

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

ACIR MARCONATO JUNIOR

SISTEMA PARA MONITORAMENTO DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA: UMA  
FERRAMENTA DE AUXÍLIO NO COMBATE AO CÂNCER DE PELE

Joinville  
2022

ACIR MARCONATO JUNIOR

SISTEMA PARA MONITORAMENTO DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA: UMA  
FERRAMENTA DE AUXÍLIO NO COMBATE AO CÂNCER DE PELE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito parcial para obtenção do título  
de bacharel em Engenharia Mecatrônica  
no curso de Engenharia Mecatrônica,  
da Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Orientador: Prof. Dr. Diego Alexandre Duarte

Joinville  
2022

ACIR MARCONATO JUNIOR

SISTEMA PARA MONITORAMENTO DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA: UMA  
FERRAMENTA DE AUXÍLIO NO COMBATE AO CÂNCER DE PELE

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecatrônica, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 31 de março de 2022.

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Diego Alexandre Duarte  
Orientador  
Presidente

---

Profa. Dra. Tatiana Renata Garcia  
Avaliadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Profa. Dra. Fátima Araujo Machado  
Avaliadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho, principalmente, à minha família que sempre me inspirou, motivou e acreditou no meu potencial para estar concluindo este trabalho e o curso de engenharia mecatrônica.

## **AGRADECIMENTOS**

A finalização de um TCC não é apenas um trabalho a ser entregue para aquisição de nota e aprovação, mas também significa o encerramento de um ciclo e início de uma nova jornada. A conclusão deste trabalho também representa a chave para abertura de uma nova porta e isso só foi possível, pois tive auxílio de diversas pessoas, seja no âmbito familiar, círculo de amizades e vida acadêmica.

Portanto, eu quero agradecer primeiramente aos meus Pais, Marilda Marconato e Acir Marconato e minhas irmãs, Glauce Marconato, Giselle Marconato e Maria Eduarda que juntos formam meu alicerce e sem o apoio deste núcleo eu provavelmente não estaria entregando este trabalho e nem mesmo finalizando o curso de engenharia mecatrônica.

Quero também deixar meu agradecimento ao meu Orientador, Professor Doutor Diego Alexandre Duarte, que foi minha inspiração desde o primeiro contato dentro da sala de aula. Além de ter sido fundamental em me auxiliar durante o desenvolvimento deste trabalho, onde também pude contar com o apoio emocional em momentos de dificuldade.

Agradeço também a Professora Doutora Tatiana Renata Garcia e a Professora Doutora Fátima Araujo Machado que aceitaram o convite de prestigiar a apresentação deste trabalho e que formam a banca avaliadora deste TCC.

Aproveito para agradecer a todos os professores que de alguma forma contribuíram para a minha formação. Em especial, ao Xisto Lucas Travassos Junior e ao Carlos Mauricio Sacchelli, com quem trabalhei em bolsas de extensão e que contribuíram muito para o meu desenvolvimento acadêmico durante a graduação.

Agradeço aos meus amigos da UFSC que foram sempre muito importantes em diversos momentos enfrentados na universidade. O incentivo deles tornou o caminho da formação muito mais fácil, então, agradeço especialmente a Dailiane Azeredo, Thais Baena Moura, Gabriella Narciso, Sara Cristina Rodrigues, Maria Helena Oliveira, Adriano Martins, Bruna Larissa Tascheck, Jéssica Medalha, Mariana Sabra, Luana Gomes, Luana Desiree, Danylle Donatti, Ana Carolina Freitas, Lucas Pires Camargo, Lívia Rampinelli, Mariana Antosz e também ao Danilo José que me auxiliou em algumas etapas durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a Nadine Ribas Szklar, Ellen Pirog, Diego Zeloni, Gabriele Oliveira, Joana Schramm, Leticia Eugenio, Mariana Novaki, Marinês Narciso, Maria Ernesta Oliveira, Manoel Fernandes, Maramir Alves, Uesley Kalebe Leite e Evanir Rodrigues. Pessoas importantes que participam da minha vida e que foram primordiais para a minha estabilidade emocional e conclusão do curso.

Gostaria de agradecer ao Rotaract Club Joinville UFSC, ao DALEM e a ESATI, entidades e empresa junior que foram fundamentais para o meu crescimento profissional e pessoal, apostando na minha transformação para impactar o mundo positivamente.

Gostaria de agradecer também aos amigos da ESATI Consultoria e ao setor de Gestão de Pessoas que sempre acreditaram em mim e me acolheram durante este processo. Obrigado em especial para a Larissa Baquião, Vitor Tomazelli, André Siewert, Emily Cerioli, Beatriz Chow, Julia Lemos, Isabella Lopez, Ian Ferreira, Vitória Rocha, Nathan Monteiro, Luah Santos e Rafael Carnio.

A seção de agradecimento é o momento mais reflexivo de todo este trabalho. O reconhecimento da evolução obtida durante todo o processo é quando vemos o impacto social que as relações tem sobre todos nós, uma troca mútua de aprendizado e desenvolvimento em cada indivíduo. Além disso, eu também não poderia deixar de agradecer a sociedade brasileira, que por meio de impostos tem impacto ao manter as instituições públicas vivas na luta da expansão do conhecimento. E assim como a UFSC, a qual sou muito grato e tenho muito orgulho de ter estudado, também vejo a responsabilidade de retribuir à sociedade brasileira com o desenvolvimento de novas tecnologias, para que isso possa beneficiar esta população que contribui tanto para a sustentação deste país.

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes.”  
(Isaac Newton, 1676).

## RESUMO

A exposição prolongada à radiação solar, em especial, na faixa do ultravioleta pode levar ao surgimento de danos irreversíveis na pele, como queimaduras, envelhecimento precoce e câncer. Dados da Organização Mundial da Saúde (OMS) mostram que o câncer de pele é um problema de saúde pública em nível mundial, indicando a necessidade da população adotar medidas contra a exposição excessiva à luz solar. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sensor para medição da intensidade de radiação ultravioleta produzida tanto pelo Sol quanto por lâmpadas em laboratório. O dispositivo, elaborado com um microcontrolador, sensor de radiação ultravioleta, LCD e LEDs, faz a leitura da intensidade de radiação e informa os resultados para o usuário através da metodologia desenvolvida pela OMS, que é composta por uma escala numérica de valores inteiros e uma escala de cores. A validação do equipamento foi realizada tanto em ambiente solar natural, com medições nas cidades de Joinville (SC) e Curitiba (PR), quanto em laboratório por meio de medições de radiação produzida por lâmpadas. Os dados coletados com a radiação produzida pelo Sol foram comparados com os dados da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE/DSA). Os resultados mostram que o sensor está em concordância com as medições realizadas pelo INPE/DSA, sendo possível determinar períodos do dia próprios e impróprios para realização de atividades com exposição ao Sol. As medições de radiação produzida por lâmpadas mostram que é possível determinar distâncias de segurança entre o usuário e a lâmpada onde a intensidade de ultravioleta seja considerada segura para a pele.

**Palavras-chave:** Câncer. Ultravioleta. Sol. Sensor.

## **ABSTRACT**

The extended exposure to the solar radiation can lead to the skin irreversible damage as burn skin, premature aging and cancer due to the ultraviolet range. The data from the World Health Organization (WHO) show that the skin cancer is a worldwide public health problem, indicating the need for the population to adopt measures against excessive exposure to the sunlight. This paper presents the development of a sensor for measuring the intensity of ultraviolet radiation emitted by both, the Sun and the lamps in the laboratory. The device which is built with a microcontroller, ultraviolet radiation sensor, LCD display and LEDs, can be able to read the radiation intensity and reports the results to the user through the methodology developed by the WHO which is composed of a numerical scale of integer values and color scale. The validation of the device was realized in both such in a natural solar environment with measurements made in Joinville (SC) and Curitiba (PR) as in the laboratory through measurements of radiation emitted by lamps. The data collected with the radiation emitted by the Sun were compared with the data got from the Satellite Division and Environmental Systems of the National Institute for Space Research (INPE/DSA). The sensor results show that are in agreement with the measurements realized by INPE/DSA, making it possible to define proper and improper periods during the day for making activities to the Sun exposure. The measurements of radiation emitted by lamps show that it is possible to define safe distances between the user and the lamp where the ultraviolet intensity is considered safe for the skin.

**Keywords:** Cancer. Ultraviolet. Sun. Sensor.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Espectro eletromagnético em função do comprimento de onda. . . . .	17
Figura 2 – Ilustração do diferencial de ângulo sólido delimitando a caneta de radiação emitida por uma fonte luminosa, em coordenadas esféricas. . . . .	19
Figura 3 – Interior de um corpo negro ilustrando os processos de emissão e absorção. . . . .	20
Figura 4 – Radiância monocromática de um corpo negro para várias temperaturas. . . . .	21
Figura 5 – Espectro solar (irradiância monocromática) nos padrões AM0 e AM1.5 em comparação com o espectro de corpo negro na temperatura de 5800 K. Os dados do Sol para produção da figura foram extraídos de (THE NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY, 2021). Os espectros são apresentados com dados entre 280 e 2500 nm. . . . .	23
Figura 6 – Fenômenos na interação dos raios solares com a atmosfera e superfície da Terra. Figura produzida com informações apresentadas em (GRIMM, 1999). . . . .	24
Figura 7 – Índice de ultravioleta (UVI). . . . .	25
Figura 8 – Mapa de incidência de ultravioleta medido no dia 26/01/2022 às 12h20min (horário de Brasília). . . . .	27
Figura 9 – Índice de ultravioleta em função do tempo medido no dia 26/01/2022 para (a) Florianópolis (SC) e (b) Curitiba (PR). . . . .	28
Figura 10 – Incidência de câncer no mundo. . . . .	29
Figura 11 – Divisão da radiação ultravioleta e os efeitos de cada faixa na saúde humana. . . . .	30
Figura 12 – Microcontrolador ESP32. . . . .	33
Figura 13 – Sensor de radiação ultravioleta Grove. . . . .	33
Figura 14 – Espectro de emissão das lâmpadas utilizadas para medição do UVI em laboratório. Os espectros foram obtidos com o espectrômetro óptico UV-VIS OCEAN OPTICS USB4000 com resolução de 1,5 nm. . . . .	34
Figura 15 – LCD utilizada para comunicação com o usuário. . . . .	34
Figura 16 – Módulo Serial I <sup>2</sup> C utilizada para comunicação entre a ESP32 e a LCD. . . . .	35
Figura 17 – Detalhes do módulo serial I <sup>2</sup> C para a LCD. . . . .	36
Figura 18 – LEDs utilizados para produção da escala visual do sensor. Figura elaborada com auxílio do programa (FRITZING GMBH, 2022). . . . .	36
Figura 19 – Circuito elétrico do dispositivo. Figura elaborada com auxílio do programa (FRITZING GMBH, 2022). . . . .	37

Figura 20 – Medição IUV realizada no dia 22/02/2022. Os dados do INPE foram registrados até 14h30min. . . . .	40
Figura 21 – Equipamento desenvolvido para o monitoramento de radiação UV. .	41
Figura 22 – Registro de IUV apresentado pelo sensor após o céu ser encoberto por uma camada espessa de nuvens. . . . .	42
Figura 23 – Medição IUV realizada no dia 23/02/2022. Os dados do INPE foram registrados até 14h30min. . . . .	43
Figura 24 – Medição IUV realizada no dia 27/02/2022 . . . . .	43
Figura 25 – Medição IUV realizada em laboratório . . . . .	44

## LISTA DE SÍMBOLOS

$c$	Velocidade da luz no vácuo
$\lambda$	Comprimento de onda
$\nu$	Frequência de radiação eletromagnética
$E$	Energia
$h$	Constante de Planck
$\kappa$	Constante de Boltzmann
$f$	Fluxo de energia
$F$	Irradiância
$F_\lambda$	Irradiância monocromática
$I$	Radiância
$I_\lambda$	Radiância monocromática
$\Omega$	Ângulo sólido
$\epsilon_\lambda$	Emissividade
$A_\lambda$	Absorvidade
$R_\lambda$	Refletividade
$B_\lambda$	Radiância monocromática dada pela lei de Planck
$B$	Radiância dada pela lei de Planck
$T$	Temperatura
$\sigma$	Constante de Stephan-Boltzmann
$R_S$	Raio solar
$r_{TS}$	Distância Terra-Sol
$\xi_\lambda$	Espectro de ação eritêmica
AM0	Padrão <i>air mass</i> nível 0

AM1.5	Padrão <i>air mass</i> nível 1.5
UV	Ultravioleta
UVA	Ultravioleta na faixa A
UVB	Ultravioleta na faixa B
UVC	Ultravioleta na faixa C
IR	Infravermelho
UVI	Índice de ultravioleta
DNA	Ácido desoxirribonucleico
LCD	<i>Liquid crystal display</i>
LED	<i>Light emitting diode</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1	Objetivo	15
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>15</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>15</b>
1.2	Organização do trabalho	15
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>16</b>
2.1	O Sol como fonte de energia para a Terra	16
<b>2.1.1</b>	<b>Espectro eletromagnético</b>	<b>16</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Quantificação da radiação</b>	<b>18</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Radiação de corpo negro</b>	<b>19</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Espectro solar padrão</b>	<b>22</b>
<b>2.1.5</b>	<b>Interação da radiação solar com a atmosfera da Terra</b>	<b>23</b>
<b>2.1.6</b>	<b>Índice de ultravioleta</b>	<b>24</b>
2.2	Câncer no Brasil e Mundo	26
<b>2.2.1</b>	<b>Câncer de pele</b>	<b>29</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Formas de proteção à radiação solar</b>	<b>31</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>32</b>
3.1	Componentes	32
<b>3.1.1</b>	<b>Microcontrolador</b>	<b>32</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Sensor de radiação ultravioleta</b>	<b>32</b>
<b>3.1.3</b>	<b>LCD</b>	<b>33</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Módulo da LCD</b>	<b>35</b>
<b>3.1.5</b>	<b>LEDs</b>	<b>35</b>
3.2	Circuito elétrico	36
3.3	Codificação do microcontrolador	37
3.4	Custo dos materiais	38
3.5	Medições com o sensor	38
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>39</b>
4.1	IUV medido em ambiente solar natural	39
4.2	IUV medido em ambiente laboratorial	41
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>46</b>

<b>APÊNDICE A</b> . . . . .	<b>49</b>
<b>APÊNDICE B</b> . . . . .	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A troca de energia entre a Terra e o universo ocorre por meio da radiação, que é a única forma de energia que pode percorrer o vácuo do espaço. A Terra é diariamente bombardeada por fótons do Sol, que podem ser absorvidos ou refletidos pela atmosfera. Caso sejam transmitidos através dela, atingem a superfície do planeta, sendo novamente refletidos ou absorvidos, onde apenas a radiação absorvida é utilizada pelo planeta para manutenção da sobrevivência terrestre (GRIMM, 1999).

O espectro solar é composto por radiação ultravioleta (UV), visível e infravermelha (IR). Essa classificação é realizada a partir do comprimento de onda da radiação. Quanto menor o comprimento de onda, maior é a energia da radiação. A faixa do UV possui comprimentos de onda entre 100 e 400 nm; a faixa do visível está entre 400 e 700 nm e o IR está acima de 700 nm. No nível do mar, o espectro eletromagnético solar é composto aproximadamente por 7% de UV, 43% de radiação visível e 49% de IR (BALOGH et al., 2011). Dentro do UV também existem subclassificações que determinam as partes mais energéticas do espectro: UVC (100-290 nm), UVB (290-320 nm) e UVA (320-400 nm). A faixa do UVA também possui subclassificação: UVA1 (340-400 nm) e UVA 2 (320-340 nm) (BALOGH et al., 2011).

O DNA é uma das principais moléculas que absorvem radiação UV (BALOGH et al., 2011) que ao atingir a pele humana desprotegida, inicia um processo complexo de reações químicas e morfológicas, gerando uma resposta inflamatória do corpo e, como consequência, mutações que podem evoluir para o câncer de pele (BALOGH et al., 2011). O câncer é o principal problema de saúde pública no mundo e o segundo que mais causa mortes no planeta (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2021). Somente no Brasil, são registrados 180 mil casos de tumores malignos por ano, dos quais o câncer de pele representa 30% (INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER, 2021a). Um dos fatores responsáveis por esse índice é a falta de informação sobre os cuidados com a pele durante a exposição prolongada ao Sol em horários de maior intensidade de radiação (INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER, 2021a). A exposição em câmaras de bronzeamento artificial e histórico de câncer de pele na família também contribuem para o surgimento da doença (INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER, 2021b)). A maior incidência de câncer de pele está na região sul do Brasil (INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER, 2021c), sendo Santa Catarina o estado com o maior número de casos, e tendo em Joinville, entre 2010 e 2015, como a cidade com o maior número de mortes registradas (SOCIEDADE BRASILEIRA DE MEDICINA TROPICAL, 2021).

Para conscientizar a população e combater as taxas de avanço da doença, a Sociedade Brasileira de Dermatologia (SOCIEDADE BRASILEIRA DE

DERMATOLOGIA, 2021) tem realizado campanhas sistemáticas para a utilização de protetores solares acima de 30 FPS e outras ferramentas que aumentam a proteção contra a radiação solar (SOCIEDADE BRASILEIRA DE DERMATOLOGIA, 2021). Em consonância com essas estratégias, esse trabalho de conclusão de curso apresenta a construção de um sensor para medição de radiação ultravioleta em ambientes fechados (laboratórios, salas etc.) e abertos (parques, quadras esportivas etc.), permitindo o monitoramento da intensidade de radiação UV nesses espaços e adoção de estratégias que minimizem a exposição prolongada.

## 1.1 OBJETIVO

Os objetivos do trabalho são apresentados abaixo.

### 1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um equipamento de baixo custo para medição da intensidade de ultravioleta em ambientes com iluminação artificial ou solar.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Definir uma grandeza para medir a intensidade de radiação ultravioleta;
- Programar um microcontrolador na IDE do Arduino para medir a intensidade de UV em um sensor de ultravioleta e apresentar o valor medido para um usuário local por meio de uma LCD;
- Inserir uma escala colorida com LEDs no dispositivo que indique a periculosidade do valor medido;
- Calibrar o sensor em ambiente com iluminação solar com auxílio de valores medidos por satélites do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais;
- Utilizar o dispositivo para medir a intensidade de radiação ultravioleta produzida pelo Sol e por alguns tipos de lâmpadas utilizadas em ambiente laboratorial.

## 1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está organizado em quatro capítulos principais: (i) Fundamentação Teórica, (ii) Materiais e Métodos, (iii) Resultados e Discussões e (vi) Conclusões. Em Fundamentação Teórica é apresentado o estado da arte do tema desenvolvido neste trabalho. Em Materiais e Métodos são descritos todos os procedimentos realizados para o desenvolvimento do sensor. Em Resultados e Discussões são apresentados os resultados obtidos e o capítulo Conclusões descreve as considerações finais.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados todos os fundamentos necessários para o entendimento do trabalho realizado.

### 2.1 O SOL COMO FONTE DE ENERGIA PARA A TERRA

O Sol é a fonte de energia que emite radiação para a Terra, cuja distribuição de radiação é irregular devido à diversos fenômenos naturais, como correntes oceânicas e ventos que buscam o equilíbrio de energia ao transportar calor dos trópicos para os pólos (GRIMM, 1999).

A Terra possui dois movimentos principais: rotação e translação. A rotação determina o ciclo de dia e noite do planeta, enquanto a translação define o ciclo anual. A posição mais próxima ao Sol é o periélio, com a distância de  $147 \times 10^6$  km e o ponto mais distante é o afélio, com a distância de  $150 \times 10^6$  km. Essa diferença não tem impacto no nível de radiação recebido pelo planeta durante a translação (GRIMM, 1999).

A inclinação do eixo de rotação da Terra, em relação à perpendicular do plano definido pela sua órbita em torno do Sol, forma as estações do ano. Esse ângulo está em torno de  $23,5^\circ$  e, durante a translação do planeta, essa propriedade faz com que uma determinada região da Terra receba diferentes intensidades de radiação ao longo do ano, o que influencia diretamente na temperatura local.

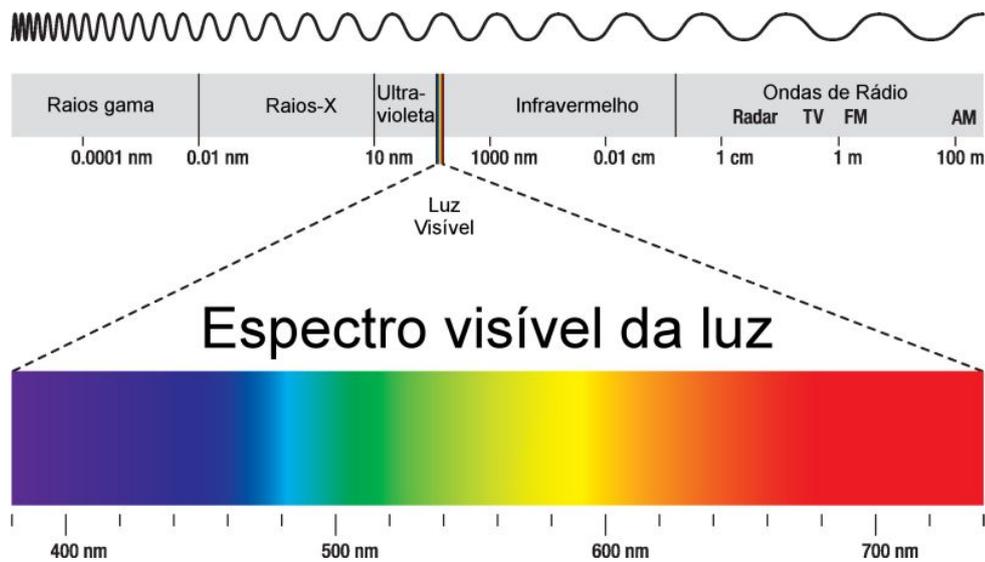
A posição do Sol na esfera celeste influencia diretamente a quantidade de radiação solar que atinge o observador. Quando o Sol está na altura máxima da esfera, os raios solares que atingem o horizonte do observador são mais intensos e quanto menor a altura de elevação do Sol, mais espalhado e menos intensa é a radiação. A altura do Sol na esfera celeste, ou a sua posição na eclíptica, influencia diretamente a intensidade de radiação que atinge o observador devido à variação da espessura da atmosfera terrestre. Se a altura do Sol diminui na esfera celeste, o caminho percorrido pelos raios solares através da atmosfera aumenta e, como consequência, a radiação solar sofre maior absorção, reflexão ou espalhamento por essa camada, reduzindo sua intensidade na superfície do planeta (GRIMM, 1999).

#### 2.1.1 Espectro eletromagnético

A radiação solar é responsável pela troca de energia com a atmosfera da Terra. A radiação solar representa um pacote de ondas eletromagnéticas que viaja no vácuo à velocidade aproximada de  $3 \times 10^8$  m/s (LIOU, 1980). As ondas emitidas

pelo Sol estão classificadas dentro do chamado *espectro eletromagnético*, que é uma classificação dos diversos tipos conhecidos de ondas eletromagnéticas de acordo com o comprimento de onda, conforme ilustra a figura 1. O espectro eletromagnético é formado pelas ondas de rádio, microondas, infravermelho, visível, ultravioleta, raios-X e raios gama, onde cada faixa possui uma determinada aplicação tecnológica e/ou efeito sobre os seres vivos. As células da retina, por exemplo, são sensíveis à região visível do espectro, que compreende ondas de 400 até 700 nm de comprimento.

Figura 1 – Espectro eletromagnético em função do comprimento de onda.



Fonte: (INFOESCOLA, 2021).

A relação entre velocidade de propagação, comprimento e frequência de uma onda luminosa é dada pela equação:

$$c = \lambda\nu \quad (1)$$

em que  $c$  é a velocidade da luz,  $\lambda$  é o comprimento de onda e  $\nu$  é a frequência da onda (LIOU, 1980). A partir da equação 1 é possível calcular a energia  $E$  da radiação, por meio da equação de Planck:

$$E = h\nu \quad (2)$$

em que  $h = 6,62 \times 10^{-34}$  J·s é a constante de Planck. Substituindo a equação 1 na equação 2 é possível mostrar que a energia da radiação é inversamente proporcional ao comprimento de onda ( $E = hc/\lambda$ ); assim, quanto maior o comprimento de onda da radiação, menor é a sua energia. Com isso, é possível classificar cada região do espectro eletromagnético em função da energia, onde a parte mais energética é a região de raios gama e a parte menos energética é a de ondas de rádio.

O chamado *espectro eletromagnético solar* representa uma parcela do espectro eletromagnético conhecido, onde aproximadamente 43% da radiação solar está na

região do visível, 49% na região do infravermelho e apenas 7% na região do ultravioleta. Menos de 1% está concentrada nas regiões dos raios-X, raios gama e ondas de rádio (GRIMM, 1999). Assim, das três principais regiões do espectro solar, o ultravioleta é a radiação mais energética, considerando que os comprimentos de onda da sua faixa espectral estão entre os menores valores quando comparados com as regiões do visível e infravermelho.

### 2.1.2 Quantificação da radiação

A radiação pode ser quantificada a partir de quatro grandezas radiométricas: (i) energia  $E$ , (ii) fluxo  $f$  (dado em W), (iii) densidade de fluxo  $F$  (ou irradiância, dado em  $W/m^2$ ) e (iv) intensidade  $I$  (ou radiância, dado em  $W/m^2sr$ ). A primeira grandeza considera a energia absoluta do pacote de radiação enquanto as demais medem a taxa de energia transferida. A radiância pode ser utilizada para calcular a **radiância monocromática**  $I_\lambda$  do feixe, que mede a intensidade em função do comprimento de onda  $\lambda$  (dada em  $W/m^2sr$  por unidade de comprimento de onda) (LIOU, 1980):

$$I_\lambda = \frac{dE_\lambda}{\cos \theta dA d\Omega d\lambda dt} \quad (3)$$

em que  $dE_\lambda$  é uma quantidade diferencial de energia radiante (que será transferida para um corpo),  $\cos \theta dA$  é a área efetiva na qual a energia está sendo interceptada,  $d\Omega$  é o diferencial do ângulo sólido da chamada *caneta de radiação* e  $dt$  é o intervalo de tempo necessário para transferência de  $dE_\lambda$ . A Figura 2 ilustra uma caneta de radiação emitida por uma fonte luminosa e delimitada pelo ângulo sólido  $d\Omega$ . A partir da equação 3 integrada sobre o ângulo sólido hemisférico da Figura 2, é possível calcular a **irradiância monocromática**  $F_\lambda$  por meio da equação (LIOU, 1980):

$$F_\lambda = \int_{\Omega} I_\lambda \cos \theta d\Omega \quad (4)$$

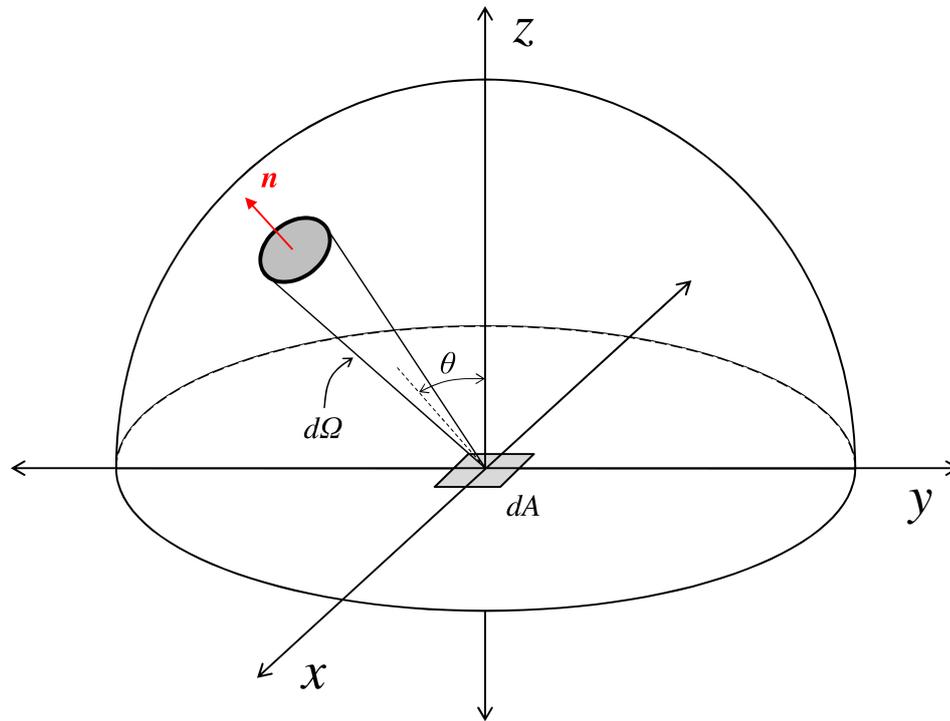
que é dada  $W/m^2$  por unidade de comprimento de onda. Assumindo, por exemplo, a propagação do pacote de radiação em coordenadas esféricas e que a radiância  $I_\lambda$  é isotrópica (constante), a irradiância monocromática fica representada por (LIOU, 1980):

$$F_\lambda = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} I_\lambda \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi = I_\lambda \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi = \pi I_\lambda \quad (5)$$

Para calcular a irradiância, considerando todo o espectro eletromagnético, basta integrar a equação 4 ou 5 em relação ao comprimento de onda (LIOU, 1980):

$$F = \int_0^{\infty} F_\lambda d\lambda \quad (6)$$

Figura 2 – Ilustração do diferencial de ângulo sólido delimitando a caneta de radiação emitida por uma fonte luminosa, em coordenadas esféricas.



Fonte: O autor.

O fluxo  $f$  é calculado a partir da integração da equação 6 em todo o hemisfério luminoso:

$$f = \int_A F dA \quad (7)$$

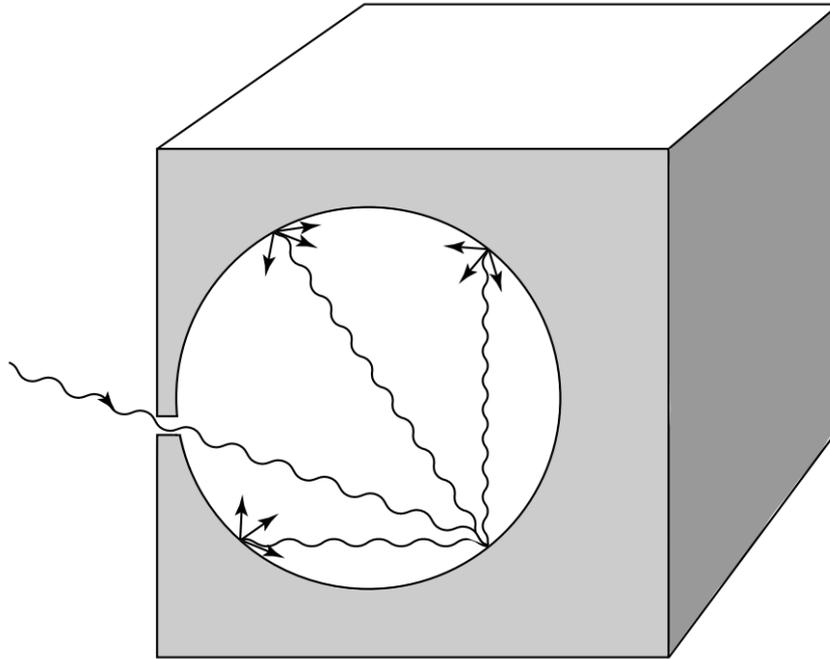
Quando uma superfície está emitindo ou refletindo radiação, a densidade de fluxo ou irradiância recebe o nome de **emitância** ou **emitância monocromática**, quando é expressa em função do comprimento de onda. Similarmente, a intensidade ou radiância recebe o nome de **luminância** ou **luminância monocromática** (LIOU, 1980).

### 2.1.3 Radiação de corpo negro

O corpo negro é um conceito básico da física para compreender os processos de absorção e emissão de meios materiais. Considere uma câmara de *pin hole*, como a ilustrada na Figura 3. Em um corpo negro perfeito, toda radiação que entra na câmara é absorvida, independente do material e das características físicas das paredes. A probabilidade do fluxo sair da cavidade é tão pequena que o seu interior adquire coloração preta; assim, o termo **corpo negro** foi utilizado para caracterizar um material

que absorve todo fluxo sobre ele incidido (LIOU, 1980).

Figura 3 – Interior de um corpo negro ilustrando os processos de emissão e absorção.



Fonte: (LIOU, 1980).

Além da absorção, um corpo negro também pode emitir radiação devido à sua temperatura. O fluxo emitido por qualquer parte da parede é refletido repetidamente, enfraquecido por absorção e reforçado por nova emissão. Assim, os processos de emissão e absorção ocorrem simultaneamente e uma condição de equilíbrio é estabelecida em relação à temperatura da parede do corpo (LIOU, 1980). Na condição de equilíbrio, a emissividade  $\epsilon_\lambda$  é igual à absorvidade  $A_\lambda$ :

$$\epsilon_\lambda = A_\lambda$$

e para um corpo negro, a emissividade e a absorvidade são máximos:

$$\epsilon_\lambda = A_\lambda = 1$$

indicando que tudo que é emitido é absorvido. A relação entre a emissividade e absorvidade é chamada de lei de Kirchhoff.

A radiância monocromática emitida (ou luminância monocromática) por um corpo negro em função da sua temperatura  $T$  e do comprimento de onda  $\lambda$  emitido pelo corpo é dada pela função de Planck (WALLACE; HOBBS, 2006; LIOU, 1980):

$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5(e^{hc/\lambda\kappa T} - 1)} = \frac{C_1\lambda^{-5}}{\pi(e^{C_2/\lambda T} - 1)} \quad (8)$$

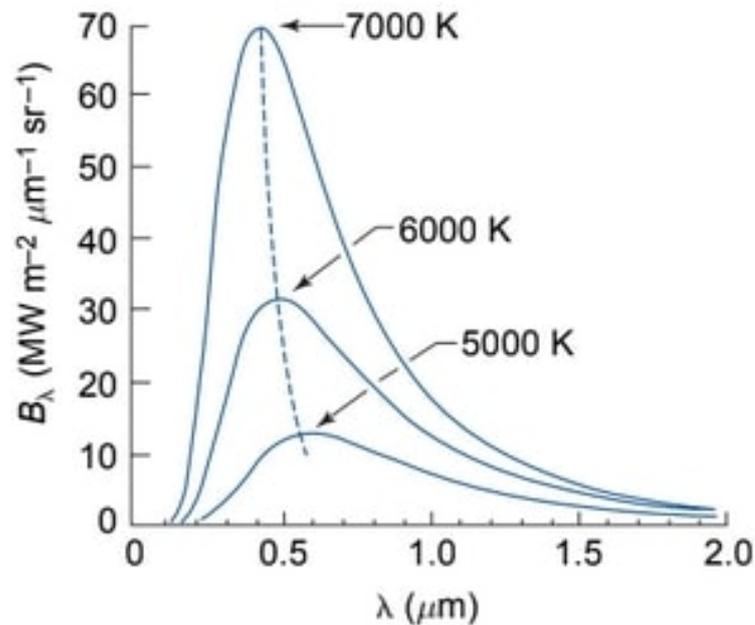
em que  $\kappa = 1,381 \times 10^{-23}$  J/K é a constante de Boltzmann. As constantes  $C_1 = 2\pi hc^2 = 3,74 \times 10^{-16}$  Wm<sup>2</sup> e  $C_2 = hc/\kappa = 1,44 \times 10^{-2}$  m·K são conhecidas como primeiro e

segundo coeficientes de radiação, respectivamente. A Figura 4 ilustra a equação 8 para algumas temperaturas de emissão de um corpo negro ideal. As curvas mostram que o aumento da temperatura do corpo aumenta a luminância monocromática e diminui o comprimento de onda mais provável emitido pela radiação (ponto de máximo da função de Planck). O comprimento de onda mais provável  $\lambda_{max}$  pode ser calculado a partir da primeira derivada da equação 8. O resultado é conhecido como lei do deslocamento de Wien:

$$\lambda_{max} = \frac{a}{T} \quad (9)$$

em que  $a = 2,897 \times 10^{-3} \text{ m}\cdot\text{K}$  é uma constante.

Figura 4 – Radiância monocromática de um corpo negro para várias temperaturas.



Fonte: (WALLACE; HOBBS, 2006).

Combinando a equação 8 com a equação 6 é possível calcular a radiância de um corpo negro em função da sua temperatura:

$$B(T) = \int_0^\infty B_\lambda(T) d\lambda = \frac{2\pi^4 \kappa^4}{15c^2 h^3} T^4 \quad (10)$$

cujos resultados mostram mais claramente a dependência da temperatura. Considerando que a radiância é isotrópica, pode-se calcular a emitância  $F$  do corpo negro combinando o resultado da equação 10 com o resultado obtido na equação 5:

$$F(T) = \pi B(T) = \sigma T^4 \quad (11)$$

em que  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{K}^4$  é a constante de Stefan-Boltzmann. A equação 11 é chamada de lei de Stefan-Boltzmann.

### 2.1.4 Espectro solar padrão

O Sol e a Terra possuem comportamento aproximado de um corpo negro (WALLACE; HOBBS, 2006), onde a energia recebida pela Terra é proveniente principalmente da fotosfera solar, que é uma das camadas mais superficiais do Sol e possui temperatura aproximada de 5800 K (LIOU, 1980). Considerando o Sol como um corpo negro, é possível calcular a radiância solar na superfície da Terra com a equação 8. No entanto, deve-se considerar que a intensidade da radiação que atinge o planeta não é a mesma que a emitida na superfície do Sol. Para inserir essa correção, a equação 8 deve ser multiplicada pelo fator  $(R_S/r_{TS})^2$ , em que  $R_S = 6,957 \times 10^8$  m é o raio solar e  $r_{TS} = 1,496 \times 10^{11}$  m é a distância entre o Sol e a Terra (valor que também é definido como uma unidade astronômica: 1 UA). O espectro resultante, calculado com 5800 K, é apresentado na Figura 5 em comparação com os espectros do Sol nos padrões AM0 (fora da atmosfera) e AM1.5 (ao nível do mar). Os dados indicam que o espectro no padrão AM0 é similar à emitância de um corpo negro com temperatura aproximada de 5800 K. Com esse resultado é possível mostrar, por meio da equação 9, que o comprimento de onda de maior radiância do espectro solar está em torno de 500 nm, que é um valor situado na região visível do espectro eletromagnético entre as cores azul e verde, como ilustra a Figura 1. Esse resultado também é válido para o padrão AM1.5 já que a diferença para o espectro AM0 ocorre devido à absorção de energia solar pela atmosfera, o que não interfere no deslocamento da função. Aplicando a equação 6 nos espectros é possível calcular a densidade de fluxo da radiação solar. No padrão AM0,  $F = 1340,1$  W/m<sup>2</sup> enquanto para o padrão AM1.5,  $F = 1000,4$  W/m<sup>2</sup> (aproximadamente 100 mW/cm<sup>2</sup>, que é o valor padrão para avaliação de tecnologias abastecidas por energia solar no nível do mar). Para a função de Planck em 5800 K,  $F = 1347,9$  W/m<sup>2</sup>, o que dá uma diferença em torno de 0,5% com o padrão AM0. A Figura 5 também mostra que o espectro do ultravioleta no nível do mar está entre 280 e 400 nm, que compreende as regiões em UVA (400-320 nm), UVB (320-290 nm) e uma pequena faixa do UVC (290-100 nm) que pode ser desconsiderada, predominando o UVA e UVB. A região do ultravioleta na Figura 5 compreende aproximadamente 5% do padrão AM1.5.

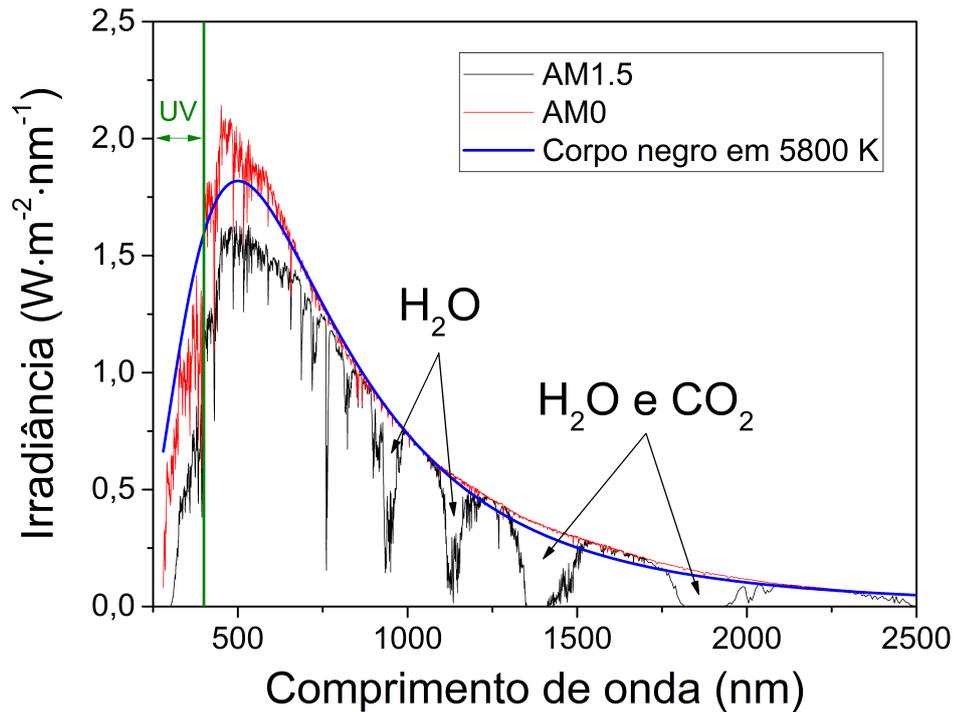
Assim como o Sol possui emissividade aproximada de um corpo negro, a Terra pode ter tratamento similar quanto a absorvidade. A atmosfera terrestre é uma camada não opaca; logo, a radiação que incide sobre o planeta pode ser espalhada, refletida, absorvida ou transmitida (GRIMM, 1999). No entanto, a superfície da Terra é opaca, assim, toda radiação monocromática é absorvida ou refletida (GRIMM, 1999). A partir dessa condição, é possível estabelecer a seguinte equação:

$$A_\lambda + R_\lambda = 1 \quad (12)$$

em que  $A_\lambda$  e  $R_\lambda$  representam a absorvidade e refletividade da Terra, respectivamente.

Da radiação incidente sobre a Terra, aproximadamente 30-40% é refletida da atmosfera para o espaço e 70-60% é absorvida pelo planeta (HANSON; HAAR; SUOMI, 1967; GRIMM, 1999).

Figura 5 – Espectro solar (irradiância monocromática) nos padrões AM0 e AM1.5 em comparação com o espectro de corpo negro na temperatura de 5800 K. Os dados do Sol para produção da figura foram extraídos de (THE NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY, 2021). Os espectros são apresentados com dados entre 280 e 2500 nm.



Fonte: O autor.

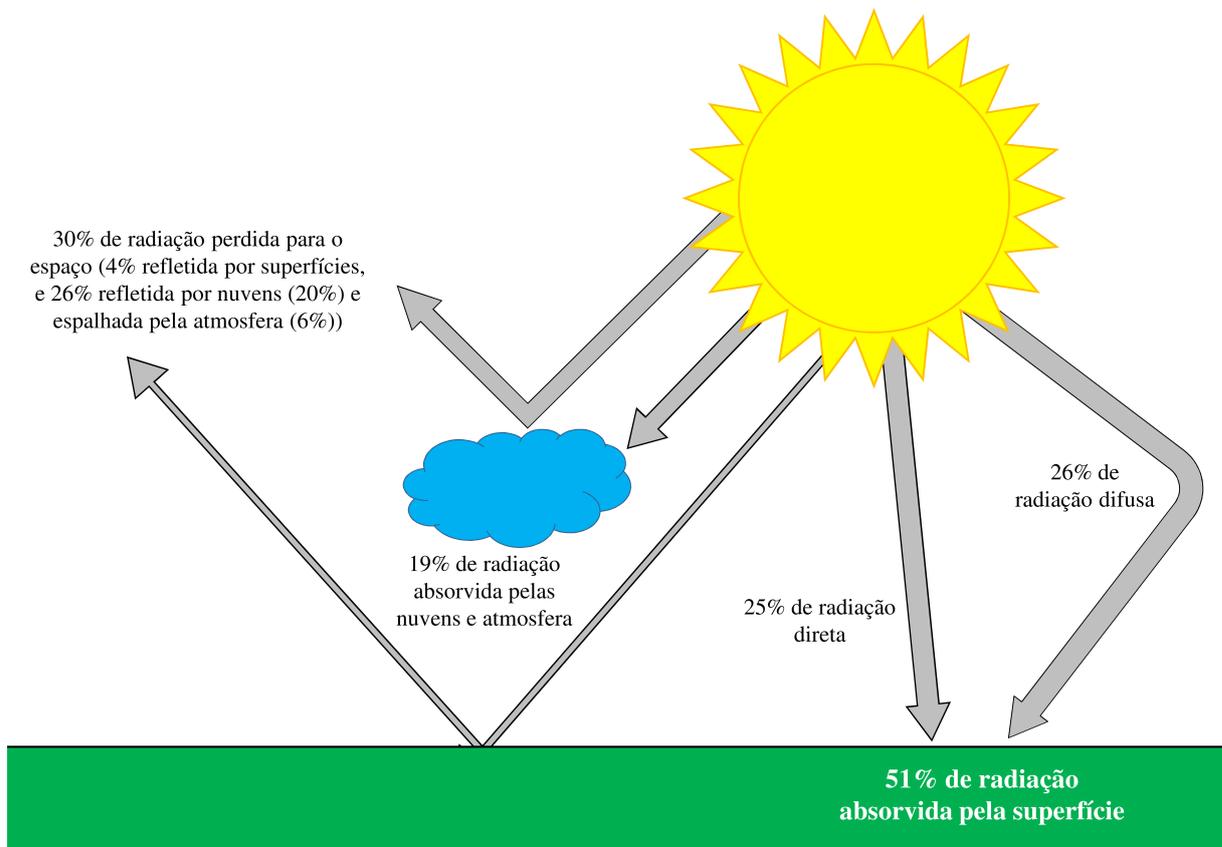
### 2.1.5 Interação da radiação solar com a atmosfera da Terra

A atmosfera terrestre é formada, principalmente, por nitrogênio e oxigênio molecular, mas também com contribuições de  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  e outras partículas. Quando a radiação atravessa essa camada, parte é absorvida pelas moléculas presentes, onde a energia transferida para essas partículas é convertida em energia cinética de rotação, vibração ou energia potencial elétrica, por meio da excitação dos elétrons presentes nos níveis atômicos dessas partículas (GRIMM, 1999; LIOU, 1980). Ao adquirir energia potencial, essas partículas podem emitir radiação, cujo comprimento de onda pode ser calculado a partir da equação 2. A Figura 5 apresenta algumas regiões do espectro que são absorvidas por água e  $\text{CO}_2$  presentes na atmosfera terrestre.

De toda a radiação solar incidente no planeta, aproximadamente 25% dos raios solares penetram diretamente na superfície terrestre sem que haja interferência atmosférica. Esse processo é chamado de **radiação direta**. Em contrapartida, os 75%

restantes podem sofrer espalhamento, reflexão de volta para o espaço ou absorção pela atmosfera. Esses processos dão origem à **radiação difusa**. A ocorrência de um destes eventos depende principalmente do comprimento de onda da radiação e da espessura da camada a ser atravessada (GRIMM, 1999). A Figura 6 ilustra essas situações.

Figura 6 – Fenômenos na interação dos raios solares com a atmosfera e superfície da Terra. Figura produzida com informações apresentadas em (GRIMM, 1999).



Fonte: O autor.

### 2.1.6 Índice de ultravioleta

Para facilitar a compreensão da população quanto aos perigos causados pelo ultravioleta, a Organização Mundial da Saúde criou o **índice de ultravioleta** (UVI - *ultraviolet index*) que é uma escala de valores que relaciona a intensidade do UV com os efeitos causados na pele humana. A escala é definida usualmente entre zero e 11; entretanto, não existe limite superior. Quanto maior o valor, mais agressiva é a intensidade da radiação. As variáveis que influenciam o cálculo são (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2014b):

1. **quantidade de ozônio na atmosfera:** o ozônio é o principal responsável pela

absorção de ultravioleta e sua concentração máxima concentra-se na estratosfera, que está localizada entre 20 e 40 km de altura;

2. **posição geográfica da região:** quanto mais próximo da linha do equador, maior é o índice;
3. **altitude da superfície:** quanto maior a altitude, maior é o índice devido à redução da camada de ozônio. Estima-se que o ozônio diminui 1% por km, o que provoca um aumento de 6 a 8% na incidência de ultravioleta;
4. **hora do dia:** mais intenso próximo ao meio dia;
5. **estação do ano:** o índice costuma diminuir no inverno e aumentar no verão. A irradiância UVB diária aumenta em torno de 25% no verão e diminui cerca de 30% no inverno em latitudes de 20°;
6. **condições atmosféricas:** o índice é maior em dias de céu aberto;
7. **tipo da superfície:** areia, neve, água, concreto etc. A areia pode refletir 30% da radiação incidente enquanto a neve pode refletir até 80%.

A escala recomendada pela OMS é apresentada na Figura 7 e está separada em cinco faixas (SCHALKA et al., 2014; DASGUPTA; KLEIN, 2014):

1. **baixo** (UVI até 2): não há perigo nesse estágio, mas é aconselhável usar óculos de Sol se estiver nevando;
2. **moderado** (UVI entre 3 e 5): nesse estágio é recomendado utilizar óculos de Sol, boné e protetor solar;
3. **alto** (UVI entre 6 e 7): usar as proteções do nível anterior mais roupas protetoras;
4. **muito alto** (UVI entre 8 e 10): toda proteção possível é recomendada, evitando exposição durante 10 e 16 horas e, se possível, não frequentar a praia, considerando que a reflexão da areia aumenta a exposição ao UV;
5. **extremo** (UVI maior que 11): nesse estágio deve ser evitada a exposição ao Sol, principalmente, entre 10 e 16 horas.

Figura 7 – Índice de ultravioleta (UVI).

CATEGORIA	ÍNDICE ULTRAVIOLETA
BAIXO	< 2
MODERADO	3 a 5
ALTO	6 a 7
MUITO ALTO	8 a 10
EXTREMO	> 11

Fonte: (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2014b).

O índice UVI é calculado a partir da seguinte equação (SÁNCHEZ-PÉREZ et al., 2019; TIBA; LEAL, 2012; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2014b):

$$UVI = k \int_{280 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} F_{\lambda} \xi_{\lambda} d\lambda \quad (13)$$

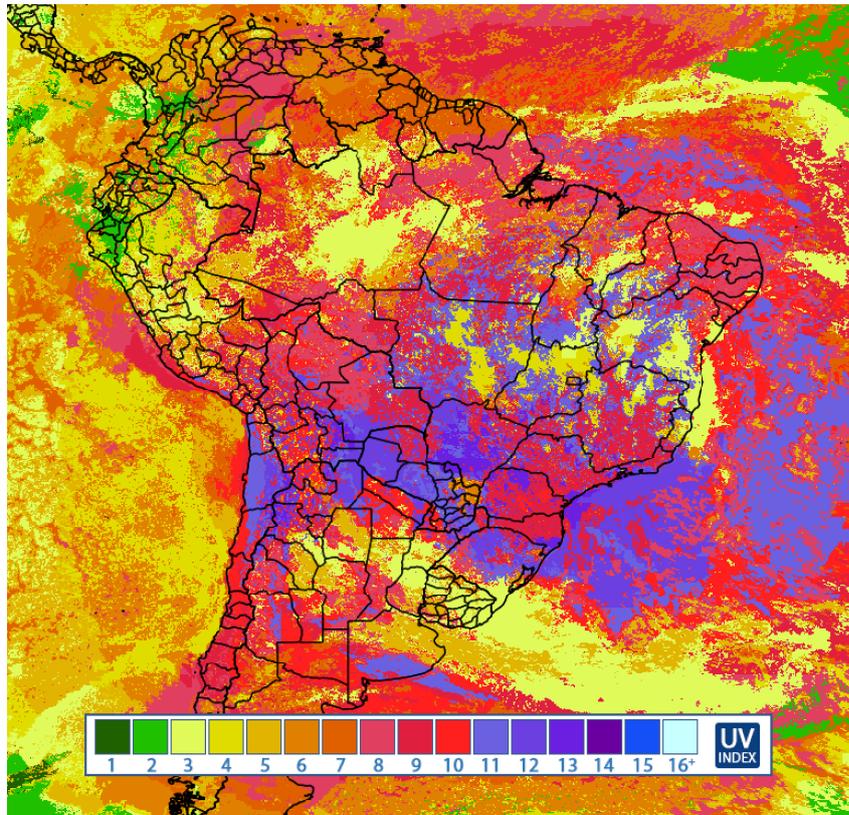
em que  $F_{\lambda}$  é o espectro solar (irradiância monocromática da Figura 5),  $\xi_{\lambda}$  é o espectro de ação eritêmica, que é uma função (adimensional) de ponderação que representa quais faixas do ultravioleta possuem mais efeito biológico sobre o corpo humano, e  $k = 40 \text{ m}^2/\text{W}$  é uma constante de normalização. A região de integração do espectro refere-se à região do ultravioleta nas faixas UVA e UVB. Com isso, o UVI torna-se um valor adimensional e cada unidade do índice representa  $25 \text{ mW}/\text{m}^2$  de exposição. A Figura 8 ilustra os índices de ultravioleta medidos na América do Sul em 26/01/2022 às 12h20min (horário de Brasília) por satélites do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2014c). Os dados apresentam níveis que vão desde **baixo**, em torno da região do Equador e Colômbia, até **extremo**, registrado em grande parte do Brasil. A Figura 9 apresenta os índices registrados no mesmo dia em função do tempo para Florianópolis (SC) e Curitiba (PR), que apresentaram UVI = 13 e 14, respectivamente, para o horário em torno do meio dia (horário de Brasília). Cada gráfico apresenta duas curvas, em que uma representa o UVI sem nuvens e a outra o UVI corrigida pelo fator CMF (*Cloud Modification Factor*) que considera a presença de nuvens (WOLFRAM et al., 2017).

## 2.2 CÂNCER NO BRASIL E MUNDO

O câncer é o nome dado para um conjunto de doenças que possuem em comum o crescimento desordenado de células que invadem tecidos e órgãos específicos, com a possibilidade de se espalharem para regiões saudáveis do corpo humano (OLIVEIRA, 2013). A quantificação de indivíduos afetados por essa enfermidade, em escala mundial, é complexa, considerando os variados padrões e tendências de mortalidade devido aos diferentes estilos de vida adotados pela população. Em 2018, o câncer foi a segunda maior causa de mortalidade no mundo, totalizando 9,6 milhões de óbitos (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2020).

Em países como Canadá, Estados Unidos, Argentina, Chile, França, Alemanha, Reino Unido, Austrália, Nova Zelândia, Japão, Coréia do Sul, Cingapura, Tailândia e Vietnã, o câncer é a principal causa de morte prematura da população. Em países como Brasil, China, Rússia, Ucrânia, Argélia e Egito, o câncer é a segunda causa, ficando atrás somente de doenças cardiovasculares. Países de baixo IDH, como as nações da África subsariana, o câncer pode ser a terceira, quarta, quinta ou sexta maior causa devido à diversos outros problemas enfrentados por essas populações, como saneamento básico e a fome (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2020).

Figura 8 – Mapa de incidência de ultravioleta medido no dia 26/01/2022 às 12h20min (horário de Brasília).



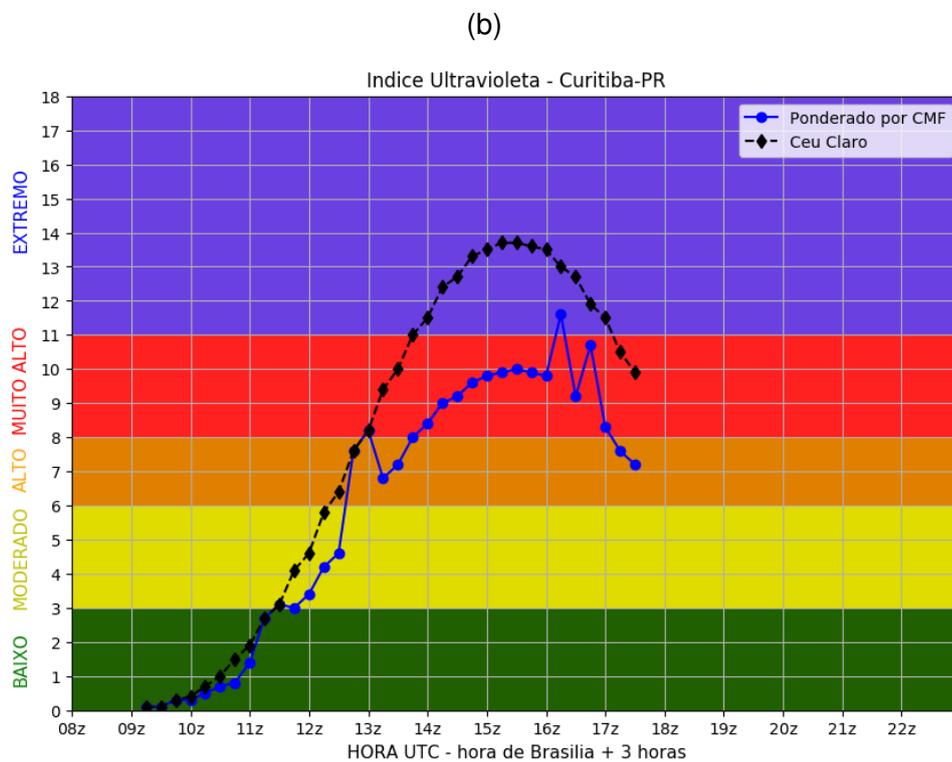
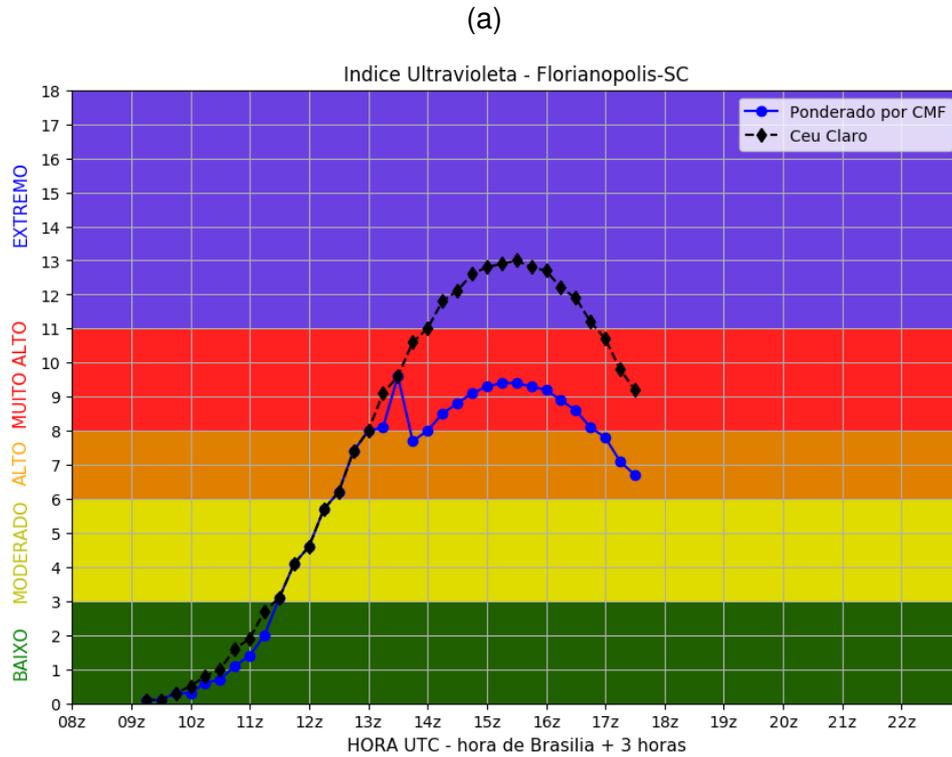
Fonte: (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2014c).

A Figura 10 ilustra o mapa global de incidência de câncer no mundo considerando a faixa etária de 30 até 69 anos. Os dados estão organizados em função das taxas de incidência nas regiões.

Em 2018, foram registrados 18 milhões de novos casos no mundo. Entre os diversos tipos da doença, excluindo o câncer de pele não melanoma, o câncer de pulmão é o de maior ocorrência, atingindo cerca de 2,1 milhões de indivíduos. Em seguida, registra-se o câncer de mama, que atinge aproximadamente 2,1 milhões de indivíduos, seguido pelo câncer de cólon e reto, atingindo 1,8 milhões de pessoas, e o câncer de próstata, com 1,3 milhões de afetados (INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER, 2021c). A maior incidência da doença está nos homens, que representa em torno de 52% da população afetada, ou 9,4 milhões de indivíduos. Em 2018, os tipos de câncer mais frequentemente registrados no gênero masculino, com exceção do câncer de pele não melanoma, foram pulmão (14,5%), próstata (13,5%), cólon e reto (10,9%), estômago (7,2%) e fígado (6,3%). Nas mulheres, os tipos mais frequentemente registrados foram câncer de mama (24,2%), cólon e reto (9,5%), pulmão (8,4%) e colo de útero (6,6%) (INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER, 2021c).

No Brasil, a estimativa para o triênio 2020-2022 é a ocorrência de 625 mil

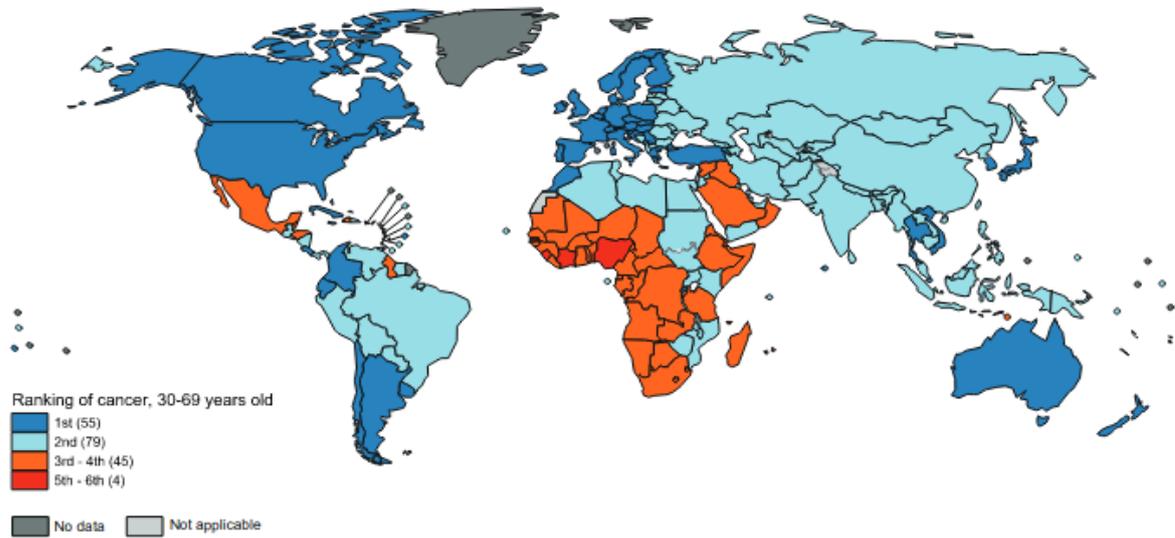
Figura 9 – Índice de ultravioleta em função do tempo medido no dia 26/01/2022 para (a) Florianópolis (SC) e (b) Curitiba (PR).



Fonte: (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2014c).

novos casos. Entre eles, o câncer de pele não melanoma será o mais incidente (177 mil casos), seguido pelo câncer de mama e próstata (66 mil casos em cada), cólon e

Figura 10 – Incidência de câncer no mundo.



Fonte: (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2020).

reto (41 mil), pulmão (30 mil) e estômago (21 mil). Considerando a subnotificação, o total de indivíduos atingidos pela enfermidade pode chegar em 685 mil (INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER, 2021c). Os tipos de câncer mais frequentes em homens, com exceção do câncer de pele não melanoma, serão o de próstata (29,2%), cólon e reto (9,1%), pulmão (7,9%), estômago (5,9%), e cavidade oral (5,0%). Nas mulheres, com exceção do câncer de pele não melanoma, serão os cânceres de mama (29,7%), cólon e reto (9,2%), colo de útero (7,4%), pulmão (5,6%) e tireoide (5,4%). O câncer de pele não melanoma representará 27,1% de todos os casos de câncer em homens e 29,5% em mulheres.

Os registros mais frequentes nas regiões sul e sudeste são o câncer de próstata, mama feminina, pulmão e intestino. Na região centro-oeste registra-se os apresentados na região sul e sudeste, além do câncer de colo de útero e estômago. Nas regiões norte e nordeste registra-se o câncer de colo de útero, estômago, próstata e mama feminina (INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER, 2021c). A região sudeste concentra o maior número de casos com 60% do total, seguido pelas regiões nordeste (27,8%) e sul (23,4%). Um em cada oito homens possui risco para desenvolver a doença. Na mulher, a probabilidade é uma em cada dez. O gasto estimado para tratamento em escala mundial chega em 1,16 trilhão de dólares por ano, o que define o câncer como prioridade de saúde pública (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2020).

### 2.2.1 Câncer de pele

O aumento dos índices de câncer de pele está atrelado, principalmente, à incidência de radiação ultravioleta no planeta e pela falta de cuidados na prevenção da

doença por parte da população. Os raios solares afetam direta e indiretamente o DNA, o que leva à geração de espécies reativas de oxigênio causando lesões e proporcionando mutações no material genético que desencadeiam inflamação e imunossupressão, podendo favorecer o crescimento de tumores (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2020). O DNA é o principal alvo afetado pelo contato da radiação ultravioleta com a pele, além de afetar até mesmo os olhos, causando perda de visão em cerca de 3 milhões de pessoas por ano, relacionados à catarata e fotoconjutivite (BALOGH et al., 2011).

Dentro das classificações da radiação ultravioleta, a faixa do UVA está relacionada ao envelhecimento da pele. O maior comprimento de onda, entre as faixas do espectro ultravioleta, favorece a penetração da radiação na derme, prejudicando a elasticidade natural da pele, além de aumentar a quantidade de células inflamatórias nessa camada. A faixa do UVB tem comprimento de onda menor e está relacionada com a inflamação e interação direta com o DNA, sendo a responsável por causar o câncer de pele não melanoma (BALOGH et al., 2011). A faixa do UVC é praticamente toda absorvida pela atmosfera e não atinge a superfície terrestre. A Figura 11 apresenta a classificação do espectro ultravioleta e o efeito de cada faixa na saúde humana. Existem dois tipos básicos de câncer de pele: (i) **melanoma** e (ii) **não melanoma**. O primeiro caso tem origem nas células melancócitas, que produzem a melanina, pigmento que dá cor à pele e é o mais agressivo. O segundo caso surge nas células basais ou escamosas e representa a maioria dos casos de câncer de pele.

Figura 11 – Divisão da radiação ultravioleta e os efeitos de cada faixa na saúde humana.

Nome	Intervalo espectral (nm)	Características
UVC	100 - 280	Completamente absorvida pelo O <sub>2</sub> e O <sub>3</sub> estratosférico e, portanto, não atinge a superfície terrestre. É utilizada na esterilização de água e materiais cirúrgicos.
UVB	280 - 320	Fortemente absorvida pelo O <sub>3</sub> estratosférico. É prejudicial à saúde humana, podendo causar queimaduras e, a longo prazo, câncer de pele.
UVA	320 - 400	Sofre pouca absorção pelo O <sub>3</sub> estratosférico. É importante para sintetizar a vitamina D no organismo. Porém o excesso de exposição pode causar queimaduras e, a longo prazo, causa o envelhecimento precoce.

Fonte: (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2014a).

Em 2018, estima-se que cerca de 1,04 milhão de pessoas tiveram câncer de pele não melanoma, sendo 640 mil casos em homens e 400 mil em mulheres. Casos envolvendo o câncer de pele melanoma foram estimados em torno de 290 mil, sendo 150 mil casos em homens e 140 mil em mulheres. As populações de pele clara com mais de 40 anos que vivem em regiões de elevada incidência de radiação solar como Austrália, Nova Zelândia, América do Norte e até mesmo o sul do Brasil estão mais

propensas para o desenvolvimento da doença (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2020; INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER, 2021c)

No Brasil, estima-se que haverá o aumento de 83.770 mil casos em homens e 93.160 em mulheres no triênio 2020-2022. Em 2017, houve 1301 óbitos de homens e 949 de mulheres para o câncer de pele não melanoma, enquanto para o melanoma houveram 1031 óbitos de homens e 804 de mulheres. As regiões Sul, Centro-Oeste e Sudeste são as que possuem maior incidência de câncer não melanoma, enquanto o câncer de pele melanoma é mais incidente apenas na região sul. Para o triênio, espera-se que o tipo melanoma seja detectado em cerca de 4200 homens e 4250 mulheres.

### **2.2.2 Formas de proteção à radiação solar**

A radiação ultravioleta oferece efeitos benéficos para a saúde ao estimular a produção de vitaminas no metabolismo ósseo e auxiliar o funcionamento do sistema imunológico. Além disso, também pode ser utilizado no combate de doenças de pele, como psoríase e vitiligo. No entanto, deve-se ter o devido cuidado à prolongada exposição. A utilização regulada do ultravioleta em conjunto com o uso de drogas, que aumentam a sensibilidade à radiação, é chamada de fototerapia, cuja técnica é costumeiramente utilizada para o tratamento de doenças cutâneas (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2020).

Apesar de fontes sintéticas de ultravioleta serem potencialmente maléficas para saúde, a maneira mais eficaz para combater o câncer de pele é evitar a exposição prolongada ao Sol, utilizar protetores solares e qualquer barreira física que produza sombra. A exposição ao Sol deve ser realizada antes das 10 e após as 16 horas, pois a incidência de radiação dentro desse período é mais intensa (INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER, 2021a; INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER, 2021b). Em dias nublados, a temperatura local não é tão elevada como em dias ensolarados, mas mesmo assim a energia total transportada pela radiação ultravioleta pode atingir 80% do seu valor total, onde aproximadamente 10% representa a faixa do UVB. Essa região do espectro pode atravessar janelas de vidro e atingir a região interna de residências (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2020). Logo, a temperatura local e a presença de nuvens não podem ser diretamente correlacionadas com os níveis de ultravioleta, o que indica a necessidade para utilização de ferramentas de quantificação da intensidade de UV, sendo esse o objetivo geral desse trabalho.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados para produção do sensor de ultravioleta. O dispositivo foi construído com um microcontrolador acoplado em uma tela de LCD para fornecer ao usuário o índice medido por um sensor de radiação ultravioleta. Além disso, um sistema de LEDs com a mesma coloração do padrão descrito na Figura 7 foi acoplado ao dispositivo para atuar como um indicador visual da intensidade local da radiação medida.

#### 3.1 COMPONENTES

##### 3.1.1 Microcontrolador

O microcontrolador, ilustrado na Figura 12, é um módulo ESP32 NodeMCU que possui microprocessador Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6, com um clock máximo de 24 MHz, memória RAM de 520 Kb, memória flash programável de 4 MB, clock máximo de 240 MHz e 25 pinos digitais GPIO (todos com PWM - resolução de até 16 bits), pesando cerca de 9 g. A placa também possui antena embutida, cristal de 400 MHz para conexão WiFi (802.11 b/g/n e 2.4 GHz) e Bluetooth Low Energy (BLE) no padrão 4.2, Conversor Analógico Digital (ADC), Conversor Digital Analógico (DAC) e código aberto para ser programada em LUA ou pela IDE do Arduino. O módulo possui porta micro USB para alimentação com tensão contínua entre 4,5 e 9 V, além de possuir módulo regulador integrado para 3,3 V. A corrente de alimentação é 80 mA. Além de suportar interfaces como a *Controller Network Area* (CAN) e decodificar áudios com a interface *Inter-IC Sound* (I<sup>2</sup>S), possui barramento *Inter-Integrated Circuit* (I<sup>2</sup>C) e *Universal Asynchronous Receiver/Trasmitter* (UART). Esse componente foi desenvolvido como uma alternativa de baixo custo para conectar projetos robóticos e de automação à internet com maior facilidade (ESPRESSIF SYSTEMS, 2017).

##### 3.1.2 Sensor de radiação ultravioleta

A medição do ultravioleta foi realizada com um sensor Grove, ilustrado na Figura 13. O dispositivo, construído a partir de um sensor SI1145, é capaz de detectar e medir a intensidade de radiação em uma faixa que contempla os espectros ultravioleta, visível e infravermelho (280 e 950 nm), o que permite medir a intensidade da radiação solar (incluindo as faixas do UVA e UVB). A placa possui 40 mm × 21 mm × 33 mm e 4 pinos, o que permite simplificar o esquema de conexão com microcontroladores de

Figura 12 – Microcontrolador ESP32.

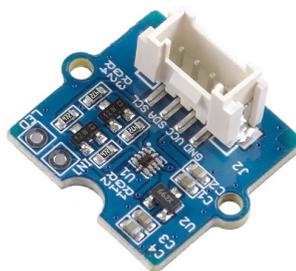


Fonte: (ESPRESSIF SYSTEMS, 2017).

interface I<sup>2</sup>C, UART, entre outros. A tensão de alimentação é compatível com 5 e 3,3 VDC e suporta temperaturas de 40 até 85°C.

As medições do UVI foram realizadas em ambiente solar natural nas cidades de Joinville (SC) e Curitiba (PR), e em escala laboratorial por meio de lâmpadas que emitem na faixa do ultravioleta. Foram utilizadas duas lâmpadas: (i) Philips MASTER HPI-T plus de vapor metálico com 400 W de potência e (ii) germicida. Os espectros de emissão de ambas são apresentados na Figura 14. A lâmpada da Philips apresenta emissão apenas no UVA ( $\lambda = 352,7 \text{ nm}$ ,  $365,3 \text{ nm}$  e  $378,7 \text{ nm}$  - todos na faixa UVA1) enquanto a lâmpada germicida emite nas três faixas do ultravioleta ( $\lambda = 253,7 \text{ nm}$  (UVC),  $313,1 \text{ nm}$  (UVB) e  $365,1 \text{ nm}$  (UVA)), com o sinal mais forte no UVC. Ambas também emitem no espectro visível e apenas a lâmpada da Philips emite no IR.

Figura 13 – Sensor de radiação ultravioleta Grove.

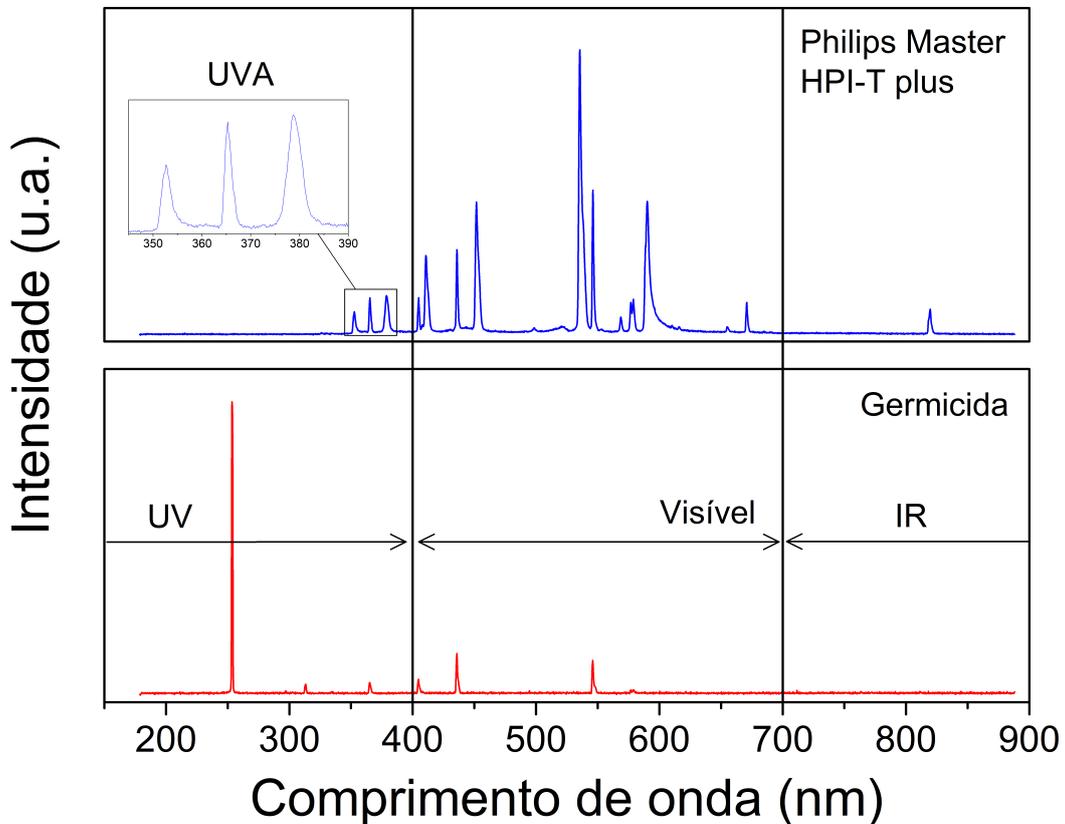


Fonte: (SILICON LABS, 2017).

### 3.1.3 LCD

A interface com o usuário foi desenvolvida por meio da uma LCD apresentada na Figura 15. A tela utiliza chipset ST7066/HD44780 de interface paralela, possui 80 mm × 36 mm × 9 mm de dimensão e 16 caracteres por 2 linhas (formato 16×2 de

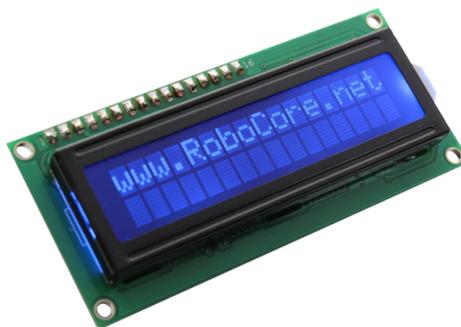
Figura 14 – Espectro de emissão das lâmpadas utilizadas para medição do UVI em laboratório. Os espectros foram obtidos com o espectrômetro óptico UV-VIS OCEAN OPTICS USB4000 com resolução de 1,5 nm.



Fonte: O autor.

alta qualidade). A tela possui LED backlight com fundo azul e letra branca. A interface com o microcontrolador é realizada por meio de 11 pinos de entrada e saída. A comunicação é realizada por meio da interface I<sup>2</sup>C. A tensão de alimentação é 5 V (XIAMEN OCULAR, 2021; XIAMEN OCULAR, 2001; ROBOCORE, 2021).

Figura 15 – LCD utilizada para comunicação com o usuário.



Fonte: (ROBOCORE, 2021).

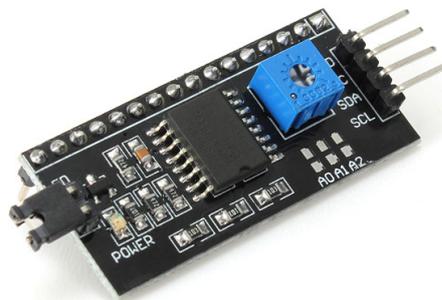
Com o dispositivo formado pelo microcontrolador, sensor de ultravioleta e a

LCD será possível criar um sensor que permita informar a um usuário local os valores da intensidade da radiação ultravioleta de acordo com a escala apresentada na Figura 7. Considerando que a ESP32 possui conexão WiFi, os dados também podem ser exportados para um servidor e transmitidos para uma página na internet, o que permite a leitura do UVI de um determinado local à distância.

### 3.1.4 Módulo da LCD

Para reduzir o excesso de cabeamento na conexão da LCD com o microcontrolador, o circuito foi construído com um módulo serial para LCD, conforme ilustrado na Figura 16. O componente é compatível com a LCD 16×2 e a LCD 20×4, além de operar com tensão de 5 V e possuir interface I<sup>2</sup>C. Essa configuração permite que o módulo se comunique com o microcontrolador por apenas dois pinos analógicos, SCL(D22) e SDA(D21), reduzindo a quantidade de pinos exigidos pela LCD quando conectada diretamente no microcontrolador.

Figura 16 – Módulo Serial I<sup>2</sup>C utilizada para comunicação entre a ESP32 e a LCD.



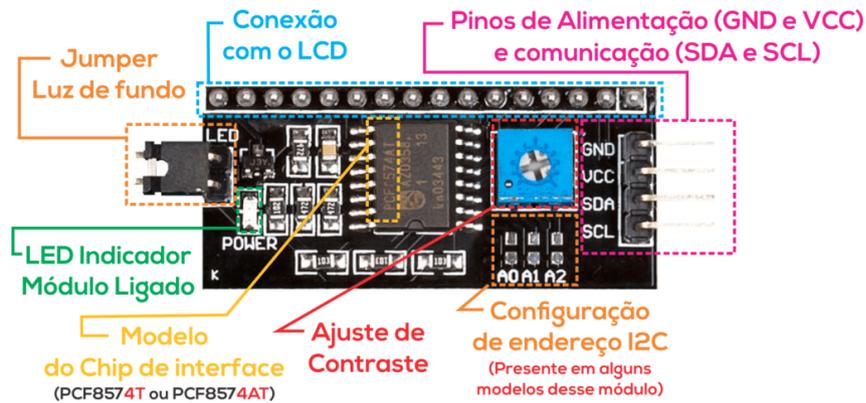
Fonte: (FILIPEFLOP, 2022).

A comunicação entre o módulo da LCD e a tela pode ser feita por meio de uma protoboard ou com os pinos soldados. Além disso, a conexão entre os pinos é direta e deve ser feita na ordem apresentada na Figura 19. A Figura 17 apresenta os detalhes do módulo.

### 3.1.5 LEDs

Os LEDs da Figura 18 são utilizados como escala visual para o usuário, representando no circuito as cores apresentadas na Figura 7. O LED verde representa o menor índice de radiação ultravioleta, variando entre 0 e 2. O LED amarelo mede o IUV moderado, que está entre 3 e 5. O LED laranja representa o índice alto, com

Figura 17 – Detalhes do módulo serial I<sup>2</sup>C para a LCD.



Fonte: (VIDA DE SILÍCIO, 2022).

valores entre 6 e 7. O vermelho representa a faixa muito alta do IUV, com valores entre 8 a 10. O limite superior da escala é definido como extremo e possui valores igual ou maior que 11. Nessa faixa, a cor é representada pelo LED violeta ou similares, como o azul.

Figura 18 – LEDs utilizados para produção da escala visual do sensor. Figura elaborada com auxílio do programa (FRITZING GMBH, 2022).



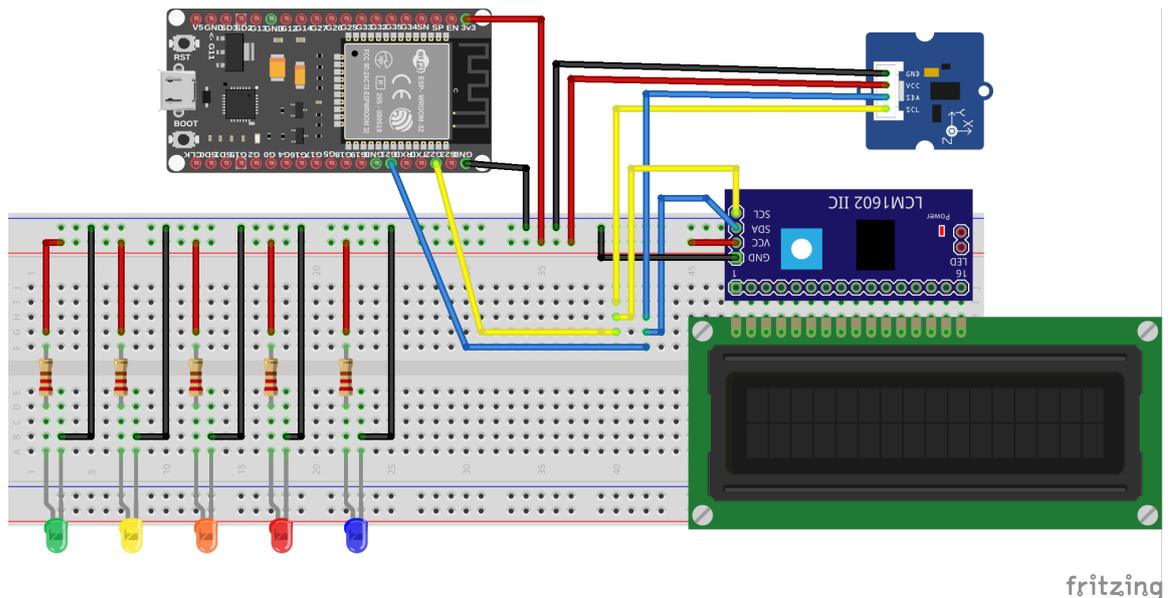
Fonte: O autor.

### 3.2 CIRCUITO ELÉTRICO

O circuito elétrico do dispositivo é apresentado na Figura 19. A imagem mostra a conexão dos componentes (sensor UV, LCD, módulo do LCD e LEDs) com a placa microcontroladora ESP32. O sensor UV é conectado no microcontrolador por meio do protocolo I<sup>2</sup>C e portas SDA e SCL. Esse protocolo é um barramento de comunicação serial que facilita a transmissão de dados obtidos pelo sensor. Após a medição pelo Grove, os dados são transmitidos para a ESP32 que processa a informação por meio de código desenvolvido em linguagem C utilizando a plataforma da IDE do Arduino, que é compatível com o ambiente de programação do microcontrolador. Após o tratamento dos dados, a ESP32 envia os valores do IUV para o módulo serial da LCD que imprime

os índices para leitura do usuário. Em paralelo, a ESP32 converte os valores do IUV nas cores da Figura 7 e acende os LEDs correspondentes com os valores medidos. O circuito foi alimentado por computador ou power bank por meio de cabo USB. A tensão de entrada no microcontrolador é 5 V.

Figura 19 – Circuito elétrico do dispositivo. Figura elaborada com auxílio do programa (FRITZING GMBH, 2022).



Fonte: O autor.

### 3.3 CODIFICAÇÃO DO MICROCONTROLADOR

A codificação do sistema foi desenvolvida em linguagem C dentro da plataforma da IDE do Arduino. O ambiente é compatível com o microcontrolador ESP32. O código desenvolvido é apresentado no Anexo A e contém três bibliotecas fundamentais: (i) Wire.h, (ii) Adafruit\_SI1145.h e (iii) LiquidCrystal\_I2C.h. A biblioteca Wire.h é responsável pelas funções necessárias para gerenciar a comunicação entre os dispositivos por meio do protocolo I<sup>2</sup>C. A biblioteca Adafruit\_SI1145.h é utilizada pelo sensor Grove (UV) e a biblioteca LiquidCrystal\_I2C.h é utilizada para acionar a LCD.

Para a inicialização dos componentes do circuito, como o sensor UV e a LCD, utiliza-se a função void setup(). O circuito opera em loop por meio da função void loop(), em que o sensor UV transmite continuamente os dados para a ESP32 que trata a informação e imprime o IUV na LCD. Em conjunto com os dados, a função LED(indice\_UV) recebe o valor do IUV e acende o LED na cor correspondente.

### 3.4 CUSTO DOS MATERIAIS

O desenvolvimento do equipamento tem como objetivo apresentar ao usuário um dispositivo com componentes de baixo custo e ao mesmo tempo eficiente para realizar medições de radiação ultravioleta. A Tabela 1 apresenta os valores para cada componente, totalizando menos de R\$300,00. Entretanto, a tabela apresenta apenas os valores dos componentes e da protoboard, não considerando cabeamento e fonte de alimentação.

Tabela 1 – Relação de valores para a construção do equipamento.

<b>Componente</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor (R\$)</b>
Microcontrolador ESP32	1	67,50
Sensor UV GROVE	1	139,90
LCD	1	20,90
Módulo Serial I2C para Display LCD	1	11,40
LED	5	1,75 (total)
Protoboard	1	22,90
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>264,35</b>

### 3.5 MEDIÇÕES COM O SENSOR

Após finalizado, o sensor foi utilizado para medição do UVI produzido por radiação solar nas cidades de Joinville (SC) e Curitiba (PR) nos dias 22, 23 e 27/02/2022. A coleta de dados foi realizada em diversos horários do dia, entre 08h00min e 17h30min. Para validação dos dados, os resultados foram comparados com as medições realizadas pela Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE/DSA) (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2014c). No laboratório, o UVI também foi medido em função da distância para as lâmpadas descritas na seção 3.1.2.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

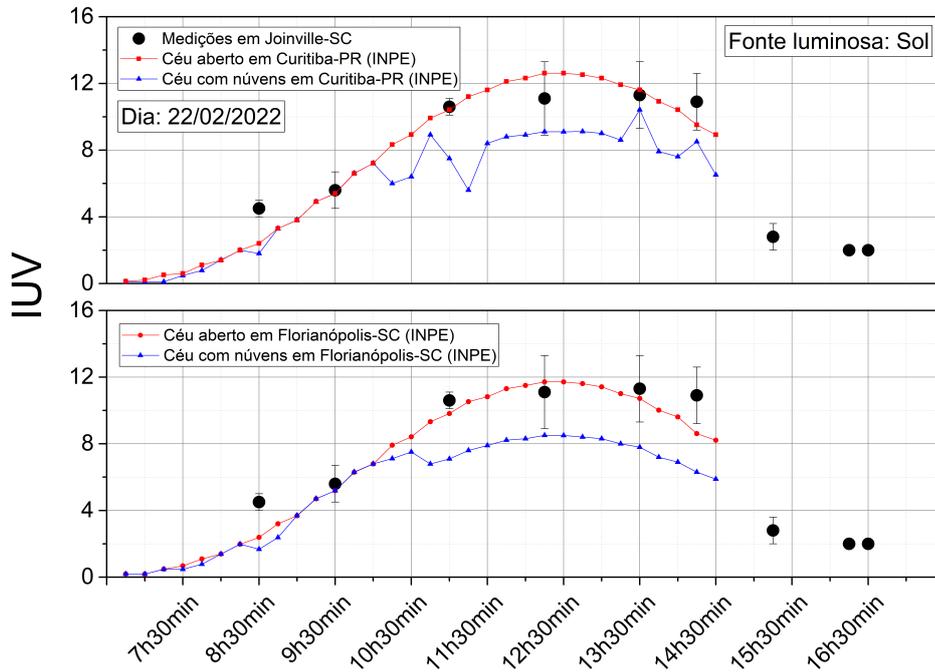
Nessa seção são apresentados os resultados obtidos com o sensor.

### 4.1 IUV MEDIDO EM AMBIENTE SOLAR NATURAL

As medições com radiação solar foram realizadas em três dias diferentes. A primeira medição, apresentada na Figura 20, ocorreu em Joinville (SC) durante o dia 22/02/2022 na Universidade Federal de Santa Catarina. Durante as medições, o céu permaneceu aberto, com poucas nuvens. Os dados foram obtidos de hora em hora, entre 08h30min e 16h30min. Em cada medição foram coletados pontos de 10 em 10 s durante 2 minutos. Com os pontos foi possível calcular o valor médio do IUV acompanhado do respectivo desvio padrão. A Figura 20 apresenta dois conjuntos de gráficos. A figura superior apresenta os dados medidos pelo sensor em Joinville (SC) em comparação com os dados medidos em Curitiba (PR) pelo INPE/DSA. Nos gráficos de Curitiba, uma curva representa o IUV medido com céu aberto e a outra curva representa o IUV medido com o céu entre nuvens. É importante ressaltar que a medição do INPE é feita por satélite enquanto o sensor proposto nesse trabalho faz as medições na superfície da Terra. Na figura inferior são apresentados os mesmos dados do sensor em comparação com as medições feitas pelo INPE/DSA em Florianópolis (SC). As comparações foram realizadas com essas duas cidades devido ao fato do INPE apresentar o IUV apenas para as capitais. Apesar das medições terem sido realizadas em cidades diferentes, os dados são consistentes, com o índice variando entre 2 e 13. O ponto de máximo foi medido em torno das 13h00min. Os dados também permitem definir um intervalo mais agressivo da radiação solar. Considerando o nível moderado como a intensidade máxima de exposição para um indivíduo e as condições climáticas do dia de análise, é recomendado tomar banho de Sol antes da 09h00min e após 15h00min.

O segundo dia de medições foi realizado em 23/02/2022 no mesmo local, das medições realizadas no dia 22/02/2022. Os dados são apresentados na Figura 23. Nesse dia foram realizadas medições de 30 em 30 minutos. Em cada medição foram coletadas pontos de 10 em 10 s em um intervalo de 4 minutos. Durante as medições foram registradas condições de céu com poucas nuvens, muitas nuvens e céu fechado, conforme apresentado no Anexo B para o intervalo entre 09h00min e 14h00min. A partir do meio dia, o céu foi encoberto por uma camada espessa de nuvens como apresentado na Figura 21, reduzindo o IUV para valores igual ou menor que 4 como é possível ser visualizado na Figura 22. O índice também permaneceu nessa faixa

Figura 20 – Medição IUV realizada no dia 22/02/2022. Os dados do INPE foram registrados até 14h30min.



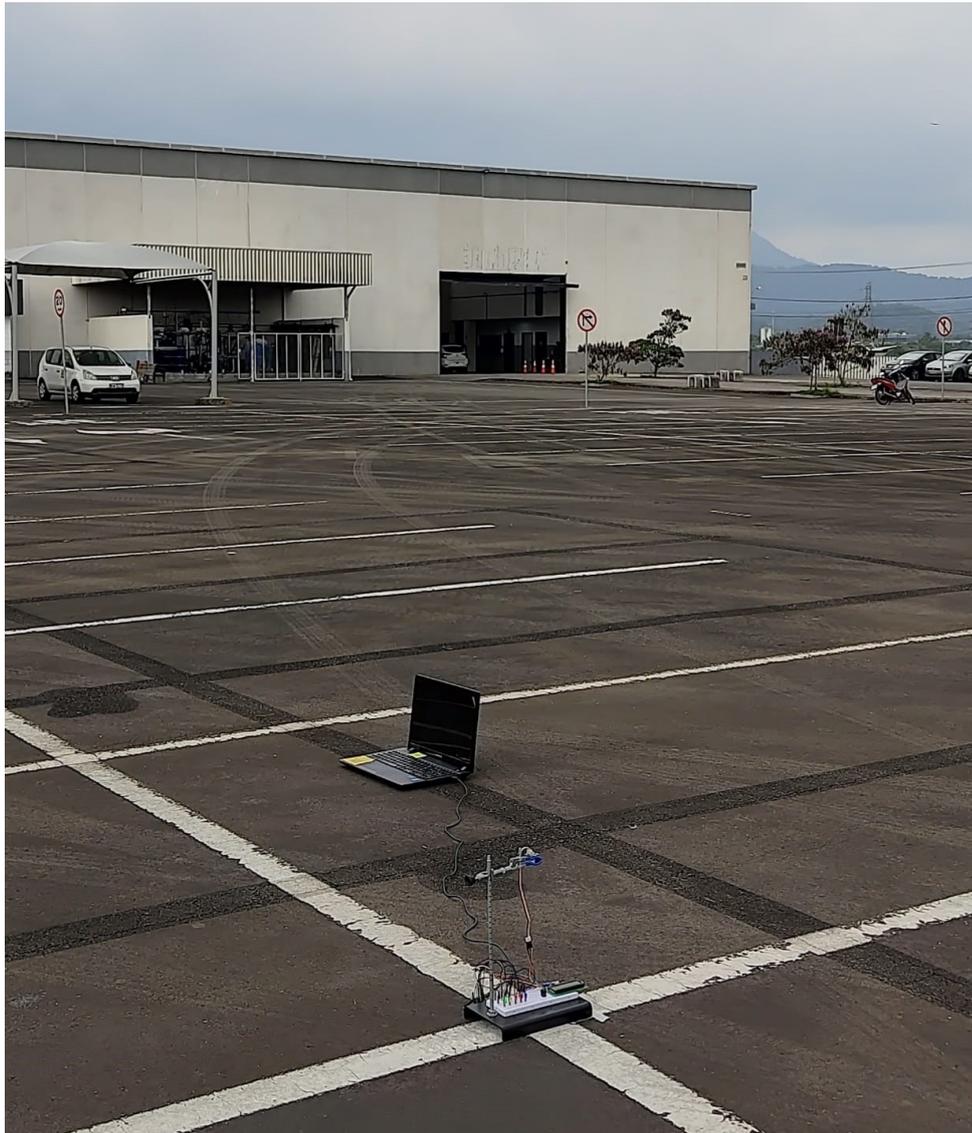
Fonte: O autor.

de valores antes das 10h30min para condições de poucas e muitas nuvens. O índice atingiu o nível extremo apenas na condição de poucas nuvens em torno das 11h30min.

Ao comparar os dados do sensor com os medidos pelo INPE em Curitiba, observa-se que os valores estão em concordância até 11h30min, mudando completamente a partir desse horário, o que indica diferenças climáticas entre as duas cidades. Comportamento similar é observado ao comparar os dados do sensor com Florianópolis. Nas medições com o sensor em Joinville, foi registrada a queda do IUV de 12 para 4 após o surgimento de camadas espessas de nuvens ao meio dia, e o mesmo comportamento foi registrado para Florianópolis, com o índice caindo de 8 para valores entre 5 e 6, o que indica condições climáticas similares entre as duas cidades. Esses resultados mostram que a superfície terrestre é irradiada com ultravioleta mesmo com a presença de camadas espessas de nuvens.

Para avaliar a precisão dos valores medidos pelo sensor, pontos foram coletados em Curitiba (PR) no Jardim Botânico, entre 08h00min e 17h00min do dia 27/02/2022. Os pontos foram medidos com a mesma metodologia do dia 23/02. Os resultados são apresentados na Figura 24. Mesmo com algumas divergências, é possível notar que a curva medida pelo sensor está em concordância com as curvas medidas pelo INPE. As diferenças estão relacionadas com os métodos que cada técnica utiliza para medição, onde o INPE, que além de realizar as medições via

Figura 21 – Equipamento desenvolvido para o monitoramento de radiação UV.



Fonte: O autor.

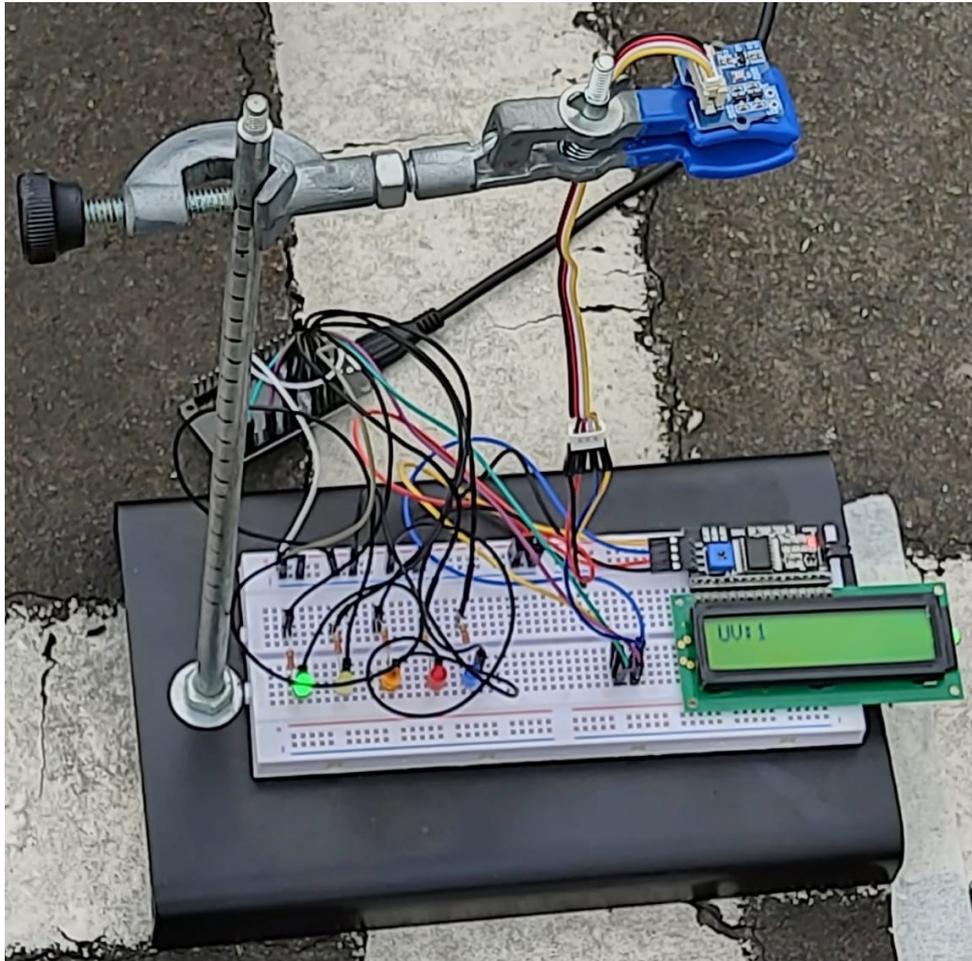
satélite, considera uma área de varredura maior que o sensor, que faz medidas pontuais.

#### 4.2 IUUV MEDIDO EM AMBIENTE LABORATORIAL

Em testes laboratoriais o sensor foi exposto a duas lâmpadas de emissão de radiação ultravioleta. Primeiro com a lâmpada germicida de 4 W, e depois com a lâmpada Philips MASTER HPI-T PLUS de 400 W. O objetivo destes testes serviu para analisar e informar aos usuários do laboratório o nível de radiação UV emitida pelas lâmpadas e servir como alerta de segurança ao manipular estes equipamentos.

A intensidade da radiação ultravioleta emitida pela lâmpada está correlacionada com a potência do equipamento, então, como a lâmpada germicida tem apenas 4 W,

Figura 22 – Registro de IUV apresentado pelo sensor após o céu ser encoberto por uma camada espessa de nuvens.



Fonte: O autor.

ela não possui intensidade suficiente para ser detectada pelo sensor. Os valores do IUV detectados para essa lâmpada estão próximos de zero, independente da distância até o sensor. Entretanto, a lâmpada Philips MASTER HPI-T PLUS de 400 W é 100 vezes mais potente que a lâmpada germicida, sendo capaz de gerar índices suficientemente notáveis no LCD. Os valores medidos pelo sensor em função da distância da lâmpada são apresentados na Figura 25.

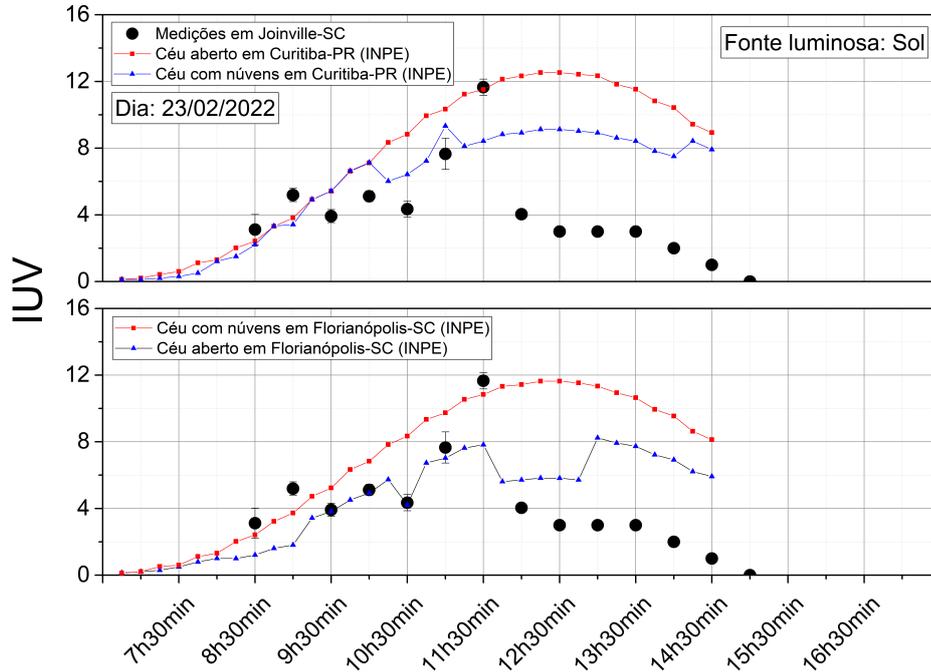
Os resultados mostram que os pontos podem ser aproximados por uma curva do tipo exponencial, dada pela equação (NASSER, 1970):

$$I = I_0 \exp(-\mu x)$$

em que  $I_0$  representa o IUV na superfície da fonte luminosa,  $x$  é a distância entre a fonte luminosa e o sensor,  $I$  é a intensidade da radiação no sensor e  $\mu$  é o coeficiente de absorção do meio. A curva de ajuste apresentada na Figura 25 é dada por:

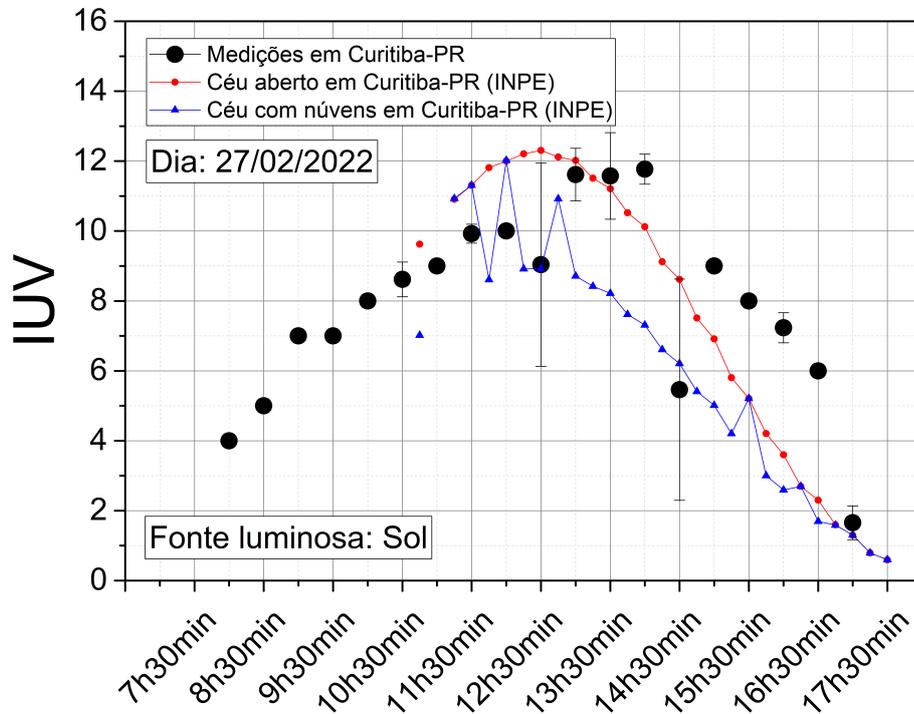
$$I = 55,62 \exp(-0,14x)$$

Figura 23 – Medição IUV realizada no dia 23/02/2022. Os dados do INPE foram registrados até 14h30min.



Fonte: O autor.

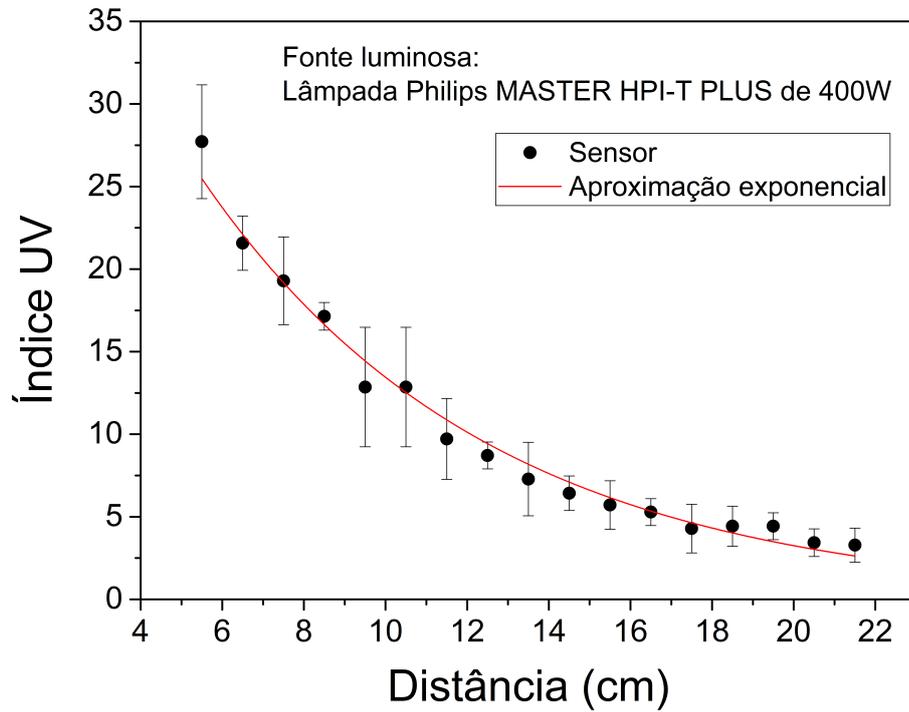
Figura 24 – Medição IUV realizada no dia 27/02/2022



Fonte: O autor

o que permite calcular a distância mínima que o usuário deve estar da lâmpada para que o IUV seja igual ou menor que 2. O cálculo indica uma distância mínima de 25

Figura 25 – Medição IUV realizada em laboratório



Fonte: O autor

cm; entretanto, é importante ressaltar que o IUV considera apenas a função eritêmica da pele, não realizando considerações para outros órgãos mais sensíveis do corpo humano, como os olhos. Assim, é fundamental a utilização de óculos com filtro durante os experimentos, independente da fonte luminosa utilizada e da distância.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados mostram que é possível construir um sensor de radiação ultravioleta de baixo custo que permita realizar medições confiáveis tanto em ambiente com iluminação solar quanto em ambiente com radiação produzida por lâmpadas. Nas datas investigadas, os valores do IUV registrados para as cidades de Joinville e Curitiba variaram entre zero e 13. Os valores menores foram obtidos antes das 09h00min e após as 15h00min e os maiores entre 12h00min e 13h00min. Em dias nublados, o sensor apresentou respostas sem atrasos, com a diminuição instantânea do IUV após bloqueio do Sol pelas nuvens e o aumento do índice após o retorno de céu claro. Em dias com nuvens espessas e céu fechado, foi confirmado bloqueio total do ultravioleta devido aos valores nulos registrados para o IUV. Em ambiente laboratorial, o sensor mostrou que lâmpadas podem emitir radiação ultravioleta com intensidades maiores que as registradas em ambiente solar, atingindo níveis acima de 20 dependendo da proximidade do usuário com a lâmpada, contribuindo diretamente para o surgimento de queimaduras na pele. Os dados obtidos permitem que o usuário defina distâncias de segurança para trabalhar em laboratório sem causar danos na pele e também defina o(s) horário(s) mais confortável(is) do dia para realização de atividades com exposição ao Sol. Além disso, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais faz apenas o monitoramento das capitais e como os dados com o sensor mostram que nem sempre os índices possuem a mesma faixa de valores das capitais, é fundamental que cidades do interior tenham seus próprios sistemas de monitoramento para medição mais precisa do IUV local. Ressalta-se que o sensor produzido é uma ferramenta de combate aos danos provocados pelo ultravioleta na pele, não sendo um instrumento indicado para medir o IUV nos olhos, que são órgãos mais sensíveis. Além disso, apesar dos dias nublados registrarem IUV em nível baixo é recomendado o uso contínuo de protetor solar, óculos de Sol e, sempre que possível, boné, chapéu ou trajes similares quando exposto a esse tipo de radiação.

## REFERÊNCIAS

BALOGH, T. et al. Proteção à radiação ultravioleta: recursos disponíveis na atualidade em fotoproteção. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v. 86, n. 4, p. 732–742, jul/set 2011.

DASGUPTA, A.; KLEIN, K. Oxidative stress induced by air pollution and exposure to sunlight. In: DASGUPTA, A.; KLEIN, K. (Ed.). **Antioxidants in Food, Vitamins and Supplements Antioxidants in Food, Vitamins and Supplements: Prevention and Treatment of Disease**. [S.l.]: Elsevier, 2014. cap. 3, p. 41–57.

ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP32 Datasheet**. 2017. Disponível em: [https://www.usinainfo.com.br/index.php?controller=attachment&id\\_attachment=513](https://www.usinainfo.com.br/index.php?controller=attachment&id_attachment=513). Acesso em: 15 set. 2021.

FILIFELOP. **Módulo Serial I2C para Display LCD**. 2022. Disponível em: <https://www.filifelep.com/produto/modulo-serial-i2c-para-display-lcd-arduino/>. Acesso em: 2022-03-02.

FRITZING GMBH. **Fritzing: electronics made easy**. 2022. Disponível em: <https://fritzing.org/>. Acesso em: 2022-03-02.

GRIMM, A. M. **Radiação solar e terrestre. Balanço de Calor**. Curitiba, 1999. Disponível em: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-2.html>. Acesso em: 28 ago. 2021.

HANSON, K. J.; HAAR, T. H. V.; SUOMI, V. E. Reflection of sunlight to space and absorption by the earth and atmosphere over the united states during spring 1962. **Monthly Weather Review**, v. 95, n. 6, p. 354–362, jun 1967.

INFOESCOLA. **Espectro eletromagnético**. 2021. Disponível em: <https://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **O que é radiação ultravioleta?** 2014. Disponível em: [http://satelite.cptec.inpe.br/uv/docs/O\\_que\\_e\\_Radiacao\\_Ultravioleta\\_rev1.pdf](http://satelite.cptec.inpe.br/uv/docs/O_que_e_Radiacao_Ultravioleta_rev1.pdf). Acesso em: 14 set. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **O que é índice ultravioleta (IUV)?** 2014. Disponível em: [http://satelite.cptec.inpe.br/uv/docs/O\\_que\\_e\\_Indice\\_Ultravioleta\\_rev1.pdf](http://satelite.cptec.inpe.br/uv/docs/O_que_e_Indice_Ultravioleta_rev1.pdf). Acesso em: 14 set. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Índice ultravioleta**. 2014. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/uv>. Acesso em: 14 set. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER. **Câncer de pele melanoma**. 2021. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/tipos-de-cancer/cancer-de-pele-melanoma>. Acesso em: 11 ago. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER. **Câncer de pele não melanoma**. 2021. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/tipos-de-cancer/cancer-de-pele-nao-melanoma>. Acesso em: 11 ago. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER. **Estimativa 2020 de incidência de câncer no Brasil**. 2021. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/sites/ufu.sti.inca.local/files/media/document/estimativa-2020-incidencia-de-cancer-no-brasil.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2021.

LIU, K. N. **An Introduction to Atmospheric Radiation**. 2. ed. Utah: Academic Press, 1980.

NASSER, E. **Fundamentals of gaseous ionization and plasma electronics**. [S.l.]: John Wiley Sons, 1970.

OLIVEIRA, M. M. F. Radiação ultravioleta / índice ultravioleta e câncer de pele no brasil: condições ambientais e vulnerabilidades sociais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 13, p. 60–73, jul/set 2013.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **World Cancer Report: Cancer research for cancer prevention**. 2020. Disponível em: <https://publications.iarc.fr/Non-Series-Publications/World-Cancer-Reports/World-Cancer-Report-Cancer-Research-For-Cancer-Prevention-2020>. Acesso em: 08 set. 2021.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Cancer**. 2021. Disponível em: <https://www.who.int/health-topics/cancer>. Acesso em: 11 ago. 2021.

ROBOCORE. **Tela de Cristal Líquido (LCD)**. 2021. Disponível em: <https://www.robocore.net/display/lcd-16x2-5v-branco-no-azul>. Acesso em: 15 set. 2021.

SÁNCHEZ-PÉREZ, J. F. et al. Relationship between ultraviolet index (uvi) and first-, second- and third-degree sunburn using the probit methodology. **Scientific Reports**, v. 9, n. 733, p. 1–13, jan 2019.

SCHALKA, S. et al. Brazilian consensus on photoprotection. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v. 89, n. 6, p. 1–74, nov/dec 2014.

SILICON LABS. **Proximity/UV/Ambiant Light Sensor IC with I<sup>2</sup>C Interface**. 2017. Disponível em: <https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet-Si1145-46-47.pdf>. Acesso em: 15 set. 2021.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE DERMATOLOGIA. **Câncer de pele**. 2021. Disponível em: <https://www.sbd.org.br/doencas/cancer-da-pele/>. Acesso em: 11 ago. 2021.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE MEDICINA TROPICAL. **Câncer de pele representa cerca de 30% dos tumores malignos do País**. 2021. Disponível em: <https://www.sbmt.org.br/portal/skin-cancer-responds-to-around-30-of-all-malignant-tumors-in-the-country/>. Acesso em: 11 ago. 2021.

THE NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. **Reference Air Mass 1.5 Spectra**. 2021. Disponível em: <https://www.nrel.gov/grid/solar-resource/spectra-am1.5.html>. Acesso em: 2022-01-19.

TIBA, C.; LEAL, S. S. Modelagem do iuv a partir da irradiação uv (a+b) em recife (pe). **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 3, n. 1, p. 8–14, jul 2012.

VIDA DE SILÍCIO. **Módulo Adaptador I<sup>2</sup>C para Display LCD 16×02 e 20×4**. 2022. Disponível em: <https://www.vidadesilicio.com.br/produto/modulo-i2c-para-display-lcd-16x02-20x4/>. Acesso em: 2022-03-02.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric Science: An Introductory Survey**. 2. ed. Washington: Elsevier Academic Press, 2006.

WOLFRAM, E. A. et al. Study of uv cloud modification factors in southern patagonia. **AIP Conference Proceedings**, v. 1810, n. 110012, p. 1–4, feb 2017.

XIAMEN OCULAR. **Specifications of LCD Module (GDM1602K)**. 2001. Disponível em: <https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/robocore-lojavirtual/165/GDM1602K-Extended.pdf>. Acesso em: 15 set. 2021.

XIAMEN OCULAR. **Specifications of LCD Module (GDM1602K)**. 2021. Disponível em: <https://www.robocore.net/display/lcd-16x2-5v-branco-no-azul>. Acesso em: 15 set. 2021.

## APÊNDICE A - CODIFICAÇÃO DO MICROCONTROLADOR

```
#include <Wire.h>
#include "Adafruit_SI1145.h"
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

// Setar o endereco do LCD para 0x27 para os 16 caracteres e 2 linhas do display;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

Adafruit_SI1145 uv = Adafruit_SI1145();

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(15, OUTPUT); //LED Verde;
  pinMode(2, OUTPUT); //LED Amarelo;
  pinMode(4, OUTPUT); //LED Laranja;
  pinMode(5, OUTPUT); //LED Vermelho;
  pinMode(18, OUTPUT); //LED Azul;

  // Inicializando o LCD
  lcd.begin(21,22); // sda=21 e scl=22 sao portas que utilizam o protocolo I2C no
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();

  // Testando e acionando o sensor Grove
  Serial.println("Adafruit SI1145 test");
  if (! uv.begin()) {
    Serial.println("Sensor GROVE nao encontrado");
    while (1);
  }
  Serial.println("Sensor GROVE encontrado!");
}

void loop()
{
```

```

int UVindex = uv.readUV();
// 0 sensor faz o calculo com um valor de 16 bits representando 100 vezes o indice
// Para obter o indice UV inteiro no formato da tabela da OMS, deve-se dividir po
UVindex /= 100.0;
Serial.print("UV: ");
Serial.println(UVindex);
LED(UVindex);

lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("UV: ");
//lcd.write(Serial.read());
//lcd.clear();
delay(350);
lcd.setCursor(3, 0);
lcd.print(UVindex);
delay(400);
}

void LED(int UVindex){
  if(UVindex <= 2){
    digitalWrite(15,HIGH); //LED Verde acende;
    digitalWrite(2,LOW); //LED Amarelo apaga;
    digitalWrite(4,LOW); //LED Laranja apaga;
    digitalWrite(5,LOW); //LED Vermelho apaga;
    digitalWrite(18,LOW); //LED Azul apaga;
  }
  else if(UVindex >= 3 && UVindex <= 5){
    digitalWrite(15,LOW); //LED Verde apaga;
    digitalWrite(2,HIGH); //LED Amarelo acende;
    digitalWrite(4,LOW); //LED Laranja apaga;
    digitalWrite(5,LOW); //LED Vermelho apaga;
    digitalWrite(18,LOW); //LED Azul apaga;
  }
  else if(UVindex == 6 || UVindex == 7){
    digitalWrite(15,LOW); //LED Verde apaga;
    digitalWrite(2,LOW); //LED Amarelo apaga;
    digitalWrite(4,HIGH); //LED Laranja acende;
    digitalWrite(5,LOW); //LED Vermelho apaga;
  }
}

```

```
    digitalWrite(18,LOW); //LED Azul apaga;
}
else if(UVindex >= 8 && UVindex <= 10){
    digitalWrite(15,LOW); //LED Verde apaga;
    digitalWrite(2,LOW); //LED Amarelo apaga;
    digitalWrite(4,LOW); //LED Laranja apaga;
    digitalWrite(5,HIGH); //LED Vermelho acende;
    digitalWrite(18,LOW); //LED Azul apaga;
}
else if(UVindex >= 11){
    digitalWrite(15,LOW); //LED Verde apaga;
    digitalWrite(2,LOW); //LED Amarelo apaga;
    digitalWrite(4,LOW); //LED Laranja apaga;
    digitalWrite(5,LOW); //LED Vermelho apaga;
    digitalWrite(18,HIGH); //LED Azul acende;
}
}
```

**APÊNDICE B - IMAGENS DO CÉU DE JOINVILLE (SC) DURANTE AS MEDIÇÕES DO IUV NO DIA 23/02/2022.**

09h00min: Poucas nuvens.



09h30min: Muitas nuvens.



10h00min: Muitas nuvens.



10h30min: Muitas nuvens.



11h00min: Poucas nuvens.



11h30min: Poucas nuvens.



12h00min: Muitas nuvens.



12h30min: Céu fechado.



13h00min: Céu fechado.



13h30min: Céu fechado.



14h00min: Céu fechado.

