



## AVALIAÇÃO DO USO DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA DO TIPO C PARA A DESINFECÇÃO MICROBIANA E VIRAL

BIERHALS, N. D.; TEICHMANN, A.; GALARÇA, M. M., PORTE, A. F.; VALIM, A. R. M.; RENNER, J. D. P.; VOTTO, A. P. S.; COSTA, R. R.

**PALAVRAS-CHAVE:** Radiação Ultravioleta; Desinfecção; Bactérias patogênicas; SARS-CoV-2

### RESUMO

Surgindo como uma alternativa aos métodos de limpeza e desinfecção manuais, os dispositivos que utilizam luz ultravioleta C (UVC) apresentam evidências capazes de inativar um amplo espectro de microorganismos como bactérias, fungos e vírus. O objetivo desse estudo foi avaliar a eficácia da radiação UVC na desinfecção microbiana e viral. Para isso, foi realizado um estudo experimental utilizando um rodo de limpeza composto de duas lâmpadas de mercúrio de 30 W para esterilização a uma distância de 60 mm do chão. Para o ensaio de avaliação antimicrobiana, foram utilizadas cepas de *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* e *Pseudomonas aeruginosa* cultivadas em placas contendo ágar Mueller Hinton sendo submetidas à diferentes doses de radiação UVC (0 mJ/cm<sup>2</sup>, 17,5 mJ/cm<sup>2</sup>, 31,2 mJ/cm<sup>2</sup>, 62,4 mJ/cm<sup>2</sup> e 175,5 mJ/cm<sup>2</sup>). Para o ensaio de avaliação antiviral, foram utilizadas amostras clínicas com resultado positivo na RT-qPCR para o SARS-CoV-2 e nesse caso, placas estéreis que continha apenas essas amostras recebeu uma dose de radiação UVC igual a 0 mJ/cm<sup>2</sup>, 19,5 mJ/cm<sup>2</sup>, 58,5 mJ/cm<sup>2</sup>, 117,0 mJ/cm<sup>2</sup> e 175,0 mJ/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Na cultura de *E. coli* não houve crescimento da bactéria em nenhuma das dosagens testadas. Na cultura de *S. aureus*, houve o crescimento de colônias nas dosagens de 17,5 mJ/cm<sup>2</sup> e 31,2 mJ/cm<sup>2</sup>. Já nas placas contendo *P. aeruginosa* houve crescimento em todas as dosagens avaliadas, com diminuição do número de colônias ao longo das exposições. Quanto aos resultados virais, pode-se observar uma diminuição da carga viral. A utilização do rodo com radiação UVC foi eficaz na desinfecção das bactérias e vírus testados.

### EVALUATION OF THE USE OF ULTRAVIOLET TYPE C RADIATION FOR MICROBIAL AND VIRAL DISINFECTION

**KEYWORDS:** UV Radiation; Disinfection; Pathogenic Bacteria; SARS-CoV-2

### ABSTRACT

Emerging as an alternative to manual cleaning and disinfection methods, devices that use ultraviolet C (UVC) light present evidence capable of inactivating a wide spectrum of microorganisms such as bacteria, fungi and viruses. The aim of this study was to evaluate the effectiveness of UVC radiation in microbial and viral disinfection. For this, an experimental study was carried out using a cleaning squeegee composed of two 30 W mercury lamps for sterilization at a distance of 60 mm from the floor. For the antimicrobial evaluation assay, strains of *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa* were grown on plates containing Mueller Hinton agar and subjected to different doses of UVC radiation (0 mJ/cm<sup>2</sup>, 17.5 mJ/cm<sup>2</sup>, 31.2 mJ/cm<sup>2</sup>, 62.4 mJ/cm<sup>2</sup> and 175.5 mJ/cm<sup>2</sup>). For the antiviral evaluation assay, clinical samples with a positive result in RT-qPCR for SARS-CoV-2 were used in and in this case, each sterile plate that contained only these samples received a dose of UVC radiation equal to 0 mJ/cm<sup>2</sup>, 19.5 mJ/cm<sup>2</sup>, 58.5 mJ/cm<sup>2</sup>, 117.0 mJ/cm<sup>2</sup> and 175.0 mJ/cm<sup>2</sup>, respectively. In the culture of *E. coli* there was no growth of the bacteria in any of the doses tested. In the culture of *S. aureus*, there was the growth of colonies in the dosages of 17.5 mJ/cm<sup>2</sup> and 31.2 mJ/cm<sup>2</sup>. On the plates containing *P. aeruginosa*, there was growth at all doses evaluated, with a decrease in the number of colonies along the exposures. As for the viral results, a decrease in viral load can be observed. The use of the squeegee with UVC radiation was effective in disinfecting the bacteria and viruses tested.

## 1 INTRODUÇÃO

As Infecções Relacionadas à Assistência à Saúde (IRAS) são infecções adquiridas após o processo de admissão do paciente e estão relacionadas aos procedimentos de assistência realizados, podendo se manifestar durante a internação ou mesmo após a alta (BRASIL, 1998). As IRAS são consideradas o principal efeito adverso no cuidado ao paciente internado e, por isso, caracterizam um grave problema de saúde pública do mundo, responsável pelo aumento da morbimortalidade e tempo de internação, além do comprometimento psicológico e econômico (BAMMIGATTI et al., 2017; NOUETCHOGNOU et al., 2016). As IRAS podem influenciar diretamente no desfecho clínico e já são consideradas a segunda causa mais comum de morte, principalmente em pacientes mais críticos internados em Unidades de Terapia Intensiva (UTIs) (DANCER, 2013; YUE et al., 2017).

Cerca de 20 a 40% das IRAS podem ser associadas a infecções cruzadas causadas pela transmissão de patógenos através das mãos dos profissionais da saúde, resultado do contato direto com pacientes infectados ou ainda indireto, por meio de superfícies e objetos contaminados (AHMED et al., 2019; JULLIAN-DESAYES et al., 2017). Micro-organismos como bactérias, fungos e vírus podem permanecer desde horas até dias em paredes, pisos e bancadas, além de equipamentos médicos como prontuários e estetoscópios (BRIXNER; RENNER; KRUMMENAUER, 2016; SILVEIRA et al., 2020).

Com o intuito de prevenir as IRAS e garantir a segurança do paciente, medidas de controle e prevenção de infecção devem ser adotadas no âmbito hospitalar. Para isso, a correta limpeza e desinfecção de superfícies é de extrema importância para diminuir a carga microbiana ambiental (HAN et al., 2015; HAVILL, 2013). Métodos químicos mais tradicionais como o uso de soluções alcóolicas e detergentes são comumente utilizados, no entanto, 5 a 30% das superfícies permanecem contaminadas devido à ineficácia desses produtos frente à formação de biofilmes ou ainda, devido ao uso de concentrações inadequadas (BOYCE et al., 2016; VICKERY et al., 2012).

Diante do problema apresentado, novas tecnologias vêm sendo adotadas para auxiliar na limpeza e desinfecção de superfícies, como é o caso do uso de dispositivos com luz ultravioleta do tipo C (UVC). A luz UVC apresenta efeito germicida e diversos estudos já mostram sua capacidade de inativar um amplo espectro de micro-organismos, de forma mais sensível e eficaz quando comparado com os métodos químicos manuais. Além disso, a técnica possui tempos de exposição rápidos e pode ser realizada de forma móvel, dispensando o uso de instalações (CASINI et al., 2019; KIM; KANG, 2018; YANG et al., 2019). Nesse contexto, o objetivo do estudo foi avaliar a eficácia da radiação UVC na desinfecção bacteriana e viral.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As doenças infectocontagiosas são altamente transmissíveis e na maioria das vezes, os micro-organismos responsáveis podem permanecer ativos em superfícies mesmo fora do hospedeiro, aumentando a probabilidade de ocorrência das IRAS em pacientes internados (BRIXNER; RENNER; KRUMMENAUER, 2016). O Ministério da Saúde (2012), caracteriza que a limpeza e desinfecção de ambientes e superfícies próximas aos pacientes são necessárias para garantir a segurança e bem-estar dos mesmos, além de sua família e equipe de saúde. Em relação às medidas que devem ser realizadas pelas comissões de controle de infecções para garantir uma desinfecção adequada, estão os protocolos preconizados pelo Centro de Controle de Infecções (CDC), os quais recomendam que clínicas de saúde e hospitais façam a limpeza de superfícies de alto toque, utilizando

desinfetantes a base de etanol, isopropanol, ácido peracético, cloro, glutaraldeído e quaternário de amônio (RUTALA, 2008).

Diante do cenário pandêmico atual, causado pela doença do novo coronavírus (COVID-19), a busca por novas estratégias de desinfecção de ambientes tornou-se mais evidente, principalmente pela necessidade de eliminar aerossóis contaminados que podem ficar suspensos no ambiente ou ainda depositados em superfícies que se tornam fontes de contaminação (KAMPF et al., 2020; VAN DOREMALEN et al., 2020). Estudos já mostram que a contaminação do ambiente está diretamente relacionada a casos de tuberculose, vírus respiratórios como coronavírus e influenza, gastroenterites e transmissão de bactérias multirresistentes (DE LAROCHE et al., 2020; REALE et al., 2017; VAN DOREMALEN et al., 2020).

Surgindo como alternativa aos métodos químicos tradicionais, tecnologias que utilizam a luz UVC mostram-se promissoras e podem garantir uma maior eficácia na limpeza e desinfecção de ambientes e superfícies, uma vez que é capaz de inativar diferentes espécies de vírus, bactérias e fungos (GURIDI et al., 2019; KIM; KANG, 2018; ROCHA et al., 2021). A luz ultravioleta, pode ser classificada conforme a região do espectro de ondas em que se encontra, podendo ser UVA (315 a 400 nm), UVB (280 a 315 nm) ou UVC (200 a 280 nm), no entanto, a ação germicida é dada apenas na região da luz UVC (VECCHIA et al., 2007). Desde 1877, cientistas ao redor do mundo já haviam descoberto a capacidade de eliminar micro-organismos com o uso da luz UV e durante as últimas décadas, sua aplicação na desinfecção tornou-se amplamente reconhecida e aceita pelas agências reguladoras como um processo seguro, eficaz e econômico (DOWNES; BLUNT, 1877; RUTALA, 2008).

A ação germicida da luz ultravioleta do tipo C resulta em danos celulares nos micro-organismos, através de mecanismos de fotoidratação, fotossíntese, fotodimerização e fotorreticulação, inibindo a replicação celular. De modo geral, a luz UVC atua na quebra de ligações químicas presentes no DNA ou RNA dos patógenos, inativando-os e conseqüentemente, causando morte celular (CUTLER; ZIMMERMAN, 2011; KOWALSKI, 2009). As lâmpadas UVC apresentam ainda, um alto rendimento na região de 254 nm, o que justifica a maior vulnerabilidade dos micro-organismos, uma vez que o comprimento de onda máximo de absorção das moléculas de ácidos nucleicos é de 260 nm (TSENG; LI, 2007).

As principais vantagens em relação ao uso de radiação UVC para a desinfecção está na ação contra um amplo espectro de bactérias, fungos e vírus, menor tempo de exposição, economia de custos como mão de obra e consumíveis, além de não deixar resíduos que podem ser nocivos ao meio ambiente (RUTALA; WEBER, 2013). No entanto, uma desvantagem relacionada ao uso da luz UV é que esta vai perdendo sua eficiência conforme o tempo de uso, em decorrência da queda da potência irradiada e por isso, seu uso deve ser controlado com o intuito de verificar quando houver necessidade de troca das lâmpadas (GUETTARI; GHARBI; HAMZA, 2020). Por fim, as lâmpadas UV podem ser ligadas apenas na ausência de pessoas, entretanto, diversos estudos já mostram sua aplicação em sistemas totalmente automatizados, focados em tecnologias “no touch” e que dispensam instalações e quaisquer modificações na infraestrutura do ambiente (CASINI et al., 2019; GUETTARI; GHARBI; HAMZA, 2020; YANG et al., 2019).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizado um estudo experimental em parceria com a Universidade Federal do Rio Grande (FURG) e o Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS), em que os grupos de pesquisa dessas instituições desenvolveram

um protótipo de um rodo de limpeza que utilizou duas lâmpadas de mercúrio com radiação UVC modelo HNS30WG13 (Osram, Alemanha) e potência de 30 watt (W). Os testes relacionados à atividade antimicrobiana e antiviral foram realizados nos laboratórios com nível de segurança NB2 vinculados ao Parque Científico e Tecnológico Regional da Universidade de Santa Cruz do Sul (TecnoUnisc).

Todos os experimentos foram realizados em triplicata e a uma distância de 60 mm entre a fonte geradora da radiação e a superfície das placas de ágar Mueller Hinton contendo as cepas bacterianas e as placas contendo as amostras clínicas positivas para o SARS-CoV-2, de forma que a incidência dos raios fosse perpendicular às amostras testadas. Ainda, foi realizada a quantificação da dose de radiação utilizada, calculada através da intensidade de radiação emitida pela lâmpada por área irradiada, por um determinado tempo de exposição.

### 3.1 Ensaio antimicrobiano

Para o ensaio antimicrobiano, foram utilizadas cepas padrão ATCC (*American Type Culture Collection*) de *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213), *Escherichia coli* (ATCC 25922) e *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853), com o intuito de verificar a eficácia da radiação UVC frente à bactérias Gram positivas e às Gram negativas.

Inicialmente, as bactérias foram ativadas em caldo *Brain Heart Infusion* (BHI) e incubadas em estufa bacteriológica a 37°C durante 24 horas. Na sequência, foram inoculadas em Ágar Mueller Hinton e incubadas novamente nas mesmas condições. A partir das culturas, foram preparados inóculos para cada um dos microorganismos, com densidade correspondente ao padrão 0,5 da escala de McFarland ( $1,5 \times 10^8$  UFC/mL). De cada inóculo transferiu-se 100 µL para placas de Petri, contendo Ágar Mueller Hinton. Cada microorganismo recebeu diferentes doses de radiação UVC: 0 mJ/cm<sup>2</sup>, 17,5 mJ/cm<sup>2</sup>, 31,2 mJ/cm<sup>2</sup>, 62,4 mJ/cm<sup>2</sup>, 175,5 mJ/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Após a exposição, as placas foram incubadas a 37°C por mais 24 horas. A leitura e contagem das colônias foi realizada de forma manual e o resultado expresso em unidades formadoras de colônia (UFC) por mL e comparadas com aquelas placas que não receberam radiação.

### 3.2 Ensaio antiviral

Para o ensaio antiviral, foram utilizadas três amostras clínicas de nasofaringe (A, B e C) pertencentes ao banco de amostras do Laboratório de Biologia Molecular da UNISC que tiveram o resultado de RT-qPCR positivo para a COVID-19.

Inicialmente, foram transferidos 100 µL da amostra em placas de Petri estéreis e sem meio de cultura, após, as amostras receberam doses de radiação UVC diferente, sendo iguais a 0 mJ/cm<sup>2</sup>, 19,5 mJ/cm<sup>2</sup>, 58,5 mJ/cm<sup>2</sup>, 117,0 mJ/cm<sup>2</sup>, 175,0 mJ/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Logo após, foram adicionados 200 µL de cloreto de sódio 0,9%, sendo o mesmo volume transferido para um microtubo estéril. Em seguida, as amostras foram submetidas a extração do RNA viral automatizada no equipamento Extracta 32 (Loccus Biotecnologia, Brasil), utilizando o kit MagMAX™ CORE *Nucleic Acid Purification Kit* (Applied Biosystems, Estados Unidos da América) conforme instruções do fabricante. Por fim, foi realizada a transcriptase reversa seguida de reação em cadeia da polimerase em tempo real (RT-qPCR), utilizando o kit AgPath-ID™ *One-Step RT-PCR Reagents* (Applied Biosystems, Estados Unidos da América) conforme instruções do fabricante. As amostras foram amplificadas no equipamento QuantStudio 3 (Applied Biosystems, Estados Unidos da América) para identificação do gene da ribonuclease P humana (RNaseP) como controle interno e do gene de envelope (E) do vírus SARS-CoV-2 para

detecção da carga viral (CORMAN et al., 2020). As análises foram realizadas através da avaliação do número de Ct (*Cycle Threshold*).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as placas controle, ou seja, que não foram expostas à luz ultravioleta, apresentaram crescimento microbiano. Em relação às dosagens testadas, pode-se perceber que a luz UVC foi eficaz na diminuição de todas as populações bacterianas avaliadas, conforme Tabela 1.

**Tabela 1 – Resultados do crescimento microbiano conforme a dosagem de exposição à luz UVC**

Dosagem (mJ/cm <sup>2</sup> )	0	17,5	31,2	62,4	175,5
<i>S. aureus</i>	> 100.000 UFC/mL	11 UFC/mL	9 UFC/mL	-	-
<i>E. coli</i>	> 100.000 UFC/mL	-	-	-	-
<i>P. aeruginosa</i>	> 100.000 UFC/mL	16 UFC/mL	8 UFC/mL	2,6 UFC/mL	1 UFC/mL

O presente estudo procurou avaliar alguns dos principais micro-organismos de importância clínica, no qual estão frequentemente associados às IRAS e podem ser comumente encontradas em superfícies e objetos contaminadas (AHMED et al., 2019; JULLIAN-DESAYES et al., 2017; SILVEIRA et al., 2020). As bactérias são classificadas conforme a composição de sua parede celular, sendo divididas, a maioria, em dois grandes grupos, Gram positivas e Gram negativas (MEGRAN et al., 2020). Bactérias Gram negativas apresentam uma parede celular mais delgada, com uma fina camada de peptidoglicano, e por isso podem ser lisadas com maior facilidade, o que justifica a completa inibição do crescimento de *E. coli* logo nas primeiras doses testadas. No entanto, a *Pseudomonas aeruginosa*, apesar de ser um bacilo Gram negativo, se diferencia por apresentar uma rígida cápsula de polissacarídeos mucoides que promove a formação de biofilmes, tornando-a assim uma bactéria mais difícil de ser eliminada (YU; MA, 2017). O *Staphylococcus aureus* é um coco Gram positivo e possui uma parede mais espessa de peptidoglicano e, também, dificulta o alcance da luz UVC ao material genético (MEGRAN et al., 2020).

Métodos usuais de limpeza e desinfecção não são totalmente eficazes e podem deixar resíduos de contaminação e conseqüentemente causar contaminações cruzadas (BOYCE et al., 2016; VICKERY et al., 2012). Dispositivos acoplados com a luz UVC já vem sendo uma alternativa aos reagentes químicos para a desinfecção e eliminação de micro-organismos, através do mecanismo de quebra das ligações presentes no DNA, dificultando a sobrevivência desses patógenos (CUTLER; ZIMMERMAN, 2011; GURIDI et al., 2019; KOWALSKI, 2009; YANG et al., 2019). O dispositivo UVC avaliado nesse estudo permitiu a eliminação completa das bactérias *S. aureus* e *E. coli* com a aplicação de 31,2 mJ/cm<sup>2</sup> e 17,5 mJ/cm<sup>2</sup>, respectivamente, o que corresponde a uma distância de 60 mm. Outros estudos testaram a eficácia da luz UVC a uma distância maior, de até 1 metro de distância, e concluíram que houve diminuição no crescimento microbiano de diferentes bactérias como *S. aureus* resistente à metilina, *P. aeruginosa*, *E. coli*, *Enterococcus faecium* e *Clostridium difficile*. (GURIDI et al., 2019; ROCHA et al., 2021; YANG et al., 2019). Já Kim e colaboradores (2018), avaliaram a eficácia da luz ultravioleta em aerossóis formados por diferentes bactérias e observaram sua inativação completa em 4,6 mJ/cm<sup>2</sup>. A eficácia da radiação

germicida também já foi relatada contra algumas espécies de fungos como *Candida albicans* e *Aspergillus flavus* (GURIDI et al., 2019; ROCHA et al., 2021; RUTALA; GERGEN; WEBER, 2010).

O presente estudo também avaliou a eficácia do rodo com luz UVC frente ao vírus SARS-CoV-2, causador da pandemia da COVID-19. Na Tabela 2, é possível verificar que houve um aumento nos valores de Ct, tanto no gene RP como no gene E, de todas as amostras testadas à medida que a dosagem aumentava. O Ct, resultado obtido na RT-qPCR, é o número do ciclos necessários para que a reação atinja seu limiar, ou seja, é o ponto de intersecção entre a curva de amplificação e a linha *threshold* (LEAL et al., 2019). O Ct pode servir como uma medida relativa de concentração do alvo, pois seu valor é inversamente proporcional à quantidade de material genético presente na amostra. Valores baixos de Ct indicam uma maior concentração de material genético, pois foi necessário menos ciclos para que aquela amostra atingisse sua fluorescência máxima e ao contrário, valores altos de Ct, podem significar baixas concentrações do alvo ou até mesmo ausência. Ainda, valores de Ct maiores que 37 são considerados tardios e prováveis indicativos de resultados falso-positivos (SALGADO et al., 2013; WU et al., 2013).

**Tabela 2 – Resultados de Ct obtidos na RT-qPCR conforme a dosagem de exposição à luz UVC**

Dosagem (mJ/cm <sup>2</sup> )		0	19,5	58,5	117,0	175,0
Amostra A	Gene RP	27,9	30,2	29,7	30,0	30,1
	Gene E	16,1	19,3	19,8	20,8	21,4
Amostra B	Gene RP	31,1	31,5	31,5	31,8	32,1
	Gene E	24,2	26,2	27,1	29,7	29,8
Amostra C	Gene RP	30,0	29,9	30,5	30,7	31,0
	Gene E	31,1	32,5	34,6	36,0	36,5

A pandemia da COVID-19 trouxe novos desafios e destacou a importância de uma descontaminação mais eficaz e, em contrapartida, que demandasse menos tempo. O SARS-CoV-2 é um vírus que pode ser transmitido principalmente pelo contato com pessoas infectadas, mas também, pelo depósito de partículas contaminadas nas superfícies (KAMPF et al., 2020; VAN DOREMALEN et al., 2020). A própria luz solar pode ser capaz de inativar a maioria dos vírus, no entanto, em ambientes fechados, como hospitais e clínicas, a luz ultravioleta germicida já é amplamente utilizada e recomendada (BOYCE, 2016; CASINI et al., 2019). No presente estudo, foi possível verificar a diminuição da carga viral do coronavírus a partir de 19,5 mJ/cm<sup>2</sup> de exposição UVC. A diminuição foi contabilizada em termos de redução de RNA viável para amplificação na RT-qPCR. Importante destacar que pela técnica utilizada, não é possível identificar se havia ainda a presença de vírus viável. Apesar disso, o material genético do SARS-CoV-2 pode ser encontrado em superfícies de ambientes de pacientes com infecção ativa mesmo após sua alta, chegando a ser identificado em 33,3% das amostras testadas e após a desinfecção com a luz ultravioleta do tipo C, nenhuma das amostras avaliadas teve resultado positivo na RT-qPCR (SU et al., 2022).

A utilização da radiação UVC nesta pesquisa mostrou-se eficaz na diminuição da carga viral das amostras dos pacientes diagnosticados com a COVID-19, apresentando valores de Ct entre 21,4 e 36,5 nas dosagens máximas testadas, devendo-se levar em consideração que as amostras inicialmente apresentavam valores de Ct entre 16,1 e 31,1. Em amostras coletadas do ambiente, a carga viral é inferior à de pacientes e pode revelar valores consequentemente mais altos, variando de 33,7 a 39,7 (NISSEN et al., 2020). Heilingloh e colaboradores

(2020), observaram a inativação completa do vírus em uma radiação igual a 1048 mJ/cm<sup>2</sup>, sendo essa uma dose bem mais elevada que as testadas nesse estudo. Já, Bormann e colaboradores (2021) desenvolveram uma caixa com lâmpadas UVC acopladas para desinfecção de objetos e concluíram que a inativação completa do SARS-CoV-2 foi dada em 3 minutos, ainda que já fosse percebida a diminuição da carga viral logo nos primeiros 10 segundos.

## 5 CONCLUSÃO

Através desse estudo, foi possível avaliar que uso da radiação UVC mostrou-se eficaz na dosagem de 62,4 mJ/cm<sup>2</sup> frente a bactéria *S. aureus* e na dosagem de 17,5 mJ/cm<sup>2</sup> para a bactéria *E. coli*, diminuindo ainda o crescimento microbiano da *P. aeruginosa*. Quanto a avaliação antiviral, pode-se observar que houve diminuição da carga viral do SARS-CoV-2 conforme o aumento da exposição à luz UVC. Contudo, futuras análises com adaptações devem ser realizadas com o intuito de compreender melhor a ação da luz UVC e melhorar ainda mais a sua eficácia.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal do Rio Grande (FURG) e o Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS) pela parceria imprescindível para o desenvolvimento desse estudo. Ainda, agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo apoio de bolsas de estudo para desenvolvimento da pesquisa e por fim, a Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC) e ao Parque Científico e Tecnológico Regional da UNISC (TecnoUnisc) pela infraestrutura disponibilizada.

## REFERÊNCIAS

- AHMED, E. H. et al. Bacteriological Monitoring of Inanimate Surfaces and Equipment in Some Referral Hospitals in Assiut City, Egypt. **International Journal of Microbiology**, v. 2019, p. e5907507, 3 set. 2019.
- BAMMIGATTI, C. et al. Healthcare Associated Infections in a Resource Limited Setting. **Journal of Clinical and Diagnostic Research: JCDR**, v. 11, n. 1, p. OC01–OC04, jan. 2017.
- BORMANN, M. et al. Disinfection of SARS-CoV-2 Contaminated Surfaces of Personal Items with UVC-LED Disinfection Boxes. **Viruses**, v. 13, n. 4, p. 598, 31 mar. 2021.
- BOYCE, J. M. et al. Quaternary Ammonium Disinfectant Issues Encountered in an Environmental Services Department. **Infection Control and Hospital Epidemiology**, v. 37, n. 3, p. 340–342, mar. 2016.
- BOYCE, J. M. Modern technologies for improving cleaning and disinfection of environmental surfaces in hospitals. **Antimicrobial Resistance & Infection Control**, v. 5, n. 1, p. 10, 11 abr. 2016.
- BRIXNER, B.; RENNER, J. D. P.; KRUMMENAUER, E. C. Contaminação Ambiental da UTI Pediátrica: Fator de Risco para a ocorrência de infecções oportunistas? **Revista de Epidemiologia e Controle de Infecção**, v. 6, n. 1, 4 jan. 2016.
- CASINI, B. et al. Evaluation of an Ultraviolet C (UVC) Light-Emitting Device for Disinfection of High Touch Surfaces in Hospital Critical Areas. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 19, p. E3572, 24 set. 2019.
- CORMAN, V. M. et al. Detection of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) by real-time RT-PCR. **Eurosurveillance**, v. 25, n. 3, p. 2000045, 23 jan. 2020.
- CUTLER, T. D.; ZIMMERMAN, J. J. Ultraviolet irradiation and the mechanisms underlying its inactivation of infectious agents. **Animal Health Research Reviews**, v. 12, n. 1, p. 15–23, jun. 2011.
- DANCER, S. J. Infection control in the post-antibiotic era. **Healthcare Infection**, v. 18, n. 2, p. 51–60, 1 jun. 2013.
- DE LAROCHE, M. et al. Tuberculose et personnel soignant : prévention du risque en milieu de soins. **La Revue de Médecine Interne**, v. 41, n. 2, p. 111–117, fev. 2020.
- DOWNES, A.; BLUNT, T. P. The Influence of Light upon the Development of Bacteria 1. **Nature**, v. 16, n. 402, p. 218–218, 1 jul. 1877.
- GUETTARI, M.; GHARBI, I.; HAMZA, S. UVC disinfection robot. **Environmental Science and Pollution Research International**, p. 1–6, 14 out. 2020.
- GURIDI, A. et al. Disinfectant Activity of A Portable Ultraviolet C Equipment. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 23, p. 4747, dez. 2019.
- HAN, J. H. et al. Cleaning Hospital Room Surfaces to Prevent Health Care–Associated Infections. **Annals of internal medicine**, v. 163, n. 8, p. 598–607, 20 out. 2015.
- HAVILL, N. L. Best practices in disinfection of noncritical surfaces in the health care setting: Creating a bundle for success. **American Journal of Infection Control**, v. 41, n. 5, p. S26–S30, 1 maio 2013.
- HEILINGLOH, C. S. et al. Susceptibility of SARS-CoV-2 to UV irradiation. **American Journal of Infection Control**, v. 48, n. 10, p. 1273–1275, out. 2020.

JULLIAN-DESAYES, I. et al. Clostridium difficile contamination of health care workers' hands and its potential contribution to the spread of infection: Review of the literature. **American Journal of Infection Control**, v. 45, n. 1, p. 51–58, 1 jan. 2017.

KAMPF, G. et al. Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. **Journal of Hospital Infection**, v. 104, n. 3, p. 246–251, 1 mar. 2020.

KIM, D.-K.; KANG, D.-H. UVC LED Irradiation Effectively Inactivates Aerosolized Viruses, Bacteria, and Fungi in a Chamber-Type Air Disinfection System. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 84, n. 17, p. e00944-18, 2018.

KOWALSKI, W. UVGI Disinfection Theory. Em: KOWALSKI, W. (Ed.). **Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook: UVGI for Air and Surface Disinfection**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. p. 17–50.

LEAL, V. L. et al. **Protocolos e técnicas laboratoriais de rotina : aplicações em biologia molecular, microbiologia, cultivo celular e farmacognosia**. [s.l.] UNISC, 2019.

MEGRIAN, D. et al. One or two membranes? Diderm Firmicutes challenge the Gram-positive/Gram-negative divide. **Molecular Microbiology**, v. 113, n. 3, p. 659–671, 2020.

NISSEN, K. et al. Long-distance airborne dispersal of SARS-CoV-2 in COVID-19 wards. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 19589, 11 nov. 2020.

NOUETCHOGNOU, J. S. et al. Surveillance of nosocomial infections in the Yaounde University Teaching Hospital, Cameroon. **BMC Research Notes**, v. 9, n. 1, p. 505, 8 dez. 2016.

REALE, M. et al. Patterns of multi-drug resistant bacteria at first culture from patients admitted to a third level University hospital in Calabria from 2011 to 2014: implications for empirical therapy and infection control. **Le Infezioni in Medicina**, v. 25, n. 2, p. 98–107, 1 jun. 2017.

ROCHA, A. S. DA et al. Verificação da eficiência de um dispositivo de desinfecção por radiação UV-C. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e31310615817–e31310615817, 30 maio 2021.

RUTALA, W. A. *Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities*, 2008. p. 163, 2008.

RUTALA, W. A.; GERGEN, M. F.; WEBER, D. J. Room decontamination with UV radiation. **Infection Control and Hospital Epidemiology**, v. 31, n. 10, p. 1025–1029, out. 2010.

RUTALA, W. A.; WEBER, D. J. Disinfectants used for environmental disinfection and new room decontamination technology. **American Journal of Infection Control**, v. 41, n. 5, p. S36–S41, maio 2013.

SALGADO, M. M. et al. Avaliação de resultados discrepantes obtidos na execução de PCR em tempo real em amostras de pacientes com suspeita clínica de meningite bacteriana. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, 2013.

SILVEIRA, F. DE B. et al. Superfícies Inanimadas Podem Ser Fontes de Contaminação Estafilocócica em UTI? **Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 24, n. 4, p. 444–448, 2 dez. 2020.

SU, W.-L. et al. Clinical application of 222 nm wavelength ultraviolet C irradiation on SARS CoV-2 contaminated environments. **Journal of Microbiology, Immunology, and Infection**, v. 55, n. 1, p. 166–169, fev. 2022.

TSENG, C.-C.; LI, C.-S. Inactivation of viruses on surfaces by ultraviolet germicidal irradiation. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 4, n. 6, p. 400–405, jun. 2007.

VAN DOREMALEN, N. et al. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. **New England Journal of Medicine**, v. 382, n. 16, p. 1564–1567, 16 abr. 2020.

VECCHIA, P. et al. **1. Ultraviolet Radiation 2. Biological effects 3. Non-Ionizing Radiation**, 2007.

VICKERY, K. et al. Presence of biofilm containing viable multiresistant organisms despite terminal cleaning on clinical surfaces in an intensive care unit. **Journal of Hospital Infection**, v. 80, n. 1, p. 52–55, 1 jan. 2012.

WU, H. M. et al. Accuracy of real-time PCR, Gram stain and culture for *Streptococcus pneumoniae*, *Neisseria meningitidis* and *Haemophilus influenzae* meningitis diagnosis. **BMC Infectious Diseases**, v. 13, n. 1, p. 26, dez. 2013.

YANG, J.-H. et al. Effectiveness of an ultraviolet-C disinfection system for reduction of healthcare-associated pathogens. **Journal of Microbiology, Immunology, and Infection = Wei Mian Yu Gan Ran Za Zhi**, v. 52, n. 3, p. 487–493, jun. 2019.

YU, S.; MA, L. [Iron uptake and biofilm formation in *Pseudomonas aeruginosa*]. **Sheng Wu Gong Cheng Xue Bao = Chinese Journal of Biotechnology**, v. 33, n. 9, p. 1489–1512, 25 set. 2017.

YUE, D. et al. Hospital-wide comparison of health care-associated infection among 8 intensive care units: A retrospective analysis for 2010-2015. **American Journal of Infection Control**, v. 45, n. 1, p. e7–e13, 1 jan. 2017.