



**Universidade Estadual de Londrina**  
Centro de Tecnologia e Urbanismo  
Departamento de Engenharia Elétrica

---

**João Felipe Pavret Michels**

# **Estudo e Experimentação da Radiação Ultravioleta em Ambientes Hospitalares para fins de Desinfecção**

---

Londrina  
2022

**Universidade Estadual de Londrina**

Centro de Tecnologia e Urbanismo  
Departamento de Engenharia Elétrica

---

**João Felipe Pavret Michels**

**Estudo e Experimentação da Radiação Ultravioleta  
em Ambientes Hospitalares para fins de Desinfecção**

Trabalho de Conclusão de Curso orientado pelo Prof. Me. José Fernando Mangili Jr. intitulado “Estudo e Experimentação da Radiação Ultravioleta em Ambientes Hospitalares para fins de Desinfecção” e apresentado à Universidade Estadual de Londrina, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. José Fernando Mangili Jr.

---

Londrina  
2022

### **Ficha Catalográfica**

João Felipe Pavret Michels

Estudo e Experimentação da Radiação Ultravioleta em Ambientes Hospitalares para fins de Desinfecção - Londrina, 2022 - 41 p., 30 cm.

Orientador: Prof. Me. José Fernando Mangili Jr.

1. Lâmpada UV-C. 2. Desinfecção de ambientes. 3. Ação Germicida. 4. Radiação Ultravioleta.

I. Universidade Estadual de Londrina. Curso de Engenharia Elétrica. II. Estudo e Experimentação da Radiação Ultravioleta em Ambientes Hospitalares para fins de Desinfecção.

João Felipe Pavret Michels

# Estudo e Experimentação da Radiação Ultravioleta em Ambientes Hospitalares para fins de Desinfecção

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

**Comissão Examinadora**

---

Prof. Me. José Fernando Mangili Jr.  
Universidade Estadual de Londrina  
Orientador

---

Prof. Me. Osni Vicente  
Universidade Estadual de Londrina

---

Prof. Dr<sup>a</sup>. Juliani Chico Piai  
Universidade Estadual de Londrina

Londrina, 6 de setembro de 2022

Dedico este trabalho a minha querida Tia Rita de Cássia  
por sempre estar ao meu lado nos momentos mais difíceis  
e me ensinar o verdadeiro espírito de amor fraternal,  
sem você não teria chegado tão longe, AMO VOCÊ!  
E também, todos os meus amigos, que de alguma forma,  
auxiliaram para a concretização desta etapa, em especial  
meu melhor amigo João Fransciso.

# Agradecimentos

Agradeço à Universidade Estadual de Londrina pelo ensino gratuito e de qualidade. Agradeço ao Professor José Fernando Mangili Jr. pela orientação nesse trabalho e por tantos ensinamentos e conselhos durante as nossas reuniões.

*"Oh - You're a very bad man  
Oh, no my dear. I'm a very good man.  
I'm just a very bad Wizard!"*  
(BAUM, L. Frank. - The Wizard of Oz)

João Felipe Pavret Michels. **Estudo e Experimentação da Radiação Ultravioleta em Ambientes Hospitalares para fins de Desinfecção.** 2022. 41 p. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

## Resumo

Esse trabalho apresenta como tema o estudo de um novo método de desinfecção de ambientes hospitalares por ação germicida da radiação ultravioleta. Sua motivação deve-se ao fato que um enfermo é capaz de espalhar secreções no ar que contaminam o ambiente e a limpeza do ambiente só pode ser realizada com a espera da decantação das secreções, tal espera pode demorar horas. Dessa forma, justifica-se a necessidade de um método rápido e eficiente para desinfecção de ambientes contaminados, logo, esse trabalho tem como objetivo propor o estudo da aplicação da radiação uv-c no processo de desinfecção hospitalar. Para isso, foram realizados alguns ensaios para entender o comportamento da onda eletromagnética em uma sala de testes, na qual analisou se existe um alcance máximo e se um objeto é capaz de interferir na propagação da onda eletromagnética. Os testes foram realizados de forma segura com a luz visível pois possui o mesmo comportamento da radiação ultravioleta, visto que ambos pertencem ao espectro eletromagnético. Após essa análise, foi consultada na literatura de um fabricante de lâmpadas de emissão de ultravioleta sua eficiência na eliminação dos germes. Nesse literatura tem-se uma lista de patógenos de interesse e os resultados quando utilizado seus produtos. Portanto, com os esses resultados apresentados na literatura em minutos, pode-se notar o potencial da utilização da radiação uv-c em desinfecção de ambiente hospitalares em comparação ao método convencional que é necessário aguardar horas para então iniciar sua desinfecção.

**Palavras-Chave:** 1. Lâmpada UV-C. 2. Desinfecção de ambientes. 3. Ação Germicida. 4. Radiação Ultravioleta.



João Felipe Pavret Michels. **Study and Experimentation of Ultraviolet Radiation in Hospital Environments for Disinfection Purposes.** 2022. 41 p. Monograph in Electrical Engineering - Londrina State University, Londrina.

## Abstract

This work presents as its theme the study of a new method of disinfection of hospital environments by the germicidal action of ultraviolet radiation. Its motivation is due to the fact that a sick person is capable of spreading secretions in the air that contaminate the environment and cleaning the environment can only be carried out by waiting for the secretions to decant, such a wait can take hours. Thus, the need for a fast and efficient method for disinfecting contaminated environments is justified, so this work aims to propose the study of the application of uv-c radiation in the hospital disinfection process. For this, some tests were carried out to understand the behavior of the electromagnetic wave in a test room, in which it analyzed if there is a maximum range and if an object is capable of interfering with the propagation of the electromagnetic wave. The tests were performed safely with visible light because it has the same behavior as ultraviolet radiation, since both belong to the electromagnetic spectrum. After this analysis, it was consulted in the literature of a manufacturer of ultraviolet emission lamps its efficiency in eliminating germs. In this literature there is a list of pathogens of interest and the results when using their products. Therefore, with these results presented in the literature in minutes, one can see the potential of using uv-c radiation in disinfection of hospital environments compared to the conventional method, which requires waiting hours for disinfection to begin..

**Key-words:** 1. UV-C Lamp. 2. Disinfection of environments. 3. Germicidal Action. 4. Ultraviolet Radiation.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Subdivisões do Espectro Eletromagnético. . . . .	15
Figura 2 – Ilustração do efeito da Radiação uv-c na estrutura do DNA. . . . .	17
Figura 3 – Lâmpada TUV PL-L 18W/4P 1CP/25. . . . .	20
Figura 4 – Lâmpada TUV 36T5 HE 4P SE UNP/32. . . . .	20
Figura 5 – Lâmpada TUV 36T5 H0 4P SE UNP/32. . . . .	21
Figura 6 – Lâmpada TUV 64T5 H0 4P SE UNP/32. . . . .	21
Figura 7 – Diagrama elétrico do protótipo. . . . .	22
Figura 8 – Bateria UP1270 SEG 12V - 7Ah da marca UNIPOWER. . . . .	22
Figura 9 – Inversor de Energia DC 12 para AC110 V com 500w de potência da marca Lucky Amazonia. . . . .	22
Figura 10 – Lâmpada fluorescente GLX020C 10W. . . . .	22
Figura 11 – Ligação elétrica do protótipo. . . . .	23
Figura 12 – Protótipo completo. . . . .	23
Figura 13 – Luxímetro VICTOR 1010A da marca SKILL-TEC. . . . .	24
Figura 14 – Ilustração do teste com uma fonte luminosa livre perpendicular ao lu- xímetro - Vista Frontal. . . . .	25
Figura 15 – Ilustração do teste com uma fonte luminosa livre perpendicular ao lu- xímetro - Vista Superior. . . . .	25
Figura 16 – Ilustração mostra a área de concentração do fluxo luminoso - Vista Superior. . . . .	26
Figura 17 – Ilustração do teste com luxímetro, vista superior. . . . .	27
Figura 18 – Ilustração mostra a área de concentração do fluxo luminoso - Vista Superior . . . . .	28
Figura 19 – Ilustração do teste com luxímetro, vista superior. . . . .	29
Figura 20 – Sala de internação. . . . .	32
Figura 21 – Luminária Germicida ProtectPRO SLIM/UV-C T8 2X15W. . . . .	33
Figura 22 – Cotação TOP Lâmpadas Comercial. . . . .	37
Figura 23 – Kit Lâmpada Germicida 18W. . . . .	38
Figura 24 – Kit Lâmpada Germicida 64W. . . . .	38
Figura 25 – Sugestão de montagem para Lâmpada Germicida 18W - OSRAM. . . . .	39
Figura 26 – Protótipo Básico para a Lâmpada Germicida 18W - OSRAM. . . . .	39
Figura 27 – Sugestão de montagem para Lâmpada Germicida 64W - Philips. . . . .	40

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Dose mínima recomendada para esterilização. . . . .	18
Tabela 2 – Resumo das características das lâmpadas de grande porte. . . . .	21
Tabela 3 – Distância máxima que garante a eficiente eliminação dos germes. . . .	21
Tabela 4 – Resultado do teste com uma fonte luminosa livre perpendicular ao luxímetro. . . . .	26
Tabela 5 – Valor médio e desvio padrão da Tabela (4). . . . .	27
Tabela 6 – Resultado do teste com uma fonte luminosa livre com um ângulo de 45° com o luxímetro. . . . .	28
Tabela 7 – Valor médio e desvio padrão da Tabela (6). . . . .	29
Tabela 8 – Resultado do teste na linha referencial. . . . .	30
Tabela 9 – Resultado do teste com profundidade de 22,5cm. . . . .	30
Tabela 10 – Resultado do teste com profundidade de 45 cm. . . . .	30
Tabela 11 – Resultado do teste com profundidade de 60 cm. . . . .	31
Tabela 12 – Resultado do teste com profundidade de 90 cm. . . . .	31
Tabela 13 – Resultado completo dos testes. . . . .	31
Tabela 14 – Resultado com uma Luminária potência de 15W - 1X15W. . . . .	34
Tabela 15 – Resultado com uma Luminária de potência de 30W - 2X15W. . . . .	34
Tabela 16 – Sugestão de apresentação dos resultados obtidos. . . . .	40

# Lista de Siglas e Abreviaturas

ANVISA	<i>Agência Nacional de Vigilância Sanitária</i>
ANSI	<i>American National Standard Institute</i>
DEEL	<i>Departamento de Engenharia Elétrica</i>
NSF	<i>National Science Foundation</i>
UEL	<i>Universidade Estadual de Londrina</i>
UV-A	<i>Radiação Ultravioleta-A</i>
UV-B	<i>Radiação Ultravioleta-B</i>
UV-C	<i>Radiação Ultravioleta-C</i>

# Sumário

1	INTRODUÇÃO . . . . .	13
1.1	Motivação . . . . .	13
1.2	Justificativa . . . . .	13
1.3	Objetivos . . . . .	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA . . . . .	15
2.1	Radiação Eletromagnética . . . . .	15
2.1.1	Radiação Ultravioleta . . . . .	15
2.2	Desinfecção por Radiação-C . . . . .	16
2.2.1	Efeito Germicida . . . . .	17
3	DESENVOLVIMENTO . . . . .	18
3.1	Dose Mínima de Radiação UV-C . . . . .	18
3.1.1	Escolha das Lâmpadas . . . . .	19
3.1.1.1	Análise de Lâmpadas de Pequeno Porte . . . . .	19
3.1.1.2	Análise de Lâmpadas de Grande Porte . . . . .	20
3.2	Lâmpada Fluorescente . . . . .	21
3.2.1	Análise do Fluxo Luminoso Irradiado . . . . .	24
3.2.2	Fonte Luminosa Livre Perpendicular ao Luxímetro . . . . .	24
3.2.3	Fonte Luminosa Livre com ângulo de 45° ao Luxímetro . . . . .	27
3.2.4	Teste de dispersão da fonte luminosa com objeto . . . . .	29
4	RESULTADOS . . . . .	32
4.1	Análise Funcional do Protótipo . . . . .	32
4.2	Análise de Desinfecção por UV-C . . . . .	33
5	DISCUSSÕES E CONCLUSÕES . . . . .	36
5.1	Trabalhos Futuros . . . . .	37
5.1.1	Lâmpada Germicida 18W - OSRAM . . . . .	38
5.1.2	Lâmpada Germicida 64W - Philips . . . . .	39
5.1.3	Sugestão de Análise com Tuberculose . . . . .	40
	REFERÊNCIAS . . . . .	41

# 1 Introdução

---

Para a introdução desse trabalho deve-se entender a necessidade de reduzir o tempo de espera para se ter uma sala de internação disponível em um hospitais. A situação de escassez de salas de internação se deve ao fato que um doente pode contaminar o ambiente sendo necessária assim sua desinfecção antes do próximo procedimento clínico. Tal contaminação inviabiliza o uso imediato da sala e resulta em uma fila maior de espera.

## 1.1 Motivação

Esse trabalho foi motivado durante o período pandêmico causado pelo vírus *SARS-CoV-2*, responsável pela doença COVID-19. Em seu auge de contaminação, ocorreram internações hospitalares em uma quantidade nunca vista, saturando os sistemas de saúde e evidenciando a necessidade de uma limpeza rápida e eficaz dos leitos e ambientes hospitalares (SILVA, 2021). Neste estado caótico, não apenas as internações por COVID mas outras, dentre as quais por exemplo a tuberculose passaram a preocupar devido sua taxa de transmissão (BRASIL, 2008). Neste sentido, a desinfecção de ambientes contaminados, com o uso de lâmpadas uv-c se mostra como uma possibilidade viável para complementar e acelerar o processo de desinfecção e diminuir o tempo de ocupação de um leito (A ERGAI A, 2022).

## 1.2 Justificativa

Em um ambiente hospitalar, após um procedimento médico é necessário a completa desinfecção do ambiente conforme as orientações da Anvisa<sup>1</sup>(ANVISA, 1999). Baseado na regulamentação , deve-se realizar a limpeza mecânica do ambiente por produtos químicos autorizados, porém em especial nos casos de pacientes com tuberculose, é necessário isolar o ambiente e aguardar a decantação das secreções expelidas pelo enfermo, e essa espera pode ser de horas (BRASIL, 2008).

## 1.3 Objetivos

Esse projeto tem como objetivo sugerir a aplicação da radiação ultravioleta-c para auxiliar a desinfecção de ambientes contaminados por patógenos. Esse método visa complementar a limpeza mecânica por produtos químicos pois utiliza uma lâmpada uv-c capaz

---

<sup>1</sup> Agência Nacional de Vigilância Sanitária

de inibir a reprodução do patógeno. Diferente da técnica convencional, a radiação ultravioleta será capaz de desinfetar o ar sem a necessidade de aguardar a decantação de partículas. Para verificar a viabilidade da aplicação da radiação uv-c na desinfecção de ambientes contaminados, analisou-se a dispersão da radiação luminosa em ambiente arquetipo de hospital para definir o alcance máximo vertical e horizontal do fluxo luminoso e também como um objeto pode interferir na propagação da luz. Por fim, complementa-se o estudo com a análise da desinfecção realizada por uma fabricante de lâmpada emissora de radiação ultravioleta, na qual discute-se o tempo de exposição necessária para desinfetar um ambiente considerando determinado de patógeno.

## 2 Fundamentação Teórica

Para o entendimento sobre o processo de desinfecção por lâmpada uv-c, faz-se necessária a compreensão dos conceitos de radiação eletromagnética e as subdivisões do espectro ultravioleta. Por fim, apresenta-se os conceitos sobre a divisão celular e como a radiação uv-c interfere nesse processo.

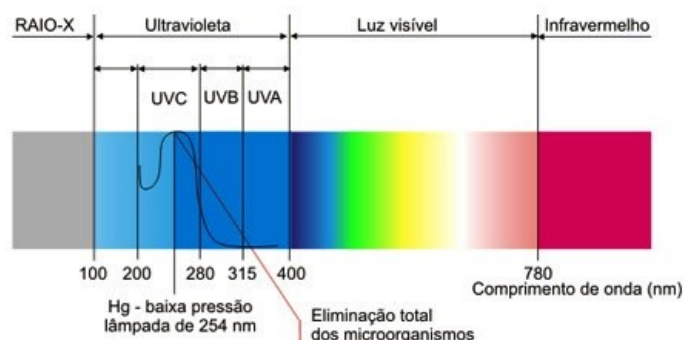
### 2.1 Radiação Eletromagnética

A radiação eletromagnética, ou simplesmente onda eletromagnética, é uma oscilação oriunda da agitação térmica dos átomos que constituem o corpo analisado. Essa característica intrínseca do corpo resulta em um campo elétrico próprio. As ondas eletromagnéticas surgem da movimentação dessas cargas elétricas, em outras palavras, segundo Maxwell, uma partícula que gerar um campo elétrico variante no tempo também gera um campo eletromagnético. Logo, uma onda eletromagnética é capaz de interagir com um corpo e perturbar os átomos que o constituem (NUSSENZVEIG, 2006). A onda eletromagnética é classificada pela sua frequência de vibração, tais quais: a Radiação Infravermelha, Luz Visível e Raios X. Esse trabalho tem como foco as ondas de radiação ultravioleta.

#### 2.1.1 Radiação Ultravioleta

A radiação ultravioleta é uma faixa do espectro eletromagnético compreendida entre 100 nm a 400 nm. Sabemos da interação da radiação com os átomos, logo um organismo exposto a essa radiação poderá ter suas células danificadas (BOCK, 2021). Conforme a Comissão Internacional de Iluminação, o espectro da radiação ultravioleta pode ser subdividido em três faixas. Na Figura 1 temos as ilustrações das subdivisões da radiação ultravioleta dentro do espectro eletromagnético compreendido entre as ondas de raio-x e o infravermelho.

Figura 1 – Subdivisões do Espectro Eletromagnético.



Fonte: <https://foodsafetybrazil.org/desinfeccao-de-embalagem-utilizando-radiacao-ultravioleta>



No sistema solar, o Sol é responsável por emitir todos os comprimentos de onda do espectro eletromagnético, porém apenas uma faixa desse onda chega à superfície terrestre. A radiação ultravioleta é parcialmente absorvida pela camada de ozônio, agindo como filtro da radiação emanada do Sol (SOUZA SONIA R P DE, 2021). Assim, as subdivisões ultravioleta podem ser denotadas por (PP HOCHBERG J, ):

**UV-A:** Radiação Ultravioleta-A, popularmente conhecida com "*Luz negra*", compreendida no intervalo entre 315  $\eta\text{m}$  a 400  $\eta\text{m}$ . Sofre pouca interação com a camada de ozônio. Sua aplicação natural é a sintetização da Vitamina D, porém a exposição contínua causa queimaduras e o envelhecimento celular. A radiação UV-A é comercialmente utilizada em clínicas de bronzeamento artificial.

**UV-B:** Radiação Ultravioleta-B, também conhecida com "*Luz Eritematogênica*", compreende o intervalo de 280  $\eta\text{m}$  a 315  $\eta\text{m}$ . Essa faixa é a região mais energética desse espectro resultando em queimaduras graves e dano permanente a tecidos biológicos. Felizmente, a UV-B é absorvida pela camada de ozônio.

**UV-C:** Radiação Ultravioleta-C, afamada de "*Luz germicida*", localizada entre 100  $\eta\text{m}$  a 280  $\eta\text{m}$  do espectro. Essa radiação não atinge a superfície terrestre pois é completamente absorvida pelo filtro atmosférico. Sua aplicabilidade é na desinfecção de materiais cirúrgicos, embalagens e água potável.

## 2.2 Desinfecção por Radiação-C

Cronologicamente, temos estudos iniciais sobre o efeito germicida em meados de 1878, pelos pesquisadores Arthur Downes e Thomas Blun, quando observaram a inibição do processo de divisão celular de bactérias exposta à luz solar. Porém, apenas no ano de 1955, unidades suíças e austríacas foram construídas para fins germicidas (AGUIAR, 2002). Devido ao seu baixo custo, fácil instalação e ausência de substâncias químicas, fabricantes de lâmpadas, dentre os quais se destacam os tradicionais, como por exemplo Philips, OSRAM, Sylvania e G-Light têm investido em dispositivos emissores de radiação uv-c, principalmente lâmpadas.

Em pesquisa realizada para trazer informações a este trabalho, foram buscadas lâmpadas ultravioleta - c à venda na Internet, em 31 de maio de 2022, em um site de comércio de produtos - Mercado Livre<sup>2</sup>, foi possível encontrar uma infinidade de modelos, marcas, potências e preços. Como essa consulta, pode-se perceber que essa tecnologia não está mais restrita ao campo de pesquisa ou industrial podendo ser acessada facilmente pelo consumidor leigo. Até a presente data desse trabalho, a agência reguladora ANVISA não restringiu a compra de produtos derivados da ação ultravioleta, porém medidas de controle ou orientações de uso podem ser emitidas futuramente.

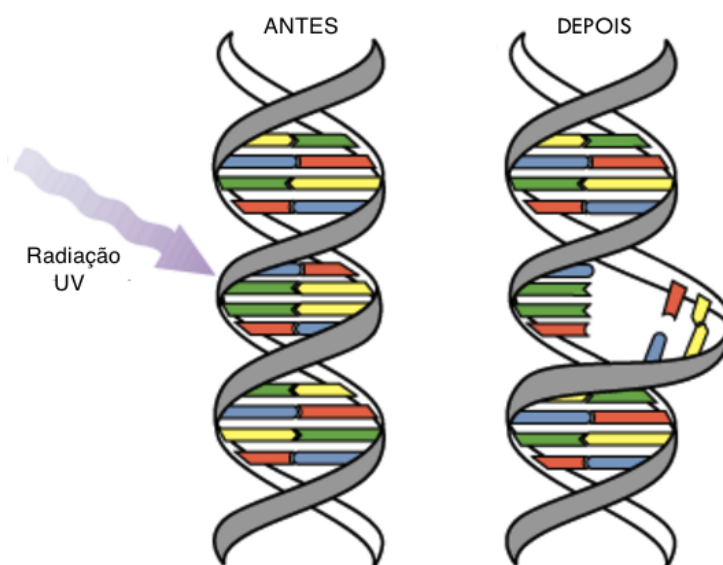
---

<sup>2</sup> <https://www.mercadolivre.com.br/>

### 2.2.1 Efeito Germicida

A ação germicida da luz uv-c se deve ao fato de que esse comprimento de onda, 200  $\eta\text{m}$  a 280  $\eta\text{m}$ , causa excitação física nos elétrons, o que pode resultar na expulsão do mesmo da sua camada de valência. Isto gera um efeito em cascata que pode surtir na quebra das ligações do ácido desoxirribonucleico - DNA - dos organismos vivos. Na Figura 2, temos a ilustração de como a radiação quebra as ligações básicas de nucleotídios que constituem o DNA.

Figura 2 – Ilustração do efeito da Radiação uv-c na estrutura do DNA.



Fonte: <http://www.rafaelgontijo.com.br/radiacao.html>

Com a absorção da radiação uv-c pela molécula de DNA, tem-se a possibilidade de uma mutação prejudicial para célula, isto é, desfavorecendo o organismo. Isto se deve ao fato de que o DNA armazena as informações genéticas básicas. Logo o material genético mutante poderá sintetizar um ácido ribonucleico - RNA - também mutante, comprometendo a produção de enzimas e proteínas. Portanto, em hipótese que o organismo sobreviva à exposição à radiação, ele poderá ser incapaz de se reproduzir ou simplesmente de realizar sínteses essenciais.

## 3 Desenvolvimento

Para o desenvolvimento do protótipo é necessário entender como aplicar a radiação uv-c, levando em consideração alguns parâmetros, como a distância que deve se posicionar a lâmpada da região ser desinfetada e quanto tempo se deve aguardar para o conclusão efetiva do processo.

### 3.1 Dose Mínima de Radiação UV-C

Para definir o sucesso do processo de desinfecção de um ambiente hospitalar devemos garantir que os germes e bactérias presente foram eliminados e/ou tiveram seu processo de divisão celular comprometido (AGUIAR, 2002). Para isso, devemos garantir que o local analisado receba uma quantidade mínima de radiação uv-c que definimos como dose mínima. Essa quantidade será responsável por afetar a estrutura molecular dos organismos ali presentes (AGUIAR, 2002). A Equação 3.1 define a dose mínima requerida:

$$D_m = I_m \cdot t \quad (3.1)$$

Onde  $D_m$  é a dose de radiação ultravioleta em  $W \cdot s/cm^2$ ,  $I_m$  é a intensidade média da radiação em  $W/cm^2$  e  $t$  é o tempo de exposição em segundos ( $s$ ). No protótipo, foi definido que o tempo de exposição será de 30 segundos (SIGNIFY-PHILIPS, 2021), ou seja, a lâmpada deve ficar ligada no ambiente por no mínimo esse tempo e também serão utilizados os valores de dose mínima recomendado pela ANSI<sup>3</sup> conforme a Tabela 1, sendo a classe A - desinfecção de vírus e bactérias, a métrica empregada nas equações.

Tabela 1 – Dose mínima recomendada para esterilização.

Agência	Dose Mínima (mW· s/cm <sup>2</sup> )	Classificação
ANSE/NSF	38	Classe A desinfecção de vírus e bactérias
	16	Classe B desinfecção complementar

Fonte: PARROTTA & BEKDASH, 1998, WRIGHT & CAIRN, 1998

Considerando que a intensidade da onda eletromagnética é

$$I = \frac{Potência}{d^2} \quad (3.2)$$

<sup>3</sup> American National Standards Institute, USA

Onde  $P$  é a potência em (W) e  $d$  é a distância em metros. Assim substituindo 3.2 em 3.1, temos:

$$D_m = P_{uv-c} \cdot t \cdot \frac{1}{d^2} \quad (3.3)$$

Onde  $P_{uv-c}$  é a radiação uv-c da lâmpada analisada em W. Com a equação 3.3 é possível, de forma analítica, verificar quais lâmpadas estão aptas a serem aplicadas no protótipo como um tempo de exposição mínimo de 30 segundos e uma distância mínima de 50 centímetros.

### 3.1.1 Escolha das Lâmpadas

Em uma primeira análise, foram estabelecidas como critério para escolha de uma lâmpada uv-c as seguintes características:

**A) Disponibilidade:** foram selecionadas lâmpadas uv-c que possuem representantes comerciais em território brasileiro.

**B) Direção do foco:** lâmpadas com o foco disperso foram excluídas dessa etapa e selecionados bulbos do formato cilíndrico.

**C) Manutenção:** considerando futuras manutenções no protótipo, foi requerido que a lâmpada tivesse a ligação elétrica em apenas uma das extremidades.

**D) Tensão de alimentação:** como pretensão que o protótipo seja alimentado por uma bateria, optou-se inicialmente por lâmpadas de tensão contínua ( $V_{dc}$ ).

**E) Tamanho:** considerando o traslado do protótipo optou-se por lâmpadas de até 50 cm de altura.

Alicerçados os critérios de seleção, foi realizada a cotação com as principais fabricantes de lâmpadas uv-c: Philips, OSRAM e Sylvania. Após o processo de investigação, tivemos como resultado que apenas as fabricantes Philips e OSRAM possuem disponibilidade de estoque de produtos e que as lâmpadas do tipo uv-c não possuem alimentação por tensão contínua.

#### 3.1.1.1 Análise de Lâmpadas de Pequeno Porte

Conforme os critério definido do item anterior, foi escolhida a Lâmpada TUV PL-L 18W/4P 1CP/25, Figura 3, da fabricante Philips, pois a mesma apresenta uma dimensão inferior a 50 cm e tem sua disponibilidade no mercado nacional. Sendo assim, suas características são: Tensão de alimentação 58  $V_{ac}$ , corrente nominal de 0,375 A, potência média de 18 W e 4.7 W de intensidade média de radiação.

Figura 3 – Lâmpada TUV PL-L 18W/4P 1CP/25.



Fonte: Signify Philips

Aplicando a Equação 3.3 e considerando um tempo de exposição de  $t = 30s$ , temos:

$$38mWs/cm^2 = 4,7W \cdot 30s \cdot \frac{1}{d^2} \quad (3.4)$$

Assim, temos que a distância do fluxo irradiado para garantir a eliminação dos germes é  $d \approx 60,91cm$ . Conforme os cálculos realizados pela Equação 3.4 podemos perceber que utilizar uma lâmpada de pequeno porte resulta em um limitado raio de atuação e também seriam necessárias constantes mudanças no posicionamento do protótipo para enfim concluir a desinfecção do ambiente hospitalar. Portanto, optou por descartar a Lâmpada TUV PL-L 18W/4P 1CP/25 da Figura 3.

### 3.1.1.2 Análise de Lâmpadas de Grande Porte

Conforme os resultados do item anterior, uma vez descartada a lâmpada anterior foi realizada nova busca, porém por lâmpadas de grande porte em função da potência média de radiação, porque resulta em uma maior distância de desinfecção. Para essa nova análise foram selecionadas as lâmpadas das Figuras 4, 5 e 6.

Figura 4 – Lâmpada TUV 36T5 HE 4P SE UNP/32.



Fonte: Signify Philips

Figura 5 – Lâmpada TUV 36T5 H0 4P SE UNP/32.



Fonte: Signify Philips

Figura 6 – Lâmpada TUV 64T5 H0 4P SE UNP/32.



Fonte: Signify Philips

Na Tabela 2, apresenta-se as características dessas lâmpadas:

Tabela 2 – Resumo das características das lâmpadas de grande porte.

Lâmpada	Tensão	Corrente	Altura	Potência	Irradiação
TUV 36T5 HE	97 V	0,425 A	84,54 cm	40 W	14 W
TUV 36T5 HO	97 V	0,800 A	84,54 cm	75 W	23 W
TUV 64T5 HO	175 V	0,800 A	156,45 cm	140 W	45 W

Fonte: Signify Philips

Realizando os cálculos da Equação 3.3 e considerando um tempo de exposição de  $t = 30s$ , temos o resultado para as três lâmpadas analisadas:

Tabela 3 – Distância máxima que garante a eficiente eliminação dos germes.

Lâmpada	Distância
TUV 36T5 HE	105,13 cm
TUV 36T5 HO	134,75 cm
TUV 64T5 HO	188,48 cm

Portanto, com os resultados da Tabela 2 foram realizados os testes com a lâmpada uv-c em um ambiente controlado.

## 3.2 Lâmpada Fluorescente

Com o objetivo de analisar a dispersão do fluxo luminoso de uma lâmpada uv-c, foram feitos estudos com uma lâmpada fluorescente, pois sua radiação luminosa é análoga a ultravioleta, isto é, um fenômeno eletromagnético tem o mesmo comportamento de uma lâmpada uv-v porém seguro para o manuseio (NUSSENZVEIG, 2006). Assim foi construído o seguinte protótipo:

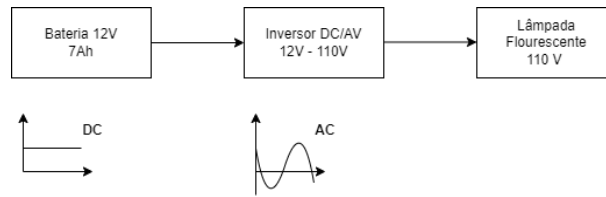


Figura 7 – Diagrama elétrico do protótipo.

Na construção do protótipo, utilizou-se a Bateria 12V da Figura 8, com o intuito de que o protótipo seja móvel e de fácil translado. Porém, a lâmpada da Figura 10 é alimentada com tensão alternada de 110V/AC para isso foi necessária a conversão DC/AD pelo inversor de frequência da Figura 9.



Figura 8 – Bateria UP1270 SEG 12V - 7Ah da marca UNIPOWER.



Figura 9 – Inversor de Energia DC 12 para AC110 V com 500w de potência da marca Lucky Amazonia.



Figura 10 – Lâmpada fluorescente GLX020C 10W.

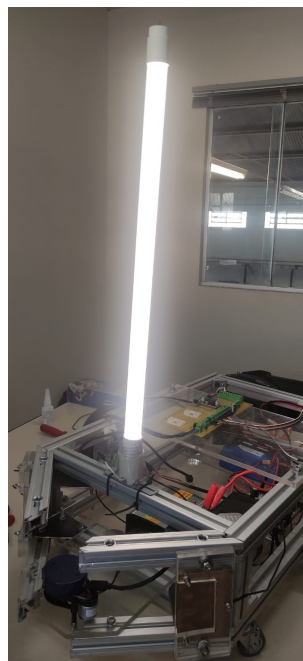
Na Figura 11 temos o circuito elétrico montado dentro do suporte.



Figura 11 – Ligação elétrica do protótipo.

Por fim, a Figura 12 tem-se o protótipo completo pronto para realização dos testes. Esse protótipo, oferecido pela empresa privada Dínamo Automação Industrial Ltda., é tracionado por motores elétricos e desejava-se a sua circulação pelas salas de internação. Em sua parceria de pesquisa com a Universidade Estadual de Londrina, objetiva-se que o protótipo final seria equipado com lâmpadas uv-c e durante seu trajeto pelos locais contaminados a ação germicida das lâmpadas iria desinfetar o ambiente. Em seu projeto final incluía também um sistema de sinalização visual e sonoro que evitaria o funcionamento das lâmpadas quando detectado a presença humana durante o processo de desinfecção.

Figura 12 – Protótipo completo.



Fonte: Dínamo Automação Industrial Ltda.



### 3.2.1 Análise do Fluxo Luminoso Irrradiado

Para a análise do fluxo luminoso, foi escolhida uma sala com paredes lisas na cor branca. Os testes foram efetuados com o operador portando vestes escuras a fim de não interferir nos resultados obtidos. Para coleta da intensidade luminosa por unidade de área (lux), utilizou-se o luxímetro da Figura 13.

Figura 13 – Luxímetro VICTOR 1010A da marca SKILL-TEC.



Fonte: Departamento de Engenharia Elétrica - UEL.

Por padrão é feita a coleta de quatro medições, nomeadas respectivamente por  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  e  $a_4$ . Após, a conclusão dos testes foram realizadas as médias dos resultados, o desvio padrão e por fim o resultado calculado final.

Sendo o valor médio  $a_{med}$  das medições igual a:

$$a_{med} = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4}{4} \quad (3.5)$$

O desvio padrão  $\partial$  é dado por:

$$\partial = \sqrt{(a_{med} - a_1)^2 + (a_{med} - a_2)^2 + (a_{med} - a_3)^2 + (a_{med} - a_4)^2} \quad (3.6)$$

Por fim, o resultado é dado pela soma das Equações 3.5 e 3.6 ao término de cada experimento tem-se o valor médio com desvio padrão, isso representa o valor mais próximo da realidade.

### 3.2.2 Fonte Luminosa Livre Perpendicular ao Luxímetro

Esse experimento teve como objetivo entender o alcance máximo vertical do fluxo luminoso, ou seja, a altura máxima que é atingida uma quantidade determinada de lux. Como métrica de desempenho, foi definido que a altura efetiva é alcançada quando se obtém a metade do lux máximo medido.

Na Figura 14, é possível entender como foi posicionado o luxímetro quando coletadas as medições. Esses pontos de medições visam entender a influência do corpo da lâmpada e como se propaga o fluxo luminoso, ou seja, a partir do eixo "*altura da lâmpada*", como é o decaimento gradativo da quantidade de lux medido.

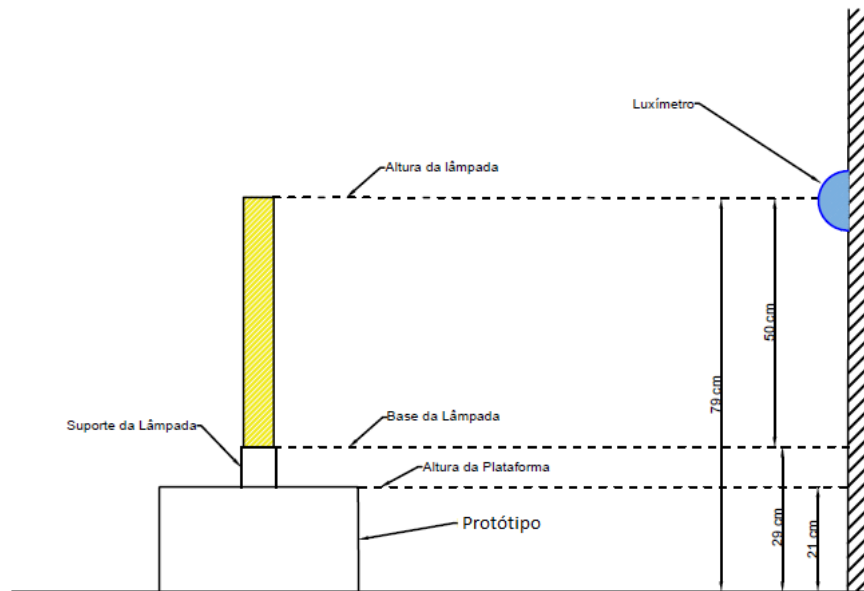


Figura 14 – Ilustração do teste com uma fonte luminosa livre perpendicular ao luxímetro - Vista Frontal.

Para melhor entendimento do teste, a Figura 15 mostra o posicionado do luxímetro em relação ao ponto de luz, ou seja, a uma distância de 100 cm.

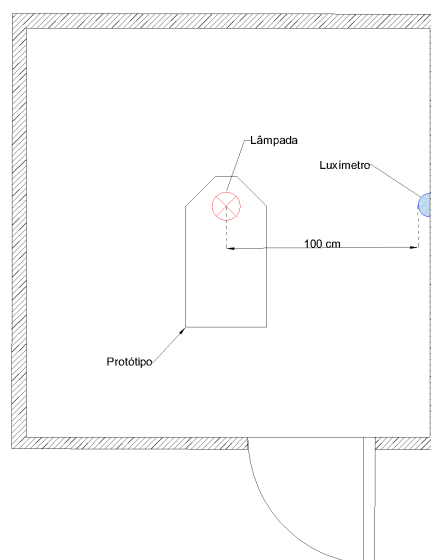


Figura 15 – Ilustração do teste com uma fonte luminosa livre perpendicular ao luxímetro - Vista Superior.

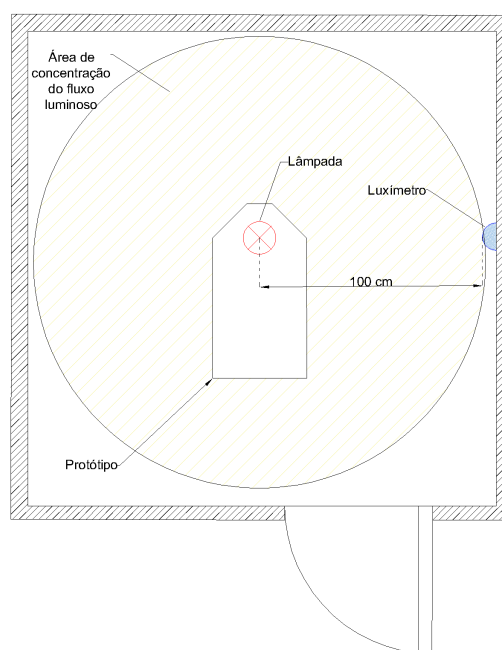


Figura 16 – Ilustração mostra a área de concentração do fluxo luminoso - Vista Superior.

Na Tabela 4 mostra-se o resultado das medições conforme a ilustração das Figuras 14 e 15.

Tabela 4 – Resultado do teste com uma fonte luminosa livre perpendicular ao luxímetro.

Altura	Medições (Lux)			
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>
<b>Referência</b>	24,60	24,60	24,40	24,20
<b>10 cm</b>	25,10	25,60	25,20	25,20
<b>21 cm</b>	29,30	29,30	28,30	29,00
<b>29 cm</b>	30,80	30,30	31,30	31,30
<b>40 cm</b>	31,20	31,60	31,60	32,30
<b>50cm</b>	32,20	32,80	32,30	32,80
<b>60 cm</b>	32,30	32,50	31,90	31,60
<b>70 cm</b>	30,70	31,10	31,00	29,90
<b>79 cm</b>	28,90	28,90	29,30	29,40
<b>90 cm</b>	26,10	26,30	25,30	26,30
<b>100 cm</b>	23,10	23,20	22,60	22,20
<b>110 cm</b>	20,20	19,80	21,10	19,60
<b>120 cm</b>	17,60	18,10	17,50	17,40
<b>130 cm</b>	15,20	14,90	15,30	15,60
<b>140 cm</b>	13,90	12,80	13,10	14,10
<b>150 cm</b>	11,90	11,20	11,20	11,70

Com os resultado da Tabela 4 aplica-se a média, Equação 3.5, e desvio padrão, Equação 3.6, e obtém assim o resultado calculado final conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Valor médio e desvio padrão da Tabela (4).

Altura	Valor Calculado (Lux)
Referência	$24,45 \pm 0,130$
10 cm	$25,28 \pm 0,192$
21 cm	$28,98 \pm 0,409$
29 cm	$30,93 \pm 0,415$
40 cm	$31,68 \pm 0,369$
50 cm	$32,53 \pm 0,277$
60 cm	$30,68 \pm 0,349$
70 cm	$30,68 \pm 0,471$
79 cm	$29,13 \pm 0,228$
90 cm	$26,00 \pm 0,412$
100 cm	$22,78 \pm 0,402$
110 cm	$20,18 \pm 0,576$
120 cm	$17,65 \pm 0,269$
130 cm	$15,25 \pm 0,250$
140 cm	$13,48 \pm 0,540$
150 cm	$11,50 \pm 0,308$

Com base nos valores da Tabela 5, nota-se que há uma maior concentração de fluxo luminoso por área, dado em lux, na faixa entre 29 à 70 cm, em outras palavras, isso se refere ao próprio corpo da lâmpada. E também, observa-se um pico de lux na altura de 50 cm que corresponde ao meio do corpo da lâmpada.

### 3.2.3 Fonte Luminosa Livre com ângulo de $45^\circ$ ao Luxímetro

Esse experimento teve como objetivo entender o alcance máximo horizontal do fluxo luminoso, ou seja, como a potência luminosa se dispersa horizontalmente dentro da sala de teste. Como métrica de desempenho também foi definido que o alcance máximo efetivo é quando se obtém a metade do lux máximo medido. Os pontos de medições estão apresentando conforme a Figura 14, com a diferença que há um posicionamento do luxímetro de um ângulo de  $45^\circ$  com a fonte luminosa,  $\alpha = 45^\circ$  como ilustrado na Figura 17.

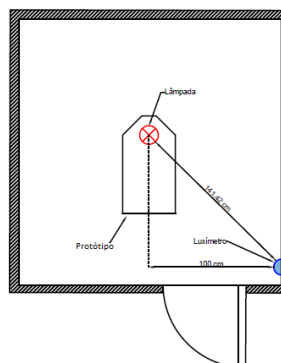


Figura 17 – Ilustração do teste com luxímetro, vista superior.

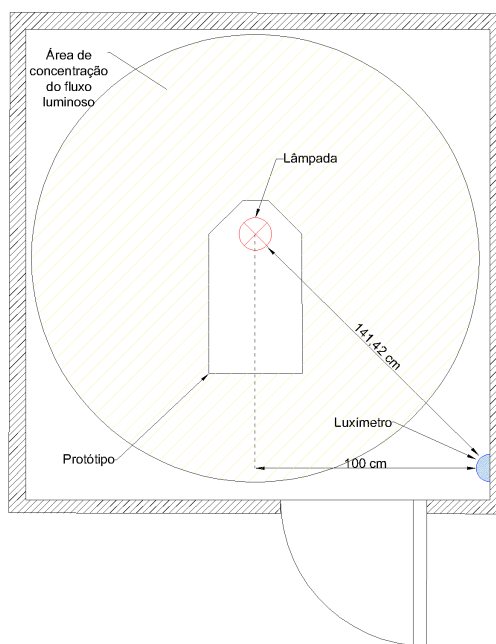


Figura 18 – Ilustração mostra a área de concentração do fluxo luminoso - Vista Superior

Na Tabela 6 temos o resultado das medições conforme a ilustração das Figuras 14 e 17.

Tabela 6 – Resultado do teste com uma fonte luminosa livre com um ângulo de 45° com o luxímetro.

Altura	Medições (Lux)			
	1ª	2ª	3ª	4ª
<b>Referência</b>	18,40	18,10	18,10	18,30
<b>10 cm</b>	25,90	25,80	25,20	25,60
<b>21 cm</b>	25,80	25,90	26,00	25,90
<b>29 cm</b>	25,30	25,40	25,60	25,60
<b>40 cm</b>	25,80	25,90	26,30	26,10
<b>50 cm</b>	26,40	26,00	26,30	26,2
<b>60 cm</b>	25,80	25,90	26,00	25,90
<b>70 cm</b>	25,70	26,00	25,80	25,90
<b>79 cm</b>	25,60	26,00	25,40	25,80
<b>90 cm</b>	22,60	22,90	22,50	22,70
<b>100 cm</b>	22,60	22,70	22,10	22,50
<b>110 cm</b>	19,80	19,70	19,80	19,90
<b>120 cm</b>	19,10	19,20	18,90	19,10
<b>130 cm</b>	17,30	17,30	17,60	17,50
<b>140 cm</b>	15,80	15,30	15,90	15,80
<b>150 cm</b>	13,90	13,70	13,70	13,80

Com os resultado da Tabela 6 aplica-se a média, Equação 3.5 e desvio padrão, Equação 3.6, e obtém assim o resultado calculado final conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Valor médio e desvio padrão da Tabela (6).

Altura	Valor Calculado (Lux)
Referência	$18,23 \pm 0,130$
10 cm	$25,63 \pm 0,268$
21 cm	$25,92 \pm 0,071$
29 cm	$25,48 \pm 0,130$
40 cm	$26,03 \pm 0,192$
50 cm	$26,23 \pm 0,148$
60 cm	$25,90 \pm 0,071$
70 cm	$25,85 \pm 0,112$
79 cm	$26,07 \pm 0,224$
90 cm	$22,68 \pm 0,148$
100 cm	$22,48 \pm 0,228$
110 cm	$19,80 \pm 0,071$
120 cm	$19,08 \pm 0,109$
130 cm	$17,43 \pm 0,130$
140 cm	$15,70 \pm 0,235$
150 cm	$13,78 \pm 0,083$

Com base nos valores da Tabela 7, nota-se que há uma diferença de valores absolutos se comparado ao resultado da Tabela 5, porém esses resultados apresentam o mesmo comportamento, quer dizer que possuem um maior concentração na faixa do corpo da lâmpada e um valor de pico próximo ao meio do corpo da lâmpada.

### 3.2.4 Teste de dispersão da fonte luminosa com objeto

Nesse experimento foi posicionada uma mesa que tem como objetivo simular uma bancada de trabalho de uma clínica médica. Na Figura 19, os círculos em vermelho são os locais de medições onde foi posicionado o luxímetro. Esses pontos foram escolhidos para analisar a dispersão de potência luminosa quando obstruída por um objeto, ou seja, como o sombreamento pode afetar a quantidade de lux medida pelo luxímetro.

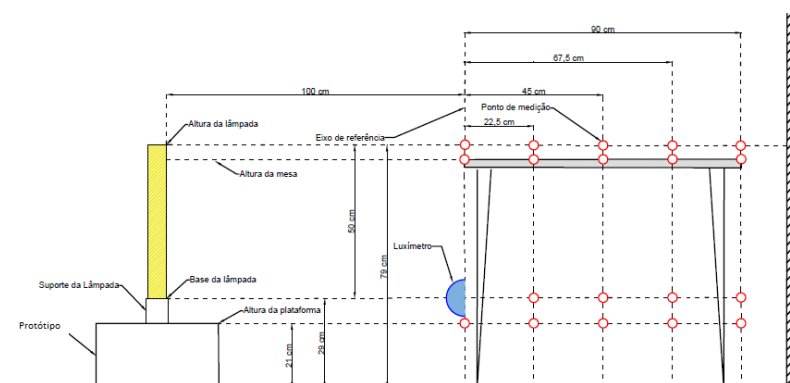


Figura 19 – Ilustração do teste com luxímetro, vista superior.

Na Tabela 8, temos os resultados do teste considerando o luxímetro posicionado na linha referencial, isto é, não há obstruções entre o medidor e a fonte luminosa.

Tabela 8 – Resultado do teste na linha referencial.

<b>Distância</b>	<b>Medições (Lux)</b>			
	<b>1<sup>a</sup></b>	<b>2<sup>a</sup></b>	<b>3<sup>a</sup></b>	<b>4<sup>a</sup></b>
<b>29 cm</b>	65,10	65,40	64,90	64,40
<b>54 cm</b>	74,40	73,20	71,70	72,50
<b>75 cm</b>	61,80	61,30	61,10	61,80
<b>79 cm</b>	59,30	60,30	59,10	60,20

Na Tabela 9, temos os resultados do teste considerando um avanço do luxímetro em direção à parede lisa branca, isto é, cria-se assim uma profundidade de 22,5 cm em relação a linha referencial.

Tabela 9 – Resultado do teste com profundidade de 22,5cm.

<b>Distância</b>	<b>Medições (Lux)</b>			
	<b>1<sup>a</sup></b>	<b>2<sup>a</sup></b>	<b>3<sup>a</sup></b>	<b>4<sup>a</sup></b>
<b>29 cm</b>	47,40	47,10	47,30	46,60
<b>54 cm</b>	48,30	47,90	49,00	48,20
<b>75 cm</b>	16,10	16,30	16,50	15,70
<b>79 cm</b>	25,60	26,30	27,00	26,70

Na Tabela 10, temos os resultado do teste considerando um avanço do luxímetro em direção à parede lisa branca, isto é, cria-se assim uma profundidade de 45 cm em relação a linha referencial.

Tabela 10 – Resultado do teste com profundidade de 45 cm.

<b>Distância</b>	<b>Medições (Lux)</b>			
	<b>1<sup>a</sup></b>	<b>2<sup>a</sup></b>	<b>3<sup>a</sup></b>	<b>4<sup>a</sup></b>
<b>29 cm</b>	33,60	32,90	33,90	34,20
<b>54 cm</b>	35,50	35,80	36,60	36,40
<b>75 cm</b>	9,00	8,80	8,90	8,50
<b>79 cm</b>	12,10	12,70	12,60	12,70

Na Tabela 11, temos os resultado do teste considerando um avanço do luxímetro em direção à parede lisa branca, isto é, cria-se assim uma profundidade de 60 cm em relação a linha referencial.

Tabela 11 – Resultado do teste com profundidade de 60 cm.

Distância	Medições (Lux)			
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>
<b>29 cm</b>	22,80	22,80	23,70	23,10
<b>54 cm</b>	29,20	28,90	29,70	29,10
<b>75 cm</b>	6,30	6,50	6,90	6,70
<b>79 cm</b>	7,50	7,70	8,40	8,50

Na Tabela 12, temos os resultado do teste considerando um avanço do luxímetro em direção à parede lisa branca, isto é, cria-se assim uma profundidade de 90 cm em relação a linha referencial.

Tabela 12 – Resultado do teste com profundidade de 90 cm.

Distância	Medições (Lux)			
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>
<b>29 cm</b>	22,30	21,70	22,30	22,10
<b>54 cm</b>	23,90	23,50	24,20	23,80
<b>75 cm</b>	5,40	5,90	5,80	5,60
<b>79 cm</b>	6,20	6,90	6,00	6,40

Na Tabela 13, temos os resultados dos teste considerando as variações de profundidade. Após a coleta dos dados foi aplicado o valor médio e desvio padrão, conforme as Equações 3.5 e 3.6, respectivamente.

Tabela 13 – Resultado completo dos testes.

Distância	Referência	Profundidade			
		22,5 cm	45 cm	67,5 cm	90 cm
<b>29 cm</b>	$64,95 \pm 0,364$	$47,1 \pm 0,308$	$33,65 \pm 0,482$	$23,10 \pm 0,367$	$23,10 \pm 0,367$
<b>54 cm</b>	$72,95 \pm 0,991$	$47,9 \pm 0,403$	$36,08 \pm 0,444$	$29,23 \pm 0,295$	$29,23 \pm 0,295$
<b>75 cm</b>	$61,50 \pm 0,308$	$16,3 \pm 0,296$	$8,80 \pm 0,187$	$6,60 \pm 0,224$	$6,60 \pm 0,224$
<b>79 cm</b>	$59,73 \pm 0,531$	$26,3 \pm 0,524$	$12,53 \pm 0,249$	$8,03 \pm 0,432$	$8,03 \pm 0,432$

Conforme esperado, na linha referencial foram anotados os maiores valores de fluxo luminoso por área, dado em lux, e à medida que avança em direção a parede, aumento da profundidade, temos uma diminuição gradual dos valores medidos. Portanto, no processo de esterilização por radiação uv-c deve ser considerada a retirada de objetos que possam obstruir a fonte luminosa, pois assim evita-se desperdício de potência luminosa que deveria ser direcionada à região a ser desinfetada, podendo talvez invalidar esse método.



## 4 Resultados

---

Nessa etapa, apresenta-se a análise de resultados dos testes realizados em ambiente a ser pesquisado junto ao Hospital Universitário Regional do Norte do Paraná. Em primeiro, tem-se os resultados obtidos em um ambiente arquétipo de uma sala hospitalar com lâmpada fluorescente. Por fim, tem-se o tempo mínimo necessário para eficiência da desinfecção segundo a fabricante de lâmpadas germicida G-Light.

### 4.1 Análise Funcional do Protótipo

Conforme visita técnica realizado ao Hospital Universitário - UEL, foi apresentado o escopo do projeto para desinfecção de superfícies com o protótipo montado com lâmpadas fluorescentes conforme Figura 12. Nessa ocasião, realizou-se a inspeção de uma sala de internação e os possíveis desafios para desinfecção lá.

Figura 20 – Sala de internação.



Fonte: Hospital Universitário Regional do Norte do Paraná.

Conforme observado na figura 20, pode-se notar que o suporte inicial da Figura 12 possui grande dimensão e dessa forma tornar-se um obstáculo para a equipe de limpeza do hospital, em outros termos, a relocação do protótipo para início de uma nova desinfecção em leito requer esforço adicional. Além disso, tem-se também a complexidade construtiva que resulta em um investimento inicial elevado. Logo esse modelo de protótipo foi descartado e não participa dos testes com as lâmpadas uv-c.

## 4.2 Análise de Desinfecção por UV-C

Conforme os resultados apresentados nas Tabelas 14 e 15, a fabricante G-Light realizou um ensaio<sup>5</sup> para comprovar a eficiência de seu produto. Na Figura 21 temos a luminária que foi empregados nos testes, na qual podemos notar a presença de duas lâmpadas germicida de 15W. Em sua proposta, listou-se a seguinte variedade de patógenos:

- 1) **SARS-Cov-2:** esse vírus é responsável pela doença infecciosa COVID-19.
- 2) **EBOV:** *Zaire ebolavirus* é um vírus que causa falência de órgãos e podem facilmente levar à morte.
- 3) **SARS:** Síndrome Respiratória Aguda Grave é causada por um vírus da família coronavírus.
- 4) **Tétano:** é uma infecção bacteriana causada pela *Clostridium tetani*.
- 5) **Tuberculose:** é uma infecção bacteriana e altamente transmissível causada pelo *Mycobacterium tuberculosis*
- 6) **Antraz:** é uma infecção bacteriana grave causada pela *Bacillus anthracis*.
- 7) ***Escherichia coli*:** é uma bactéria presente no intestino humano, porém em alguns casos de contaminação pode ser nocivos para a pessoa.
- 8) **Vírus da Influenza:** infecção viral comum causada pelo *Myxovirus influenzae*.
- 9) **Poliomielite:** é uma doença rara e contagiosa causada pelo vírus da família poliovírus.
- 10) ***Staphylococcus aureus*:** é uma bactéria que causa infecções
- 11) **Cólera:** é uma infecção bacteriana grave causada pela bactéria do grupo *Vibrio cholerae*.

Figura 21 – Luminária Germicida ProtectPRO SLIM/UV-C T8 2X15W.



Fonte: G-light.

Na Tabela 14, tem-se o tempo mínimo necessário para desinfecção quando utilizada apenas uma lâmpada de 15W na Luminária conforme a Figura 21.

<sup>5</sup> <https://www.glight.com.br/blog/lancamento-g-light-protectpro-uv-c/>

Tabela 14 – Resultado com uma Luminária potência de 15W - 1X15W.

Distância da Lâmpada		0,5m	1m	2m	3m
Patógeno	Dose de Radiação ( $\mu W \cdot s/cm^2$ )	Tempo de exposição mínima			
<b>SARS-Cov-2</b>	150.000	15 min	45 min	3 h	7h
<b>EBOV</b>	150.000	15 min	45 min	3 h	7h
<b>SARS</b>	150.000	15 min	45 min	3 h	7h
<b>Tétano</b>	22.000	5 min	10 min	30 min	1h05 min
<b>Espóros de <i>Bacillus</i></b>	22.000	5 min	10 min	30 min	1h05 min
<b>Tuberculose</b>	10.000	5 min	5 min	15 min	15 min
<b>Antraz</b>	87.000	5 min	5 min	15 min	15 min
<b>Hepatite</b>	8.000	5 min	5 min	15 min	15 min
<b><i>Escherichia coli</i></b>	6.000	5 min	5 min	10 min	20 min
<b>Vírus da Influenza</b>	6.000	5 min	5 min	10 min	20 min
<b>Poliomielite</b>	6.000	5 min	5 min	10 min	20 min
<b><i>Staphylococcus aureus</i></b>	6.000	5 min	5 min	10 min	20 min
<b>Cólera</b>	6.000	5 min	5 min	10 min	20 min

Fonte: <https://www.glight.com.br/blog/lancamento-g-light-protectpro-uvc/>

Na Tabela 15, tem-se o tempo mínimo necessário para desinfecção quando utilizado o conjunto completo de lâmpadas na Luminária da Figura 21, ou seja, totalizando uma potência de 30W.

Tabela 15 – Resultado com uma Luminária de potência de 30W - 2X15W.

Distância da Lâmpada		0,5m	1m	2m	3m
Patógeno	Dose de Radiação ( $\mu W \cdot s/cm^2$ )	Tempo de exposição mínima			
<b>SARS-Cov-2</b>	150.000	10 min	25 min	1h25 min	3h10min
<b>EBOV</b>	150.000	10 min	25 min	1h25 min	3h10min
<b>SARS</b>	150.000	10 min	25 min	1h25 min	3h10min
<b>Tétano</b>	22.000	5 min	5 min	15 min	30 min
<b>Esporos de <i>Bacillus</i></b>	22.000	5 min	5 min	15 min	30 min
<b>Tuberculose</b>	10.000	5 min	5 min	10 min	15 min
<b>Antraz</b>	87.000	5 min	5 min	10 min	15 min
<b>Hepatite</b>	8.000	5 min	5 min	10 min	15 min
<b><i>Escherichia coli</i></b>	6.000	5 min	5 min	5 min	10 min
<b>Vírus da Influenza</b>	6.000	5 min	5 min	10 min	15 min
<b>Poliomielite</b>	6.000	5 min	5 min	5 min	10 min
<b><i>Staphylococcus aureus</i></b>	6.000	5 min	5 min	5 min	10 min
<b>Cólera</b>	6.000	5 min	5 min	5 min	10 min

Fonte: <https://www.glight.com.br/blog/lancamento-g-light-protectpro-uvc/>

Em seu portfólio, a empresa apresenta seus resultados em função de uma dose de radiação pré-fixada e uma distância em relação a lâmpada, variável e progressiva (0,5

m, 1 m, 2 m, 3 m). Nota-se também a garantia de efetividade de 99% na eliminação dos patógenos presentes quando expostos pelo tempo mínimo determinado, segundo a fabricante. Assim, com esse resultados podemos considerar o método de desinfecção por radiação uv-c válido, visto que em alguns caso tem-se a conclusão da desinfecção em alguns minutos.

## 5 Discussões e Conclusões

---

Este trabalho possibilitou entender como a radiação ultravioleta atua nas estruturas celulares dos germes e bactérias, sua ação germicida altera a composição do DNA, agindo negativamente no organismo. Com isso, pôde-se perceber a oportunidade de aplicação de uma lâmpada emissora de radiação uv-c em um ambiente contaminado.

Para considerar a técnica proposta uma realidade aplicável, definiram-se dois pontos: Primeiro, montar um dispositivo móvel e entender como a potência de uma onda eletromagnética se dissipa no ambiente, no caso, para segurança dos testes foi utilizada a luz visível (Lâmpada Fluorescente). E segundo, avaliar os resultados de desinfecção dos fabricantes de lâmpada emissora de radiação uv-c e propor ensaios que visam corroborar a aplicabilidade em um ambiente hospitalar real.

Observou-se que em um ambiente de teste, a luz visível se propaga no ambiente de forma não uniforme. Assim, foram encontrados pontos de convergência na potência luminosa, como também regiões de baixa incidência da luz. Deste fato, foram elaborados testes adicionais para percepção da influência de um objeto na dissipação de potência luminosa. Isto significa que durante o espalhamento da luz pelo ambiente, objetos podem interferir no percurso da luz absorvendo e/ou refletindo-a, esse comportamento foi observado pela diferença de valores obtidos no teste com a fonte luminosa com objeto.

Após restringir-se, pelo cálculo de dosagem de radiação mínima, as lâmpadas candidatas para desinfecção, recorreu-se à observação dos resultados da fabricante G-Light. Neste procedimento observado, a fabricante selecionou uma lista de micro organismos e impôs a dose de radiação necessária, após sua exposição à lâmpada uv-c foi cronometrado o tempo mínimo para completa desinfecção. Este procedimento foi repetido com a alteração da distância entre a fonte de radiação uv-c e a cultura. Conforme o procedimento adotado pela mesma, configurou-se que seu produto atinge uma taxa de eliminação de 99% dos germes presentes. Dessa forma, com a metodologia aplicada pela fabricante, observar-se o tempo necessário para desinfetar um local considerando a distância até a luminária e também nota-se a diferença significativa de valores quando utilizada uma única lâmpada e duas lâmpadas na luminária.

Em concordâncias com os resultados apresentados pela empresa G-light e revisão de literatura sobre a dosagem de radiação, percebe-se um potencial a ser explorado com a introdução da desinfecção de superfície por lâmpadas de radiação uv-c. Conversas com os responsáveis técnicos do Hospital Universitário, estes demonstraram interesse na diminuição do tempo necessário para desinfetar um sala de internação e por consequência a sua disponibilidade. Evidentemente, para a efetivação de tal método, faz-se necessária sua ratificação pelo próprio corpo técnico do Hospital, após a utilização dos primeiros testes com protótipos dentro dos ambientes hospitalares e com culturas controladas de

vírus e bactérias.


Em pesquisas futuras, sugerem-se novas análises com kits de lâmpadas já adquiridas pelo Departamento de Engenharia Elétrica - UEL. Essas atividades são desdobramento dos testes realizados por esse trabalho e visam sanar quaisquer dúvidas sobre a eficácia desse método. Por fim, esses testes demonstrariam a real eficácia da implementação de um dispositivo acoplado a uma lâmpada de radiação uv-c para desinfecção de superfície das salas de internação de um Hospital.

## 5.1 Trabalhos Futuros

Essa proposta tem como objetivo definir se uma superfície foi de fato desinfetada. Considerando, um tempo, em minutos, de exposição à lâmpada ultravioleta variável e uma distância fixa para cada teste com patógeno, faz-se a análise laboratorial se os organismos ali presente estão inativados ou foram eliminados. Para esses futuros testes, o Departamento de Engenharia Elétrica - UEL adquiriu os seguintes itens:

Figura 22 – Cotação TOP Lâmpadas Comercial.


02/06/22, 15:22 image002.png



**TOP LÂMPADAS COMERCIAL - EIRELI**  
 CNPJ: 22.966.480/0001-25 - I.E.: 9.070.129.059  
 Rua Bom Jesus do Iguape, 5136  
 Boqueirão - Curitiba - Paraná - CEP: 81730-020  
 Fone: (41) 3209-6633 - www.tcplampadas.com

**COTAÇÃO - Nº: 12367**  
 Data/Hora: 18/05/22-09:37

**RZ. SOCIAL:** UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA - ID: 4667  
**FANTASIA:** UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA  
**CNPJ:** 78.640.469/0001-53 - **INSCR. EST.:** ISENTA - **CLIENTE:** CONSUMO  
**END.:** RODOVIA CELSO GARCIA C.D. PR 445 KM 360 - **CEP:** 86.067-970 - **BAIRRO:** CAMPUS UNIVERSITARIO - **CIDADE:** LONDRINA - **UF:** PR  
**COMPLEMENTO:** PR 445  
**FONE:** (43) 3371-2245 - **E-MAIL:** materialhu@uel.br - **CONTATO:**

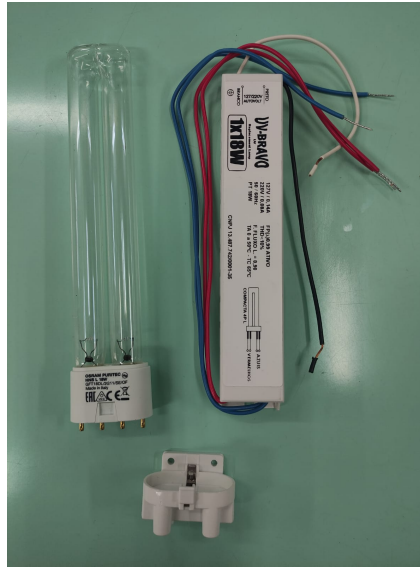
QTDE	CÓDIGO BARRA	DESCRIÇÃO	MARCA	PREÇO UN.	SUBTOTAL
1	400832120431	GERMICIDA 18W - 2G11 - DULUX HNS 18W L - OSRAM+	OSRAM	R\$ 105,00	R\$ 105,00
1	2020080412065	SOQUETE 2G11 - JPN	JPN	R\$ 20,00	R\$ 20,00
1	2020051216425	REATOR ELETR. 1X18W BIVOLT UV - PJ5619 - UV-BRAVO	UV-BRAVO	R\$ 105,00	R\$ 105,00
1	8711500261311	GERMICIDA 64W - 4P-SE/75 - 1594MM - TUV64T5 HO - PHILIPS	PHILIPS	R\$ 444,09	R\$ 444,09
1	2014091009383	REATOR ELETR. P/ GERMICIDA 35W A 65W BIVOLT	JPN	R\$ 300,00	R\$ 300,00
1	7898214964101	SOQUETE G10q - P/ GERMICIDA 4P/SE	DECORLUX	R\$ 9,00	R\$ 9,00
1	202009250939	FRETE	FRETE	R\$ 75,00	R\$ 75,00
				<b>TOTAL R\$ 1.058,09</b>	

Fonte: Departamento de Engenharia Elétrica - UEL

Dessa forma, o DEEL possui dois kits para análise futuras:

**1) Kit Lâmpada Germicida 18W:** composto pela lâmpada germicida de 18W da marca OSRAM com um reator eletrônico bivolt - RJ5619 e um soquete JPN.

Figura 23 – Kit Lâmpada Germicida 18W.



Fonte: Departamento de Engenharia Elétrica - UEL.

**2) Kit Lâmpada Germicida 64W:** composto pela lâmpada germicida de 64W da marca Philips com um reator eletrônico bivolt - 95W e um soquete G10q.

Figura 24 – Kit Lâmpada Germicida 64W.



Fonte: Departamento de Engenharia Elétrica - UEL.

### 5.1.1 Lâmpada Germicida 18W - OSRAM

Na Figura 25, é possível entender como será posicionamento da placa de Petri, exatamente no eixo de maior medição de lux, encontrado nos testes anteriores com lâmpada fluorescente. Nesse etapa, propõem-se a reconfiguração do protótipo anterior e assim, obtém um protótipo de menores dimensões e uma complexidade construtiva menor. Para segurança, deve-se adicionar uma extensão na ligação elétrica e um anteparo, permitindo com que o operador tenha o mínimo contato com a radiação ultravioleta da lâmpada.

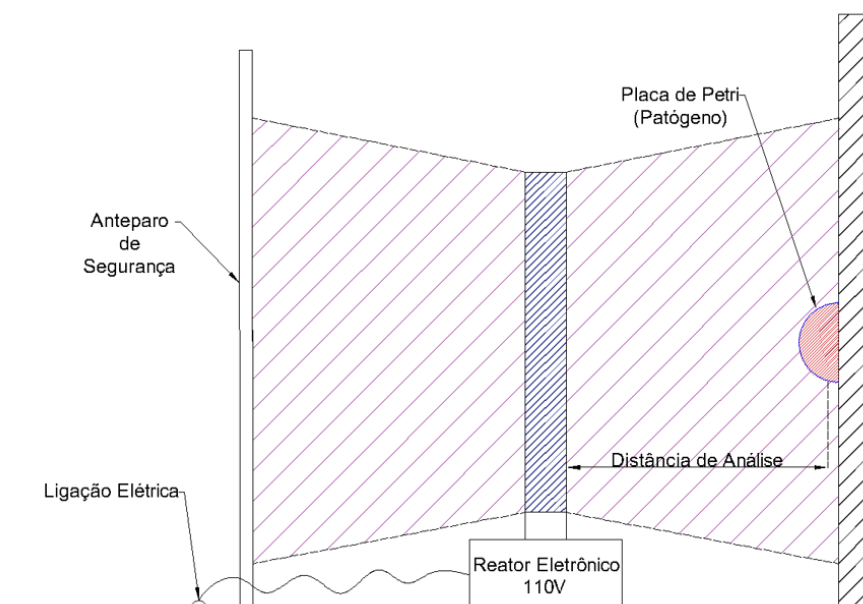


Figura 25 – Sugestão de montagem para Lâmpada Germicida 18W - OSRAM.

Na Figura 26, tem-se a sugestão de um protótipo para o Kit com a Lâmpada Germicida 18W da Figura 24.

Figura 26 – Protótipo Básico para a Lâmpada Germicida 18W - OSRAM.



Fonte: Alunos do 3º e 4º semestre do curso de Engenharia Elétrica - UEL.

### 5.1.2 Lâmpada Germicida 64W - Philips

Na Figura 27, nota-se a mudança de posicionamento da lâmpada devido a seu tamanho. Com isso, deve-se posicionar as placas de Petri exatamente no eixo paralelo à lâmpada, aplicando assim um afastamento gradual. Devido à intensa radiação, sugere-se itens adicionais de segurança como uma buzina sonora e um temporizador, além daqueles que foram propostos anteriormente.



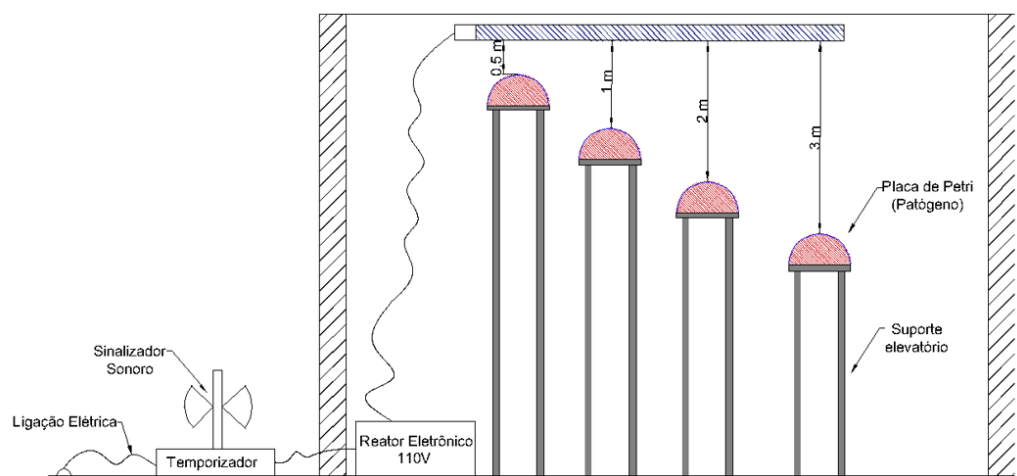


Figura 27 – Sugestão de montagem para Lâmpada Germicida 64W - Philips.

### 5.1.3 Sugestão de Análise com Tuberculose

Nessa sugestão, uma placa de petri contaminada pelo patógeno da tuberculose - *Mycobacterium tuberculosis*, é exposta à radiação ultravioleta-c proveniente da lâmpada. Para verificar a efetividade de esterilização deve ser feito o aumento gradual do tempo de exposição do patógeno, considerando as métricas, em minutos. Após o término dos testes e conforme a descrição do processo, as placas de petri serão entregue as responsáveis técnicos da Hospital Universitário para análise da eficiência do processo.

Tabela 16 – Sugestão de apresentação dos resultados obtidos.

<i>Mycobacterium tuberculosis</i>				
Distância:	0,5 m	1 m	2 m	3m
tempo (min)	Status	Status	Status	Status
5	Ineficiente	Ineficiente	Ineficiente	Ineficiente
10	Ineficiente	Ineficiente	Ineficiente	Ineficiente
15	Inconclusivo	Inconclusivo	Inconclusivo	Inconclusivo
20	Inconclusivo	Inconclusivo	Inconclusivo	Inconclusivo
30	Desinfectado	Desinfectado	Desinfectado	Desinfectado
45	Desinfectado	Desinfectado	Desinfectado	Desinfectado
60	Desinfectado	Desinfectado	Desinfectado	Desinfectado

Fonte: Hospital Universitário Regional do Norte do Paraná - UEL.

Na Tabela 16, temos os possíveis resultados da exposição do patógeno à radiação ultravioleta-c considerando a variação do tempo de exposição, em minutos, e a distância de análise em metros. Para essa tabela deverão ser considerados os parâmetros de excelência da equipe técnica responsável do Hospital.

# Referências

- A ERGAI A, S. L. T. S. C. A. H. Rapid design and implementation of a uvc decontamination room. *Sci Rep. 2022 Jan 17;12(1):835.*, 2022. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35039596/>>. 13
- AGUIAR, A. M. de S. Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de águas com turbidez e cor moderada. *Artigo Técnico*, 2002. Vol. 7 - Nº 1 - jan/mar 2002 e Nº 2 - abr/jun 2002. 16, 18
- ANVISA. *Manual de Segurança no Ambiente Hospitalar*. [S.l.]: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br>, 1999. Agência Nacional de Vigilância Sanitárias. 13
- BOCK, E. G. P. Utilização de radiação uvc para desinfecção do ar nos ambientes. *IEEE Computer Society*, 2021. ISSN 2525-3621. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BASR/article/view/26884/21272>>. 15
- BRASIL. *Manual Nacional de Vigilância Laboratorial da Tuberculose e outras Microbactérias*. [S.l.]: [www.saude.gov.br/svs](http://www.saude.gov.br/svs), 2008. v. 1ª Edição. 13
- NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica - Eletromagnetismo*. [S.l.]: Editora Blücher, 2006. v. 3. 15, 21
- PP HOCHBERG J, W. A. A. M. E. R. J. Riscos à saúde da radiação ultravioleta. *Rev. Bras. Cir. Plást.*1998;13(2):31-60. 16
- SIGNIFY-PHILIPS. *Infográfico UV-C - Poder da luz para desinfetar ar, superfícies e água*. Signify, 2021. Acesso em: 18 de novembro de 2021. Disponível em: <<https://www.lighting.philips.com.br/produtos/uv-c>>. 18
- SILVA, E. N. d. e. a. Inpatient flow for covid-19 in the brazilian health regions. *Saúde em Debate [online]*. 2021, v. 45, n. 131 [Acessado 14 Junho 2022] , pp. 1111-1125., 2021. ISSN ISSN 2358-2898. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/sdeb/a/yMhBXKCB3cTfr6QDYW4BCtc/?lang=en>>. 13
- SOUZA SONIA R P DE, F. F. M. e. S. J. M. P. Bronzeamento e risco de melanoma cutâneo: revisão da literatura. *Revista de Saúde Pública [online]*. 2004, v. 38, n. 4 [Acessado 31 Maio 2022], 2021. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rsp/a/qGmYdyZwyXFD4x8P8ZPMvMg/?lang=pt#>>. 16