

## SISTEMA UPPER ROOM PARA DESINFECÇÃO DE SALAS DE AULA POR ILUMINAÇÃO ULTRAVIOLETA

Oskar Heinrich Lopes Junghans<sup>1</sup>  
Joab da Silva Bezerra<sup>2</sup>  
Gabriell John Medeiros de Araujo<sup>3</sup>

### RESUMO

A radiação ultravioleta é aplicada na desinfecção do ar e de superfícies a mais de um século. Ambientes hospitalares, principalmente salas cirúrgicas, costumam adotar UVGI (Irradiação Germicida Ultravioleta) nos dutos de ventilação para manter o ambiente livre de vírus e bactérias que possam causar infecções hospitalares. A eficiência das lâmpadas ultravioletas para inativação do vírus SARS-CoV-2 foi confirmada em muitas publicações nos dois últimos anos, tornando-se uma alternativa importante no combate à Pandemia de COVID-19. No atual cenário de retorno às aulas presenciais, esse trabalho propõe a construção de sistemas Upper Room para desinfecção de salas de aula por meio de lâmpadas com emissão ultravioleta de 254 nm. O trabalho foi elaborado para escolas de regiões com clima semi-árido, onde a climatização do ambiente escolar é necessidade e o desconforto térmico interfere no aprendizado. O sistema Upper Room foi projetado com lâmpadas da linha Puritec da OSRAM e as características do sistema possibilitam a desinfecção do ambiente durante as aulas, mesmo com ambiente fechado e uso de ar-condicionado.

**Palavras-chave:** Desinfecção ultravioleta, Upper Room, COVID-19, UVGI.

### INTRODUÇÃO

Desde o ano de 2020, o mundo passa por uma severa Pandemia causada pelo coronavírus SARS-CoV-2. A COVID-19, doença respiratória causada pelo vírus, já ceifou mais de 4,55 milhões de vidas humanas até meados de 2021. Além das perdas humanas, também gerou uma grande crise econômica no Brasil e no Mundo como consequência, principalmente, das medidas restritivas impostas pelos governos.

O SARS-CoV-2 tem como forma de propagação o ar. Um dos motivos para a rápida disseminação da doença. Por se tratar de um novo coronavírus, a produção de vacinas, mesmo com adiantamento de etapas, demorou aproximadamente um ano.

---

<sup>1</sup>Aluno do Curso Técnico de Manutenção e Suporte em Informática, Instituto Federal - RN, [oskar.lopes@escolar.ifrn.edu.br](mailto:oskar.lopes@escolar.ifrn.edu.br);

<sup>2</sup>Aluno do Curso Técnico de Manutenção e Suporte em Informática, Instituto Federal - RN, [joab.s@escolar.ifrn.edu.br](mailto:joab.s@escolar.ifrn.edu.br);

<sup>3</sup> Professor orientador: Mestre, Instituto Federal - RN, [gabriell.araujo@ifrn.edu.br](mailto:gabriell.araujo@ifrn.edu.br).

Nesse período, as medidas de contenção se concentraram no isolamento social e práticas de higiene como lavar constantemente as mãos e uso de álcool gel 70%.

Vários estudos foram realizados para comprovar a eficácia de medicamentos para o tratamento dos doentes e outros estudos para métodos de inibição da propagação. Estudos recentes publicados na revista Nature, mostraram que a utilização de luzes do espectro ultravioleta com comprimentos de onda entre 222 nm e 254 nm possui uma boa eficácia para eliminação de vírus em ambientes fechados e em superfícies. Sendo que as luzes com comprimento de 222 nm são eficazes para a eliminação dos vírus em locais com a presença de seres humanos. Já as luzes UV de comprimento de onda de 254 nm não são recomendadas para desinfecção em contato direto com a pele e olhos de pessoas e animais.

A luz ultravioleta germicida, normalmente a 254 nm, é eficaz neste contexto, mas, usada diretamente, pode ser prejudicial à saúde da pele e dos olhos. Em contraste, a luz ultravioleta distante (207–222 nm) mata os patógenos com eficiência, potencialmente sem causar danos aos tecidos humanos expostos. Demonstramos anteriormente que a luz UVC distante 222 nm mata com eficiência o vírus influenza transportado pelo ar e estendemos esses estudos para explorar a eficácia do UVC distante contra coronavírus humanos alfa HCoV-229E e beta HCoV-OC43 transportados pelo ar. Baixas doses de 1,7 e 1,2 mJ / cm<sup>2</sup> inativam 99,9% do coronavírus 229E e OC43 em aerossol, respectivamente. (BUONANNO, et al. 2020, p. 1 tradução nossa)

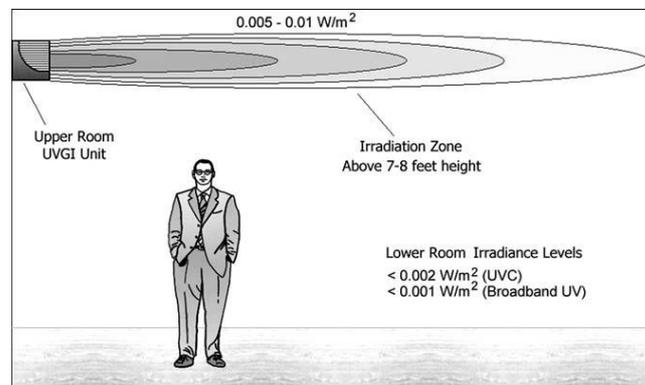
O uso de luz UV como solução germicida não é uma linha de pesquisa recente. Há estudos sobre a área que datam mais de 140 anos. Um dos primeiros trabalhos sobre o assunto foi realizado por Arthur Downes e Thomas P. Blunt em 1877, no qual foi mostrado que as bactérias expostas à luz do Sol ficavam inativadas. Foi constatado que a luz UV proveniente dos raios solares era responsável pela inativação. A partir desse estudo surgiu uma área de conhecimento que até hoje se perpetua, com um longo histórico de pesquisas e experimentações.

Atualmente, os trabalhos de UVGI (Irradiação Germicida Ultravioleta) se concentram na área de saúde, principalmente, esterilização de materiais e ambientes hospitalares. Esse trabalho defende a expansão do uso de UVGI para outros ambientes, com preocupação inicial com as salas de aula, com projeto e implantação de sistema de desinfecção por lâmpadas UV com emissão de 254 nm. O sistema proposto é instalado no teto da sala de aula formando uma região de desinfecção no volume superior da sala, um tipo de instalação conhecido na literatura como *Upper Room*.

## METODOLOGIA

(KOWALSKI, 2009) faz uma grande revisão bibliográfica sobre UVGI, explicando a origem histórica, mostrando a ação da irradiação sobre o DNA viral e apresentando as diversas formas de desinfecção propostas. Um dos sistemas proposto para ambientes fechados é chamado de Upper Room. Esse sistema consiste em utilizar as chamadas zonas ultravioletas. Essas zonas, situadas na parte superior das salas, são irradiadas com luzes UV de espectro germicida. Os vírus contidos nos aerossóis provenientes da respiração ficam em suspensão e tendem a subir, pois o ar que sai dos pulmões é mais quente que o ar ambiente. A Figura 1 ilustra o sistema Upper Room.

**Figura 1** - Sistema de desinfecção por luz UV Upper Room.



**Fonte:** (KOWALSKI, 2009, p. 214)

O Upper Room se baseia em lâmpadas ultravioletas colocadas em uma unidade especial para criar a zona de irradiação. Nesta região, o fluxo UV é máximo. Dessa forma, os micróbios que estiverem nela serão inativados rapidamente, desde que o sistema esteja corretamente dimensionado (KOWALSKI, 2009). Esse método se mostra muito eficiente em países que possuem poucos recursos, pois a sua instalação é relativamente fácil e barata (OMS, 1999).

A unidade especial para as lâmpadas UV possui formato retangular ou circular, com persianas e refletores. As luminárias normalmente possuem formatos parecidos com a Figura 2.

Figura 2 - Unidades de desinfecção por luz UV para sistemas Upper Room.



Fonte: (KOWALSKI, 2009, p. 214)

Esses elementos se mostram importantes para evitar a propagação da luz UV para a parte inferior do ambiente. A taxa de reflexão e irradiação das unidades UV pode ser calculada com modelos computacionais gerados por software (KOWALSKI, 2009).

A luz UV pode causar danos aos olhos e à pele, se estiver em contato direto. Porém, a luz ultravioleta projetada com persianas não atinge as pessoas, como ilustrado na Figura 1. As persianas direcionam os raios de forma horizontal. Dessa forma, a zona de irradiação está em uma altura maior do que as pessoas que estiverem no local. As persianas permitem usar lâmpadas de 254 nm, pois não há incidência direta sobre os humanos no ambiente. Para utilização direta sobre humanos é necessário usar lâmpadas com emissão em 222 nm, que são significativamente mais caras. A respeito da quantidade de lâmpadas e da potência necessária para desinfecção, Kowalski (2009) esclarece:

O tamanho de um sistema Upper Room é geralmente especificado em termos de watts totais de entrada da lâmpada. O número e a potência das luminárias podem ser baseados nos níveis médios de irradiância, na área do piso da sala e na altura do teto, ou mesmo no número total de ocupantes. Todas essas abordagens podem fornecer resultados adequados. (KOWALSKI, 2009, p. 227, tradução nossa).

O sistema Upper Room pode ser dimensionado de acordo com a área da sala, determinando a quantidade de energia por área ( $J/m^2$ ). Dessa forma, se a sala possuir um fluxo de ar contínuo, a seguinte fórmula sugerida por Kowalski, poderá ser utilizada para dimensionar o sistema.

$$D = I_m t_{res} = I_m \frac{V}{Q}$$

Onde:

$D$  = dose de irradiação UV,  $J/m^2$

$I_m$ = irradiância média, W/m<sup>2</sup>

$t_{res}$ = tempo de residência, s

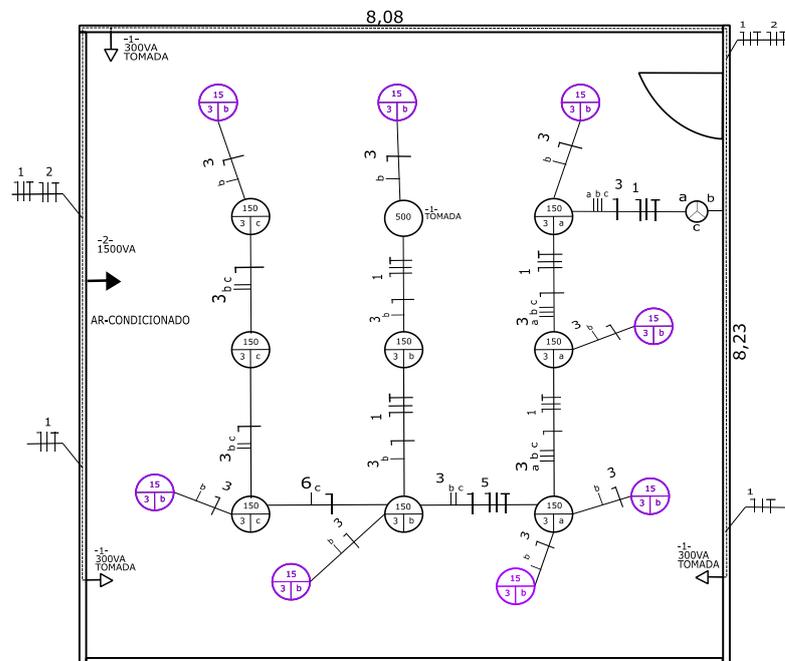
$V$ = volume da zona UV, m<sup>3</sup>

$Q$ = fluxo de ar, m<sup>3</sup>/s

Mesmo em sistemas controlados e bem modelados é praticamente impossível obter valores exatos para tempo de residência e fluxo de ar. Por isso, são usados valores aproximados em todos os trabalhos. A experiência acumulada por décadas de estudos usando simplificações garante a eficácia dos sistemas Upper Room para a inativação de vírus e bactérias, tal como o SARS-CoV-2, vírus causador da COVID-19. Assim, a fórmula atende ao dimensionamento de sistemas Upper Room para salas que não possuam fluxo de ar, ou que este não possa ser bem definido. Kowalski (2009) reforça a necessidade de aproximações e indica como caminho para o dimensionamento de sistemas Upper Room o uso de aproximações com dados confiáveis de outros autores.

A Figura 3 mostra o projeto elétrico para adaptação de uma sala de aula do IFRN Campus Currais Novos.

**Figura 3** - Planta baixa da sala de aula do IFRN Campus Currais Novos.



Fonte: Próprios autores, 2021.

De acordo com a fórmula para calcular a Irradiância média, proposta por Kowalski e os outros estudos citados pelo autor, foi feito o dimensionamento do sistema Upper Room para uma das salas de aula do Campus, que, antes da Pandemia comportava 40 alunos. Tendo dimensões de 8,08 x 8,23m e com uma área total de aproximadamente 66,49m<sup>2</sup>. É possível notar na planta baixa, os pontos de luz já existentes, e os pontos de luz UV do dimensionamento como círculos roxos.

A sala possui um ar-condicionado com o fluxo de ar de 2215m<sup>3</sup>/h, como definido pelo manual do aparelho fornecido pela fabricante, Komeco. O fluxo equivale a 0,6152m<sup>3</sup>/s. A dose UV estimada para inativar o vírus é de 27 J/m<sup>2</sup> (KOWALSKI; WALSH; PETRAITIS, 2020). A Zona UV possui um volume de 33,25 m<sup>3</sup>, considerando que as lâmpadas são instaladas a 50 centímetros do teto.

$$\text{Zona UV} = 66,49\text{m}^2 \times 0,5\text{m} = 33,25\text{m}^3$$

$$D = I_m \times \frac{V}{Q} = 27 = I_m \times \frac{33,25}{0,6152}$$

$$I_m \cong 0,529 \text{ W/m}^2$$

A potência UV de saída necessária para a sala é dada pelo produto da área pela irradiância média:

$$P_{out} = I_m \times \text{Área da sala}$$

$$P_{out} = 0,529 \times 66,49 = P_{out} = 35,17\text{W}$$

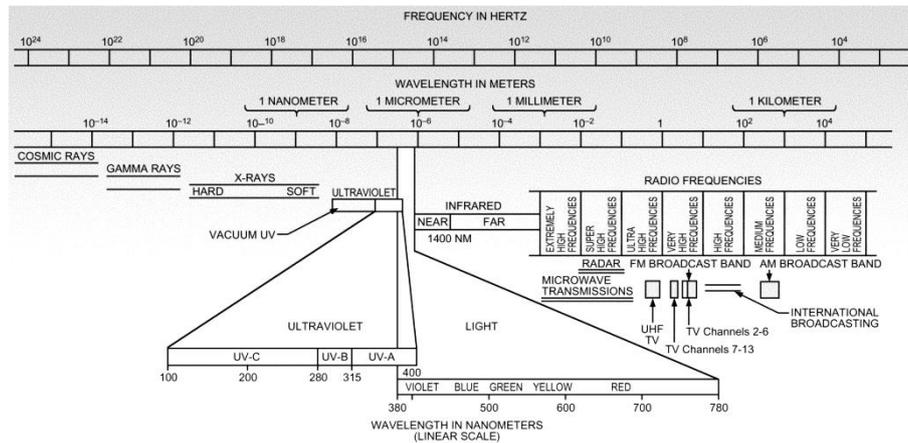
De acordo com a folha de dados fornecida pela fabricante das lâmpadas UV Puritec, a potência de saída UV de cada lâmpada é 4,9 W. Praticamente um terço da potência de entrada, 15W (OSRAM, 2021). Com isso, de acordo com o cálculo de potência de saída, são necessárias pelo menos 8 lâmpadas para a construção do sistema Upper Room nesta sala. Na Figura 3 é possível ver a distribuição proposta para instalação das lâmpadas na sala. Neste caso é visível que as lâmpadas só irão ficar acesas caso seja ativado o interruptor “b”.

## REFERENCIAL TEÓRICO

O espectro eletromagnético tem como fundamentos a física do eletromagnetismo. As contribuições dos teóricos Michael Faraday e James Maxwell

moldaram esta área no final do século XIX. Com isso, o espectro eletromagnético surge como uma forma de compreender os fenômenos físicos acerca da propagação de ondas de luz e radiação. A Figura 4 mostra o espectro eletromagnético.

**Figura 4 - Espectro eletromagnético.**



**Fonte:** Illuminating Engineering Society of North America (IESNA).

A faixa que é chamada de espectro eletromagnético se estende desde os chamados raios gama, até as ondas de rádio. Sendo que os raios gama possuem o menor comprimento de onda e a maior energia. Já as ondas de rádio possuem a menor energia e um grande comprimento de onda. (MEDEIROS; SANTOS, 2011)

Comprimento de onda e frequência são complementares entre si, a frequência é um componente importante para a radiação eletromagnética. Quanto maior a frequência de uma onda eletromagnética, maior a energia que ela portará, e menor será o seu comprimento de onda.

Outra separação comum no espectro eletromagnético é dividi-lo em radiações não ionizantes e radiações ionizantes. Sendo que a faixa que compreende a radiação ionizante possui comprimento de onda inferior ao ultravioleta, indo até a radiação gama. Já a radiação não ionizante parte da luz visível até as ondas de rádio. A radiação ionizante possui como principal característica, a de “arrancar” elétrons de átomos estáveis, e por esse motivo, esta radiação possui um alto nível de energia. (MEDEIROS; SANTOS, 2011, p 11)

A radiação ultravioleta possui frequência superior à da cor violeta, e por isso a tradução literal é “além do violeta” e não é visível para seres humanos. Possui comprimento de onda inferior a 400 nanômetros e superior a 100 nanômetros. Com isso, possui uma capacidade maior de transferência de energia para os corpos. Dessa forma, é

uma radiação ionizante e capaz de interagir com seres e objetos extremamente pequenos. (MEDEIROS; SANTOS, 2011)

Vírus, bactérias e fungos sempre estiveram presentes no planeta. Muitos deles maléficos, podendo causar epidemias e pandemias, atingindo milhares de mortes e gerando medidas restritivas. Estudos mostram que a irradiação germicida ultravioleta (UVGI) é capaz de inibir a reprodução dos patógenos.

A irradiação germicida ultravioleta (UVGI) é a radiação eletromagnética que pode destruir a capacidade de reprodução dos microrganismos, causando mudanças fotoquímicas nos ácidos nucleicos. Comprimentos de onda na faixa de UVC são especialmente prejudiciais para as células porque são absorvidos pelos ácidos nucleicos. (KOWALSKI; WALSH; PETRAITIS, 2020, p. 2, “tradução nossa”)

A luz ultravioleta tem algumas subdivisões, classificando pelo comprimento de onda, entre 100-400 nm. As subdivisões mais interessantes para a desinfecção são a UVC (200-280 nm) e UVB (280-320 nm), essas causam dano maior no RNA e DNA. A Tabela 1 mostra a classificação de UVGI.

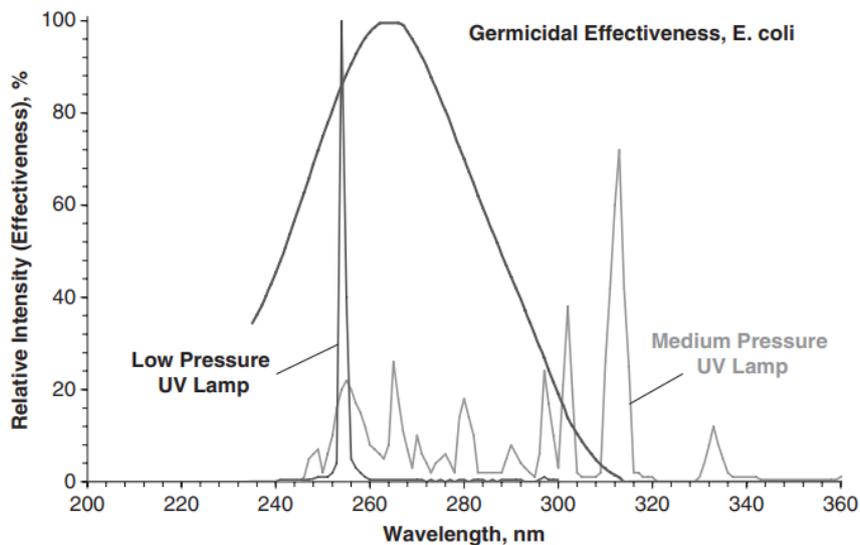
**Tabela 1** - Espectros UVA, UVB, UVC e VUV.

Band	Wavelength, nm	Type and Classification		
UVA	320 – 400	Non-germicidal (Near-UV, Blacklight)		
UVB	280 – 320	Erythematol	Germicidal	Actinic
UVC	200 – 280	Ozone-production		
VUV	100 – 200	Vacuum ultraviolet		

Fonte:(KOWALSKI, 2009, p.2).

Como é mostrado na Tabela 1, faixas de UV entre 200-320 nm têm um efeito germicida. A Figura 5 mostra um espectro da eficácia germicida, atingindo o pico de absorção de luz UV pelo DNA bacteriano, entre 260-265 nm com luz de baixa pressão. Lâmpadas de vapor de mercúrio de 253,7 nm são as que mais se aproximam da região indicada como germicida, atingindo cerca de 95% de eficiência. Essas lâmpadas são encontradas com relativa facilidade no comércio eletrônico.

**Figura 5** - Espectro de absorção de luz UV pelo DNA bacteriano com pressão baixa.



**Fonte:** (KOWALSKI, 2009, p.18)

Segundo um relatório científico publicado na Nature, doses baixas de 1,7 e 1,2 mJ / cm<sup>2</sup>, com lâmpadas de 254 nm inativou 99,9% do coronavírus alfa HCoV-229E e beta HCoV-OC43 em aerossol. Por essas estruturas dos vírus 229E e OC43 serem parecidas com o SARS-CoV-2, se espera que dosagens de UVC tenham uma eficácia semelhante.

Doses baixas de 1,7 e 1,2mJ / cm<sup>2</sup> inativou 99,9% do coronavírus 229E e OC43 em aerossol, respectivamente. Como todos os coronavírus humanos têm tamanhos genômicos semelhantes, seria de se esperar que a luz ultravioleta distante mostrasse eficiência de inativação semelhante contra outros coronavírus humanos, incluindo SARS-CoV-2. (BUONANNO, et al. 2020, p. 1, tradução nossa)

A expressão luz UV distante significa que há certa distância entre a luz e a superfície/vírus, ou seja, não precisa estar muito próximo para inativação. De acordo com um *review* publicado por Kowalski em 2020, vários testes foram realizados com tipos diferentes de coronavírus, inclusive o SARS e o MERS que tem uma estrutura muito semelhante ao SARS-CoV-2, e a luz ultravioleta conseguiu causar inativação em todos os coronavírus semelhantes ao vírus causador da atual pandemia. O valor médio de D90 (dose para 90% de inativação) para o SARS-CoV-2 é de 27 J / m<sup>2</sup>.

Estima-se que o vírus SARS-CoV-2 pode sobreviver em superfícies por até 9 dias, com base em sua semelhança com SARS e MERS. Os desinfetantes padrão são eficazes contra SARS-CoV-2, mas como um nível extra de proteção e para proteger

contra erros no processo de desinfecção manual, a luz ultravioleta pode ser usada para desinfetar superfícies e equipamentos após a conclusão do processo de desinfecção química manual (KOWALSKI; WALSH; PETRAITIS, 2020, p. 2, tradução nossa). A Tabela 2 mostra um resumo do estudos catalogados pelo autor, destacando os trabalhos mais recentes com coronavírus e SARS-CoV-2.

**Tabela 2** - Resumo de estudos ultravioleta sobre coronavírus.

Micróbio	D90 Dose J/m <sup>2</sup>	UV k m <sup>2</sup> /J m <sup>3</sup>	Pares de base kb	Fonte
Coronavírus	6,6	0,35120	30741	Walker 2007
SARS-CoV-2 (Italy-INMI1)	12.3	0.18670	29811	Bianco 2020
SARS Coronavirus (Frankfurt 1)	16.4	0.14040	29903	Eickmann 2020
SARS-CoV-2 (SARS-CoV-2/Hu/DP/Kng/19-027)	41.7	0.05524	29811	Inagaki 2020
SARS Coronavirus (Urbani)	2410	0.00096	29751	Darnell 2004
<b>Média</b>	<b>237</b>	<b>0,00972</b>	<b>incluindo todos os estudos</b>	
<b>Média para SARS-CoV-2</b>	<b>27</b>	<b>0,08528</b>	<b>Dois estudos, 90% de inativação</b>	

Fonte: Adaptado de Kowalski; Walsh; Petraitis (2020).

De acordo com um estudo feito por Inagaki, lâmpadas UV inativaram 99,9% com uma exposição por 10 segundos a uma distância de 20mm da superfície onde estava o vírus, a metodologia usada foi DUV-LED (Luz UV de led).

Observamos um efeito citopático acentuado em células infectadas por vírus sem irradiação DUV-LED. Em contraste, as células infectadas com vírus irradiadas por 60 s mostraram morfologia amplamente comparável às células simuladas. Para nossa surpresa, as células inoculadas com vírus irradiados por 1 s pareciam células simuladas com efeitos citopáticos mínimos. O ensaio de placa revelou que a irradiação DUV-LED de curto tempo inativou rapidamente o SARS-CoV-2. Digno de nota, a taxa de redução do título infeccioso de 87,4%, já foi reconhecida com a irradiação do estoque de vírus por 1 s, e a taxa foi de 99,9% com a irradiação por 10 s. Esses resultados sugerem que o DUV-LED inativou drasticamente o SARS-CoV-2 com irradiação, mesmo por um período muito curto.(INAGAKI et al. 2020, tradução nossa).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio dos inúmeros trabalhos publicados em revistas especializadas como a Nature, é possível afirmar que a inibição da ação viral do Sars-CoV-2 é feita de forma eficiente por luz UV distante, estando o vírus no ar ou na superfície. Os autores também indicam que a inibição ocorre em período de exposição curto.

Atualmente, a desinfecção das salas de aula é feita por profissionais que usam produtos químicos. A eficiência desse tipo de limpeza é alta para superfícies. Contudo, a desinfecção do ar se baseia na abertura da sala para circulação do ar, fazendo com que o ar potencialmente contaminado da sala seja levado à parte externa, onde a radiação UV do Sol faz a inativação do vírus.

A solução proposta nesse trabalho cria uma zona de radiação ultravioleta dentro da sala, promovendo a desinfecção do ar. O sistema Upper Room é usado em ambientes hospitalares com eficiência comprovada. Esse trabalho propõe a adoção desse método em salas de aula no retorno das atividades presenciais.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Algumas empresas fornecem carrinhos de desinfecção com luzes UV de 254 nm que só podem ser usados sem presença de seres humanos. Esses carrinhos contam com controle remoto para ativação das lâmpadas a distância e temporizadores para desligar. Os valores desses sistemas de desinfecção são impraticáveis para escolas públicas. Além da eficiência ser limitada, uma vez que o uso só pode ocorrer nos intervalos de aula ou entre turnos. O sistema Upper Room projetado para uma sala de aula de 66,49m<sup>2</sup>, que comportava quarenta alunos antes da pandemia, necessita de oito lâmpadas UV com potência de 15 W. As lâmpadas sugeridas são produzidas pela OSRAM, linha Germicidal Puritec. No mercado eletrônico nacional cada lâmpada da potência indica custa entre 78,00 e 98,99 reais. O sistema Upper Room pode ser usado nos momentos de aula, pois a persianas das luminárias impedem que a luz incida sobre as pessoas na sala.

## REFERÊNCIAS

BIANCO, Andrea *et al.* **UV-C irradiation is highly effective in inactivating SARS-CoV-2 replication.** MedRxiv, ano 2020, 2 fev. 2021. Disponível em: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.06.05.20123463v3>. Acesso em: 13 ago. 2021

BUONANNO, Manuela *et al.* **Far-UVC light (222 nm) efficiently and safely inactivates airborne human coronaviruses.** NatureScientific Reports, n. 10285, 24 jun. 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-67211-2>. Acesso em: 10 ago. 2021.

DARNELL, Miriam *et al.* **Inactivation of the coronavirus that induces severe acute respiratory syndrome, SARS-CoV.** *Journal of Virological Methods*, p. 85–91, 3 ago. 2004.

EICKMANN, Markus *et al.* **Inactivation of three emerging viruses - severe acute respiratory syndrome coronavirus, Crimean-Congo haemorrhagic fever virus and Nipah virus - in platelet concentrates by ultraviolet C light and in plasma by methylene blue plus visible light.** *Vox Sanguinis*, ano 2020, v. 115, n. 8, p. 146–151, 12 jan. 2020. DOI 10.1111. Disponível em:  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7169309/pdf/VOX-115-146.pdf>.  
Acesso em: 10 ago. 2021.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. **IESNA Lighting Handbook: Reference and Application.** 9. ed. New York, NY: IESNA, 2000. ISBN 0-87995-150-8.

INAGAKI, Hiroko *et al.* **Rapid inactivation of SARS-CoV-2 with Deep-UV LED irradiation.** *BioRxiv*, ano 2020, 7 jun. 2020. Disponível em:  
<https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2020.06.06.138149v1>. Acesso em: 14 set. 2021.

KOWALSKI, Wladyslaw. **Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook: UVGI for Air and Surface Disinfection.** Heidelberg: Springer, 2009. 501 p. ISBN 978-3-642-01998-2.

KOWALSKI, Wladyslaw; WALSH, Thomas; PETRAITIS, Vidmantas. **2020 COVID-19 Coronavirus Ultraviolet Susceptibility.** PurpleSun Inc., mar. 2020. Disponível em:  
[https://www.researchgate.net/publication/339887436\\_2020\\_COVID-19\\_Coronavirus\\_Ultraviolet\\_Susceptibility](https://www.researchgate.net/publication/339887436_2020_COVID-19_Coronavirus_Ultraviolet_Susceptibility). Acesso em: 3 ago. 2021.

MILLER, Shelly; MACHER, Janet. **Evaluation of a Methodology for Quantifying the Effect of Room Air Ultraviolet Germicidal Irradiation on Airborne Bacteria.** *Aerosol Science and Technology*, v. 33, n. 4, p. 274 - 295, 1 set. 2000. DOI 10.1080/027868200416259. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/027868200416259>. Acesso em: 15 set. 2021.

MEDEIROS, Rogério; SANTOS, Flávia. **Introdução à Física das Radiações.** Textos de Apoio ao Professor de Física, v. 22, n. 5, 2011.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Guidelines for the Prevention of Tuberculosis in Health Care Facilities in Resource-Limited Settings.** Geneva: WHO, 1999.

OSRAM. Datasheet: **HNS 15 W G13 PURITEC HNS UV-C UV-C lamps for purification**, 2021.

WALKER, Christopher; KO, Gwangpyo. **Effect of Ultraviolet Germicidal Irradiation on Viral Aerosols.** *Environmental Science & Technology*, v. 41, p. 5460-5465, jun. 2007.