



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA – POSGRAP
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA – NPGFI

**UMA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE A EFICÁCIA DA RADIAÇÃO
ULTRAVIOLETA COMO AGENTE GERMICIDA**

por

FERNANDA COSTA DE MEDEIROS

São Cristóvão – SE
Fevereiro de 2023

FERNANDA COSTA DE MEDEIROS

**UMA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE A EFICÁCIA DA RADIAÇÃO
ULTRAVIOLETA COMO AGENTE GERMICIDA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Núcleo de Pós-Graduação em Física da
Universidade Federal de Sergipe, como
requisito parcial para a obtenção do título de
Mestre em Física.

Orientadora: Profa. Dra. Susana de Souza
Lalic

São Cristóvão – SE
Fevereiro de 2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
Núcleo de Pós-Graduação em Física

**“UMA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE A EFICÁCIA DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA
COMO AGENTE GERMICIDA”**

por

Fernanda Costa de Medeiros

Dissertação de mestrado (**APROVADA**) em sessão pública no dia 27/02/2023 perante a banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 SUSANA DE SOUZA LALIC
Data: 27/02/2023 16:43:03-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profa. Dra. Susana de Souza Lalic (DFI-UFS)

Documento assinado digitalmente
 JOSE JOATAN RODRIGUES JUNIOR
Data: 27/02/2023 16:31:54-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. José Joatan Rodrigues Júnior (DFI-UFS)

marcilei Ap. Guazzelli

Profa. Dra. Marcilei Aparecida Guazzelli (FEI)

São Cristóvão – SE
Fevereiro de 2023

DEDICATÓRIA

A Deus, por sua bondade e cuidado. Aos meus pais, irmãos e sobrinhos que sempre estiveram comigo, independente da distância. Dedico também a todas as pessoas que perderam suas vidas durante a pandemia do COVID-19, e seus familiares, com quem me solidarizo.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelos seus cuidados, por ter me dado saúde, perseverança e sabedoria para superar todos os obstáculos até aqui enfrentados.

Aos meus pais, por acreditar na minha capacidade e apoiar as minhas escolhas, e sobretudo, por todo o amor e carinho. Amo vocês!

Aos meus irmãos e sobrinhos, por toda a alegria e companheirismo.

À Marcos Rocha e Edna Rodrigues, por ter me dado a oportunidade, no primeiro ano de mestrado, de trabalhar na ENOM. Experiência enriquecedora, muito obrigada!

Aos meus alunos da ENOM, tia Fernanda ama vocês.

À minha orientadora, Profa. Dra. Susana Souza, por aceitar me orientar no mestrado mesmo sem me conhecer, e principalmente, pela confiança e todo apoio concedido ao longo desta etapa. Muito obrigada!

À Luciana Ramos, por ter me acolhido em sua casa. Por tornar esse período mais leve e ter me tornado sua irmã. Muito obrigada!

À Caroline Veras e Felipe Oliveira, pelo acolhimento e carinho.

À Gilvan e Leo, por todos os cafés compartilhados nesses meses. Vocês foram essenciais.

À Lorena, Henrique, Keila, Raí, por todas as trocas de conhecimentos realizadas durante as disciplinas, mesmo que de forma remota. Muito obrigada!

Aos meus colegas de sala, e especialmente, a Deusa, pelas conversas e risadas necessárias para manter os dias mais leves.

Aos meus amigos do DFI, obrigada pela companhia e trocas. Obrigada por tudo!

Aos técnicos do DFI, em especial, à Álvaro, pela agilidade, profissionalismo, eficiência e paciência, principalmente com todos os meus e-mails. Muito obrigada!

Aos professores da Pós-Graduação, que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, bem como, para minha formação acadêmica.

À Ayslana e Bianca, pelo carinho e amizade, que mesmo distante, permanecem sempre presentes. Amo vocês!

Aos amigos que fiz em São Cristóvão e Aracaju, pelo acolhimento e carinho.

À Universidade Federal de Sergipe por todo suporte e ensino público de qualidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro.

E a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a minha formação.

“... A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo menos outros dez.” George Bernard Shaw

RESUMO

MEDEIROS, F. C. **Uma revisão sistemática sobre a eficácia da radiação ultravioleta como agente germicida.** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2023. 113 p. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Federal de Sergipe, 2023.

Diante do cenário pandêmico no qual estamos inseridos, a busca por diferentes meios de prevenção vem sendo um dos principais assuntos estudados a nível mundial. Desse modo, nos fez lembrar a importância do processo de desinfecção e saneamento ambiental em áreas internas, bem como clínicas e hospitais. Dentro desse contexto, foi realizado um levantamento de trabalhos que utilizaram a radiação ultravioleta-C (UVC) como um eficaz agente físico para inativar tanto o vírus SARS-CoV-2, quanto outros microrganismos em diferentes ambientes e superfícies. Nesta presente pesquisa, efetuamos um levantamento de estudos realizados principalmente nos últimos 3 anos (2019-2022), com a finalidade de encontrar o que há de mais atualizado do ponto de vista tecnológico. Os principais veículos de busca dos referidos trabalhos foram o banco de dados Web of Science, o Science Direct, o PubMed e o Portal de Periódicos da CAPES. Utilizando as estratégias de busca foram identificados cerca de 2.137 registros, dentre eles, artigos, dissertações e teses, que traziam como base a radiação UVC como meio de inativação de agentes patogênicos. Constatou-se o uso de diferentes tecnologias e doses de radiação. Foi verificada a inativação dos microrganismos (fungos, bactérias e vírus) incluindo o vírus SARS-CoV-2, chegando a uma faixa de até aproximadamente 99,999% em sua inatividade, em que tais resultados tinham influência das condições experimentais em questão. Essas decorrências mostram indícios da eficácia da radiação UVC como um importante recurso tecnológico para o combate ao SARS-CoV-2. Logo, nessa perspectiva, este trabalho tem o cuidado de fornecer uma visão geral do papel significativo em que essa radiação desempenhou no processo de combate imediato à pandemia do COVID-19, tal como redirecionar tecnologias já existentes com a óptica de prevenção e combate em médio/longo prazo a possíveis pandemias desse calibre.

Palavras-chave: Coronavírus. COVID-19. Desinfecção. Irradiação. Foto-inativação. Atividade germicida UVC.

ABSTRACT

MEDEIROS, F. C. **A systematic review on the effectiveness of ultraviolet radiation as a germicidal agent.** São Cristóvão: Federal University of Sergipe, 2023. 113 p. Thesis (Master's degree in Physics) – Federal University of Sergipe, 2023.

Faced with the pandemic scenario in which we are inserted, the search for different means of prevention has been one of the main subjects studied worldwide. In this way, it reminded us of the importance of the process of disinfection and environmental sanitation in internal areas, as well as clinics and hospitals. Within this context, a survey of works was carried out that used ultraviolet-C radiation (UVC) as an effective physical agent to inactivate both the SARS-CoV-2 virus and other microorganisms in different environments and surfaces. In this present research, we carried out a survey of studies carried out mainly in the last 3 years (2019-2022), in order to find what is most up-to-date from a technological point of view. The main search engines for these works were the Web of Science database, Science Direct, PubMed, and the CAPES Periodicals Portal. Using search strategies, approximately 2,137 records were identified, including articles, dissertations, and theses, which were based on UVC radiation as a means of inactivating pathogenic agents. The use of different technologies and radiation doses was verified. The inactivation of microorganisms (fungi, bacteria, and viruses) including the SARS-CoV-2 virus was verified, reaching a range of up to approximately 99.999% in its inactivity, where such results were influenced by the experimental conditions in question. These consequences show evidence of the effectiveness of UVC radiation as an important technological resource to combat SARS-CoV-2. Therefore, in this perspective, this work is careful to provide an overview of the significant role in which this radiation played in the immediate process of combating the COVID-19 pandemic, such as redirecting existing technologies with the perspective of prevention and combat in medium /long term to possible pandemics of this caliber.

Keywords: Coronavirus. COVID-19. Disinfection. Irradiation. Photo-inactivation. UVC germicidal activity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectros de absorção normalizados para os principais cromóforos celulares UVC (linha contínua preta e os tracejados) e espectros de emissão UVC dos emissores artificiais mais usados (linhas contínuas coloridas). -----	19
Figura 2 - Espectro eletromagnético -----	23
Figura 3 - Fatores que influenciam da irradiância espectral UV direcionada à superfície terrestre -----	29
Figura 4 - Efeito germicida relacionado ao comprimento de onda da radiação ultravioleta -	30
Figura 5 - Esquema simplificado de uma lâmpada germicida -----	31
Figura 6 - Alteração da sequência de aminoácidos no DNA de uma célula após exposição à luz UV -----	34
Figura 7 - Influência da resistência microbiana na desinfecção com radiação UV -----	38
Figura 8 - Levantamento de casos registrados do Covid-19 realizado pela JHU-----	40
Figura 9 - Panorama das estratégias de desinfecção-----	44
Figura 10 - Cinética de inativação do SARS-CoV-2 promovida pela radiação UV-C a 254 nm -----	51
Figura 11 - Ilustração do projeto da CDEPI e suas dimensões-----	52
Figura 12 - Resultados do estudo bacteriológico em bacilos Gram-negativos de uma cabine para desinfecção de equipamentos de proteção individual (CDEPI) utilizando radiação UVC para esterilização de máscaras N95. -----	53
Figura 13 - Esquema, resposta à dose e exposição do dispositivo de descontaminação UVC proposto por Rathnasinghe et al. (2021) para descontaminar respiradores N95. -----	55
Figura 14 - Resultados do procedimento de inativação do SARS-CoV-2 realizado por RATHNASINGHE et al. (2021). A irradiação UVC por 240 s inativa mais de 3,5 log de redução nos títulos virais de SARS-CoV-2 -----	56
Figura 15 - Efeitos inibitórios da irradiação DUV sobre o SARS-CoV-2-----	58
Figura 16 - Esquema e resultados da descontaminação do SARS-CoV-2-----	60
Figura 17 - Ilustrações esquemáticas das caixas UVC-LED usadas para desinfecção UVC e seus respectivos resultados-----	62
Figura 18 - Esquema do ensaio de atividade virucida UVC 254 nm contra SARS-CoV-2 em produtos cosméticos turvos e porosos. -----	64

Figura 19 - Representação gráfica da carga viral do SARS-CoV-2 em amostras de cosméticos ou plásticos em função do tempo de exposição à luz UVC (I), a porcentagem de inibição do SARS-CoV-2 viável em função do tempo de exposição UVC (II) e a cinética de inativação	65
Figura 20 - Disposição da sala de isolamento	66
Figura 21 - Projeto, instalação e suscetibilidade do SARS-CoV-2 em diferentes superfícies de uma ambulância.	68
Figura 22 - Imagem real do equipamento de desinfecção UVC para o sistema AVAC instalado no Hospital Universitário de Lagarto.	69
Figura 23 - Imagem real da instalação do equipamento de desinfecção desenvolvido no instalado em um AVAC no Hospital Universitário de Lagarto.	70
Figura 24 - Placas de Petri expostas na saída de ar do AVAC onde foi instalado o equipamento de desinfecção por luz UVC no Hospital Universitário de Lagarto. Placas expostas após manter o equipamento UVC desligado por 24 h. Incubação em 35 ± 2 °C (a-b) e 21 ± 2	71
Figura 25 - Placas de Petri expostas na saída de ar do AVAC onde foi instalado o equipamento de desinfecção por luz UVC no Hospital Universitário de Lagarto. Placas expostas após manter o equipamento UVC ligado por 24 h. Incubação em 35 ± 2 °C (a-b) e 21 ± 2 °C	72
Figura 26 - Posicionamento do radiômetro em diferentes posições do armário UVC relativamente às lâmpadas	73
Figura 27 - Ilustração frontal do rodo germicida desenvolvido por dos Santos et al.	74
Figura 28 - Gráfico de Irradiância vs Distância da Lâmpada	75
Figura 29 - Esquema simplificado de sistema de esterilização de ar por UVC	75
Figura 30 - Imagem real do dispositivo de desinfecção UVC montado	76
Figura 31 - Placas: ensaio sem filtro e UVC (esquerda) e aplicação de spray direto (direita)	76
Figura 32 - Placas: utilização de UVC sem filtro (esquerda) e UVC com filtro (direita)	77
Figura 33 - Fluxograma PRISMA para os estudos incluídos nesta revisão	83
Figura 34 - Relação dos anos de publicações dos estudos inseridos neste trabalho	86
Figura 35 - Eficiência germicida máxima (254 nm)	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características das faixas do ultravioleta (UVA, UVB e UVC) emitidas pelo Sol -----	28
Tabela 2 - Relação de três concepções utilizadas para o processo de desinfecção em meio líquido-----	32
Tabela 3 - Doses de radiação para inativação de patógenos-----	37
Tabela 4 - Doses letais de UV-C para SARS-CoV-2-----	52
Tabela 5 - Diferenças no título infeccioso do SARS-CoV-2 com diferentes tempos de irradiação DUV-LED. A irradiação DUV-LED de curto prazo inativa rapidamente o SARS-CoV-2.-----	58
Tabela 6 - Redução do título viral (PFU/ml) em diferentes tempos de irradiação ----	59
Tabela 7 - Dose de UVC para diferentes materiais e porcentagem de redução da infecciosidade do vírus em uma ambulância. -----	69
Tabela 8 - Estratégia de busca -----	80
Tabela 9 - Resumo dos objetivos e resultados dos estudos incluídos nesta revisão --	84
Tabela 10 - Resumo da metodologia de estudo incluída nesta revisão -----	90
Tabela 11 - Apresentação dos resultados da análise da qualidade metodológica de Revisões Sistemáticas com a ferramenta AMSTAR -----	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%	porcentagem
ACE2	angiotensin converting enzyme 2
AMSTAR	measurement tool to assess systematic reviews
BLS-3	biosafety level 3
°C	grau celsius
CDEPI	cabine para desinfecção de EPI
cm	centímetro
cm ²	centímetro quadrado
CO ₂	dióxido de carbono
COVID-19	coronavírus disease 2019
DNA	ácido desoxirribonucleico
DP	desvio padrão
DUV-LED	deep ultraviolet - light emitting diodes
E. coli	Escherichia coli
eV	elétron volt
EPI	equipamento de proteção individual
GNSS	sistema global de navegação por satélite
h	hora
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning
HUL	Hospital Universitário de Lagarto
Hz	hertz
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Industrial
J/cm ²	joules por centímetro quadrado
J/m ²	joules por metro quadrado
JHU	Universidade Johns Hopkins
Kb	Kilobyte
KeV	quilo elétron volt
Km	quilômetro
Km/s	quilômetro por segundo
Kr-Cl	cloreto de criptônio

L	litro
LD	doses letais
LED	light-emitting diode
log	logaritmo
LP	baixa pressão
LP-Hg	mercúrio de baixa pressão
MDR	multidrug-resistant
MERS-CoV	Síndrome Respiratória Médio Oriente Coronavírus
mg	miligrama
min	minuto
mJ/cm ²	milíjoule por centímetro quadrado
mW/cm ²	miliwatt por centímetro quadrado
ml	mililitro
MNSL	Maternidade Nossa Senhora de Lourdes
MOI	multiplicity of infection
nm	nanômetro
OMS	Organização Mundial da Saúde
PFU/ml ⁻¹	unidade formadora de placas por mililitro
P _H	potencial hidrogeniônico
PRISMA-ScR	Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews
PROSPERO	International Prospective Register of Systematic Reviews
RNA	ácido ribonucleico
R-UV	radiação ultravioleta
R-UVC	radiação ultravioleta C
RT-PCR	Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction
s	segundo
s. Aureus	Staphylococcus aureus
SARS-CoV	Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus
SARS-CoV-2	Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2
SE	equipamento de saneamento
T	tolerância
UTI	unidade de terapia intensiva
UV	ultravioleta
UVA	ultravioleta A

UVB	ultravioleta B
UVC	ultravioleta C
UVGI	ultraviolet germicidal irradiation
UV-SAN	sistema de sanitização ultravioleta
W	watts
α	alfa
β	beta
μm	micrometro
μL	microlitro
$\mu\text{W}/\text{cm}^2$	microwatts por centímetro quadrado
γ	gama

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	4
Agradecimentos	5
RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	12
1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVOS	21
1.1.1 Objetivo Geral	21
1.1.2 Objetivos Específicos	21
1.2 JUSTIFICATIVA	22
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	23
2.1 RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA	23
2.1.1 Interação da radiação com a matéria	25
2.2 RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA	28
2.2.1 Propriedades	28
2.2.2 Fontes De Emissão	29
2.2.3 Reatores Ultravioleta	31
2.2.4 Mecanismo De Inativação	33
2.2.5 Dosagem De Radiação	34
2.3 RESISTÊNCIA DOS MICRORGANISMOS À RADIAÇÃO UV	38
2.4 PANDEMIA DO COVID-19	39

2.4.1 Caracterização Do SARS-CoV-2.....	41
2.4.2 Transmissão Do SARS-CoV-2	42
2.5 TECNOLOGIAS DE DESINFECÇÃO	43
2.6 LUZ UVC CONTÍNUA VERSUS LUZ PULSADA.....	48
3 ESTADO DA ARTE.....	50
3.1 O USO DA RADIAÇÃO UVC GERMICIDA PARA INATIVAÇÃO DO SARS-CoV-2	50
4 METODOLOGIA	78
4.1 DESENHO E REGISTRO DO PROTOCOLO	78
4.2 CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE	78
4.3 FONTE DE INFORMAÇÃO E ESTRATÉGIA DE BUSCA	79
4.4 SELEÇÃO DE ESTUDOS E EXTRAÇÃO DE DADOS.....	80
4.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE METODOLÓGICA	80
4.6 ANÁLISE DOS DADOS.....	81
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	82
5.1 PESQUISA NA LITERATURA E SELEÇÃO DOS ARTIGOS.....	82
5.2 CARACTERÍSTICAS DOS ESTUDOS	84
5.3 CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS UVC	86
5.4 AVALIAÇÃO DA HETEROGENEIDADE E QUALIDADE METODOLÓGICA DOS ESTUDOS	92
5.5 DESENHO EXPERIMENTAL	94
6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	97
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
ANEXOS	112

1 INTRODUÇÃO

A propagação desenfreada do vírus SARS-CoV-2, agente causador da doença do novo coronavírus (COVID-19), trouxe consigo uma inestimável crise na saúde a nível mundial. Identificado pela primeira vez na cidade de Wuhan, província de Hubei – China, no final do ano de 2019, porém ainda no mesmo ano, o SARS-CoV-2, se proliferou, muito rapidamente, de maneira acentuada pelo mundo (ZHU *et al.*, 2019). No entanto, só foi declarada como pandemia de COVID-19 pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 11 de março de 2020 (SOHRABI *et al.*, 2020). Desde esse momento, vem sendo feito, por parte de órgãos de saúde e científico, buscas por diferentes métodos de prevenção e tratamento, com a finalidade de sanar os efeitos econômicos, sociais e sanitários advindos dessa pandemia.

O contato próximo, como via aerossóis contaminados, por exemplo, foi apontado como um dos principais veículos de transmissão do COVID-19 entre os seres humanos. Visto que não é o único meio de propagação, vem se destacando os estudos realizados com o objetivo de compreender a dinâmica do SARS-CoV-2 (VELAVAN *et al.*, 2020; ZHOU *et al.*, 2020).

DOREMALEN *et al.* (2020) e SINGH *et al.* (2021) reforçam que a transmissão do SARS-CoV-2 ocorre em diferentes meios, tais como, água, superfícies e ar, haja vista que esse último requer uma atenção redobrada, devido à dificuldade de permanecer todo o tempo com as máscaras de proteção facial. Em contrapartida, já estão disponíveis uma certa quantidade de tecnologias, no viés tanto químico quanto físico, com a finalidade de inativação desse vírus, ainda fora do corpo humano, buscando diminuir de forma significativa a transmissão do COVID-19 (SABINO *et al.*, 2020).

Os benefícios advindos da luz solar como um importante fator na prevenção de doenças vêm sendo observados e estudados há anos pelo ser humano. Isaac Newton, por volta do século XVIII, concluiu a partir de observações realizadas em um prisma de cristal, que existem comprimentos de luz que são invisíveis ao olho humano (MARTINS, 2021). Diante desses estudos, hoje se sabe que, uma parte significativa dessa radiação é barrada ainda na atmosfera, garantindo assim a permanência da vida no planeta.

Foram constatadas evidências que comprovam efeitos da luz no comportamento de alguns microrganismos, como bactérias e fungos (DOWNES *et al.*, 1877). Ainda nessa

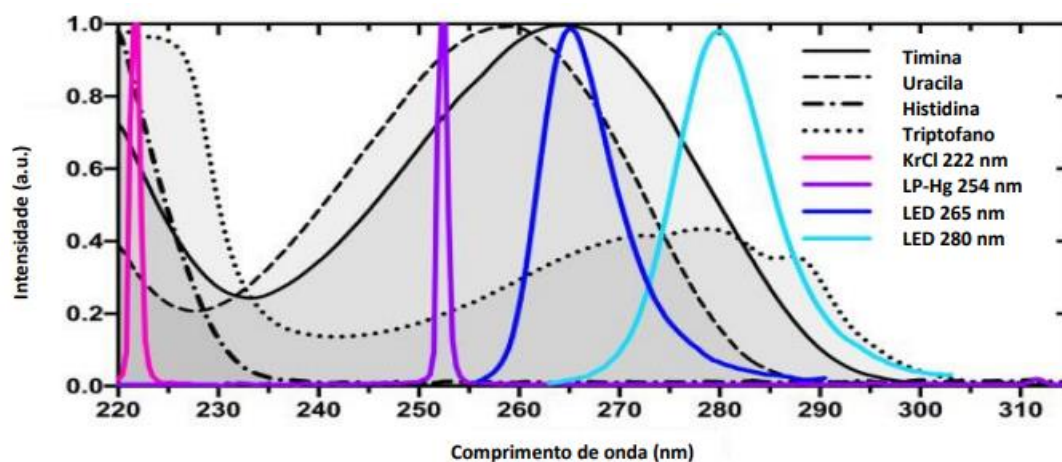
perspectiva, mas dez anos depois, foi observado pelo cientista Roux, que determinada linha de bactérias, uma vez expostas à luz solar, tinha como consequência um interrompimento em seu crescimento. Porém, a comprovação dos efeitos que a radiação ultravioleta possui só foi comprovada no ano de 1903 por Barnard e Morgan, que por sua vez produziram radiações com comprimento de onda entre 226 nm e 328 nm, utilizando corrente elétrica. (DOWNES *et al.*, 1877; MARTINS, 2021).

Mesmo existindo estudos quem comprovam o efeito germicida que a radiação possuía em relação aos microrganismos, não houve avanço significativo naquela época, de modo a aplicar essa descoberta em tecnologias desinfetantes. Um dos indicativos para tal feito foi o demorado desenvolvimento de lâmpadas germicidas, que ocorreu de forma simultânea ao desenvolvimento das lâmpadas fluorescentes, que por sua vez teve um alto índice de vendas no ano de 1940 (MARTINS, 2021).

Desde meados do século XX até os tempos atuais esse cenário tem mudado. Com o avanço da tecnologia, interesses voltados para a criação de métodos de prevenção e tratamento à base da radiação ultravioleta têm aumentado de forma significativa, principalmente quando se trata de tecnologias com efeitos germicidas.

A radiação UV tem sido muito utilizada em ambientes industriais e hospitalares com a finalidade de descontaminação de ar, superfície e água. O espectro UV possui três subdivisões, de acordo com suas respectivas faixas de comprimento de onda, sendo eles: UVA (315-400 nm), UVB (280-315 nm) e UVC (100-280 nm), haja vista que essa última é a que apresenta propriedades germicidas com maior eficiência, isso devido à sua ampliada absorção por ácidos nucléicos (**Figura 1**).

Figura 1 - Espectros de absorção normalizados para os principais cromóforos celulares UVC (linha contínua preta e os tracejados) e espectros de emissão UVC dos emissores artificiais mais usados (linhas contínuas coloridas).



Fonte: (SELLERA, 2021)

SELLERA *et al.* (2021) apontam ainda que, a partir do momento que o (RNA)¹ absorve a radiação UVC, acontece a formação de dímeros de pirimidina que por sua vez bloqueiam a transcrição, enquanto a absorção realizada pelos aminoácidos impossibilita a atividade das enzimas e a funcionalidade das proteínas. Assim, a luz UVC pode causar a inativação viral de forma independente ou combinada, devido aos danos causados ao RNA e à proteína.

A eficiência dos diferentes comprimentos de onda da radiação UVC é baseada na quantidade de energia necessária para atingir a inatividade de um microrganismo, assim os comprimentos de onda que exigem dose mais baixa para alcançar reduções semelhantes são vistos como mais eficientes no uso da energia radiante (RICHARD *et al.*, 2021).

Há uma variação enquanto aos comprimentos de onda já usados para tal finalidade, cujos dados estão disponíveis em vasta literatura. A faixa que apresenta maior eficiência para a inativação bacteriana e viral se encontra por volta de 265 nm (RATTANAKUL *et al.*, 2018). Mas existem determinados pontos que devem ser levados em consideração no momento da escolha do comprimento de luz para desinfecção. Esses pontos são: a dose necessária e o tempo de exposição requerido para atingir essa dose, disponibilidade, custo, desempenho e tempo de vida útil do equipamento a ser utilizado.

¹ O RNA é a molécula responsável pela síntese de proteínas das células do corpo.

Para que aconteça a inativação de um determinado agente patogênico, se faz necessária a criação de um projeto específico a base de uma radiação UVC também específica, pois além da escolha de um comprimento de onda eficiente, é necessário verificar outros fatores envolvidos, como umidade relativa, temperatura, geometria da superfície do objeto, presença de sujeiras, entre outros (DARNELL *et al.*, 2004; OTTO *et al.*, 2011; GUETTAR, *et al.*, 2020).

O processo de descontaminação a base de tecnologias UVC de patógenos específicos é dependente de dois fatores predominantes, sendo eles, o comprimento de onda, λ (nm) e a dose (mJ/cm^2) adotada. O comprimento de onda representa a energia do fóton, que tem a capacidade de incitar danos no (DNA)² e/ou no RNA, e o valor da dose está relacionado com a energia óptica aplicada. O cálculo da dose se dá pela **Equação 2.1**:

$$D = I \times t, \quad (2.1)$$

onde D corresponde a dose de radiação UV, usualmente dada em ($\text{mW.s}/\text{cm}^2$), I é a intensidade de radiação dada em (mW/cm^2) ou densidade de potência óptica e t é o tempo de exposição ao campo de luz (MANCINI *et al.*, 2022). A taxa de inativação de uma quantidade fixa de microrganismos pode ser obtida em curto intervalo de tempo e alta intensidade ou com baixa intensidade e longo tempo, ou seja, a dose se mantém constante (BARROSO; WOLFF, 2009).

Existem diferentes veículos de propagação para o vírus SARS-CoV-2 ser transmitido, seja por meio de contato direto ou indireto com superfícies infectadas ou por meio de exposição a gotículas respiratórias expelidas, contendo vírus. Diante disso, faz-se necessário a criação e adaptação de métodos desinfetantes para os mais diversos meios de contaminação.

O tempo médio de sobrevivência do SARS-CoV-2 em aerossóis é de até 3 h e em superfícies de plástico e aço inoxidável, de 72 h aproximadamente (CHIN *et al.*, 2020; GIDARI *et al.*, 2021). No entanto, na literatura existe uma gama de relatos contraditórios entre si em relação a sobrevivência do vírus em diferentes superfícies, evidenciando

² O DNA é a molécula presente no núcleo das células dos seres vivos e que carrega toda a informação genética de um organismo.

assim, a indispensabilidade de desinfecção adequada de superfícies em geral, equipamentos hospitalares, hotéis, ambientes domiciliares, entre outros ambientes.

Nesse sentido, esta dissertação visa realizar uma análise dos estudos que utilizaram da radiação UVC como base na construção de tecnologias germicidas, especificamente as usadas no intuito de inativar o SARS-CoV-2. Discorrer sobre os parâmetros adotados pelos referidos autores e verificar quais alcançaram melhores resultados. Logo, esse estudo poderá ser utilizado como um guia, podendo ser adotado como uma forma de desenvolvimento de novos dispositivos germicidas, ou adaptá-las, objetivando potencializar os resultados produzidos a partir da análise.

1.1 OBJETIVOS

Este presente trabalho é voltado para o levantamento de pesquisas já realizadas sobre a verdadeira eficiência do uso da radiação UVC, como agente germicida, no período de (2019-2022), na perspectiva de analisar o que vem sendo feito nos últimos anos do ponto de vista tecnológico para tal finalidade. Diante do cenário pandêmico no qual estamos vivendo, foi dada uma atenção especial para estudos voltados à inativação do vírus SARS-CoV-2.

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Proporcionar uma ampla visão dos resultados mais recentes presente na literatura, com a finalidade de projetar as mais diferentes tecnologias e metodologias anti pandêmicas, além de retratar as promessas e empreitadas futuras.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver e registrar um protocolo de pesquisa que auxilie na revisão sistemática, partindo da pergunta de pesquisa previamente estabelecida;

- Revisar sistematicamente a literatura para as tecnologias a base de UVC germicida e os valores (comprimento de onda, dose, irradiância, distância fonte/amostra, tempo de exposição) que se mostraram mais eficazes no processo de inativação do SARS-CoV-2;
- Realizar uma análise comparativa sobre a qualidade e eficiência das tecnologias germicidas com luz UVC nos estudos inseridos na revisão sistemática;
- Discutir as perspectivas do uso da radiação UVC para combate à pandemia de COVID-19 e outras doenças.

1.2 JUSTIFICATIVA

As revisões sistemáticas tornaram-se ferramentas fundamentais na assistência à saúde. Pesquisadores as leem para se manterem atualizados em suas áreas, além do ganho em relação ao tempo gasto para alcançar tal feito. Das vantagens das revisões sistemáticas, pode-se citar o aumento significativo na precisão dos resultados; antecipação de resultados de estudos que duram maior tempo; evitar esforços desnecessários no desenvolvimento de um trabalho que já tenha sido realizado; economizar custos a serem aplicados em pesquisas; foco nas áreas que haja maior necessidade e auxiliar na divulgação de diretrizes clínicas baseadas em evidências (NITA *et al*, 2010; IARED & VALENTE, 2009).

Por se tratar de uma pandemia mundial, é necessário que haja o desenvolvimento de novas tecnologias para auxiliar no combate do vírus causador da COVID-19. No entanto, para reduzir o tempo gasto em pesquisas primárias, faz-se necessário uma revisão sistemática sobre o que já tenha sido feito, a fim de auxiliar na criação e desenvolvimento de mecanismos de prevenção e inativação do vírus, evitando duplicação de esforços.

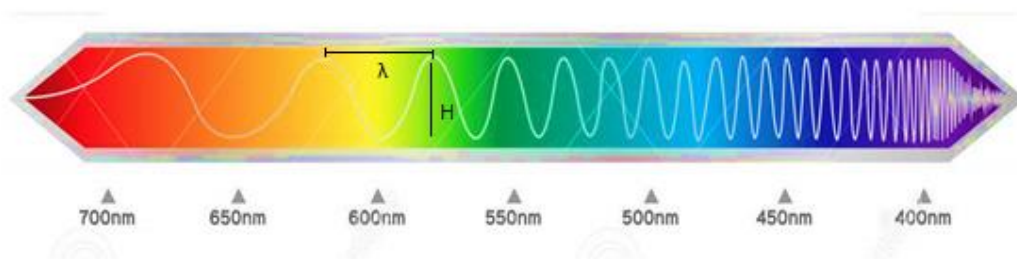
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Será explanado neste capítulo uma revisão teórica no que se diz respeito aos conceitos fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, onde o intuito principal é proporcionar um suporte teórico, visando auxiliar na compreensão tanto da metodologia e procedimentos aqui utilizados, quanto no que diz respeito aos resultados e discussão presentes nos capítulos seguintes.

2.1 RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

De acordo com o INDUSTRIAL HYGIENE ENGINEERING (1988), a radiação eletromagnética pode ser definida como a emissão de partículas de energia (fótons)³ e em forma de ondas. A mesma consiste na interação de campos elétrico e magnético que se propagam no vácuo com uma velocidade de aproximadamente 299.792 km/s. As radiações podem ser geradas a partir de processos nucleares (fusão e fissão), excitação térmica ou até por meio de bombardeamento através de outra radiação. As ondas eletromagnéticas podem se propagar tanto num meio material quanto no vácuo. O espectro das ondas eletromagnéticas é contínuo, ou seja, existem ondas eletromagnéticas de todos os comprimentos de onda. As principais faixas do espectro eletromagnético são: raios gama, raios x, ultravioleta, luz, infravermelho, micro-ondas, TV e ondas de rádio FM, ondas curtas, AM e ondas longas. Esta junção de frequências e comprimentos pode ser decomposto em radiação eletromagnética (**Figura 2**).

Figura 2 - Espectro eletromagnético



Fonte: (KARALAK, 2022).

³ Os fótons são as partículas que compõem a luz e podem ser definidos como pequenos "pacotes" que transportam a energia contida nas radiações eletromagnéticas.

Dentre as principais características de uma onda eletromagnética estão a amplitude (A), o comprimento de onda (λ) e a sua frequência. A amplitude corresponde à distância vertical da extremidade de uma crista ou vale até o eixo central da onda e está relacionada ao brilho/intensidade dessa onda, sendo usualmente expressa em nanômetro ou centímetros. O comprimento de onda é a distância entre duas cristas ou dois vales consecutivos, e a frequência de onda diz respeito ao número de comprimentos de onda completos que passam em um mesmo ponto no espaço em cada segundo, sendo geralmente expressa em hertz ou ciclos por segundo. A radiação eletromagnética é dada em termos de joules ou elétron volts e, a potência eletromagnética é dada pela energia em função do tempo e expressa em watts (W) (OLIVEIRA, 2003).

Do ponto de vista da energia da radiação, a mesma pode ser dividida em dois tipos, sendo eles, radiação ionizante e não ionizante. A primeira é definida como a radiação que é capaz de produzir ionização, que nada mais é do que o processo por meio do qual um átomo ou molécula perde ou ganha elétrons, formando assim, íons. As radiações ionizantes encontram-se no extremo superior do espectro de frequências, onde encontramos os raios-X, os raios γ e os raios cósmicos. O índice de penetração da radiação ionizante varia de acordo com o tipo e energia em questão.

Enquanto isso, a radiação não ionizante não consegue ionizar átomos e moléculas. Porém essa radiação interage por outros meios, com a geração de forças atrativas e repulsivas sobre as cargas elétricas, modificando a distribuição das cargas nos materiais, resultando na geração de campos magnéticos e elétricos (GIANCOLI, 2000; MÁSCULO, 2016). A radiação ultravioleta, infravermelho, radiofrequência, e micro-ondas, são exemplos da radiação não ionizante.

O espectro eletromagnético é geralmente dividido em sete regiões, em ordem decrescente de comprimento de onda e aumento de energia e frequência. Características essas que podem ser relacionadas fazendo uso da fórmula (2.2).

$$c = f \cdot \lambda , \quad (2.2)$$

onde c é a velocidade da luz, f é a frequência de oscilação e λ é o comprimento de onda. Pode-se utilizar também a relação (2.3).

$$E = h \cdot f , \quad (2.3)$$

onde E é a energia do fóton, h é a constante de Planck e f é a frequência de oscilação.

2.1.1 INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA

A energia que uma onda eletromagnética transporta depende de sua frequência, logo, quanto maior for a frequência, maior será a energia que ela transporta. Conforme as condições, essa energia pode ser totalmente ou parcialmente transferida da onda eletromagnética para um meio material. Em seguida, será pontuado características de algumas faixas do espectro eletromagnético e suas respectivas interações com a matéria (MARQUES *et al.*, 2019).

[...] Ondas de rádio: São radiações com frequência menor que 300 MHz, com comprimentos de onda superiores a 0,3 m e com energia extremamente pequena (inferior a 10^{-5} eV). São geradas por circuitos oscilantes, em transmissores de estações, mas também em grandes corpos no espaço, tais como cometas, planetas ou nuvens de gás gigantes. São ondas utilizadas principalmente em telecomunicações e radiodifusão (rádio, TV e telefones celulares). No nível atômico e molecular, as ondas de rádio não provocam efeitos sobre a matéria; o corpo humano, como a maioria dos materiais, é transparente a essas radiações. Micro-ondas: São radiações eletromagnéticas produzidas por sistemas eletrônicos (osciladores) e se estendem pela região do espectro de 1mm até cerca de 1m, o que corresponde ao intervalo de frequência de 300GHz a 300MHz e possuem energias muito pequena (10^{-5} a 10^{-3} eV). As micro-ondas estão no intervalo de energias separando os estados quânticos de rotações e torções moleculares. A interação dessas ondas com materiais diferentes dos condutores metálicos fará rodar as moléculas e produzir calor como resultado daqueles movimentos moleculares. Os condutores absorvem fortemente as micro-ondas e frequências mais baixas. Ao serem absorvidas, essas frequências causam correntes elétricas que aquecem o material. A maioria dos materiais, incluindo o corpo humano, é largamente transparente às micro-ondas. Micro-ondas de altas intensidades, como num forno de micro-ondas, produzem milhares de vibrações nas moléculas de água dos alimentos, aquecendo o alimento por produzir rotações e torções moleculares. Não produzem ionização. As micro-ondas são usadas na pesquisa para se obter informações sobre a estrutura de moléculas. São também usadas para a transmissão de informações como em radares, sensoriamento remoto e, ainda, em telefonia celular e transmissão de dados informatizados. Como as micro-ondas conseguem atravessar a ionosfera, são usadas nas comunicações via satélite. Infravermelho: São as radiações eletromagnéticas de comprimento de onda variando entre 1,0 nm a 780 nm. A energia dos seus fótons está no intervalo de $1,24 \times 10^{-3}$ eV a 1,59 eV que é o intervalo de energia dos estados quânticos das vibrações moleculares. O infravermelho é absorvido com facilidade pela maioria dos materiais, resultando no aumento da atividade

vibracional das moléculas. O infravermelho curto (0,8-1,5 μm) pode penetrar na porção profunda da pele sem causar aumento marcante na temperatura da superfície do epitélio, enquanto o infravermelho médio e longo (1,5- 1.000 μm) ao ser absorvido pela camada superior da pele, produz com frequência efeitos térmicos danosos, como queimaduras ou a sensação de queimação, mas pode promover regeneração celular. A radiação infravermelha é usada em controles remotos, leitores de códigos de barras, mouses de computador. Câmeras sensíveis ao infravermelho (com menor comprimento de onda) conseguem mostrar as áreas mais quentes dos corpos, que ficam nas cores amarelo e laranja (não correspondem as cores naturais). Receberam esta nomenclatura, pois elas têm frequência abaixo da correspondente à cor vermelha e é uma radiação não ionizante. Visível: Refere-se à parte do espectro com comprimento de onda entre 40 nm e 700 nm (frequências entre aproximadamente 4, 3.10^{14} a 7, 5.10^{14} Hz), que o olho humano consegue detectar. A origem da luz está nas oscilações ou transições dos elétrons entre as camadas mais externas dos átomos. Possuem energia entre 1,77 eV e 3, 10 eV, tendo como principal mecanismo para a absorção de fótons, a elevação dos elétrons a níveis de energia mais altos. Existem muitos estados disponíveis, assim a luz visível é absorvida fortemente. A exposição à luz visível causa aquecimento e não produz ionização. Ultravioleta (UV): A radiação ultravioleta possui comprimentos de onda entre 100 nm e 400 nm, frequências entre 0,75 PHz e 3 PHz e energia de 3,10 a 12,42 eV. Tais radiações têm a propriedade de favorecer certas reações químicas, como, por exemplo, as que formam ozônio nas camadas mais altas da atmosfera e as que produzem melanina, pigmento que escurece a pele. Nesta faixa de energia está o limiar entre as radiações não-ionizantes e as ionizantes. Dado às altas energias que carregam, as radiações ultravioletas são fortemente absorvidas pela maioria das substâncias sólidas. Assim como a luz, as radiações ultravioletas também se originam de transições eletrônicas das camadas mais externas dos átomos. As radiações ultravioletas de menores comprimentos de onda (principalmente o UVC) têm energia no patamar da energia de ionização de muitas moléculas, tornando-se assim muito perigosas, pois podem produzir danos à saúde, como por exemplo o câncer de pele. A camada de ozônio na atmosfera superior é importante para a saúde humana porque ela absorve a maioria da radiação ultravioleta (energias mais altas) prejudicial, oriunda do sol, antes dela atingir a superfície. A maior fonte de radiação ultravioleta é o sol, porém, ela é produzida também por lâmpadas fluorescentes e de descarga de mercúrio, lasers, os arcs de solda elétrica, usados para soldar metais. Nossos olhos são particularmente suscetíveis aos danos das radiações ultravioletas, pois elas provocam a conhecida inflamação UV ou mesmo a cegueira e por esse motivo um soldador deve utilizar um visor de proteção. As lâmpadas que emitem UV são utilizadas em diversas áreas: germicida, cosmética, análise química, processos tecnológicos, forenses. Também é usada no tratamento de doenças, como: psoríase, eczemas, vitiligo,

icterícia, etc. Raios-X: Os raios X possuem comprimentos de onda entre 0,01 nm e 1nm, frequências entre 3×10^{16} Hz a 3×10^{19} Hz e energia entre 100 eV e 100 keV. Os raios X podem ser produzidos quando elétrons acelerados são bruscamente detidos por colisão com átomos metálicos. A maioria dos elétrons acelerados são absorvidos ou espalhados, produzindo aquecimento no alvo. Cerca de 5% dos elétrons sofrem reduções bruscas de velocidade, e a energia dissipada se converte em ondas eletromagnéticas, denominadas de raios X. Os raios X são classificados como radiação ionizante, pois a sua energia são muito altas para serem absorvidas nas transições eletrônicas. Os fótons de raios X de alta energia podem criar um par elétron-pósitron. Quanto menor o seu comprimento de onda (maior frequência), maior é o poder de penetração na matéria. Essa propriedade nos permite investigar estruturas que não estão aparentes. O efeito fundamental dos raios X sobre a matéria são a produção de elétrons de alta velocidade, em todas as partes do material que atravessam. Alguns desses são fóton elétrons, outros elétrons de recuo produzido por um fenômeno conhecido como efeito Compton. Compton mostrou que quando um feixe de raio X incidia num alvo de grafite (a interação acontece entre o fóton incidente e o elétron no material), ocorria que o raio X era espalhado em duas partes: a parte não modificada mantendo o comprimento de onda original, e a parte modificada apresentando um comprimento de onda ligeiramente aumentado, correspondendo a uma energia menor. A ocorrência da primeira é explicável pela teoria clássica; a segunda requer que a radiação seja considerada como fótons semelhante a projéteis, ou seja, evidencia as propriedades corpusculares da luz.

Raios gama (γ): Os frequência dos raios γ situa-se acima de 10^{19} Hz, que implica comprimentos de onda abaixo de 10-12 m e energias acima de 0,1 MeV (a energia da radiação visível oscila entre 1 e 4 eV, cerca de 50 000 vezes menor) e são produzidos em processos de decaimento nuclear. A radiação γ apresenta um elevado poder de penetração na matéria, comparado com as radiações α e β , e embora menor poder de ionização, é a mais perigosa para o ser humano. Enquanto as radiações α e β são geralmente barradas pela pele, a radiação γ consegue penetrar e, até atravessar o corpo, causando danos a nível celular, o que pode aumentar a incidência de câncer. O seu poder ionizante decorre de três tipos de interação que pode ter com a matéria: efeito fotoelétrico, efeito Compton e produção de um par elétron-pósitron. As radiações γ com energias entre 3 e 10 MeV são as mais perigosas a nível biológico, uma vez que o corpo é relativamente “transparente” à radiação γ de energia mais elevada. A radiação γ é utilizada para esterilizar equipamento médico e alimentos, no tratamento de certos tipos de câncer, em diagnósticos e também, utilizada em scanners de forma a detectarem o conteúdo de veículos de transporte de mercadorias (VACIS - Vehicle and Container Imaging System, um scanner de raios γ).

2.2 RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

2.2.1 PROPRIEDADES

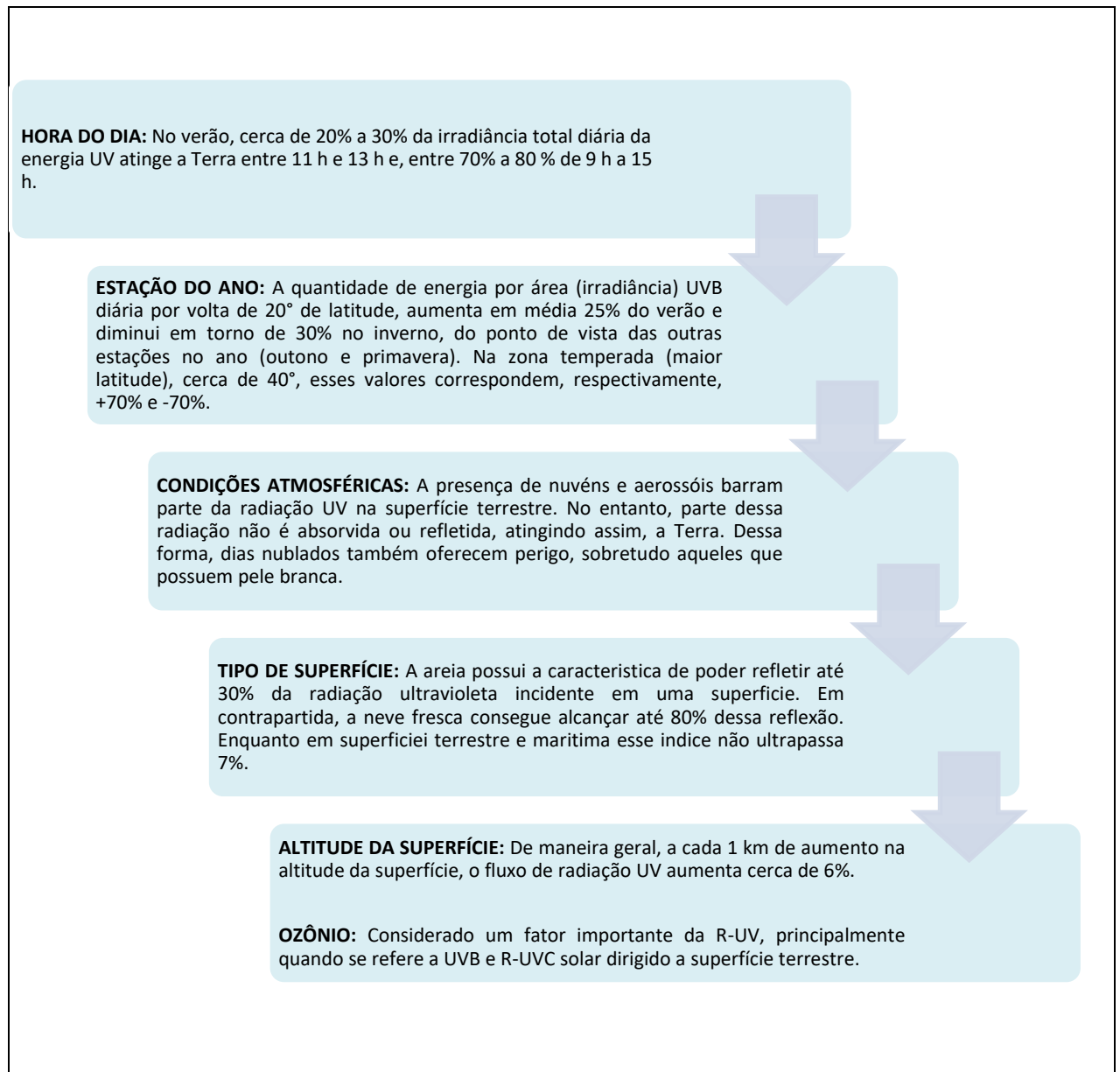
Segundo a definição de KIRCHHOFF (1995), a radiação solar corresponde à emissão energética sob a forma de ondas eletromagnéticas. A mesma pode ser dividida de acordo com o comprimento de onda. As ondas eletromagnéticas que têm uma relação direta com o aquecimento terrestre são as que estão compreendidas pelo infravermelho, além dela existe a faixa do visível e do ultravioleta, sendo essa última subdividida em UVA, UVB e UVC (**Tabela 1**).

Tabela 1 - Características das faixas do ultravioleta (UVA, UVB e UVC) emitidas pelo Sol

Nome	Intervalo espectral (nm)	Características
UVC	100 a 280	Sofre absorção total pelas camadas mais altas da atmosfera e estratosfera, fazendo que não atinja a superfície da Terra. Conhecida como radiação germicida por possuir propriedades capazes de esterilizar superfícies, água e materiais cirúrgicos.
UVB	280 a 315	Sofre alto índice de absorção na camada estratosférica. É considerada a faixa da radiação UV mais nociva, pois consegue atingir a superfície terrestre e a exposição em excesso pode causar eritema, envelhecimento precoce e até câncer de pele.
UVA	315 a 400	É fundamental no processo de sintetização da vitamina D no organismo. A exposição demasiada pode acarretar queimaduras e em médio/longo prazo, ocasionar envelhecimento precoce.

Fonte: (KIRCHHOFF, 1995)

OKUNO e VILELA (2005) listam alguns fatores temporais, geográficos e meteorológicos que afetam diretamente o índice de irradiância espectral da radiação ultravioleta na superfície terrestre (**Figura 3**).

Figura 3 - Fatores que influenciam da irradiância espectral UV direcionada à superfície terrestre

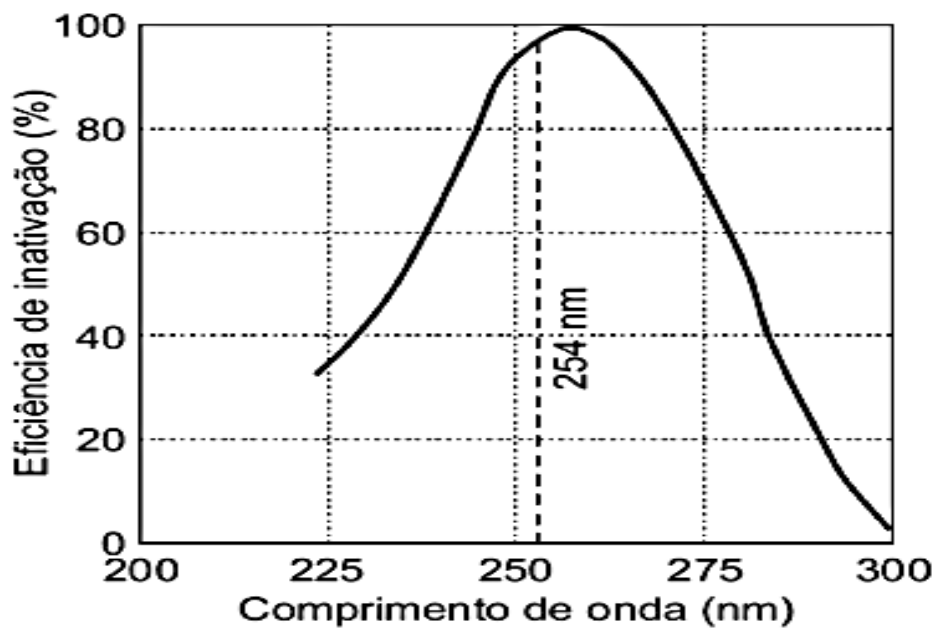
Fonte: (OKUNO e VILELA, 2005)

2.2.2 FONTES DE EMISSÃO

Segundo WEF (1996), a luz solar é a única fonte de radiação UV natural existente. Porém, a luz UV pode ser obtida de forma artificial por meio de lâmpadas emissoras de radiação em comprimentos de onda específicos. De modo geral, a operação dessas lâmpadas se baseia no efeito arco resultante do deslocamento de elétrons entre dois eletrodos separados por vapor ou um gás.

A lâmpada geradora de radiação UV distribui luz de forma uniforme em todos os direcionamentos perpendicularmente ao seu eixo. No entanto, surgem na prática áreas de maior incidência de emissão (BRAUN *et al.*, 1986). Para alcançar o efeito germicida, as lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio são as mais indicadas, devido emitirem energia luminosa de 254 nm, que comprova ser eficiente na inativação de agentes patogênicos (**Figura 4**).

Figura 4 - Efeito germicida relacionado ao comprimento de onda da radiação ultravioleta

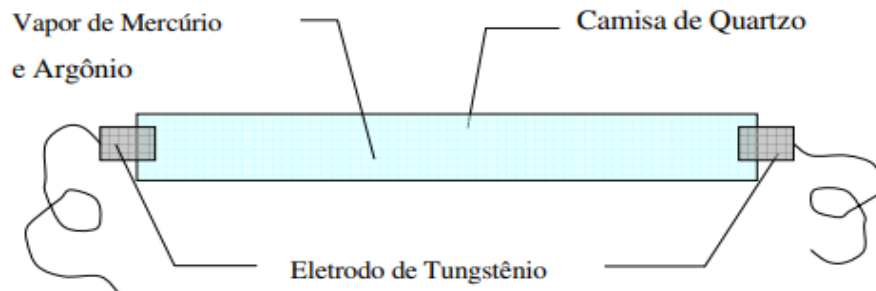


Fonte: (GONÇALVES, 2003).

Lâmpada germicida é a forma como são denominadas as lâmpadas de baixa pressão no meio comercial. As lâmpadas têm um tubo de quartzo ou de material com transmitância semelhante preenchido com uma mistura de mercúrio e argônio. A escolha por vapor de mercúrio é devida a sua alta capacidade de emitir radiação substancialmente na faixa ultravioleta, e por não sofrer interação com os eletrodos ou invólucro da lâmpada (PHILLIPS, 1983). Segundo KOLLER (1958), a quantidade de energia se limita às variações de tensão na rede elétrica, a temperatura e a tempo de uso da lâmpada.

Para que haja uma maior eficiência na transmissão da radiação, o invólucro de quartzo deve ser limpo periodicamente, pois o acúmulo de resíduos pode afetar na sua eficácia. Em relação a vida útil das lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio, que chega a alcançar uma média de 7.500 horas de vida útil, tem sua ineficiência associada principalmente pelo desgaste dos eletrodos da mesma (WEF, 1996). Na **Figura 5** é apresentado um esquema simplificado de uma lâmpada germicida

Figura 5 - Esquema simplificado de uma lâmpada germicida



Fonte: (WRIGHT & CAIRNS, 1998).

2.2.3 REATORES ULTRAVIOLETA

Reator, também conhecido como balastro, é um limitador de corrente elétrica utilizado comumente em lâmpadas fluorescentes. Refere-se a um aparelho indutor que proporciona a tensão da rede elétrica à potência mais indicada para melhorar o funcionamento dos equipamentos elétricos.

Reatores de mistura completa são os menos recomendados para a desinfecção UV (DOWNEY *et al.*, 1998). Em relação a desinfecção em meios líquidos, e diante dessa condição de fluxo (reatores de mistura completa), um determinado volume do líquido pode acabar entrando no reator e, assim acabar saindo do sistema sem receber a dose desejada de UV, além de haver a possibilidade de permanecer uma parte desse líquido no reator por intervalo de tempo muito mais longos. OLIVEIRA (2003) considera que reatores que trabalham a base de um fluxo pistão sejam os mais eficazes, pois permitiriam que cada componente do líquido permanecesse no reator pelo mesmo intervalo de tempo. Desse modo, todos os elementos ao se moverem através do reator receberiam a mesma dose de radiação nos diferentes pontos.

Segundo BOLTON (2000), caso a mistura de um líquido não aconteça de forma eficiente, tanto radialmente quanto longitudinalmente, algumas partículas de um volume da água que esteja sendo desinfetado receberão inevitavelmente doses diferentes, ocasionando assim, uma ineficiência no momento da inativação de microrganismos. Ainda em relação a desinfecção em meios líquidos, pode-se citar três possíveis concepções utilizadas para tal finalidade, que são elas as lâmpadas imersas no líquido; as lâmpadas instaladas externamente a

tubos transparentes à radiação ultravioleta e as lâmpadas instaladas sobre o efluente; cujas características e desvantagens estão descritas na **Tabela 2** (DANIEL e CAMPOS 1992).

Tabela 2 - Relação de três concepções utilizadas para o processo de desinfecção em meio líquido

CONCEPÇÕES	CARACTERÍSTICAS	DESVANTAGENS
LÂMPADAS IMERSAS NO LÍQUIDO	Necessidade de blindagem dos circuitos elétricos e revestimento de invólucros de quartzo para evitar a redução de emissão de radiação UV devido à redução de temperatura da lâmpada.	Difícil manutenção, pois é necessário que haja periodicamente uma limpeza nos invólucros de quartzo, o que é preciso a desmontagem da unidade, devido a aproximação das lâmpadas, além da possibilidade de possíveis curtos-circuitos, reduzindo a eficiência do processo.
LÂMPADAS EXTERNAS AO TUBO	As lâmpadas são instaladas externamente ao tubo. Não se pode utilizar tubos de grandes diâmetros, pois sempre há absorção de radiação mesmo que pequena pela matéria do mesmo.	Há perda de energia devido a localização de sua instalação, pois as lâmpadas emitem radiação em todas as direções e apenas parte dela atinge o líquido. Além disso, para manter a dose exigida é necessário um percurso longo para aumentar o tempo de exposição, fazendo necessário que os tubos sejam montados paralelamente, com comprimento aproximado aos das lâmpadas.
LÂMPADAS SOBRE O EFLUENTE	As lâmpadas são fixas acima do líquido e paralelamente ao escoamento. A cúpula deve ser construída com material refletor ultravioleta. Essa concepção possui fácil manutenção, não sendo necessária a inativação de todo o sistema em função de um único módulo, além de não exigir a blindagem de circuitos elétricos.	

Fonte: (DANIEL e CAMPOS, 1992)

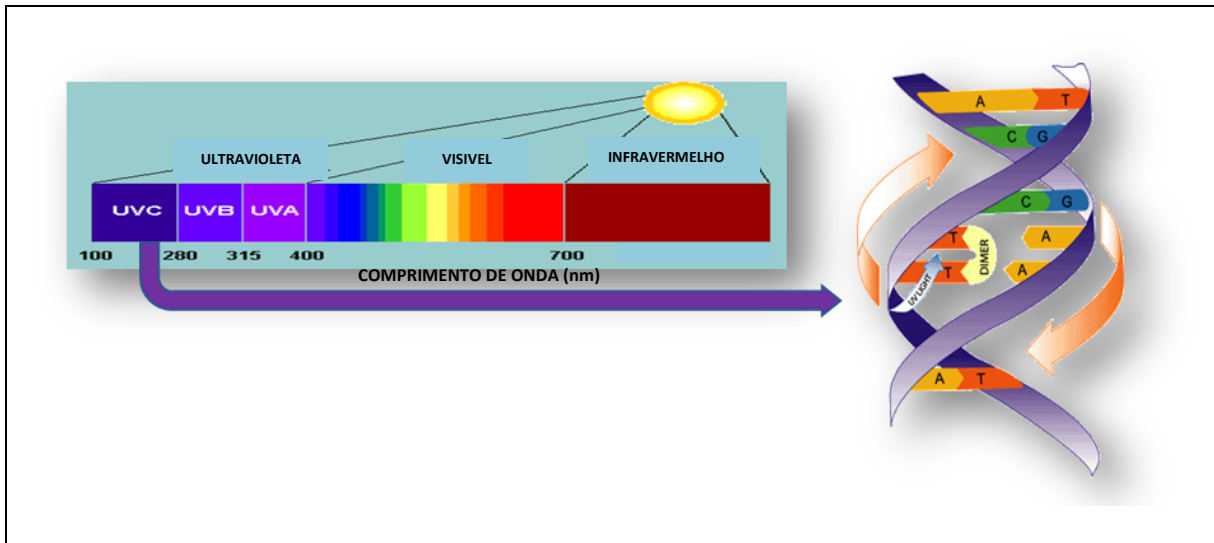
2.2.4 MECANISMO DE INATIVAÇÃO

A absorção energética realizada por um complexo químico pode provocar quatro possíveis alterações moleculares, sendo elas excitação eletrônica, rotação, vibração e quebra de ligação. Haja vista os efeitos advindos dessa absorção dependem diretamente do comprimento de onda da fonte de radiação e da arquitetura das ligações intramoleculares. SKOOG (1994) destaca que dentre as faixas de radiação presentes no espectro eletromagnético, a região ultravioleta é a que possui energia mais propícia ao rompimento de ligações químicas.

A radiação ultravioleta se baseia no aniquilamento de ácidos nucleicos, proteínas e das demais moléculas essenciais aos microrganismos, mediante alterações fotoquímicas letais. Dentre os efeitos microbiológicos induzidos pela radiação UV compreendidos da faixa de 240 nm a 260 nm, os mais importantes são os que resultam na modificação do código genético do DNA e RNA da célula (BILOTTA, 2000).

Do ponto de vista biológico, as consequências advindas nas modificações do RNA são menos intensas, já que ele se encontra em forma de várias cópias dentro da célula, como por exemplo, o RNA transportador, mensageiro e o ribossômico, auxiliarão assim na sua restauração. Em contrapartida, quando ocorrem lesões no DNA, de modo geral, são irreversíveis, originando organismos incapazes de se replicar. Essa exposição à radiação UV acarreta inúmeras alterações no DNA, dentre elas a quebra de uma das fitas⁴ (quebra simples) ou de ambas as fitas (quebra dupla), oxidações de base etc. Duas lesões são características da radiação UV, que são os dímeros de pirimidina (timina) ou a fotoproducto 6-4 (liga a timina à citosina ou à timina), levando à distorção do DNA, como mostra na **Figura 6** (KOWALSKI, 2009).

⁴ Fita: cadeias de polinucleotídeos que são constituídas por vários nucleotídeos. Os nucleotídeos são unidos uns aos outros por ligações denominadas fosfodiéster (grupo fosfato ligando dois açúcares de dois nucleotídeos). Nessas ligações, um grupo fosfato conecta o carbono 3' de um açúcar ao carbono 5' do próximo açúcar.

Figura 6 - Alteração da sequência de aminoácidos no DNA de uma célula após exposição à luz UV

Fonte: (Fabricante de lâmpadas UV, ATLANTIUM, 2022)

Entretanto, existe uma dose de radiação mínima necessária para que os microrganismos sejam expostos, que ocasione danos o suficiente que dificulte ou não permita a regeneração da mesma. Esse feito é denominado fotorreativação e foi descoberto por Kelner e Dulbecco no ano de 1949 (WEF, 1996).

Há uma variação no mecanismo da fotorreativação devido às diferentes espécies microbianas, levando em consideração sua estrutura biológica e a extensão da lesão sofrida. Quando submetidos a alta dosagem, os patógenos acumulam diversos danos, na forma de dímeros de pirimidina, que acabam impedindo sua recuperação. De modo que a recuperação depende da dose inicial da radiação, da dose fotorreativante e das características biológicas da espécie em irradiação (WEF, 1996).

2.2.5 DOSAGEM DE RADIAÇÃO

Dose de radiação ultravioleta é a expressão utilizada para representar a exposição de um determinado organismo a irradiação na faixa germicida. Essa dose é dada pelo produto da intensidade de radiação em relação ao tempo de exposição (**Equação 2.4**):

$$D = I \cdot t \quad (2.4)$$

onde D é a dose de radiação UV; I é a intensidade de radiação e t é o tempo de exposição.

BARROSO (2009) ressalta que a inativação de um número fixo de microrganismos pode ser atingida em um curto intervalo de tempo com uma intensidade alta ou em baixa intensidade por um longo período, ou seja, a dose se manterá constante com a combinação correta. Além disso, frisa que a fração de sobrevivência pode ser dada da seguinte forma (**Equação 2.5**):

$$\frac{N}{N_0} = f(D), \quad (2.5)$$

onde N_0 e N são as concentrações de microrganismos, respectivamente, antes e depois da irradiação UV, usualmente dadas em (organismos/100 ml) e $f(D)$ é função da dose.

A propagação da radiação ultravioleta não ocorre em um meio com intensidade constante e similar a qual foi gerada na fonte. Isso ocorre devido a um efeito de atenuação. Objetivando estimar esse referido efeito, é empregado um coeficiente de absorbância (α), a fim de retificar a absorbância do meio (**Equação 2.6**):

$$\alpha = \frac{2,303 A}{L}, \quad (2.6)$$

onde α é o coeficiente de absorbância; A é a absorbância e L é a espessura do meio.

Em relação a aplicação de irradiação UV em volume de controle, como é o caso dos filtros de água, no qual essa tecnologia é empregada, se considera a intensidade média no meio em que existe a irradiação. Logo, a inativação dos microrganismos se dá pela **Equação 2.7** (MOURA, 2000):

$$\ln \frac{N}{N_0} = -k \cdot I_M \cdot t, \quad (2.7)$$

onde N_0 e N são as concentrações de microrganismos, respectivamente, antes e depois da irradiação UV; K é o coeficiente de letalidade à UV; I_M é a Intensidade média da radiação germicida e t é o tempo de exposição à radiação.

Existe uma resistência intrínseca dos diferentes tipos de organismos à inativação por radiação UV, a qual varia de acordo com a espécie e a fatores no meio em que está inserido. De maneira geral, a dose de radiação UV necessária para inativar os agentes patogênicos se

assemelha a que é utilizada para promover o mesmo resultado nas bactérias, normalmente usadas como indicadores de teor de qualidade da água, por exemplo.

De acordo com GONÇALVES (2003), as bactérias e os vírus são os microrganismos com maior sensibilidade à radiação UV, para os quais, a dose efetiva está em torno de 20 mW/cm² que é o suficiente para inativar uma quantidade significativa das espécies. Em contrapartida, os helmintos e protozoários, por possuírem proteções naturais se tornam multirresistentes em diferentes situações e ambientes. Dessa forma, se faz necessário o uso de elevadas doses para que haja uma inativação eficiente. A seguir é apresentada uma compilação das doses de UV para inativação de diversos organismos patogênicos (**Tabela 3**).

Tabela 3 - Doses de radiação para inativação de patógenos

Bactéria	Dose UV (mWs/cm ²)	Vírus	Dose UV (mWs/cm ²)
<i>Argobacterium lumenfaciens</i>	8,5	Adenovírus Tipo III 3	4,5
<i>Bacillus anthracis</i>	8,7	Bacteriófagos	6,6
<i>Bacillus anthracis</i> (esporos de Antrax)	46,2	Coxsackie	6,3
<i>Bacillus paratyphonsus</i>	6,1	Hepatite A*	3,7
<i>Bacillus subtilis</i>	11	Hepatite Infecciosa	8
<i>Clostridium tetani</i>	23,1	Influenza	6,6
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	6,5	Mosaiço do tabaco	440
<i>Dysentery bacilli</i>	4,2	Poliovírus*	7,5
<i>Eberthella typhosa</i>	4,1	Rotavírus	24
<i>Escherichia coli</i>	6,6	Rotavírus SA – 11*	9,9
Espécies de <i>Salmonella</i>	15,2		
Esporos de <i>Bacillus subtilis</i>	22	Protozoários e helmintos	
<i>Legionella bozemanii</i>	3,5	Cistos de <i>Giardia lamblia</i>	100
<i>Legionella pneumophila</i> (doença dos legionários)	12,3	<i>E. hystolytica</i>	8,4
<i>Leptospira interrogans</i>	6	Ovos de nematodos	40
<i>Micrococcus candidus</i>	12,3		
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	10	Algas	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (cepas ambientais)	10,5	<i>Chlorella vulgaris</i>	22,0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (cepas laboratoriais)	3,9	Alga azul-verde	420
<i>Salmonella enteritidis</i>	7,6		
<i>Salmonella paratyphi</i> (febre entérica)	6,1	Fungos	
<i>Salmonella typhi</i> (febre tifóide)	7	<i>Aspergillus amstelodami</i>	77
<i>Salmonella typhimurium</i>	15,2	<i>Aspergillus glaucus</i>	88
<i>Sarcina lutea</i>	26,4	<i>Aspergillus Niger</i>	330
<i>Shigella dysenteriae</i> – disenteria	4,2	<i>Penicillium digitatum</i>	88
<i>Shigella flexneri</i> – disenteria	3,4	<i>Penicillium expansum</i>	22
<i>Shigella paradyenteriae</i>	3,4	<i>Rhizopus nigricans</i>	220
<i>Staphylococcus aureus</i>	6,6		
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	5,8	Leveduras	
<i>Streptococcus faecalis</i>	10	Levedura do pão	8,8
<i>Streptococcus hemolyticus</i>	5,5	Levedura de cerveja	6,6
<i>Vibrio cholerae</i>	6,5	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	13,2
<i>Vibrio comma</i> (cólera)	6,5	<i>Saccharomyces ellipsoideus</i>	13,2

Fonte: (LACERDA, 2010)

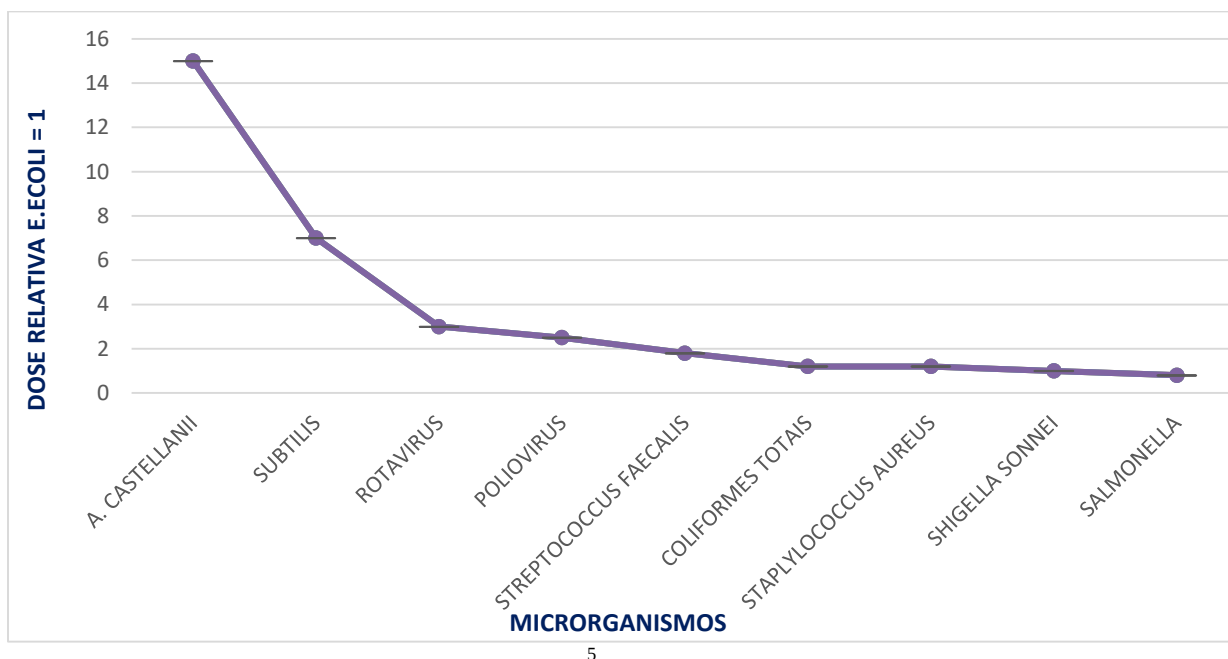
2.3 RESISTÊNCIA DOS MICRORGANISMOS À RADIAÇÃO UV

Os microrganismos podem ser classificados em subgrupos de acordo com suas características gerais, sendo eles: vírus, bactérias, vermes, protozoários, fungos e algas. Devido a vasta diversidade desses organismos, acomete na mesma proporção diferentes características biológicas entre as espécies, resultando em discordância quanto ao índice de resistência à desinfecção (WEF, 1996).

De forma geral, a resistência desses patógenos a ação dos agentes desinfetantes, físicos e químicos, segue em ordem decrescente de respectivamente os protozoários, vírus e bactérias (BITTON, 1994). Essa afirmação é comprovada quando feito a análise percentual de diferentes espécies que são expostas ao mesmo agente desinfetante e intervalo de tempo.

Como esperado, quanto maior o índice de resistência um determinado micro-organismo possui à radiação, maior é o tempo de exposição necessário para atingir a taxa de inativação eficiente. Para ilustrar a influência da resistência microbiana na eficiência de desinfecção com UV, são mostradas na **(Figura 7)** as variações na dose de radiações para a inativação de 99% de diversos microrganismos (BITTON, 1994).

Figura 7 - Influência da resistência microbiana na desinfecção com radiação UV



Fonte: (Adaptada de BITTON, 1994).

⁵ E. Ecoli é uma bactéria que habita naturalmente o intestino das pessoas e de alguns animais, sem que haja qualquer sinal de doença.

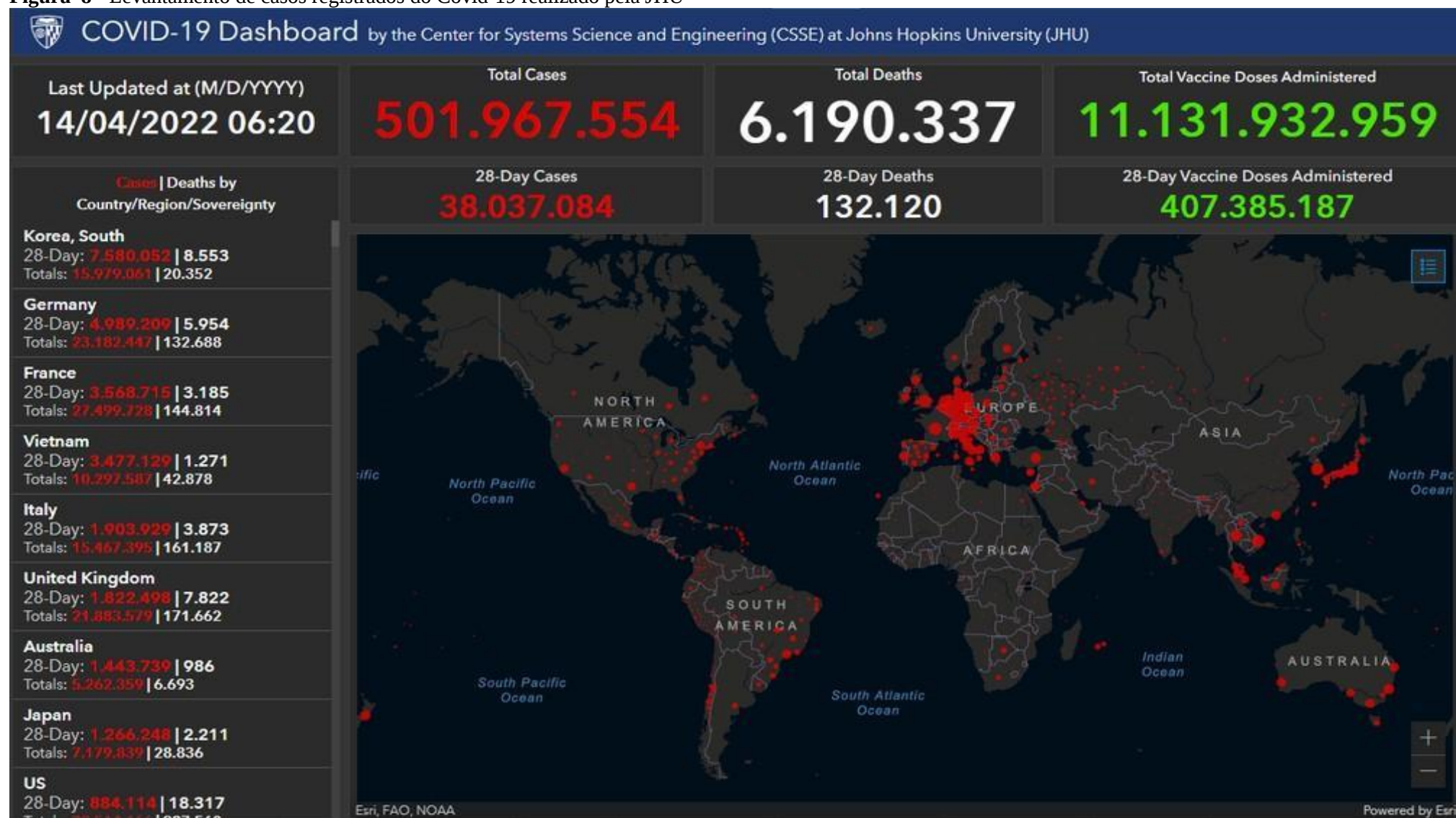
2.4 PANDEMIA DO COVID-19

O SARS-CoV-2, espécie de vírus da família *Coronaviridae*, também conhecida como síndrome respiratória aguda grave coronavírus 2, começou a se espalhar por toda a China ainda no final do ano de 2019 (WU, 2020).

Foi constatado que se trata de um vírus com elevadas taxas de transmissividade e letalidade, sendo possível verificar isso a partir dos números exorbitantes de casos a nível mundial em tão pouco tempo, levando assim, a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarar em 11 de março de 2020, pandemia do Covid-19 (SUN, 2020).

Mesmo com o avanço dos métodos de prevenção e tratamento, o SARS-CoV-2 ainda continua se alastrando. Segundo um levantamento de dados realizado pela Universidade Johns Hopkins (JHU) em 14 de abril de 2022, foi constatado até aquela data, mais de 500 milhões de casos registrados de COVID-19 em todo o mundo (**Figura 8**).

Figura 8 - Levantamento de casos registrados do Covid-19 realizado pela JHU



Fonte: (reprodução/ Un. Johns Hopkins, 2022).

Apesar de ser alvo de estudos a nível global nos últimos dois anos, muitas questões que envolvem o Covid-19 ainda são consideradas incógnitas para os cientistas. No que diz respeito à transmissão do vírus, os fatores ambientais e suas variações passaram a ser um dos pontos mais discutidos (COHEN, 2020).

RATNESAR-SHUMATE (2020) aponta sugestões realizadas partindo de estudos laboratoriais, que o vírus SARS-CoV-2 deve ser tratado de forma semelhante às demais cepas relacionadas com o coronavírus e influenza. Portanto, uma das possibilidades apontadas é o uso da radiação UV para alcançar a inativação do vírus.

2.4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SARS-CoV-2

O coronavírus além de infectar os seres humanos, possui uma vasta variedade de espécies como alvo, como morcegos, pássaros, camundongos, entre outros animais (WANG et al., 2006).

Os coronavírus possuem uma geometria esférica e contêm picos de glicoproteínas que fornecem a eles uma aparência de coroa bem característica. O nucleocapsídeo é simétrico e os conferem um diâmetro que varia de 60 nm a 140 nm (BARSENA et al., 2009). Dentre suas características, o coronavírus é conhecido por possuir o maior genoma entre os vírus de RNA, com um tamanho que varia de 26 kb e 32 kb. Além disso, geralmente os genomas do coronavírus compreendem uma proteína de superfície, uma proteína de membrana, uma proteína de envelope e uma proteína de nucleocapsídeo (MESTRES, 2006; MALIK, 2020)

ASTUTI (2020) ressalta que o SARS-CoV-2 é um vírus que pertence à família *Coronaviridae* e a subfamília *Orthocoronaviridae*. Atualmente, existem cerca de quatro gêneros diferentes do coronavírus, sendo eles alfa, beta, gama e delta.

Segundo mostram estudos realizados recentemente, o genoma do SARS-CoV-2 varia de 29,8 kb e 29,9 kb e contém seis proteínas suplementares não descobertas em outros coronavírus (KHAILANY, 2020). Em relação às características gerais e específicas, o SARS-CoV-2 se assemelha em torno de 88% com dois coronavírus detectados em Zhoushan (China), no ano de 2018, apontados como causadores da síndrome respiratória aguda (SARS). Além desses, o SARS-CoV-2 possui cerca de 79% de semelhanças com o SARS-CoV (2003, isolado em Guangdong, China) e 50% com a MERS-CoV (síndrome respiratória do Oriente Médio, 2012, Arábia Saudita) (LU et al., 2020).

Mesmo havendo as diferenças, o SARS-CoV e o SARS-CoV-2 utilizam do mesmo receptor de superfície para adentrar as células, ou seja, enzima conversora de angiotensina 2 (ACE2), visto que é uma informação indispensável para o sucesso de pesquisas de tratamento antiviral (HOFFMANN, 2020).

A origem animal do SARS-CoV-2 se mantém desconhecida. Visto que essa informação é de suma importância para a vigilâncias de surtos, prevenção de surgimento de novas variantes e desenvolvimento de protótipos para sua inativação.

2.4.2 TRANSMISSÃO DO SARS-CoV-2

Os principais veículos de transmissão do SARS-CoV-2 são gotículas respiratórias, que estão na faixa de 5 µm e 10 µm; gotículas pequenas de fala e contatos de (fômite)⁶ [(ANFINRUD *et al.* (2020); LI *et al.* (2020); STANDNYTSKYI *et al.* (2020)]. Mesmo acreditando-se que a transmissão do SARS-CoV-2 possa acontecer também via aerossol (< 5 µm), existe apenas um estudo que valida o potencial de aerossolização do vírus sob controle das condições laboratoriais (VAN DOREMALEN *et al.* 2020).

Além dessas vias de transmissão, outras foram investigadas, a partir do momento em que indícios da existência do vírus foram constatados em diferentes amostras, como o de água, sangue, urina e fezes [KITAJIMA *et al.* (2020); WANG *et al.* (2020); RANDAZZO *et al.* (2020)]. Entretanto, há um estudo que verifica que o RNA pode ser revelado nas fezes em aproximadamente 33 dias após a última constatação do SARS-CoV-2 em amostras respiratórias (WU *et al.* 2020).

Há indícios da presença do vírus em águas residuais, constatando assim, a rota de transmissão fecal-oral. Em contrapartida, enquanto ainda se investiga os possíveis hospedeiros intermediários, o curso humano-animal já foi analisado e confirmado por meio de estudos [LAM *et al.* (2020); SHI *et al.* (2020); ZHOU *et al.* (2020)]. Os resultados dessas pesquisas são necessários para que seja possível o desenvolvimento de tecnologias eficazes para a prevenção e inativação do SARS-CoV-2.

Segundo KAMPF *et al.* (2020), o coronavírus se mantém infeccioso durante 9 dias em plástico, vidro e metal à temperatura ambiente. No entanto, o SARS-CoV-2 apresentou-se ser mais estável em vidro, plástico e aço inoxidável, numa faixa de tempo que varia de 72 h a 96 h,

⁶ Fômite é qualquer objeto inanimado ou substância capaz de absorver, reter e transportar organismos contagiantes ou infecciosos (de germes a parasitas), de um indivíduo a outro.

em relação a superfícies esponjosa como, papel e papelão, por exemplo (VAAN DOREMALEN *et al.* 2020).

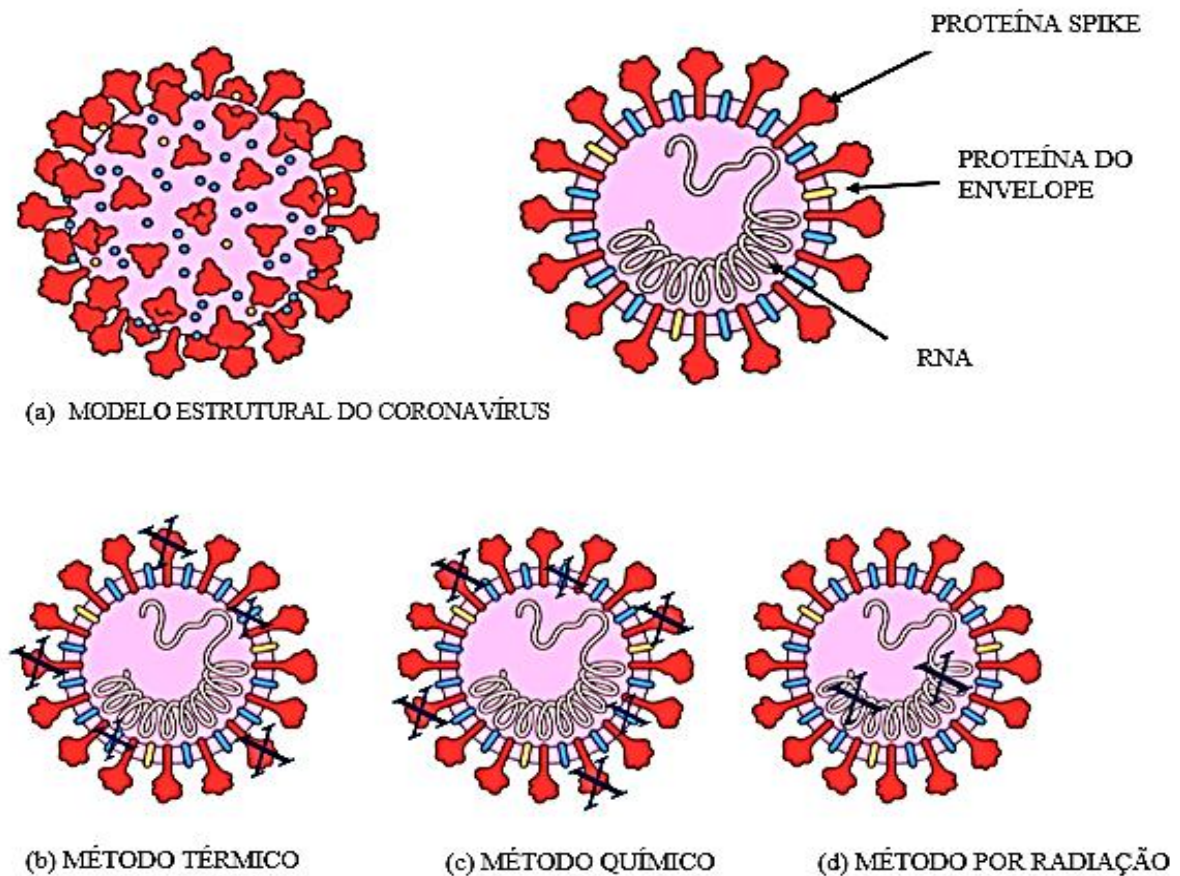
A inativação do SARS-CoV-2 e dos demais coronavírus, aumenta de acordo com as temperaturas mais elevadas. Haja vista que o primeiro tolera uma ampla faixa de pH (CHIN *et al.* 2020). Enquanto, agentes desinfetantes comumente utilizados, como etanol (62-71%), peróxido de hidrogênio (0,5%) e hipoclorito de sódio (0,1%) possuem eficácia em menos de 1 minuto após o contato com a superfície. Além desse, ainda existe os agentes biocidas [cloreto de benzalcônio (0,05-0,25) e digluconato de clorexidina (0,02%)] que por sua vez, são considerados menos eficazes (KAMPF *et al.* 2020).

2.5 TECNOLOGIAS DE DESINFECÇÃO

Do ponto de vista histórico, as infecções bacterianas multirresistentes a antibióticos, em sua maioria, originam-se em ambientes hospitalares. Porém, houve uma mudança nesse cenário desde o ano de 2019, com o início da pandemia do COVID-19. Desde então, a comunidade científica vem criando e aprimorando tecnologias para potencializar a desinfecção de ambientes e superfícies, acarretando assim, diminuições significativas dessas infecções [HEALTH QUALITY ONTARIO (2018), CENTER FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (2019)].

De maneira geral, tem-se utilizado produtos químicos como principal agente desinfetante por apresentar um alto teor de esterilização comprovada. Porém esse protocolo de desinfecção tem como consequência a geração expressiva de resíduos ambientais. Dessa forma, visando a redução de impactos ambientais e aumentar a praticidade, é necessário que seja desenvolvido e apreciado novos métodos alternativos [CASINE *et al.* (2019), ANDERSEN (2019)].

Conhecer o agente patogênico é um fator primordial a ser analisado para que seja realizada a melhor escolha de um método desinfetante. Em relação ao coronavírus, sabe-se que a proteína do envelope, o RNA e a glicoproteína Spike, que são os componentes responsáveis pela estabilidade, replicação e capacidade de direcionamento celular, e se algum desses forem danificados, o vírus consequentemente será inativado [SHANG *et al.* (2020), DARNELL *et al.* (2020), WALLS *et al.* (2004)]. Existem três categorias gerais de métodos de desinfecção, sendo eles: o método térmico (água fervente, forno ou câmaras) e método químico (cloro e peróxido de hidrogênio), em que ambos degradam a proteína Spike e a proteína envelope, e o método Físico (por radiação) que por sua vez danifica o RNA. (**Figura 9**).

Figura 9 - Panorama das estratégias de desinfecção

Fonte: (Adaptada de KORMANN, 2020).

As tecnologias a base dos métodos térmicos têm como principal alvo a glicoproteína Spike, na qual, dependendo da dose térmica (calor e duração), pode produzir um efeito secundário na proteína do envelope. Considerado como o primeiro método de desinfecção desenvolvido, pode ir do mais simples, como uma água fervente, até um mais complexo, como os que possuem a necessidade de sistemas controlados, como fornos ou câmaras, podendo ser de calor seco ou úmido. Devido serem conhecidos por sua desinfecção uniforme, são normalmente usados na desinfecção de roupas de cama e banho, além da esterilização de materiais cirúrgicos (KORMANN, 2020).

Assim como os métodos térmicos, os métodos químicos, tais como o cloro e o peróxido de hidrogênio, têm como finalidade atingir a glicoproteína Spike e a proteína do envelope [GROSSMAN *et al.* (2020), CELINA *et al.* (2020)]. Lenços umedecidos, por exemplo, devido possuírem uma eficiente remoção de grande quantidade de contaminantes, passaram a ser os mais utilizados na desinfecção de superfícies. Em contrapartida, os métodos químicos só desestruturam os vírus que conseguem interagir diretamente. Logo, existe a necessidade da

combinação entre os métodos térmicos e químicos para que haja uma desinfecção eficiente em materiais com geometria mais complexa.

O que há de mais atual em procedimentos de desinfecção é, em sua maioria, a base de radiação (micro-ondas, infravermelho e ultravioleta-c). Os dois primeiros operam de forma indireta. Por exemplo, as micro-ondas excitam as moléculas da água, aquecendo termicamente e consequentemente liquida a glicoproteína. Enquanto a radiação de micro-ondas tem por princípio a desinfecção térmica úmida, a radiação na faixa do infravermelho consegue atuar tanto em ambientes secos quanto úmidos. Enquanto isso, as tecnologias a base de radiação UVC funcionam de forma consideravelmente distinta (SMITH, 2021).

SINHA (2002) e KOIVUNEN (2005) evidenciam que o RNA é constituído por quatro nucleotídeos [Adenina (A), Guanina (G), Uracila (U) e Citosina (C)]. Esses nucleotídeos são divididos em duas categorias [purinas (A, G) e pirimidinas (U, C)] e comumente acontecem as ligações entre estas (A-U, G-C). Quando o RNA é exposto a uma faixa de luz de aproximadamente 260 nm, acomete ligações entre as pirimidinas, alterando a estrutura do RNA, e inibindo assim sua replicação e a reprodução do vírus.

Para que ocorra a inativação eficaz por meio de tecnologias a base de UVC, assim como nos métodos químicos, deve ocorrer a interação direta com vírus. Porém, dentre as vantagens de usar o método a base de UVC, estão a não exposição das superfícies e materiais a produtos químicos tóxicos, a possibilidade de ser realizado em baixas temperaturas e a não produção de resíduos ambientais [KOIVUNEN *et al.* (2005), BERGMANN (2014)]. Esse método é utilizado em tecnologias desenvolvidas para purificação de ar e desinfecção de água.

SOLER *et al.* (2020) enfatiza que no atual cenário pandêmico no qual estamos inseridos, o UVC mostrou possuir um importante grau de eficiência no quesito desinfecção de equipamentos de proteção individual (EPIs), como máscaras, protetores faciais e óculos. Devido a elevada demanda desses materiais em todo o mundo nos primeiros meses da pandemia, se fez necessário que estes pudessem ser reutilizados de forma segura, para evitar a escassez desses EPIs.

Apesar de suas vantagens, os métodos baseados em UVC, caso não operados com segurança, oferecem riscos ao ser humano. A cegueira parcial ou total devido a exposição dos olhos à luz UVC é um desses. No entanto, existem recomendações de segurança que orientam o uso correto de fontes de luz UVC. Porém existe a preocupação por meio dos órgãos responsáveis em relação a acelerada inserção de tecnologias baseadas em UVC no mercado, onde a ausência de padrões de segurança passou a ser uma inquietação crescente.

Se comparadas aos métodos térmicos, as tecnologias de desinfecção baseadas em UVC dispensam grandes fornos e/ou câmaras. De modo geral, não requerem de um investimento alto e os equipamentos podem variar desde uma simples varinha portátil, até sistemas robóticos semi automatizados, reduzindo assim, o tempo de uso. Conforme escolhida a potência UV a ser emitida, a luz precisa ser posicionada próxima a superfície contaminada por um intervalo de tempo fixo, garantindo assim que a esterilização seja efetivada [CASINE *et al.* (2019), GURID *et al.* (2019), SHE *et al.* (2020), HAMZAVI *et al.* (2020)]. Dentre as vantagens do método físico em relação aos demais métodos estão: a não exposição das superfícies e materiais a produtos tóxicos; a não produção de resíduos tóxicos e a possibilidade de ser realizado em baixas temperaturas.

Em relação as fontes de emissão de radiação, as mais usuais são as lâmpadas de xenônio e vapor de mercúrio. São reconhecidas por possuírem baixo custo em sua fabricação e possuem uma curta vida útil. Em contrapartida, os LEDs de UVC, reduzem significativamente o consumo de energia em relação às lâmpadas e com um considerável aumento da vida útil. É possível a projeção de sistemas mais compactos e/ou portáteis devido conter dimensões menores em comparação às lâmpadas anteriormente citadas. LEDs de UVC detém um custo elevado em sua fabricação. O tempo de exposição aumenta quando se utiliza essa fonte, pois a potência de saída varia de baixa a moderada quando comparadas às lâmpadas de xenônio e mercúrio [LI *et al.* (2019), NUNAYON *et al.* (2020)].

SOLER *et al.* (2020) aponta e explana sobre dose de radiação da seguinte forma:

[...] Dose é o produto da intensidade entregue a uma superfície e tempo. Fatores físicos, como a distância entre a fonte e a superfície e o perfil de intensidade da fonte, desempenham um papel no cálculo de quanto tempo uma ferramenta desinfetante UV precisa ser usada para ser eficaz contra diferentes patógenos. Para complicar ainda mais as questões, diferentes tipos de superfície (por exemplo, porosa versus não porosa) requerem dosagens diferentes. Dado o mecanismo de UV-C, fatores biológicos também contribuem. Nomeadamente, porque o UV-C está a iniciar a dimerização das pirimidinas, se a concentração de pirimidinas for mais elevada, pode ser utilizada uma dose mais baixa. Assim, patógenos contendo DNA, que é uma estrutura de dupla hélice, requerem intrinsecamente uma dose menor do que patógenos baseados em RNA, incluindo vírus. Por esta razão, os patógenos virais requerem dosagens mais altas.

Existem fatores a serem levados em consideração para que ocorra uma desinfecção efetiva: conhecer a estrutura do agente patogênico em questão; determinação de uma dose

energética ideal; inteirar-se da superfície a ser irradiada e o modo como será realizada a aplicação. Estas são condições importantes para que haja o processo de desinfecção sem a danificação das superfícies expostas a radiação.

Como já mencionado anteriormente, os protocolos de desinfecção à base de radiação ultravioleta permitem o desenvolvimento de equipamentos desde os mais simples como varinhas UV e câmeras pequenas (utilizada para desinfecção de aparelho celular e utensílios menores), até sistemas mais complexos como os robôs móveis, usados para desinfetar superfícies maiores e objetos que não podem ser movidos. Esses robôs são agrupados em passivos e ativos. O primeiro, opera dentro de seus ambientes e o segundo interage com os componentes de seus ambientes.

Reconhecidos por possuírem um sistema relativamente simples, os robôs passivos são geralmente formados por uma base móvel e uma fonte UVC fixada verticalmente. Já eram amplamente utilizados em ambientes odontológicos e clínicas antes mesmo da pandemia do COVID-19, pois possuem uma comprovada eficiência na inativação de microrganismos resistentes a antibióticos presentes nesses lugares [MARRA *et al.* (2018), LI *et al.* (2019), NUNAYON *et al.* (2020)].

No entanto, no quesito segurança, esses robôs ainda sofrem limitações. Por se tratar de uma tecnologia que é programada para irradiar uniformemente toda a sala e por serem incapazes de interagir diretamente com seus ambientes devido sua detecção limitada, acaba limitando a capacidade de desinfecção apenas para superfícies expostas. Por exemplo, objetos ou superfícies que não ficam à mostra do robô permanecem infectados, por não terem sido irradiados. Esse é um tipo de equipamento que dispensa a presença de pessoas para realizar sua operação. Porém, estudos apontam que superfícies expostas não significa necessariamente que estão cem por cento desinfetadas (MCGINN, *et al.* 2021).

Muito embora o método a base de luz UVC não consiga substituir a desinfecção química e térmica em todas as esferas, o mesmo possui uma eficiente performance na desinfecção de ambientes e/ou superfícies em relação aos demais métodos já aqui citados. Além do mais, é conhecido por se tratar de um método alternativo, especialmente quando o estoque de matérias primas se sobrecarrega.

2.6 LUZ UVC CONTÍNUA VERSUS LUZ PULSADA

De modo geral, as tecnologias a base de UVC dividem-se em dois grupos de fontes, contínuas e pulsadas (LP). Mesmo ambos os grupos possuindo propriedades suficientes para uso na área da saúde, existem indícios de uma melhora dos dispositivos de luz pulsada. Entretanto, todos os testes até então realizados para verificar a eficácia desses dispositivos foram feitos com bactérias, o que pode ter influenciado nos resultados (BOHREROVA *et al.* 2008). Embora estudos apontem o melhor desempenho dos dispositivos compostos por LP, é recomendado que testes dos dois grupos de luzes sejam realizados em condições controladas, evitando assim, falsos positivos [BOLTON *et al.* (2015), GÓMEZ *et al.* (2016)].

UMEZAWA *et al.* (2012) destaca que um mecanismo LP se mostrou mais eficiente do que um UVC contínuo, pois atingiu (> 2 logs) de inativação de oito espécies nosocomiais críticas em um intervalo de tempo de 5 s, onde para um dispositivo de UVC contínuo obtivesse o mesmo feito, foram necessários 25 s a mais em relação ao primeiro. Vale ressaltar que n úmeros Log representam o número de noves na redução percentual e podem ser dados como Log 10: 1 Log = 90%, 2 Log = 99%, 3 Log = 99,9%, 4 Log = 99,99%, 5 Log = 99,999%, e assim por diante.

Em contrapartida, há um estudo que conclui que o tratamento à base de UVC contínuo apresentou melhores resultados se comparado ao de um robô LP no processo de descontaminação de respiradores N₉₅ inoculados com *staphylococcus aureus* (CADNUM *et al.* 2020). Os resultados dependeram diretamente da superfície exposta. Como exemplo disso temos que, o *s. Aureus*, teve sua inativação em > 4 log (UVC contínuo) e $> 2,5$ log (LP) no instante que estavam inoculados na parte superior externa da máscara, enquanto na parte interna a inativação pelo UVC permaneceu em > 4 logs, o tratamento LP não forneceu uma inativação nessa mesma superfície (JEAN *et al.* 2021).

Mesmo possuindo algumas particularidades, ambas tecnologias apresentam propriedades capazes de inativar microrganismos, incluindo os vírus. Em relação a eficiência elétrica e vida útil entre as diferentes fontes não é exato, porque diferente das lâmpadas de mercúrio, o desempenho dos dispositivos LP depende diretamente das condições de operação (JEAN *et al.* 2021).

As lâmpadas de mercúrio de baixa e média pressão possuem uma eficiência UVC de 35% e 5% - 15% com vida útil de 9000 h e 3000 h -5000 h, respectivamente [HEIRING (2004), SCHALK *et al.* (2006), SCHAEFER *et al.* (2007)]. Por outro prisma, até 60% da entrada de energia pode ser convertida em luz em sistemas LP, onde estão inclusos comprimentos na faixa

visível e infravermelho. Entende-se que quanto maior a energia do pulso e a taxa de repetição, menor é a vida útil da fonte, que normalmente se localiza no intervalo de 10^6 a 10^8 flashes (XENON. PULSED UV LIGHT, 2020).

3 ESTADO DA ARTE

Neste capítulo será dada ênfase a alguns trabalhos presentes na literatura científica que fazem uso da radiação UVC para a inativação de agentes patogênicos, inclusive o SARS-CoV-2.

3.1 O USO DA RADIAÇÃO UVC GERMICIDA PARA INATIVAÇÃO DO SARS-CoV-2

Desde o ano de 2020, vem acontecendo um significativo aumento nas pesquisas relacionadas ao uso da luz ultravioleta voltada especialmente para sistemas de esterilização. Esse fato se deve à grande relevância das suas propriedades germicidas já comprovadas, tornando-a, assim, uma importante aliada no processo de higienização de superfícies e objetos. Com essa higienização é possível evitar contaminações por agentes infecciosos, especialmente pelo vírus SARS-CoV-2.

A energia transportada nas ondas ultravioleta está no limite entre a região ionizante e a não ionizante do espectro eletromagnético. Isso indica que essas ondas possuem condições de formar íons ao interagir com a matéria e, consequentemente, causar danos às moléculas de DNA dos agentes infecciosos. Nessa perspectiva, estarão expostas a seguir pesquisas consideradas relevantes para este trabalho.

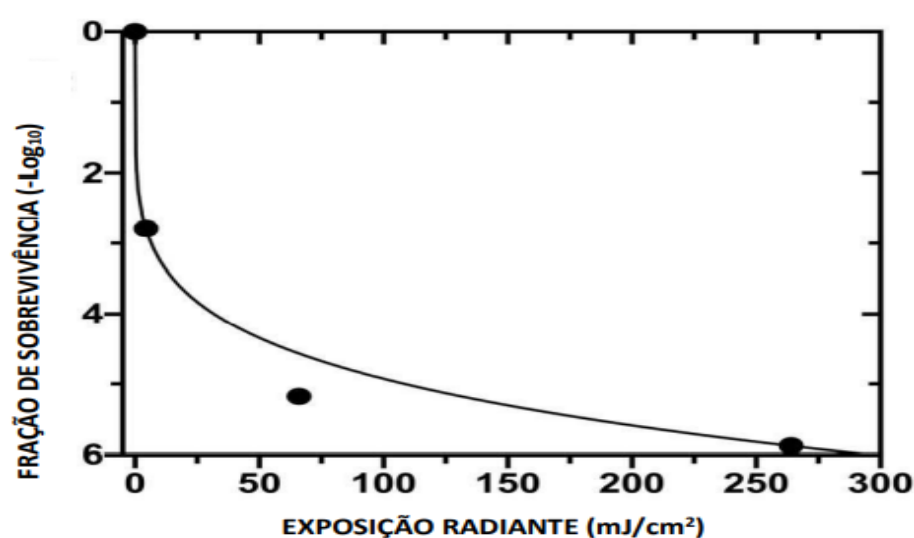
Considerada uma alternativa aos sistemas já desenvolvidos para esterilização, como as autoclaves, por exemplo, a radiação ultravioleta germicida tem se mostrado uma eficiente aliada na descontaminação de vírus. A aplicabilidade desse método foi certificada com uma série de diferentes vírus, passando a ser considerada uma forte aliada no processo de limpeza de superfícies e ambientes. Assim, a radiação UVC passou a ser implantada como um amparo aos protocolos de desinfecção ambiental, apesar da luz não alcançar algumas áreas sombreadas (CASTRO, 2020).

Sabino *et al.*, no ano de 2020, relataram em seu estudo a cinética de inativação e análise de dose letal da radiação UVC emitida por lâmpadas de mercúrio de baixa pressão a 254 nm contra SARS-CoV-2 em um experimento controlado *in vitro* (**Figura 10**). Inicialmente, uma placa foi semeada com 2×10^5 /mL de células Vero (ATCC CCL-81), e em seguida, a placa foi incubada a 37 °C. Uma alíquota do estoque SARS-CoV-2, anteriormente caracterizada, foi descongelada e 100 µL foram diluídos em 900 µL de DMEM-HG. Feito isso, cerca de 200 µL

dessa diluição foram colocados em placas de 24 poços e expostos à lâmpada UVC (UVsurface, Biolambda, Brasil), posicionadas a 30 cm acima da placa. A irradiação emitida foi de $(2,2 \pm 0,2) \text{ mW/cm}^2$. O tempo de exposição foi de 2, 30 e 120 s correspondendo às doses de 4,4, 66 e 264 mJ/cm^2 , respectivamente.

Após a exposição à luz UVC, alíquotas de $83,4 \mu\text{L}$ foram colocadas nas placas contendo as células Vero previamente semeadas e incubadas por 1 h a 37°C com 5% de CO_2 para adsorção viral. A seguir, foram adicionados $166,6 \mu\text{L}$ de meio DMEM-HG contendo 12% de soro fetal bovino e a placa foi incubada por 48 h a 37°C com 5% de CO_2 . Os resultados foram normalizados em relação aos controles para o cálculo das taxas de inibição viral de cada amostra. Para ajustar a cinética de inativação viral e relatar diretamente valores de doses letais (LD) e um fator de tolerância (T) que informa se a taxa de inativação varia ao longo do procedimento de irradiação foi utilizado uma função power-law⁷.

Figura 10 - Cinética de inativação do SARS-CoV-2 promovida pela radiação UV-C a 254 nm



Fonte: (Sabino *et al.*, 2020)

Foi constatado que em menos de um segundo a irradiação UVC foi capaz de inativar mais de 99% das partículas virais do SARS-CoV-2, ou mais precisamente, com a dose de $108,714 \text{ mJ/cm}^2$ em 49,42 s, conforme apresentado na (Tabela 4).

⁷ Power-law: Lei de potência que se refere a duas quantidades, na qual uma mudança relativa em uma quantidade resulta em proporcional mudança relativa na outra quantidade, e independe do tamanho inicial dessas quantidades para acontecer.

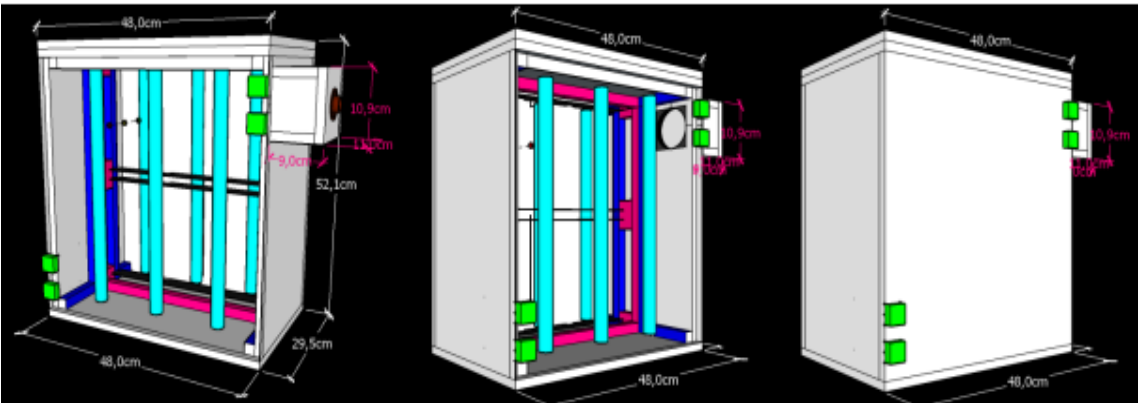
Tabela 4 - Doses letais de UV-C para SARS-CoV-2

INATIVAÇÃO VIRAL (%)	DOSE UVC (mJ/cm ²)	PERÍODO DE EXPOSIÇÃO (s)
90	0.016	0.01
99	0.706	0.32
99.9	6.556	2.98
99.99	31.880	14.49
99.999	108.714	49.42

Fonte: (Sabino *et al.*, 2020)

Em 2020, Souza *et al.*, desenvolveram um projeto de uma cabine para desinfecção de equipamentos de proteção individual (CDEPI) utilizando radiação UVC para esterilização de máscaras N95. Toda a estrutura da CDEPI foi acomodada em uma caixa de MDF, e em cada caixa foram instaladas seis lâmpadas UVC para evitar a troca de posição da máscara manualmente (**Figura 11**).

Figura 11 - Ilustração do projeto da CDEPI e suas dimensões



Fonte: (SOUZA *et al.*, 2020)

Para medir o espectro de emissão das lâmpadas UVC fixadas na CDEPI, foi utilizado um radiômetro UVC GenUV (Daejeon, Coréia do Sul). A linha do espectro que se destacou foi a de 253,7 nm, localizada dentro da faixa considerada germicida. A taxa média de doses coletadas na cabine UVC foi de $(2,7 \pm 0,5)$ mW/cm² (sem revestimento de alumínio) e $(8,6 \pm$

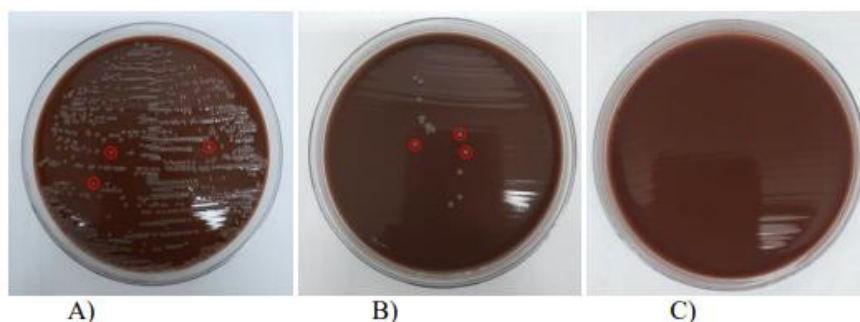
0,3) mW/cm² (com revestimento de alumínio). Para atingir a redução de (3log) de vírus que se assemelham ao SARS-CoV-2, é indicada a dose de 1 J/cm² (N95DECON, 2020). Com a taxa de dose de 8,6 mW/cm² medida na CDEPI, o tempo de exposição pode ser calculado da seguinte forma:

$$1 \text{ J/cm}^2 / 0,0086 \text{ W/cm}^2 = 116 \text{ s } (\sim 2 \text{ min})$$

Com isso, concluiu-se que o ciclo de desinfecção sugerido era de no mínimo 2 min para atingir a dose de 1 J/cm²

Um estudo bacteriológico inicial foi feito com placas com bacilos Gram-negativos para verificar a eficácia da CDEPI. Expôs-se as placas por diferentes tempos de exposição à luz UVC (2, 5 min e 10 min) na CDEPI e outra em uma Cabine de Segurança Biológica (CSB) de classe II, para realizar uma comparação dos resultados. Foi usada uma terceira placa, previamente semeada e não exposta à luz UVC. A placa que foi semeada e não exposta a radiação UVC apresentou um crescimento significativo dos microrganismos [(Figura 12 (A))]. As placas expostas na CSB durante dois minutos apontaram algum crescimento de bacilos [Figura 12 (B)] e após as exposições de 5 min e 10 min não houve crescimento microbiano significativo. No entanto, o tempo recomendado para o processo de desinfecção para a CSB de classe II é de 15 min, que realmente inibiria o crescimento microbiano. Por fim, foi visto uma ausência de crescimento microbiano significativo quando as placas semeadas foram expostas por (2, 5 ou 10) min à luz UVC da CDEPI [Figura 12 (C)], indicando eficiência promissora em seus efeitos antibacterianos, atingindo a redução da carga viral na superfície das máscaras N95, diminuindo o risco de contaminação dos usuários pelo SARS-CoV-2.

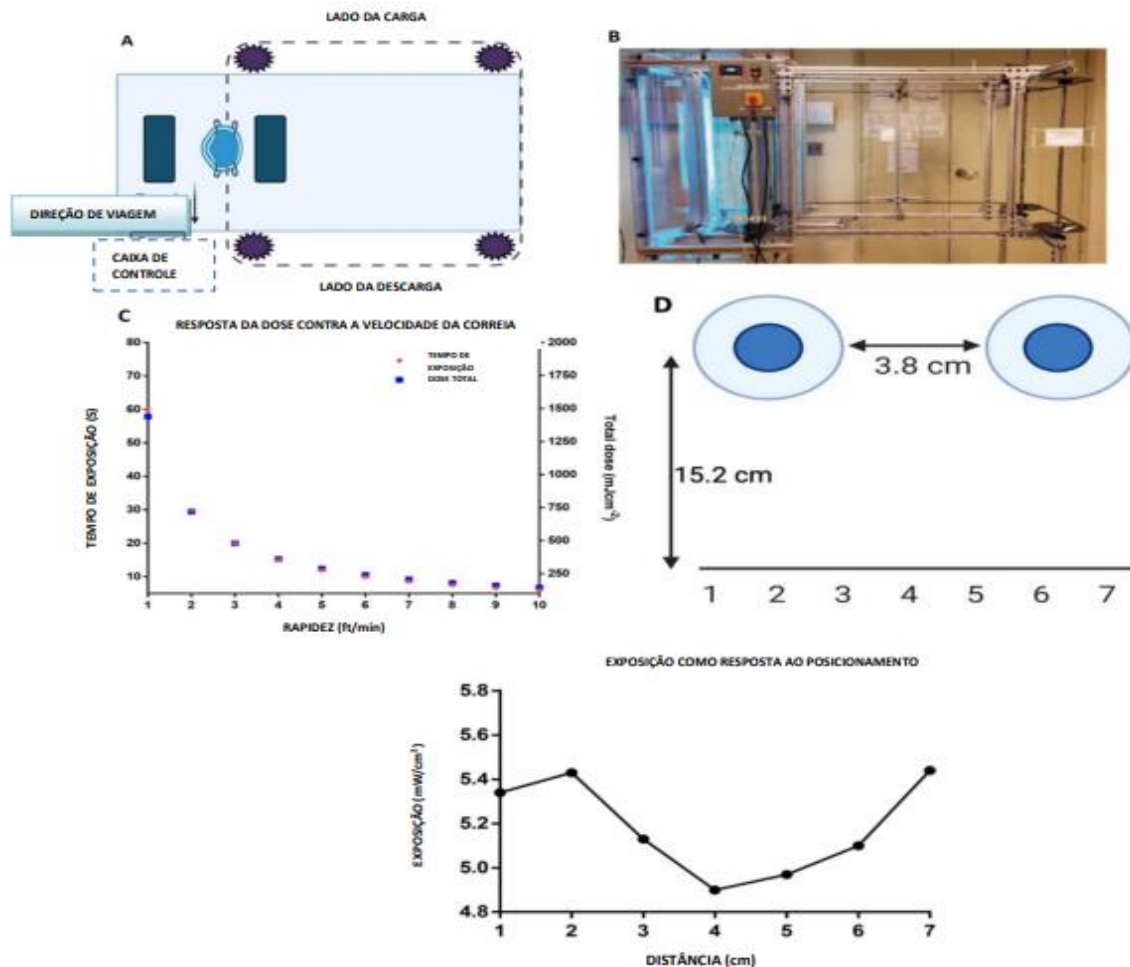
Figura 12 - Resultados do estudo bacteriológico em bacilos Gram-negativos de uma cabine para desinfecção de equipamentos de proteção individual (CDEPI) utilizando radiação UVC para esterilização de máscaras N95.



Fonte: (de SOUZA et al., 2020)

Rathnasinghe e colaboradores, em 2021, divulgaram o resultado de um trabalho no qual desenvolveram um dispositivo UVC germicida escalável para fornecer dose UVC personalizada para descontaminação rápida de respiradores N95 contaminados com SARS-CoV-2. Amostras de respiradores N95 após inoculados com SARS-CoV-2 foram expostos à irradiação germicida UVC por 120 s por lado numa esteira rolante, que resultou em 100% (3,5 log no total) de redução do vírus. Esses dados suportam a reutilização das máscaras N95 após irradiação com UVC e apoiam o uso de descontaminação baseada em UVC do vírus SARS-CoV-2 durante a pandemia de COVID 19. A **Figura 13** demonstra o esquema do aparato experimental utilizado e seus respectivos resultados. Em (A) pode ser visto o esquema do dispositivo germicida operacional. Em (B) está a imagem real do protótipo do dispositivo germicida. Em (C) são apresentadas as alterações na curva de resposta à dose, como uma velocidade de resposta da correia. Ocorrem mudanças nos totais de dose em resposta à velocidade da esteira transportadora e tempo de exposição. O esquema da instalação experimental da lâmpada e posicionamento da superfície é mostrado em (D). Em (E) está o perfil de exposição da lâmpada com base na colocação da superfície conforme indicado na imagem em (D). O detector UVC 254 nm foi colocado em posições distantes 1 cm, cobrindo uma distância total de 7 cm. As medições foram feitas em 3 min em cada ponto de tempo após o aquecimento inicial da lâmpada.

Figura 13 - Esquema, resposta à dose e exposição do dispositivo de descontaminação UVC proposto por Rathnasinghe et al. (2021) para descontaminar respiradores N95.

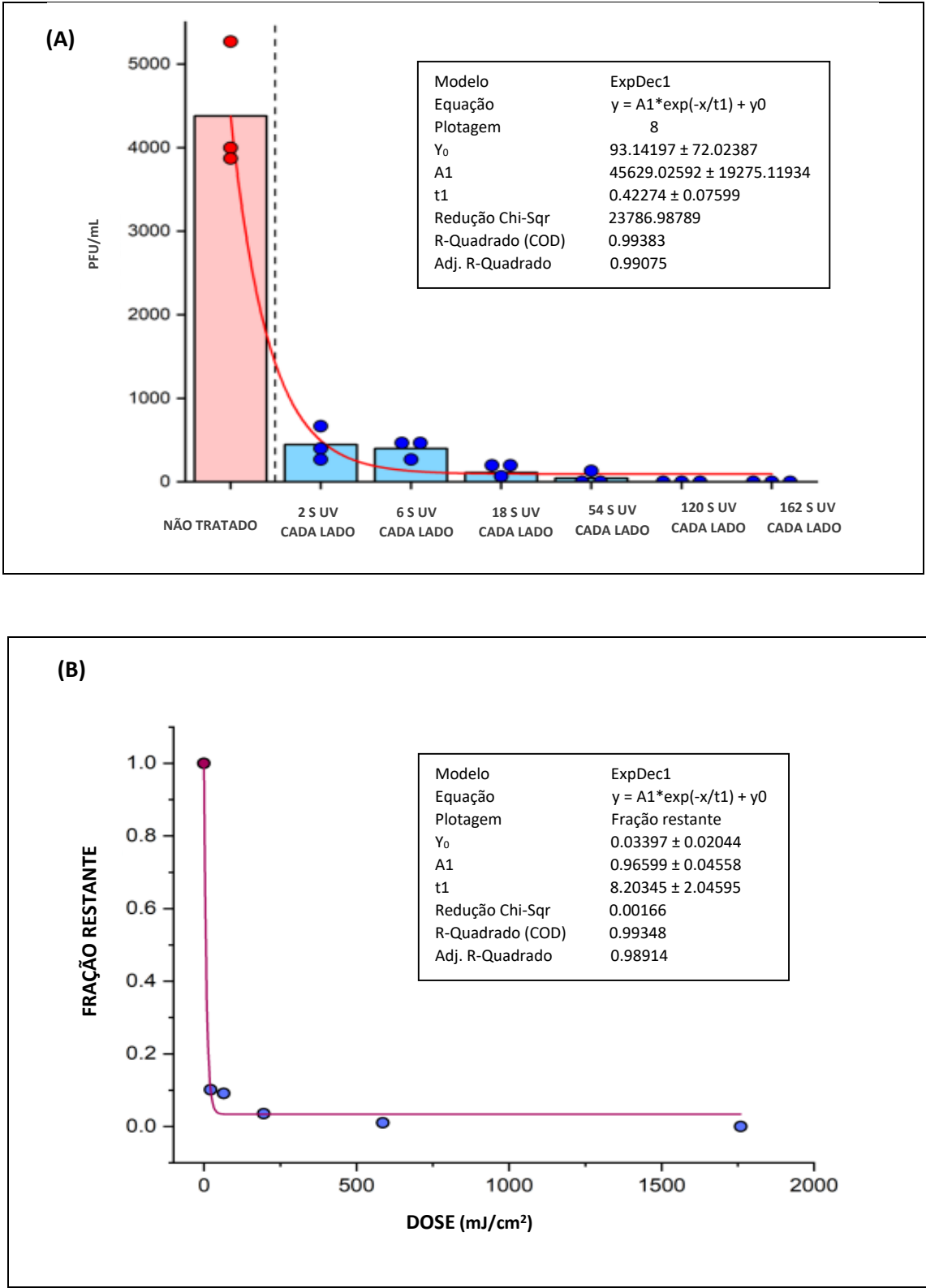


Fonte: (RATHNASINGHE *et al.*, 2021).

Na **Figura 14** são apresentados os resultados do procedimento de inativação do SARS-CoV-2 realizado por RATHNASINGHE *et al.* (2021). Os dados coletados mostram que a irradiação UVC por 240 segundos inativa mais de 3,5 log dos títulos virais de SARS-CoV-2. Em (A) têm-se a redução de log do curso de tempo das reduções virais SARS-CoV-2 em fragmentos da máscara N95 tratados com radiação UVC. Foi realizada a infecção dos quadrados da máscara N95 ($2,5 \text{ cm}^2$) com SARS-CoV-2 por 15 minutos. As máscaras foram então colocadas em aberturas de 10 cm de cultura de células de poliestireno a quinze centímetros da lâmpada. Depois de aquecer a lâmpada, os blocos foram tratados pelo tempo indicado para cada lado. As máscaras foram deixadas em meios de infecção em 4°C durante a noite. Cada ponto representa dados de três experimentos independentes e barras de dados plotados representam a média e o desvio padrão. A linha pontilhada é o nível mínimo de detecção (aproximadamente

67 PFU/m⁻¹). A linha de base para o ensaio é mostrada usando uma linha contínua. Em (B) é mostrada a análise de regressão da redução viral como irradiação UVC pontual.

Figura 14 - Resultados do procedimento de inativação do SARS-CoV-2 realizado por RATHNASINGHE et al. (2021). A irradiação UVC por 240 s inativa mais de 3,5 log de redução nos títulos virais de SARS-CoV-2



Fonte: (RATHNASINGHE et al.,

Inagaki *et al.*, em 2020, avaliaram a eficácia antiviral da irradiação por LED UV, gerando um comprimento de onda de faixa estreita (280 ± 5 nm). Este comprimento de onda foi selecionado devido à maior potência de saída (radiação) e maior vida útil na fase de desenvolvimento do LED considerando a praticidade. Os resultados indicaram uma dose de aproximadamente 38 mJ/cm^2 que se mostrou suficiente para inativar completamente o SARS-CoV-2.

Para a avaliação da inativação do (DUV-LED)⁸, alíquotas de estoque de vírus (150 μl) foram colocadas no centro de uma placa de Petri de 60 mm e irradiadas com $3,75 \text{ mW/cm}^2$ a uma distância de trabalho de 20 mm por diferentes intervalos de tempo (1, 10, 20, 30, 60 s) e cada dose correspondendo a 3,75, 37,5, 75, 112,5 ou 225 mJ/cm^2 , respectivamente.

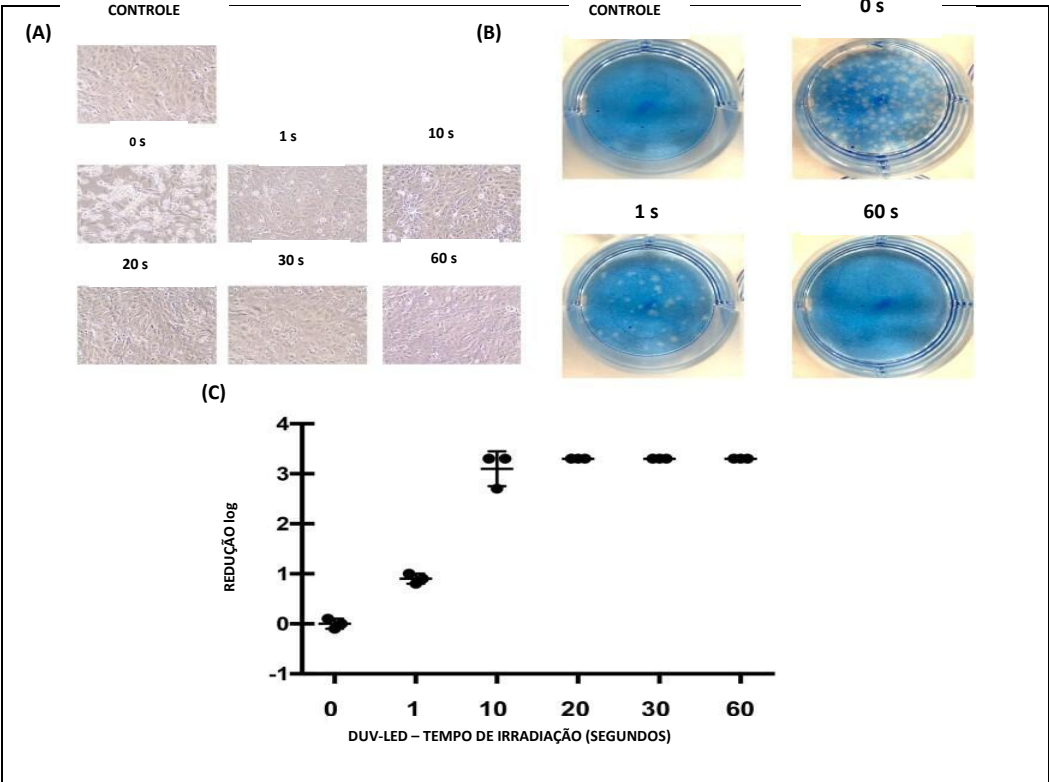
Os efeitos antivirais das irradiações DUV-LED foram avaliados usando a razão log PFU⁹ (acrônimo do inglês *plaque forming units*), calculada como razão $\log \text{PFU} = \log 10 (\text{Nt}/\text{N0})$, onde Nt é a contagem de PFU da amostra irradiada com UV e N0 é a contagem de PFU da amostra sem irradiação UV. Além disso, a taxa de redução do título infeccioso foi calculada como $(1 - 1/10^{\log \text{PFU}}) \times 100 (\%)$. Todos os experimentos foram realizados em um laboratório BSL-3 (*biosafety level 3*).

Foi observado um efeito citopático marcado em células infectadas por vírus sem irradiação DUV-LED [**Figura 15 (A, ver “0 s”)**]. Quando as células infectadas por vírus foram irradiadas por 60 segundos, mostraram morfologia amplamente comparável às células simuladas [**Figura 15 (A, ver “60 s”)**]. As células inoculadas com o vírus irradiado por 1 s pareciam semelhantes às células simuladas com efeitos citopáticos mínimos [**Figura 15 (A, ver “1 s”)**]. O teste de placa [**Figura 15 (B)**] revelou que a irradiação DUV-LED de curto prazo inativou rapidamente o SARS-CoV-2 [**Figura 15 (C)**] e **Tabela 5**. A taxa de redução do título infeccioso de 87,4% já foi reconhecida com irradiação do estoque de vírus por 1 s, e a taxa foi de 99,9% com irradiação por 10 s. Esses resultados mostram que o DUV-LED inativou o SARS-CoV-2 com irradiação, mesmo por um período muito curto.

⁸ DUV-LED: diodos emissores de luz ultravioleta.

⁹ PFU: unidade formadora de placa

Figura 15 - Efeitos inibitórios da irradiação DUV sobre o SARS-CoV-2



Fonte: (INAGAKI et al., 2020)

Em (A) temos alterações citopáticas em células Vero infectadas por vírus sem irradiação DUV-LED (0 s), ou com irradiação DUV-LED por 1, 10, 20, 30 ou 60 s, e cada dose correspondendo a 3,75, 37,5, 75, 112,5 ou 225 mJ/cm², respectivamente. Em (B) é mostrada a formação de placa em células Vero antes e após serem irradiadas com DUV-LED em diferentes tempos. Um resultado representativo é mostrado. (C) inativação dependente do tempo de SARS-CoV-2 por irradiação DUV-LED. Os resultados apresentados são a média e o desvio padrão (DP).

Tabela 5 - Diferenças no título infeccioso do SARS-CoV-2 com diferentes tempos de irradiação DUV-LED. A irradiação DUV-LED de curto prazo inativa rapidamente o SARS-CoV-2.

		Tempo de irradiação DUV-LED				
tempo de irradiação	Controle (sem irradiação)	1 s	10 s	20 s	30 s	60 s
PFU (PFU/mL)	3.7 × 10 ⁴	4.7 × 10 ³	2.7 × 10 ¹	6.7 × 10 ⁰	<20	<20
Taxa de registro de PFU	-	0.9	3.1	>3.3	>3.3	>3.3
Taxa de redução do título de infecção (%)	-	87.4	99.9	>99,9	>99,9	>99,9

Fonte: (INAGAKI et al. 2020)

Storm *et al.*, ainda em 2020, descrevem a inativação completa e rápida do SARS CoV-2 em gotículas úmidas e secas usando irradiação UVC de 254 nm. Para examinar a eficácia de inativação do UVC no SARS-CoV-2, o vírus foi aplicado em placas de cultura de tecidos de plástico e exposto à radiação UV como gotículas úmidas ou secas por períodos variados de 0,8 a 120 s. Sob uma irradiância UVC de 0,849 mW/cm², a inativação parcial ocorreu a partir de 0,8 s de exposição, enquanto a infecciosidade do vírus SARS-CoV-2 foi reduzida abaixo dos níveis detectáveis em apenas 9 s para vírus secos e 4 s para vírus úmidos (**Tabela 6**).

Na **Figura 16** é apresentado o esquema do dispositivo de desinfecção e resultados da descontaminação. Em (A) é vista a foto real do aparelho de teste UVC. Os valores médios de irradiância (B) e desvios padrão (C) foram obtidos a partir do teste de três lâmpadas em determinados pontos dentro do aparelho UVC (mW/cm²). O vírus foi exposto a UVC como gotículas secas (D) ou gotículas úmidas (E). Cada conjunto de dados (amostras secas e amostras úmidas) apresentam uma diminuição da infectividade restante em função do tempo, normalizada para 1. As linhas azuis indicam funções de decaimento exponencial simples, enquanto as linhas vermelhas indicam funções de decaimento exponencial duplo.

Tabela 6 - Redução do título viral (PFU/ml) em diferentes tempos de irradiação

Segundos	0.8	2	3	4	5	6	9	120
vírus molhado	517	170	53	13	13	2	ND	NT
Controle de vírus úmido	2150	2100	2167	2267	1450	1700	1550	NT
redução percentual	75.9	91.9	97.6	99.4	99.1	99.9	> 99,9	N / D
vírus seco	85	39	8	1	ND	ND	ND	ND
Controle de vírus seco	513	523	503	563	613	550	563	420
redução percentual	83.4	92.5	98.4	99.8	> 99,9	> 99,9	> 99,9	> 99,9

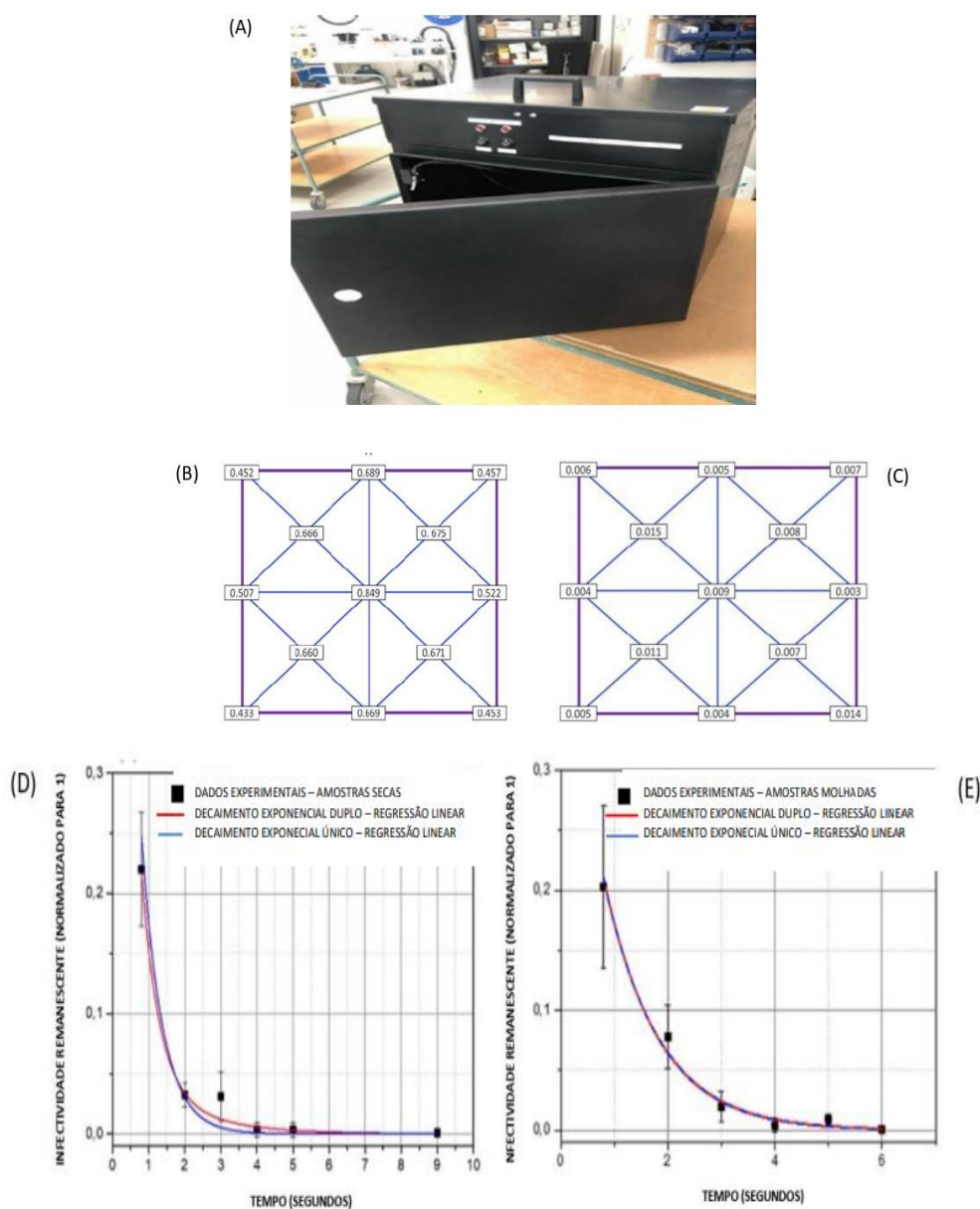
Fonte: (STORM *et al.*, 2020)

Os experimentos para o estudo de STORM *et al.*, 2020, foram realizados em condições específicas e controladas. Fatores como umidade, superfícies texturizadas e presença de poeira e outras partículas podem reduzir a eficácia do UV-C e influenciar a dose necessária para atingir a inativação viral completa. Também é importante considerar a composição das gotículas respiratórias ao avaliar a eficácia da irradiação UV-C de 254 nm. É provável que as gotículas estejam no solvente com uma variedade de outros fluidos biológicos, como muco respiratório, que pode incluir glicoproteínas virais, e a absorção UVC desses fluidos e partículas pode resultar em uma redução nas eficiências de inativação viral. Os resultados obtidos neste estudo

devem, portanto, ser interpretados como a dose mínima de radiação necessária para atingir a inativação viral (STORM *et al.*, 2020).

Borman *et al.*, em 2021, propuseram investigar a eficácia das caixas comerciais de desinfecção UVC-LED na inativação de superfícies de itens pessoais contaminadas com SARS-CoV-2. Foram contaminadas amostras de vidro, metal e plástico representando as superfícies de objetos pessoais, como aparelho telefônico, moedas ou cartões de crédito com SARS-CoV-2 formulado em uma matriz orgânica que imita secreções respiratórias humanas.

Figura 16 - Esquema e resultados da descontaminação do SARS-CoV-2



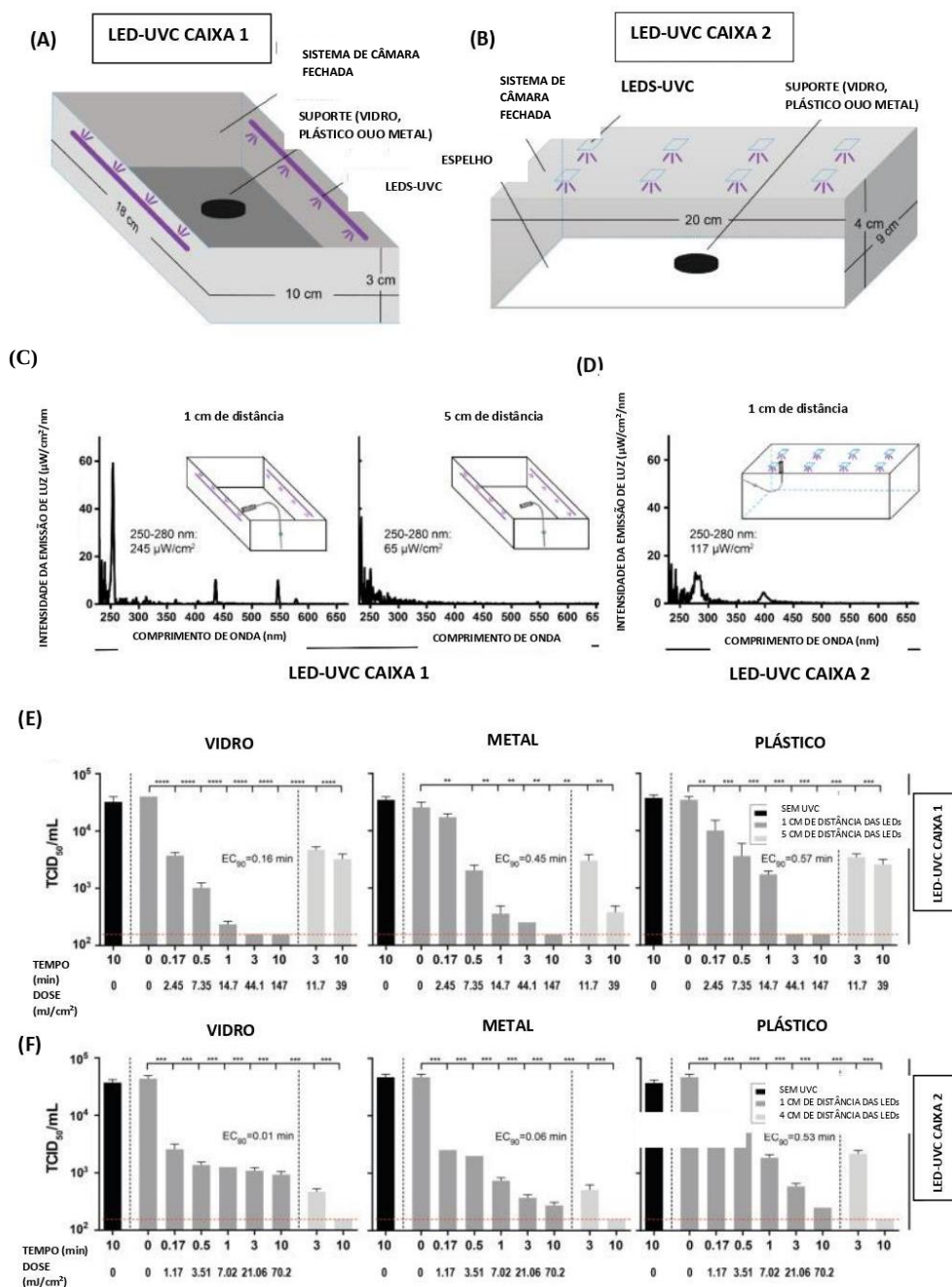
Fonte: (STORM *et al.*, 2020)

Foram utilizadas duas caixas UVC-LED diferentes para esterilização, uma com UVC-LEDs laterais [**Figura 17 (A)**] e outra com UVC-LEDs incorporadas na tampa da caixa [**Figura 17 (B)**]. Além disso, um espelho foi instalado no fundo da câmara. Para a caixa UVC-LED 1, a intensidade da luz emitida foi determinada com $245 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ a uma distância horizontal de 1 cm e $65 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ no centro da caixa a uma distância horizontal de 5 cm dos UVC-LEDs, correspondente a 0,245 e $0,065 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ por segundo, respectivamente, conforme a 17 (C). Para ambas as distâncias, a emissão de pico de comprimento de onda foi medida em torno de 254 nm. Para a caixa UVC-LED 2, a intensidade da luz emitida foi medida com $117 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ a 1 cm de distância vertical dos LEDs, o que corresponde a $0,117 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ por segundo [**17 (D)**]. A emissão de pico de comprimento de onda foi detectada em 280 nm.

Posteriormente, amostras de metal, vidro ou plástico foram infectadas com SARS-CoV-2. Os estoques de SARS-CoV-2 foram diluídos com uma matriz orgânica mimetizando secreções respiratórias, resultando em uma concentração viral final das amostras de $4,5 \times 10^6 \text{ TCID}_{50} / \text{mL}$ para os experimentos em UVC-LED box 1 e $1,8 \times 10^6 \text{ TCID}_{50} / \text{mL}$ para os experimentos na caixa UVC-LED 2, respectivamente. Em comparação com a carga viral imediatamente após a secagem, não houve redução significativa das cargas virais após 10 min sem irradiação [**Figura 17 (E) e (F)**].

A irradiação UVC-LED realizada com caixas UVC-LED provou ser um método apropriado para a desinfecção de superfícies contaminadas com SARS-CoV-2. Amostras de vidro, metal ou plástico contaminadas com SARS-CoV-2 foram efetivamente desinfetadas por UVC dentro de ambas as caixas UVC-LED.

Figura 17 - Ilustrações esquemáticas das caixas UVC-LED usadas para desinfecção UVC e seus respectivos resultados



Fonte: (BORMANN *et al.*, 2021).

Bispo-dos-Santos *et al.* publicaram, ainda no ano de 2021, um estudo em que se estabelece que a dosimetria (UVGI)¹⁰ é a base para a desinfecção eficaz de produtos cosméticos turvos e porosos encontrados em salões de beleza e lojas. Mesmo que já tenha sido relatado em

¹⁰ Irradiação germicida ultravioleta (UVGI) é a radiação eletromagnética que pode destruir a capacidade de reprodução de microrganismos, causando fotoquímica alterações nos ácidos nucleicos.

trabalhos anteriores que o UVGI efetivamente inativa patógenos, incluindo SARS-CoV-2, em superfícies planas e fluidos claros, havia a necessidade de compensar a dosimetria UVGI, pois a radiação UVC penetra mal em materiais turvos, como batons e formulações de maquiagem.

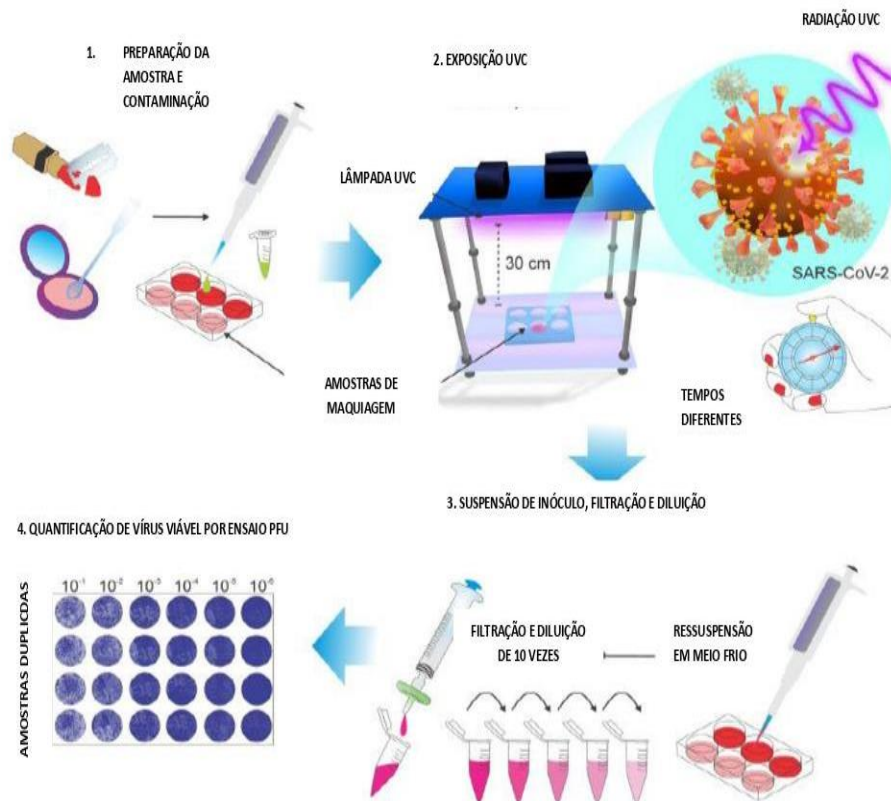
A princípio uma camada de batom ou pó compacto de maquiagem foi colocada em placas de cultura de células de poliestireno, simulando uma superfície de maquiagem que poderia ser contaminada por clientes infectados testando esses produtos em uma loja de cosméticos. Foi usada uma alíquota altamente concentrada de 0,1 mL de SARS-CoV-2 a 10^6 PFU/mL para contaminar experimentalmente cada produto ou superfície plástica [Figura 18 (1)].

As placas foram posicionadas 30 cm abaixo das lâmpadas UVC e submetidas a oito diferentes tempos de exposição UVC (0, 5, 30, 60, 120, 300, 600 e 900 s), correspondendo a 0, 21, 126, 252, 504, 1260, 2520 e 3780 mJ/cm^2 , respectivamente [Figura 18 (2)]. Após a exposição, os inóculos foram suspensos em 0,9 mL de meio de cultura celular frio, filtrados e diluídos em série em diluições de dez vezes [Figura 18 (3)], e em seguida, 0,3 mL de cada diluição foi inoculado em monocamadas de células Vero 90% confluentes em placas por uma hora para adsorção viral. O inóculo foi removido e adicionado para quantificação viral para verificar a diminuição da infectividade [Figura 18 (4)].

Os resultados mostraram que o efeito UVC em pó de maquiagem e batom contaminados com SARS-CoV-2 causou inativação completa de SARS-CoV-2 somente após 300 s de exposição UVC, ou 1260 mJ/cm^2 , para ambos os tipos de substratos cosméticos [Figura 19 (I)]. Doses de irradiação UVC de 21 mJ/cm^2 causaram uma redução de título de aproximadamente 1 $\log_{10}$ para o pó compacto de maquiagem e 2 $\log_{10}$ para o batom, correspondendo a uma diminuição de 71,3% e 97%, respectivamente [Figura 19 (II)]. Utilizando uma dose de 126 mJ/cm^2 , se obteve uma redução de título de aproximadamente 3 $\log_{10}$, ou 99,7% e 99,6% para o pó compacto e o batom, respectivamente [Figura 19 (II)]. As curvas de inativação foram estatisticamente idênticas entre o pó de maquiagem e o batom, enquanto ambos os grupos apresentaram diferenças significativas no fator de tolerância (T) com a superfície de plástico conforme apresentada na Figura 19 (III).

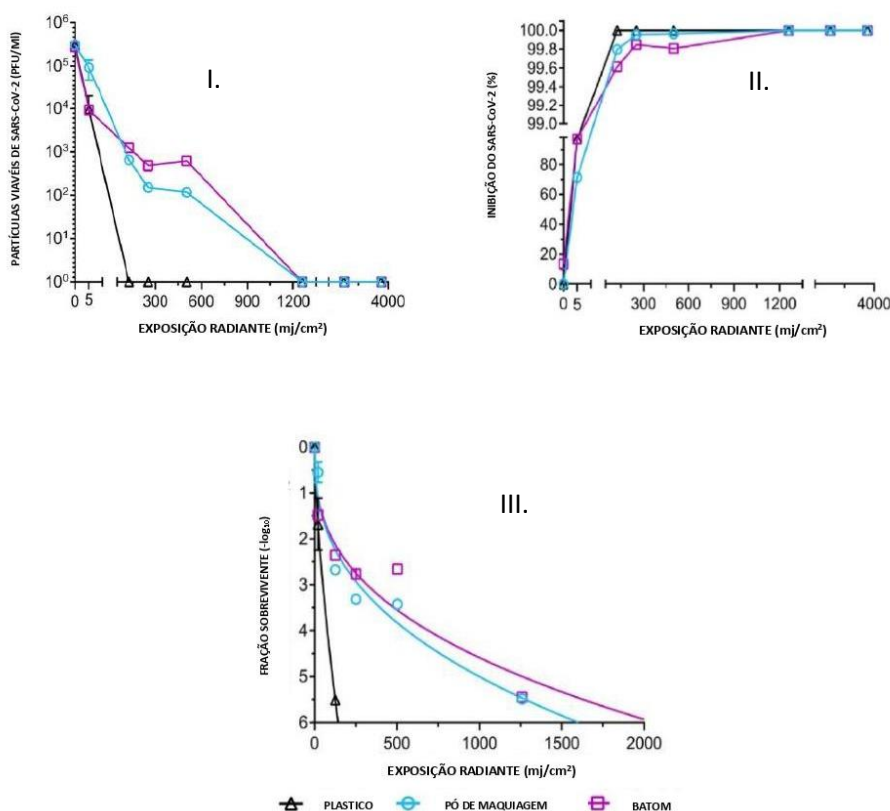
Os resultados obtidos no estudo mostraram que era necessário um aumento de 10 vezes na dose de UVC para obter eficácia microbicida completa ($> 5\log 10$) nos produtos cosméticos (1260 mJ/cm^2) quando comparados às superfícies planas de plástico (126 mJ/cm^2).

Figura 18 - Esquema do ensaio de atividade virucida UVC 254 nm contra SARS-CoV-2 em produtos cosméticos turvos e porosos.



Fonte: (BISPO-DOS-SANTOS *et al.*, 2021).

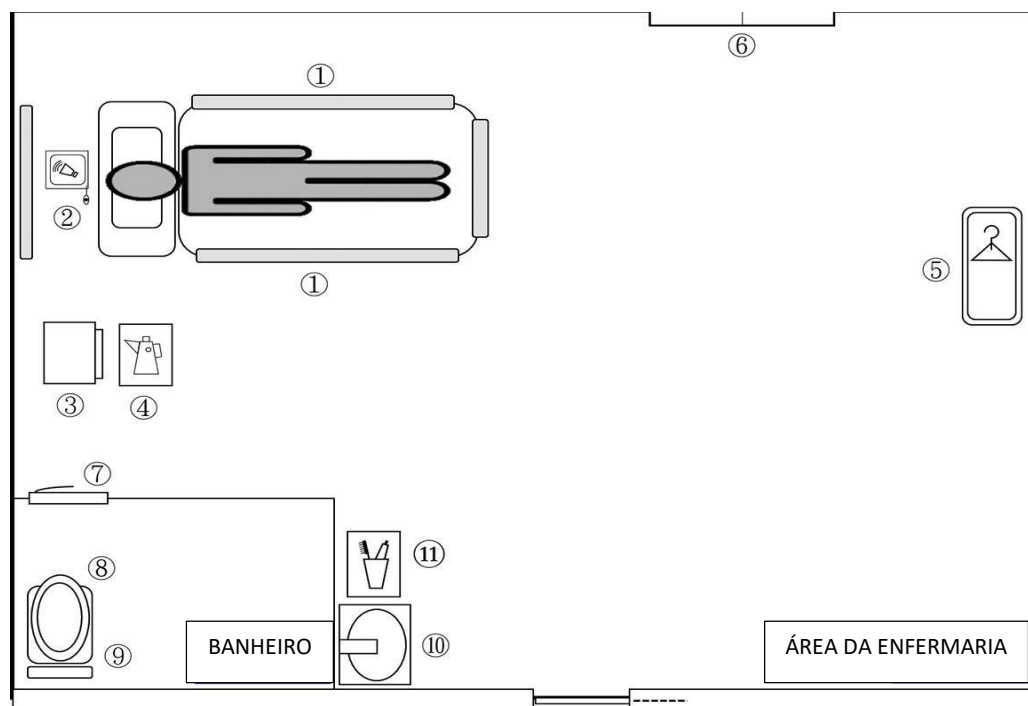
Figura 19 - Representação gráfica da carga viral do SARS-CoV-2 em amostras de cosméticos ou plásticos em função do tempo de exposição à luz UVC (I), a porcentagem de inibição do SARS-CoV-2 viável em função do tempo de exposição UVC (II) e a cinética de inativação



Fonte: (BISPO-DOS-SANTOS *et al.*, 2021).

Em estudos mais recentes, publicados em 2022, SU *et al.* realizaram uma pesquisa preliminar sobre a radiação UVC para ambientes hospitalares contaminados por SARS-CoV-2. Quarenta e oito locais foram testados para SARS-CoV-2 usando reação em cadeia da polimerase da transcriptase reversa (RT-PCR) (taxa de contaminação de 33,3%).

Três pacientes com infecção por SARS CoV-2 com valores de limiar de ciclo de RT-PCR de swab nasal (CtV) inferiores a 25 foram selecionados para o estudo de contaminação ambiental. Cada paciente foi informado de que não precisava usar máscara cirúrgica em sua sala de isolamento durante o estudo. O tempo de estudo ambiental foi no dia seguinte à admissão e 48-72 h. A paciente realizava suas atividades diárias habituais sem nenhuma limpeza do ambiente. As superfícies tocadas com mais frequência em sua única ala independente do hospital foram selecionadas com 12 pontos (**Figura 20**).

Figura 20 - Disposição da sala de isolamento

Fonte: (SU *et al.*, 2022).

A sala foi dividida segundo as numerações: **1.** Grades da cama (taxa = 3/7, 42,9%), **2.** Campanha de chamada (taxa = 0/3, 0%), **3.** Mesa de cabeceira (taxa = 2/5, 40%), **4.** Chaleira (taxa = 1/4, 25%), **5.** Guarda-roupa (taxa = 1/3, 33,3%), **6.** Peitoril da janela (taxa = 2/3, 66,7%), **7.** Maçaneta da porta (taxa = 0/3, 0%), **8.** Assento do vaso sanitário (taxa = 1/4, 25%), **9.** Botão de descarga (taxa = 0/3, 0%), **10.** Lavatório (taxa = 5/10, 50%), **11.** Escova de dentes e copo bucal (taxa = 1/3, 33,3%). **Total** (taxa = 16/48, 33,3%).

Amostras ambientais foram coletadas antes da irradiação UVC de 222 nm e após 5, 10, 15 e 20 segundos, para teste SARS-CoV-2 RT-PCR para estabelecer procedimentos de desinfecção de rotina. A temperatura da enfermaria era de 24,1–30,8 °C e a umidade relativa era de 56,5–68,3%. Foi utilizada a irradiação UVC de 222 nm para simulação de limpeza ambiental. A lâmpada portátil Care222® U+ (USHIO Inc., Taiwan e Delta Electronics, Inc., Taiwan) emite UVC de 222 nm a 27 mJ/cm². Para fins de efeito de limpeza relacionado à dosagem, os tempos de irradiação foram 5, 10, 15, 20 s. As fluências foram 27, 54, 81, 108 mJ/cm². Amostras ambientais foram coletadas novamente após a radiação. Após dosagens em série de irradiação UVC de 222 nm, as amostras das superfícies foram negativas em 15 s de irradiação a 2 cm de distância com fluência de 81 mJ/cm².

Micheline *et al.* (2022) desenvolveram um projeto, no qual o objetivo foi explorar o efeito germicida da radiação UVC, em 254 nm, para higienizar o compartimento do paciente

de ambulâncias com um avançado Sistema de Sanitização Ultravioleta (UV-SAN). Além disso, também foi avaliada a sua relevância para evitar a propagação do COVID-19 e outros patógenos resistentes a drogas.

O sistema é equipado com lâmpadas UVC que são acionadas quando o compartimento da ambulância está vazio e higienizam o ambiente em até 15 min. Um sensor de ozônio monitora continuamente a concentração de gás, garantindo que não ultrapasse o valor limite prejudicial à saúde dos pacientes e operadores. O sistema conta com dados GNSS e um link de comunicação via satélite, que permite monitorar e registrar a rastreabilidade de todas as operações de saneamento realizadas. Esta informação é monitorada em tempo real a partir de um aplicativo web dedicado [**Figura 21 (A)**].

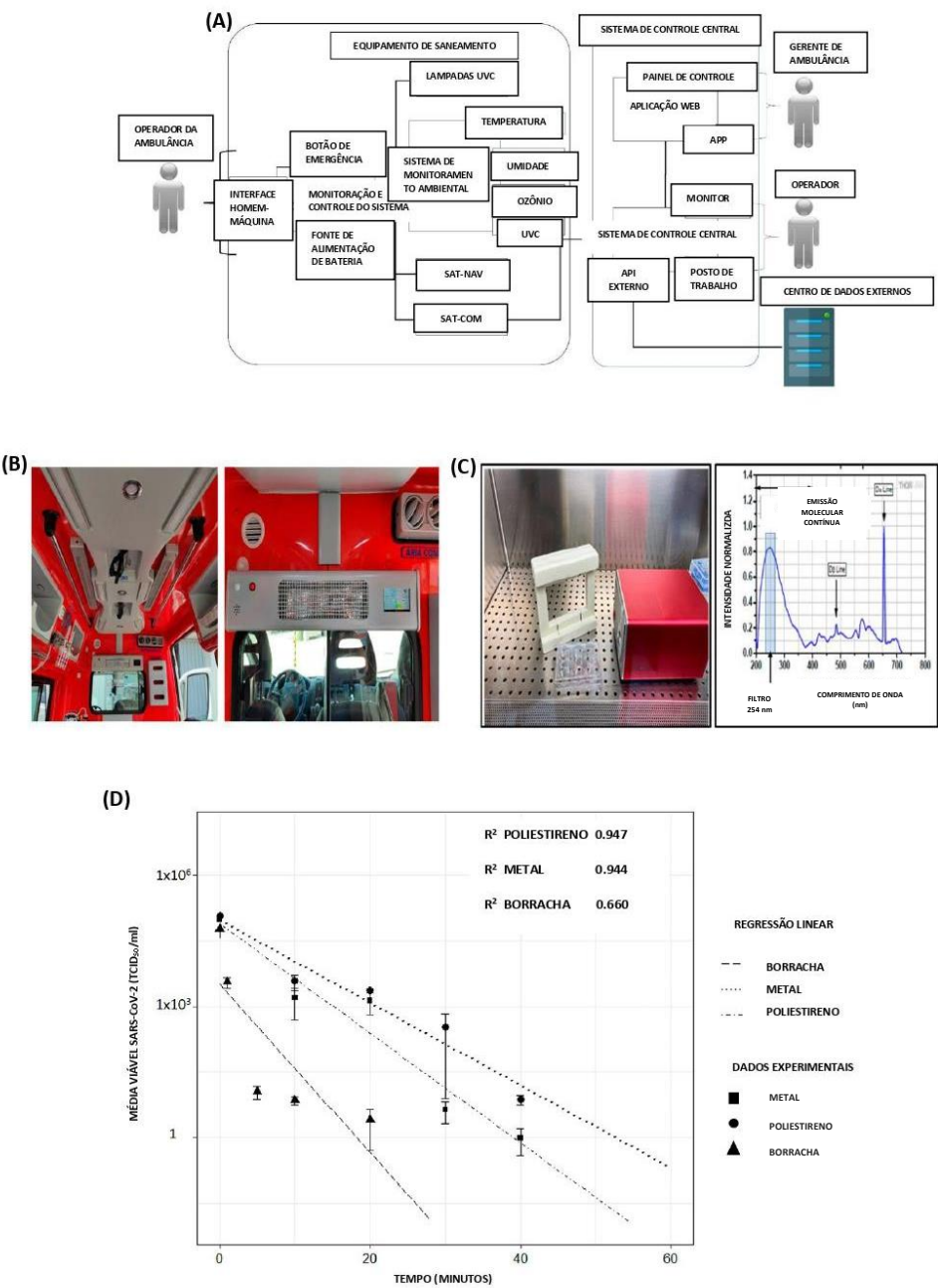
O Equipamento de Saneamento (SE) é o principal componente do sistema UV-SAN. É instalado no compartimento traseiro da ambulância [**Figura 21 (B)**]. O SE está equipado com um ecrã tátil que permite ao operador de saúde iniciar o acionamento das lâmpadas UVC montadas no teto da ambulância. A suscetibilidade do SARS-CoV-2 ao tratamento UVC de 254 nm foi testada em superfícies de plástico, metal ou borracha.

A fonte de luz ultravioleta de deutério estabilizada usada no experimento emite luz com um amplo espectro de comprimento de onda (Thorlabs LTD., Ely, Reino Unido), conforme a **Figura 21 (C)**.

A eficácia da radiação UVC contra o SARS-CoV-2 foi testada em uma instalação de contenção de nível de biossegurança 3 (BLS-3) na ISS. Cerca de $1,7 \times 10^4$ TCID₅₀ foram colocados sobre cada superfície do material com uma ponta de pipeta estéril e deixado secar. O SARS-CoV-2 mostrou alta suscetibilidade à irradiação UVC em diferentes superfícies, conforme relatado no gráfico em escala logarítmica [**Figura 21 (D)**], na qual, a carga viral é relatada em função do tempo de exposição (min).

Como resultado, Micheline e colaboradores (2022) verificaram que a irradiação UVC reduziu eficientemente o título do viral SARS-CoV-2 (>99,99%) em superfícies inanimadas como plástico, aço inoxidável ou borracha, com doses variando de 5,5 a 24,8 mJ/cm² (**Tabela 6**).

Figura 21 - Projeto, instalação e suscetibilidade do SARS-CoV-2 em diferentes superfícies de uma ambulância.



Fonte: (Micheline *et al.*, 2022)

Tabela 7 - Dose de UVC para diferentes materiais e porcentagem de redução da infecciosidade do vírus em uma ambulância.

Redução de Log	% Redução	Dose de UVC [J/m^2]		
		Poliestireno	Metal	Borracha
Log1	90%	57.3	46.2	7.8
Log2	99%	121	87.5	23.4
Log3	99.9%	184	129	54.4
log4	99.99%	248	170	55.8

Fonte: (MICHELINE *et al.*, 2022)

Um trabalho realizado por Souza *et al.* (2022) teve como objetivo a aplicação de equipamentos desenvolvidos para inativar microrganismos no fluxo de ar do sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) de uma Unidade de Terapia Intensiva (UTI) do Hospital Universitário da Universidade Federal de Sergipe na cidade de Lagarto (HUL), SE, durante a pandemia de COVID-19.

O equipamento é constituído por seis tubos fluorescentes Osram UVGI de 15 W contendo vapor Hg de baixa pressão e posicionados em uma matriz regular a cada 14,5 cm e fixados com uma estrutura de alumínio. Os seis reatores necessários para o funcionamento das lâmpadas foram colocados em um dos lados do equipamento, de tal forma que sua posição causasse o mínimo de sombra no fluxo de ar. Na **Figura 22** é apresentada a imagem real do equipamento de desinfecção UVC construído. Em (a) é visto o equipamento com as luzes acesas, em (b) percebe-se o posicionamento dos reatores dentro de uma caixa elétrica de acrílico, e (c) está a demonstração do espaçamento entre as lâmpadas.

Figura 22 - Imagem real do equipamento de desinfecção UVC para o sistema AVAC instalado no Hospital Universitário de Lagarto.



Fonte: (SOUZA *et al.*, 2022)

Na **Figura 23** é apresentado o equipamento já instalado no local. Vale ressaltar que a porta do AVAC permanece fechada durante o uso do equipamento para não provocar danos, porém a porta foi aberta apenas para a realização da fotografia. Nota-se em **(a)** as seis luzes ultravioletas instaladas no duto de ar-condicionado. Em **(b)** é mostrada a saída do fluxo do AVAC dentro da UTI onde microrganismos foram coletados em placas de Petri. Em **(c)** têm-se a visão geral do duto HVAC com o sistema UVC.

Figura 23 - Imagem real da instalação do equipamento de desinfecção desenvolvido no instalado em um AVAC no Hospital Universitário de Lagarto.



Fonte: (SOUZA *et al.*, 2022)

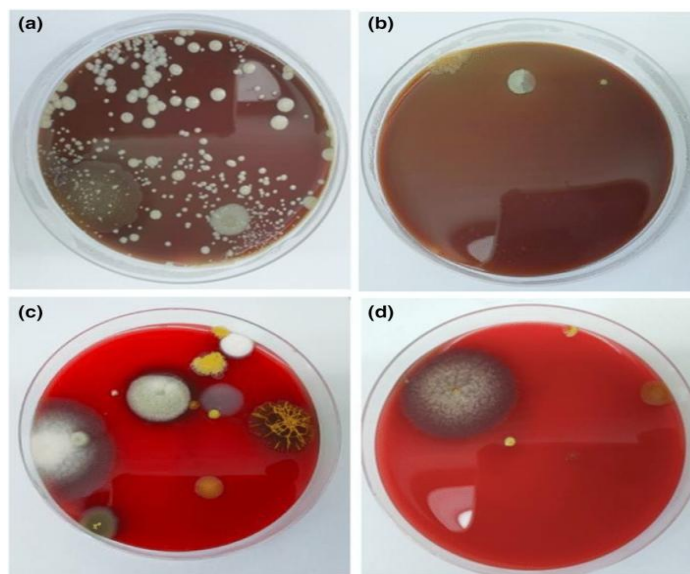
Após a exposição das placas ao fluxo de ar AVAC com a luz UV apagada por 24 h, houve um crescimento expressivo de microrganismos, ambos com a temperatura de $(35 \pm 2)^\circ\text{C}$ [**Figura 24** (a–b)] e $(21 \pm 2)^\circ\text{C}$ [**Figura 24** (c–d)]. Contabilizou-se mais de 150 colônias nas quatro placas.

No entanto, quando as placas receberam o ar do mesmo respiradouro AVAC, mas depois que a luz UVC ficou ligada dentro do duto por 24h ininterruptas, não houve crescimento considerável de microrganismos. A figura mostra que ambas as placas incubadas em temperatura de $(35 \pm 2)^\circ\text{C}$ [**Figura 25** (a–b)] e $(21 \pm 2)^\circ\text{C}$ [**Figura 25** (c–d)] tiveram um número muito reduzido de colônias, sendo contabilizadas apenas 16 colônias nas quatro placas.

Os resultados obtidos validam o efeito bactericida das lâmpadas instaladas no duto de ar-condicionado da UTI. Nota-se claramente a diferença entre os números de colônias das

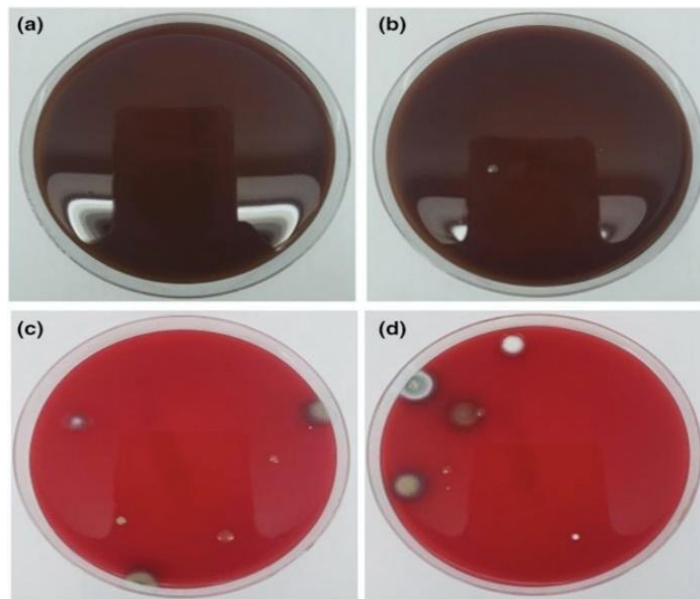
placas expostas do ar não tratado em relação àqueles tratados pela luz UV. Porém, devido a restrições de segurança não foi possível realizar testes em vírus reais. Logo, não foi possível confirmar apenas com esse teste a eficácia bactericida contra os vírus, mas o teste já fornece evidências e orientações pertinentes a projetos destinados à redução de microrganismos em sistemas AVAC.

Figura 24 - Placas de Petri expostas na saída de ar do AVAC onde foi instalado o equipamento de desinfecção por luz UVC no Hospital Universitário de Lagarto. Placas expostas após manter o equipamento UVC desligado por 24 h. Incubação em $(35 \pm 2)^\circ\text{C}$ (a-b) e $(21 \pm 2)^\circ\text{C}$.



Fonte: (SOUZA *et al.*, 2022)

Figura 25 - Placas de Petri expostas na saída de ar do AVAC onde foi instalado o equipamento de desinfecção por luz UVC no Hospital Universitário de Lagarto. Placas expostas após manter o equipamento UVC ligado por 24 h. Incubação em $(35 \pm 2)^\circ\text{C}$ (a-b) e $(21 \pm 2)^\circ\text{C}$

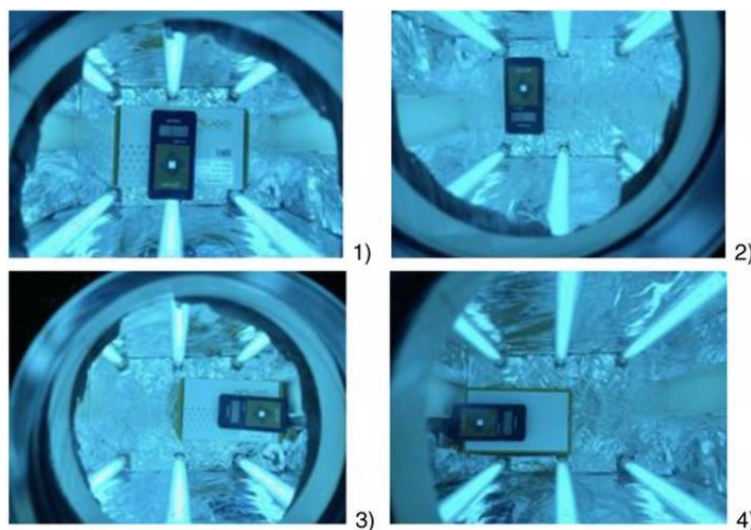


Fonte: (De SOUZA *et al.*, 2022)

A taxa de emissão da lâmpada UVC foi dada a partir de medições realizadas com o mesmo tipo de lâmpada instalada em um gabinete de desinfecção de máscara anteriormente desenvolvido e aplicado junto ao hospital por Souza *et al.* (2020). Um radiômetro UVC foi utilizado para verificar as doses UVC depositadas pelas lâmpadas. Ele foi fixado em alturas distintas em relação à base de um gabinete e em diferentes posições em relação às lâmpadas (**Figura 26**). No espectro emitido pelas lâmpadas, destacou-se a emissão em 253,7 nm, correspondente ao UVC germicida.

A dose média captada dentro do gabinete de desinfecção foi de $(2,7 \pm 5) \text{ mW/cm}^2$ (sem o forro de alumínio) e $(8,6 \pm 0,3) \text{ mW/cm}^2$ (com o forro de alumínio). Com isso, é possível notar que a taxa média de dose aumenta devido a refletância proporcionada pelo revestimento. Isso tem importância quando se trata dos dutos do ar-condicionado, pois quando os mesmos estão novos e/ou limpos também podem fornecer alguma refletância, aumentando a eficácia do equipamento de UVC instalado.

Figura 26 - Posicionamento do radiômetro em diferentes posições do armário UVC relativamente às lâmpadas



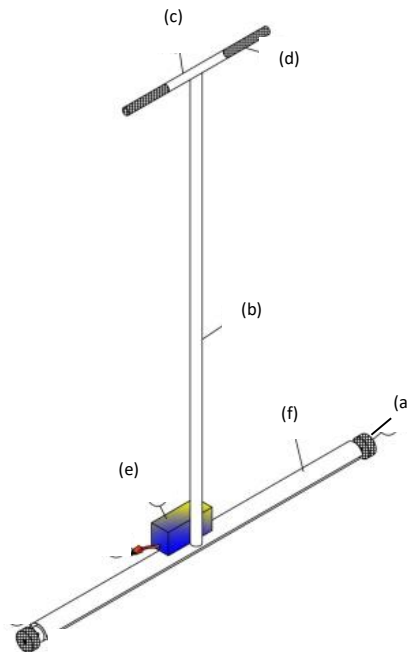
Fonte: (SOUZA *et al.*, 2022)

Ainda em 2022, dos Santos *et al.* depositam um pedido de patente junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) da criação de um rodo germicida com lâmpada emissora de radiação UV acoplada a sua base. A referida invenção tem como principal objetivo a desinfecção de ambientes e superfícies mediante depósito de doses da luz UVC.

Segundo os autores, o rodo pode ser construído com aço inox, PVC, bambu etc. Porém, sugerem que o material escolhido para o cabo possua um orifício em toda sua extremidade que permita a passagem dos fios. O poder de desinfecção do rodo está diretamente relacionado com a lâmpada fixada à sua base, que emite doses de radiação UVC, com potência média de 12 mW/cm^2 e comprimento de onda de 254 nm.

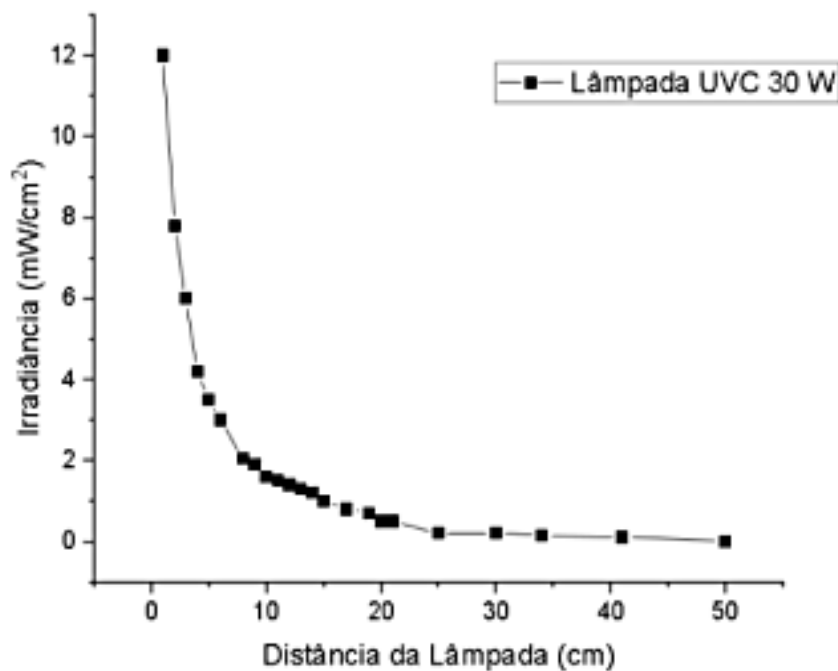
Na **Figura 27** é apresentada a ilustração frontal do rodo germicida. O rodo foi construído com tubo de aço inox e apoiado em rodas de silicone fixadas nas laterais da base (a). O cabo do rodo foi soldado a um outro tubo, no qual, correspondia ao punho (b) e (c), respectivamente. Manoplas de borracha foram fixadas ao punho (d). Na parte inferior do cabo foi adicionada uma luva, que tem como objetivo auxiliar no transporte e conservação do produto. A caixa do reator fica posicionada sobre a base do rodo (e) e (f), respectivamente. Já na parte interior do tubo, foram fixados suportes com o intuito de auxiliar no acoplamento da lâmpada e passagem da fiação.

Figura 27 - Ilustração frontal do rodo germicida desenvolvido por dos Santos et al.



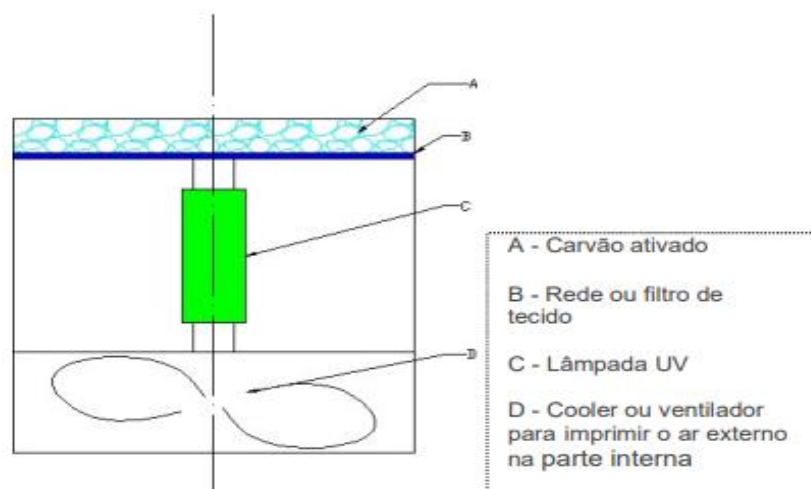
Fonte: (Adaptado de Dos SANTOS *et al.*, 2022)

A eficiência do rodo UVC foi avaliada posicionando-o verticalmente e com o auxílio de um radiômetro foi realizada a medida da intensidade da radiação UV. A lâmpada fixada no rodo é de mercúrio de alta voltagem, com 30 W de potência, com emissão no comprimento de onda de 254 nm. As medidas foram feitas com o radiômetro posicionado entre 1,0 cm e 50 cm do centro da superfície. Na **Figura 28**, nota-se que a 1,2 cm da lâmpada a irradiação é 12 mW/cm², sendo a irradiância praticamente nula para distância maior que 40 cm. Após feita a conversão da irradiância em exposição radiante, os autores concluíram que é necessário cerca de 10,6 mJ/cm² para que alcance uma redução de 90% de uma cultura de vírus. Logo, a dose proveniente da lâmpada é apropriada para alcançar resultados germicidas sobre uma determinada superfície, com a condição de que o rodo esteja ligado e a uma distância de 1,2 cm da superfície a ser desinfetada.

Figura 28 - Gráfico de Irradiância vs Distância da Lâmpada

Fonte: (Dos SANTOS *et al.*, 2022)

Bock *et al.* (2022) desenvolveram um projeto de equipamento que utiliza luz UVC para o tratamento do ar ambiente por radiação UVC. Foi pensado um sistema que se dá pela absorção do ar, que permaneceria um determinado tempo no compartimento onde está a lâmpada, devido à ação do filtro posterior, recebendo doses de radiação UVC antes de passar pelo filtro (**Figura 29**).

Figura 29 - Esquema simplificado de sistema de esterilização de ar por UVC

Fonte: (BOCK *et al.*, 2022)

O dispositivo foi projetado de tal forma que o ar que estivesse abaixo fosse capturado e, assim que fosse irradiado pelo UVC quando passasse pela parte interna do duto, fosse direcionado para a saída no difusor, fixado na parte superior, que por possuir uma manta filtrante de carvão ativado no interior ainda estaria captando possíveis gotículas existentes no ar (**Figura 30**).

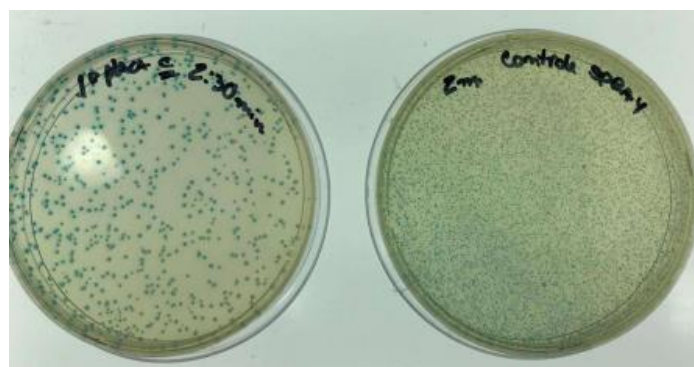
Figura 30 - Imagem real do dispositivo de desinfecção UVC montado



Fonte: (BOCK *et al.*, 2022)

Para testar o dispositivo, inicialmente foi realizada uma operação sem elementos filtrantes e sem o funcionamento da lâmpada UVC. *E. coli* foram dispersadas por efeito de aerossol a cada 30 s na entrada de ar. Após um intervalo de 2 h 30 min foi retirada uma placa de LB/Ampicilina anteriormente posicionada na saída do duto. Na **Figura 31** temos a comparação da placa retirada na saída de ar e uma placa que foi exposta a uma aplicação direta do spray.

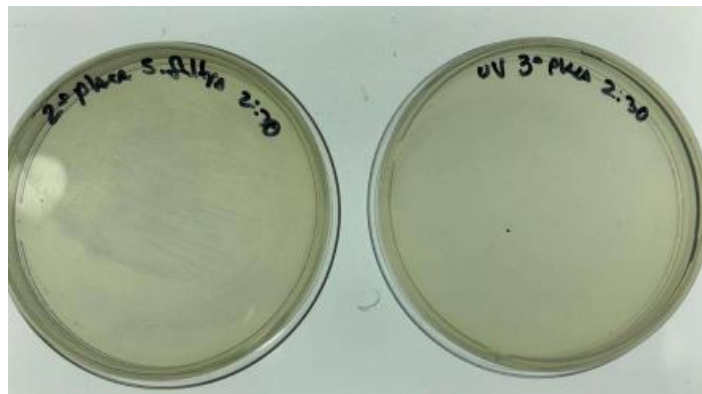
Figura 31 - Placas: ensaio sem filtro e UVC (esquerda) e aplicação de spray direto (direita)



Fonte: (BOCK *et al.*, 2022)

Em seguida, nas mesmas condições descritas anteriormente, só que agora com a lâmpada UVC funcionando e, posteriormente adicionando os elementos filtrantes de manta de carvão ativado. É notório, quando se compara as placas usadas nos dois ensaios, que houve a eliminação das colônias de bactérias, tanto quando utilizada apenas a radiação germicida quanto adicionando o filtro (**Figura 32**).

Figura 32 - Placas: utilização de UVC sem filtro (esquerda) e UVC com filtro (direita)



Fonte: (BOCK *et al.*, 2022)

Bock *et al.* (2022) enfatiza no artigo pesquisas sobre o comportamento semelhante entre SARS-CoV-1 e SARS-CoV-2 em relação à radiação germicida. Levando em consideração os estudos que apontam a intensidade de radiação UVC para inativar do SARS-CoV-1 seja menor do que a necessária para inativar *E.colis*, presumir-se que o sistema de desinfecção desenvolvido por Bock e colaboradores poderia realizar a inativação do SARS-CoV-2 em gotículas presentes no ar.

4 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta o desenho e o registro do protocolo, bem como a pergunta-chave que rege a presente revisão (subseção 4.1.). Descreve os critérios de elegibilidade pré-estabelecidos pela autora (subseção 4.2). Cita as fontes de pesquisa utilizadas e detalha as estratégias de busca adotadas em cada banco de dados (subseção 4.3). Neste capítulo também há uma descrição sobre os meios adotados para selecionar os estudos e extrair os respectivos dados (subseção 4.4). Além disso, menciona sobre como foi feita a avaliação metodológica dos artigos (subseção 4.5) e a análise dos dados (4.6).

4.1 DESENHO E REGISTRO DO PROTOCOLO

Neste presente trabalho, foi realizada uma revisão sistemática de estudos sobre as diferentes tecnologias a base de radiação UVC com a finalidade de inativação de micro-organismos patogênicos, em especial, o SARS-CoV-2. O protocolo do estudo foi registrado no *International Prospective Register of Systematic Reviews* (PROSPERO) sob o número CRD42022354695 (Anexo I). Para a consolidação dessa revisão sistemática utilizou-se da seguinte pergunta-chave: De acordo com as tecnologias a base de UVC já desenvolvidas e, diante do sucesso como um eficiente agente germicida, quais protocolos se mostraram serem mais eficazes para inativar o vírus SARS-CoV-2 causador do COVID-19?

4.2 CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE

A triagem dos trabalhos foi realizada por meio da leitura de títulos e resumos, deixando assim as revisões, perspectivas, estudos com resultados apenas qualitativos e aqueles publicados em outros idiomas que não fosse inglês e português. Os critérios de elegibilidade estabelecidos foram que, os estudos deveriam apresentar metodologias confiáveis e possuir dados suficientes sobre o sistema UVC, possibilitando assim, o cálculo dos parâmetros de luz caso não fosse descrito pelos autores. Foram excluídos artigos que tratavam de comprimentos de onda UV diferentes do UVC. As publicações identificadas foram analisadas de acordo com os critérios de elegibilidade.

4.3 FONTE DE INFORMAÇÃO E ESTRATÉGIA DE BUSCA

As diretrizes propostas pelo PRISMA-ScR (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews*) foram seguidas para realizar esta revisão. Os artigos foram obtidos nas seguintes bases de dados: Science Direct, Portal de Periódicos da CAPES, Pubmed, Web of Science. Foram delimitados trabalhos publicados entre 2019 e 2022. A busca foi realizada entre maio e outubro de 2022. Foram combinados os termos (RADIATION UVC OR AGENT GERMICIDAL OR DESINFECTION) e (SARS-CoV-2 OR COVID-19 OR CORONAVÍRUS) como uma estratégia de pesquisa. Feito isso, selecionou-se publicações originais focadas em UVC para combater especialmente o SARS-CoV-2.

A extração de dados dos artigos já selecionados foi realizada pela revisora em diferentes momentos. Foi utilizado um formulário (Anexo II), que está dividido em 8 partes, sendo elas:

- I. Título do artigo
- II. Nome dos autores
- III. Ano de publicação
- IV. Periódico
- V. Objetivo do estudo
- VI. Características do UVC
- VII. Resultado em relação à inativação do SARS-CoV-2
- VIII. Informações adicionais

Este formulário passou previamente por um teste em cinco artigos selecionados com a finalidade de verificar sua eficiência e, caso necessário, realizar algum ajuste antes de sua aplicação nos demais artigos. Feita a extração, os dados foram agrupados em tabelas de forma que permitissem a especificação de itens como: tipo de tecnologia, características da radiação ultravioleta, comprimento de onda escolhido, custos, perspectiva da análise, tipo de análise de sensibilidade e sua influência nos desfechos. Esse agrupamento foi feito pois facilitava no momento da análise comparativa dos estudos, auxiliando na identificação da alteração entre os mesmos.

As estratégias por cada base de dados estão melhor detalhadas na (**Tabela 8**).

Tabela 8 - Estratégia de busca

PUBMED	(Desinfection radiation) OR (disinfection with uvc radiation) OR (coronavirus) AND (COVID 19) AND (germicidal radiation) [MeSH Terms]
WEB OF SCIENCE	(Inactivation) AND (SARS-CoV-2) OR (UVC radiation) AND (COVID-19) AND (UV-C)
SCIENCE DIRECT	SARS-CoV-2 radiation UVC AND germicidal AND COVID-19
PORTAL DE PERIÓDICOS DAS CAPES	“Desinfection with UVC radiation” AND “COVID-19” OR “coronavirus” AND “germicidal”

Fonte: (Autor, 2022)

4.4 SELEÇÃO DE ESTUDOS E EXTRAÇÃO DE DADOS

Foi utilizado o sistema COVIDENCE para auxiliar na seleção e extração de dados. Após remoção dos registros duplicados, foram selecionados os artigos por título e resumo, obedecendo aos critérios de inclusão e exclusão pré-estabelecidos. O próximo passo foi reunir todos os artigos e fazer a leitura do texto completo e avaliá-los.

Os dados extraídos dos artigos foram título do trabalho; autores; periódico; ano de publicação; objetivos do estudo; características do sistema UVC; título viral; distância fonte/suporte; tempo de exposição e resultados em relação à inativação do SARS-CoV-2. Entrou-se em contato com os autores correspondentes dos estudos incluídos nos casos em que os dados não estavam disponíveis.

4.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE METODOLÓGICA

A qualidade metodológica foi examinada pela autora de acordo com os critérios estabelecidos na ferramenta Assessment of Multiple Systematic Reviews (AMSTAR). Trata-se de um instrumento que tem como objetivo avaliar a qualidade das revisões sistemáticas. Além de ter sido desenvolvido partindo da verificação e modernização de outros instrumentos, o mesmo é considerado uma ferramenta abrangente, por possibilitar a avaliação das revisões sistemáticas de todas as áreas (SHEA et al. 2009).

FAGGION (2012) enfatiza que, a priori, a AMSTAR possuía 37 itens no geral, porém passou por uma criteriosa avaliação, e restaram apenas 29 itens, no qual, compreendem 11

fatores. Logo, os pontos que compreendem quesitos indispensáveis de uma revisão sistemática são:

- I. O desenho da revisão foi apresentado a priori?
- II. Havia duplicação na extração de dados e seleção dos estudos?
- III. Uma busca abrangente nas bases de dados foi realizada?
- IV. O status da publicação (por exemplo, teses e dissertações, capítulos de livro, etc) foi utilizado como critério de inclusão?
- V. Foi fornecida uma lista dos estudos incluídos e excluídos?
- VI. Foram fornecidas as características dos estudos incluídos?
- VII. A qualidade dos estudos incluídos foi avaliada e documentada?
- VIII. A qualidade dos estudos incluídos foi utilizada apropriadamente nas conclusões?
- IX. Os métodos utilizados para agrupar os achados dos estudos incluídos foram apropriados?
- X. O viés de publicação foi avaliado?
- XI. O conflito de interesse foi descrito?

Para cada item do instrumento, há duas opções de resposta: a) “sim”, caso a revisão contemple explicitamente o critério; b) “não”, caso não contemple. Para cada resposta “sim”, aplica-se um ponto.

A qualidade de cada artigo foi expressa pela soma dos itens do instrumento.

4.6 ANÁLISE DOS DADOS

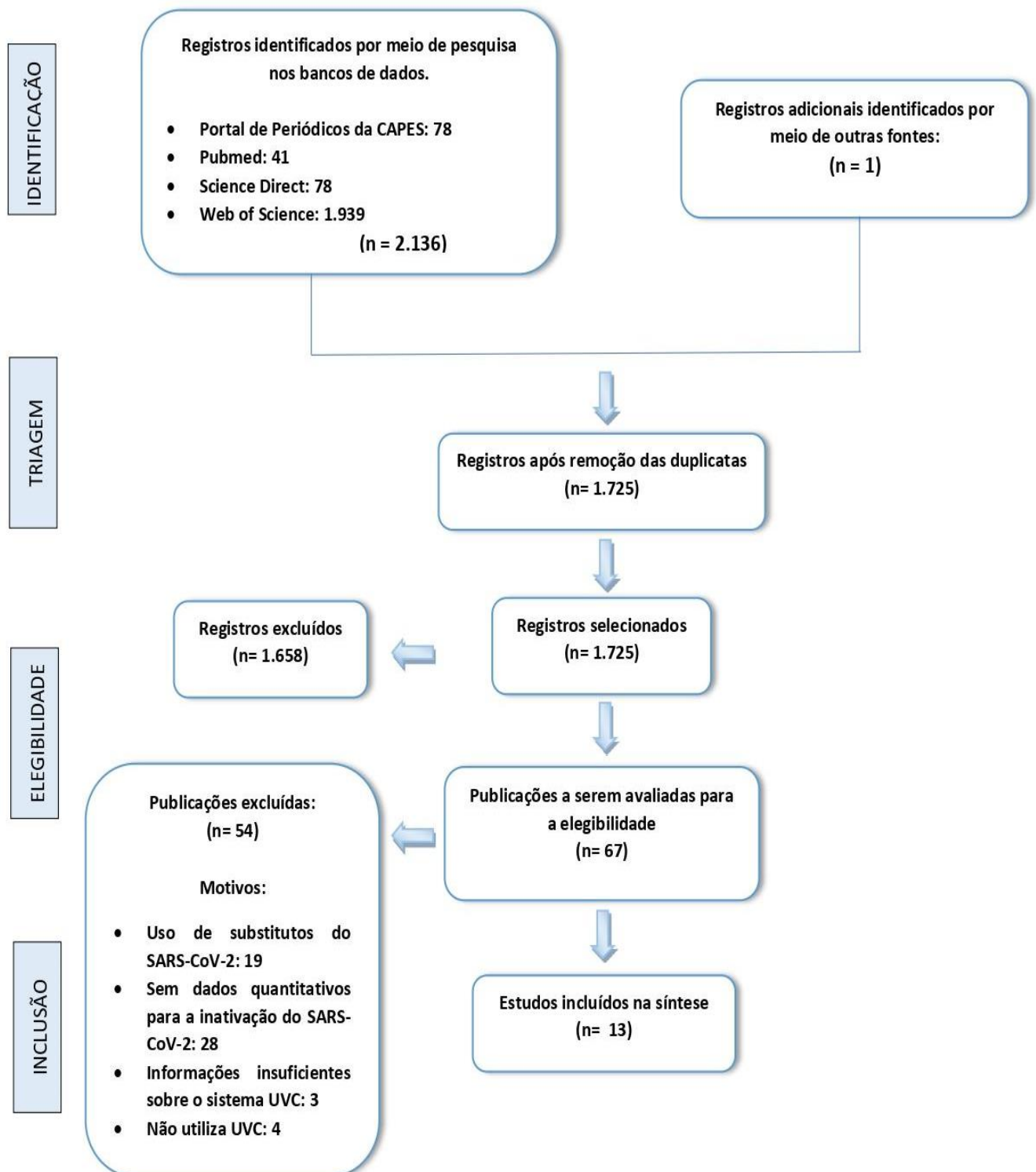
O processo avaliativo dos estudos presentes nesta revisão foi realizado pela autora obedecendo alguns passos. Primeiramente organizou-se e extraiu-se os dados. Em seguida, foi feita a identificação, análise e comentários dos trabalhos. Feita a averiguação dos estudos em momentos distintos, quando constatada divergência, foi necessária uma nova análise a fim de minimizar o potencial de vieses. Foram realizadas sondagens analisando a quantidade e qualidade de publicações por ano de publicação, periódico, por item do AMSTAR e base.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Capítulo 4 foram descritos o desenho do estudo, as estratégias de busca e seleção de artigos, procedimentos realizados na extração de dados e a metodologia adotada para análise e interpretação de dados. O presente capítulo é voltado à apresentação e discussão dos resultados obtidos conforme os conceitos elementares relatados na fundamentação teórica apresentada no Capítulo 2 e de acordo com as informações presentes na literatura científica explorada. Argumentos serão projetados com o intuito de melhorar a compreensão a respeito do problema desta pesquisa.

5.1 PESQUISA NA LITERATURA E SELEÇÃO DOS ARTIGOS

A revisão sistemática de estudos sobre o desenvolvimento e/ou análise de tecnologias a base de UVC com a finalidade de desinfetar ambientes, realizada entre maio e outubro de 2022, nas bases de dados Science Direct, Portal de Periódicos da CAPES, PubMed e Web of Science, onde foram encontradas 2.137 referências, das quais 412 duplicatas foram removidas, permanecendo, assim, 1.725 trabalhos. Como resultado, essas 1.725 publicações passaram por triagem, quando 1.658 destas foram excluídas após a realização da leitura de títulos e resumos. Restando 67 estudos, que foram avaliados para a elegibilidade. Porém, 54 foram excluídos por não corresponderem aos critérios de inclusão pré-estabelecidos, ou seja, 19 estudos não forneciam dados quantitativos para a inativação do SARS-CoV-2, 3 não descreveram informações suficientes sobre o sistema UVC, 4 utilizam de tecnologias a base de UVA e UVB, 19 expuseram dados partindo de substitutos para o SARS-CoV-2. Portanto, apenas 13 (0,05 %) foram incluídos nesta revisão {[12], [18], [46], [49], [55], [72], [73], [85], [89], [97], [110], [111] e [116]}. A **Figura 33** mostra um fluxograma com a seleção dos trabalhos aplicada nesta dissertação.

Figura 33 - Fluxograma PRISMA para os estudos incluídos nesta revisão

Fonte: (Autor, 2022)

5.2 CARACTERÍSTICAS DOS ESTUDOS

As publicações incluídas na revisão pertencem aos anos de 2020, 2021 e 2022. Todos os 13 trabalhos selecionados apresentam desenhos experimentais e apresentaram suas respectivas metodologias de forma adequada, facilitando assim, a compreensão da análise dos resultados. Em relação aos dados quantitativos, houve alguns trabalhos nos quais não foi citada a unidade de medida. Quando essa unidade foi citada, mas estava diferente daquela adotada como padrão nesta dissertação, foi realizada a devida conversão para a extração de dados. Houve também artigos no qual não foi descrito um valor exato para o comprimento de onda ou para o tempo de exposição à radiação. Nesses casos em específico, foram extraídos todos os dados.

A **Tabela 9** reúne os artigos incluídos nessa dissertação, seus objetivos e respectivos resultados para a inativação do SARS-CoV-2. Mesmo se tratando de motivações distintas, todos os estudos apresentaram elevados níveis de inativação do vírus, alcançando de 90% a 100% de inativação, a depender diretamente do material, dos parâmetros da fonte UVC, do tempo, da distância (fonte/amostra) e de alguns outros fatores externos como temperatura e umidade relativa, por exemplo.

Tabela 9 - Resumo dos objetivos e resultados dos estudos incluídos nesta revisão

Referência	Ano de publicação	Objetivo	Resultado da redução do título de SARS-CoV-2 após exposição ao UVC
RATHNASINGHE <i>et al.</i> [85]	2021	Avaliar o potencial de inativação do dispositivo germicida UVC proposto em função do tempo usando respiradores particulados 3M 8211 – N95 inoculados com SARS-CoV-2.	100% (>5 log)
BISPO-DOS-SANTOS <i>et al.</i> [12]	2021	Propor uma estratégia de irradiação germicida ultravioleta (UVGI) que pode ser usada para reduzir as chances de transmissão de fômites COVID-19 por testadores de maquiagem (pó de maquiagem e batom).	99,9% (3 log)
MICHELINI <i>et al.</i> [73]	2021	O objetivo deste projeto foi explorar o efeito germicida da radiação UVC em 254 nm para higienizar o compartimento do paciente de ambulâncias com um avançado Sistema de Sanitização Ultravioleta (UV-SAN) e avaliar sua relevância para evitar a propagação do COVID-19 e outros patógenos resistentes a drogas.	99,99% (4 log)
INAGAKI <i>et al.</i> [49]	2020	Este estudo <i>in vitro</i> demonstrou que a irradiação com um diodo emissor de luz ultravioleta profundo (DUV-LED) de comprimento de onda de 280 ± 5 nm inativa	99,99% (4 log)

		rapidamente o SARS-CoV-2 obtido de um paciente com COVID-19.	
SHIMODA <i>et al.</i> [97]	2021	Avaliação da eficácia da irradiação DUV-LED de 265 nm na inativação do SARS-CoV-2 em comparação com a lâmpada de cátodo frio (CCL) de 254 nm e a irradiação DUV-LED de 280 nm.	99,9 % (3 log)
KITAGAWA <i>et al.</i> [55]	2021	Este estudo teve como objetivo investigar a eficácia in vitro da luz ultravioleta distante (UVC) de 222 nm na desinfecção da contaminação da superfície por SARS-CoV-2.	99,7% (2,51 log)
VAN DER VOSSSEN <i>et al.</i> [116]	2022	Determinar se a desinfecção UVC é aplicável para permitir a reutilização segura repetida de respiradores.	99,99% (4 log)
HEILINGLOH <i>et al.</i> [46]	2020	Investigar a suscetibilidade de estoques virais de alto título de SARS-CoV-2 à irradiação UVA e/ou UVC combinada ou separada.	99,99% (4 log)
SABINO <i>et al.</i> [89]	2020	Estabelecimento da cinética de inativação e relato das doses letais de UV-C (LD) para SARS-CoV-2.	90% à 99,999% (1 a 5 log)
MESSINA <i>et al.</i> [72]	2021	Este estudo foi projetado para testar a atividade virucida no SARS-CoV-2 de um dispositivo baseado na nova tecnologia de chip UV.	99,94% (3,2 log)
SU <i>et al.</i> [111]	2021	Este estudo teve como objetivo usar uma lâmpada excimer Kr-Cl para reproduzir o efeito inativo viral no SARS-CoV-2 em ambientes contaminados hospitalares.	99,999% (5 log)
BORMANN <i>et al.</i> [18]	2021	Investigação da capacidade de duas caixas de LED UVC de desinfetar superfícies como vidro, metal e plásticos normalmente encontrados em itens pessoais de contaminação com altas cargas virais de SARS-CoV-2.	180 s - V.: 97,4% (1,6 log) - M.: 99,2% (2,1 log) - P.: 98,4% (1,9 log) 600 s - V.: 97,8% (1,6 log) - M.: 99,4% (2,2 log) - P.: 99,4% (2,2 log)
STORM <i>et al.</i> [110]	2020	Investigando a inativação do SARS-CoV-2 em formato úmido e seco usando radiação gerada por uma fonte de luz UVC.	99,9% (3 log): - 9 s (superfícies molhadas) - 4 s (superfícies secas)

Fonte: (Autor, 2022)

Em relação ao ano de publicação dos estudos, pode-se observar na **Figura 34**, que cerca de 61,5% dos estudos encontrados foram publicados no ano de 2021, 30,8% no ano de 2020 e apenas 7,7% no ano de 2022. O número de publicações no ano de 2022 pode ter aumentado significativamente após a busca realizada nos bancos de dados para essa presente revisão, mas infelizmente não haveria tempo hábil para analisar esses trabalhos após outubro de 2022.

Figura 34 - Relação dos anos de publicações dos estudos inseridos neste trabalho

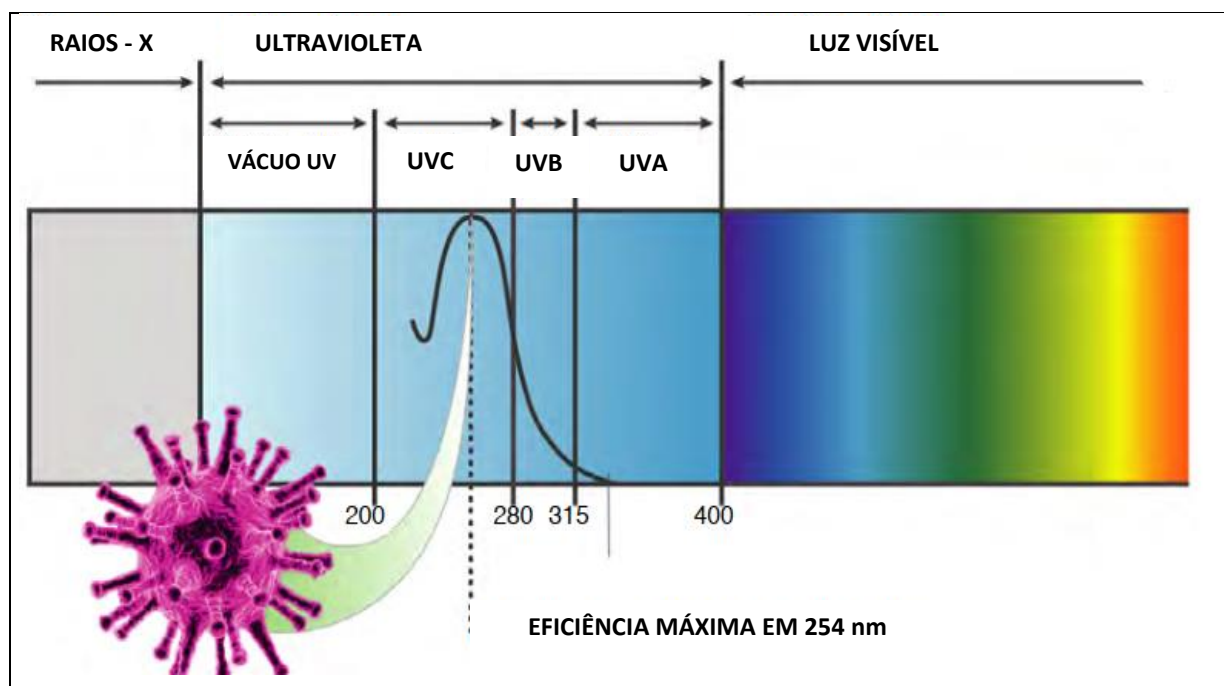
Fonte: Autor (2022)

5.3 CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS UVC

No que se refere ao sistema UVC, sete trabalhos adotaram comprimentos de onda em 254 nm {[12], [46], [73], [85], [89], [110] e [116]}, dois em 265 nm {[72] e [97]}, dois a 222 nm {[55] e [111]}, um a 280 ± 5 nm [52] e um que o comprimento de onda variou de 250 nm a 280 nm de acordo com as condições do aparato experimental [18]. Diferentes tecnologias a base de UVC foram usadas. Quatro trabalhos foram desenvolvidos com LED {[18], [52], [72], [97]} enquanto nove utilizaram lâmpadas. Destes, cinco estudos foram realizados com lâmpada de vapor de mercúrio {[12], [85], [89], [110] e [116]} dois com lâmpadas excímeros de cloreto de criptônio usadas {[55] e [111]}, um com lâmpada de deutério [73] e um estudo não citou o tipo de lâmpada usada. Todos os treze artigos fizeram uso do regime de emissão de onda contínua (**Tabela 10**).

Dentre as fontes de radiação UVC disponíveis no mercado com a finalidade germicida, as mais usuais são as lâmpadas com vapor de mercúrio de baixa pressão (LP-Hg). Esse tipo de lâmpada se difere das fluorescentes de mercúrio devido à ausência do fósforo fluorescente. Além disso, o tubo é constituído por quartzo fundido, proporcionando-lhe, assim, que cerca de 253,7 nm de radiação UV consiga ser transmitida sem que haja modificação (MILLER *et al.*, 2013).

As lâmpadas de (LP-Hg) possuem propriedades germicidas bem significativas, característica essa que faz com que seja muito utilizada para inativar microrganismos no geral (**Figura 35**). Além disso, as lâmpadas que contém vapor de mercúrio possuem uma eficiência luminosa de até seis vezes maior das que não o contém, e dispõem de uma vida útil de quatro a quinze vezes mais longa e uma redução do consumo energético de aproximadamente 80% (ABILUX, 2005). No entanto, existem protocolos de segurança a serem seguidos em relação a exposição da radiação, pois a mesma oferece riscos à saúde humana, podendo ocasionar distúrbios neurológicos, erupções cutâneas, insuficiência renal, danos na pele e olhos, além da poluição ambiental ocasionada pela taxa de mercúrio da fonte, mas que não ultrapassa 5 mg/lâmpada (SHOLTES, 2016).

Figura 35 - Eficiência germicida máxima (254 nm)

Fonte: (NANOZEN, 2022).

Nesse contexto, foram desenvolvidas fontes alternativas de radiação para as luminárias a base de vapor de mercúrio. Um desses foram os LEDs (Light Emitter Diode) ultravioleta. Tecnologia essa que está sendo amplamente usada com o objetivo de reduzir custo e impacto ambiental, além de proporcionar uma solução rápida e viável para desinfecção de ambientes de grande circulação.

Estudos apontam que as propriedades presentes nos LEDs ultravioleta são eficazes na desinfecção de agentes patogênicos em vários comprimentos de onda emitidos pela radiação ultravioleta, inclusive os que compreendem a faixa UVC. Visto que os LEDs que emitem UVC são razoavelmente mais caros e apresentem menos de 5% de eficiência energética, demonstraram ser o mais eficaz do ponto de vista germicida por gerarem espectros de emissão estreitos, podendo fornecer luz dentro da faixa espectral desejada (de 250 nm a 280 nm). Além disso, os LEDs são fontes que não contêm mercúrio em sua composição, provocando menor impacto ambiental e podem ser ligados e desligados instantaneamente. Os LEDs ainda detêm a característica de serem mais práticos, por terem dimensões bem inferiores às das lâmpadas convencionais, sendo possível de serem aplicados em diversos locais de pequenas dimensões e, por não aquecerem, com materiais distintos como plásticos e madeira. (SANTOS, 2015).

Uma outra fonte de luz UVC utilizada para desinfecção é a lâmpada excimer (Far-UVC). Esse tipo de lâmpada é reconhecido por gerar fótons de alta energia, variando entre 207

e 222 nm, sem necessidade de uma emissão de elétrons do cátodo para ativar a descarga de plasma como o que é comumente utilizado em lâmpadas de mercúrio (HADI *et al.*, 2020). O seu pico de emissão se encontra por volta de 222 nm. Como todos os coronavírus humanos possuem dimensões genéticas semelhantes, a luz (FAR-UVC)¹¹ deve mostrar eficácia de inativação do SARS-CoV-2 análoga à obtida contra outros coronavírus humanos. Mas quando comparada com as lâmpadas de mercúrio, as lâmpadas excimer proporcionam menor eficiência energética, menor vida útil e elevados custos de aquisição. Porém, possuem comprimentos de onda que são fortemente absorvidos pelos aminoácidos, consequentemente ocasionam menos malefícios à saúde humana, em razão da forte absorção na superfície com redução da transferência para os tecidos mais profundos.

Por último, houve um estudo que utilizou lâmpadas de descarga de deutério, que são fontes de radiação que emitem luz ultravioleta na faixa de 200 nm a 400 nm. Nessa lâmpada os elétrons são excitados por uma descarga e quando voltam para seus estados fundamentais, emitem radiação (MICHELINI *et al.*, 2021).

¹¹ FAR-UVC é uma tecnologia de luz ultravioleta utiliza emissores de comprimento de onda mais curto para que não represente riscos à segurança das pessoas, já que a radiação transmitida por este tipo de luz pode prejudicar olhos e a pele, causando queimaduras e até mesmo câncer de pele.

Tabela 10 - Resumo da metodologia de estudo incluída nesta revisão

Referência	Título viral	Suporte de amostra	Fonte UVC	Comprimento de onda (nm)	Irradiância (mW/cm ²)	Dose (mJ/cm ²)	Tempo de exposição (s)	Distância fonte/amostra (cm)
[85]	1 x 10 ⁶ (PFU) ¹² /mL	Respiradores N95	Luminárias de mercúrio (Hg) UVC de alta potência IP55	254	5,43	1.300	240	15,2
[12]	1 x 10 ⁶ PFU/mL	Placa de 6 poços	Luminárias de mercúrio de baixa pressão (LP-Hg) com 18 Watts	254	4,2	252	60	30
[73]	1,73x10 ⁴ (TCID ₅₀) ¹³	Placas de poliestireno, aço inoxidável e borracha.	Lâmpada de deutério de alta estabilidade.	254	0,01	55,8 a 248	600 a 1.800	3
[49]	2 x 10 ⁴ PFU/mL	Placa petri 60 mm (12 poços)	Diodo emissor de luz ultravioleta profundo (DUV-LED)	280 +/- 5	3,75	37,5	10	2
[97]	10 ^{5,70} PFU/mL	Placa de 12 poços	DUV-LED de 265 nm	265	0,212	4,5	24	NC ¹⁴
[55]	5x10 ⁶ TCID 50 /mL	Placa de poliestireno estéril (9 cm de diâmetro)	Lâmpada excimer de cloreto de criptônio (Kr-Cl)	222	0,1	3	30	24

¹² PFU: unidade formadora de placa¹³ TCID₅₀: Dose infecciosa de cultura de tecidos a 50%¹⁴ NC: Não consta

[116]	5×10^6 TCID ₅₀ /mL	Discos de aço inoxidável de 20mm	Lâmpadas de descarga de mercúrio de baixa pressão (LP)	254	1,3	19,5	15	NC
[46]	5×10^6 TCID ₅₀ /mL	Placa de 24 poços	A fonte de luz UV (UV-4 S/L)	254	1,94	292	540	3
[89]	2×10^5 TCID ₅₀ /mL	Placa de 24 poços	lâmpadas de mercúrio de baixa pressão (LP- Hg)	254	$2,2 \pm 0,2$	0,016; 0,706; 6,556; 31,880; 108,714	0,01; 0,32; 2,98; 14,49; 49,42.	30
[72]	$10^{7,2}$ TCID ₅₀ /mL	Caixa de desinfecção branca	Chips UV (10 mW) cada	265	0,869	15	180	NC
[111]	9.5×10^6 Cópias de RNA/mL	Superfícies da sala de isolamento	Lâmpada excimer de criptônio-cloro (Kr-Cl)	222	27	81	15	2
[18]	$4,5 \times 10^6$ TCID ₅₀ /mL (UVC-LED box 1) $1,8 \times 10^6$ TCID ₅₀ /mL (UVC-LED box 2)	Suportes de vidro, metal e plástico.	Caixas de UVC-LED	250 a 280	Caixa UVC-LED 1: 0, 245 Caixa UVC-LED 2: 0, 117	Caixa UVC- LED 1: 1 cm: 44,1 Caixa UVC- LED 2: 1 cm: 21,06	180 a 600	Caixa UVC-LED 1: 1 e 5 Caixa UVC-LED 2: 1
[110]	$7,33 \times 10^3$ PFU/mL	Placas de Petri de 60 mm	Lâmpadas de mercúrio de baixa pressão (LP- Hg)	254	0.849	3,39 (úmido) 7,64 (seco)	4,0 (úmido) 9,0 (seco)	NC

Fonte: (Autor, 2022)

5.4 AVALIAÇÃO DA HETEROGENEIDADE E QUALIDADE METODOLÓGICA DOS ESTUDOS

Houve uma unanimidade enquanto a heterogeneidade dos estudos incluídos na revisão. Devido a esse fator, a meta-análise foi impossibilitada de ser executada, instrumento considerado fundamental para tornar os resultados mais encorpados. Porém, todos os estudos provaram uma relação de dados e detalhes em sua execução, considerado de alta relevância, pois são características fundamentais para nortear novos trabalhos.

Nos artigos que são incluídos em uma revisão, mesmo quando há proporções percentuais apresentando um baixo risco de viés nos estudos avaliados, devem ser levados em consideração aspectos que reduzem inflexibilidade metodológica.

Esta revisão sistemática foi submetida a avaliação utilizando a ferramenta AMSTAR, e o resultado está exposto na **Tabela 11**. A qualidade metodológica é classificada em alta, moderada, baixa e criticamente baixa, variando de acordo com quantidade de vezes que a resposta “NÃO” é assinalada em itens considerados críticos, como descrito a seguir:

- ✓ Alta: se a revisão sistemática não apresentar nenhuma ou uma única resposta “NÃO” para um item considerado não crítico;
- ✓ Moderada: se a revisão sistemática apresentar mais de uma resposta “NÃO” em itens considerados não crítico;
- ✓ Baixa: se a revisão sistemática apresentar, pelo menos, uma resposta “NÃO” em um item crítico, com ou sem resposta “NÃO” para itens considerados não críticos;
- ✓ Criticamente baixa: se a revisão sistemática apresentar mais de uma resposta “NÃO” para itens considerados críticos, com ou sem respostas “NÃO” para itens não críticos.

Tabela 11 - Apresentação dos resultados da análise da qualidade metodológica de Revisões Sistemáticas com a ferramenta AMSTAR

Autor/Ano	1*	2	3*	4	5*	6	7	8	9	10*	11
MEDEIROS, 2022	SIM	SIM	SIM	NÃO	PARCIAL SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	PARCIAL SIM	NÃO

Itens do AMSTAR (Itens com o * são considerados críticos)

1. O desenho da revisão foi apresentado a priori?*
2. Havia duplicação na extração de dados e seleção dos estudos?
3. Uma busca abrangente nas bases de dados foi realizada?*
4. O status da publicação (por exemplo, teses e dissertações, capítulos de livro, etc) foi utilizado como critério de inclusão?
5. Foi fornecida uma lista dos estudos incluídos e excluídos?*
6. Foram fornecidas as características dos estudos incluídos?
7. A qualidade dos estudos incluídos foi avaliada e documentada?
8. A qualidade dos estudos incluídos foi utilizada apropriadamente nas conclusões?
9. Os métodos utilizados para agrupar os achados dos estudos incluídos foram apropriados?
10. O viés de publicação foi avaliado?*
11. O conflito de interesse foi descrito?

Fonte: (Autor. 2022)

Logo, a qualidade metodológica desta revisão está classificada em “moderada”, pois foi assinalado mais de um item considerado não crítico com a resposta “NÃO”.

5.5 DESENHO EXPERIMENTAL

No que diz respeito ao desenho experimental, houve uma divergência significativa acerca do título viral inicial (**Tabela 10**). Além do mais, oito desses trabalhos foram desenvolvidos *in vitro* utilizando placas de 24 [46, 89], 12 [97] ou 6 [12] poços e 60 mm [49, 110] placas de Petri, e dois estudos não descreveram seus respectivos suportes {[55] e [116]}. No entanto, todos conseguiram alcançar uma faixa de inativação do título viral em mais de 2,5 log.

Os demais estudos relataram que usaram diferentes superfícies para averiguar a inativação do SARS-CoV-2, a fim de constatar como o vírus reage a exposição à luz UVC sob condições ambientais não controladas {[18], [72], [85], [73] e [111]}.

Bormann *et al.* (2021) para observarem o processo de inativação, colocaram as amostras em diferentes distâncias da fonte de radiação dentro de caixas comerciais de desinfecção de LEDs UVC e irradiadas por diferentes tempos, chegando até 600 s. No entanto, com apenas 180 s de exposição, já foi possível constatar uma redução significativa dos estoques virais. Porém, houve uma divergência de resultados devido ao tipo do material inoculado pelo vírus e a distância da fonte/amostra. Ao usar o UVC-LED box 2, o SARS-CoV-2 foi quase completamente inativado após exposição de 180 e 600 segundos a uma distância de 1 cm [180 s: vidro: $(97,49 \pm 0,35)\%$ ($1,6 \pm 0,05$ log); metal: $(99,21 \pm 0,1)\%$ ($2,1 \pm 0,05$ log), plástico: $(98,74 \pm 0,16)\%$ ($1,9 \pm 0,05$) log e 600 s: vidro: $(97,85 \pm 0,27)\%$ ($1,67 \pm 0,05$) log, metal: $(99,42 \pm 0,08)\%$ ($2,23 \pm 0,05$) log, plástico: 99,46% (2,27 log)].

Van der Vossen e seu colaboradores (2022) enfatizaram o uso de uma câmara de desinfecção BioShift UVC, onde gera radiação ultravioleta através das lâmpadas de descarga de mercúrio de baixa pressão (LP) da Philips, emitindo uma linha espectral estreita a 254 nm. A irradiância foi medida para as diversas posições em que foram colocados discos de aço inoxidável carregados com o vírus do SARS-CoV-2. Os resultados mostram que 15 segundos foi suficiente para alcançar uma redução de aproximadamente 4 log dos vírus.

Messina *et al.* (2021) utilizaram uma caixa de desinfecção desenvolvida pela LightLab Sweden a base da tecnologia de chip ultravioleta desenvolvida recentemente. Trata-se de uma tecnologia que utiliza um chip UV frio, possui uma corrente baixa e é pouco influenciado pela temperatura comparado a um LED. Possui uma fonte de radiação mais ampla que fornece uma disseminação vasta e homogeneidade energética da radiação no espaço. Os comprimentos de

onda do chip UV se encontram em torno dos valores máximos de eficácia germicida da radiação UVC (264 nm).

As fontes de radiação, postas no fundo da caixa UVC, cada qual fornecendo 10 mW de potência UV. O interior dessa caixa é revestido por uma tinta UV com alto índice refletor, garantindo assim, que seja refletido o máximo possível dessa radiação e atinja, de forma eficiente, as amostras posicionadas na superfície interna da caixa. Os autores descrevem que houve uma redução máxima de aproximadamente 5,7 log (99,9998%) com o tempo de exposição de 600 segundos. Porém, foi enfatizado pelos autores que com apenas 180 segundos já foi possível atingir uma inativação de 3,2 log (99,94%).

Su *et al.* (2022) fizeram uma análise a partir das superfícies tocadas com uma maior frequência em uma enfermaria. Foram selecionados doze pontos distintos para coleta das amostras antes e depois da irradiação. Mesmo levando em consideração o tipo do material em que o vírus se encontrava, no geral, constatou-se uma redução total do título viral com uma influência efetiva de 81 mJ/cm² em apenas 15 segundos de exposição, com 2 cm de distância entre superfície e fonte.

É válido salientar que os treze estudos incluídos nessa síntese foram desenvolvidos em condições controladas. Porém, devido a inconstância do vírus fora do hospedeiro, o vírus pode apresentar variações em seu comportamento devido a fatores externos, como luz, temperatura, umidade relativa e tipo de material em que se encontra.

Estudos apontam que os coronavírus permanecem em superfícies de plástico, vidro e aço inoxidável por aproximadamente nove dias (KAMPF *et al.*, 2020). Porém, pesquisas em torno de descobrir o comportamento desses coronavírus, em especial o SARS-CoV-2, as condições do ambiente no qual se encontra, ainda estão em andamento. Mesmo sabendo da importância de se ter informações sobre a vulnerabilidade do vírus à exposição da radiação ultravioleta em locais úmidos e secos, não há muitos estudos na literatura que relatem um comparativo desses resultados em uma mesma pesquisa.

No entanto, STORM *et al.* (2020) se propuseram em investigar a inativação de SARS-CoV-2 em formato úmido e seco usando radiação gerada por uma fonte de luz UVC. Como resultado obtiveram com 9 segundos (superfícies secas) e 4 segundos (superfícies úmidas) cerca de 99,9% (3 log) da inativação dos títulos virais.

No atual cenário pandêmico, pesquisadores se empenharam a adaptar essas tecnologias germicidas para além das superfícies. No ápice da pandemia do COVID-19 houve uma procura incessante por equipamentos de proteção individual (EPI), como por exemplo as máscaras N95, ocasionando por um momento a escassez no mercado. Fato esse que induziu os cientistas a

elaborar estratégias para desinfetar e consequentemente reutilizar esses respiradores sem que houvesse prejuízos na sua eficácia.

Nessa perspectiva, Rathnasinghe *et al.* (2021) se dedicaram em avaliar o potencial de inativação do dispositivo germicida UVC usando respiradores particulados 3M® 8211 - N95 inoculados com SARS-CoV-2. Foi desenvolvido um dispositivo UVC germicida para prover uma dose de radiação personalizada. Foram utilizados diferentes tempos de exposição (0 a 164 segundos) e uma distância fixa entre a fonte e a máscara de 10 cm, proporcionando assim, uma irradiância de aproximadamente $5,43 \text{ mW/cm}^2$. Como resultado, observaram que o SARS-CoV-2 não foi detectado em fragmentos do respirador N95 após serem irradiados por 120 s em cada lado (240 s no total), proporcionando uma redução significativa de 3,5 log.

Enquanto a inserção das tecnologias germicidas UVC com a finalidade de desinfecção das máscaras N95, para que o mesmo promova resultados significativos, tem-se que programar a fonte de tal forma que a projeção da luz aconteça de forma uniforme. Além do mais, por se tratar de um material com superfície porosa, a dose necessária para que ocorra uma desinfecção eficiente é maior do que as utilizadas em materiais com superfícies lisas. É válido ressaltar que esse método é válido apenas para EPIs que forem ser reutilizados pela mesma pessoa, pois esse processo não abstrai resíduos biológicos (Rathnasinghe *et al.*, 2021).

Por fim, em relação à taxa de inativação do SARS-CoV-2 alcançada nos estudos, mostra ter um grau de dependência com a dose da radiação adotada pelos pesquisadores. Além disso, houve uma variação significativa entre os trabalhos enquanto aos comprimentos de onda, irradiâncias e tempo de exposição utilizado (**Tabela 10**). Dos estudos analisados, 8 necessitavam apenas de 60 segundos (ou menos) para alcançar cerca de 99,9% da inativação do SARS-CoV-2 {[12], [49], [55], [72], [89], [97], [110] e [116]}. Muito embora, nos outros estudos também tenham obtido a mesma taxa de inativação dos títulos virais, foi necessário de 180 s [72], 180 a 600 s [18], 240 s [85], 540 s [46] e 600 a 1800 s de exposição à radiação [73].

6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Tecnologias a base de UVC vem se revelando um importante instrumento no processo de desinfecção em superfícies e ambientes no geral, reduzindo assim a taxa de disseminação de agentes infecciosos em locais públicos e privados. Com a finalidade de garantir o uso do UVC de modo eficiente, se faz necessário compreender como os diferentes comprimentos de onda agem contra os microrganismos, em específico o SARS-CoV-2, objetivando proporcionar um apoio maior no combate a esse vírus e caso seja necessário, a inativação de algum outro coronavírus que possa surgir.

Tecnologias de saneamento a base de radiação UVC comprovaram ser eficazes, em pouco tempo, no processo de desinfecção segura no ar, água, diferentes superfícies. A radiação UVC foi testada com sucesso no SARS-CoV-2. Dos treze trabalhos incluídos na revisão, seis precisaram de menos de 60 s para reduzir o SARS-CoV-2 a um nível indetectável.

Foram testados outros tipos de microrganismos, e mesmo existindo diferenças na suscetibilidade à desinfecção UVC, todos responderam bem quando expostos a doses adequadas. Doses entre 0,016 a 1.300 mJ/cm² apresentaram cerca 99,9% de eficácia antimicrobiana nos microrganismos testados, incluindo o SARS-CoV-2. Houve uma redução de ($\geq 2,5\log$) em todos os treze estudos analisados. Vale salientar que a discrepância entre os valores das doses está relacionada com fatores como: superfície, distância fonte/amostra e tempo de exposição à radiação UVC.

Dos treze trabalhos revisados, sete fizeram uso do comprimento de onda em 254 nm. Nos demais estudos, foram utilizados comprimentos de onda que variaram de 222 nm a 280 nm. Em relação às fontes adotadas pelos pesquisadores, as mais usuais, foram as lâmpadas UVC de vapor de mercúrio. Um dos motivos para a escolha desse tipo de fonte é a eficiência luminosa de até seis vezes das que não possuem vapor de mercúrio, e por dispor de uma vida útil mais longa e uma redução do consumo energético de aproximadamente 80%.

Por se tratar de estudos heterogêneos, e os resultados dependerem diretamente dos fatores experimentais, como o comprimento de onda, taxa de dose, tempo de exposição, superfície a ser desinfetada, umidade relativa, temperatura, tipo de fonte luminosa, distância (fonte de luz UVC/amostra) entre outros, foi inviável realizar comparações, mesmo havendo resultados semelhantes enquanto a inativação do SARS-CoV-2.

Esses dados indicam que sistemas a base de UVC podem ser usados como um método de desinfecção de ambientes, evitando assim, a propagação de agentes patogênicos e redução das infecções acometidas por esses microrganismos. A rápida disseminação do SARS-CoV-2 impulsiona a procura de novas tecnologias, objetivando minimizar a contaminação da COVID-19.

Apesar das propriedades germicidas da radiação ultravioleta já serem utilizadas há algum tempo, existem variações nas características morfológicas dos microrganismos, o que demanda tempo para serem estudados e consequentemente que haja adaptações nos protocolos das tecnologias. Visto que até então, poucos estudos foram publicados sobre o uso dessa tecnologia no processo de inativação do SARS-CoV-2, foi realizado uma busca de estudos que se embasaram na radiação UVC para desinfectar diferentes superfícies e ambientes utilizando substitutos, como outros coronavírus, por exemplo.

Em suma, as tecnologias germicidas UVC demonstraram ser importantes aliadas no combate à pandemia do novo coronavírus, COVID-19. Sugere-se que trabalhos vindouros busquem adaptar e desenvolver novos protocolos para que essa tecnologia possa ser aplicada em condições reais e que haja uma atenção maior enquanto as descrições das condições experimentais, viabilizando a compreensão e reprodução quando for o caso.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ Investigar as propriedades germicidas presente nas lâmpadas de deutério e realizar a publicação dos referidos resultados;
- ✓ Desenvolver um projeto de experimentos para estudar o impacto de diferentes soluções tecnológicas nos ambientes hospitalares, de forma a isolar os seus respectivos efeitos das diferentes equipes médicas e outras condições ambientais como a renovação e filtragem de ar em cada ambiente;
- ✓ Avaliar o impacto dessas tecnologias de filtragem e desinfecção nos indicadores da Maternidade Nossa Senhora de Lourdes (MNSL);
- ✓ Testar dispositivos a base de UVC em ambientes com presença de humanos, por meio de um ensaio clínico controlado;

- ✓ Reproduzir experimentos incluídos nesta revisão com a finalidade de comprovar a sua eficiência quando realizados em condições diferentes das iniciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABILUX, Associação Brasileira da Indústria da Iluminação. Disponível em: <http://www.abilux.com.br/>. (Acessado em: 01/10/2022).
- [2] ANDERSEN B. M., in *Prevention and Control of Infections in Hospitals: Practice and Theory*, edited by Andersen B. M. (Springer International Publishing, Cham, 2019), pp. 815–834.
- [3] ANFINRUD P., STADNYTSKYI V., BAX C.E., BAX A. **Visualizing speech-generated Oral fluid droplets with laser light scattering**. *N. Engl. J. Med.* 2020.
- [4] ASTUTI I., Ysrafil. **Coronavirus severe acute respiratory syndrome 2 (SARS-CoV-2): an overview of viral structure and host response**. *Diabetes. Metab. Syndr.* 2020.
- [5] ATLANTIUM ILLUMINATING WATER TECHNOLOGIES. **A leader in UV treatment solutions, Atlantium Technologies provides industry and municipalities with a sustainable, measurable water treatment option**. Disponível: <https://saneamentobasico.com.br/abastecimento-de-agua/aplicacao-uv-sistemas-uv-hod-atlantium/> (Acessado em 08/11/2022).
- [6] BARCENA M., OOSTERGETEL G. T., BARTELINK W., FAAS F. G., VERKLEIJ A., ROTTIER P. J., KOSTER A. J., BOSCH B. J. **Cryoelectronic tomography of the rat hepatitis virus: insights into the structure of coronavirion**. *Proc. Nacional Acad. Sci. EUA* 2009.
- [7] BARROSO, L. B.; WOLFF, D. B. **Radiação ultravioleta para desinfecção de água**. *Disc. Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas*, S. Maria, v. 10, n. 1, p. 1-13, 2009.
- [8] BEAL A., MAHIDA N., STANIFORTH K., VAUGHAN N., CLARKE M., and BOSWELL T., **J. Hosp. Infect.** 93, 164 (2016). 10.1016/j.jhin.2016.03.016.
- [9] BERGMANNK., A.M.PHARM.Rev. (2014);availableat <http://www.americanpharmaceuticalreview.com/Featured-Articles/169257-UV-C-Irradiation-A-New-Viral-Inactivation-Method-for-Biopharmaceuticals/>.
- [10] BIASIN, M., BIANCO, A., PARESCHI, G. *et al.* UV-C irradiation is highly effective in inactivation of SARS-CoV-2 replication. *Sci Rep* 11 , 6260 (2021).
- [11] BILOTTA, P. **Estudo comparativo da ação do ozônio e radiação uv na desinfecção de esgoto sanitário**. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.
- [12] BISPO-DOS-SANTOS K, BARBOSA PP, GRANJA F, MARTINI MC, OLIVEIRA CFS, SCHUCK DC, BROHEM CA, ARNS CW, HARES JUNIOR SJ, SABINO CP, PROENCA-MODENA JL. **Ultraviolet germicidal irradiation is effective against SARS-CoV-2 in contaminated makeup powder and lipstick**. *J Photochem*

- Photobiol. 2021 Dec;8:100072. doi: 10.1016/j.jpap.2021.100072. Epub 2021 Oct 3. PMID: 34635881; PMCID: PMC8487657.
- [13] BOCK, E. G. P; MARGARIDO, G. N.; De Oliveira, M. M.; POVEDA, P.; NASCIMENTO, R. J.; FOTORAN, W. L. **UTILIZAÇÃO DE RADIAÇÃO UVC PARA DESINFECÇÃO DO AR NOS AMBIENTES**. In book: *Avanços dos estudos científicos na área das ciências exatas* (pp.309-320). 2022. DOI:10.35587/brj.ed.0001407
- [14] BITTON, G. **Wastewater Microbiology**. John Wiley & Sons, New York, 1994.
- [15] BOLTON R. J. **Calculation of ultraviolet fluence rate distributions in a annular reactor: Significance of refraction and reflection**. *Water Research*, v. 34, n. 13, p. 3315-3324, 2000.
- [16] BOLTON J.R., MAYOR-SMITH I., LINDEN K.G. **Rethinking the concepts of fluence (UV dose) and fluence rate: the importance of photon-based units – a systemic review**. *J. Photochem. Photobiol. C*. 2015;91:1252–1262. doi: 10.1111/php.12512.
- [17] BOHREROVA Z., SHEMER H., LANTIS R., IMPELLITTERI C.A., LINDEN K.G. **Comparative disinfection efficiency of pulsed and continuous-wave UV irradiation technologies**. *Water Res.* 2008;42(12):2975–2982. doi: 10.1016/j.watres.2008.04.001.
- [18] BORMANN M, ALT M, SCHIPPER L, VAN DE SAND L, OTTE M, MEISTER TL, DITTMER U, WITZKE O, STEINMANN E, KRAWCZYK A. **Disinfection of SARS-CoV-2 Contaminated Surfaces of Personal Items with UVC-LED Disinfection Boxes**. *Viruses*. 2021 Mar 31;13(4):598. doi: 10.3390/v13040598. PMID: 33807470; PMCID: PMC8065986.
- [19] BRAUN et al. (1986) Braun, A. M., Murette, M. T., e Oliveros, E. **Radiometrie et actinometrie**. Presses Polytechniques Romandes, 1986. p.542.
- [20] CADNUM J.L., LI D., REDMOND S.N., JOHN A.R., PEARLMUTTER B., DONSKEY C. **Effectiveness of ultraviolet-C Light and a high-level disinfection cabinet for decontamination of N95 respirators**. *Pathogens Immun.* 2020;5(1):52–67. doi: 10.20411/pai. V 5i1.372.
- [21] CASINI B., TUVO B., CRISTINA M. L., SPAGNOLO A. M., TOTARO M., BAGGIANI A., and PRIVITERA G. P., *Int. J. Environ. Res. Public Health* 16, 3572 (2019). 10.3390/ijerph16193572.
- [22] CASTRO, C. C. L. P. DE, CHAVES, A. T. D., NOGUEIRA, D. G. DE M., TRAJANO, R. K. N., & GOMES, A. C. A. (2020). **Adaptação dos cirurgiões-dentistas frente à ameaça da covid-19 / Adaptation of dental surgeons in front of the threat of covid-19**. *Brazilian Journal of Development*, 6(9), 64449–64459. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-035>.

- [23] CELINA M. C., MARTINEZ E., OMANA M. A., SANCHEZ A., WIEMANN D., TEZAK M., and DARGAVILLE T. R., **Polym. Degrad. Stab.** 179, 109251 (2020). 10.1016/j.polymdegradstab.2020.109251.
- [24] CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (U.S.), **antibiotic resistance threats in the united states, 2019** (Centers for Disease Control and Prevention (U.S.), 2019).
- [25] CHEMALY R. F., SIMMONS S., DALE C., GHANTOJI S. S., RODRIGUEZ M., GUBB J., STACHOWIAK J., and STIBICH M., **Ther. Adv. Infect. Dis.** 2, 79 (2014). 10.1177/2049936114543287.
- [26] CHIN AWH, CHU JTS, PERERA MRA, HUI KPY, YEN HL, CHAN MCW, PEIRIS M, POON LLM. **Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions.** *Lancet Microbe.* 2020 May;1(1):e10. doi: 10.1016/S2666-5247(20)30003-3. Epub 2020 Apr 2. PMID: 32835322; PMCID: PMC7214863.
- [27] COCHRANE.COVIDENCE. Melbourne: Cochrane; 2016 [acessado em 15/10/2022]. Disponível em: <https://www.covidence.org/>
- [28] COHEN J., **Sick time.** *Science* 367, 1294-1297 (2020).
- [29] DAFRE, A. L.; MARIS, A. F. **Efeitos biológicos da radiação.** 1ª ed. e 2ª reimp. - Florianópolis: BIOLOGIA/EAD/UFSC, 2013. 88p.
- [30] DANIEL, L. A; CAMPOS, J. R. **Fundamentos e aspectos de projeto de sistemas de desinfecção de esgoto sanitário com radiação ultravioleta.** *Revista DAE-SABESP*, n. 163, p.5-11, 1992.
- [31] DANIEL, L. A. **Desinfecção de esgotos com radiação ultravioleta: fotorreativação e obtenção de parâmetros cinéticos.** Tese de Doutorado, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1993.
- [32] DARNELL, M. E; SUBBARAO, K.; FEINSTONE. S. M.: TAYLOR, D. **R. Coronavirus inactivation that induces severe acute respiratory syndrome, SARS-CoV.** *J Virol Methods* 2004.
- [33] DOWNES, A., BLUNT, T. A. **Influence of Light on The Development of Bacteria¹.** *Nature* 16, 218 (1877).
- [34] DOWNEY, D.; GILES, D; DELWICHE, M. J. **Finite element analysis of particle and liquid flow through an ultraviolet reactor.** *Computers and Electronics in agriculture*, 21, p. 81- 105, 1998.
- [35] FAGGION C. M., LISTL S., GIANNAKOPOULOS N. N. **The methodological quality of systematic reviews of animal studies in dentistry.** *The Veterinary Journal*, 48, 140-147 (2012).

- [36] GIDARI, Anna; SABBATINI, Samuele; BASTIANELLI, Sabrina; PIERUCCI, Sara; BUSTI, Chiara; BARTOLINI, Desirée; STABILE, Anna Maria; MONARI, Claudia; GALLI, Francesco; RENDE, Mario; CRUCIANI, Gabriele; FRANCISCI, Daniela. **of SARS-CoV-2 on surfaces and the effect of UV-C light**. *Vírus* 2021.
- [37] GÓMEZ-LÓPEZ V.M., BOLTON J.R. **An approach to standardize methods for fluence determination in bench-scale pulsed light experiments**. *Food Bioprocess Technol.* 2016;9:1040–1048. doi: 10.1007/s11947-016-1696-z.
- [38] GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2003.
- [39] GUETTARI, M.; GHARBI, I.; HAMZA, S. **UVC disinfection robot**. *Environ Sci Pollut Res Int* 2020.
- [40] GURIDI A., SEVILLANO E., DE LA FUENTE I., MATEO E., ERASO E., and QUINDÓS G., *Int. J. Environ. Res. Public Health* 16, 4747 (2019). 10.3390/ijerph16234747.
- [41] GROSSMAN J., PIERCE A., MODY J., GAGNE J., SYKORA C., SAYOOD S., COOK S., SHOMER N., LIANG S. Y., and ECKHOUSE S. R., *J. Am. Coll. Surg.* 231, 275 (2020). 10.1016/j.jamcollsurg.2020.04.029.
- [42] HADI J., DUNOWSKA M., S. *et al.* **Control measures for SARS-CoV-2: a review of light-based inactivation of simple tape RNA virus**. *Pathogens*, 9 (2020), p. 737
- [43] HAMZAVI I. H., LYONS A. B., KOHLI I., NARLA S., PARKS-MILLER A., GELFAND J. M., LIM H. W., AND OZOG D. M., *J. Am. Acad. Dermatol.* 82, 1511 (2020). 10.1016/j.jaad.2020.03.085.
- [44] **HEALTH QUALITY ONTARIO, Ont.** *Health Technol. Assess. Ser.* 18, 1 (2018).
- [45] HEERING W. **Fontes UV – fundamentals, properties and applications**. *News da IUVA*. 2004; 6 :7-13.
- [46] HEILINGLOH C. S, AUFDERHORST U. W, SCHIPPER L, DITTMER U, WITZKE O, YANG D, ZHENG X, SUTTER K, TRILLING M, ALT M, STEINMANN E, KRAWCZYK A. **Susceptibility of SARS-CoV-2 to UV irradiation**. *Am J Infect Control.* 2020 Oct;48(10):1273-1275. doi: 10.1016/j.ajic.2020.07.031. Epub 2020 Aug 4. PMID: 32763344; PMCID: PMC7402275.
- [47] HOFFMANN M, KLEINE-WEBER H, SCHROEDER S, KRÜGER N, HERRLER T, ERICHSEN S, SCHIERGENS TS, HERRLER G, WU NH, NITSCHKE A, MÜLLER MA, DROSTEN C, PÖHLMANN S. **SARS-CoV-2 Cell Entry Depends on ACE2 and TMPRSS2 and Is Blocked by a Clinically Proven Protease Inhibitor**. *Cell.* 2020 Apr 16;181(2):271-280.e8. doi: 10.1016/j.cell.2020.02.052. Epub 2020 Mar 5. PMID: 32142651; PMCID: PMC7102627.

- [48] IARED W., VALENTE O. **Revisões sistemáticas de estudos de acurácia.** Diagn Tratamento 2009; 14 (2): 85-88.
- [49] INAGAKI H, SAITO A, SUGIYAMA H, OKABAYASHI T, FUJIMOTO S. **Rapid inactivation of SARS-CoV-2 with deep-UV LED irradiation.** Emerg Microbes Infect. 2020 Dec;9(1):1744-1747. doi: 10.1080/22221751.2020.1796529. PMID: 32673522; PMCID: PMC7473214.
- [50] JEAN J, RODRÍGUEZ-LÓPEZ M. I, JUBINVILLE E, NÚÑEZ-DELICADO E, GÓMEZ-LÓPEZ V. M. **Potential of pulsed light technology for control of SARS-CoV-2 in hospital environments.** J Photochem Photobiol B. 2021 Feb;215:112106. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2020.112106. Epub 2020 Dec 28. PMID: 33383557; PMCID: PMC7767662.
- [51] KAMPF G., TODT D., PFAENDER S., STEINMANN E. **Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents.** *J. Hosp. Infect.* 2020.
- [52] KARALAK, G. Infografic da cor do espectro visível da luz solar. Pt. Dreamstime, 2022. Disponível em: <https://pt.dreamstime.com/infographic-da-cor-do-espectro-visível-luz-solar-image123033953>. Acessado em: 19/12/2022.
- [53] KHAILANY R. A., SAFDAR M., OZASLAN M. **Genomic characterization of a new SARS-CoV-2.** *Gene Rep.* 2020.
- [54] KIRCHHOFF, H. J. W.V. **Ozone and UV-B Radiation.** Transitec Editorial, São José dos Campos/SP. 1995.
- [55] KITAGAWA H, NOMURA T, NAZMUL T, OMORI K, SHIGEMOTO N, SAKAGUCHI T, OHGE H. **Effectiveness of 222-nm ultraviolet light on disinfecting SARS-CoV-2 surface contamination,** American Journal of Infection Control, V. 49, Issue 3, 2021.
- [56] KITAJIMA M, A.W., BIBBY K. **SARS-CoV-2 in wastewater: State of the knowledge and research needs.** *Sci. Total Environ.* 2020.
- [57] KOIVUNEN J. and HEINONEN-TANSKI H., **Water Res.** 39, 1519 (2005). 10.1016/j.watres.2005.01.021.
- [58] KOLLER, L. R. **Ultraviolet Radiation.** John Wiley & Sons, London, 1958. p.220.
- [59] KOWALSKI W. Springer; **Manual of Ultraviolet Germicidal Irradiation,** 2009.
- [60] LACERDA, J. A. S. **Utilização da radiação ultravioleta (UV-C) visando a atenuação da ecotoxicidade em fluidos de teste hidrostático e hibernação de dutos na indústria de petróleo e gás.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória/ES – 2010.
- [61] LAM T. T, JIA N, ZHANG Y. W, SHUM M. H, JIANG J. F, ZHU H. C, TONG Y. G, SHI Y. X, NI X. B, LIAO Y. S, LI W. J, JIANG B. G, WEI W, YUAN T. T, ZHENG

- K, CUI X. M, LI J, PEI G. Q, QIANG X, CHEUNG W. Y, LI LF, SUN F. F, QIN S, HUANG J. C, LEUNG G. M, HOLMES E. C, HU Y. L, GUAN Y, CAO W. C. **Identifying SARS-CoV-2-related coronaviruses in Malayan pangolins.** *Nature*. 2020 Jul;583(7815):282-285. doi: 10.1038/s41586-020-2169-0. Epub 2020 Mar 26. PMID: 32218527.
- [62] LI Q, GUAN X, WU P, WANG X, ZHOU L, TONG Y, REN R, LEUNG K. S. M, LAU E. H. Y, WONG J. Y, XING X, XIANG N, WU Y, LI C, CHEN Q, LI D, LIU T, ZHAO J, LIU M, TU W, CHEN C, JIN L, YANG R, WANG Q, ZHOU S, WANG R, LIU H, LUO Y, LIU Y, SHAO G, LI H, TAO Z, YANG Y, DENG Z, LIU B, MA Z, ZHANG Y, SHI G, LAM T. T. Y, WU J. T, GAO G. F, COWLING B. J, YANG B, LEUNG G. M, FENG Z. **Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-Infected Pneumonia.** *N Engl J Med*. 2020 Mar 26;382(13):1199-1207. doi: 10.1056/NEJMoa2001316. Epub 2020 Jan 29. PMID: 31995857; PMCID: PMC7121484.
- [63] LI X., CAI M., WANG L., NIU F., YANG D., and ZHANG G., **Sci. Total Environ.** 659, 1415 (2019). 10.1016/j.scitotenv.2018.12.344.
- [64] LOWEN AC, MUBAREKA S., STEEL J., PALESE P., **Transmission of influenza virus depends on relative humidity and temperature.** *PLoS Pathog.* 3, 1470-1476 (2007).
- [65] LU R, ZHAO X, LI J, NIU P, YANG B, WU H, WANG W, SONG H, HUANG B, ZHU N, BI Y, MA X, ZHAN F, WANG L, HU T, ZHOU H, HU Z, ZHOU W, ZHAO L, CHEN J, MENG Y, WANG J, LIN Y, YUAN J, XIE Z, MA J, LIU W. J, WANG D, XU W, HOLMES E. C, GAO G. F, WU G, CHEN W, SHI W, TAN W. **Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus: implications for virus origins and receptor binding.** *Lancet*. 2020 Feb 22;395(10224):565-574. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30251-8. Epub 2020 Jan 30. PMID: 32007145; PMCID: PMC7159086.
- [66] MALIK Y. A. **Propriedades de coronavírus e Sars-Cov-2.** *malaio. J. Pathol.* 2020.
- [67] MANCINI, M. W.; LOPES, L. A.; JACINTO, G. S.; TSUKAMOTO, J. and ARNS, C. W., **Photomedicine and Laser Surgery.** April 2022.273-279.
- [68] MARTINS, R. J. E. **A radiação ultravioleta na desinfecção de águas residuais domésticas** / Ramiro José Espinheira Martins. — Iguatu, CE : Quipá Editora, 2021.
- [69] MARRA A. R., SCHWEIZER M. L., and EDMOND M. B., **Infect. Control Hosp. Epidemiol.** 39, 20 (2018). 10.1017/ice.2017.226.
- [70] MCGINN C, SCOTT R, DONNELLY N, ROBERTS KL, BOGUE M, KIERNAN C, BECKETT M. **Exploring the Applicability of Robot-Assisted UV Disinfection in Radiology.** *Front Robot AI*. 2021 Jan 6;7:590306. doi: 10.3389/frobt.2020.590306. PMID: 33501347; PMCID: PMC7815819.
- [71] MESTRES, P. S. **A biologia molecular dos coronavírus.** *Av. Vírus Res.* 2006.

- [72] MESSINA G, DELLA CAMERA A, FERRARO P, AMODEO D, Corazza A, NANTE N, CEVENINI G. **An Emerging Innovative UV Disinfection Technology (Part II): Virucide Activity on SARS-CoV-2.** Int J Environ Res Public Health. 2021 Apr 7;18(8):3873. doi: 10.3390/ijerph18083873. PMID: 33917088; PMCID: PMC8067697.
- [73] MICHELINI Z, MAZZEI C, MAGURANO F, BAGGIERI M, MARCHI A, ANDREOTTI M, CARA A, GAUDINO A, MAZZALUPI M, ANTONELLI F, SOMMELLA L, ANGELETTI S, RAZZANO E, RUNGE A, PETRINCA P. **UltraViolet SANitizing System for Sterilization of Ambulances Fleets and for Real-Time Monitoring of Their Sterilization Level.** Int J Environ Res Public Health. 2021 Dec 29;19(1):331. doi: 10.3390/ijerph19010331. PMID: 35010590; PMCID: PMC8750941.
- [74] MOURA, A. **Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de águas com turbidez e cor moderadas.** Dissertação de mestrado. Escola de engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte/ MG. 2000.
- [75] **N95DECON (2020).** Acessado em 13 de fevereiro de 2023 em A scientific consortium for data-driven study of N95 filtering facepiece respirator decontaminationexternal icon.
- [76] NERANDZIC M. M., THOTA P., SANKAR C. T., JENCSON A., CADNUM J. L., RAY A. J., SALATA R. A., WATKINS R. R., and DONSKEY C. J., *Infect. Control Hosp. Epidemiol.* 36, 192 (2015). 10.1017/ice.2014.36
- [77] NITA, M. E, SECOLI, S. R, NOBRE, M. R. C, ONO-NITA, S. K, CAMPINO, A. C. C. SARTI, F. M, COSTA, A. M. N. CARRILHO, F. J. **Avaliação de Tecnologias em Saúde: Evidência Clínica, Análise Econômica e Análise de Decisão.** Porto Alegre: Artmed, 2010.
- [78] NUNAYON S. S., ZHANG H., and LAI A. C. K., *Indoor Air* 30, 180 (2020). 10.1111/ina.12619.
- [79] OKUNO, E. e VILELA, C. A. P. **Radiação Ultravioleta: Características e Efeitos.** Ed. Livraria da Física. São Paulo, 2005.
- [80] OLIVEIRA, E. C. M., **Desinfecção de efluentes sanitários tratados através da radiação ultravioleta.** Dissertação de mestrado. Departamento de engenharia sanitária e ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2003.
- [81] OTTO, C.; ZAHN, S.; ROST, F.; ZAHN, P. JAROS, D.; ROHM, H. **Physical methods of cleaning and disinfection of surfaces.** Food Eng Rev 2011; 3:171–188. Referência cruzada, Google Acadêmico
- [82] PHILLIPS (1983) Phillips, R. **Sources and Applications of Ultraviolet Radiation.** Academic Press, New York, 1983.

- [83] RANDAZZO W., TRUCHADO P., CUEVAS-FERRANDO E., SIMON P., ALLENDE A., SANCHEZ G. **SARS-CoV-2 RNA in wastewater anticipated COVID-19 occurrence in a low prevalence area.** *Water Res.* 2020.
- [84] RATNESAR-SHUMATE S., et al., **Simulated sunlight quickly inactivates the SARS-CoV-2 on surfaces.** *J. Infectar. Des.* **222** , 214-222 (2020).
- [85] RATHNASINGHE R, KARLICEK R. F, SCHOTSAERT M, KOFFAS M. A, ARDUINI B, JANGRA S, WANG B, DAVIS J. L, ALNAGGAR M, COSTA A, VINCENT R, GARCIA-SASTRE A, VASHISHTH D, BALCHANDANI P. **Scalable, effective, and rapid decontamination of SARS-CoV-2 contaminated N95 respirators using germicidal ultra-violet C (UVC) irradiation device.** medRxiv [Preprint]. 2020 Oct 6:2020.10.05.20206953. doi: 10.1101/2020.10.05.20206953. Update in: Sci Rep. 2021 Oct 7;11(1):19970. PMID: 33052360; PMCID: PMC7553180.
- [86] RATTANAKUL, S.; OGUMA, K. **Kinetics of inactivation and efficiency of UV-LEDs against *Pseudomonas aeruginosa*, *Legionella pneumophila* and substitute microorganisms.** *Water Res.* 2018; 130 :31-37. doi: 10.1016/j.watres.2017.11.047.
- [87] RICHARD, M. M., PETERSON, J.W. **Not all wavelengths are created equal: disinfection of SARS-CoV-2 using UVC radiation is wavelength-dependent.** Access Microbiol. 2021 Nov 2;3(11):000276. doi: 10.1099/acmi.0.000276. PMID: 35018323; PMCID: PMC8742593.
- [88] SABINO C. P, BALL A. R, BAPTISTA M. S, DAI T, HAMBLIN M. R, RIBEIRO M. S, SANTOS A. L, SELLERA F. P, TEGOS G. P, WAINWRIGHT M. **Light-based technologies for management of COVID-19 pandemic crisis.** *J Photochem Photobiol B.* 2020 Nov; 212:111999. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2020.111999. Epub 2020 Aug 19. PMID: 32855026; PMCID: PMC7435279.
- [89] SABINO C. P, SELLERA F. P, SALES-MEDINA D. F, MACHADO R. R. G, DURIGON E. L, FREITAS-JUNIOR L. H, RIBEIRO M. S. **UV-C (254 nm) lethal doses for SARS-CoV-2.** *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2020 Dec;32:101995. doi: 10.1016/j.pdpdt.2020.101995. Epub 2020 Sep 8. PMID: 32916328; PMCID: PMC7477605.
- [90] SANTOS, Talía Simões dos. **Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais.** *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, p. 595-602, 2015.
- [91] SELLERA, F. P.; SABINO, C. P.; CABRAL, F.V.; RIBEIRO, M. S. **A systematic scoping review of ultraviolet C (UVC) light systems for SARS-CoV-2 inactivation,** *Journal of Photochemistry and Photobiology.* V. 8, 2021.
- [92] SCHAEFER R., GRAPPERHAUS M., SCHAEFER I., LINDEN K. **Pulsed UV lamp performance and comparison with UV mercury lamps.** *Environ. Eng. Sci.* 2007;6:303–310. doi: 10.1139/S06-068.

- [93] SCHALK S., ADAM V., ARNOLD E., BRIEDEN K., VORONOV A., **Witzke HD UV lamps for disinfection and advanced oxidation - types of lamps, technologies and applications.** *News from IUVA*. 2006; 8 :37-42.
- [94] SHANG J., WAN Y., LUO C., YE G., GENG Q., AUERBACH A., and LI F., **Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.** 117, 11727 (2020). 10.1073/pnas.2003138117.
- [95] SHE R. C., CHEN D., PAK P., ARMANI D. K., SCHUBERT A., and ARMANI A. M., **Biomed. Opt. Express** 11, 4326 (2020). 10.1364/boe.395659.
- [96] SHEA B. J., HAMEL C., WELLS G. A., BOUTER L. M., KRISTJANSSON E., GRIMSHAW J., HENRY D. A., BOERS M. **AMSTAR is a reliable and valid measurement tool to assess the methodological quality of systematic reviews.** *J Clin Epidemiol*. 2009 Oct;62(10):1013-20. doi: 10.1016/j.jclinepi.2008.10.009. Epub 2009 Feb 20. PMID: 19230606.
- [97] SHIMODA H, MATSUDA J, IWASAKI T, HAYASAKA D. **Efficacy of 265-nm ultraviolet light in inactivating infectious SARS-CoV-2.** *J Photochem Photobiol*. 2021 Sep;7:100050. doi: 10.1016/j.jpap.2021.100050. Epub 2021 Jun 17. Erratum in: *J Photochem Photobiol*. 2022 Mar;9:100100. PMID: 34183999; PMCID: PMC8215571
- [98] SHOLTES K. A, LOWE K, WALTERS G. W, SOBSEY M. D, LINDEN K. G, CASANOVA L. M. **Comparison of ultraviolet light-emitting diodes and low-pressure mercury-arc lamps for disinfection of water.** *Environ Technol*. 2016 Sep;37(17):2183-8. doi: 10.1080/09593330.2016.1144798. Epub 2016 Feb 22. PMID: 26888599.
- [99] SHI J, WEN Z, ZHONG G, YANG H, WANG C, HUANG B, LIU R, HE X, SHUAI L, SUN Z, ZHAO Y, LIU P, LIANG L, CUI P, WANG J, ZHANG X, GUAN Y, TAN W, WU G, CHEN H, BU Z. **Susceptibility of ferrets, cats, dogs, and other domesticated animals to SARS-coronavirus 2.** *Science*. 2020 May 29;368(6494):1016-1020. doi: 10.1126/science.abb7015. Epub 2020 Apr 8. PMID: 32269068; PMCID: PMC7164390.
- [100] SINGH S, KUMAR V, KAPOOR D, DHANJAL D. S, BHATIA D, JAN S, SINGH N, ROMERO R, RAMAMURTHY P. C, SINGH J. **Detection and disinfection of COVID-19 virus in wastewater.** *Environ Chem Lett*. 2021;19(3):1917-1933. doi: 10.1007/s10311-021-01202-1. Epub 2021 Feb 22. PMID: 33642964; PMCID: PMC7898499.
- [101] SINHA R. P. and HÄDER D.-P., *Photochem. Photobiol. Sci.* 1, 225 (2002). 10.1039/b201230h.
- [102] SKOOG, D. A., WEST, D. M., e HOLLER, F. J. **Analytical chemistry.** Saunders College Pub., 1994. 6.ed.
- [103] SMITH, M. A. **Radiação não ionizante: radiação de micro-ondas, radiação infravermelho e luz pulsada.** Basicmedicalkey.com. Disponível em: <https://basicmedicalkey.com/nonionizing-radiation-microwave-radiation-infrared-radiation-and-pulsed-light/> Acessado em: 20/12/2022.

- [104] SOHRABI C, ALSAFI Z, O'NEILL N, KHAN M, KERWAN A, AL-JABIR A, IOSIFIDIS C, AGHA R. **World Health Organization declares global emergency: a review of the new coronavirus 2019 (COVID-19)** Int. J. Surg. 76 (2020), pp. 71-76, [10.1016/j.ijsu.2020.02.034](https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2020.02.034).
- [105] SOLER M, SCHOLTZ A, ZETO R, ARMANI AM. **Engineering photonics solutions for COVID-19**. APL Photonics. 2020 Sep 1;5(9):090901. doi: [10.1063/5.0021270](https://doi.org/10.1063/5.0021270). PMID: 33015361; PMCID: PMC7523711.
- [106] SOUZA S. O., dos PRAZERES C. L. S., VIERIA J. S., ALMEIDA W., SARMENTO A. S. A. C., da CRUZ P.V.D, RODRIGUES JUNIOR J. J., OLIVEIRA E. N., ATTIE M. R. P., da SILVA JÚNIOR W. M. **DESENVOLVIMENTO DE CABINE DE LUZ UVC PARA DESINFECÇÃO DE MÁSCARAS MÉDICAS N95**. Revista Interdisciplinar de Pesquisa e Inovação COVID. 2020; 197(2):17–30.
- [107] SOUZA, S. O.; CARDOSO JR, A. A.; SARMENTO, A. S. C.; D'ERRICO, F. **Effectiveness of a UVC air disinfection system for the HVAC of an ICU**. European Physical Journal Plus, v. 137, p. 37, 2022.
- [108] SANTOS, V. G. B.; SOUZA, D. N.; De SOUZA, S. O.; De MELO, A. P.; Dos SANTOS, E. J.; SANTOS, P.C. L. **RODO UVC PARA DESINFECÇÃO DE SUPERFÍCIES**. 2022, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR1020220101370, título: " RODO UVC PARA DESINFECÇÃO DE SUPERFÍCIES", Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Depósito: 25/05/2022
- [109] STADNYTSKYI V., BAX C.E., BAX A., ANFINRUD P. **The airborne lifetime of small speech droplets and their potential importance in SARS-CoV-2 transmission**. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 2020.
- [110] STORM N, MCKAY L. G. A, DOWNS S. N, JOHNSON R. I, BIRRU D, DE SAMBER M, WILLAERT W, CENNINI G, GRIFFITHS A. **Rapid and complete inactivation of SARS-CoV-2 by ultraviolet-C irradiation**. Sci Rep. 2020 Dec 30;10(1):22421. doi: [10.1038/s41598-020-79600-8](https://doi.org/10.1038/s41598-020-79600-8). PMID: 33380727; PMCID: PMC7773738.
- [111] SU W. L, LIN C. P, HUANG H. C, WU Y. K, YANG M. C, CHIU S. K, PENG M. Y, CHAN M. C, CHAO Y. C. **Clinical application of 222 nm wavelength ultraviolet C irradiation on SARS CoV-2 contaminated environments**. J Microbiol Immunol Infect. 2022 Feb;55(1):166-169. doi: [10.1016/j.jmii.2021.12.005](https://doi.org/10.1016/j.jmii.2021.12.005). Epub 2022 Jan 13. PMID: 35094944; PMCID: PMC8755561.
- [112] SUN P, QIE S, LIU Z, REN J, LI K, XI J. **Clinical characteristics of hospitalized patients with SARS-CoV-2 infection: A single arm meta-analysis**. J Med Virol. 2020 Jun;92(6):612-617. doi: [10.1002/jmv.25735](https://doi.org/10.1002/jmv.25735). Epub 2020 Mar 11. PMID: 32108351; PMCID: PMC7228255.

- [113] TARRAN, E. P. **Desinfecção por luz ultravioleta: Eficiência na desinfecção de água.** Água Latinoamerica, edição março/abril de 2002.
- [114] TRICCO A. C, LILLIE E, ZARIN W, O'BRIEN K. K, COLQUHOUN H, LEVAC D, MOHER D, PETERS M. D. J, HORSLEY T, WEEKS L, HEMPEL S, AKL E. A, CHANG C, MCGOWAN J, STEWART L, HARTLING L, ALDCROFT A, WILSON M. G, GARRITTY C, LEWIN S, GODFREY C. M, MACDONALD M. T, LANGLOIS E.V, SOARES-WEISER K, MORIARTY J, CLIFFORD T, TUNÇALP Ö, STRAUS S. E. **PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation.** *Ann Intern Med.* 2018 Oct 2;169(7):467-473. doi: 10.7326/M18-0850. Epub 2018 Sep 4. PMID: 30178033.
- [115] UMEZAWA K., ASAI S., INOKUCHI S., MIYACHI H. **A comparative study of the bactericidal activity and daily disinfection housekeeping surfaces by a new portable pulsed UV radiation device.** *Curr. Microbiol.* 2012;64:581–587. doi: 10.1007/s00284-012-0110-y.
- [116] VAN DER VOSSEN, J.M.B.M., FAWZY, A, OUWENS, A.M.T, VAN DOORNALEEN, J P C M, DE SAMBER, M, DRIESSENS, R, HEERIKHUISEN, M, MONTIJN, R C. **Effective ultraviolet C light disinfection of respirators demonstrated in challenges with *Geobacillus stearothermophilus* spores and SARS-CoV-2 virus,** *Journal of Hospital Infection*, V. 122, 2022.
- [117] VAN DOORNALEEN N, BUSHMAKER T, MORRIS D. H, HOLBROOK M. G, GAMBLE A, WILLIAMSON B. N, TAMIN A, HARCOURT J. L, THORNBURG N. J, GERBER S. I, LLOYD-SMITH J. O, DE WIT E, MUNSTER V. J. **Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1.** *N Engl J Med.* 2020 Apr 16;382(16):1564-1567. doi: 10.1056/NEJMc2004973. Epub 2020 Mar 17. PMID: 32182409; PMCID: PMC7121658.
- [118] VELAVAN, T. P.; MEYER, C.G. **The COVID-19 Troop Med epidemic.** *Int. Health*, 25 (2020), pp. 278-280, 10.1111 / tmi.13383.
- [119] WALLS A. C., PARK Y.-J., TORTORICI M. A., WALL A., MCGUIRE A. T., and VEESLER D., **Cell** 181, 281 (2020). 10.1016/j.cell.2020.02.058
- [120] WANG LF, SHI Z., ZHANG S., FIELD H., DASZAK P., EATON BT. **Bat and SARS Review.** *Emerg. Infectar. Des.* 2006.
- [121] WANG W., XU Y., GAO R., LU R., HAN K., WU G., TAN W. **Detection of SARS-CoV-2 in different types of clinical specimens.** *JAMA.* 2020.
- [122] WEF. **Wastewater Disinfection - Manual of Prattice.** Water Environment Federation, USA, 1996.
- [123] WU F, ZHAO S, YU B, CHEN Y. M, WANG W, SONG Z. G, HU Y, TAO Z. W, TIAN J. H, PEI Y. Y, YUAN M. L, ZHANG Y. L, DAI F. H, LIU Y, WANG Q. M, ZHENG J. J, XU L, HOLMES E. C, ZHANG Y. Z. **A new coronavirus associated with human respiratory disease in China.** *Nature.* 2020 Mar;579(7798):265-269.

- doi: 10.1038/s41586-020-2008-3. Epub 2020 Feb 3. Erratum in: *Nature*. 2020 Apr;580(7803):E7. PMID: 32015508; PMCID: PMC7094943.
- [124] WU Y, GUO C, TANG L, HONG Z, ZHOU J, DONG X, YIN H, XIAO Q, TANG Y, QU X, KUANG L, FANG X, MISHRA N, LU J, SHAN H, JIANG G, HUANG X. **Prolonged presence of SARS-CoV-2 viral RNA in faecal samples.** *Lancet Gastroenterol Hepatol*. 2020 May;5(5):434-435. doi: 10.1016/S2468-1253(20)30083-2. Epub 2020 Mar 20. PMID: 32199469; PMCID: PMC7158584.
- [125] **XENON. PULSED UV LIGHT.**2014. Se você tiver um problema com a cura UV de mercúrio, temos uma solução melhor. https://xenoncorp.com/wp-content/uploads/2019/11/Pulsed-Light-vs-Mercury-for-Curing_Brochure.pdf . Acessado em 9 de outubro de 2020.
- [126] ZHOU F, YU T, DU R, FAN G, LIU Y, LIU Z, XIANG J, WANG Y, SONG B, GU X, GUAN L, WEI Y, LI H, WU X, XU J, TU S, ZHANG Y, CHEN H, CAO B. **Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study.** *Lancet*. 2020 Mar 28;395(10229):1054-1062. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30566-3. Epub 2020 Mar 11. Erratum in: *Lancet*. 2020 Mar 28;395(10229):1038. Erratum in: *Lancet*. 2020 Mar 28;395(10229):1038. PMID: 32171076; PMCID: PMC7270627.
- [127] ZHOU J. **Infection of bat and human intestinal organoids by SARS-CoV-2.** *Nat. Med*. 2020.
- [128] ZHU N, ZHANG D, WANG W, LI X, YANG B, SONG J, ZHAO X, HUANG B, SHI W, LU R, NIU P, ZHAN F, MA X, WANG D, XU W, WU G, GAO GF, TAN W. **China Novel Coronavirus Investigating and Research Team. A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China, 2019.** *N Engl J Med*. 2020 Feb 20;382(8):727-733. doi: 10.1056/NEJMoa2001017. Epub 2020 Jan 24. PMID: 31978945; PMCID: PMC7092803.
- [129] Marques, N. L. R., & Bulhões, L. O. de S. (2019). **Uma abordagem histórica sobre a interação da radiação com a matéria.** *Revista Educar Mais*, 3(2), 219–229. <https://doi.org/10.15536/reducarmais.3.2019.219-229.1517>

ANEXOS

ANEXO I – Comprovante de registro do protocolo do estudo no *International Prospective Register of Systematic Reviews* (PROSPERO)

20/10/2022 13:36

PROSPERO

You have 1 records

Records I'm working on

These records are still being edited by you and have not been submitted for publication.

ID	Title	Status	Last edited
CRD42022354695	A systematic review on the effectiveness of ultraviolet radiation as a germicidal agent To enable PROSPERO to focus on COVID-19 registrations during the 2020 pandemic, this registration record was automatically published exactly as submitted. The PROSPERO team has not checked eligibility.	Registered	11/10/2022

ANEXO II – Formulário de extração dos dados dos estudos voltados a utilização da radiação UVC como agente germicida.

Título do artigo	
Nome dos autores	
Ano de publicação	
Periódico	
Objetivos do estudo	
Características do UVC	
Resultados em relação à inativação do SARS-CoV-2	
Informações adicionais	