

ASSOCIAÇÃO EDUCATIVA EVANGÉLICA  
FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA – FACEG  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

LEONARDO BORGES FERREIRA

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA LUZ UVC PARA DESINFECÇÃO DAS CÉDULAS  
EM CAIXA DE SUPERMERCADO**

GOIANÉSIA

2021

LEONARDO BORGES FERREIRA

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA LUZ UVC PARA DESINFECÇÃO DAS CÉDULAS  
EM CAIXA DE SUPERMERCADO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

GOIANÉSIA

2021

## FICHA CATALOGRÁFICA

F385e

Ferreira, Leonardo Borges.

Estudo da utilização da luz uvc para desinfecção das cédulas em caixa de supermercado / Leonardo Borges Ferreira – Goianésia: Faculdade Evangélica de Goianésia, 2021 – Faceg, 2021.  
54 p.; il.

Orientador: Prof. Ma. Ariane Martins Caponi Lima.  
Monografia de Graduação – Faculdade Evangélica de Goianésia: FACEG, 2020.

1. Luz ultravioleta. 2. Desinfecção 3. UVC. 4. Caixa registradora.

I. Ferreira, Leonardo Borges. II. Estudo da utilização da luz UVC para desinfecção das cédulas em caixa de supermercado.

CDU 621

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FERREIRA, L.B. Estudo da utilização da luz uvc para desinfecção das cédulas em caixa de supermercado. Trabalho de conclusão Curso (Graduação em Engenharia mecânica) – Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia-GO, 2021.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME: LEONARDO BORGESFERREIRA

GRAU: BACHAREL

ANO: 2021

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia permissão para reproduzir cópias desta Monografia de Graduação, única e exclusivamente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais de publicação. Nenhuma parte desta Monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.



Nome: Leonardo Borges Ferreira

CPF: 704.070.321-18

E-mail: leonardo\_775@hotmail.com

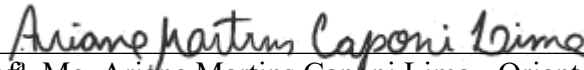
LEONARDO BORGES FERREIRA

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA LUZ UVC PARA DESINFECÇÃO DAS CÉDULAS  
EM CAIXA DE SUPERMERCADO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Goianésia, \_01\_ de \_Julho\_ de 2021.

BANCA EXAMINADORA



---

Prof.<sup>ª</sup>. Me. Ariane Martins Caponi Lima - Orientador  
Faculdade Evangélica de Goianésia

---

Prof. Dr. Cleber Caetano Thomazi - Avaliador  
Faculdade Evangélica de Goianésia



---

Prof. Thiago Ferreira da Cunha - Avaliador  
Faculdade Evangélica de Goianésia

**Dedico o presente trabalho único e exclusivamente ao senhor Luiz José Ferreira, meu vô falecido no início de 2021, cujo o sonho era ver seu neto formado. Saudades eternas.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a mim mesmo, por ter aguentado firme mesmo com tantos problemas, indecisões, ansiedade e empecilhos que surgiram durante toda essa jornada.

Agradeço também a minha família que sempre me apoiou todas minhas decisões, e foram compreensivos em todo momento.

A minha orientadora Ariane Caponi, se não fosse sua assistência, principalmente no final, não seria possível a realização do presente trabalho.

Ao Pedro Caponi, estudante de Biomedicina que me auxiliou no processo laboratorial, cujo não fazia ideia por onde começar.

Meus amigos Alexandre Fenelon e Lucas Espindola, passamos noites ajudando uns aos outros, motivando a realização do trabalho de conclusão.

## RESUMO

A busca por novos mecanismos de desinfecção passou a ser um grande objetivo da humanidade devido ao surgimento de inúmeras doenças infecciosas transmitidas por contato em superfícies contaminadas. Pensando nesse problema, o presente trabalho teve como objetivo: elaborar um mecanismo de desinfecção no caixa de supermercado e comprovar a eficiência da luz ultravioleta tipo C nas cédulas de dinheiro. Para isso, foi apresentado todo um referencial teórico mostrando o espectro da radiação e evidenciando a radiação UV, mais precisamente a luz tipo C, que é o ponto principal do trabalho. A história da radiação, o comportamento da luz no geral, equações da irradiação da luz e dose ultravioleta foram citados. Para a comprovação da efetividade da luz, foi executado um teste laboratorial para identificar microrganismos em cédulas de dinheiro e o poder da luz. Utilizando um software 3D que permite modelagem de objetos, foi elaborado um protótipo da caixa com a lâmpada UV-C. Por fim, foram demonstrados fotos e gráficos dos resultados da desinfecção utilizando a luz, comprovando a desinfecção da superfície do papel moeda.

**Palavras-chave:** Radiação UVC, Caixa Registradora, Desinfecção

## **ABSTRACT**

The search for new disinfection mechanisms has become a major goal for humanity due to the arising of countless infectious diseases transmitted by contact with contaminated areas. Because of that, this assignment had the aim of creating a disinfection device in supermarket cash registers and proving the efficiency of the Ultraviolet type C (UV-C) light on money bills. For that, it was presented a theoretical reference showing the radiation spectrum and highlighting the Ultraviolet radiation, more precisely the type UV-C light, which was the topic of this assignment. The history of radiation, the behavior of light in general, light irradiance equations and the Ultraviolet dose were quoted. As evidence of the effectiveness of the UV light, a laboratory test was executed. Using a 3D software program which allows the creation of objects, a prototype of the cash registers with the UV-C lamp was made. Lastly, pictures and graphics indicating the results of the disinfection using the Ultraviolet light were in evidence, proving the success of the disinfection on money bills.

**Keywords: UVC radiation, Cash Register, Disinfection**



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Esquema de reflexão e refração de luz	18
Figura 2 - Demonstração da reflexão difusa	19
Figura 3 – Representação em banda de frequência do espectro eletromagnético	21
Figura 4 - Espectro eletromagnético	22
Figura 5 – Gráfico comparando a eficiência germicida de lâmpadas UV de alta, média ou baixa pressão na bactéria <i>Escherichia</i>	23
Figura 6 - Demonstração do esquema descrito por Keitz.	25
Figura 7 - Sobrevivência de bactéria sob exposição à radiação UV. A linha é o ajuste da curva da equação de decaimento exponencial	28
Figura 8 - Gaveta do caixa aberto e luz desligada	34
Figura 9 - Gaveta do caixa fechada e luz UVC acesa	34
Figura 10 - Vista superior do caixa	35
Figura 11 - Vista explodida do caixa	35
Figura 12 - Meio de cultura	37
Figura 13 - Balança de precisão pesando o meio	37
Figura 14 - Balão volumétrico com a mistura água e meio	38
Figura 15 - Meios preparados com fitas e papel <i>kraft</i>	39
Figura 16 - Placas Petri com os meios Manitol sal, MacConkey e BEM	39
Figura 17 - Tubos de ensaio com BHI e Swabs introduzidos	40
Figura 18 - Passagem do Swab na nota de 2 reais	40
Figura 19 - Ambiente com luz UV-C simulando um caixa	41
Figura 20 - Antes e depois da exposição da luz em nota de 2 reais	42
Figura 21 – Antes e depois da exposição da luz em nota de 5 reais	43
Figura 22 – Tabela número $\Phi$ de lâmpadas Philips	44
Figura 23 – Gráfico Dose irradiação x Tempo de exposição	45
Figura 24 – Percentual de microrganismos (antes e depois da luz) na cédula de 2 reais.	46
Figura 25 - Percentual de microrganismos (antes e depois da luz) na cédula de 5 reais	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Intervalos da luz UV	22
Tabela 2 - As vantagens e desvantagens da utilização do raio UV-C	29
Tabela 3 – Equipamentos que utilizam luz UV	30
Tabela 4 - Características da lâmpada usada no teste	32
Tabela 5 – Materiais utilizados no experimento	33
Tabela 6 - Resultados na nota de 2 reais	42
Tabela 7 – Resultados na nota de 5 reais	43

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

a	Coefficiente de absorção
C	Velocidade da luz
D	Dose
E	Irradiância
Et	Tempo de exposição
Hg	Mercúrio
Ir	Irradiação
K	Constante de taxa
L	Distância que a luz percorre
N	Índice refratário
S	Fração de esporos
T	Transmitância
TiO <sub>2</sub>	Oxido de titânio
UV	Ultra violeta
UVA	Ultra violeta tipo A
UVB	Ultra violeta tipo B
UVC	Ultra violeta tipo C
UVGI	Ultra violeta germicida
⊖	Ângulo
v	Velocidade da onda no meio

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo geral	14
1.1.2	Objetivos específicos	14
1.2	Justificativa	14
1.3	Problema de pesquisa	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>16</b>
2.1	Propagação, reflexão e espalhamento da luz	17
2.2	Espectro eletromagnético da luz	20
2.3	Raio ultravioleta	21
2.4	O raio UV e Sistema de Desinfecção	23
2.5	Aspectos de absorção de UV	24
2.6	Processo de desinfecção	25
2.6.1	Valores da Irradiação UV (Ir)	25
2.6.2	Fluência ou Dose	26
2.6.3	Decadência de estágio único	27
2.6.4	Materiais reflexivos	28
2.7	Vantagens e desvantagens da utilização do raio UV-C	28
2.8	Equipamentos que utilizam UV	29
2.9	Poder das cédulas monetárias em transmitir doenças	31
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>32</b>
3.1	Materiais/equipamentos do experimento	32
3.2	Desenho do Protótipo de um caixa de supermercado	33
3.3	Procedimento experimental	36
3.3.1	Coleta de dados	36
3.3.2	Procedimento laboratorial	36
3.3.3	Teste de qualidade	41
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>42</b>
4.1	Resultado do Experimento laboratorial	42
4.2	Análise da intensidade da radiação	44
4.3	Análise dos mecanismos de desinfecção	45
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A necessidade do ser humano em desenvolver tecnologias e métodos de desinfecção fica cada vez mais claro a partir do surgimento de novas doenças. A vulnerabilidade do ser humano em relação a tal problema é notória, levantando discussões e debate a cada nova pandemia.

Com o mais novo surto pandêmico do século, o Coronavírus, infectando centenas de milhares de pessoas e muitas dessas levadas a óbito, levou à brusca mudança de hábito do ser humano sendo obrigado a mudar seu estilo de vida aumentando ainda mais as discussões e pensamentos sobre higiene aliada a saúde (GONÇALVES; DEZOTI, 2020).

Um dos principais meios de propagação de vírus e bactérias (e que frequentemente não é notado) é o meio que o ser humano encontrou de pagar por bens e serviços sem ser por meio do escambo (comércios de mercadoria por meio de trocas), esse meio é a famosa e desejada cédula de dinheiro que acaba passando de mão em mão carregando diversos microrganismos e não possuindo nenhum tipo de cuidado para sua desinfecção.

Um dos métodos que está sendo mais pesquisado ultimamente para o auxílio na desinfecção é o uso da radiação ultravioleta (UV) na água, superfícies e até mesmo no ar. Sua eficácia germicida vem sendo estudada a anos, abrindo espaço para a criação de vários métodos de desinfecção (MILLER et al., 2013). A radiação é um meio de propagação emitido por uma fonte que dispensa em qualquer meio, sob a fórmula de partícula com ou sem carga elétrica (OKUNO; CONSTANTINO, 2005).

A radiação germicida ultravioleta (UVGI) é capaz de destruir a capacidade de reprodução de microrganismos e causa alterações de ácido nucléico na célula (KOWALSKI, 2009). Deste modo, a luz UV passa a ser boa aliada no combate a doenças transmissíveis pelo ar.

Mesmo sabendo desse grande poder de desinfecção, seu uso (raio UV) em ambientes onde há fluxo de pessoas deve ser bastante acurado. A implementação dela em um caixa de supermercado seria um avanço na saúde pública.

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um projeto experimental utilizando a luz ultravioleta instalada em caixas de supermercado, buscando a desativação parcial ou até mesmo total de microrganismos presente em cédulas de dinheiro.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral deste trabalho, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- Analisar a viabilidade de instalação de sistemas de desinfecção em caixas de supermercado considerando-se a saúde humana;
- Estimar a potência necessária da radiação;
- Estudar um sistema de controle para acionamento das luzes UV;
- Realizar análise da eficácia germicida da radiação UV através de ensaios laboratoriais;

## **1.2 Justificativa**

O dinheiro é um objeto que no dia-a-dia percorre diversos lugares, passando de mão em mão, bolso em bolso, até “descansar” em algum cofre, caixa de mercado, caixa eletrônico etc. Nesse percurso acaba acumulando diversos tipos de microrganismos, tornando-se um grande veículo para transmissão de doenças.

As cédulas de dinheiro são um dos principais meios de propagação de microrganismos, pois é um objeto que recebe contato de diversas pessoas, devido a este fato, o presente trabalho se direciona especificamente a tal tema. Com a COVID-19, o hábito humano será alterado para sempre, com isso, medidas para evitar contágios deverão ser criadas (MARITZ et al., 2017).

## **1.3 Problema de pesquisa**

Mesmo sabendo seu potencial, deve-se haver procedimentos e verificações da viabilidade dessa implementação, como:

- O Real poder do UV em contato com as cédulas;
- Implementação do projeto dentro de caixas de supermercado, pensando na saúde do trabalhador;
- Cuidados de exposição da radiação UV à pele humana.

A possibilidade da implementação dessa tecnologia em caixas de supermercado é um grande desafio. Uma possível estrutura utilizando lâmpadas UV com a possibilidade de ativação e a desativação da luz ao abrir o caixa, poderia ser uma das saídas para diminuir o problema de contágio de doenças através do dinheiro.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A luz, historicamente, sempre foi objeto de discussão, onde seus primeiros relatos começaram com Isaac Newton em 1672, com a publicação de uma série de testes e ensaios com prismas que refletiam o sol gerando cores. Em 1800, começaram estudos sobre efeitos do raio em relação ao ser humano (pele, olhos e etc), microrganismos e produtos químicos (HOCKBERGER, 2002).

No ano de 1814, Fraunhofer mapeou mais de 500 faixas de luz solar, verificando que algumas estavam na região ultravioleta. Downes e Blunt (1877, *apud* OKUNO E VILELA, 2005, p.4) foram os primeiros cientistas a exporem a eficiência da luz solar na eliminação de bactérias perigosas para humanos. Mais tarde, Durclaux e Ward (1885,1892, *apud* OKUNO E VILELA, 2005, p.4) descobriram o real responsável por esse efeito: a radiação ultravioleta.

O teste de *Bacillus anthracis* (bactéria do gênero *Bacillus* responsável pela doença denominada carbúnculo), em 1892, provou que a luz ultravioleta era a responsável por essa eliminação. Também em 1892, Geisler usou prismas e um heliostático (dispositivo espelhado que possui um certo movimento, responsável por direcionar raios solares em uma certa direção) para provar que a luz solar e as lâmpadas de arco eram letais para o *Bacillus typhosus* (bactéria do gênero *Bacillus*). Finsen (1900, *apud* KOWALSKI, 2009, p. 2) conduziu a primeira análise rigorosa dos efeitos dos raios ultravioleta. Barnard e Morgan (1903, *apud* KOWALSKI, 2009, p. 2) determinaram o espectro ultravioleta como 250 fungicidas, Newcomer (1917) estreitou o intervalo e Ehrismann e Noethling (1932, *apud* KOWALSKI, 2009, p. 2) separaram o comprimento de onda germicida de 253,7 nm. Von Recklinghausen (1914, *apud* KOWALSKI, 2009, p. 2) usou a luz ultravioleta para desinfetar água potável pela primeira vez em 1906.

A primeira desinfecção de água em 1909/1910 foi operada em Marselha, França. Henri (1914, *apud* KOWALSKI, 2009, p. 4) apresentou a primeira evidência de que a luz ultravioleta tinha um efeito fotoquímico sobre os microrganismos; em 1916, o primeiro sistema de desinfecção de água nos Estados Unidos foi testado em Henderson, Kentucky (AWWA, 1971). Em 1921, Renz provou que a luz ultravioleta pode causar uma fotorreação com o óxido de titânio (TiO<sub>2</sub>), Hausser e Vahle (1927, *apud* KOWALSKI, 2009, p. 4) propuseram o primeiro espectro detalhado do eritema (distúrbio cutâneo inflamatório). Bedford (1927 *apud* KOWALSKI, 2009, p. 4) e Gates (1929 *apud* KOWALSKI, 2009, p. 4) estiveram entre os primeiros países a determinar a dose ultravioleta necessária para a



desinfecção bacteriana. A dosagem de desinfecção fúngica foi publicada pela primeira vez por Fulton e Coblenz (1929 *apud* KOWALSKI, 2009, p. 4).

Na década de 1930, os sistemas ultravioletas (UV) foram usados pela primeira vez em hospitais para controlar infecções. Na década de 1940, o projeto detalhado e a análise da desinfecção do ar por UV foram publicados pela primeira vez, bem como as diretrizes básicas para o uso de UV em sistemas de ventilação. Logo em seguida foram feitos testes do UV para controle de infecções em quartéis (KOWALSKI, 2009).

A partir de 1950 já era comprovada a eficácia dos raios na desinfecção do ar e superfícies. Diversos estudos começaram a surgir evidenciando a efetividade da irradiação germicida ultravioleta (UVGI) em aparelhos como o ar condicionado, reduzindo a contaminação transportada pelo ar. Em 1985, Phillips publicou um guia de *design*, que descreveu claramente a aplicação de lâmpadas UV e propôs um método para controlar o crescimento de microrganismos (PHILIPS, 1985).

Em 2003, finalmente, o CDC (Centros de Controle e Prevenção de Doenças dos Estados Unidos) reconheceu a eficácia dos sistemas UVGI assim sendo liberado seu uso em hospitais. Também em 2003, a influente Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (ASHRAE) formou um conjunto de tarefas, com foco no tratamento de superfície e ultravioleta do ar em 2007, tornou-se o comitê técnico permanente (MARTIN et al., 2008).

## **2.1 Propagação, reflexão e espalhamento da luz**

Por todo percurso da humanidade, as definições sobre a natureza da luz foram sempre se aperfeiçoando. Ela é responsável pela percepção de visual de cores do ser humano devido aos fenômenos da refração e reflexão. A luz visível é apenas uma parte do espectro eletromagnético. Existem diversas outras frequências, indo de raios cósmicos até as ondas de rádio. Ela é capaz de transportar informações, não sendo apenas um estado energético (HEWITT, 2009).

As ondas de rádio, micro-ondas, raios infravermelhos, raios ultravioleta, a luz e o raio X constituem as chamadas ondas eletromagnéticas. A diferença entre a luz e outras ondas é que, quando afetam nossas vidas, produzem sensações visuais. Quase todos os objetos do nosso cotidiano não emitem luz própria, eles na verdade reemitem a luz incidente em sua superfície, a luz está vindo de alguma fonte, como o sol por exemplo. A luz direcionada ao objeto é reemitida (refletida) não afetando sua frequência ou é absorvida

(refração) aquecendo-o. (HEWITT, 2009).

Segundo Hewitt (2009), no momento em que um feixe de luz entra no meio (material), parte desta luz é refletida (a luz volta no mesmo ângulo da luz incidente ao material), nesse mesmo acontecimento, parte da luz consegue passar para o outro material. A Figura 1 demonstra tais fenômenos, ângulo incidente  $\theta_1$ , ângulo da reflexão  $\theta'_1$ , ângulo da refração  $\theta_2$ .

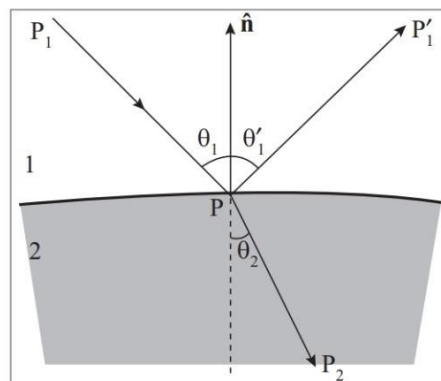


Figura 1– Esquema de reflexão e refração de luz

Fonte: Nussenzveig, 2014.

O ato da luz retornar com o mesmo ângulo em que atingiu a superfície é chamada de Lei da reflexão, e é ilustrada na Figura 1. É o momento em que o raio incide formando o ângulo  $\theta_1$  e o momento em que ocorre a reflexão obtendo o ângulo  $\theta'_1$  (ângulo este equivalente ao ângulo de incidência) e esse fenômeno é descrito na Equação 1 (HEWITT, 2009).

$$\theta'_1 = \theta_1$$

*Equação 1*

A reflexão de luz incidente em superfícies lisas é denominada “reflexão especular”, se a superfície for irregular (rugosa) o fenômeno chama-se reflexão difusa.

A diferença deles é que na reflexão difusa (representada na Figura 2) os raios incidentes atingem a superfície rugosa em diferentes posições e ângulos dependendo do local da superfície a ser atingida, mesmo assim o ângulo da luz refletida continua sendo a mesma da luz incidente (NUSSENZVEIG, 2014).

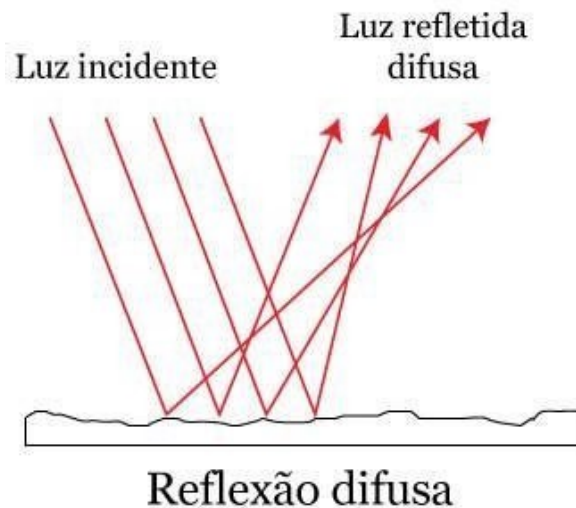


Figura 2 - Demonstração da reflexão difusa

Fonte: Mendes, 2019

A lei da refração, descrita pelo cientista Ibn Sahl em 984, formulada por Willebrord Snell em 1621 e reformulada por Descartes em 1637, afirma que o ângulo de refração (ângulo  $\theta_2$  da Figura 1) é totalmente dependente da velocidade da luz e do ângulo de incidência  $\theta_1$ , tal lei é descrita na equação 2 (TIPLER; MOSCA, 2009):

$$\frac{1}{v_1} \text{sen}\theta_1 = \frac{1}{v_2} \text{sen}\theta_2$$

*Equação 1*

Sendo:

$v_1$  = Velocidade da onda no meio incidente

$v_2$  = Velocidade da onda no meio de transmissão

$\theta_1$  = Ângulo de incidência

$\theta_2$  = Ângulo de refração

Tal equação é admissível em qualquer tipo de onda incidente em uma superfície separando dois meios (TIPLER; MOSCA, 2009).

A equação da lei da refração utiliza os índices de refração ( $\eta_1$  e  $\eta_2$ ) dos dois meios. O índice de refração é descrito pela equação 3:

$$\eta = \frac{c}{v}$$

*Equação 2*

Sendo:

$\eta$  = Índice de refração

C= Velocidade da luz

v= Velocidade no meio

Com a equação do índice de refração e a relação na equação 2, Willebrord Snell e filósofo René Descartes (1621) descreveram a lei da refração como:

$$\eta_1 \text{sen}\theta_1 = \eta_2 \text{sen}\theta_2$$

*Equação 4*

Sendo:

$\theta_1$  = Ângulo de incidência

$\theta_2$  = Ângulo de refração

$\eta_1$  = Índice de refração meio 1

$\eta_2$  = Índice de refração meio 2

Não só a luz visível sofre esses fenômenos descritos, também outros diversos tipos de ondas eletromagnéticas, muitas delas não são visíveis a olho nu. Essas ondas são descritas em escalas, o espectro eletromagnético (TIPLER; MOSCA, 2009).

## 2.2 Espectro eletromagnético da luz

O espectro eletromagnético é uma banda contínua, variando de ondas de rádio a raios gama (HEWITT, 2009). Ondas eletromagnéticas se propagam com a mesma velocidade no vácuo. Diferenciam-se na questão da frequência, medida em Hertz (Hz). A classificação das ondas em relação a sua frequência é nomeada como espectro eletromagnético (Figura 3). As frequências das ondas eletromagnéticas vão de  $10^4$  Hz a  $10^{24}$  Hz (Figura 3).

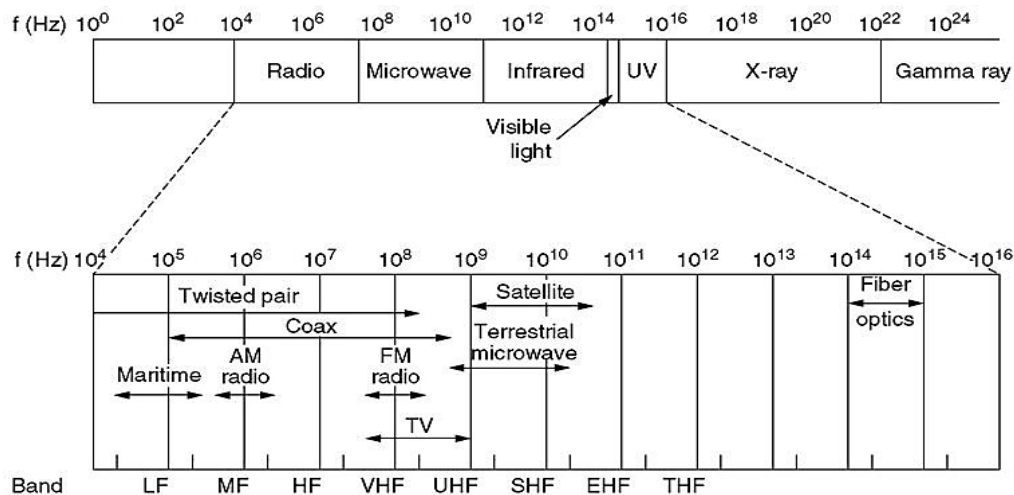


Figura 3 – Representação em banda de frequência do espectro eletromagnético

Fonte: Fagundes, 2012

A Figura 3 retrata as frequências de cada onda em Hertz, iniciando de  $10^4$  Hz a  $10^8$  Hz que são as chamadas ondas de rádio. Elas são facilmente refletidas, podendo assim serem recebidas a distâncias longas; passando pelas micro-ondas ( $10^8$  Hz a  $10^{10}$  Hz) usadas em telecomunicações como TV, telefonias e radares; de  $10^{11}$  Hz a  $10^{14}$  Hz, identificam-se as ondas infravermelhas, mais conhecidas como radiação térmica de calor; na faixa de  $10^{14}$  Hz (mais precisamente  $4,3 \times 10^{14}$  Hz até  $7,5 \times 10^{14}$  Hz) correspondem a frequência da luz visível; em  $10^{14}$  Hz a  $10^{16}$  Hz, encontra-se o raio ultravioleta;  $10^{16}$  Hz a  $10^{22}$  Hz o Raio X e  $10^{22}$  Hz o raios Gama. O espectro central do trabalho é o raio ultravioleta, explicitado a seguir e destrinchando cada tipo.

### 2.3 Raio ultravioleta

A radiação solar é equivalente à emissão de energia na forma de ondas eletromagnéticas de 100 nm a mais de 800 nm (nanômetro, unidade de comprimento que equivale à bilionésima parte de um metro) e se propaga na velocidade da luz (KIRCHHOFF, 1995). De acordo com o comprimento de onda, podem ser divididos em três categorias. As partes mais diretamente relacionadas com o aquecimento da atmosfera terrestre são os raios infravermelhos, luz visível e luz ultravioleta. A faixa ultravioleta é subdividida em três faixas. A Tabela 1 mostra em detalhes cada uma delas: UVA entre 315 nm e 400nm, UVB entre 280 nm e 315 nm e UVC, entre 100 nm e 280 nm conforme está mostrando na Figura 4 (KIRCHHOFF, 1995).

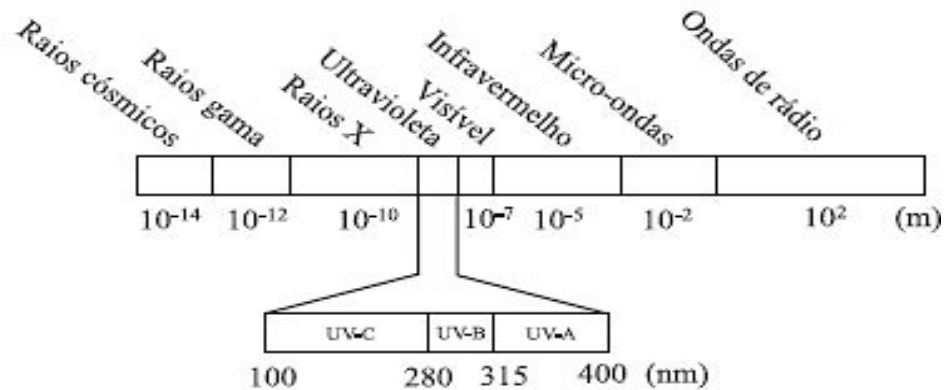


Figura 4 - Espectro eletromagnético

Fonte: Gouvêa et al, 2013

Tabela 1 - Intervalos da luz UV

Raio e Intervalo (nm)	Descrição
UV-A 315 – 400	A radiação ultravioleta tipo A começa de 320nm à luz visível (400nm). A atividade da radiação UVA é 800 a 1000 vezes menor que a do UVB na pele porém, é também uma radiação prejudicial, pois além dos seus próprios efeitos, também potencializa (potencializa) os efeitos dos raios UVB.
UV-B 280 – 315	A radiação ultravioleta tipo B está entre 280nm e 315nm, o que é prejudicial a quase todas as formas de vida e é a principal causa de doenças de pele. Pode produzir reações agudas, como eritema de queimadura solar (vermelhidão) até queimadura solar, pigmentação da pele e imunossupressão do sistema imunológico (isto é, resistência reduzida e, portanto, resistência a infecções locais e sistêmicas. Os indivíduos são mais sensíveis a infecções bacterianas. Vírus etc.). O quadro clínico da doença crônica é muito variável, podendo ser transformado pelo foto envelhecimento, principalmente pela ocorrência do câncer de pele.
UV-C 100 – 280	A radiação ultravioleta tipo C tem duas faixas de comprimento de onda: uma se espalha no vácuo, variando de 100nm a 200nm, e a outra está entre 200nm e 280nm. A radiação é absorvida e não atinge a superfície da Terra.

Fonte: PROZONESP, 2020 (adaptado)

A radiação UV-A para a área da desinfecção germicida é muito desfavorável devido a necessidade de um longo período de exposição à luz. Ela é utilizada no dia-a-dia em festas e eventos com a chamada luz negra. A radiação UV-B é a mais destrutiva, afeta a pele produzindo eritema e pigmentação. Já a radiação UV-C é a mais utilizada para desinfecção, pois atua num intervalo nanométrico propício para tal finalidade (BOLTON; COTTON, 2008).

## 2.4 O raio UV e Sistema de Desinfecção

A divisão de interesse para o presente trabalho se encontra na faixa UVC (200-280), mais precisamente a faixa 253,7 nm, devido ser especialmente prejudiciais as células dos microrganismos (BOLTON; COTTON, 2008).

A Irradiação UVC pode destruir a capacidade de reprodução de microrganismos, causando mudanças nucleicas na célula (KOWALSKI, 2009). Com essa ideia em mente, pode-se perceber uma grande oportunidade de surgimento de novos métodos de controle de doenças.

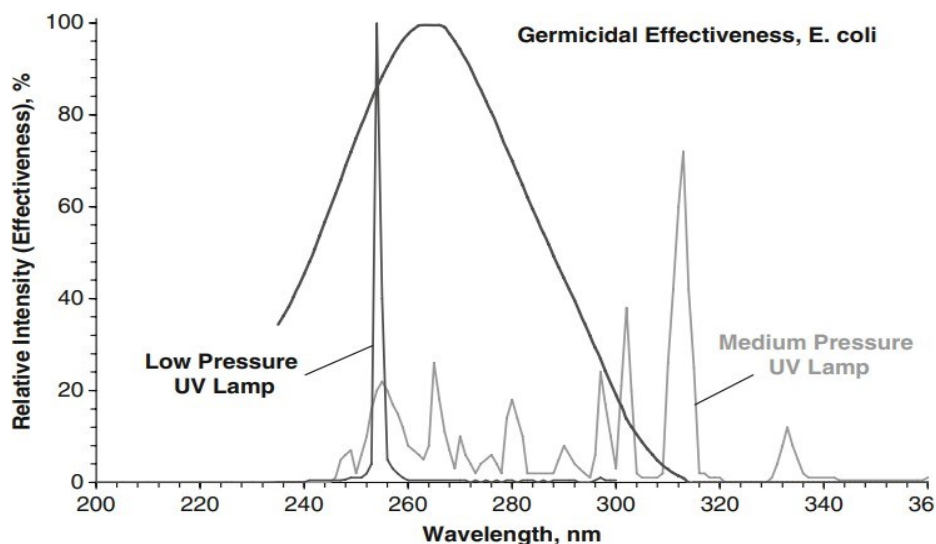


Figura 5 – Gráfico comparando a eficiência germicida de lâmpadas UV de alta, média ou baixa pressão na bactéria *Escherichia*

Fonte: Kowalski, 2009

A Figura 5 mostra que o pico da efetividade germicida das lâmpadas de média pressão chega a 260-265 nm correspondendo o máximo de absorção de UV pela bactéria *Escherichia*. Já as lâmpadas de baixa pressão tiveram 95 % de sua energia irradiada na faixa de 253,7 nm. Levando o fato de que as duas lâmpadas emitem a mesma quantidade de potência ultravioleta total e verificando a relação “comprimento de onda x eficiência germicida”, fica evidenciado que a lâmpada de baixa pressão tem uma eficiência maior naquela faixa de comprimento de onda.

A desinfecção ultravioleta é devida a um processo fotoquímico pela absorção UV pelo DNA ou RNA do microrganismo, causando modificação no ácido nucleico.

## 2.5 Aspectos de absorção de UV

Espectro de absorção é a capacidade da molécula de absorver alguma faixa especificada de frequências eletromagnéticas. Essa absorção acarretará em uma alteração de configuração eletrônica da molécula. A energia transmitida a uma molécula por absorção de UV produz um estado excitado que é quando os elétrons da molécula passam para níveis de energia mais elevados (BOLTON; COTTON, 2008).

A luz percorre uma velocidade de  $2,994 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$  no vácuo, porém diminui ao entrar em um meio finito. Temos a relação entre “vácuo x meio” denominada de índice de refração no qual seu valor no vácuo é 1,000. Quando o feixe passa por um meio de índice refratário  $n^1$  para outro  $n^2$ , dois efeitos podem ser observados: a reflexão e a refração da luz.

Parte da luz é refletida de volta com o ângulo  $\theta^2$  igual ao ângulo  $\theta^1$  de aplicação da luz. O coeficiente de reflexão é (BOLTON; COTTON, 2008).

$$R = \frac{(n2 - n1)^2}{(n2 + n1)^2}$$

*Equação 3*

A luz que entra no meio também sofre refração, alterando sua direção e mudando seu ângulo. Se houver substâncias no objeto capazes de absorver a luz, ela é diminuída durante seu percurso de acordo com Beer-Lambert (BOLTON; COTTON, 2008):

$$\frac{E^t}{E^0} = 10^{-A} = T$$

*Equação 4*

Ou

$$A = \log\left(\frac{E^0}{E^t}\right) = -\log(T) = al$$

*Equação 5*

Sendo:

$E^t$  e  $E^0$  = Irradiância transmitida e incidentes

A= Absorbância

T= Transmitância

L= Distância que a luz percorre o corpo

$a$ = Coeficiente de absorção



Conhecendo o aspecto UV, pode-se abordar os processos de desinfecção que ocorre com a luz UV.

## 2.6 Processo de desinfecção

O processo de desinfecção por UV pode envolver decadência exponencial simples (Decadência de estágio único) ou funções mais complexas, incluindo dois ou mais processos de decadência. O mais utilizado pelos sistemas de desinfecção é o exponencial simples, pois geralmente se atinge mais de 90% nesse primeiro estágio. O decaimento de dois estágios é usado quando a dose de exposição é suficiente para eliminar 99% de microrganismos e é observado uma resistência dos microrganismos restantes fazendo assim necessário um segundo estágio de desinfecção (KOWALSKI, 2009).

### 2.6.1 Valores da Irradiação UV ( $I_r$ )

Segundo Keitz em 1971, a irradiância  $E$  em uma pequena superfície no ponto  $P$  na Figura 6, em uma distância  $a$  de uma linear fonte de radiação  $AB$  de comprimento  $l$ , equivale como mostrado na Equação 8:

$$E = \frac{\phi}{2 \cdot \pi \cdot l \cdot a} (2\alpha + \sin \alpha)$$

*Equação 6*

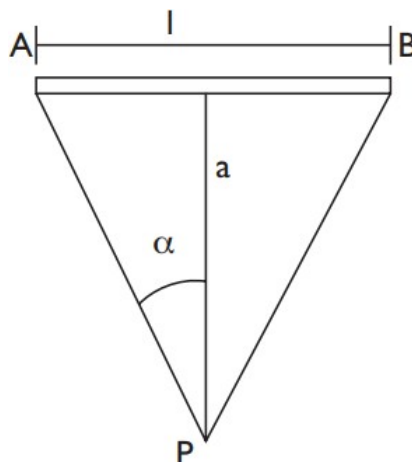


Figura 6 - Demonstração do esquema descrito por Keitz.

Fonte: Philips, 2004

Essa equação simplificada temos para grande distancias da lâmpada:

$$E = \frac{\varphi}{\pi^2 \times a^2} \quad (\alpha \gg I)$$

*Equação 7*

Para distâncias menores

$$E = \frac{\varphi}{2\pi \times a \times l} \quad (\alpha < 0.5 I)$$

*Equação 8*

O valor da irradiância da lâmpada ( $\varphi$ ) é encontrado em tabelas de fabricantes.

### 2.6.2 Fluência ou Dose

Na desinfecção com UV, a fluência (dose de exposição UV) é definida como sendo o produto da intensidade de energia pelo tempo de exposição:

$$D = Et \times Ir$$

*Equação 11*

Sendo:

D = Dose de exposição UV (fluência), J / m<sup>2</sup> Et = Tempo de exposição, seg

Ir = Irradiância, W / m<sup>2</sup>

A irradiação (Ir) pode ser usada para expressar qualquer irradiância, tanto a irradiância (fluxo radioativo numa superfície plana) quanto a taxa de fluência, que é o fluxo radioativo através de uma superfície externa, como um micróbio esférico, que muitas vezes é chamado de irradiação esférica (KOWALSKI, 2009).

Quando a dose UV elimina cerca de 90 % é conhecida como D90, designação usada geralmente como um indicador de sistema, sendo usado para avaliar a taxa de sobrevivência de um único microrganismo (KOWALSKI, 2009).

No caso de exposição da luz em superfície, o campo de irradiância pode ser considerado relativamente constante e com isso a Equação 11 pode ser aplicada diretamente, obtendo a dose UV. É muitas vezes o caso de objetos expostos dentro de uma câmara UV, podendo assim haver uma medição da irradiância com um alto grau de confiabilidade (KOWALSKI, 2009).

### 2.6.3 Decadência de estágio único

O modelo primário usado para analisar a sobrevivência de microrganismos expostos a luz ultravioleta é o modelo clássico de decaimento exponencial. É uma taxa de decaimento de primeira ordem que é utilizado para a maioria dos sistemas UVGI, desde que a dose UV esteja dentro dos parâmetros de primeira ordem. Isso ocorre porque as taxas de desinfecção de 90- 99% geralmente podem ser alcançadas no primeiro estágio de decadência. Com poucas exceções, um valor de dose igual a 90 define o primeiro estágio de decadência para bactérias e vírus. O valor D 90 normalmente permanece preciso até doses no valor de 99 (KOWALSKI, 2009). A quantificação da sobrevivência de microrganismos expostos ao UV de estagio único é descrito pela Equação 12:

$$S = e^{-kD}$$

*Equação 12*

Onde:

S= Fração de esporos sobreviventes após exposição a UV-C

K= Constante de taxa ( $m^2/J$ ), (cada microrganismo possui um valor específico de constante)

D= Dose UV ( $J / m^2$ )

A Figura 7 ilustra a decadência exponencial simples de uma bactéria exposta à irradiação UV. Esses dados exibem decaimento relativamente linear e a taxa de UV constante calculada a partir do ajuste da curva exponencial exibida na figura é  $k = 0,0701 m^2 / J$ .

Altos valores de constantes de taxa implicam em deterioração e desinfecção rápida. As constantes de taxas baixas implicam em resistência aos raios ultravioleta. Em geral, bactérias e vírus possuem constantes de taxa alta, enquanto os esporos de fungos têm constantes de taxa baixa.

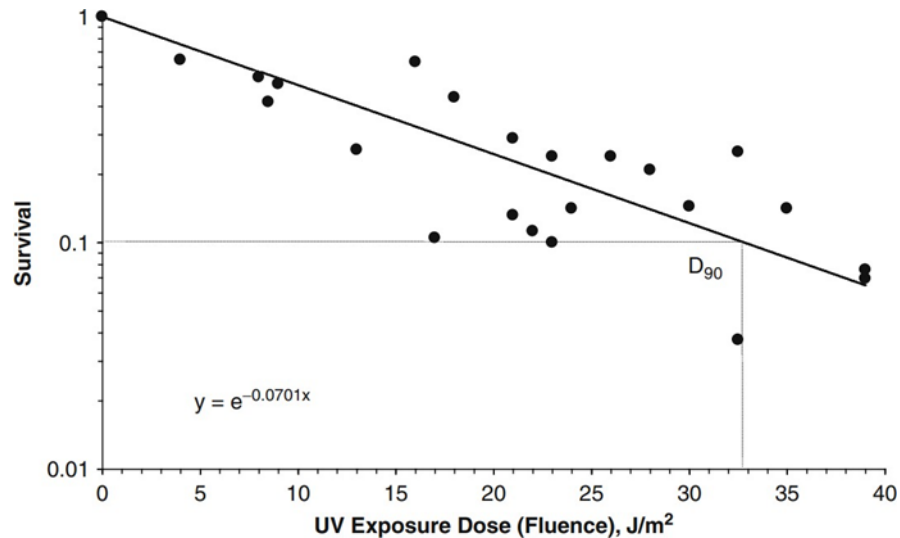


Figura 7 - Sobrevivência de bactéria sob exposição à radiação UV. A linha é o ajuste da curva da equação de decaimento exponencial

Fonte: Kowalski, 2009

#### 2.6.4 Materiais reflexivos

A eficácia do UVGI pode ser melhorada através do uso de materiais que são altamente reflexivos no espectro UV, e isso ocorre devido ao aumento da reflexão dentro do sistema germicida, aumentando assim sua desinfecção. A folha de alumínio é um dos exemplos de materiais que, além de ter um custo baixo, possui cerca de 75% de refletividade UV. O material mais reflexivo conhecido pelo ser humano é o politetrafluoretileno (PTFE), um polímero com propriedades excepcionais como a elevada resistência à tração, constante dielétrica baixa, resistência à radiação UV, e também possui cerca de 99% de refletância ultravioleta. Os materiais especulares são mais comuns, mas os materiais difusivos distribuem os raios ultravioleta de maneira mais uniforme (KOWALSKI, 2009).

#### 2.7 Vantagens e desvantagens da utilização do raio UV-C

Hoje, o mais próximo encontrado no Brasil a respeito de luz UV-C em supermercados é o uso de cabines com a luz para a desinfecção de compras, e só foi instalado devido a pandemia do novo Coronavírus em 2020. (PROZONESP, 2020)

No Brasil, é possível perceber o uso do raio ultravioleta para desinfecção em áreas bem específicas, como em laboratórios para a desinfecção de objetos do uso diário,

tratamento de alimentos, tratamento de água e alguns equipamentos UV na área hospitalar, porém ainda é longe do ideal, visto os grandes benefícios que ele pode trazer para o brasileiro.

As vantagens e desvantagens da utilização do raio UV-C podem ser descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - As vantagens e desvantagens da utilização do raio UV-C

Vantagens	Desvantagens
Processo limpo, que não libera ou deixa resíduo	Efeitos nocivos a pele e olhos
Não molha ou deteriora materiais como papeis, documentos e alimentos;	Um sistema robusto pode ter um preço elevado
Processo rápido, sem cheiro e seguro (se utilizar de maneira consciente)	A luz ultravioleta precisa da quantidade certa de energia para ser eficaz.
Pode inativar microrganismos no ar e reduzir doenças respiratória (asma e alergias)	A luz ultravioleta é eficaz para microrganismos, não para produtos químicos.
É capaz de desinfetar a água	Danos fotoquímicos causados por UV podem ser reparados por alguns organismos.
A desinfecção por luz ultravioleta não é tóxica	A intensidade da luz UVC diminui à medida que se afasta da fonte de luz.

Fonte: O Próprio Autor

## 2.8 Equipamentos que utilizam UV

Hoje em dia, a maioria das lâmpadas usadas com o fim de exercer o trabalho germicida são lâmpadas com vapor de mercúrio de baixa pressão. A diferença dessas lâmpadas para as fluorescentes de mercúrio é a ausência do fósforo fluorescente e, além disso, o tubo é feito de quartzo fundido. Tais mudanças permitem que 253,7 nm de radiação ultravioleta passe para fora da lâmpada sem ser modificada (MILLER et al., 2013).





No mercado, pode-se perceber grandes variedades de lâmpada, porém, em sua maioria, de baixo rendimento acompanhadas de reatores convencionais. Apesar de possuir muitas lâmpadas de baixo rendimento, já se nota desenvolvimentos de tecnologias tanto nas lâmpadas quanto nos reatores. Melhorias nos reatores já foram relatados garantindo

maior eficiência energética e capacidade de arranque. Nas lâmpadas, os novos desenvolvimentos de hardwares levaram a criação de tecnologias como a lâmpada amálgama de baixa pressão (FIRSTLIGHT, 2012).

O uso da luz UV-C é geralmente aplicado através de sistemas de desinfecção, podendo ser utilizados no teto de residências para tratar a parte superior do local, usado também em sistemas de ventilação tratando o ar conforme ele passa pelos dutos.

Hoje já se encontram diversas patentes de sistemas de radiação UV, seja para desinfecção, tratamentos médicos, procedimentos de análise química, tratamento de água e até mesmo para o corpo, estimulando a produção de vitamina D. A Tabela 3, mostra equipamentos que estão à venda no mercado e utilizam a luz UV para fins de desinfecção.

Tabela 3 – Equipamentos que utilizam luz UV

Equipamentos	Descrição
	<p>É um purificador de ar para ambientes fechados e de aglomeração. São construídos com aço inoxidável polido, possuem exaustores e lâmpadas UVC que recirculam o ar do ambiente expondo-o ao raio UV.</p>
	<p>Surface UV - É um equipamento destinado a desinfecção de superfícies variadas como pisos, embalagens, vidros e etc. Utiliza lâmpadas geradoras de luz UV-C 254 nm.</p>
	<p>UV Room - Equipamento destinado a ficar suspenso em um ambiente fechado ajudando na eliminação de microrganismos que ficam suspensos no ar. É capaz de reduzir mais de 99,9 da contaminação do ar.</p>
	<p>São lâmpadas germicidas criada pela Philips destinada a desinfecção de água em residências.</p>



Utilizando da poderosa tecnologia UV-C, em forma de torre, o UV150 é uma solução prática e efetiva em esterilização por luz ultravioleta. É ideal para a seu negócio, podendo esterilizar ambientes de até 80m<sup>2</sup>.

---

Fonte: Philips, 2020; Biolambda, 2020, adaptado

## 2.9 Poder das cédulas monetárias em transmitir doenças

Segundo a administração do Banco Central do Brasil, estão em circulação 455,9 bilhões (dados do fim de 2020) de reais no Brasil, propiciando todos os dias uma movimentação gigantesca de cédulas no país. O papel-moeda propicia grande margem para a disseminação microbiana devido à alta frequência de câmbio manual no comércio, serviços de alimentação e entre outros (RODRIGUES, 2020).

Um estudo metagenômico (estudo de material genético recuperado diretamente a partir de amostras) feito por Maritz JM, Sullivan SA, Prill RJ, Aksoy E, Scheid P e Carlton JM, nos Estados Unidos em 2017, coletou cédulas de dinheiro circulantes na cidade de Nova York verificando-se diversos microrganismos no papel-moeda. No estudo, coletaram amostras de 20 cédulas de um dólar em determinados meses (estações do ano) retirando amostras de DNA, depositando-as em tubos e podendo assim elaborar estudos e verificações de espécies. Foram identificadas um total de 397 espécies de bactérias, 385 espécies foram identificadas no teste no inverno, 149 espécies no verão sendo 137 encontrados em ambos (MARITZ et al., 2017).

Verificando este estudo, as cédulas mostram-se com grande potencial de contaminação para os seres humanos. Com isso, a necessidade de uma boa higiene das mãos após a manipulação de dinheiro, principalmente após a realização de compras, antes das refeições e após usar o banheiro.

### 3 METODOLOGIA

O presente trabalho usou como modo de validação da eficácia da luz em cédulas de dinheiro um teste laboratorial utilizando a lâmpada UVC instalada em um ambiente fechado, buscando observar um antes e depois de amostras retiradas das notas exposta pela mesma.

A metodologia foi dividida em duas etapas, a seguir serão descritas cada uma: o projeto e as análises no laboratório.

#### 3.1 Materiais/equipamentos do experimento

Foi elaborado um modelo de caixa de supermercado com a lâmpada UV-C instalada em seu interior. Foi utilizado o programa SolidWorks® para a realização dessa primeira etapa, nele já admitindo materiais como, alumínio em seu interior e polietileno no seu exterior.

Para garantir a eficácia da luz nas cédulas de dinheiro, foi executado um teste em laboratório utilizando a lâmpada (características da lâmpada citada na Tabela 4) e cédulas retiradas de um caixa de supermercado.

Tabela 4 - Características da lâmpada usada no teste

Marca	Philips
Base:	G5
Característica:	UVC
Referência:	TUV 8W FAM/10X25BOX
Diâmetro:	16,0 mm
Comprimento:	288,0 mm
Vida Útil:	11000 h
Tensão nominal	56,0 V
Tensão da lâmpada	56 V
Tensão de construção	56 V
Potência	8 w
Comprimento de onda dominante:	254 nm
Composição	Mercúrio (Hg)

Fonte: Philips, 2021



Os materiais e equipamentos utilizados no processo de experimento laboratorial estão descritos na Tabela 5:

Tabela 5 – Materiais utilizados no experimento

<b>Materiais</b>
Meios de cultura
Purificador de Água
Proveta
Balão volumétrico
Balança de precisão
Bandeja de alumínio
Algodão Hidrofóbico
Fita de autoclavagem
Autoclave
Placas de Petri
Swab
Tubos de ensaio
Estante de tubos de ensaio
Estufa
Cabine de fluxo lâmina e luz UV
Pipeta
Ponteiras

Fonte: O Autor

### 3.2 Desenho do Protótipo de um caixa de supermercado

A demonstração do posicionamento da luz foi elaborada no programa SolidWorks®, software 3D que permite modelagem de objetos. Não foi exibida a fiação da luz e mecanismos, já conhecidos em caixas comuns, apenas o posicionamento da luz e uma reformulação da gaveta onde ficam as cédulas e moedas de dinheiro. O acabamento por fora do caixa foi elaborado com polietileno de alto impacto e o interior do porta moeda feito de alumínio, visando aumento na reflexão da luz dentro do caixa.

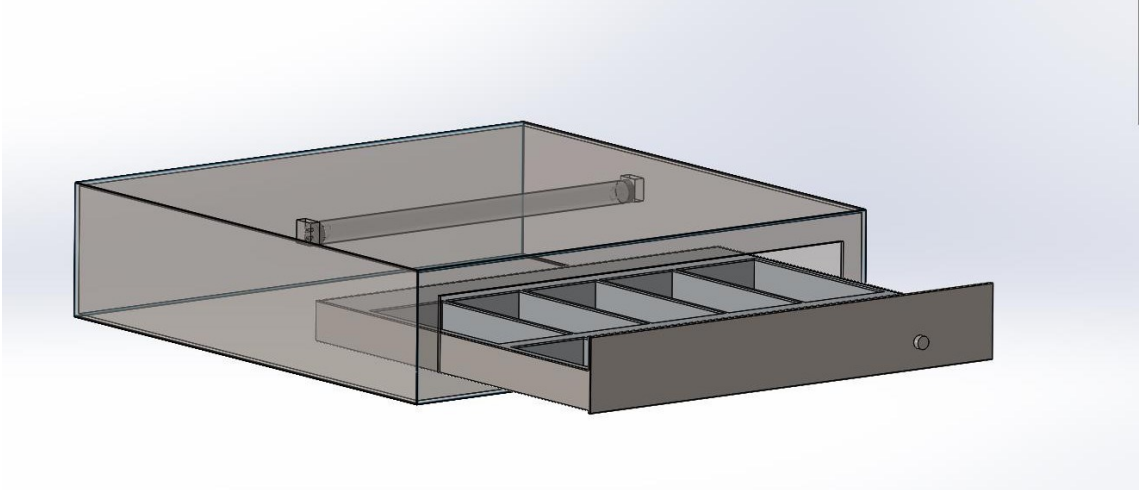


Figura 8 - Gaveta do caixa aberto e luz desligada

Fonte: O autor

O posicionamento da luz mostrado na Figura 8 foi pensado para cortar o meio das cédulas de dinheiro. As dimensões do caixa foram baseadas em caixas comuns, adotando assim 410 mm x 100 mm x 415 mm (largura, altura e profundidade) e sua gaveta de cédulas 368 mm de largura 380 mm de profundidade e altura maior 57 mm e menor 30 mm.

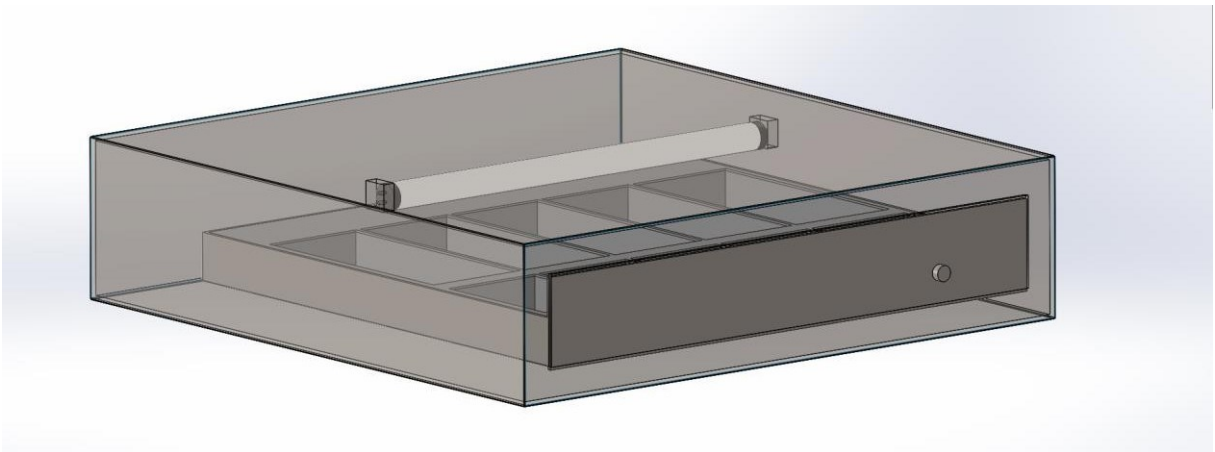


Figura 9 - Gaveta do caixa fechada e luz UVC acesa

Fonte: O autor

Com a gaveta fechada, seu próprio corpo (corpo da gaveta) aciona um botão pulsador, que, ao ficar pressionado, consegue ativar a lâmpada UV (mostrado na Figura 9). O botão também é responsável por manter a segurança do operador de caixa, pois ao requisitar a abertura da gaveta, a luz será automaticamente apagada, garantindo assim nenhuma exposição direta ao ser humano.

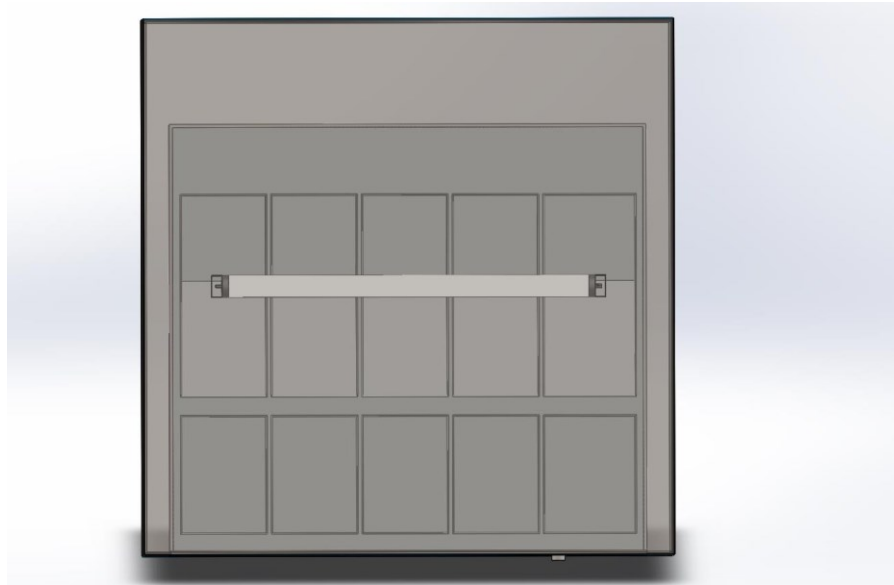


Figura 10 - Vista superior do caixa

Fonte: O autor

As Figuras 10 e 11 apresentam o modelo do caixa pela vista superior e vista explodida. Na superior mostra muito bem a luz acesa dentro do ambiente do caixa.

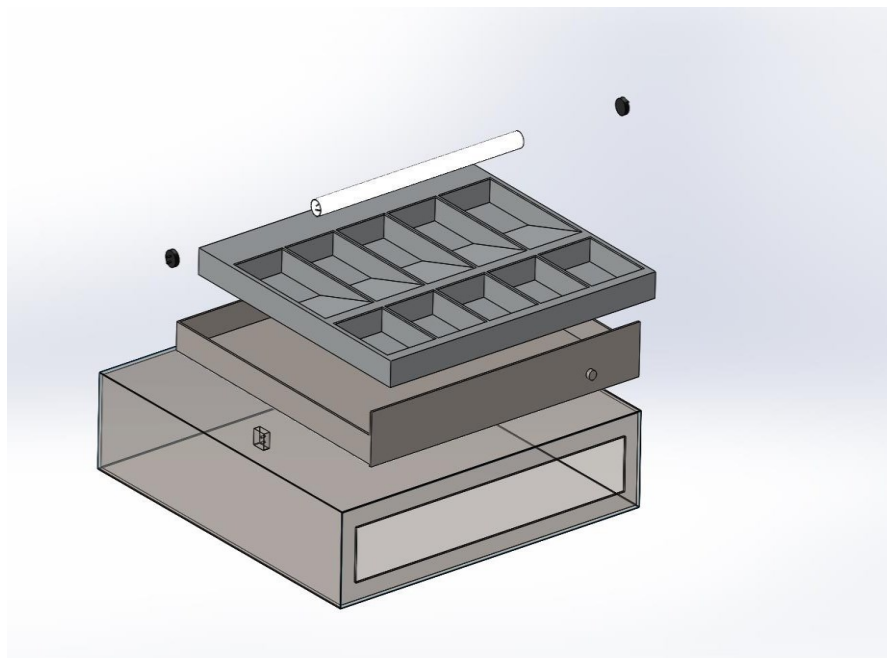


Figura 11 - Vista explodida do caixa

Fonte: O autor

### 3.3 Procedimento experimental

#### 3.3.1 Coleta de dados

As amostras coletadas para análises foram retiradas de um caixa do Mercado S Sul em Goianésia-Goiás.

- A coleta foi feita 25 de maio de 2021
- Um total de 10 amostras, 5 notas de 5 reais e 5 notas de 2 reais

#### 3.3.2 Procedimento laboratorial

Os seguintes procedimentos foram realizados para execução do experimento:

Inicialmente, foi calculada a quantidade de gramas de cultura necessária para o percentual líquido de água destilada utilizado. Para isso, observou-se a dosagem necessária para preparação de cada substância registrada em seu rótulo, assim foi possível realizar a relação com os seguintes meios: Manitol sal, MacConkey, BHI, EMB.

Esses são os meios de cultura e servem basicamente para auxiliar o crescimento e desenvolvimento de microrganismos.

BHI:

$$\frac{100ml}{50ml} = \frac{3,7g}{x} = 1,85g$$

Manitol sal:

$$\frac{33,3g}{x} = \frac{300ml}{100ml} = 11,1g$$

MacConkey:

$$\frac{51,5g}{x} = \frac{1000ml}{100ml} = 5,15g$$

EMB:

$$\frac{37,5g}{x} = \frac{1000ml}{100ml} = 3,75g$$

Encontrado a quantidade de gramas necessária para cada meio (Figura 12 mostra os

meios utilizados), utilizou-se uma proveta para colher água destilada de um purificador e transportando-a para 5 balões de fundo chato (sendo quatro de 300 ml e um de 250 ml), cada balão com uma quantidade específica de água para cada meio de cultura.



Figura 12 - Meio de cultura

Fonte: O autor

Para retirar a quantidade exata de meios de cada embalagem, foi utilizada uma balança de precisão representada na Figura 13. Após a pesagem, os meios foram inseridos dentro de cada balão (Figura 14), tomando o total cuidado para inseri-los no balão com quantidade correta de água para os respectivos meios.



Figura 13 - Balança de precisão pesando o meio

Fonte: O autor



Figura 14 - Balão volumétrico com a mistura água e meio

Fonte: O autor

Após inseri-los e misturar a solução, utilizou-se algodão hidrofóbico para vedar a entrada de ar nos balões, também foram introduzidos a boca de cada balão um papel *kraft* amarrado com fita crepe para proteger o algodão das gotículas de água provenientes da autoclave, e por fim, no topo dos balões foi inserida fita autoclave para sinalizar que os balões foram expostos a temperatura correta. A Figura 15 mostra o final desse procedimento.

No processo de autoclavagem foram inseridos todos os 5 meios devidamente preparados, um conjunto de 15 ponteiras para serem usadas posteriormente, uma pipeta sorológica para uso no meio BHI, um conjunto de 15 tubos médios de ensaio vedados com algodão na boca, e embrulhados em um pacote com papel *kraft*. Os tubos, as ponteiras e a pipeta, foram colocados em um saco de autoclave e passados com fita própria para esterilidade, assim como os meios usaram essa mesma fita. Todo o processo de autoclavagem foi para garantir a esterilidade dos equipamentos e meios.



Figura 15 - Meios preparados com fitas e papel *kraft*

Fonte: O autor

Após a esterilização, os meios Manitol sal, MacConkey e EMB foram inseridos em placas Petri (Figura 16).



Figura 16 - Placas Petri com os meios Manitol sal, MacConkey e BEM

Fonte: O autor

O Meio BHI foi inserido em tubos de ensaio. Após inseri-los, foram molhados 4 swabs em 4 dos tubos de ensaios (um swab em cada tubo) que continham o BHI (Figura 17).



Figura 17 - Tubos de ensaio com BHI e Swabs introduzidos

Fonte: O autor

Dois desses Swabs foram passados na superfície de notas de 5 e 2 reais (um swab em cada nota) e após a passagem (ilustrada na Figura 18), foram reintroduzidos dentro dos tubos que possuíam BHI, tubos estes que foram denominados "A" referindo-se que são amostras de cédulas que não foram expostas a luz UV-C.



Figura 18 - Passagem do Swab na nota de 2 reais

Fonte: O autor



As duas notas após este procedimento foram levadas ao equipamento que simulava o ambiente do caixa de supermercado e foram expostas a luz UVC por 5 minutos. A Figura 19 mostra este ambiente.



Figura 19 - Ambiente com luz UV-C simulando um caixa

Fonte: O autor

Após a exposição, foram passados os últimos swabs molhados com HBI (os dois que ainda não tinham sido utilizados em cédulas) nas duas notas e reintroduzidos nos dois tubos de ensaios que possuíam HBI em seu conteúdo, os tubos foram denominados "B" referente a amostra das notas expostas a luz UV-C.

Após o processo, os 4 tubos foram levados a estufa mantendo-os a 37 C° por 24 horas, podendo assim ser feito as inoculações nas placas de Petri contendo os outros meios.

### 3.3.3 Teste de qualidade

O teste de qualidade para garantir a esterilidade dos meios após todo o processo de esterilização, constituiu-se em levar os meios puros, sem inocular nenhum microrganismo, à estufa por 24 horas para assim provar que não existia microrganismos antes da realização do teste da cédula. O resultado do teste foi negativo para todos os meios, garantindo assim a esterilidade.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Resultado do Experimento laboratorial

As Figuras 20 e 21 mostram os efeitos visuais resultado da inoculação nas placas Petri advindos da coleta nas cédulas de 2 reais e 5, respectivamente, inoculação essa que foi possível a contagem das colônias encontrando os resultados presentes na Tabela 6 e 7.

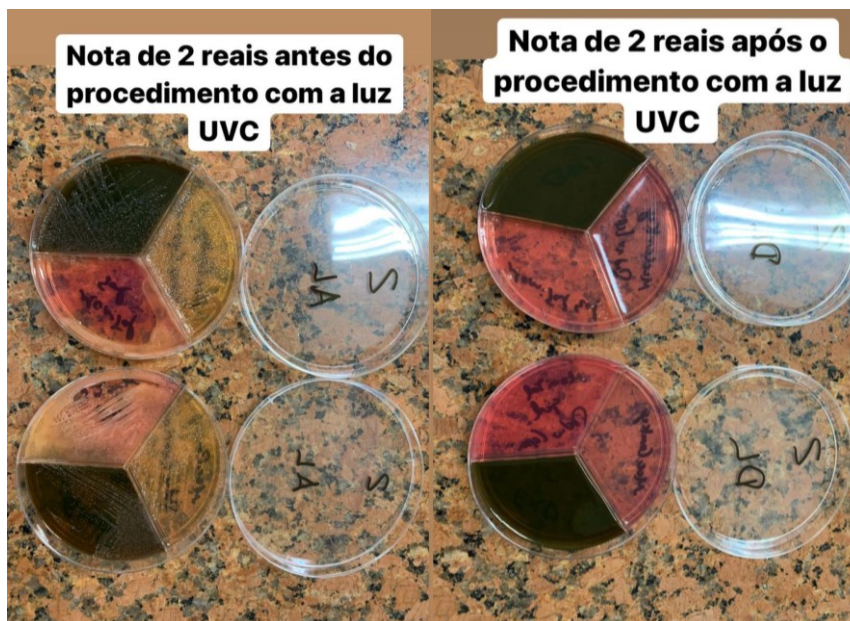


Figura 20 - Antes e depois da exposição da luz em nota de 2 reais

Fonte: O autor

Tabela 6 - Resultados na nota de 2 reais

Meios	Antes da luz UVC	Depois da luz UVC	Indicativo bacteriano
Caldo BHI	turvo	turvo	Todos os tipos de bactérias, leveduras e fungos
Sal Manitol	550 colônias	24 colônias	Indicativo para <i>Staphylococcus aureus</i>
MacConkey	300 colônias	2 colônias	Indicativo para bactérias não fermentadoras de lactose
EMB	450 colônias	1 colônia	Indicativo para bactérias não fermentadoras de lactose

Fonte: O autor

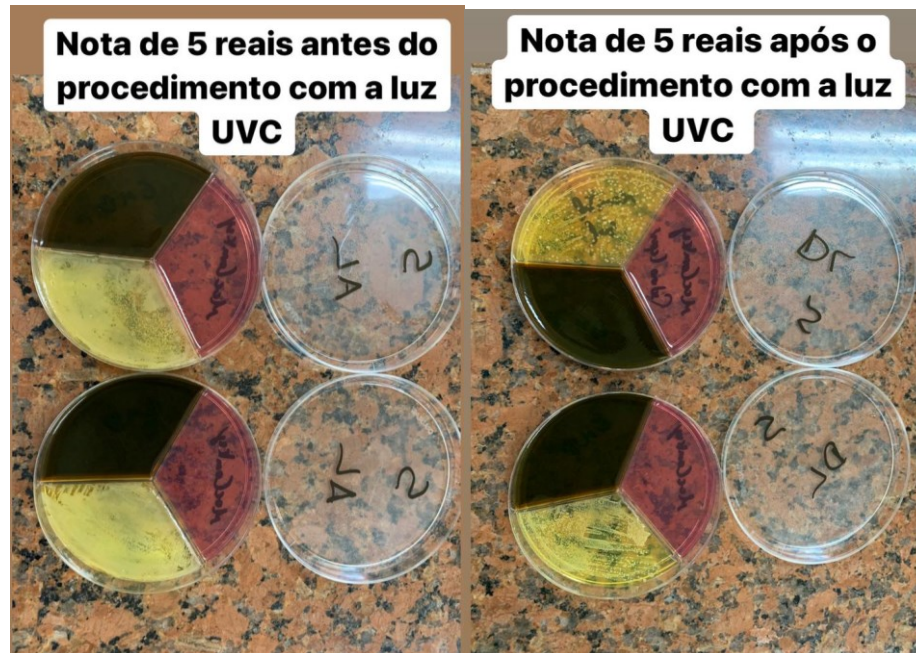


Figura 21 – Antes e depois da exposição da luz em nota de 5 reais

Fonte: O autor

Tabela 7 – Resultados na nota de 5 reais

Meios	Antes da luz UVC	Depois da luz UVC	Indicativo bacteriano
Caldo BHI	turvo	turvo	Todos os tipos de bactérias, leveduras e fungos
Sal Manitol	700 colônias	32 colônias	Indicativo para <i>Staphylococcus aureus</i>
MacConkey	5 colônias	0 colônias	Inidentificável

Fonte: O autor

Nota:

- O *Staphylococcus aureus* indicado no Sal Manitol é uma bactéria responsável por infecções cutâneas, pneumonia e infecções ósseas.
- Alguns tipos de bactérias não fermentadoras de lactose: *Escherichia coli*, *Enterobacter spp*, *Klebsiella spp*, *Proteus ssp*, *Morganella spp*, *Providencia spp*, *Salmonella spp*, *Shigella spp*, *Pseudomonas spp*, Cocos gram.

## 4.2 Análise da intensidade da radiação

Utilizando a equação de Keitz (Equação 8), obteve-se a irradiação  $I_r$  da luz no caixa.

$$I_r = \frac{\Phi}{2\pi a l} = 0,01165 \text{ mw/cm}^2$$

*Equação 13*

Adotou-se:

$\Phi = 21 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$  (retirado na figura 22 TUV lâmpadas da Philips)

$a = 10 \text{ cm}$  (distância da lâmpada a superfície)  $l = 28,8 \text{ cm}$  (comprimento da lâmpada)

A distância  $a$  é a distância da lâmpada até a superfície do caixa. Foi utilizado dados  $\Phi$  da tabela de lâmpadas Philips usada no experimento (TUV 8W TS), dado retirado da Figura 22:

	$\mu\text{W/cm}^2$
TUV 4WT5	9
TUV 6WT5	14.5
TUV 8WT5	21
TUV 10WT5	22.5
TUV 11WT5	21.5
TUV 15WT5	48
TUV 16WT5	33
TUV 25WT8	69
TUV 30WT8	100

Figura 22 – Tabela número  $\Phi$  de lâmpadas Philips

Fonte: Philips, 2004

- Dose  $U_v$  ou Fluência

$$D = I_r \times t = 0,01165 \frac{\text{mw}}{\text{cm}^2} \times 300\text{s} = 3,495\text{m} \frac{\text{wS}}{\text{cm}^2} \text{ ou } \text{mJ/cm}^2$$

*Equação 14*

$t = 300$  (Tempo de exposição em segundos)

### 4.3 Análise dos mecanismos de desinfecção

A medição da dose UV exposta pela luz foi feita através da fórmula de equação de Keitz (Equação 8) corrigida e a fórmula da dose UV ( $D = Ir \times t$ ) e assim podendo ser explicitado o resultado através do gráfico Dose x Tempo.

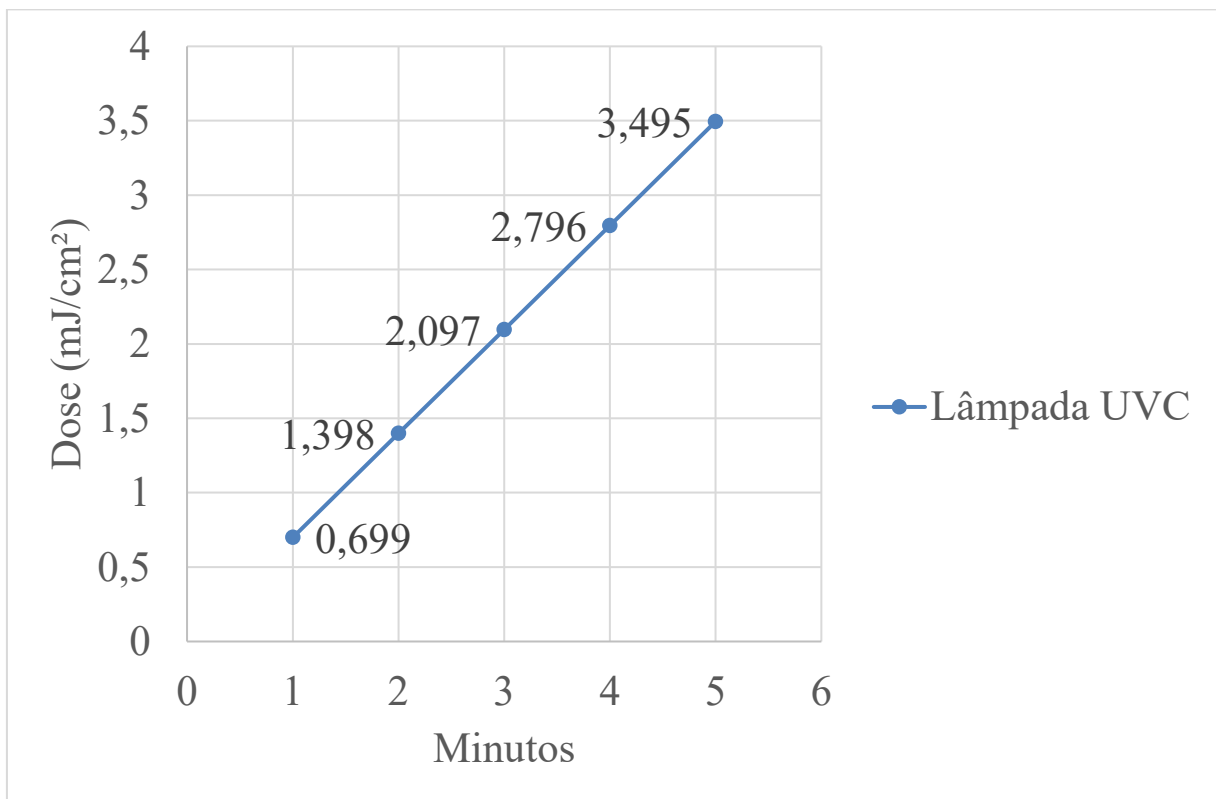


Figura 23 – Gráfico Dose irradiação x Tempo de exposição

Fonte: O autor

A Figura 23 mostra uma reta que descreve a dose de irradiação que a superfície do caixa recebe em relação ao tempo de exposição. Evidenciando que, quanto maior o tempo de caixa fechado com a luz acesa, maior a dose recebida pelo dinheiro.

Para o teste laboratorial, as notas foram expostas por cerca de 5 minutos, apresentando uma dosagem de UV de  $3,495 \text{ mJ/cm}^2$  resultando no gráfico da desinfecção:

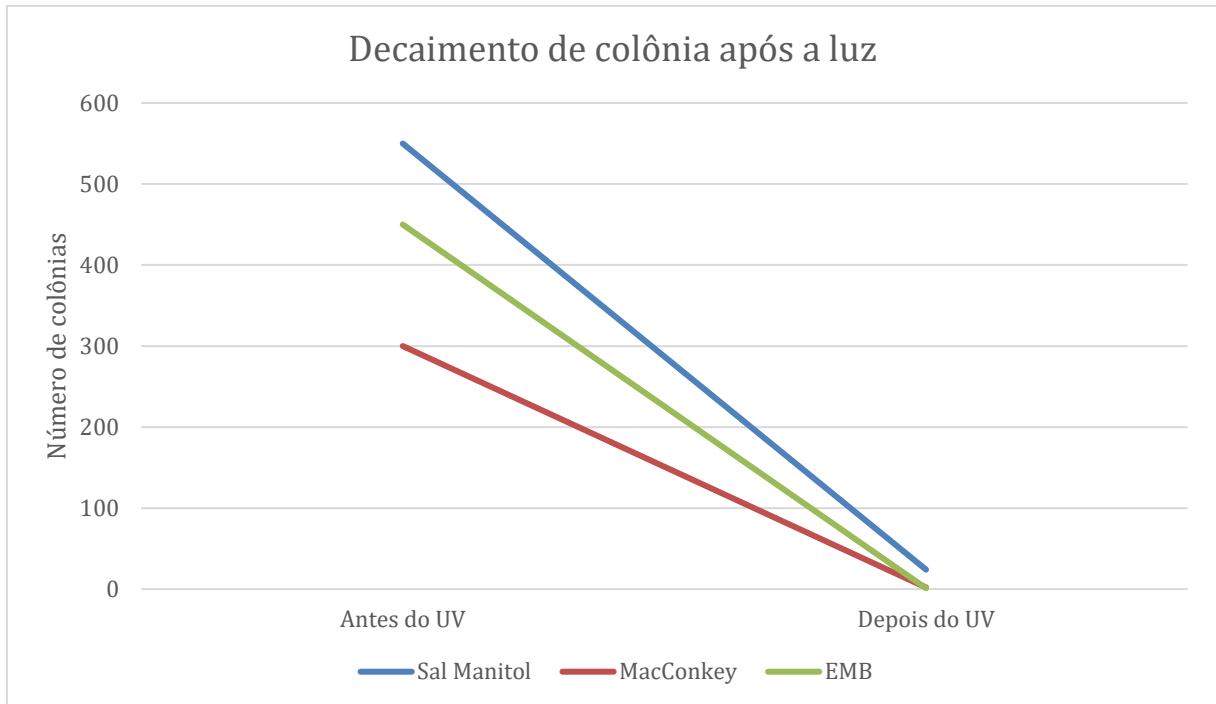


Figura 24 – Percentual de microrganismos (antes e depois da luz) na cédula de 2 reais.

Fonte: O autor

A Figura 24 mostra um gráfico de reta inclinada decrescente representando o número de colônia em cada meio, antes da exposição da luz e depois da exposição de 5 minutos na nota de 2 reais.

Observou-se uma redução de 95,64% de microrganismos no Meio Sal Manitol, Mac Conkey teve redução significativa de 99,33% e BEM 99,78% segundo os testes laboratoriais feitos.

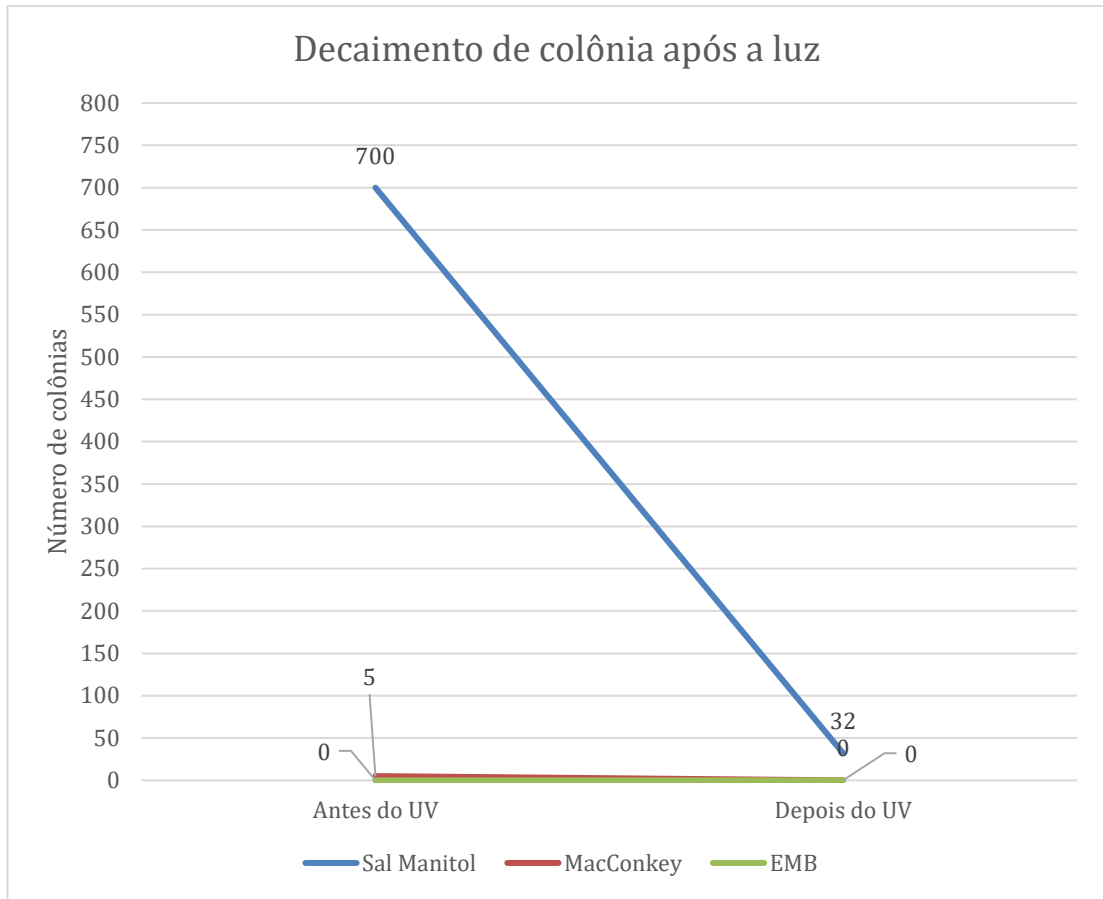


Figura 25 - Percentual de microrganismos (antes e depois da luz) na cédula de 5 reais

Fonte: O Autor

Na nota de 5 reais, o Meio Sal Manitol possuía 700 colônias e teve uma redução de 95,43%, já os meios MacConkey e BEM não possuíam colônias significativas com o teste na cédula de 5 reais.

O meio BHI apresentou resultado “turvo” em ambas notas, significa que há qualquer tipo de bactéria ou fungo no meio e não foi possível quantificá-los.

## 5 CONCLUSÃO

A efetividade da luz UV-C na cédula de dinheiro foi verificada obtendo um resultado favorável em relação a inativação de microrganismos. A exposição de  $3,495 \text{ mJ/cm}^2$  advindas do tempo de 5 minutos apresentou um resultado de mais de 90 % de desinfecção nas cédulas do real, satisfazendo os objetivos iniciais.

Foi satisfeito o objetivo que era proporcionar segurança ao trabalhador do caixa e clientes, pois a luz não entrará em exposição direta aos seres humanos. Isso devido a carcaça que isola a luz do ambiente exterior do caixa e ao acionamento preciso da luz, a qual apenas é ligada com o caixa fechado.

O ensaio laboratorial foi um sucesso, apresentando resultados visuais e também sendo possível a contagem de colônias presentes na cédula.

O custo da lâmpada em si é relativamente baixo, obtendo um ótimo custo-benefício e sendo possível a adaptação em qualquer caixa de mercado.

A ideia, apesar de ser simples, poderá melhorar a saúde de trabalhadores de supermercados, clientes e até mesmo terceiros que irão receber as notas livres de um possível microrganismo maléfico a saúde.

Como sugestões futuras, a construção de um protótipo para a validação em uma operação real no dia-a-dia de um mercado. Também uma pesquisa laboratorial usando mais cédulas como amostras e testes experimentais diferentes aos do presente trabalho, assim possuindo um maior acervo de estudos nesse assunto específico. Verificações do desgaste das cédulas com a exposição, níveis de temperatura derivada da lâmpada e pesquisas em relação da exposição da luz em moedas, também são um dos caminhos futuros que podem ser traçados.

Aliar Engenharia Mecânica à saúde, portanto, é uma das saídas para a contenção da proliferação de doenças contagiosas no dia-a-dia da população. Os dados adquiridos no trabalho mostram que a implementação não só no caixa de supermercado, mas também em caixas eletrônicos, lotéricas e entre outros, pode resultar em grande melhora na segurança sanitária de quem recebe as cédulas de dinheiro e até mesmo terceiros que recebem essas notas do receptor primário.



## REFERÊNCIAS

- AWWA. **Water Quality and Treatment**. The American Water Works Association I, editor. New York: McGraw-Hill, 1971.
- BIOLAMBDA. **Biossegurança através de tecnologia ultravioleta**. São Paulo, SP. 2020. Disponível em: < <https://biolambda.com/> >. Acesso em: 25 de mai. 2021
- BOLTON, James R; COTTON, Christine A. **The Ultraviolet Disinfection Handbook**. 2008. 1 ed. American Water Works Association.
- FAGUNDES. **O espectro eletromagnético**. Efaduntes. 2012. Disponível em: < <https://efagundes.com/networking/transmissao-sem-fio/o-espectro-eletromagnetico-iii/> >. Acesso em: 21 de mai. 2021
- FIRSTLIGHT. **High Output Lamps**. 2012. Disponível em: <<http://firstlightusa.com/amalgamlamp.html>>. Acessado em 15 de maio de 2021
- GONÇALVES, Angélica; DEZOTI, Cassiane. **Coronavírus 2020**. Revista Brasileira Enfermagem. 2020.
- GOUVÊA, Marcos M; SILVA, Adalberto A; PEREIRA, Annibal D; MARQUES, Flávia F; LIMA, Gláycy S. **Aplicação da radiação ultravioleta como forma de contribuição para a química verde e construção de um reator fotoquímico alternativo e de baixo custo, para pré-tratamento de amostras**. 2013. Departamento de Química Analítica, Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, 24020-141 Niterói - RJ, Brasil.
- HEWITT, Paul G. **Fundamentos de física conceitual [recurso eletrônico]**. Tradução Trieste Ricci. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- HOCKBERGER. P. E. **A history of ultraviolet photobiology for humans, animals, and microorganisms**. Photochem Photobiol 76(6):561–579, 2002.
- KEITZ, H.A.E. **Light Calculations and Measurements**. 2nd Ed., Eindhoven, Netherlands: N.V. Philips, 1971.
- KIRCHHOFF, H. J. W. V. **Ozônio e Radiação UV-B**. Transitec Editorial, São José dos Campos/SP. 1995
- KOWALSKI, W. **Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook**. New York: Springer, 2009.
- MARITZ, J.M., *et al.* **Filthy lucre: A metagenomic pilot study of microbes found on circulating currency in New York City**. 2017. PLoS ONE 12(4): e0175527. Disponível em: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175527>>. Acesso em: 15 mai. 2021.
- MARTIN, S. *et al.* **Ultraviolet germicidal irradiation: current best practices**. ASHRAE J August: 28–36, 2008.

MENDES. **Fenômeno óptico relacionado com a propagação da luz.** Educa mais Brasil. 2019. Disponível em: <<https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/reflexao-da-luz>>. Acesso em: 11 mai. 2021.

MILLER, S.L., LINNES, J. and LUONGO, J. **Ultraviolet Germicidal Irradiation: Future Directions for Air Disinfection and Building Applications.** Photochem Photobiol, 89: 777-781, 2013.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de física básica 4: ótica, relatividade, física quântica** [livro eletrônico]. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2014.

OKUNO, Emico; CONSTANTINO, Maria. **Radiação Ultravioleta: Características e Efeitos.** 1ª edição. 2005. Livraria da Física Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=D5s->

oqzInikC&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 15 mai. 2021.

PHILIPS. **Perfection preserved by the purest of light.** 2004. Disponível em: <[www.uvdisinfection.philips.com/gl\\_en/global\\_sites/application/water\\_purification/pdfs/uvp\\_application\\_brochure.pdf](http://www.uvdisinfection.philips.com/gl_en/global_sites/application/water_purification/pdfs/uvp_application_brochure.pdf)>. Acesso em: 15 mai. 2021.

TUV **8W FAM/10X25BOX,** 2021. Disponível em: <[https://www.lighting.philips.com/main/prof/conventional-lamps-and-tubes/special-lamps/purificationwater-and-air/residential-water-and-air/tuv-tlmini/928001104013\\_EU/product](https://www.lighting.philips.com/main/prof/conventional-lamps-and-tubes/special-lamps/purificationwater-and-air/residential-water-and-air/tuv-tlmini/928001104013_EU/product)>. Acesso em: 22 mai. 2021

**UVGI Catalog and Design Guide.** Netherlands: Catalog No. U.D.C. 628.9, 1985.

PROZONESP. **Informações de radiação.** Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/prozonesp/materiais-de-apoio/informacoes-de-radiacao/>>. Acesso em: 15 mai. 2021.

RODRIGUES, Edilma. **Banco Central lança cédula de 200 reais em agosto.** Cantarino Brasileiro. 2020. Disponível em: < <https://cantarinobrasileiro.com.br/blog/nota-de-200-reais-entra-em-circulacao-hoje/> >. Acesso em: 15 mai. 2021.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros - Vol. 2, 6a ed.** Rio de Janeiro: LTC, 2009.