



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá

VINÍCIUS MANCINI

Análise preliminar de automação de um sistema de desinfecção de elevadores

Guaratinguetá

2023

Vinícius Mancini

Análise preliminar de automação de um sistema de desinfecção de elevadores

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia e Ciências do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Julien Barros da Silva Sampaio

Coorientador: Prof. Dr. Luis Rogério de Oliveira Hein

Guaratinguetá
2023

M269a	Mancini, Vinícius Análise preliminar de automação de um sistema de desinfecção de elevadores / Vinícius Mancini - Guaratinguetá, 2023. 51 f : il. Bibliografia: f. 37-40 Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2023. Orientador: Prof. Dr. Daniel Julien B. da Silva Sampaio Coorientador: Prof. Dr. Luis Rogério de Oliveira Hein 1. Elevadores. 2. Desinfecção. 3. Microcontroladores. I. Título. CDU 621.876
-------	---

VINÍCIUS MANCINI

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA”

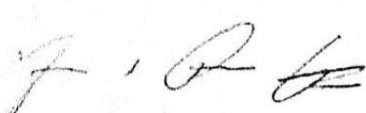
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA


Prof. Dr. DANIEL JULIEN BARROS DA SILVA SAMPAIO
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. DANIEL JULIEN BARROS DA SILVA SAMPAIO
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. LUIS ROGERIO DE OLIVEIRA HEIN
Coorientador/UNESP-FEG


Dr. MAURÍCIO DE OLIVEIRA FILHO
Membro Externo

Fevereiro 2023

DADOS CURRICULARES

VINÍCIUS MANCINI

NASCIMENTO 28/07/2000 – São Paulo / SP

FILIAÇÃO Henry Mancini
Elisângela Vieira Mancini

2018/2023 Curso de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista – UNESP – Câmpus de Guaratinguetá

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela contínua demonstração de graça e misericórdia em minha vida, a meus pais, Henry Mancini e Elisângela Vieira Mancini, por terem investido tanto em minha formação, com apoio emocional e financeiro, à equipe ElevaUV, por me concederem a oportunidade para trabalhar e contribuir para com este projeto, ao meu orientador Daniel Julien da Silva Sampaio pelo suporte durante a graduação, por meus amigos, em especial, Thales Lobo, Matheus Vinícius Resende, Matheus Cerqueira, e Tales Hiro pela companhia e apoio durante a nossa formação, à equipe FEG Robótica, por ter me concedido apoio e experiências incríveis e únicas, e aos funcionários da Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá que se dedicam a possibilitar o ensino público, gratuito e de qualidade.

“Confia ao Senhor as tuas obras, e teus
pensamentos serão estabelecidos”

Provérbios 16:3 (ARC)

RESUMO

Infecções hospitalares são uma das problemáticas enfrentadas atualmente pelos profissionais de saúde, causando maior mortalidade, aumentando o tempo de internação médio e diminuindo a rotatividade de leitos nos hospitais. Um dos principais meios de infecção atualmente em hospitais são as superfícies de alto toque, as quais podem se tornar reservatórios de agentes infecciosos, principalmente em ambientes usualmente negligenciados no cronograma de limpeza de um hospital, como elevadores. Este projeto tem como objetivo a criação de um sistema que permita a desinfecção automática das superfícies presentes em elevadores em hospitais por meio da irradiação com Ultravioleta tipo C através de uma lâmpada controlada por um microcontrolador ESP-32. O protótipo desenvolvido se demonstrou funcional, mas com limitações no quesito da detecção de usuários estáticos no elevador, que pode ser aprimorado por meio da implementação da detecção de presença por meio de imagens.

PALAVRAS-CHAVE: sistema; desinfecção; UVC; elevadores; hospitais.

ABSTRACT

Hospital-acquired infections are one of the problems currently faced by health professionals, causing higher mortality, increasing the average length of stay and decreasing the bed turnover rate in hospitals. One of the main means of infection in hospitals today are high-touch surfaces, which can become reservoirs of infectious agents, especially in environments usually neglected in the cleaning schedule of a hospital, such as elevators. This project aims to create a system that allows the automatic disinfection of surfaces present in elevators in hospitals by means of C-type Ultraviolet irradiation through a lamp controlled by an ESP-32 microcontroller. The developed prototype proved to be functional, but with limitations in the detection of static users in the elevator, which can be improved by implementing presence detection through images.

KEYWORDS: system; disinfection; UVC; elevators; hospitals.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico de quantidade de documentos publicados por ano com as palavras-chave “UVC”, “Desinfection” e “System”	15
Figura 2 – (A) Susceptibilidade relativa de RNA ou DNA, assim como bactérias <i>E. coli</i> e vírus MS2, extraído de valores publicados (CHEN; CRAIK; BOLTON, 2009) (B) Ilustração do processo de dimerização das bases pirimidina na dupla hélice de DNA exposta à radiação UVC (C) Distribuição espectral da potência para diferentes fontes germicidas UV.....	16
Figura 3 – Diagrama funcional de blocos ESP32-WROOM-32	18
Figura 4 – Sinais de comunicação via SPI	19
Figura 5 – Ilustração de um pacote de dados pelo protocolo I2C	20
Figura 6 – Ilustração do funcionamento de um acelerômetro capacitivo	22
Figura 7 – Criação da tensão de Hall ao se aplicar um campo perpendicular à corrente ...	23
Figura 8 – Diagrama de blocos simplificado do sistema	25
Figura 9 – Módulo HC-SR501	25
Figura 10 – Características e funcionalidades do módulo HC-SR501.....	26
Figura 11 – Módulo HB-100	26
Figura 12 – Circuito amplificador de sinal para o HB-100 alimentado com corrente contínua	27
Figura 13 – Sensor indutivo	28
Figura 14 – Circuito de interface para acionamento da lâmpada UVC	29
Figura 15 – Fonte chaveada 12V 5 A	31
Figura 16 – Regulador de tensão LM2596.....	31
Figura 17 – Protótipo de placa de circuito impresso.....	32
Figura 18 – Quadro metálico para proteção da placa de circuito impresso e componentes	33
Figura 19 – Disposição mecânica do sistema em um elevador genérico	33
Figura 20 – Máquina de estados do sistema	34
Figura 21 – Montagem experimental do sistema.....	35
Figura 22 – Funcionamento do protótipo em diferentes estados: (A) Portas fechadas com usuário; (B) Portas abertas; (C) Portas fechadas sem usuários; (D) Parado prestes a abrir as portas para receber passageiros.....	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estados do elevador e permissibilidade à ativação da lâmpada UVC	24
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UVC	Ultravioleta tipo C
ADC	<i>Analog to Digital Converter</i>
DAC	<i>Digital to Analog Converter</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
VDC	Tensão em corrente contínua
VAC	Tensão em corrente alternada
LED	<i>Light Emitting Diode</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1.	OBJETIVOS	14
1.2.	JUSTIFICATIVA	14
2.	ASPECTOS TEÓRICOS.....	15
2.1.	DESINFECÇÃO POR UVC	15
2.2.	SISTEMAS MICROCONTROLADOS	17
2.2.1.	ESP-32	17
2.2.2.	Comunicação Serial	18
2.2.2.1.	<i>Serial Peripheral Interface (SPI)</i>	<i>18</i>
2.2.2.2.	<i>Inter-Integrated Circuit (I2C)</i>	<i>19</i>
2.3.	SENSORES	21
2.3.1.	Sensor passivo infravermelho	21
2.3.2.	Sensor radar de Efeito Doppler	21
2.3.3.	Sensor Indutivo	22
2.3.4.	Acelerômetro	22
2.3.5.	Sensor de umidade	22
2.3.6.	Sensor de corrente de Efeito Hall.....	23
3.	METODOLOGIA.....	23
3.1.	MODELAMENTO DO COMPORTAMENTO DE ELEVADORES	23
3.2.	DESIGN DO SISTEMA	24
3.2.1.	Sistema de detecção de presença	25
3.2.2.	Sistema de detecção do estado do elevador	27
3.2.3.	Lâmpada UVC e circuito para sua ativação	28
3.2.4.	Sistema de captura e registro de dados	30
3.2.5.	Sistema de alimentação	30
3.2.6.	Microcontrolador e interface com o usuário	32
3.2.7.	Placa de circuito impresso e montagem mecânica	32
3.3.	DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE	34
3.4.	MONTAGEM EXPERIMENTAL	35
4.	RESULTADOS	35
5.	CONCLUSÃO.....	37
	REFERÊNCIAS.....	38

APÊNDICE A – ESQUEMÁTICO DO SISTEMA DE DESINFECÇÃO	42
APÊNDICE B– <i>LAYOUT</i> DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO	44
APÊNDICE C – CÓDIGO PARA CONFIGURAÇÃO DOS TERMINAIS DO MICROCONTROLADOR (DEFINE_PINS.H)	45
APÊNDICE D – CÓDIGO PARA OBTENÇÃO DAS MEDIÇÕES DO ACELERÔMETRO (ACELEROMETRO.H).....	46
APÊNDICE E – CÓDIGO PARA OS SENSORES DE PRESENÇA (SENSORESPRESECA.H).....	47
APÊNDICE F – CÓDIGO PARA A MÁQUINA DE ESTADO DO ELEVADOR (ELEVAVV.INO).....	48

1. INTRODUÇÃO

As infecções hospitalares têm sido alvo de estudo da humanidade há séculos, e seu estudo e combate tem progressivamente se desenvolvido, de forma a diminuir seus efeitos negativos, tais como a mortalidade, o tempo de internação dos pacientes e aumentar a rotatividade de leitos nos hospitais (CAI *et al.*, 2020).

Durante a idade média, hospitais eram ambientes de alto risco biológico, ao ponto que enfermos com boas condições financeiras optarem por receber tratamento em casa (ROSENBERG, 1987), uma vez que em ambientes nosocomiais primitivos o desconhecimento sobre as causas das infecções ocasionou uma grande proliferação de doenças, gerando taxas de mortalidade pós operatórias que comumente variavam de 60% a 80% além de altíssimas taxas de infecção hospitalar (SMITH; WATKINS; HEWLETT, 2012).

Somente no período do fim do século XIX ao início do XX que inovações na área da microbiologia vieram diminuir drasticamente as taxas de infecção em hospitais. A descoberta de germes por Louis Pasteur impulsionou a criação do conceito de cirurgia antisséptica por Joseph Lister, no qual era proposto a aplicação de uma solução de ácido carbólico para a desinfecção de instrumentos, curativos e superfícies (NEWSOM, 2003). A implementação dessa prática ocasionou a queda da mortalidade pós amputação de 45% para 15% (MARKATOS *et al.*, 2019). Desde então, a desinfecção e esterilização de superfícies tem sido importantes fatores para o controle de infecções (SMITH; WATKINS; HEWLETT, 2012).

Atualmente, é estimado que as infecções hospitalares atingem 7% em países desenvolvidos, e 10% em países subdesenvolvidos, sendo causados em sua maioria pela microflora do paciente, pelo contato de profissionais da saúde e pacientes, e pelo contato com o ambiente (KHAN; BAIG; MEHBOOB, 2017). Nas infecções causadas pelo contato com o ambiente, é importante salientar a contribuição de superfícies de alto toque, que podem atuar como reservatórios de agentes infecciosos (CASINI *et al.*, 2019).

Esse fator é agravado no contexto brasileiro, uma vez que, devido à insuficiência do treinamento nas áreas relacionadas à biossegurança e riscos biológicos (FRANKLIN; MATTOS, 2011), o profissional de limpeza em ambientes hospitalares brasileiros tem mais propensão a desconsiderar procedimentos de biossegurança, sendo mais vulnerável a infecções.

Tendo em vista o exposto, o ambiente de elevadores em ambientes hospitalares se mostra como um potencial contribuinte para infecções hospitalares, pois apresenta um ambiente com superfícies de alto toque dos botões e que muito comumente são negligenciadas nos programas de limpeza de hospitais (WU *et al.*, 2020).

Assim, este trabalho propõe a utilização de radiação Ultravioleta C (UVC) para realizar a antisepsia desses ambientes, uma vez que é um método já explorado, demonstrando performance na inativação de agentes patogênicos em diversos contextos, como para o tratamento de efluentes, demonstrando índice de desinfecção dentro das exigências mínimas exigidas (PALÁCIO; SANTOS; MARCELINO, 2018).

Embora demonstre efetiva ação germicida, esse tipo de radiação é danoso às células humanas (HESSLING *et al.*, 2021), sendo que o Comitê científico de Saúde, Riscos Ambientais e Emergentes (SCHEER 2017), indica que os danos da exposição ao UV-C a humanos incluem Eritema na pele e possíveis mutações carcinogênicas. Tais fatos impossibilitam a aplicação manual desse tipo de desinfecção, sendo, portanto, necessária a abordagem automatizada.

Dessa forma, recorreu-se à automatização por meio de um microcontrolador (ESP-32) e sensores para a ativação da lâmpada somente quando não há o risco de exposição a pessoas.

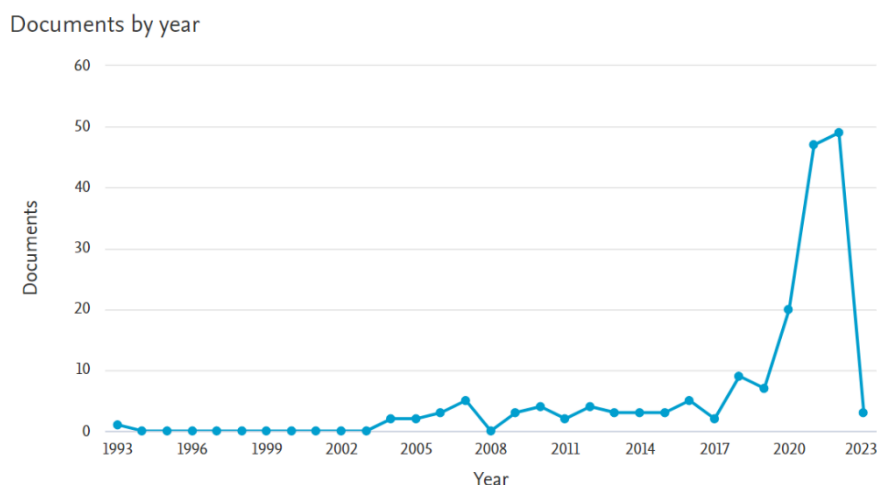
1.1. OBJETIVOS

O presente trabalho idealiza uma forma de codificar e aplicar um sistema de desinfecção de elevadores utilizando um microcontrolador ESP-32, e sensores para a detecção de pessoas e de parâmetros do elevador, de forma a ativar uma lâmpada com espectro UVC em contextos seguros ao usuário do elevador.

1.2. JUSTIFICATIVA

A plataforma Scopus é uma base de dados com 70 milhões de documentos científicos em várias áreas do conhecimento. A aplicação oferece diversas ferramentas para análise do impacto de publicações e do desenvolvimento de temas. Uma dessas funcionalidades é a análise de quantidade de publicações de um determinado tema por ano. Ao inserir as palavras-chave “UVC”, “*Desinfection*” e “*System*”, podemos observar, na Figura 1, a evolução do tema.

Figura 1 – Gráfico de quantidade de documentos publicados por ano com as palavras-chave “UVC”, “Desinfection” e “System”



Fonte Scopus (2023)

Na Figura 1, pode-se observar a atual relevância do tema, tendo 49 publicações em 2022, além da sua longevidade, atestada pela existência de documentos desde 1993. Tendo em vista a importância do tema, se considera útil a criação de tal sistema.

2. ASPECTOS TEÓRICOS

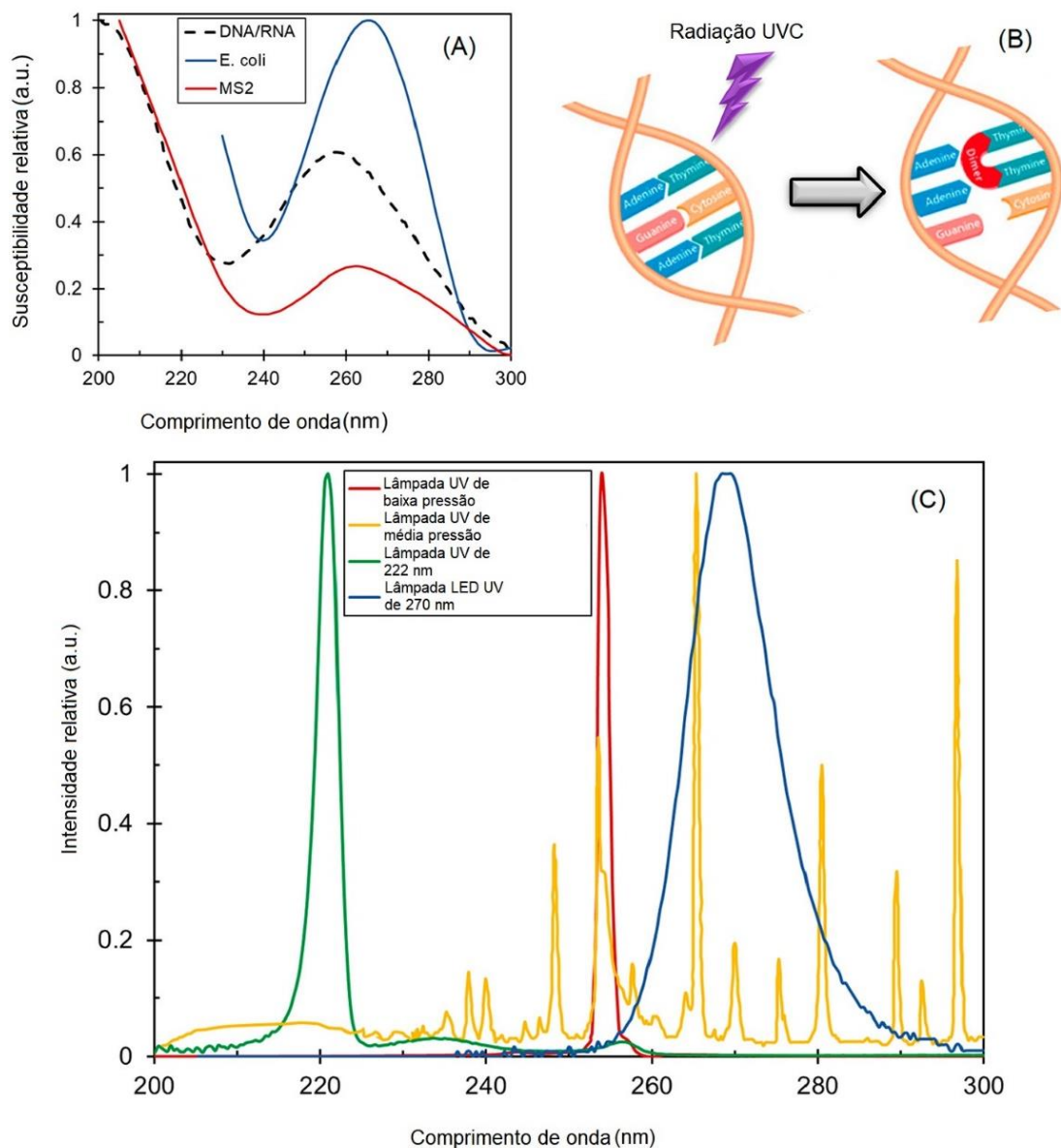
2.1. DESINFECÇÃO POR UVC

A desinfecção por radiação UVC é uma tecnologia que tem sido utilizada a décadas para eliminar micróbios em diferentes superfícies, água e ar (KOWALSKI, 2009). Esse método demonstra grande eficácia, sendo capaz de causar, com uma irradiância UVC de 0,849 mW/cm², a redução da infectividade do vírus causador da COVID-19 para níveis não detectáveis em apenas 9 segundos (STORM *et al.*, 2020), além de que, quando comparado com métodos baseados em desinfetantes químicos, apresenta a vantagem de não criar resíduos que podem ser danosos se ingeridos por seres humanos, sendo útil para tratamento de alimentos (TURTOI; BORDA, 2013).

O princípio da esterilização por Ultravioleta de ondas curtas (UVC) se baseia no fato que o DNA possui um pico de absorção em torno de 260 nm (GOTO *et al.*, 2015), o que causa uma reação fotoquímica, com a formação de dímeros (ou bloqueadores) nas bases pirimidina como produto, danificando a estrutura do DNA, prejudicando a reprodução celular do microrganismo, o que pode causar a inativação ou apoptose de suas células (HSU *et al.*,

2021). A Figura 2 ilustra o exposto, e demonstra a distribuição de potência espectral usual de diferentes tecnologias de lâmpadas ultravioleta de onda curta.

Figura 2 – (A) Susceptibilidade relativa de RNA ou DNA, assim como bactérias *E. coli* e vírus MS2, extraído de valores publicados (CHEN; CRAIK; BOLTON, 2009) (B) Ilustração do processo de dimerização das bases pirimidina na dupla hélice de DNA exposta à radiação UVC (C) Distribuição espectral da potência para diferentes fontes germicidas UV



Fonte: Adaptado de Raeizadeh; Adeli (2020)

2.2. SISTEMAS MICROCONTROLADOS

Microcontroladores são componentes compostos de um microprocessador, memórias voláteis e não voláteis, e interfaces periféricas integradas em um único chip. São utilizados em sistemas embarcados para realizar tarefas específicas, com foco em economia de custo, tamanho compacto e eficiência energética.

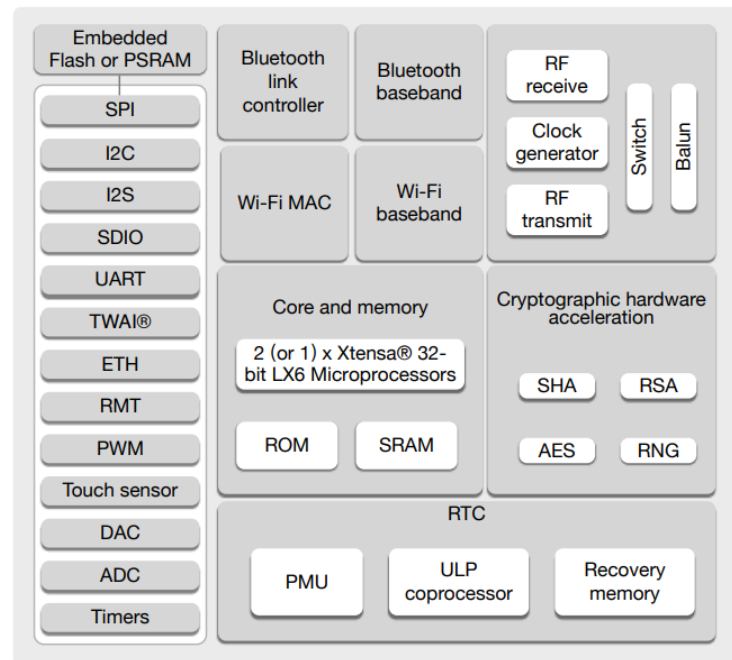
2.2.1. ESP-32

O ESP32 é um microcontrolador de baixo custo e consumo de energia projetado para aplicações da Internet das Coisas (IoT). Ele é desenvolvido pela Espressif Systems, uma empresa chinesa de semicondutores. O microcontrolador ESP32 integra um processador dual-core, capacidades Bluetooth e Wi-Fi, e uma ampla gama de periféricos (ESPRESSIF, 2023).

Uma das principais características do ESP32 é sua capacidade embutida de Bluetooth e Wi-Fi. O módulo Bluetooth suporta tanto Bluetooth clássico quanto Bluetooth de baixa energia (BLE), tornando-o compatível com dispositivos mais ou menos atualizados. O módulo Wi-Fi suporta os protocolos 802.11 b/g/n e pode operar tanto no modo estação quanto no modo ponto de acesso. Isto facilita a conexão do ESP32 às redes Wi-Fi e permite que ele sirva como um ponto de acesso Wi-Fi para outros dispositivos.

O ESP32 também possui um rico conjunto de periféricos, incluindo múltiplas interfaces UART, I2C, SPI e conversores Analógico para digital (ADC)/ Digital para Analógico (DAC). Também possui um grande número de pinos digitais e analógicos, o que lhe permite interagir com uma ampla gama de sensores, atuadores e outros periféricos. A Figura 3 elucida as funcionalidades do microcontrolador por meio do seu diagrama funcional de blocos.

Figura 3 – Diagrama funcional de blocos ESP32-WROOM-32



Fonte: Espressif (2023)

2.2.2. Comunicação Serial

A comunicação serial é um método de transmissão de dados que envolve a transferência de informação de um dispositivo para outro, um bit de cada vez (BOLTON, 2015). Este método é mais simples e mais econômico em comparação com a comunicação paralela, que utiliza múltiplas linhas de comunicação simultaneamente para transmissão de dados. A comunicação serial é amplamente utilizada em uma série de dispositivos e sistemas, incluindo sistemas integrados e sistemas de computador, para a comunicação entre microcontroladores, sensores, atuadores, displays e outros dispositivos eletrônicos.

Há dois tipos principais de protocolos de comunicação serial: assíncrono e síncrono. Neste modo de comunicação, a informação é transmitida e recebida em tempos previsíveis, nesse, por sua vez, os dados são transmitidos de forma não uniforme (MCNAMARA, 1988).

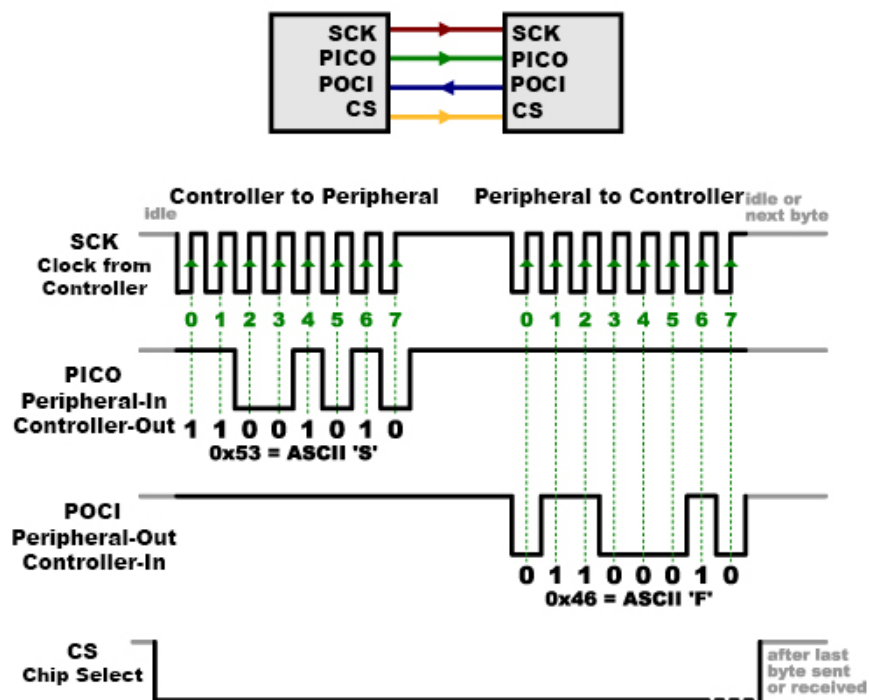
2.2.2.1. Serial Peripheral Interface (SPI)

O SPI é um protocolo de comunicação de curta distância síncrona, ou seja, utiliza um sinal de *clock* para o controle de operações de envio e recebimento. Nesse protocolo, um

processador deve atuar como controlador, gerando o *clock*, e outros dispositivos agem como respondente, utilizando o *clock* gerado pelo controlador para receber ou enviar informações.

Para a transmissão de informações, são utilizados os seguintes sinais, que podem aparecer com diferentes nomenclaturas: *Serial Clock (SCK)*, o sinal de sincronismo, *Serial Data In (SDI/MISO)*, em que o controlador recebe informações do respondente, *Serial Data Out (SDO/MOSI)*, em que o controlador envia dados para o respondente, *Chip Select (SS/CS)*, para selecionar com qual componente o controlador está se comunicando. A figura 4 ilustra a clarifica graficamente a atuação dos sinais em uma comunicação via SPI.

Figura 4 – Sinais de comunicação via SPI



Fonte: Sparkfun (2023)

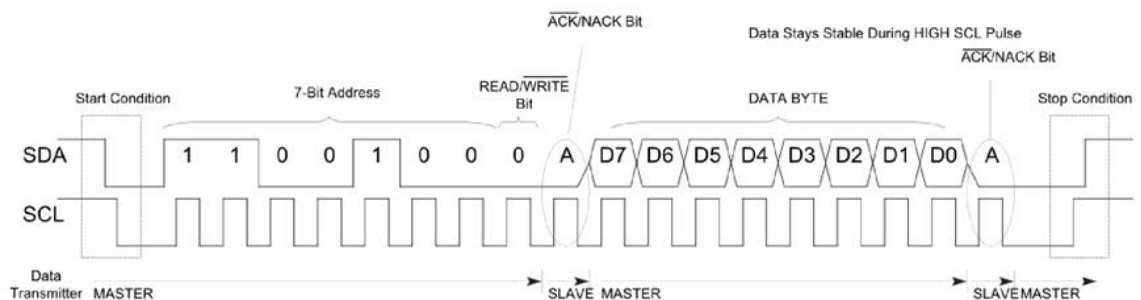
2.2.2.2. Inter-Integrated Circuit (I2C)

O I2C é um protocolo desenvolvido pela *Philips Semiconductor* para a comunicação serial entre circuitos integrados, utilizando dois barramentos bidirecionais, o *Serial Clock (SCL)*, em que se há o sinal de sincronismo, e o *Serial Data Line (SDA)*, onde há a troca de dados.

Há nesse protocolo um sistema de hierarquia controlador-respondente, de forma que o controlador é quem inicia e encerra a transferência, além de gerar o sinal de sincronismo. Ademais, há o sistema de endereçamento, de forma que cada dispositivo I2C tem um endereço único de 7 bits, a fim de que o controlador possa determinar com qual circuito está se comunicando. (EISENREICH; DEMUTH).

O formato de transferência dos dados é por meio de pacotes, sendo o primeiro bit a condição de início de comunicação, em que se é indicado o início da transferência pelo controlador. Em seguida, o endereço do respondente é enviado, precedendo o bit de leitura/escrita, que indica se o controlador está enviando dados ou fazendo um pedido ao respondente. Tais bits são confirmados por um bit de reconhecimento (ACK/NACK), e então há a transmissão do pacote de informações, que será atestado pela indicação de sucesso ou fracasso na recepção por meio de um bit de reconhecimento. Por fim, a comunicação é encerrada pelo controlador (EISENREICH; DEMUTH). A Figura 5 ilustra o processo:

Figura 5 – Ilustração de um pacote de dados pelo protocolo I2C



Fonte: Analog Devices (2023)

Esse é um método simples, econômico e de alta confiabilidade para a transmissão de dados, sendo muito utilizado para comunicação entre microcontroladores, sensores, displays e dispositivos de memória.

2.3. SENSORES

Instrumentos de medição são ferramentas ou dispositivos com a função de coletar informações sobre grandezas físicas, sendo englobados na denominação de transdutores. Segundo (AGUIRRE, 2013):

Por transdutor entende-se um dispositivo capaz de transformar uma forma de energia em outra. [...] *Sensores* são uma classe de transdutores. Eles “sentem” variáveis físicas, como movimento, temperatura e pressão, e transformam tais grandezas em sinais elétricos. (AGUIRRE, 2013, p 13)

2.3.1. Sensor passivo infravermelho

Um sensor passivo infravermelho se baseia no fato que objetos e seres vivos que tem temperatura acima do zero absoluto (0 K) emitem radiação infravermelha (CANIOU, 1999). Essa radiação infravermelha é captada por um par de elementos piroelétricos, que geram uma corrente por meio do efeito piroelétrico ao se detectar uma diferença na medição dos dois sensores (KAPLAN, 2007). Por meio de circuitos externos, é possível se determinar um limiar de detecção, e disparar um sinal para indicar a percepção de movimento.

Em módulos comercialmente disponíveis, geralmente, os sensores piroelétricos são envolvidos por uma lente Fresnel, que focam a luz incidente por meio da refração, e utilizam-se de um circuito integrado BISS0001, responsável por condicionar o sinal gerado pelos elementos piroelétricos.

2.3.2. Sensor radar de Efeito Doppler

Sensores radar são dispositivos que convertem sinais de micro-ondas rebatidos em sinais elétricos (UTMEL ELECTRONIC, 2020). Radares de efeito doppler são um tipo de radar que medem a diferença de frequência entre a onda emitida e a refletida, emitindo um sinal elétrico que é proporcional à velocidade do objeto de medição (UTMEL ELECTRONIC, 2020).

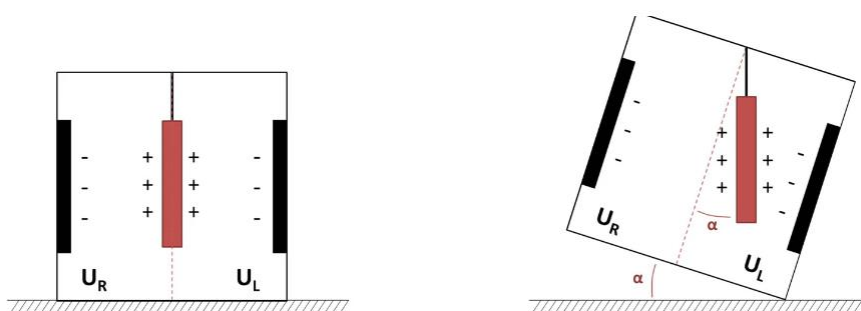
2.3.3. Sensor Indutivo

Sensores indutivos são transdutores que se utilizam do princípio da indução eletromagnética para detectar a presença de objetos ferromagnéticos sem contato. O sensor indutivo possui um oscilador acoplado a uma bobina, que geram um campo eletromagnético de alta frequência, que se altera ao ser aproximado de um objeto ferro magnético, devido às perdas de Foucault. Essa diferença é mensurada por um comparador, gerando um sinal de detecção (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

2.3.4. Acelerômetro

Acelerômetros são dispositivos capazes de medir a aceleração de um objeto. Existem diversos tipos de acelerômetros, como piezoelétricos, piezoresistivos e capacitivos (TE CONNECTIVITY). Esses se baseiam em sistemas micro eletromecânicos, nos quais uma massa sísmica microscópica é suspensa entre dois eletrodos, de forma que essa aja como um eletrodo móvel, que quando movimentado, altera a capacitância dos dois capacitores, possibilitando mensurar a aceleração. A Figura 6 ilustra o sistema descrito.

Figura 6 – Ilustração do funcionamento de um acelerômetro capacitivo



Fonte Althen Sensors And Controls (2023)

2.3.5. Sensor de umidade

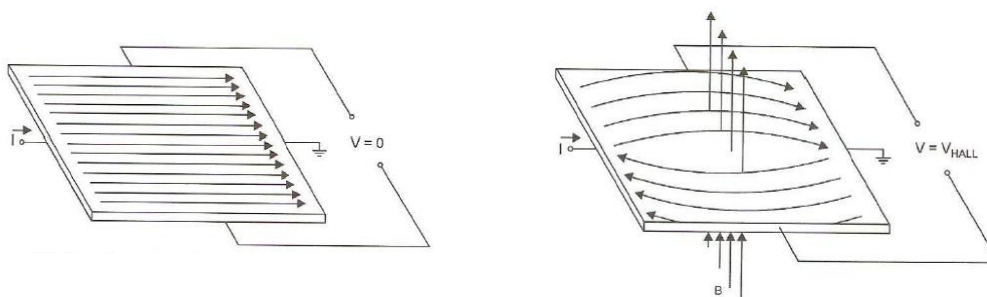
Sensores de umidade fazem a determinação da quantidade de vapor de água no ambiente. Essa medição pode ser feita de diversos modos, dentre os quais, por meio de sensores resistivos, nos quais a umidade do ar é absorvida/desabsorvida, gerando uma variação da resistividade do condutor. Sensores capacitivos utilizam-se da variação da constante dielétrica de uma superfície entre eletrodos conforme a absorção/desabsorção de

água para determinar a umidade do ambiente. Por fim, há também os sensores que se baseiam em variações na impedância e de tensão para medir a umidade (LU *et al.*, 2022).

2.3.6. Sensor de corrente de Efeito Hall

Segundo (ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, 2023), o efeito hall pode ser definido como o desenvolvimento de um campo elétrico transversal em um condutor quando submetido à corrente elétrica e um campo magnético perpendicular à corrente. A Figura 7 elucida o conceito graficamente.

Figura 7 – Criação da tensão de Hall ao se aplicar um campo perpendicular à corrente



Fonte: Adaptado de Thomazini; Albuquerque (2011)

O sensor de Efeito Hall se baseia nesse princípio, e segundo (BUSCHOW, 2001), utilizam tipicamente uma película fina de material semiconductor (normalmente arsenieto de índio) no qual se induz uma tensão quando se aplicam corrente e corrente perpendiculares. A partir da medição dessa tensão, é possível determinar a intensidade da corrente aplicada.

3. METODOLOGIA

3.1. MODELAMENTO DO COMPORTAMENTO DE ELEVADORES

Para o desenvolvimento do sistema, inicialmente foi concebida uma máquina de estados finita, de forma que o comportamento do elevador pudesse ser subdividido e categorizado em estados permissíveis ou não permissíveis para a atuação da lâmpada germicida, ou seja, se é ou não seguro aos usuários a sua ativação. O Quadro 1 lista os estados considerados.

Quadro 1 – Estados do elevador e permissibilidade à ativação da lâmpada UVC

Estado	Descrição	A lâmpada UVC pode ser acesa?
<i>Portas abertas</i>	<i>As portas do elevador se encontram abertas</i>	<i>Não, uma vez que pessoas fora do elevador podem ser alvejadas</i>
<i>Portas fechadas com usuários no interior</i>	<i>As portas do elevador se encontram fechadas, mas o sistema detectou pessoas no seu interior</i>	<i>Não, os usuários não podem ser expostos à radiação</i>
<i>Portas fechadas sem usuários no seu interior</i>	<i>As portas do elevador se encontram fechadas, e o sistema não detectou pessoas por um determinado tempo</i>	<i>Sim</i>
<i>Em movimento sem usuários no seu interior</i>	<i>As portas do elevador estão fechadas, não há pessoas, e foi detectada aceleração pelo acelerômetro</i>	<i>Sim</i>
<i>Parado prestes a abrir as portas para receber usuários</i>	<i>Estado seguinte ao “Em movimento sem usuários no seu interior”, após a detecção da frenagem</i>	<i>Não, a fim de proteger os usuários prestes a embarcar</i>

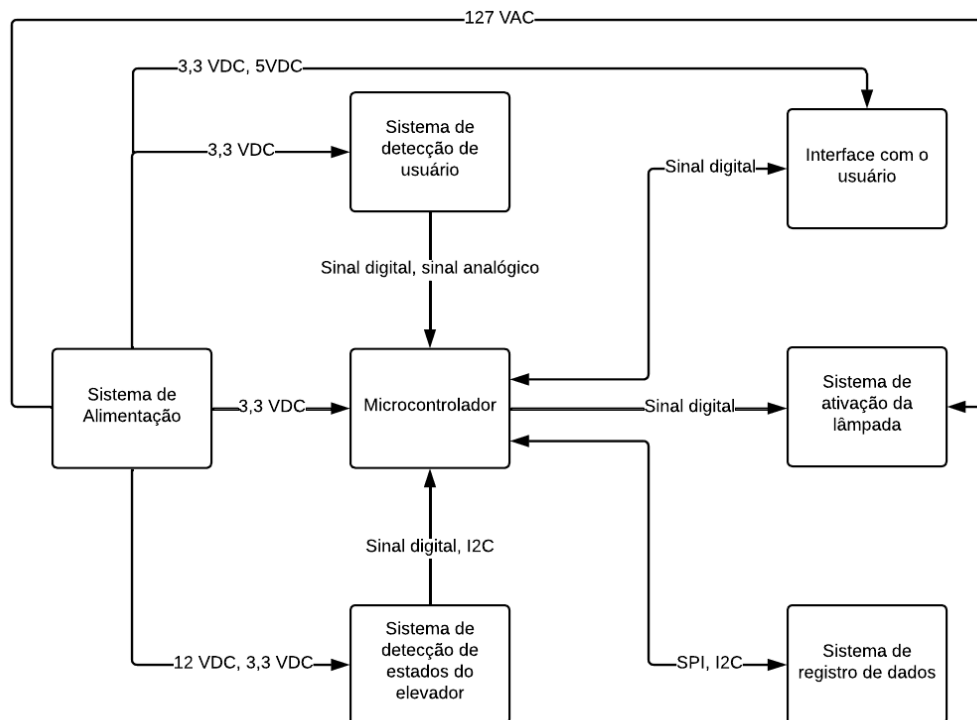
Fonte: Autor (2022)

3.2. DESIGN DO SISTEMA

Com base na modelagem feita, foi possível determinar os componentes necessários para a determinação do estado do elevador e para a ativação da lâmpada. O processo de escolha dos componentes necessários partiu da proposta de não alteração do elevador, de forma que o sistema seria um recurso adicional semi-independente, sendo apenas necessária a alimentação proveniente do sistema de iluminação do elevador. O diagrama esquemático do sistema se encontra no apêndice A.

O diagrama na Figura 8 demonstra de maneira simplificada as interações dos subsistemas, que serão explicados em detalhes em seguida.

Figura 8 – Diagrama de blocos simplificado do sistema



Fonte: Autor (2022)

3.2.1. Sistema de detecção de presença

O sistema de detecção utiliza dois tipos de sensores para determinar a presença de usuários dentro do elevador: passivo infravermelho, e de efeito doppler.

O sensor infravermelho passivo escolhido é o HC-SR501, ilustrado pela Figura 9.

Figura 9 – Módulo HC-SR501

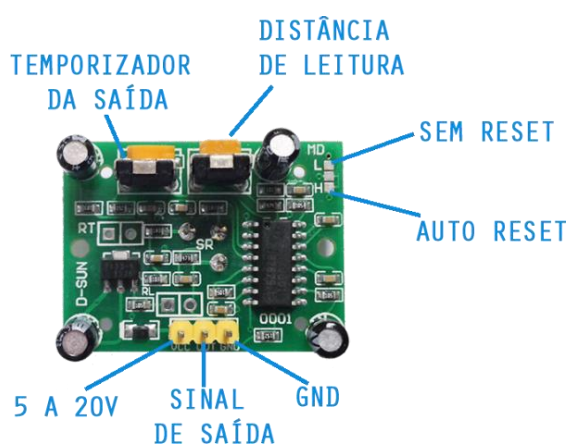


Fonte: Robocore (2023)

Escolhido pela simplicidade e baixo custo, este módulo possui tensão de operação de 5 a 20 V, resposta digital, tensão de saída de 3,3 V, e é ajustável, podendo ter sensibilidade de detecção de 3 a 7 metros, e ter largura de pulso de detecção de 5 segundos a 2,5 minutos.

Há a opção de funcionamento com reset manual, em que o sensor emite apenas um único pulso indicando detecção, precisando ser desligado e religado da alimentação para gerar outro sinal, e o modo com *auto-reset*, em que o módulo se rearma para sucessivos pulsos. A Figura 10 ilustra as características e funcionalidades descritas.

Figura 10 – Características e funcionalidades do módulo HC-SR501



Fonte: Robocore (2023)

O sensor de efeito doppler escolhido foi o HB-100, um transceptor que emite ondas de 10,525 GHz a uma baixa potência, que são refletidas por objetos, sendo recebidas pela antena integrada, e tratadas de forma que o sinal de saída tenha frequência proporcional à velocidade de deslocamento do objeto. O módulo é demonstrado pela Figura 11.

Figura 11 – Módulo HB-100

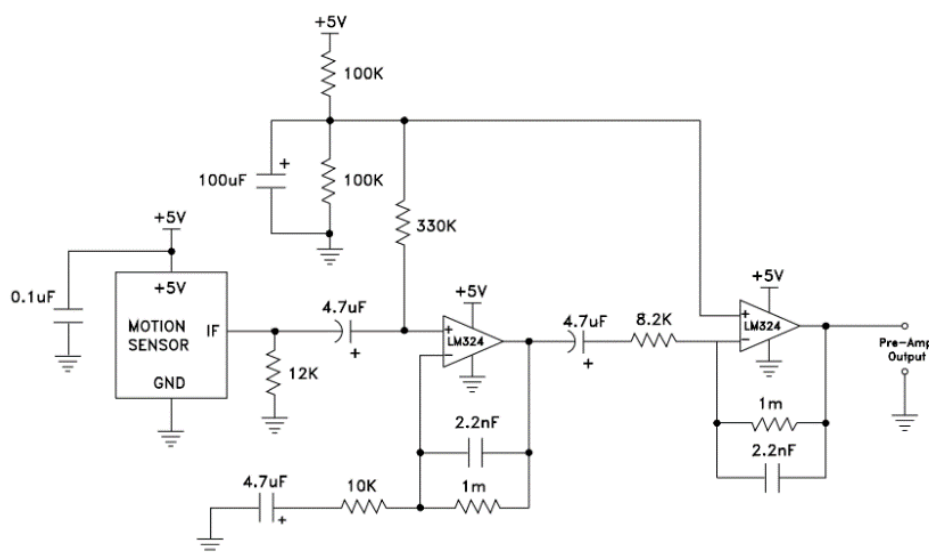


Fonte: Eletrogate (2023)

O módulo Doppler foi adicionado como uma opção de baixo custo alternativa e complementar de detecção de presença.

Para a operação com alimentação contínua, o fabricante do módulo recomenda a introdução de um amplificador para o sinal emitido, que é demonstrado na Figura 12.

Figura 12 – Circuito amplificador de sinal para o HB-100 alimentado com corrente contínua



Fonte: Agilsense (2023)

No protótipo desenvolvido, foram integrados 3 sensores HC-SR501 e 1 sensor HB-100, criando redundância na detecção de usuários.

3.2.2. Sistema de detecção do estado do elevador

Para a detecção dos estados do elevador aberto, fechado, em movimento ou parado foram utilizados sensores do tipo indutivo e acelerômetro.

O sensor indutivo escolhido foi o LJ12A3-4-Z/BX, um sensor capaz de detectar a presença de objetos metálicos, sendo, pois, utilizado para detectar o estado das portas do elevador. Por ser um sensor NPN, a detecção de materiais metálicos é indicada por um nível lógico baixo. A Figura 13 demonstra o sensor:

Figura 13 – Sensor indutivo



Fonte: Eletrogate (2023)

Devido ao fato de o sensor ter uma tensão de alimentação mínima de 6V, optou-se por conectá-lo na linha de alimentação de 12V, sendo necessário, portanto, a incorporação de uma configuração de divisor de tensão para reduzir o nível lógico alto para 3,3V, aceitável ao microcontrolador.

A detecção da aceleração e frenagem do elevador é feita pelo acelerômetro MPU6050, um módulo que combina um acelerômetro de 3 eixos com um giroscópio de 3 eixos, sendo capaz de mensurar velocidade angular e aceleração linear através de sistemas micro eletromecânicos. A comunicação deste módulo é feita através da interface I2C, de forma que o componente teve de ser endereçado, sendo “batizado” “0x69”.

3.2.3. Lâmpada UVC e circuito para sua ativação

A lâmpada UVC escolhida, devido à disponibilidade de documentação técnica, foi a PURITEC HNS L 60 W 2G11. A lâmpada possui comprimento de onda dominante de 254 nm, com intensidade luminosa de 7800 cd, e consumo de corrente nominal de 0,8 A ao ser alimentado por uma tensão de 82V, sendo necessário um reator para ativá-la.

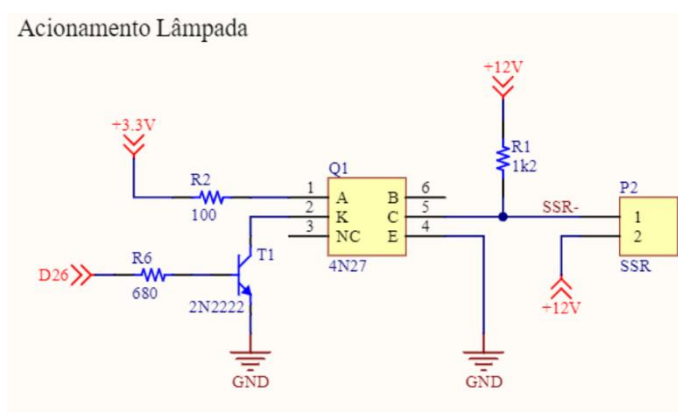
Para o reator, foi usado o modelo 1x55/60 W UV da MARGIRIUS, com consumo de corrente de 0,77 A quando alimentado com tensão alternada de 127 V.

O acionamento da lâmpada é feito pelo relé de estado sólido FOTEK SSR-25DA, com capacidade nominal de corrente de saída de 16 A, sendo capaz de operar a lâmpada continuamente.

Quando comparado com relés eletromecânicos convencionais, relés de estado sólido apresentam consumo de energia muito inferior, uma vez que a sua ativação é feita por meio luminoso, não sendo necessário alimentar uma bobina, além de possuir a vantagem de não possuírem partes mecânicas móveis, o que aumenta o tempo de vida útil desses componentes.

Devido ao fato do FOTEK SSR-25DA ter tensão de ativação mínima de 4 VDC, que é maior que o nível lógico alto do ESP-32 (3,3 VDC), é necessário um circuito de interface entre os dois elementos. Para isso, foi selecionado o opto-acoplador 4N27 em conjunto com um transistor bipolar de junção NPN 2N2222 polarizado em saturação ou corte. A Figura 14 mostra a disposição da interface no esquemático do circuito:

Figura 14 – Circuito de interface para acionamento da lâmpada UVC



Fonte: Autor (2022)

Nesse circuito, o opto-acoplador é usado como isolador entre o lado de tensão de 3,3V e 12 V. A introdução de um sinal em D26 faz com que o transistor se comporte como uma chave eletrônica fechada, o que ativa o diodo emissor de luz interno do 4N27. A luz emitida ativa o foto-transistor do componente, levando a tensão do terminal 1 de P2 ser aterrada, o que gera uma diferença de potencial de 12 V entre os terminais do relé de estado sólido.

Por fim, há a presença de um circuito medidor de corrente, com o módulo ACS712, que é acoplado em série com a saída do reator, de forma que seja possível monitorar se a lâmpada está funcionando corretamente por meio de sua corrente de operação. O módulo realiza a medição da corrente por meio de um sensor de efeito Hall, e fornece uma tensão analógica proporcional à corrente da carga medida.

3.2.4. Sistema de captura e registro de dados

A função de registro de dados é importante para eventuais estudos de efetividade da esterilização, uma vez que, para se determinar a dose UV aplicada, é necessário saber não somente características da lâmpada e da geometria do local aplicado, mas também o tempo de exposição, como se observa na Equação (1), obtida de (CHEN *et al.*, 2020).

$$\text{Dose UV [mJ/cm}^2\text{]} = \text{Radiação incidente (mW/cm}^2\text{)} \times \text{Tempo de Exposição (s)} \quad (1)$$

Assim, o registro do tempo de acionamento e desativação da lâmpada se faz necessário, o que é realizado por meio do módulo relógio de tempo real DS3231 (*Real Time Clock*) que fornece de forma confiável, devido à sua independência de alimentação externa, informações de hora, minuto, segundo, dia, mês e ano, por meio da interface I2C com endereço 0x68.

As informações são então salvas em um cartão micro-SD, para que possam ser utilizadas posteriormente durante o estudo por meio do módulo “SD Card Module V” que se comunica com o microcontrolador por meio da interface SPI.

É interessante também conhecer o nível de umidade do ambiente no momento da esterilização, uma vez que foi observado que, para uma umidade relativa maior, a dose UV necessária para inativação aumenta, uma vez que a água protege o vírus da irradiação, criando uma relação inversamente proporcional entre susceptibilidade de microorganismos à radiação UVC e umidade relativa do ar (TSENG; LI, 2005).

Por conseguinte, foi utilizado o sensor DHT-11, um sensor de umidade e de temperatura de baixo custo que se utiliza de um termistor e do princípio capacitivo de medição de umidade para determinação da umidade e temperatura durante a operação da lâmpada.

3.2.5. Sistema de alimentação

A alimentação do sistema é feita através de 2 componentes: Uma fonte DC chaveada, e um regulador DC-DC de topologia *Buck* ou abaixadora de tensão.

A fonte DC chaveada converte a corrente alternada proveniente do circuito de iluminação do elevador para uma tensão contínua de 12 V, sendo capaz de fornecer uma corrente de até 5 A. A fonte é exposta na Figura 15:

Figura 15 – Fonte chaveada 12V 5 A



Fonte: Filipeflop (2023)

O conversor de tensão DC-DC *Step-down* utilizado foi o LM2596, exposto na Figura 16, um regulador de tensão chaveado, capaz de ser alimentado com tensões de 3,2 VDC a 40 VDC, e fornecer uma tensão de saída menor que a entrada, porém variável e definida pelo potenciômetro integrado na placa, variando de 1,5 VDC a 35 VDC, e uma corrente máxima de carga de 3 A.

Figura 16 – Regulador de tensão LM2596



Fonte: Filipeflop (2023)

Para o circuito, foram utilizados dois reguladores, um para reduzir a tensão da fonte chaveada de 12 VDC para 5 VDC e outro para reduzi-la para 3,3 V.

A tensão de 5 VDC é utilizada para a alimentação dos LEDs, sensores PIR, sensor de corrente, e módulo de cartão micro-SD, enquanto a tensão de 3,3 V é usada para o microcontrolador, sensor de umidade, módulo RTC, acelerômetro, sensor Doppler.

3.2.6. Microcontrolador e interface com o usuário

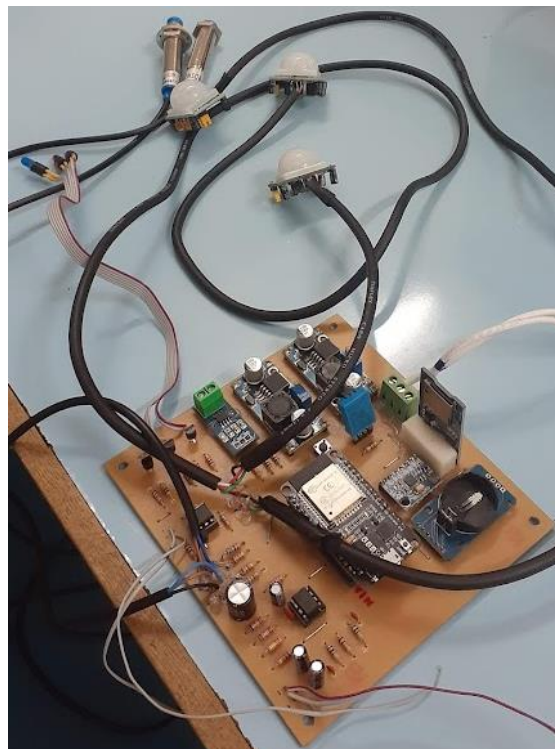
Como exposto anteriormente, o ESP-32 é um microcontrolador altamente versátil, portador de múltiplas funcionalidades e interfaces. Foi a escolha para o projeto devido à necessidade de interface SPI e I2C, e pela conectividade com a internet. A conexão Wifi possibilitaria a vistoria em tempo real dos valores dos sensores, e updates ao software através da internet.

As interfaces com o usuário adicionadas ao projeto foram: três LEDs para indicação do estado do elevador e de possíveis erros, e uma chave tátil, que pode ser utilizada para a configuração do sistema.

3.2.7. Placa de circuito impresso e montagem mecânica

Um *layout* de placa de circuito impresso foi desenvolvido através software *Altium*, e através da corrosão de uma placa de cobre com percloroeto de ferro, um protótipo inicial para o circuito foi criado. O resultado é demonstrado na Figura 17.

Figura 17 – Protótipo de placa de circuito impresso



Fonte: Autor (2022)

A Irradiação UVC demonstra potencial de degradação e envelhecimento de materiais poliméricos, enfraquecendo propriedade mecânicas do material como resistência à tração e à compressão (AMZA *et al.*). Desta forma, foi escolhida um quadro metálico para englobar a placa de circuito impresso e os componentes. A Figura 18 demonstra o quadro escolhido e seu interior.

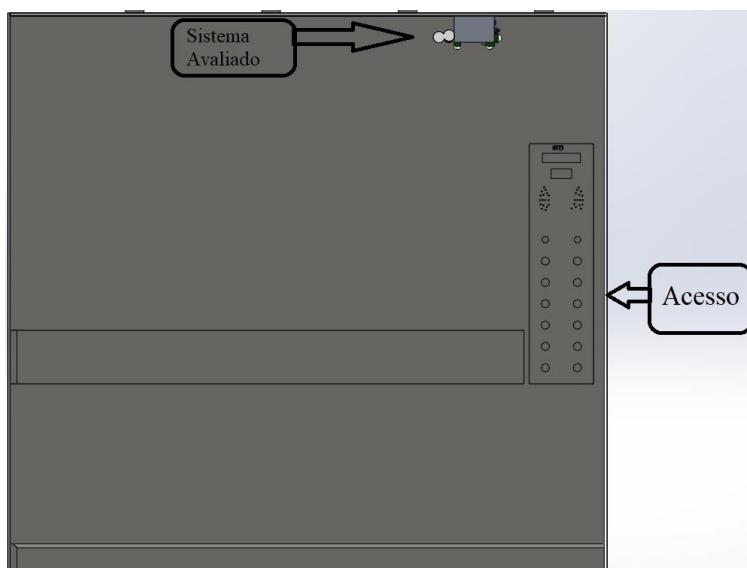
Figura 18 – Quadro metálico para proteção da placa de circuito impresso e componentes



Fonte: Autor (2022)

O sistema foi então projetado por meio do Software *SolidWorks*, sendo inserido no teto do elevador, a fim de estar mais próximo do circuito de iluminação, de onde o circuito de alimentação do sistema irá obter energia. A Figura 19 mostra a disposição escolhida.

Figura 19 – Disposição mecânica do sistema em um elevador genérico

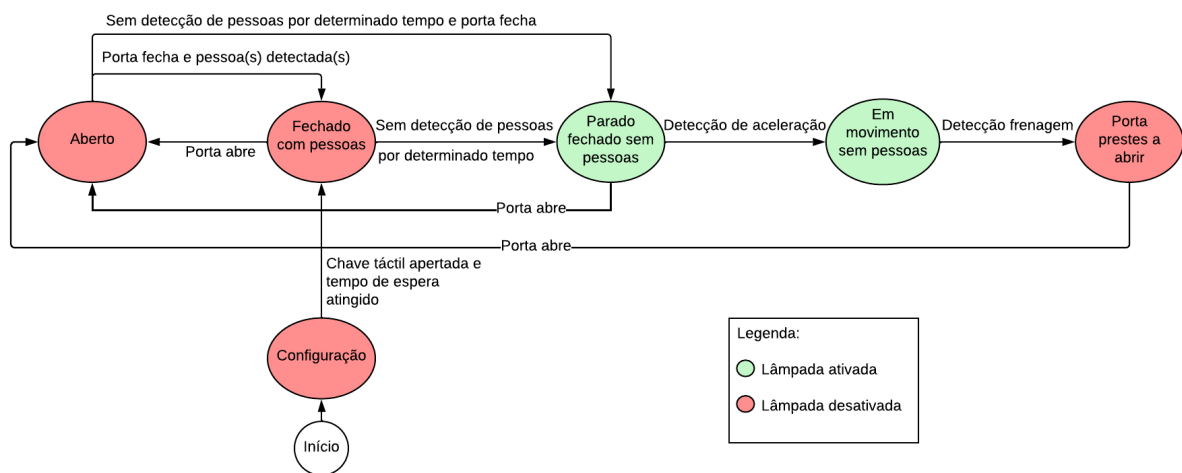


Fonte: Autor (2022)

3.3. DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

O código para o sistema foi feito por meio da linguagem de programação “C”, por meio do ambiente de desenvolvimento integrado Arduino e teve como base a modelagem do comportamento indicada no Quadro 1. O código se encontra nos apêndices C a F, e utiliza uma estrutura de máquina de estados finitos, indicada pela Figura 20.

Figura 20 – Máquina de estados do sistema



Fonte: Autor (2022)

Inicialmente, o sistema fica em estado de configuração, aguardando 30 segundos para a estabilização do sinal do sensor PIR, e o apertar da chave tátil. Em seguida, há a espera de 1 segundo para a estabilização da placa após o pressionar do botão seguida pela gravação dos valores de aceleração nos três eixos do MPU-6050 em variáveis. Os valores de aceleração da gravidade nos eixos são subtraídos da leitura do acelerômetro durante as consultas, para que a única aceleração vistoriada seja proveniente do elevador.

Após isso, o sistema entra em uma estrutura de estados, usando os valores dos sensores digitais como eventos que chamam rotinas de interrupção, que atualizam o estado do elevador.

A consulta dos valores de aceleração do MPU-6050 é feita somente no estado “Parado Fechado Sem Pessoas”, e seus resultados são usados para determinar se o elevador está parado, em movimento ou prestes a abrir para receber um passageiro. Nesse último estado a lâmpada é desligada, de forma que, quando a porta estiver abrindo, a lâmpada já esteja apagada.

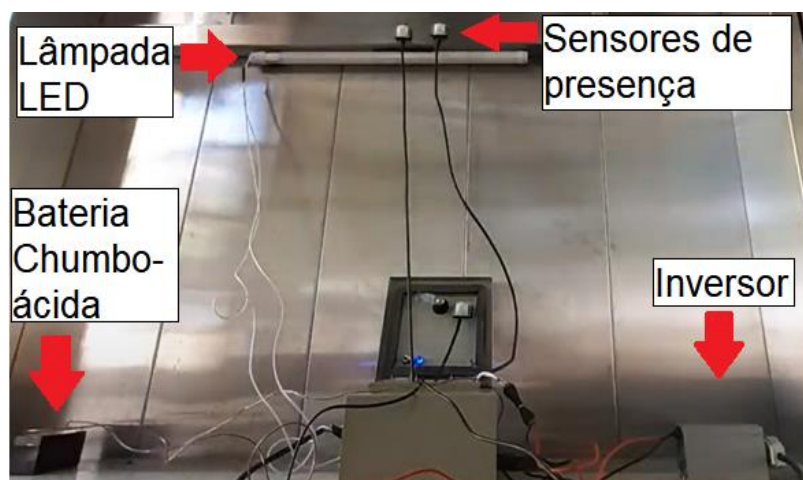
É importante ressaltar que, nessa análise preliminar do sistema, não foram implementados no código: o sistema de detecção por meio do sensor de efeito Doppler, o sistema de aquisição de dados, e o sensor de efeito Hall.

3.4. MONTAGEM EXPERIMENTAL

Para testar o sistema em condições reais, o protótipo foi montado em um elevador da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, sendo alterado no sistema de alimentação, onde a alimentação proveniente da iluminação do elevador foi substituída por uma bateria e um inversor, de forma que o sistema ficasse completamente independente do elevador, evitando danificá-lo.

Ademais, por questão de segurança, a lâmpada UVC foi substituída por uma lâmpada LED convencional.

Figura 21 – Montagem experimental do sistema



Fonte: Autor (2022)

4. RESULTADOS

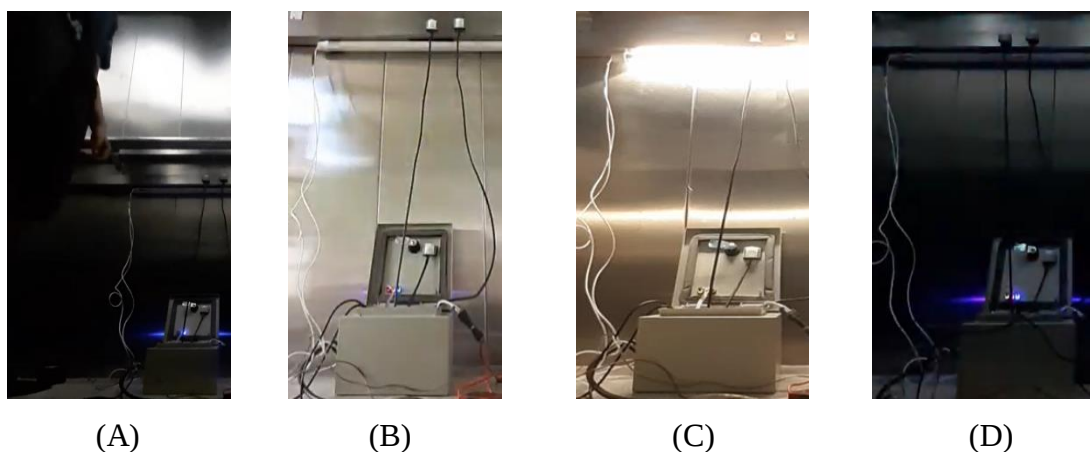
O sistema foi então testado em cada um dos seus estados, e os resultados do experimento são descritos nesta seção.

No quadro A da Figura 22, um usuário se encontra no elevador, e o sistema aciona o diodo emissor de luz (LED) azul e mantém a lâmpada desativada, indicando o estado “Parado Fechado com Pessoas”. Em seguida, no quadro B, a porta do elevador se abre, o usuário sai, e o sistema aciona os LEDs azul e vermelha, ainda mantendo a lâmpada apagada, indicando

o Estado “Aberto”. Posteriormente, no quadro C as portas se fecham, e o sistema não detecta usuários, transicionando para o estado “Parado Fechado sem Pessoas”, em que se ativam a lâmpada e os LEDs verde e vermelho. O elevador então é chamado em outro andar, e ao desacelerar para chegada ao destino, no quadro D, o sistema muda para o estado “Prestes a Abrir”, no qual a lâmpada é desativada, e os LEDs verde, vermelho e azul são acesos.

Dessa maneira, o sistema agiu como esperado, acionando a lâmpada somente no estado permissivo, e desativando-a de maneira correta nos estados perigosos ao usuário.

Figura 22 – Funcionamento do protótipo em diferentes estados: (A) Portas fechadas com usuário; (B) Portas abertas; (C) Portas fechadas sem usuários; (D) Parado prestes a abrir as portas para receber passageiros



Fonte: Autor (2022)

A exceção, ou mal funcionamento, foi percebida no caso de o usuário permanecer completamente estático com as portas do elevador fechadas durante um período suficiente. Nesse cenário, a lâmpada é ativada, o que demonstra uma falha na detecção, que é devido à característica do sensor infravermelho passivo utilizar do diferencial de energia térmica entre os seus dois sensores piroelétricos para gerar seu sinal de detecção. Se a pessoa permanece estática, o sensor não detecta diferença de sinal entre seus dois sensores, e a presença da pessoa passa a ser desconsiderada.

Além disso, foi notado que a conectividade Wifi dentro do elevador era precária, de forma que a vistoria dos sensores e dados por meio da internet foi impossibilitada.

Dessa forma, recomenda-se para uma próxima iteração deste projeto a utilização de algum método de detecção de presença independente da movimentação do usuário, como por meio da detecção por imagem, uma vez que, atualmente, por meio da modelagem Deep-

Learning, é possível criar um sistema desse tipo com alta acurácia, velocidade de inferência, e baixo custo (SAFFARI *et al.*, 2021).

Além disso, é proposto também a substituição do microcontrolador ESP-32 por uma alternativa mais econômica, uma vez que grande parte de suas funcionalidades não foi necessária, e o fato da baixa conectividade no elevador limitou a necessidade para esse microcontrolador.

5. CONCLUSÃO

Infecções hospitalares são um grande desafio para o contexto nosocomial, uma vez que são causadoras de aumento na taxa de mortalidade de pacientes, nos custos com medicamentos e de diminuição da rotatividade nos leitos. Um dos meios para a disseminação de infecções são as superfícies contaminadas, que podem agir como reservatórios de patógenos. Nesse contexto, notou-se o risco associados a elevadores em ambientes hospitalares, uma vez que esses possuem as áreas de alto toque dos botões, que se enquadram em possíveis reservatórios de patógenos.

O sistema apresentado nessa monografia apresenta uma solução possível para essa problemática, com a proposta de um sistema automático que realiza a esterilização por meio da radiação UVC, um método fotônico estudado há décadas e comprovadamente eficaz contra patógenos.

Entretanto, durante a implementação do sistema, notaram-se duas limitações: a baixa conectividade à Wifi dentro dos elevadores e a necessidade de aprimoramento no sistema de detecção de pessoas.

Dessa forma, sugere-se para próximas iterações do projeto a substituição do microcontrolador por uma opção mais econômica e a incorporação de um m capaz de detectar a presença de pessoas estáticas, sendo proposta a utilização de um sistema de reconhecimento de presença por imagens.

REFERÊNCIAS

AGILSENSE. **X-Band Microwave Motion Sensor Module**

Application Note, [2023]. Disponível em:

http://www.mantech.co.za/Datasheets/Products/MSAN-001_AGILSENSE.pdf. Acesso em: 04 fev. 2023.

AGUIRRE, L. A. **Fundamentos de instrumentação**. São Paulo: Pearson, 2013.

ALTHEN SENSORS AND CONTROLS, [2023]. **MEMS sensors: what are they and how do they work**. Disponível em: <https://www.althensensors.com/althenpedia/mems-sensors-what-are-they-and-how-do-they-work/#:~:text=MEMS%2C%20or%20Micro%20Electro%2DMechanical,as%20a%20change%20in%20capacitance..>

Acesso em: 07 fev. 2023.

AMZA, C. G. *et al.* Aging of 3D Printed Polymers under Sterilizing UV-C Radiation.

Polymers, v. 13, n. 24, p. 4467, 20 Dec. 2021. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/2073-4360/13/24/4467>. Acesso em: 07 mar. 2023.

ANALOG DEVICES. **I2C Primer: what is I2C? (Part 1)**, [2023]. Disponível em:

<https://www.analog.com/en/technical-articles/i2c-primer-what-is-i2c-part-1.html>. Acesso em: 07 fev. 2023.

BOLTON, W. **Programmable Logic Controllers**. Burlington, Ma: Newnes/Elsevier, 2016.

CAI, Y. *et al.* The impact of healthcare associated infections on mortality and length of stay in Singapore—A time-varying analysis. **Infection Control & Hospital Epidemiology**, p. 1–6, 15 Jul. 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32665057/>. Acesso em:

07 mar. 2023.

CANIOU, J. **Passive infrared detection : theory and applications**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1999.

CASINI, B. *et al.* Evaluation of an Ultraviolet C (UVC) Light-Emitting Device for Disinfection of High Touch Surfaces in Hospital Critical Areas. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 19, p. 3572, 24 Sep. 2019.

Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/19/3572>. Acesso em: 07 mar. 2023.

CHEN, P.-F. *et al.* UV dose effects on the revival characteristics of microorganisms in darkness after UV disinfection: Evidence from a pilot study. **Science of The Total Environment**, v. 713, p. 136582, Apr. 2020. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720300929?via%3Dihub>. Acesso em 07 mar. 2023.

CHEN, R. Z.; CRAIK, S. A.; BOLTON, J. R. Comparison of the action spectra and relative DNA absorbance spectra of microorganisms: Information important for the determination of germicidal fluence (UV dose) in an ultraviolet disinfection of water. **Water Research**, v. 43, n. 20, p. 5087–5096, Dec. 2009. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135409005466?via%3Dihub>. Acesso em: 07 mar. 2023.

EISENREICH, D.; DEMUTH, B. **Designing embedded Internet devices**. Amsterdam ; Boston: Newnes, 2003.

ELETROGATE. **Módulo Radar Doppler HB100 - Sensor de Movimento por Microondas**, [2023]. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/modulo-radar-doppler-hb100>. Acesso em: 04 fev. 2023.

ELETROGATE. **Sensor Indutivo De Proximidade NPN - LJ12A3-4-Z/BX**, [2023]. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/sensor-indutivo-de-proximidade-npn>. Acesso em: 04 fev. 2023.

ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. **Hall effect**, 2023. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/Hall-effect>. Acesso em: 08 fev. 2023.

ESPRESSIF. **ESP32 Datasheet**, [2023]. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf. Acesso em: 07 fev. 2023.

FILIPE FLOP. **Regulador de Tensão LM2596 Conversor DC-DC Step Down**, [2023]. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/regulador-de-tensao-lm2596-conversor-dc-dc-step-down/>. Acesso em: 04 fev. 2023.

FILIPEFLOP. **Fonte DC Chaveada 12V 5A Metálica**, [2023]. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/fonte-dc-chaveada-12v-5a-metalica/>. Acesso em: 04 fev. 2023.

GOTO, N. *et al.* Detection of UV-induced cyclobutane pyrimidine dimers by near-infrared spectroscopy and aquaphotomics. **Scientific Reports**, v. 5, n. 1, 2 Jul. 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/srep11808>. Acesso em: 07 mar. 2023.

BUSCHOW, K. H. J. **Encyclopedia of Materials: science and technology**. Oxford: Elsevier, 2001.

HESSLING, M. *et al.* The impact of far-UVC radiation (200–230 nm) on pathogens, cells, skin, and eyes – a collection and analysis of a hundred years of data. **GMS Hygiene and Infection Control**, Ulm, v. 16, n. 07, 16 Feb. 2021. Disponível em: <https://www.egms.de/static/en/journals/dgkh/2021-16/dgkh000378.shtml>. Acesso em: 07 mar. 2023.

KAPLAN, H. **Practical applications of infrared thermal sensing and imaging equipment**. Bellingham (Washington): Spie Press, Cop, 2007.

KOWALSKI, W. **Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook: UVGI for air and surface disinfection**. Berlin: Springer, 2009.

LU, Y. *et al.* Multifunctional Flexible Humidity Sensor Systems Towards Noncontact Wearable Electronics. **Nano-Micro Letters**, v. 14, n. 1, 22 Jul. 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40820-022-00895-5>. Acesso em: 07 mar. 2023.

MARKATOS, K. *et al.* Hallmarks of amputation surgery. **International Orthopaedics**, v. 43, n. 2, p. 493–499, 12 Jun. 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00264-018-4024-6>. Acesso em: 07 mar. 2023.

MCNAMARA, J. E. **Technical Aspects of Data Communication**. 3. ed. Michigan: Elsevier, 1988.

NEWSOM, S. Pioneers in infection control—Joseph Lister. **Journal of Hospital Infection**, v. 55, n. 4, p. 246–253, Dec. 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0195670103003049>. Acesso em: 07 mar. 2023.

RAEISZADEH, M.; ADELI, B. A Critical Review on Ultraviolet Disinfection Systems against COVID-19 Outbreak: Applicability, Validation, and Safety Considerations. **ACS Photonics**, v. 7, n. 11, p. 2941–2951, 14 Oct. 2020. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7571309/pdf/ph0c01245.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2023

ROBOCORE. **Sensor de Presença PIR - HC-SR501**, [2023]. Disponível em: <https://www.robotcore.net/sensor-ambiente/sensor-de-presenca-pir-hc-sr501>. Acesso em: 04 fev. 2023.

ROSENBERG, C. E. **The care of strangers : the rise of America's hospital system**. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1995.

SAFFARI, A. *et al.* Battery-Free Camera Occupancy Detection System. **Proceedings of the 5th International Workshop on Embedded and Mobile Deep Learning**, 24 Jun. 2021. Disponível em: <https://par.nsf.gov/servlets/purl/10303866>. Acesso em: 07 mar. 2023.

SCHEER (SCIENTIFIC COMMITTEES ON HEALTH, ENVIRONMENTAL AND EMERGING RISKS). **Opinion on Biological effects of UV-C radiation relevant to health with particular reference to UV-C lamps**, 2017.

SCOPUS. **Analyze search results**. Disponível em: <https://www.scopus.com/term/analyzer.uri?sid=301fc5bb5bb1c3ce20073c530772e34e&origin=resultslist&src=s&s=TITLE-ABS-KEY+%28+UVC+AND+disinfection+AND+System+%29&sort=plf-f&sdt=b&sot=b&sl=49&count=180&analyzeResults=Analyze+results&txGid=2add20cfb218eb9d5f54bebb516cf771>. Acesso em: 06 fev. 2023.

SMITH, P. W.; WATKINS, K.; HEWLETT, A. Infection control through the ages. **American Journal of Infection Control**, v. 40, n. 1, p. 35–42, Feb. 2012. Disponível em: <https://cha.com/wp-content/uploads/2017/11/AJIC-2012-Infection-Control-Through-the-Ages.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2023.

SPARKFUN. **Serial Peripheral Interface (SPI)**. Disponível em: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-peripheral-interface-spi/all>. Acesso em: 07 fev. 2023.

STORM, N. *et al.* Rapid and complete inactivation of SARS-CoV-2 by ultraviolet-C irradiation. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 22421, 30 Dec. 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-79600-8>. Acesso em: 07 mar. 2023.

TE CONNECTIVITY. **Vibration Sensors**: accelerometer types, [2023]. Disponível em: <https://www.te.com/usa-en/products/sensors/vibration-sensors/intersection/types-of-accelerometers.html#chapter-5-dl>. Acesso em: 07 fev. 2023.

THOMAZINI, P.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores industriais**: fundamentos e aplicações. 4. ed. São Paulo: Érica, 2011. p. 40.

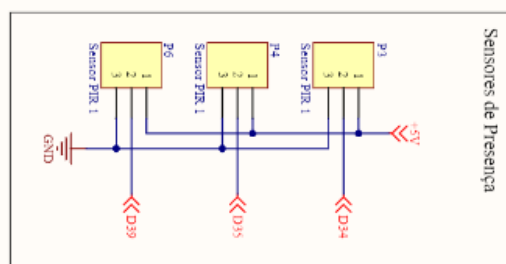
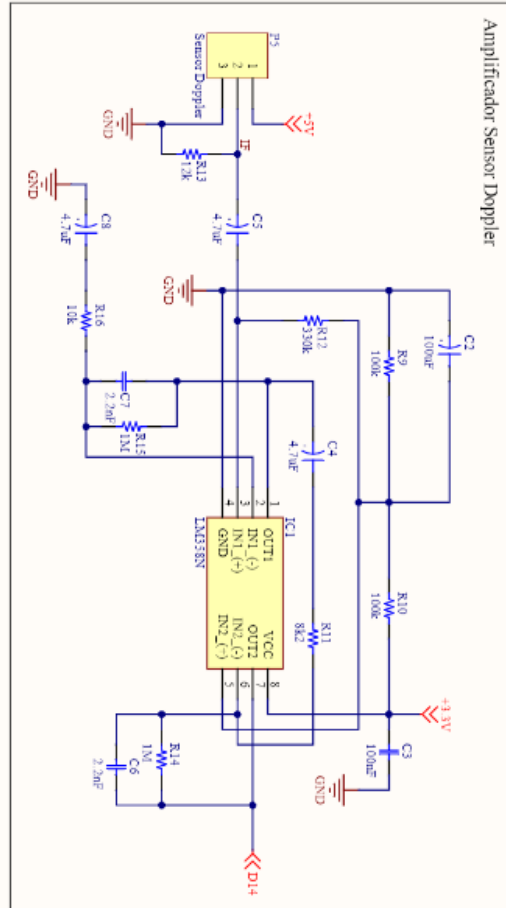
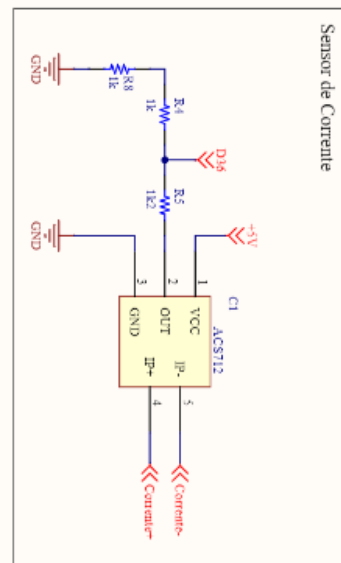
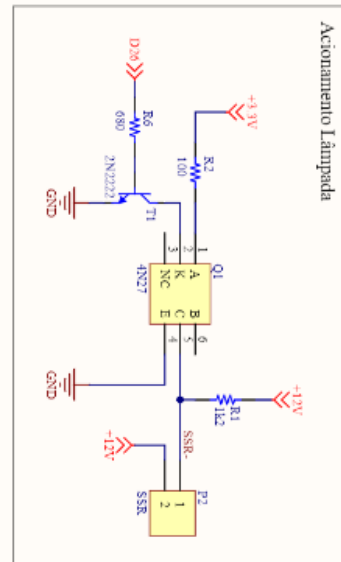
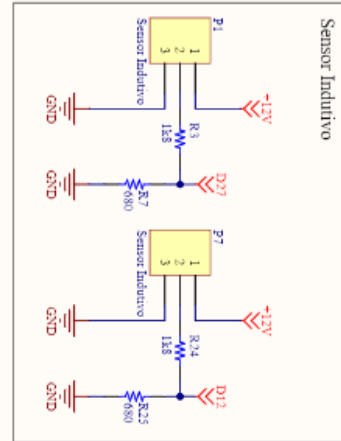
TSENG, C.-C.; LI, C.-S. Inactivation of Virus-Containing Aerosols by Ultraviolet Germicidal Irradiation. **Aerosol Science and Technology**, v. 39, n. 12, p. 1136–1142, Dec. 2005. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/02786820500428575?needAccess=true&role=button>. Acesso em: 07 mar. 2023.

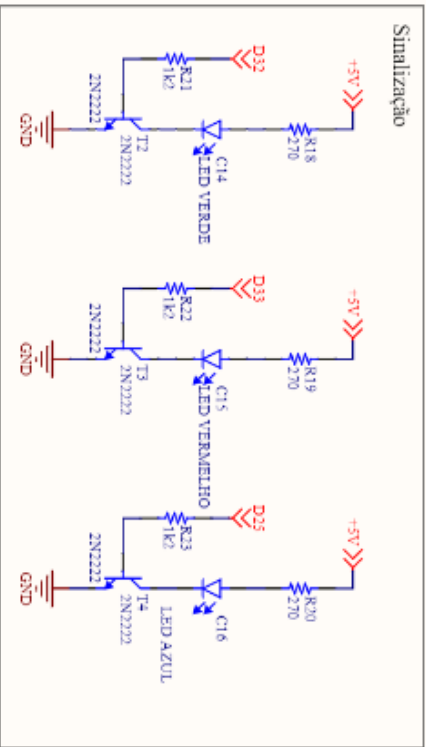
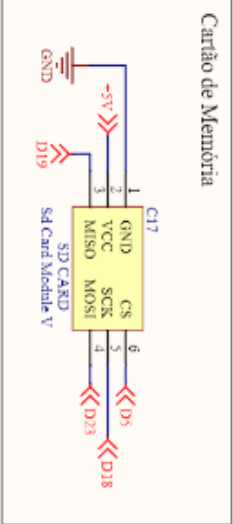
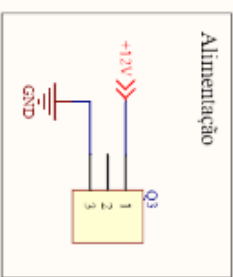
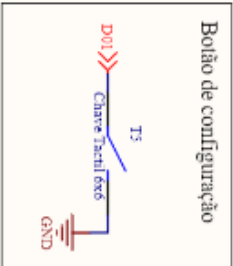
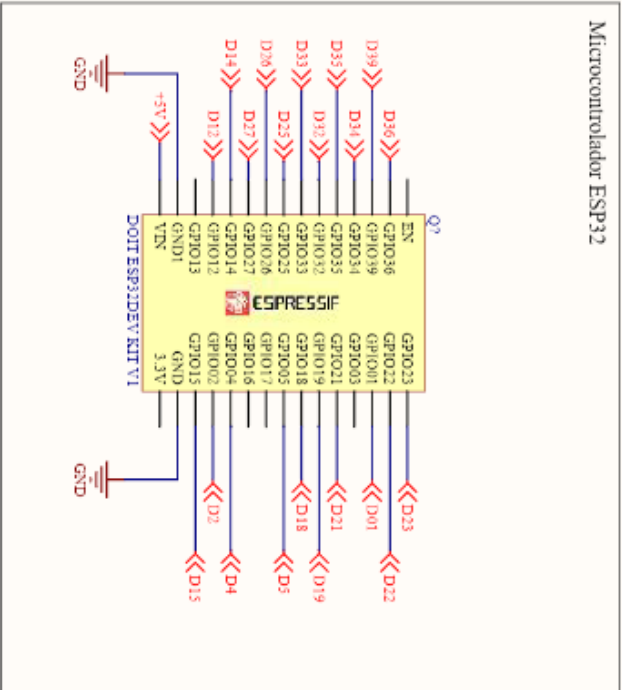
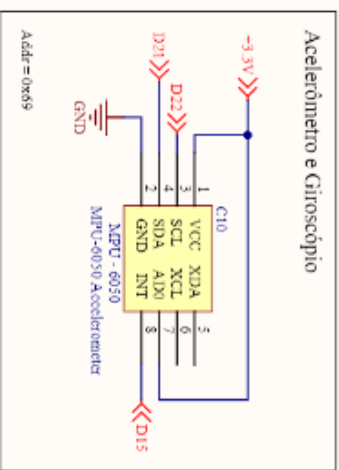
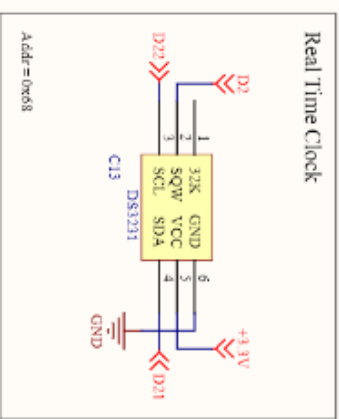
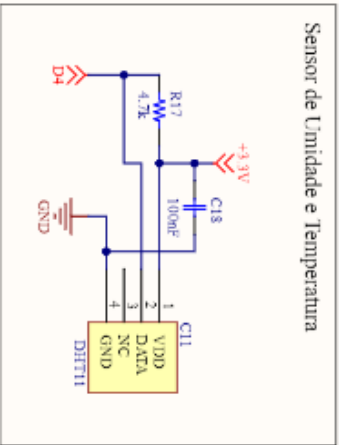
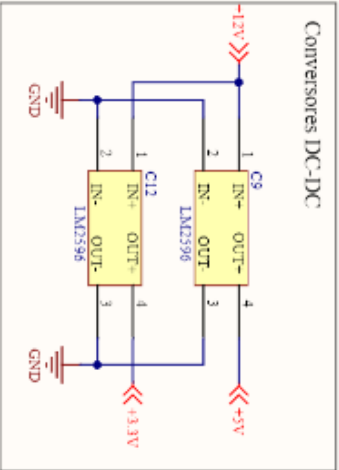
TURTOI, M.; BORDA, D. Decontamination of egg shells using ultraviolet light treatment. **World's Poultry Science Journal**, v. 70, n. 2, p. 265–278, 1 Jun. 2014. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/world-s-poultry-science-journal/article/abs/decontamination-of-egg-shells-using-ultraviolet-light-treatment/CE824ED89F9A35FF7D9473EBDF3E9405>. Acesso em: 07 mar. 2023.

UTMEL ELECTRONIC. **What is a Radar Sensor?**, 2020. Disponível em: <https://www.utmel.com/blog/categories/sensors/what-is-a-radar-sensor>. Acesso em: 07 fev. 2023.

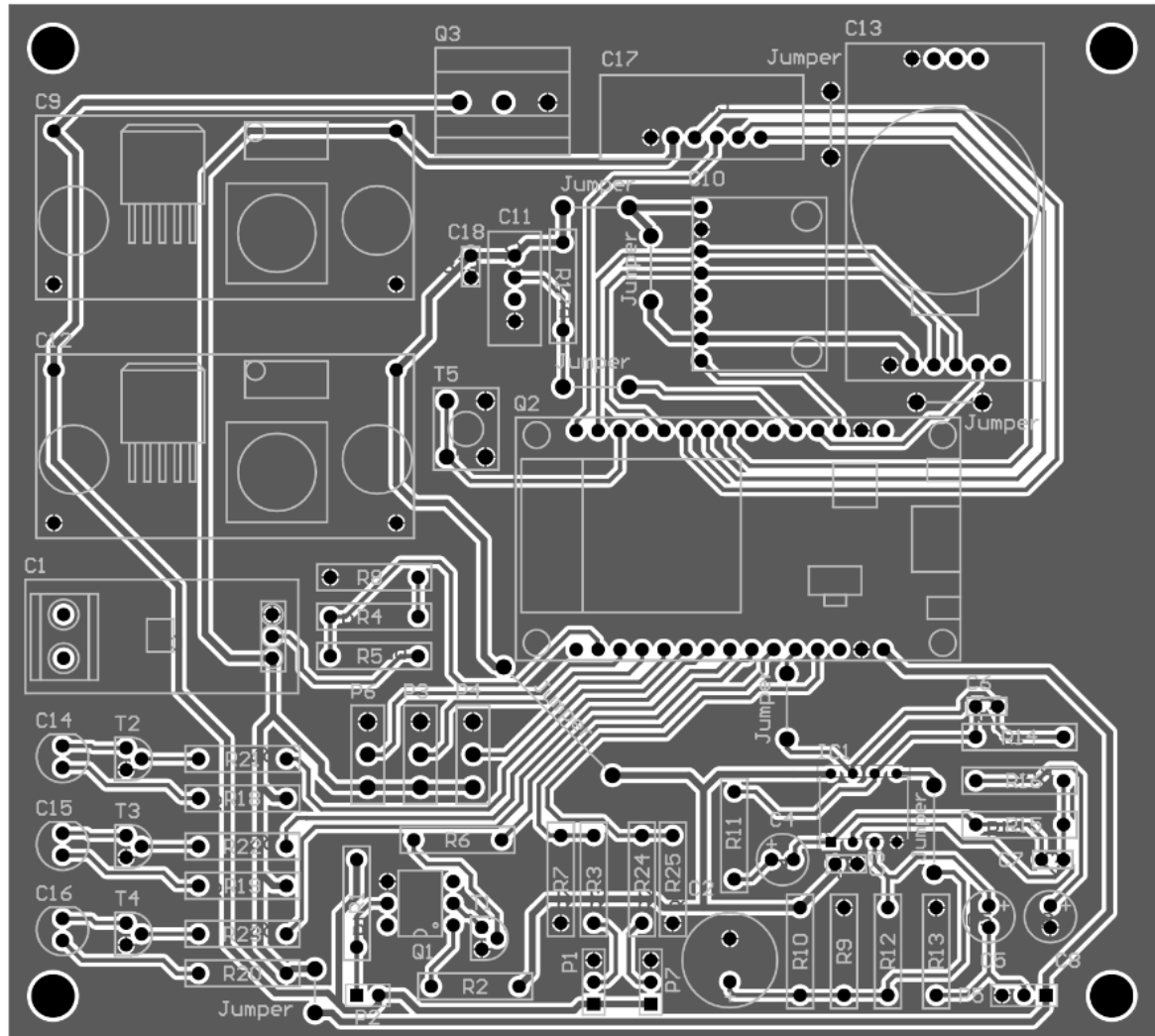
WU, S. *et al.* Environmental contamination by SARS-CoV-2 in a designated hospital for coronavirus disease 2019. **American Journal of Infection Control**, v. 48, n. 8, p. 910–914, Aug. 2020. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7214329/pdf/main.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2023.

APÊNDICE A – ESQUEMÁTICO DO SISTEMA DE DESINFECÇÃO





APÊNDICE B- LAYOUT DA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO



APÊNDICE C – CÓDIGO PARA CONFIGURAÇÃO DOS TERMINAIS DO MICROCONTROLADOR (DEFINE_PINS.H)

```
const uint64_t LED_VERDE = 32;
const uint64_t LED_VERMELHA = 33;
const uint32_t LED_AZUL = 25;
const uint32_t SENSOR_INDUTIVO01 = 27;
const uint32_t SENSOR_INDUTIVO02 = 12;
const uint16_t SENSOR_DOPPLER = 14;
const uint64_t SENSOR_PIR1 = 34;
const uint64_t SENSOR_PIR2 = 35;
const uint64_t SENSOR_PIR3 = 39;
const uint64_t SENSOR_I = 36;
const uint8_t SENSOR_TEMP = 4;
const uint8_t CONFIG_SW = 13;
const uint32_t LAMP_EN = 26;

void pinsSetup()
{
    pinMode(LED_VERDE, OUTPUT);
    pinMode(LED_VERMELHA, OUTPUT);
    pinMode(LED_AZUL, OUTPUT);
    pinMode(LAMP_EN, OUTPUT);
    pinMode(SENSOR_INDUTIVO01, INPUT_PULLUP);
    pinMode(SENSOR_INDUTIVO02, INPUT_PULLUP);
    pinMode(SENSOR_PIR1, INPUT);
    pinMode(SENSOR_PIR2, INPUT_PULLDOWN);
    pinMode(SENSOR_PIR3, INPUT_PULLDOWN);
    pinMode(SENSOR_TEMP, INPUT);
    pinMode(CONFIG_SW, INPUT_PULLUP);
}
```

APÊNDICE D – CÓDIGO PARA OBTENÇÃO DAS MEDIÇÕES DO ACELERÔMETRO (ACELEROMETRO.H)

```
#include <Wire.h>
const int MPU = 0x69;
void configAccel()
{
    Wire.begin();
    Wire.beginTransmission(MPU);
    Wire.write(0x6B);
    Wire.write(0);
    Wire.endTransmission(true);

    Wire.beginTransmission(MPU);
    Wire.write(0x1B);           //configurando Giroscopio
    Wire.write(0b00000000);    //fundo de escala em +/- 250 graus/s
    Wire.endTransmission();

    Wire.beginTransmission(MPU);
    Wire.write(0x1C);           //configurando Acelerometro
    Wire.write(0b00000000);    //fundo de escala em +/- 2g
    Wire.endTransmission();
    return;
}

void getAccel(float *xAccel, float *yAccel, float* zAccel)
{
    Wire.beginTransmission(MPU);
    Wire.write(0x3B);
    Wire.endTransmission(false);
    Wire.requestFrom(MPU, 6, true);

    float X = Wire.read() << 8 | Wire.read();
    float Y = Wire.read() << 8 | Wire.read();
    float Z = Wire.read() << 8 | Wire.read();

    Wire.endTransmission(true);

    *xAccel = X / 16384;
    *yAccel = Y / 16384;
    *zAccel = Z / 16384;
}
```

APÊNDICE E – CÓDIGO PARA OS SENSORES DE PRESENÇA (SENSORESPRESECA.H)

```

long tempoDisparoPIR1 = 0;
long tempoDisparoPIR2 = 0;
long tempoDisparoPIR3 = 0;
long tempoPessoaPresente = 0;
long now=0;
bool trig1 = false; //PIR1
bool trig2 = false; //PIR2
bool trig3 = false; //PIR3
extern bool PessoaPresente;
const int redisparoPIR = 5; //Tempo (em segundos) que as variaveis "trig1-3"
permanecem ativas quando há um disparo dos PIRs
const int segundosPresenca = 15; //Tempo (em segundos) que a variável
pessoaPresente permanece como true após um dos sensores detectarem movimento
void IRAM_ATTR disparoPIR1()
{
    tempoDisparoPIR1 = millis();
}
void IRAM_ATTR disparoPIR2()
{
    tempoDisparoPIR2 = millis();
}
void IRAM_ATTR disparoPIR3()
{
    tempoDisparoPIR3 = millis();
}
void IRAM_ATTR interruptPresenca()
{
    now = millis();
    trig1 = (now - tempoDisparoPIR1) < (1000 * redisparoPIR);
    trig2 = (now - tempoDisparoPIR2) < (1000 * redisparoPIR);
    trig3 = (now - tempoDisparoPIR3) < (1000 * redisparoPIR);
    if(trig1 || trig2 || trig3 || trig4)
    {
        PessoaPresente = true;
        tempoPessoaPresente = millis();
    }

    if((now-tempoPessoaPresente) > (1000*segundosPresenca))
    {
        PessoaPresente = false;
    }
}

```

APÊNDICE F – Código para a máquina de estado do elevador (ElevaUV.INO)

```
#include <Wire.h>
#include "Acelerometro.h"
#include "Define_pins.h"
#include "SensoresPresenca.h"
hw_timer_t *timer3 = NULL;
long agora = millis();
long tempoConfig = 60; //tempo mínimo de configuracao em segundos
bool botaoApertado = false; //Flag que indica se o botão de configuração já
foi apertado
bool gravidadeGravada = false; //Flag que indica se os valores de aceleração
dos eixos do acelerômetro já foram gravados
bool PessoaPresente = true; //Variável que indica se houve a detecção de
pessoas dentro do período de tempo definido por "segundosPresenca" no header
//SensoresPresenca
bool portaAberta = false; //Flag que indica o estado da porta do elevador
bool primeiraLeitura = true; //Flag usada para se aplicar um atraso na
leitura dos valores do acelerômetro
float AccX,AccY,AccZ,gravX, gravY, gravZ;
enum estados {
    Aberto,
    ParadoFechadoComPessoas,
    ParadoFechadoSemPessoas,
    FechadoComPessoas,
    MovimentoSemPessoas,
    FalhaNaLampada,
    PrestesAAbrir,
    Configuracao
};

estados estado;

void IRAM_ATTR portaAbriu() {

    if (digitalRead(SENSOR_INDUTIVO1) == 1 || digitalRead(SENSOR_INDUTIVO2) ==
1)
    {
        portaAberta = true;
    }
    else
    {
        portaAberta = false;
    }
}
```

```

void IRAM_ATTR getG()
{
    botaoApertado = true;
}
void setup()
{
    estado = Configuracao;
    pinsSetup(); //Configurando os terminais de IO
    configAccel(); //Configurando o acelerômetro

    //Adicionando interrupções
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(CONFIG_SW), getG, FALLING);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(SENSOR_INDUTIVO1), portaAbriu,
CHANGE);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(SENSOR_INDUTIVO2), portaAbriu,
CHANGE);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(SENSOR_PIR1), disparoPIR1, RISING);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(SENSOR_PIR2), disparoPIR2, RISING);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(SENSOR_PIR3), disparoPIR3, RISING);

    // configuração do timer para atualizar o status de presença

    timer3 = timerBegin(3,80,true); //Como o clock do ESP32 tem 80MHz, se
    utilizarmos um prescaler (divisor de frequência) de
    //80, teremos uma frequencia de 1MHz para o clock.
    timerAttachInterrupt(timer3, interruptPresenca,true); //Aqui adicionamos
    uma interrupção para o clock, de forma que a função interruptPresenca será
    //chamada sempre que houver um transbordo em timer1
    timerAlarmWrite(timer3,500000,true); //nessa linha definimos que o timer 1
    irá transbordar após 500000 pulsos, ou seja a cada  $1 \cdot 10^6 \cdot 500000 = 0,5s$ 
    timerAlarmEnable(timer3);

    //Iniciando a comunicação serial para debugar o código
    Serial.begin(9600);
}

void config()
{
    agora = millis();
    if (botaoApertado == true)
    {
        delay(1000);
        botaoApertado = false;
        getAccel(&gravX,&gravY,&gravZ);
        gravidadeGravada = true;
    }
}

```

```

    if ((agora > (tempoConfig * 1000)) && gravidadeGravada == true)
    {
        estado = ParadoFechadoComPessoas;
    }
}
void PFCP()
{

    if(PessoaPresente==false)
    {
        estado = ParadoFechadoSemPessoas;
    }

    if (portaAberta == true)
    {
        estado = Aberto;
    }
}

void Abrt()
{

    if (portaAberta == true)
    {}
    else
    {
        if (PessoaPresente == true)
        {
            estado = ParadoFechadoComPessoas;
        }

        else
        {
            estado = ParadoFechadoSemPessoas;
        }
    }
}

void PFSP()
{

    agora = millis();

    if(PessoaPresente == true)
    {
        estado = ParadoFechadoComPessoas;
    }
}

```

```

getAccel(&AccX,&AccY,&AccZ);
AccX = AccX - gravX;
AccY = AccY - gravY;
AccZ = AccZ - gravZ;

if (portaAberta == false)
{
    if (abs(AccX) > 0.04 || abs(AccY) > 0.04 || abs(AccZ) > 0.04)
    {
        estado = MovimentoSemPessoas;
    }
}
else
{
    estado = Aberto;
}
}

void MSP()
{

    if(primeiraLeitura == true)
    {
        delay(5000);
        primeiraLeitura= false;
    }

    getAccel(&AccX,&AccY,&AccZ);
    AccX = AccX - gravX;
    AccY = AccY - gravY;
    AccZ = AccZ - gravZ;
    if (abs(AccX) > 0.04 || abs(AccY) > 0.04 || abs(AccZ) > 0.04)
    {
        estado = PrestesAAbrir;
    }
}

void PAA()
{

    if(portaAberta==true)
    {
        estado = Aberto;
        primeiraLeitura= true;
    }
}

void loop() {

```

```

switch (estado)
{
    case Configuracao:
        digitalWrite(LAMP_EN, LOW);
        digitalWrite(LED_VERMELHA, HIGH);
        config();
        break;

    case ParadoFechadoComPessoas:
        digitalWrite(LAMP_EN, LOW);
        digitalWrite(LED_VERMELHA, LOW);
        digitalWrite(LED_AZUL, HIGH);
        digitalWrite(LED_VERDE, LOW);
        PFCP();
        break;

    case Aberto:
        digitalWrite(LAMP_EN, LOW);
        digitalWrite(LED_VERMELHA, HIGH);
        digitalWrite(LED_AZUL, HIGH);
        digitalWrite(LED_VERDE, LOW);
        Abrt();

        break;

    case ParadoFechadoSemPessoas:
        digitalWrite(LED_VERMELHA, HIGH);
        digitalWrite(LED_AZUL, LOW);
        digitalWrite(LED_VERDE, HIGH);
        digitalWrite(LAMP_EN, HIGH);
        PFSP();
        break;

    case MovimentoSemPessoas:
        digitalWrite(LED_VERMELHA, LOW);
        digitalWrite(LED_AZUL, HIGH);
        digitalWrite(LED_VERDE, HIGH);
        digitalWrite(LAMP_EN, HIGH);
        MSP();
        break;

    case PrestesAAbrir:
        digitalWrite(LAMP_EN, LOW);
        digitalWrite(LED_VERMELHA, HIGH);
        digitalWrite(LED_AZUL, HIGH);
        digitalWrite(LED_VERDE, HIGH);
        PAA();
        break }}

```