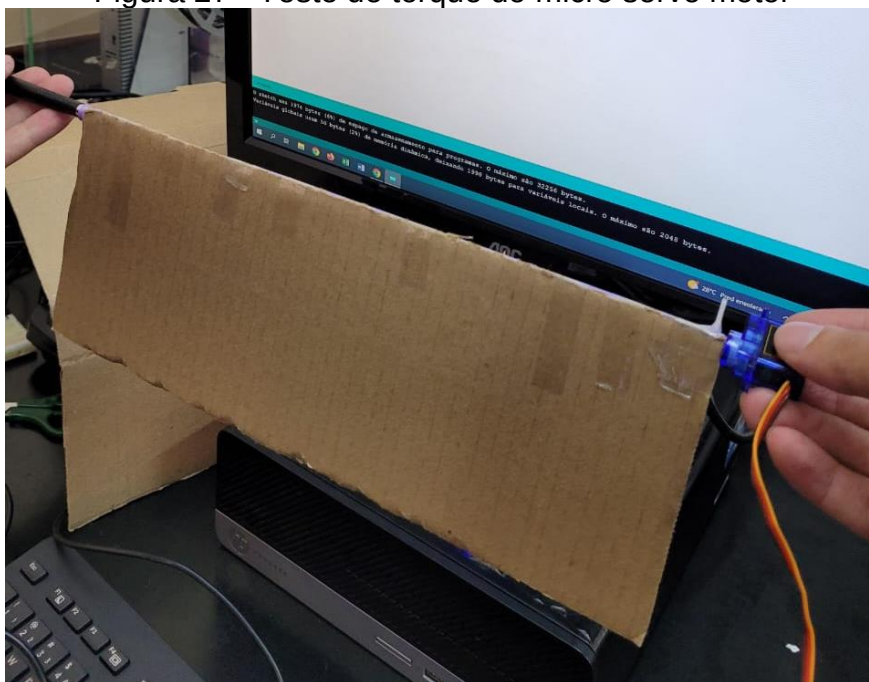
O teste do mini umidificador acabou sendo bem simples de ser realizado, já que ele não necessita de uma ligação direta com um microcontrolador, só é necessário energizar o componente e apertar um botão presente para que assim o seu funcionamento ocorra, com isso acabou sendo realizado testes onde foi possível de perceber o funcionamento esperado. Devido à ausência de uma conexão direta entre o microcontrolador e o mini umidificador, é necessário realizar algumas modificações no umidificador. Uma opção é remover o botão existente no umidificador, permitindo que ele seja ligado e desligado pelo microcontrolador. Outra possibilidade é adicionar um componente controlado pelo microcontrolador, como um mini servo motor, que seja capaz de acionar o botão do umidificador. Essas alterações possibilitarão que o microcontrolador tenha controle sobre o funcionamento do umidificador, permitindo ligá-lo e desligá-lo de acordo com as necessidades do projeto.

Após análises detalhadas do componente, chegou-se à conclusão de que o uso de um micro servo motor para acionar o mini umidificador seria a solução mais adequada para o problema. Com base nisso, foi desenvolvido um código em C Arduino, visto no Apêndice D, com o objetivo de verificar o acionamento correto do mini umidificador. Após a realização dos testes com ambos os componentes trabalhando em conjunto, foi possível comprovar que esse método de utilizar o micro servo motor para ligar e desligar o mini umidificador é eficaz e viável para o projeto.

6.1.5 Testes e montagem da maquete

Para o primeiro teste envolvendo a maquete se deu a partir da ideia de no sistema ter um atuador que conseguisse realizar o controle das janelas, permitindo que assim a abertura dela conseguisse realizar a dissipação de gás nocivos presente no ambiente fechado e permitir que o próprio ambiente fosse refrigerado. Com isso em mente foi realizado um teste usando um micro servo motor junto a um retângulo de papelão, como pode ser visto na Fig. 27, para verificar se o torque de 1,7 kgf.cm (quilograma-força centímetro) do micro servo motor seria suficiente para movimentar o papelão, que nesse caso estaria representando as janelas da maquete. Para realizar o teste se teve a criação de um código simples em linguagem C Arduino junto de um Arduino UNO, podendo ser visto no Apêndice E, com isso se concluiu que o micro servo motor tem a total capacidade de realizar a movimentação da janela com o seu torque. Além disso foi pensando em qual componente conseguiria realizar as abertura das janela quando o sistema fosse aplicado em um ambiente real, para isso chegamos na conclusão da utilização do atuador EM56-L250 da EMTECO, visto na Fig. 28, que tem como principal aplicação motorizar janelas maxim ar e podendo trabalhar com diferentes tipos de sistemas de automatização de ambientes.

Figura 27 - Teste de torque do micro servo motor



Fonte: Os autores, 2023.

Figura 28 - Atuador EM56-L250



Fonte: EMTECO, 2023.

Após a realização do teste com servo motores se teve início da confecção das paredes e base da maquete nas dimensões em escala estabelecidas, após isso outros detalhes da sala foram realizados, como por exemplo a lousa, quadro de aviso e os espaços para janela e porta, podendo ser vistos as paredes da maquete na Fig. 29 e os outros componentes como a lousa na Fig. 30. Devido estar sendo utilizado o papelão paraná, que já possui um bom acabamento, foi estabelecido que as paredes não seriam pintadas para que assim não ocorresse nenhum problema em relação com a umidade gerada pelo mini umidificador e a tinta.

Figura 29 - Base e paredes da maquete



Fonte: Os autores, 2023.

Figura 30 - Lousa, quadro de aviso e quadro de força



Fonte: Os autores, 2023.

Com tudo já cortado e os quadros e lousa colados nas paredes se iniciou a construção das partes moveis da janela, onde se foi criado duas tiras no formato das janelas com o papelão paraná e colocadas sobrepostas a parede. Por meio de uma ligação entres as duas tiras foi possível realizar a movimentação de abertura, além disso foi colado nas janelas folhas de acetato transparente para simular os vidros. A parede com as janelas e a sua ligação para abertura podem ser vistas na Fig. 31.

Figura 31 - Janelas da maquete



Fonte: Os autores, 2023.

Após toda a construção das janelas se definiu que todas as paredes seriam propriamente coladas quando já estivesse com os componentes eletrônicos acoplados, para que assim fosse possível realizar qualquer alteração de posição nos componentes com uma maior facilidade e na Fig. 32 podemos ver as paredes já com detalhes, porém ainda não coladas.

Figura 32 - Paredes ainda não coladas



Fonte: Os autores, 2023.

Após a conclusão das paredes e dos detalhes da maquete, a próxima etapa foi a construção de uma caixa para abrigar o micro servo motor que acionará o mini umidificador. Para essa finalidade, utilizou-se papelão paraná, que foi cortado de forma a acomodar os dois componentes de forma precisa. O objetivo era garantir que todos os cabos e fios necessários pudessem ser conectados ao micro servo motor e ao mini umidificador, além de permitir um armazenamento organizado dos componentes dentro da caixa. A Fig. 33 mostra a caixa já finalizada e na Fig. 34 mostra a caixa com o mini umidificador e o micro servo motor ligado ao um microcontrolador.

Figura 33 - Caixa para o micro servo motor e o mini umidificador



Fonte: Os autores, 2023.

Figura 34 - Caixa com o micro servo motor e mini umidificador, com ligações



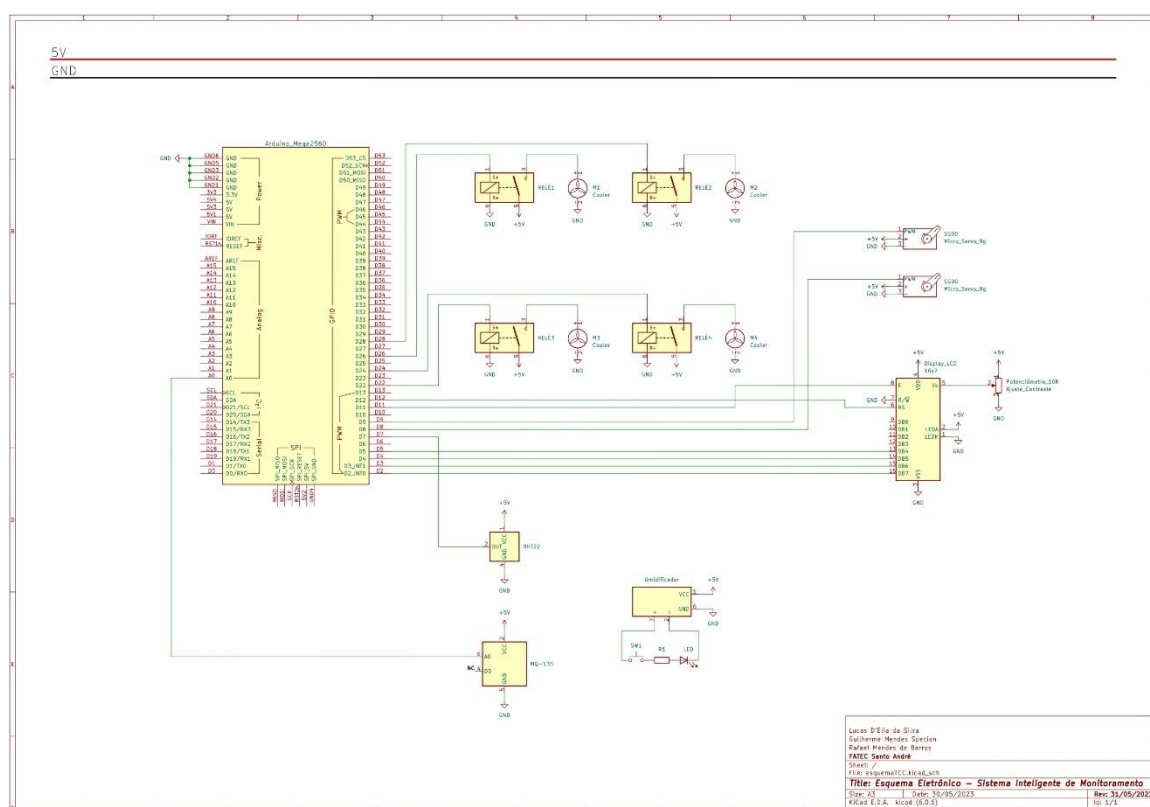
Fonte: Os autores, 2023.

6.2 IMPLEMENTAÇÃO DE SENSORES E ATUADORES

Após a realização dos testes individuais dos componentes, foi feito um teste de integração para verificar se haveria alguma interferência, seja física ou através do código. Todas as conexões elétricas entre os sensores, atuadores e controladores foram documentadas em um esquema elétrico, que pode ser visto na Fig. 35. Esse esquema elétrico foi elaborado para facilitar a compreensão das conexões e garantir uma montagem correta e precisa. Podemos ver no esquema elétrico que todos os

equipamentos foram devidamente ligados ao Arduino Mega e a VCC de uma fonte de 5 Volts e 3,1 Amperes. A fonte de alimentação utilizada é capaz de fornecer energia tanto para o microcontrolador quanto para os atuadores e o display. No caso do display, existem dois pinos que são alimentados pela saída de 5 V da fonte, enquanto três pinos estão conectados ao GND. O pino VDD e o pino A estão ligados à saída de 5 V da fonte, enquanto o pino VSS, o pino K e o pino RW estão conectados ao GND. Vale ressaltar também que junto ao display existe a presença de um potenciômetro regulável de 10k de resistência responsável por definir o contraste da tela.

Figura 35 - Esquema Elétrico



Fonte: Os autores, 2023.

O teste de implementação serviu para estabelecer o código principal que será que utilizado no projeto e que se encontra presente no Apêndice F. Assim como nos outros testes, o código final do projeto foi criado utilizando a plataforma Arduino e a linguagem C Arduino. No código final foi utilizado ao todo três bibliotecas sendo elas a *LiquidCrystal*, DHT e Servo, e um total de 14 pinos, onde no Quadro 7 pode ser visto o número do pino e para qual função estava sendo utilizada.

Quadro 7 - Pinos utilizado no código final

Pino	Função
2	Ligada ao pino D7 do display
3	Ligada ao pino D6 do display
4	Ligada ao pino D5 do display
5	Ligada ao pino D4 do display
7	Ligada ao pino de dados do DHT22
8	Ligada ao micro servo motor 2 (janela)
9	Ligada ao micro servo motor 1 (umidade)
11	Ligada ao pino <i>enable</i> do display
12	Ligada ao pino RS do display
22	Ligada ao modulo relé 1
24	Ligada ao modulo relé 2
26	Ligada ao modulo relé 3
28	Ligada ao modulo relé 4
A0	Ligada ao pino analógico do MQ-135

Fonte: Os autores. (2023).

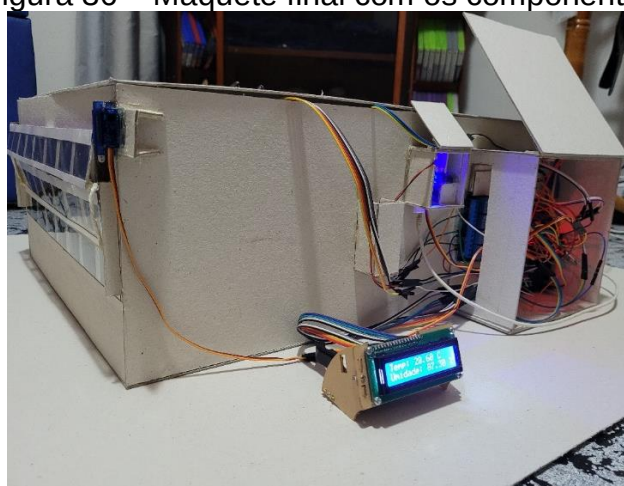
Ao analisar o código podemos ver que se funcionamento se dá comparando os valores estabelecidos como os ideais com os valores obtido pelos sensores, e quando uma determinada condição se faz verdadeira os atuadores são ligados para conseguir modificar os parâmetros do ambiente. Os valores ideais de temperatura e umidade, 22°C e 50% respectivamente, foram obtidos através da média dentro da faixa de valores considerados ideais, como mencionado anteriormente no capítulo 5.2. Esses valores servem como referência para o controle e monitoramento do ambiente na maquete. O valor ideal do índice da qualidade do ar foi definido de acordo com estabelecido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) onde é estipulado que o índice de qualidade do ar considerado boa é entre 0 e 40, porém segundo a própria CETESB (s.d.) o índice é definido de acordo com o pior caso dentro dos diferentes tipos de poluente que normalmente são medidos e sendo assim o valor atribuído como valor ideal máximo para o projeto foi definido como 60 tendo a consideração de que o sensor apresenta uma certa limitação de detecção de diferentes poluente e sensibilidade ao ponto de que a própria respiração humana

próxima ao sensor tem o poder de interferir nos valores medidos. O sistema atua no ambiente quando as condições de temperatura e índice de qualidade do ar excedem os valores ideais, e quando o valor de umidade está abaixo do ideal. No caso de a temperatura ser maior que o ideal, dois coolers são ligados como ventiladores e a janela é aberta para reduzir a temperatura. Para a umidade abaixo do ideal, o mini umidificador é acionado até que o valor ideal seja alcançado. E no caso de a qualidade do ar exceder o ideal, dois coolers são acionados como exaustores até que a qualidade do ar esteja dentro dos parâmetros esperados.

6.3 IMPLEMENTAÇÃO DE COMPONENTES NA MAQUETE

A integração de toda a parte eletrônica com a maquete foi realizada de forma organizada. No teto da maquete, foram instalados os quatro coolers, sendo dois deles posicionados invertidos para simular o funcionamento de um exaustor. O sensor MQ135 também foi fixado no teto. Na parede interna, com comprimento de 440 mm, foi colocado o sensor DHT22. Por outro lado, na parede perpendicular à janela, com comprimento de 600 mm, foram instalados o Arduino MEGA, os módulos de relé, o display e a caixa do mini umidificador contendo o servo motor. A disposição desses componentes na maquete final pode ser observada na Fig. 36.

Figura 36 – Maquete final com os componentes



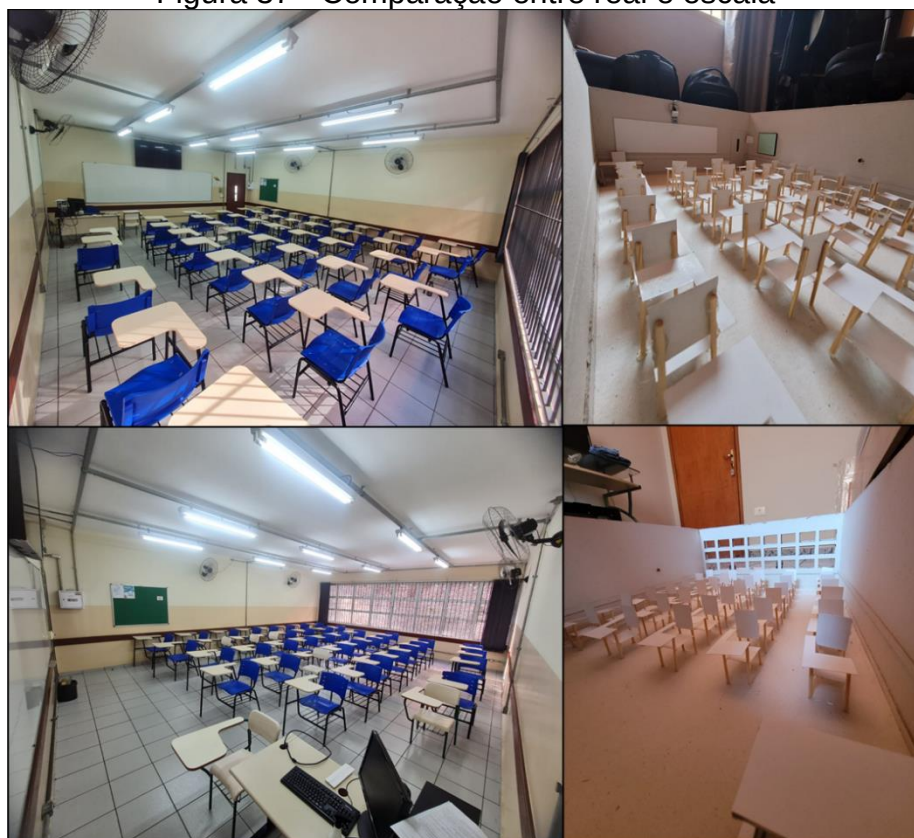
Fonte: Os autores, 2023.

Junto aos componentes foi adicionado um suporte de acrílico para o display para que assim a visualização do componente fosse facilitada, além de um reservatório com água feito com tubo de plástico para abastecer o mini umidificador.

Tendo os componentes colocados nas paredes e tetos, foi realizado a proteção dos fios deles passando por diferentes canudos que no qual também serviriam para organizar toda a fiação e simular conduteis que são possíveis de se encontrar na sala de aula da Fatec Santo André que serviu como referência para elaboração e montagem da maquete.

Tendo todos os fios propriamente organizados e protegidos foi realizado a ligação deles com os componentes e colados na maquete visando que nenhum fio ficasse danificado para não ter nenhum problema no funcionamento do sistema. Após essa última etapa foi realizada a colagem das paredes, teto e as representações em escala das carteiras universitárias e da mesa do professor, podendo ser visto uma comparação do ambiente real com a maquete na Fig. 37.

Figura 37 - Comparação entre real e escala



Fonte: Os autores, 2023.

6.4 CUSTO TOTAL INVESTIDO NO PROJETO

Mudanças e acréscimos de componentes ao longo de um projeto ocorreram, principalmente após a realização de testes e validações. Essas mudanças são necessárias para garantir o bom funcionamento do sistema e atender aos requisitos específicos do projeto. Portanto existem diferenças entre a lista inicial de componentes e materiais definidos na cotação com os componentes efetivamente utilizados no projeto final. Essas modificações são parte do processo de desenvolvimento e garantem que o sistema seja construído de forma mais eficiente e precisa. Para registrar todos os valores investido no projeto final foi criado o Quadro 8 onde apresentar todos os custos envolvendo os sensores, atuadores e matérias extras.

Quadro 8 - Custo total de investimento no projeto

Descrição	Quantidade	Preço	Categoria
Cooler 30 mm	4	R\$ 62,60	Eletrônica
Sensor de gás – MQ-135	1	R\$ 19,90	Eletrônica
Mini umidificador de ar ultrassônico	1	R\$ 32,90	Eletrônica
Filtro para exaustor de fumaça	1	R\$ 10,26	Eletrônica
Modulo relé 4 canais	1	R\$ 36,00	Eletrônica
Sensor de temperatura e umidade – DHT22	1	R\$ 55,90	Eletrônica
Papelão Paraná – 80 cm x 110 cm – 5 unidades	1	R\$ 49,40	Maquete
Display 16x2	1	R\$ 30,00	Eletrônica
Suporte de acrílico para display 16x2	1	R\$ 17,90	Maquete
Mini servo motor	2	R\$ 51,80	Eletrônica

Fonte de 5V 3,1A	1	R\$ 20,31	Eletrônica
Arduino MEGA	1	R\$ 179,90	Eletrônica
<i>Protoboard</i>	1	R\$ 12,00	Eletrônica
Papel cartão - 5 folhas	1	R\$ 12,00	Maquete
Folha de acetato – 12 folhas	1	R\$ 25,00	Maquete
VALOR TOTAL APLICADO NO PROJETO:		R\$ 615,87	

Fonte: Os autores. (2023).

Vale ressaltar que o custo total não incluiu componentes auxiliares como cola, fios e cabos e que apenas os componentes e materiais principais para o projeto foi inserido na tabela.

7 RESULTADOS OBTIDOS

Durante os testes realizados na maquete finalizada, foram obtidos observações e resultados significativos em relação ao funcionamento do sistema. Os coolers de exaustão, sendo eles os 3° e 4° apresentado na programação, foram acionados automaticamente quando o Índice de Qualidade do Ar (IQA) estava alto. Conforme o índice diminuiu, os coolers foram desligados. Isso demonstra a capacidade do sistema em manter a qualidade do ar controlada. O sistema de acionamento do umidificador mostrou-se eficiente ao aumentar a umidade do ambiente quando necessário. Quando exposto a ar quente, o módulo umidificador foi desligado, ajustando a umidade de acordo com as condições pré-definidas. Os coolers de ventilação, 1° e 2° da programação, foram acionados automaticamente para aumentar a ventilação e resfriamento do ambiente. Simultaneamente, as janelas foram abertas utilizando o segundo servo do sistema. Essa ação conjunta demonstra a capacidade de resposta integrada do sistema para garantir o conforto térmico adequado.

Foram conduzidos mais dois experimentos para avaliar o desempenho do sistema em diferentes cenários. Os resultados obtidos forneceram informações valiosas para o aprimoramento do projeto.

Na primeira simulação, o ambiente não estava completamente fechado e foram aplicados 1,2°C acima do limite de acionamento das janelas, tratando-se de 25°C. O objetivo era permitir que o calor se dissipasse naturalmente, sem intervenção ativa do sistema. Após um tempo total de 1 minuto e 23 segundos, a temperatura se estabilizou. Esse teste demonstrou a capacidade das janelas de responderem adequadamente ao limite de temperatura, promovendo a ventilação necessária para o controle térmico do ambiente.

No segundo teste, realizou-se uma simulação de uma carga térmica significativa no ambiente completamente fechado, utilizando um secador de cabelo para insuflar ar quente pela porta da maquete. A temperatura ultrapassou 3,4°C além do limite estabelecido de 25°C. Nesse momento, as janelas foram abertas e dois coolers de ventilação foram acionados. Foi observado um tempo de estabilização de temperatura de 2 minutos e 50 segundos. Esse teste evidenciou a eficiência do

sistema em responder de maneira rápida e eficaz a uma situação de alta carga térmica, garantindo o conforto térmico adequado ao ambiente.

Esses testes forneceram informações cruciais sobre o desempenho do sistema em condições desafiadoras. Os resultados demonstraram que as janelas e os coolers de ventilação são componentes eficientes na regulação térmica da maquete. Além disso, os tempos de estabilização indicaram a capacidade de resposta do sistema em situações de variações bruscas de temperatura.

Todos os resultados ressaltam a eficiência do sistema em relação ao funcionamento dos componentes, evidenciando sua capacidade de ajustar-se às condições ambientais.

8 PROPOSTAS FUTURAS

O trabalho presente consegue apresentar diversas implementações a um sistema de monitoramento para que assim torne o ambiente escolar mais adequado para a saúde e bem-estar, porém, existe ainda diversas possibilidades de aprimoramento de todo o sistema que poderiam servir como ideias para futuras pesquisas. Essas melhorias futuras, alinhadas com as capacidades do sistema atual, visam potencializar seu desempenho e expandir suas funcionalidades. A integração de mais sensores, o desenvolvimento de algoritmos avançados, a utilização de tecnologias de comunicação sem fio, a melhoria no módulo umidificador e coolers e o desenvolvimento de uma interface de usuário intuitiva são passos importantes para a evolução do sistema e para sua aplicação prática em cenários pós-pandemia.

8.1 Integração de mais sensores

O sistema atual faz uso dos sensores DHT22 e MQ-135, proporcionando informações sobre temperatura, umidade e qualidade do ar, no entanto, para um monitoramento mais abrangente e preciso, é recomendável a incorporação de outros sensores, como detectores de presença, sensores de gás específicos e sensores de luminosidade. Essa expansão permitirá uma avaliação mais completa das condições ambientais e a detecção de potenciais riscos.

8.2 Implementação de algoritmos avançados de processamento de dados

Para agregar inteligência ao sistema, é possível desenvolver algoritmos de aprendizado de máquina que analisem os dados coletados pelos sensores. Esses algoritmos podem identificar padrões, prever condições adversas ou necessidades de ajuste, fornecendo uma resposta proativa às mudanças ambientais. O uso de técnicas de processamento de sinais e análise estatística também pode contribuir para uma interpretação mais precisa dos dados coletados.

8.3 Uso de tecnologias de comunicação sem fio

A adição de capacidades de comunicação sem fio ao sistema, como Bluetooth, Wi-Fi ou tecnologias de rede de sensores sem fio (WSN), permitirá a transmissão em tempo real dos dados coletados para dispositivos remotos, como aplicativos móveis ou computadores. Essa funcionalidade possibilitará o monitoramento e controle do sistema a distância, oferecendo maior flexibilidade e praticidade aos usuários.

8.4 Melhoria módulo umidificador e coolers

Sugere-se aprimorar o sistema de acionamento do módulo umidificador por meio da implementação de um relé ou qualquer adaptação no circuito já existente. Essa melhoria permitirá um controle mais preciso e confiável do módulo umidificador, proporcionando ajustes mais eficientes e adequados à umidade desejada.

Considerando que os coolers atuais não permitem a reversão de sentido de rotação devido aos ímãs que bloqueiam essa função, uma melhoria possível é substituir os coolers convencionais por motores *brushless* DC. Esses motores permitem o controle do sentido de rotação e a variação da velocidade de forma mais flexível e precisa. Além disso, eles podem ser controlados por meio de técnicas de controle de motores *brushless*, como a modulação por largura de pulso (PWM) e o uso de drivers adequados. Essa atualização permitirá um controle mais eficiente e personalizado da ventilação do ambiente,

8.5 Desenvolvimento de uma interface de usuário intuitiva

Aprimorar a interface de usuário do sistema é essencial para facilitar a interação e compreensão dos dados coletados. Recomenda-se explorar o desenvolvimento de uma interface visual intuitiva, talvez por meio de um aplicativo móvel, que permita ao usuário visualizar os parâmetros monitorados, ajustar configurações e receber notificações relevantes. Uma interface amigável e de fácil utilização melhorará a usabilidade e a experiência do usuário.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio de estudos de trabalhos acadêmicos e artigos científicos dentro da área de automação residencial, nota-se que o método de automatização se mantém semelhante em todas as estruturas já vistas, com adições próprias para cada aplicação e sempre com o foco na segurança, conforto e eficiência energética.

O levantamento dessas bases de desenvolvimento é de suma importância e sem ela não seria possível dimensionar todas as opções viáveis de aplicação de sensores e critérios para eficácia. A ideia geral do projeto se baseia nessas escolhas e proporciona uma representação fiel as condições que seriam consideradas ideais, mantendo as características das condições que poderão ser enfrentadas por um ambiente fechado em escala real.

Foi possível se perceber o progresso alcançado com a integração dos componentes na maquete final, onde cada atuador devidamente selecionado desempenha sua função específica. Com os testes realizados mostraram que a maquete simula com precisão as condições ideais e responde adequadamente aos comandos.

Os resultados obtidos através dos testes até o momento comprovam a viabilidade e eficácia do projeto, fornecendo uma base sólida para estudos futuros e aprimoramentos. A funcionalidade e desempenho do sistema são evidenciados pela execução correta de cada atuador na maquete.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

Adafruits industries. Datasheet: Adafruit SGP30 TVOC/eCO2 Gas Sensor. Publicação Eletrônica, 2021.

Adafruits industries. Disponível em: <<https://www.adafruit.com/product/3709>>. Acesso em: 1 de jun. 2023.

AMAZON. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/Arctic-Air-Ultra-resfriador-evaporativo/dp/B0B7W6GDBN/ref=asc_df_B0B7W6GDBN/?tag=googleshopp00-20&linkCode=df0&hvadid=379712330853&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=3817961879338198079&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=1001773&hvtargid=pla-1877683396245&psc=1>. Acesso em: 27 de nov. 2022

ANGEL, P. M. **Introducción a la domótica**; Domótica: controle e automação. Escuela Brasileño-Argentina de Informática. EBAI. 1993.

ANGELO, Thiago D'. **Sistema domótico de baixo custo via android e arduino simulado em uma maquete automatizada**. 2014. 80f. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia de Controle e Automação – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

AOSONG. Datasheet: Temperature and humidity module: AM2302 Product Manual. Publicação Eletrônica, [s.d].

ARAÚJO, I. B. Q. *et al.* Desenvolvimento de um Protótipo de Automação Predial/Residencial Utilizando a Plataforma de Prototipagem Eletrônica Arduino. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 40., 2012, Belém: Abenge, 2012. p. 1 - 9. Disponível em: <www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/7/artigos/103723.pdf>. Acesso em: 8 set. 2022.

Arduino Store. Datasheet: Arduino MEGA 2560 Rev3. Publicação Eletrônica, 2023.

Arduino Store. Datasheet: Arduino UNO R3. Publicação Eletrônica, 2023.

ASAIR. Datasheet: AHT10 Technical Manual. Publicação Eletrônica, 2018.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5413: Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, abr. 1992.

BOLZANI, C.A.M. **Residências Inteligentes**. Editora Livraria da Física, São Paulo. 2004b.

BRAGA, C. M. P. et al. Módulo Didático para Ensino de Domótica com Ênfase em Eficiência Energética. Projeto de Capacitação Laboratorial em Eficiência Energética – Integração de Técnicas de Automação Residencial e Predial, Eletrobrás/PROCEL, 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Carmela-Polito-Braga/publication/281408298_Modulo_Didatico_para_Ensino_de_Domotica_com_Enfase_em_Eficiencia_Energetica/links/55e5c5e008aede0b57375cd5/Modulo-Didatico-para-Ensino-de-Domotica-com-Enfase-em-Eficiencia-Energetica.pdf>. Acesso em: 9 set. 2022.

BRAGA, Laura Caixeta. **Estudo de Aspectos de Eficiência Energética de Edificações com uma Abordagem de Automação Predial**. Orientadora: Carmela Maria Polito Braga. 2007. 165f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8D2JQU/1/laura_caixeta_braga.pdf>. Acesso em: 8 set. 2022.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência Social. Portaria MTPS nº 3.751, de 23 de novembro de 1990. NR-17 Ergonomia. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 26 nov. 1990. Disponível em: <http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEFBAD7064803/nr_17.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2023.

BRASIL, Portaria n.º 3.751, de 23 de novembro de 1990. **Adequação da Norma Regulamentadora n.º 17 – ERGONOMIA, inserida na Portaria MTb/GM n.º 3.214, de 08 de junho de 1978, à evolução das relações de trabalho, dos métodos e avanços da tecnologia**. Disponível em: <<http://www.ctpconsultoria.com.br/pdf/Portaria-3751-de-23-11-1990.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2022.

BUNEMER, Ricardo. Domótica assistiva utilizando sistemas integrados de supervisão e controle. Dissertação. 163p. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas, 2014.

CAMPOS, R. A. F. C. Automação Residencial Utilizando Arduino e Aplicação Web. Orientador: Prof. MSc. Luciano Henrique Duque. 2014. 85 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia de Computação, Centro Universitário de Brasília, Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Brasília, 2014. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/5461/1/Monografia_Roberto>. Acesso em: 18 mai. 2022.

CARDOSO, L. F. C. SISTEMA DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL VIA REDE CELULAR USANDO MICROCONTROLADORES E SENSORES, **REUCP**, V.8, n.2, p. 70-83, 2014.

CETESB. Padrões de Qualidade do Ar. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/padrees-de-qualidade-do-ar/>>. Acesso em: 27 mai. 2023.

EMTECO. Datasheet: MANUAL COMPLETO – ATUADOR MAXIM AR – EM56 ELÉTRICO. Publicação Eletrônica, [s.d].

Espressif Systems. Datasheet: ESP32. Publicação Eletrônica, 13 out 2022.

Espressif Systems. Datasheet: ESP32. Publicação Eletrônica, 13 out 2022.

FIÚZA, Mayara Angélica Fernandes. **Desenvolvimento de um protótipo de automação para ambientes residenciais visando segurança e controle de acesso**. 2018. 60f. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia de Automação Industrial - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá, 2018.

GRAÇA, V. A. Z.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; PETRECHE, J. R. D. An evaluation method for school building design at the preliminary phase with optimisation of aspects of environmental comfort for the school system of the State São Paulo in Brazil. **Building and Environment**, v. 42, n. 2, p. 984-999, 2007.

HEIDER, T; KIRSTE, T. Smart environments and self-organizing appliance ensembles. Aarts E, Encarnação J. L. (eds): True Visions, Springer, 2005.

JUNIOR, A. J. O. *et al.* AVALIAÇÃO DA PRECISÃO DE MEDIÇÃO DO SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR AM2302. *In: Jornada Científica e Tecnológica da FATEC de Botucatu*, 4., 2015, Botucatu: Jornacitec, 2015. Disponível em: <<http://www.jornacitec.fatecbt.edu.br/index.php/IVJTC/IVJTC/paper/viewFile/275/516>>. Acesso em: 13 nov. 2022.

KROEMER, E.; GRANDJEAN, E. **Manual de ergonomia adaptando o trabalho ao homem**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LABORATÓRIO, DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÃO. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Conforto Térmico, 2022.

LIDA, Itiro. **Ergonomia: projeto e produção**. 7. reimp. São Paulo: Edgar Blucher, 2001.

LIMA, Thiago. O melhor microcontrolador para seu projeto. Embarcados. São Paulo. 2013. Disponível em: <https://embarcados.com.br/microcontrolador/>. Acesso em: 30 nov. 2022.

LOJASRISEMODE. Disponível em: <<https://www.lojarisemode.com.br/fan/fan-individual-gamer-rise-mode-black-sem-led-120mm>>. Acesso em: 11 de nov. 2022

JUNO. Disponível em: <https://junodobrasil.com.br/climatizadores/twist/>. Acesso em: 29 de nov. 2022

MAINART, D. A.; SANTOS, C. M. A importância da tecnologia no processo ensino aprendizagem. Congresso Virtual Brasileiro de Administração, 7, 2010.

MARÇAL, Viviane Gomes et al. RELEVÂNCIA E PERCEPÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO NO PROCESSO DE APRENDIZAGEM EM SALA DE AULA. B. Téc. Senac, Rio de Janeiro, v. 44, n. 2, p. 1-12, maio/ago. 2018. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/10898/1/ARTIGO_Relev%C3%A2nciaPercep%C3%A7%C3%A3oConforto.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2023.

MOUSER. Datasheet: DHT11 Humidity & Temperature Sensor. Publicação Eletrônica, [s.d].

OEM. Datasheet: MQ-135 GAS SENSOR. Publicação Eletrônica, 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. 2022. Disponível em <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 9 set. 2022.

PEREIRA, Éder Paulo. **SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA AMBIENTES USANDO ARDUÍNO E ANDROID**. 2016. 72f. Trabalho de conclusão de curso de ciência da computação – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2016.

PILOTI, Jason Scalco. **Sistema de automação residencial: Acessibilidade no controle doméstico**. 2014. 96f. Trabalho de Conclusão de Curso do Grau de Bacharel - Tecnologias Digitais da Universidade de Caxias do Sul, 2014.

PINHEIRO, José. Falando de automação predial. **Projeto de Redes**, 20 out. 2004. Disponível em <l1nq.com/pfcxf>. Acesso em: 17 nov. 2022.

RaspberryPi. Datasheet: Raspberry Pi 3 Model B. Publicação Eletrônica, 2021.

SANTOS, E. C. B. F. D. S.; RIBEIRO, J. M.; GIACOMELLI, W. AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL: SISTEMAS MICROCONTROLADOS COM COMUNICAÇÃO WIRELESS VIA GSM. *In*: VII CONNEPI – Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, 33., 2012, Palmas: IFTO, 2012. p. 1-6. Disponível em: <<https://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/view/1043>>. Acesso em: 11 set. 2022.

SANTOS, N. dos, et al. **Antropotecnologia: A Ergonomia dos Sistemas de Produção**. Curitiba: Genesis, 1997.

SCHNEIDER, M. Do school facilities affect academic outcomes? Washington, DC: National Clearinghouse for Educational Facilities, 2002. Disponível em: <<http://www.ncef.org/pubs/outcomes.pdf>>. Acesso em: 27 jun. 2023.

SENSIRION. What is a metal oxide (MOX) sensor. Sensirion Ag. Suíça, 2022.
SGARBI, J. A. **Domótica Inteligente: Automação Residencial Baseada em Comportamento**. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) –

Faculdade de Engenharia Industrial, Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, 2007.

SGX SENSORTECH. Datasheet: The MiCS-6814 is a compact MOS sensor with three fully independent sensing elements on one package. PEWATRON. Publicação Eletrônica, 2021.

SIEMENS. Datasheet: Room air quality sensors. Publicação Eletrônica, 2023.

SIEMENS. QPA2062 Room CO₂, RH & Temperature Sensor, 0-10V / 4-20mA Output (Selectable). Disponível em: <<https://hit.sbt.siemens.com/RWD/app.aspx?RC=US&lang=en&MODULE=Catalog&ACTION=ShowProduct&KEY=BPZ%3aQPA2062>>. Acesso em: 1 de jun. 2023.

SHIREHJINI, A. A. N.; KLAR, F.; KIRSTE, T. 3DSim: Rapid Prototyping Ambient Intelligence. 2005 Jan: 1-8.

TONIDANDEL, F; TAKIUCHI, M.; MELO, E. **Domótica Inteligente: Automação baseada em comportamento**. Congresso Brasileiro de Automática. 2004.

USINAINFO. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/bombinha-de-agua-e-ar/mini-umidificador-de-ar-ultrassonico-5v-nevoa-40-mlh8053.html?search_query=umidifica&results=5>. Acesso em: 27 de nov. 2022.

USINAINFO. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-umidade-arduino/sensor-de-umidade-e-temperatura-am2302-dht22-original-40-a-80c-2813.html?gclid=Cj0KCQjwnf-kBhC>>. Acesso em: 1 de jun. 2023.

WARGOCKI, P. et al. The effects of classroom air temperature and outdoor air supply rate on the performance of school work by children. **Proceedings of Indoor Air I**, v. 1, p. 368-372, 2005.

APÊNDICE A – Código para teste do sensor MQ-135, sensor DHT22 e display

```
#include <LiquidCrystal.h> // Inclui a biblioteca LiquidCrystal para controle do display
#include <DHT.h> // Inclui a biblioteca DHT para controle do sensor DHT22

#define DHTPIN 7 // Define o pino digital usado pelo sensor DHT22
#define DHTTYPE DHT22 // Define o tipo do sensor DHT22

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // Cria o objeto dht para controle do sensor DHT22

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); // Cria o objeto lcd para controle do display 16x2

int intervalo = 5000; // Define o intervalo de tempo em milissegundos para atualização do
display
unsigned long ultimaAtualizacao = 0; // Armazena o tempo da última atualização do
display
int secaoAtual = 0; // Armazena a seção atual do display (0 = temperatura, 1 = umidade,
2 = MQ-135)

void setup() {
  Serial.begin(9600); // Inicia a comunicação serial a uma taxa de 9600 bps
  dht.begin(); // Inicia a comunicação com o sensor DHT22
  lcd.begin(16, 2); // Inicia a comunicação com o display 16x2
  lcd.setCursor(0, 0); // Define a posição do cursor no display
  lcd.print("Sensor MQ-135"); // Exibe uma mensagem no display
  lcd.setCursor(0, 1); // Define a posição do cursor no display
  lcd.print("e DHT22"); // Exibe uma mensagem no display
  delay(2000); // Aguarda 2 segundos
}

void loop() {
```

```

float temperatura = dht.readTemperature(); // Lê a temperatura do sensor DHT22
float umidade = dht.readHumidity(); // Lê a umidade do sensor DHT22
int valorMQ135 = analogRead(A0); // Lê o valor do sensor MQ-135

// Atualiza o display
if (millis() - ultimaAtualizacao >= intervalo) {
    ultimaAtualizacao = millis();
    secaoAtual = (secaoAtual + 1) % 2; // Atualiza a seção atual (temperatura, umidade,
MQ-135)

    // Limpa o display
    lcd.clear();

    // Exibe as informações no display
    lcd.setCursor(0, 0);
    switch (secaoAtual) {
        case 0:
            lcd.print("Temp: ");
            lcd.print(temperatura);
            lcd.print(" C");
            Serial.print("Temperatura: ");
            Serial.print(temperatura);
            Serial.println(" °C");
            lcd.setCursor(0, 1);
            lcd.print("Umidade: ");
            lcd.print(umidade);
            lcd.print(" %");
            Serial.print("Umidade: ");
            Serial.print(umidade);
            Serial.println(" %");
            break;
    }
}

```

```

    case 1:
        lcd.print("IQA: ");
        lcd.print(valorMQ135);
        Serial.print("IQA: ");
        Serial.println(valorMQ135);
        break;
/*    case 2:
        lcd.print("IQA: ");
        lcd.print(valorMQ135);
        Serial.print("IQA: ");
        Serial.println(valorMQ135);
        break;*/
    }
}
}

```

APÊNDICE B – Código para o teste dos coolers utilizando o drive *Shield* Arduino

```

#include <AFMotor.h>

AF_DCMotor motor1(1, MOTOR12_1KHZ);
AF_DCMotor motor2(2, MOTOR12_1KHZ);

void setup() {
    // Define a velocidade maxima dos motores
    motor1.setSpeed(255);
    motor2.setSpeed(255);
}

void loop() {
    // Faz o motor 1 girar para frente e o motor 2 girar para trás

```

```
motor1.run(FORWARD);  
motor2.run(BACKWARD);  
}
```

APÊNDICE C – Código para o teste dos coolers utilizando os módulos relés

```
// Código para teste dos relés junto ao coolers  
// Define os pinos utilizados no pino SINAL do relé  
const int cooler1RelayPin = 22;  
const int cooler2RelayPin = 24;  
const int cooler3RelayPin = 26;  
const int cooler4RelayPin = 28;  
  
void setup() {  
  pinMode(cooler1RelayPin, OUTPUT);  
  pinMode(cooler2RelayPin, OUTPUT);  
  pinMode(cooler3RelayPin, OUTPUT);  
  pinMode(cooler4RelayPin, OUTPUT);  
}  
  
void loop() {  
  // Controle dos coolers  
  // Liga todos os coolers mandando o comando HIGH para o relé  
  digitalWrite(cooler1RelayPin, HIGH);  
  digitalWrite(cooler2RelayPin, HIGH);  
  digitalWrite(cooler3RelayPin, HIGH);  
  digitalWrite(cooler4RelayPin, HIGH);  
  
  // Aguardando por 2 segundos  
  delay(2000);  
}
```

```
// Desliga todos os coolers mandando o comando HIGH para o relé
digitalWrite(cooler1RelayPin, LOW);
digitalWrite(cooler2RelayPin, LOW);
digitalWrite(cooler3RelayPin, LOW);
digitalWrite(cooler4RelayPin, LOW);

// Aguardando por 2 segundos
delay(2000);
}
```

APÊNDICE D – Código para o teste de acionamento do mini umidificador por um micro servo motor.

```
#include <servo.h>

Servo myservo; // Criando um objeto servo

void setup() {
  myservo.attach(9); // Define o pino 9 como a saída do servo
}

void loop() {
  // movendo o servo para posição 180 graus
  myservo.write(180);
  delay(1000);

  // movendo o servo para posição 168 graus
  myservo.write(168);
  delay(1000); }
}
```

APÊNDICE E – Código para teste do torque do servo motor

```
#include <servo.h>

Servo servo1;
```

```

int servo_pin = 3;

void setup() {
  servo.attach(3);
}

void loop () {
  for (int i=0; i<120; i++) {
    servo1.write(i);
    delay(50);
  }
}

```

APÊNDICE F – Código final do sistema inteligente de monitoramento

```

//Adiciona a biblioteca ao código
#include <LiquidCrystal.h>
#include <DHT.h>
#include <Servo.h>

//Define o pino a ser utilizado pelo DTH22
#define DHTPIN 7

//Define o tipo de DTH a ser utilizado junto a biblioteca
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

//Define os pinos a ser utilizado com display
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

//Cria os objeto servo

```

```
Servo servo1, servo2;

//Define os pinos a serem utilizados pelo coolers e servos
const int ventilador1 = 22;
const int ventilador2 = 24;
const int exaustor1 = 26;
const int exaustor2 = 28;
const int servo1Pin = 9;
const int servo2Pin = 8;

//Define os valores ideais do projeto
const float temperaturIdeal = 22.0;
const float umidadeIdeal = 50;
const float IQAIdeal = 60.0;

int intervalo = 5000;
unsigned long ultimaAtualizacao = 0;
int secaoAtual = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  dht.begin();
  lcd.begin(16, 2);
  pinMode(ventilador1, OUTPUT);
  pinMode(ventilador2, OUTPUT);
  pinMode(exaustor1, OUTPUT);
  pinMode(exaustor2, OUTPUT);
  servo1.attach(servo1Pin);
  servo2.attach(servo2Pin);

  lcd.setCursor(0, 0);
```

```

lcd.print("Sensor MQ-135");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("e DHT22");
delay(2000);
}

```

```

void loop() {
    //Atribui os valores obtidos pelos sensores com as devida variaveis
    float temperatura = dht.readTemperature();
    float umidade = dht.readHumidity();
    int valorMQ135 = analogRead(A0);

    // Controle dos coolers
    // Controla os coolers quando a temperatura é maior que a ideal
    if (temperatura > temperaturIdeal) {
        digitalWrite(ventilador1, HIGH);
        digitalWrite(ventilador2, HIGH);

    }

    else {
        digitalWrite(ventilador1, LOW);
        digitalWrite(ventilador2, LOW);

    }
}

```

```

// Controla os coolers quando a qualidade do ar é maior que a ideal
if (valorMQ135 > IQAIdeal) {
    digitalWrite(exaustor1, HIGH);
    digitalWrite(exaustor2, HIGH);
}

```



```

}

else {
digitalWrite(exaustor1, LOW);
digitalWrite(exaustor2, LOW);
}

// Controle do servo 1 (umidade)
// Liga o umidificador quando a umidade for menor que a ideal
if (umidade < umidadeIdeal && servo1.read() != 111) {
servo1.write(110); // Gira para 90 graus se não estiver na posição desejada
delay(1200);
servo1.write(98);
delay(300);
servo1.write(111);

// Desliga o umidificador quando a umidade for igual ou maior que a ideal
} else if (umidade >= umidadeIdeal && servo1.read() != 112) {
servo1.write(110); // Gira para 90 graus se não estiver na posição desejada
delay(1200);
servo1.write(98);
delay(300);
servo1.write(110);
delay(1200);
servo1.write(98);
delay(300);
servo1.write(112);
}

// Controle do servo 2 (janelas)
if (temperatura < temperaturaiIdeal && servo2.read() != 90) {

```

```

servo2.write(90); // Gira para 90 graus se não estiver na posição desejada
} else if (temperatura >= temperaturadeal && servo2.read() != 0) {
    servo2.write(0); // Gira para 0 grau se não estiver na posição desejada
}

```

```

if (millis() - ultimaAtualizacao >= intervalo) {
    ultimaAtualizacao = millis();
    secaoAtual = (secaoAtual + 1) % 2;
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);

```

```

switch (secaoAtual) {
    case 0:
        lcd.print("Temp: ");
        lcd.print(temperatura);
        lcd.print(" C");
        Serial.print("Temperatura: ");
        Serial.print(temperatura);
        Serial.println(" °C");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Umidade: ");
        lcd.print(umidade);
        lcd.print(" %");
        Serial.print("Umidade: ");
        Serial.print(umidade);
        Serial.println(" %");
        break;
    case 1:
        lcd.print("IQA: ");
        lcd.print(valorMQ135);
        Serial.print("IQA: ");

```

```
    Serial.println(valorMQ135);  
    break;  
}  
}  
}
```