

UTILIZAÇÃO DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA PARA DESINFECÇÃO DE AR EM AMBIENTES *IN DOOR*: RESULTADOS PRELIMINARES

CARDOSO, T.V

*Fatec Sorocaba – Coordenadoria de Sistemas Biomédicos
e-mail: telma.cardoso@fatec.sp.gov.br*

Use Of Ultraviolet Radiation For Air Disinfection In Indoor Environments: Preliminary Results

Eixo Tecnológico: Saúde e Meio Ambiente

Resumo

A pandemia de Covid-19 trouxe alertas para a adoção de medidas preventivas tal que a higienização do ar seja um processo seguro, efetivo, prático e rápido, uma vez que o ar, especialmente em ambientes fechados, foi identificado como a principal via de infecção por microrganismos. Uma das mais promissoras soluções tem sido o emprego de Luz Ultravioleta (UV-C) para desinfecção de ar em ambientes *indoor*. Este projeto tem como objetivo testar a tecnologia de desinfecção de ar por UV-C em um dos ambientes da Fatec/Sorocaba, em termos de efetividade e segurança. Para tal, realizou-se uma amostragem de ar interno, caracterizando o ambiente para, em seguida, repetir o procedimento com um equipamento de UV-C ligado e posicionado a uma altura de 1,80 m acima do chão. Seguindo uma metodologia padronizada para amostragem de ar interno com a exposição de meios de cultura apropriados em locais pré-definidos, comparou-se os resultados antes e depois da exposição ao UV, buscando evidências de efetividade. Para garantir a segurança das pessoas no ambiente onde os testes ocorreram, os níveis de ozônio e de radiação ultravioleta à altura de suas cabeças foram monitorados usando sensores desenvolvidos com a plataforma Arduino antes e durante os testes. Os resultados iniciais são promissores principalmente no quesito segurança. Deverão, contudo, ser repetidos utilizando-se outras metodologias de amostragem de ar e um controle mais abrangente do tempo de exposição à radiação UV e do meio de cultura utilizado. Toda a documentação do projeto está sendo cuidadosamente redigida de modo a atender as diretrizes que a Agência Nacional de Vigilância Sanitária e a comunidade internacional têm preconizado para, desta forma, contribuir com evidências nos quesitos efetividade e segurança.

Palavras-chave: *Ar indoor*, Luz Ultravioleta, Desinfecção de ar.

Abstract

The Covid-19 pandemic has brought warnings for the adoption of preventive measures such that air hygiene is a safe, effective, practical, and fast process, since air, especially indoors, has been identified as the main route of infection by microorganisms. One of the most promising solutions has been the use of Ultraviolet Light (UV-C) for air disinfection in indoor environments. This project aims to test the technology of air disinfection by UV-C in one of the environments of Fatec / Sorocaba, in terms of effectiveness and safety. To this end, an indoor air sampling was performed, characterizing the environment, and then repeating the procedure with a UV-C equipment turned on and positioned at a height of 1.80 m above the ground. Following a standardized methodology for indoor air sampling with the exposure of appropriate culture media in predefined locations, the results before and after UV exposure were compared, seeking evidence of effectiveness. To ensure the safety of people in the environment where the tests took place, ozone, and ultraviolet radiation levels at the height of their heads were monitored using sensors developed with the Arduino platform before and during the tests. The initial results are promising, especially in terms of safety. They should, however, be repeated using other air sampling methodologies and a more comprehensive control of the time of exposure to UV radiation and the culture medium used. All the documentation of the project is being carefully written in order to meet the guidelines that the National Health Surveillance Agency and the international community have recommended to, in this way, contribute with evidence in terms of effectiveness and safety.

Key-words: *Indoor air*, Ultraviolet Light, Air disinfection.

1. Introdução

Anais da VII Mostra de Docentes em RJJ

A radiação ultravioleta (UV) é conhecida desde o século XVII, contudo, foi somente no final da segunda metade do século XIX, que foram feitas as primeiras observações que apontavam a eficácia da luz solar na banda azul-violeta na eliminação de bactérias prejudiciais para os seres humanos. No início da última década do século XIX, estudos afirmaram que os raios UV são responsáveis por queimaduras de pele, além de apresentarem efeitos bactericidas [1].

No início do século XX inúmeros experimentos de comprovação e aplicações da luz UV foram realizados. Destacam-se os estudos relacionados à primeira análise rigorosa dos efeitos da luz UV no tratamento de doenças de pele, a identificação que a faixa para ação germicida se situa em 253,7 nm e as primeiras evidências de que a luz ultravioleta produz efeitos fotoquímicos nos microrganismos.

A partir de 1920, as aplicações comerciais e industriais da radiação UV mudaram o foco para o desenvolvimento de novas fontes de luz e melhores dispositivos para medi-la e controlá-la, como filtros, detectores e espectrômetros. Diversos outros estudos subsequentes foram publicados, experimentando a interação da luz UV com certos compostos químicos e reações adversas à exposição da pele e a fim de determinar a dose ultravioleta necessária para a desinfecção bacteriana [1]. Entre as décadas de 1930-40 os sistemas ultravioletas foram usados pela primeira vez em hospitais para controlar infecções, detalhando a análise da desinfecção do ar por luz UV, bem como as diretrizes básicas para o uso de UV em sistemas de ventilação [2]. Contudo, foi somente em 2003 que o Centro de Controle e Prevenção de Doenças dos Estados Unidos (CDC) reconheceu a eficácia dos sistemas de Irradiação Ultravioleta Germicida (UVGI) liberando seu uso em hospitais [2].

A esterilização com raios UV tem se destacado como uma alternativa eficiente, econômica e ambientalmente sustentável. A esterilização com raios UV baseia-se na utilização de radiação ultravioleta para inativar micro-organismos, tais como bactérias, vírus e fungos, presentes em superfícies, ar e água. A radiação UV é capaz de danificar o DNA dos micróbios, impedindo assim a sua capacidade de reprodução e sobrevivência [1].

Recentemente, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) lançou uma nota técnica com orientações sobre a avaliação da eficácia e da segurança de equipamentos para desinfecção que fazem uso de luz ultravioleta [3]. Ela estabelece metodologias para comprovar a eficácia do processo de irradiação por UV, discute aspectos de segurança para as pessoas que estejam próximas às fontes UV e estabelece procedimentos para a validação do equipamento. Reforça-se, aqui, o conceito de que um equipamento de desinfecção de ar atmosférico, sendo de interesse em saúde, é passível das regulações da ANVISA [3].

No entanto, é importante ressaltar que a utilização de radiação UV pode causar a produção de ozônio - que deve ser objeto de estudo e análise quanto aos seus efeitos e possíveis consequências para a saúde humana e meio ambiente – assim como pode causar queimaduras na pele desprotegida, em mucosas e, principalmente, nos olhos. Por esta razão, deve-se sempre se utilizar equipamentos de proteção individual (EPI), como óculos e aventais, quando se trabalha com radiação UV.

Este trabalho é parte de um projeto maior intitulado "Desenvolvimento de Soluções Inovadoras, Custo-Efetivas e Seguras para Equipamentos Ligados ao Mundo da Saúde" e que se encontra em andamento. Dentre as etapas previstas, o aspecto efetividade envolve a disposição de placas de Petri com meios de cultura apropriados em ambientes *indoor*, antes e depois de exposição à radiação UV. O aspecto de segurança, por sua vez, é contemplado no desenvolvimento de sistemas automatizados que permitem monitorar níveis de Luz UV assim como a presença de concentrações de ozônio além dos limiares permitidos. Ressalta-se que o

Anais da VII Mostra de Docentes em RJI

projeto detém parceria com a empresa LedsLife, que produz e comercializa tecnologias em desinfecção usando luz ultravioleta.

O objetivo é obter evidências de efetividade e segurança da utilização da radiação UV na desinfecção de ar *indoor*, na presença de pessoas, portanto, em um ambiente real.

2. Materiais e métodos

2.1. Materiais

Para os estudos de efetividade [4], utilizou-se o Sistema Upper Split UP-36W-20^a-UNO-UV, com número de série 14.01.2022 001, cedido pela empresa LedsLife. Mostrado na Fig. 1, o sistema foi instalado a uma altura de 2,10 m do solo, segundo recomendações do fabricante. A lâmpada acoplada é a TUVPL-L36W4P, com vida útil de 9000h, apresentando consumo de 36W e potência de irradiação UV-C de 12 J. O material do equipamento é alumínio e inox.

Fig. 1 – Sistema Upper Split para desinfecção de ar por radiação UV.



Fonte: BELO, 2023.

Também foram utilizadas placas de Petri de Petri (90mmx15mm) estéreis e descartáveis com meios nutrientes apropriados para bactérias e fungos, utilizando-se de vidrarias comuns a laboratórios de área biológica para seu preparo e acondicionamento.

Para os estudos de segurança, utilizou-se plataformas Arduino UNO R3, Sensor MQ 131 para gás ozônio a baixa concentração, Sensor de temperatura DHT-11, Módulo Bluetooth HC-05, Sensor Ultravioleta UV UVM-30a Para Arduino (resposta na faixa de 204 a 370 nm), display OLED I2C, protoboards e outros componentes para a montagem dos circuitos eletrônicos.

2.2. Metodologia

2.2.1 Testes de efetividade:

1. Preparo dos meios nutrientes:

Anais da VII Mostra de Docentes em RJJ

Para cada fase do processo de exposição, foram preparadas de nove soluções de meio nutriente para bactérias e nove soluções de meio nutriente para fungos, seguindo a metodologia de análise por triplicata. O meio nutriente utilizado para sedimentação de fungos foi o Ágar Sabouraud Dextrose (SDA). Com preparação de 65g do ágar, para 1000ml de água destilada, foram necessários 13g do ágar para cada 200ml de água destilada, distribuindo-se 20ml de solução para cada placa pertencente a triplicata

Procedimento similar foi executado para preparo do meio nutriente para sedimentação de bactérias, entretanto, devido a variabilidade dos meios dispostos para procedimento de sedimentação, três meios de cultura próprios para o crescimento de bactérias foram testados durante a exposição. O ágar determinado como controle para a exposição, foi o Plate Count Ágar (PCA), com preparação de 22,5g do ágar, para 1000ml de água destilada, utilizado em todas as etapas do procedimento, o Ágar Nutriente (AN), mistura dos meios Nutrient Broth, com preparação de 13g do caldo nutriente, para 1000ml de água destilada e Agar Powder, com concentração a 1,5%, necessário para solidificação e nutrição mínima dos microrganismos, foi utilizado como segundo meio para nutrição, a fim de avaliar as qualificações do meio para uma produção viável de colônias bacterianas, e o Ágar Nutrient DEV (AND), com preparação de 43g do ágar, para 1000ml de água destilada, foi utilizado como o terceiro meio para nutrição bacteriana, também com a finalidade de oferecer garantia de que o meio controle possui as devidas validações de qualidade nutricional para os microrganismos.

A solução dos meios foi inserida em vidrarias distintas de Erlenmeyer, passado para o processo de aquecimento e fervura. Posteriormente foram inseridos os algodões compatíveis com o diâmetro de abertura do bocal da vidraria e levados para o processo de autoclavagem para posterior distribuição nas placas de Petri (90mmx15mm) estéreis, descartáveis, separadas e identificadas conforme o meio produzido. Procedeu-se então a distribuição do meio nas respectivas placas em ambiente higienizado e estéril. Utilizou-se capela de fluxo laminar para preparo seguro de contaminação indevida das placas e distribuição da solução. Após serem dispersos os meios de cultura, aguardou-se o período para a secagem e fixação completa do ágar às placas. Então, com as marcações correspondentes ao meio utilizado, foram reservadas para uso nos procedimentos.

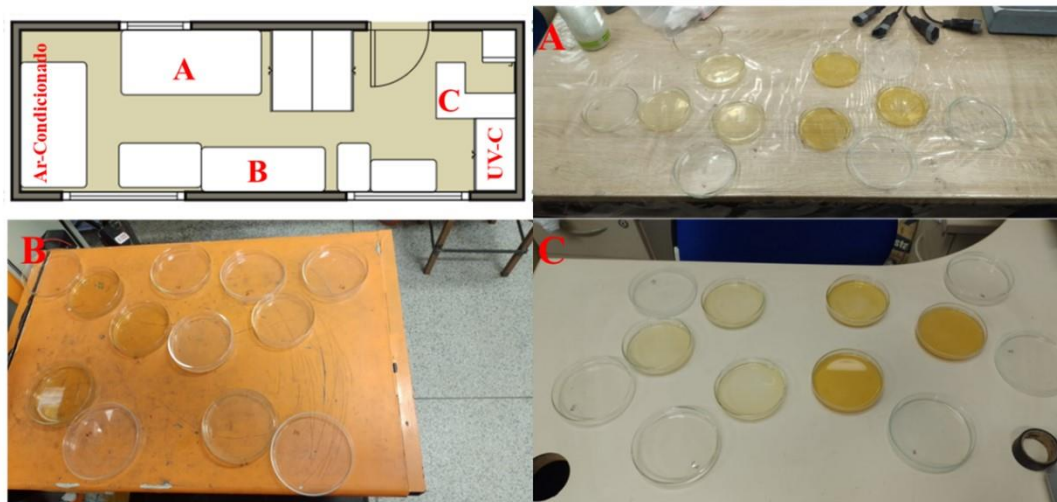
2. Exposição das placas

Expostas com uma altura média de 120cm em relação ao chão, para que houvesse deposição de esporos e estruturas fúngicas e bacterianas presentes no ar atmosférico. Todas as placas foram abertas para sedimentação, após o momento em que eram distribuídas, e retiradas aos intervalos de três tempo distintos, sendo eles, após o decorrer de 15 minutos, retiradas então 3 placas por ponto de exposição, uma contendo o meio correspondente ao cultivo de fungos, e outras duas contendo os meios característicos para cultivo de bactérias.

Pontos demarcados (A, B e C) para exposição das placas foram estabelecidos a fim de manter rigidez na repetição experimental, como demonstrado na Fig. 2. Após a exposição das placas, realizou-se o acondicionamento das placas fúngicas à temperatura ambiente (aproximadamente 27°C) por um período de sete dias. Após esse período, foi avaliada análise de crescimento isolado, visto que seu crescimento demanda um período maior para apresentação de resultados significativos. As placas expostas para sedimentação bacteriana foram incubadas e mantidas em estufa à temperatura de 37°C por 48 horas. Após esse período, foi analisado crescimento de microrganismos e de colônias.

Anais da VII Mostra de Docentes em RJJI

Fig. 2 - Layout do espaço utilizado para realização dos experimentos e disposição das placas de Petri com os respectivos meios de cultura. Placas dispostas em pontos demarcados, com meios para fungos e bactérias nos pontos A, B e C, conforme layout.



Fonte: BELO, 2023

3. Amostragem do ar e definição de cenários

A análise do ar foi realizada seguindo os procedimentos e padrões estabelecidos pela ANVISA. Sendo feitas por meio de amostragem do ar passiva (sedimentação espontânea, por método gravitacional). As placas de Petri contendo meio nutriente sólido de escolha, foram expostas ao ar pela variação de tempo de 15min a 120min.

Os experimentos de amostragem do ar foram realizados em dois cenários diferentes. O primeiro cenário foi com o laboratório vazio e o ar-condicionado desligado. No segundo cenário estavam presentes estudantes e professores e o ar-condicionado estava ligado, criando fluxo de ar. A disposição das placas nos cenários, foi executada segundo o item 2 de materiais e métodos deste trabalho.

2.2.2 Testes de Segurança

Para a realização dos testes de segurança foi necessário prototipar, usando a plataforma Arduino, sensores para UV e para ozônio [5]. A metodologia seguida consistiu em sete fases, descritas sucintamente abaixo.

Fase 1: Estabelecer os atributos de segurança esperados para os sistemas emissores de UV-C, tal que os sensores de UV e de ozônio possam ser escolhidos de modo a apresentarem as sensibilidades necessárias.

Fase 2: Realizar busca ativa por informações atualizadas, especialmente na documentação de referência da plataforma Arduino.

Fase 3: Levantar as características técnicas do Módulo Mq131 Sensor de Gás Ozônio para Arduino

Fase 4: Realizar a montagem e os testes do sensor de ozônio.

Fase 5: Levantar as características técnicas para o Sensor Ultravioleta UV UVM-30a Para Arduino (resposta na faixa de 204 a 370 nm)

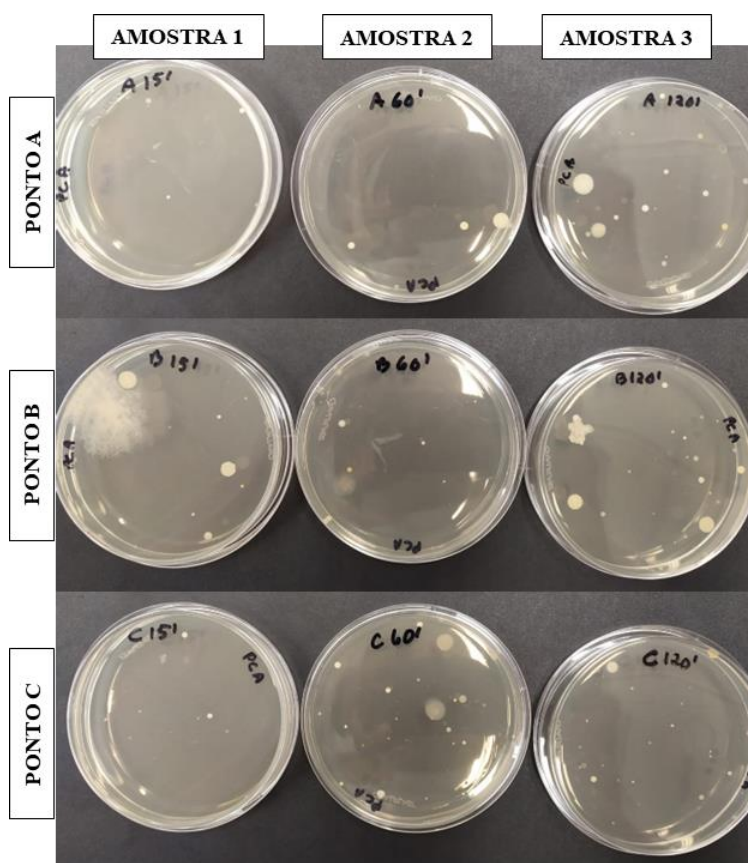
Fase 6: Realizar a montagem e os testes do sensor de ultravioleta.

Fase 7: Documentar todo o processo.

3. Resultados e Discussão

Para os testes de efetividade, procedeu-se, então, ao preparo de diferentes meios de cultura e ao estudo da proliferação bacteriana e fúngica nos diversos cenários. Um conjunto de amostras triplicadas, dispostas nos pontos A, B e C pré-definidos, pode ser visto na Fig. 3.

Fig. 3 - Proliferação bacteriana em placas de Petri contendo meio Ágar PCA, expostas nos pontos A, B e C para deposição microbiológica.



Fonte: BELO, 2023

Todas as amostras foram fotografadas e analisadas, gerando um conjunto de 43 quadros, onde foram registrados, para cada amostra de cada cenário dados como: unidade formadora de colônias (UFC), forma, margem, elevação, tamanho, textura, aparência, pigmento e características das colônias formadas.

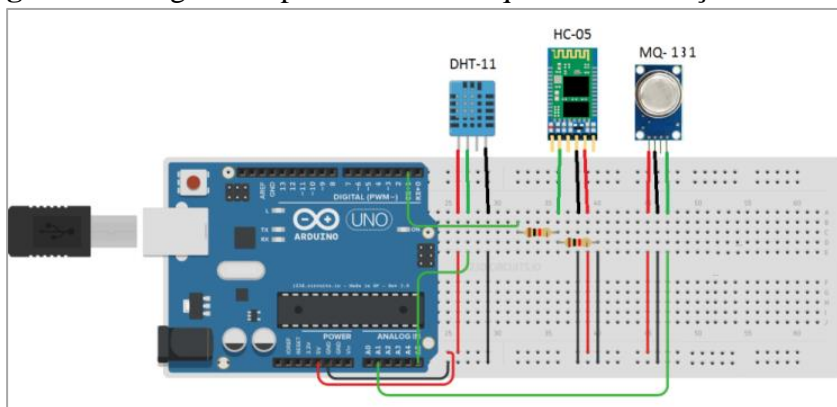
Nesta fase inicial, o ambiente *indoor* foi irradiado com luz UV durante cerca de 1h. Observa-se que a escolha do meio de cultura é bastante crítica em função da caracterização do ambiente, o que confere complexidade às análises. Contudo, pode-se observar mudanças nas amostras ligadas aos cenários em que a radiação UV estava ligada, indicando uma diminuição no número de colônias, por exemplo.

No entanto, os resultados são considerados preliminares, tendo em vista fatores de confundimento, como a variação do número de pessoas nos dias de amostragem ou o controle da climatização do ambiente.

Anais da VII Mostra de Docentes em RJI

Para os testes de segurança, foram montados os esquemas dos sensores de ozônio e de UV. A Fig. 4 mostra o esquema de montagem do sensor MQ-131, junto com o sensor de temperatura e umidade DHT-11 e o módulo bluetooth HC-05.

Fig. 4 – Montagem em protoboard do esquema de detecção de ozônio.



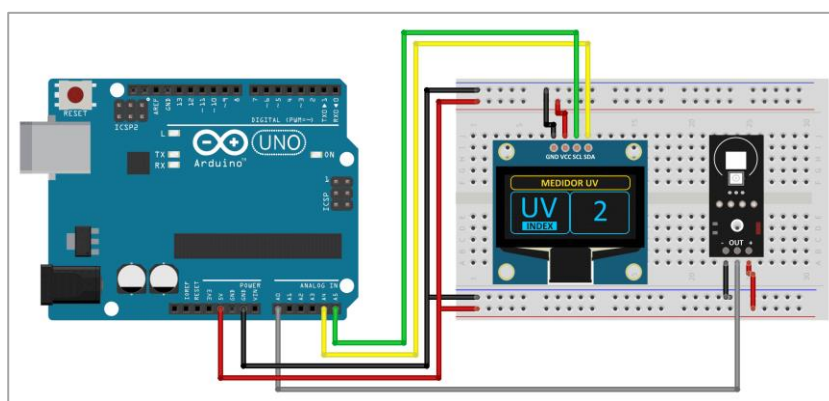
Fonte: MARZOCCHI, 2023

Embora a montagem seja simples, foi necessário implementar a expressão matemática para calcular a concentração de ozônio a partir dos sinais elétricos gerados pelo sensor MQ-131, usando os dados técnicos do fabricante [5]. Convém estabelecer que o sensor MQ-131 pode ler concentrações de ozônio na faixa de 10 a 1000 ppb.

A utilização do módulo HC-05 permitiu que as leituras fossem realizadas fora do ambiente onde se ligava uma fonte de radiação UV capaz de gerar ozônio no ar, usando-se um aplicativo de celular, o que assegura a segurança dos pesquisadores.

O sensor UVM-30A foi montado junto com um display OLED I2C programado para mostrar níveis de radiação UV a partir de faixas dos sinais elétricos gerados pelo sensor UV, como pode ser visto na Fig. 5.

Fig. 5 – Esquema de montagem do sensor UVM-30A com o display OLED.



Fonte: MARZOCCHI, 2023

Os códigos fonte gerados com a plataforma Arduino estão disponíveis em [5].

Os sensores foram usados para testes preliminares com o Sistema Upper Split UP-36W-20ª-UNO-UV, instalado a cerca de 1,80 m do piso em uma sala fechada, com o equipamento de ar-

Anais da VII Mostra de Docentes em RJI

condicionado desligado. Ao nível de uma bancada de trabalho, com altura aproximada de 80 cm do piso, não se detectou radiação UV, enquanto o sensor de ozônio apresentou leituras tão baixas quanto 10 ppb.

4. Considerações finais

Os resultados são considerados preliminares, especialmente quanto às evidências de efetividade do sistema Upper Room na desinfecção de ar *indoor* seguindo o protocolo de deposição espontânea de microrganismos. No aspecto segurança, a detecção de níveis na faixa de 10 ppb de ozônio e de níveis desprezíveis de radiação UV espalhada do equipamento Upper Room para pessoas em bancadas de trabalho são bastante promissores. Os tempos de exposição do ar à radiação UV em ambientes fechados devem ser aumentados e os testes, repetidos para que as evidências sejam convalidadas.

A realização deste trabalho propiciou um considerável aprendizado tanto para os alunos como para a pesquisadora. Foram gerados dois trabalhos de conclusão de curso em um tema inovador e que pode representar uma importante contribuição para os ambientes da saúde.

Agradecimentos

Ao Centro Paula Souza e à Fatec/Sorocaba, Coordenadoria de Sistemas Biomédicos, por apoiarem iniciativas como a deste projeto. Às professoras pesquisadoras Dra. Elaine Conceição de Oliveira pelo apoio na análise dos dados biológicos e Dra. Luciana Sgarbin Rossino por permitir a experimentação da radiação UV germicida em seu laboratório de pesquisa.

Referências

[1] KOWALSKI, Wladyslaw. **Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook: UVGI for Air and Surface Disinfection**. New York: Springer, 2009.

[2] MEMARZEDEH, F. **A review of recent evidence for utilizing ultraviolet irradiation technology to disinfect both indoor air and surfaces**. Appl. Biosaf. v.26, n.1, p.52-56, mar. 2021.

[3] BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Nota Técnica 32/2021**. Disponível em: <http://bibliotecadigital.anvisa.ibict.br/jspui/handle/anvisa/401>
Acesso em set. 2022.

[4] BELO, Giovanna Marins. **Testes de Sistema de Desinfecção de Ar por Luz Ultravioleta Tipo UVC em Ambiente da Faculdade de Tecnologia de Sorocaba**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação. Sorocaba: Fatec/Sorocaba, 2023.

[5] MARZOCCHI, Eduardo Zambotti. **Confecção de Sensores de Ultravioleta e de Ozônio para Testes de Segurança em Sistema de Desinfecção de Ar por Luz Ultravioleta**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação. Sorocaba: Fatec/Sorocaba, 2023.