

PROTÓTIPOS COM RADIAÇÃO UV-C PARA ESTERILIZAÇÃO DE MÁSCARAS N95/PFF2, AMBIENTES E SUPERFÍCIES HOSPITALARES¹

Tatielle Menolli Longhini²
Allynne Avylla Alves
Nickolas Ferreira do Amaral
Randolfo Monteiro Lage
Rodrigo Marques de Oliveira
Peter Franklin Ribeiro de Souza

RESUMO

Durante a pandemia do novo Coronavírus, os profissionais de saúde têm atuado com risco de contaminação de ambientes hospitalares e com a escassez de Equipamentos de Proteção Individuais (EPIs), como as máscaras N95/PFF2 de uso obrigatório para proteção respiratória, que vem sendo reutilizadas sem esterilização para inativar o Covid-19. Tal situação eleva o risco de contaminação destes profissionais e a de diminuição da mão de obra na pandemia. O objetivo desta pesquisa é desenvolver protótipo(s) UV-c para esterilização de máscaras N95/PFF2, ambientes e superfícies hospitalares, conforme especificações técnicas de agências internacionais de saúde, disponíveis nas Recomendações de Padrões de Cuidados em Crise. A eficiência foi aferida com o uso de um medidor radiação ultravioleta digital faixa 254NM e com testes microbiológicos. Os resultados indicaram eficácias de esterilização de 96,06%, 81,34% e 73,96% para CDUV-c Maior, CDUV-c Menor e RDUV-c, respectivamente, o que indica possibilidades de adaptação nos protótipos, conforme indicações sugeridas pela bibliografia. Para disseminação das tecnologias, o projeto foi disponibilizado em *open source*, cujos códigos e especificações estão abertos e o licenciamento é livre. Pretende-se, com esta tecnologia, promover a prevenção e gerenciamento de riscos para proteger a equipe médica, uma vez que há um suprimento limitado de N95/PFF2 e trazer soluções hospitalares para e além da pandemia do Covid-19.

Palavras-chave: covid-19; equipamentos de proteção individual; desinfecção; reuso de máscaras N95/PFF2.

PROTOTYPES WITH UV-C RADIATION FOR STERILIZATION OF N95 / PFF2 MASKS, HOSPITAL ENVIRONMENTS AND SURFACES

ABSTRACT

During the pandemic of the new Coronavirus, health professionals have acted at risk of contamination of hospital environments and with the scarcity of Personal Protective

¹ Como citar este artigo:

LONGHINI, T. M. *et al.* Protótipos com radiação UV-C para esterilização de máscaras N95/PFF2, ambientes e superfícies hospitalares. **ForScience**, Formiga, v. 10, n. 1, e01050, jan./jun. 2022. DOI: 10.29069/forscience.2022v10n1.e1050.

² Autor para correspondência: Tatielle Menolli Longhini, e-mail: tatielle.longhini@gmail.com

Equipment (PPE), such as the N95 / PFF2 masks of mandatory use for respiratory protection, which has been reused without sterilization to inactivate Covid-19. Such situation increases the risk of contamination of these professionals and the reduction of the workforce in the pandemic. The objective of this research is to develop prototype (s) UV-c for sterilization of N95 / PFF2 masks, environments and hospital surfaces, according to technical specifications of international health agencies, available in the Recommendations for Care Standards in Crisis. Efficiency will be measured using a 254NM digital ultraviolet meter and microbiological tests. The results indicated sterilization efficacies of 96.06%, 81.34% and 73.96% for CDUV-c Major, CDUV-c Minor and RDUV-c, respectively, which indicates possibilities of adaptation in the prototypes, according to indications suggested by the bibliography. In order to disseminate the technologies, the project was made available in open source, which codes and specifications are open and licensing is free. The aim of this technology is to promote prevention and risk management to protect the medical team, since there is a limited supply of N95 / PFF2 and to bring hospital solutions for and beyond the Covid-19 pandemic.

Keywords: Covid-19; Personal protective equipment; Disinfection; Reuse of N95/PPF2 masks.

1 INTRODUÇÃO

O Coronavírus teve o seu surto iniciado em Wuhan, na China, tornando-se uma pandemia de ordem mundial. É caracterizado como uma variante da Síndrome Respiratória Aguda ou SARS – por isso o vírus é chamado de SARS-CoV-2 e a doença é conhecida como Covid-19, com uma taxa de mortalidade de 2% (WANG *et al.*, 2020), e em sua manifestação mais grave, identifica-se o comprometimento alveolar, progredindo em uma insuficiência respiratória (ROBACK, GUARNER, 2020; GORBALENYA *et al.*, 2020).

É uma doença altamente contagiosa, sendo transmitida por partículas suspensas, que pode persistir no ar por até 3 horas (VAN DOREMALEN *et al.*, 2020). Por isso, é necessário dispor equipamentos de proteção individual a profissionais de saúde, pacientes e outros usuários (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2020b, 2020c; BAR-ON *et al.*, 2020).

Neste cenário, os profissionais de saúde enfrentam um maior risco de exposição, sendo recomendado o uso de respiradores do tipo N95/PPF2, que apresentam maior capacidade de proteção respiratória, quando comparados às máscaras cirúrgicas (CENTERS OF DISEASE CONTROL AND PREVENTION, 2020a, 2020c; SKORZEWSKA, 2020; SIEGEL *et al.*, 2007). Preocupação essa que se estende ao risco de contaminação do ambiente hospitalar (TSENG; LI, 2007).

Frente à pandemia de Covid-19, elevou-se a demanda mundial por Equipamentos de Proteção Individual (EPIs). World Health Organization (2020b) estima que estão sendo demandadas, mensalmente, 89 milhões de máscaras no combate, o que representa um

aumento de 40% da demanda. Isso explica a crise de suprimento, dadas a quantidade e baixo tempo de entrega requisitados, e demonstra a necessidade de uso racional dos equipamentos.

Dentre os mais necessários, estão as máscaras N95/PFF2, indispensáveis para prevenir o contágio dos profissionais de saúde, por contato com fluidos, quando em atendimento de pacientes infectados (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2020a; CENTERS OF DISEASE CONTROL AND PREVENTION, 2020a). A máscara N95/PFF2 padrão é composta por diferentes camadas, desenvolvidas para filtragem de materiais e remoção de secreções, bem como para absorção de gases nocivos, sendo capazes de absorver 95% de partículas maiores de 0,3 microns (CENTERS OF DISEASE CONTROL AND PREVENTION, 2020d; 3M COMPANY, 2020). Quando disponíveis, são preferíveis, quando comparadas com as máscaras cirúrgicas simples, pela maior capacidade de proteção de contaminação por vias aéreas (RENGASAMY; EIMER; SHAFFER, 2010).

Por isso, a N95DECON (2020) expõe a necessidade de os sistemas de saúde tomarem melhores decisões para gerenciar os riscos da equipe médica. World Health Organization (2020a) recomenda três estratégias para otimizar a disponibilidade: uso apropriado, evitando o contato das mãos no EPI durante sua utilização, minimização de necessidade fazendo-se uso do distanciamento social quando possível e suprimento coordenado dos itens.

Ao passo em que o Centers of Disease Control and Prevention (2020a) sugere o reuso das N95/PFF2, sendo que técnicas de esterilização já vêm sendo discutidas nos últimos anos e, com a crise com o novo coronavírus, passaram a se apresentar como alternativa diante do problema da alta demanda e baixo estoque do EPI. Dentre elas: autoclave, vapor gerado por calor ou por micro-ondas, radiação UV-c, ozônio, óxido de etileno, peróxido de hidrogênio vaporizado e alvejante (MILLS *et al.*, 2018; LORE *et al.*, 2012; VISCUSI *et al.*, 2011; BERGMAN *et al.*, 2011; HEIMBUCH; WALLACE; KINNEY, 2011; FISHER; WILLIAMS; SHAFFER, 2011; BERGMAN *et al.*, 2010; VISCUSI *et al.*, 2009).

Além disso, a técnica com UV-c também é aplicável para esterilização de ambientes e demais instrumentos, através do uso de dispositivos portáteis que emitam a radiação. Por uma exposição rápida e sem toque direto, é possível realizar desinfecção microbiana e viral – e, em específico, do coronavírus, dada a sua baixa resistência a desinfetantes (ROSSI, 2020; YAN *et al.*, 2020; KOWALSKI, 2009).

Por isso, com a eficiência da irradiação germicida ultravioleta no combate ao coronavírus, propõe-se o desenvolvimento de protótipos para esterilização, por UV-c, de máscaras N95/PFF2 e ambientes e superfícies. Dessa forma, este trabalho visa responder a seguinte pergunta de pesquisa: “De que maneira protótipos com radiação UV-c podem

auxiliar na esterilização de máscaras N95/PPF2, de ambientes e de superfícies?". Os desenvolvimentos visam trazer soluções ao sistema de saúde durante e para além da pandemia. Ou seja, o objetivo deste trabalho é desenvolver protótipos para esterilização, por UV-c, de máscaras N95/PPF2, ambientes e superfícies hospitalares.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica deste trabalho consiste no desenvolvimento de tópicos sobre estratégias para a otimização de suprimentos durante pandemia do novo Coronavírus e técnicas de esterilização de máscaras N95/PPF2, ambientes e superfícies e, em específico, o uso da técnica de UV-c.

2.1 Estratégias para otimização de suprimentos durante pandemia do novo coronavírus

O Brasil declarou, após três semanas da confirmação do primeiro caso, o começo da transmissão comunitária (RACHE *et al.*, 2020). Tal circunstância evidenciou a distribuição desigual de recursos hospitalares no Brasil, um fator de preocupação, haja vista que possui baixa experiência com crises de saúde pública, quando comparado com países da Europa e da Ásia (CASTRO *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020).

A epidemia deflagrou problemas de suprimento de itens hospitalares básicos e de higienização de ambientes. Quanto a isso, a World Health Organization Europe (2020c) estabeleceu como atuação prioritária a preparação das unidades de saúde para o aumento de demanda de equipamentos de proteção individual (EPIs) e de práticas de esterilização dos hospitais. O que sugere que sejam revistas as cadeias de suprimento e estoques dos itens, bem como preparo o suporte financeiro para a remoção de barreiras operacionais (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2020a, 2020b).

Por consequência, tem sido comum o aumento de contágio entre os profissionais de saúde. Por isso, tem-se recomendado capacitações para o uso adequado de EPIs e para os cuidados e procedimentos a serem realizados (GRABOIS *et al.*, 2020). Para Wang, Zhang e He (2020) e *Centers of Disease Control and Prevention* (2020e), uma resposta eficiente está condicionada às ações de ressuprimento e de estratégias de melhoria de uso de recursos, contingenciando, quando possível.

Sobre isso, a *Centers of Disease Control and Prevention* (2020e) ainda acrescenta a necessidade de se acompanhar a taxa de utilização dos recursos e, quando possível, retornar à

disponibilidade normal das práticas padrão. Em se tratando dos respiradores N95/PFF2, sugere o uso para além do prazo estabelecido pelo fabricante e, até mesmo, adotar práticas de reuso.

São utilizadas diferentes técnicas de controle para a esterilização antiviral, tais como: aquecimento, irradiação germicida ultravioleta (UVGI), desinfetantes químicos (RABENEAU *et al.*, 2005; DUIZER *et al.*, 2004; FERENCZY, BERGERON, RICHART, 1989). Nesse contexto, o UVGI se apresenta como um método eficaz tanto de inativação de microorganismos e quanto de destruição de ácidos nucleicos - o que torna os vírus não infecciosos (BRICKNER *et al.*, 2003; WYCKOFF, 1931).

Em função da pandemia de COVID-19, notou-se uma crise tanto de suprimento de equipamentos de proteção individual, quanto de insumos para combate e diagnóstico da doença (LIAO *et al.*, 2020). Sendo que a escassez de máscaras N95/PFF2 é uma das mais sentidas, uma vez que o seu uso é sugerido para evitar a contaminação de profissionais de saúde que estão na linha de frente do combate (RANNEY; GRIFFETH; JHA, 2020).

Uma forma de mitigar a escassez de máscaras N95/PFF2 seria por descontaminação e reutilização, de modo que o número de reusos seja limitado de 10 a 20 vezes e mantenha-se o desempenho da filtragem, o ajuste e a segurança do usuário, dados riscos de contaminação por agentes biológicos e de infecção por colocação e retiradas repetidas (VAN DOREMALEN *et al.*, 2020; VUMA *et al.*, 2019; CENTERS OF DISEASE CONTROL AND PREVENTION, 2020a; FISHER; SHAFFER, 2014). Embora não seja o ideal, pesquisas recentes apontam que, na prática, respiradores descartáveis podem ser usados muitas vezes e a irradiação germicida ultravioleta, por UV-c, tem se destacado como uma das técnicas com melhores resultados de esterilização anticovid em máscaras N95 (CENTERS OF DISEASE CONTROL AND PREVENTION, 2020b; CHUGHTA *et al.*, 2015).

As máscaras N95/PFF2 são compostas por diferentes camadas, principalmente de microfibras de polipropileno (CENTERS OF DISEASE CONTROL AND PREVENTION, 2020c). As fibras, no processo de produção, são fundidas por fusão, de modo que são empilhadas e criam uma rede 3D, com porosidade de 90% - que não seria suficiente para a filtragem de partículas finas (RANNEY; GRIFFETH; JHA, 2020). Para melhorar a eficiência de filtração, mantendo o percentual de permeabilidade ao ar, as fibras são expostas a descarga, por meios triboelétricos, entre dipolos quase permanentes que se chamam eletretos (ANGADJIVAND; JONES; MEYER, 2000; KUBIK, DAVIS, 1980). Com isso, a máscara torna-se capaz de filtrar 95% de partículas maiores que 0,3 microns (CENTERS OF DISEASE CONTROL AND PREVENTION, 2020c).

O tratamento com UV-c, a 254nm, 8W e pressão de 7Pa, em uma cabine de esterilização, oferece uma eficiência de filtragem de 95,5%, bem próxima à eficiência de 96,52% \pm 1,37% de uma máscara sem uso (SKORZEWSKA, 2020). Para esterilizar as N95/PFF2 da contaminação por Covid-19, a máscara deve ser iluminada por ambos os lados com radiação de 0,5–0,950 J/cm² por até 30 min, em cada um dos lados, e 10min de descanso (WEAVER *et al.*, 2021; CDC, 2020b; LINDSLEY *et al.*, 2015). Isso porque, de acordo com *Centers of Disease Control and Prevention* (2020b), não pode haver o efeito sombra no processo de esterilização das máscaras.

Com esse tratamento, a máscara pode ser reutilizada por 10 a 20 vezes, mantendo o nível de eficiência de filtragem, sem danificar as propriedades da N95/PFF2 (CENTERS OF DISEASE CONTROL AND PREVENTION, 2020b; SKORZEWSKA, 2020; LIAO *et al.*, 2020). O tempo prolongado de uso depende da higiene e das práticas dos profissionais (CENTERS OF DISEASE CONTROL AND PREVENTION, 2020c, SKORZEWSKA, 2020; REBMANN, CARRICO, WANG, 2013; RADONOVICH *et al.*, 2009). Segundo recomendações de Lowe *et al.* (2020), o protocolo de uso do protótipo e do processo de esterilização deve considerar a identificação pessoal de cada N95 e número de vezes que cada uma delas passou por descontaminação.

Para o coronavírus recomenda-se o uso de UVGI com um nível de 0,5-1,8J/cm², de modo que se assegura uma eficácia de esterilização antiviral de 99,9% (BERGMAN *et al.*, 2011; VISCUSI *et al.*, 2011; HEIMBUCH *et al.*, 2011). Quando em nível de 0,5 a 0,95J/cm², garante-se a eficiência de filtragem das N95/PFF2 de 90 a 100% (MILLS *et al.*, 2018; LINDSEY *et al.*, 2015; FISHER; WILLIAMS; SHAFFER, 2011; BERGMAN *et al.*, 2010; VISCUSI *et al.*, 2009; VISCUSI; KING; SHAFFER, 2007).

A eficácia de inativação do UVGI também está relacionada com o nível de irradiação, duração de irradiação e umidade relativa (JENSEN, 1964; LIN; LI, 2002; SUMMER, 1962). Para inativar o vírus, a radiação deve ter comprimento de onda de 254nm (ou seja, ser uma radiação do tipo UV-c) e dose de 1J/cm², níveis também recomendados para esterilização de superfícies contaminadas por coronavírus (CENTERS OF DISEASE CONTROL AND PREVENTION, 2020b; FISCHER; WILLIAMS; SHAFFER, 2011). A Figura 1 compara necessidade de exposição à radiação UV-c de diferentes patógenos.

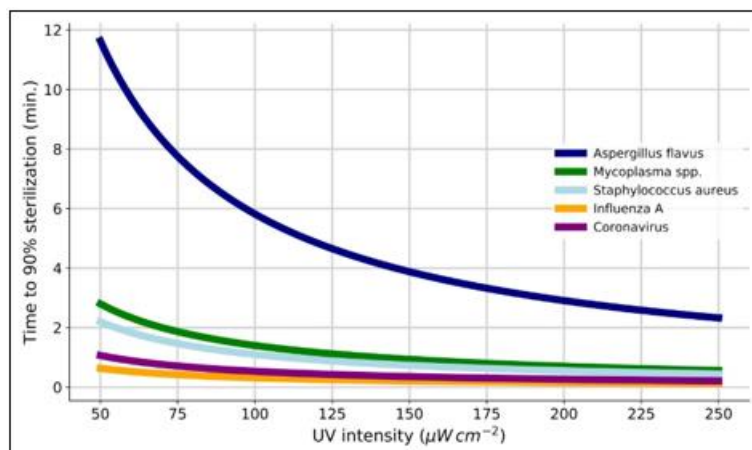


Figura 1 - Tempo em minutos para alcançar 90% de esterilização, com diferentes níveis de intensidade, para diferentes patógenos.
Fonte: Weaver *et al.* (2021).

Tseng e Li (2007) também apontam o risco de ambientes, uma vez que os vírus podem contaminar superfícies que tenham contato com os fluidos infecciosos e com os sedimentos virais. Antes de serem usadas, deve-se analisar os materiais e ambientes que precisam ser esterilizados para não haver danos (BLAIR; WASSELL, 1996).

3 METODOLOGIA

O presente trabalho se caracteriza, metodologicamente, pela sua finalidade básica, de natureza qualiquantitativa, cujo objetivo é exploratório. Para a coleta de dados, foram feitos levantamentos experimentais em laboratório, pesquisa bibliográfica, entrevista e pesquisa-ação, dos quais os dados originados são de fonte primária (MARCONI, LAKATOS, 2018). O trabalho consiste no desenvolvimento de protótipos de esterilização por radiação UV-c para máscaras N95/PPF2, ambientes e superfícies hospitalares. Antes de produzi-los, fez-se uma entrevista não estruturada com representante da Associação Médica Local, onde se identificou dificuldade de suprimentos de recursos básicos de higienização e de EPIs entre os principais hospitais locais.

A partir disso, foram analisados equipamentos desenvolvidos com tal finalidade entre os artigos pesquisados, produtos comercializados e projetos ainda em fase de ideação. Com isso, pôde-se definir as características dos protótipos a serem desenvolvidos para que, finalmente, os mesmos pudessem ser produzidos e testados, quanto à eficácia de esterilização. Por fim, foi desenvolvida uma plataforma *Open Source*, onde os desenvolvimentos do estudo foram disponibilizados.

3.1 Metodologia microbiológica geral para teste em todos os protótipos UV-c

Os testes microbiológicos foram conduzidos nos 3 protótipos: Capela de Descontaminação UV-C IFMG Maior (CDUV-c Maior), Capela de Descontaminação UV-C IFMG Menor (CDUV-c Menor) e Rodo de Descontaminação UV-C IFMG (RDUV-C). Todas as placas de petri contendo Ágar Nutriente não seletivo da marca Kasvi foram contaminadas por meio da técnica de sedimentação simples, seguindo a metodologia de Evancho *et al.* (2001), com algumas adaptações. Tal metodologia sugere que a contaminação microbiológica de ambientes e de superfícies deva acontecer em três etapas: (1) seleção dos pontos de coleta das amostras; (2) coletas das amostras de ar e (3) análises microbiológicas.

Os autores também indicam que a contaminação deve ocorrer em um tempo de 15 minutos; para este estudo, o tempo foi ampliado para 60 minutos para o crescimento microbiano efetivo (Figura 2). Após sedimentação simples de colônias de microrganismos presentes na atmosfera, foram separadas as placas de controle, que serviram como parâmetro de contaminação máxima, ficando livre de qualquer exposição de luz UV-c.

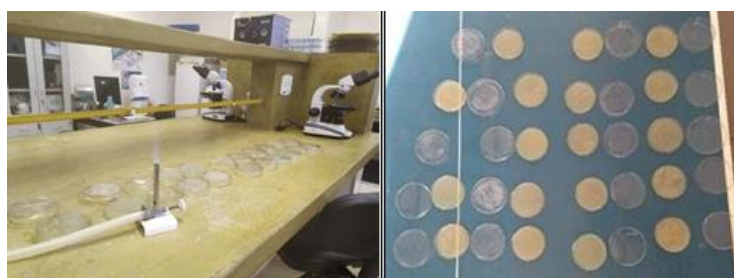


Figura 2 – Preparação e disposição aleatória das placas de Petri para a contaminação.
Fonte: Autoria própria.

Feito todo o processo de contaminação e passagem das placas teste pelos diversos tipos de protótipos UV-c, as placas-teste e controle foram incubadas em uma estufa de crescimento bacteriano à temperatura de 37°C durante 24hs. Após o período foram contabilizadas as Unidades Formadoras de Colônia (UFC) das placas controle e das que tiveram tempo de exposição a luz UV-c, para mensurar a descontaminação por luz germicida. A incidência de luz UV-c dos protótipos será mensurada através do sensor UVC Light Meter (Medidor de luz uvc254nm). Trata-se de um instrumento aplicável à medição da intensidade de radiação UV-c em campos de esterilização, fotogravura, tratamento de água, cuidados de saúde e reprodução. Com fim de obter máxima eficiência das luzes germicidas, também foram aferidas as incidências UV-c sobre os ângulos de 30 e 45 graus inclinando o sensor abaixo das luzes (Figuras 3 e 4).

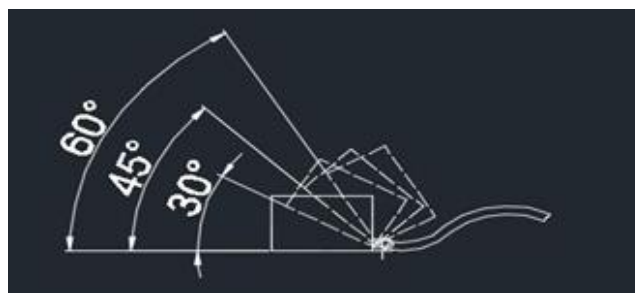


Figura 3 - Demonstrativo da inclinação do sensor UV-c.
Fonte: Autoria própria.

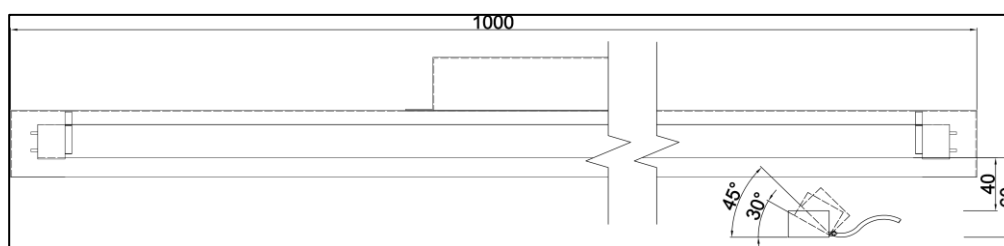


Figura 4 - Exemplo do esquemático utilizado para aferir a incidência UV-c em diferentes ângulos.
Fonte: Autoria própria.

As características técnicas do instrumento estão descritas no Quadro 1.

Cobertura do comprimento de onda:	248 a 262 nanômetros (nm)
Comprimento de onda de pico	254 nanômetros (nm)
Período de medição da irradiância	3999 uw por cm ² ou 39,99 mw/cm ²
Relação de resolução	1 uw/cm ²
Luz parasitária além da banda ultravioleta	< 0,1 %
Precisão	5% + 2 palavras
Taxa de amostragem	2,5 vezes por segundo
Umidade	<80% umidade relativa
Largura do período de medição	1 uw/cm ² ~ 39,99 mw/cm ²

Quadro 1 – Características técnicas do instrumento de medição UV-c.
Fonte: Autoria própria.

Dessa maneira, foram desenvolvidos os experimentos comparando-se o nível de radiação UV-c, com as medições pelo UVC Light Meter, e com a eficácia de esterilização microbiológica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em levantamento entre os diretores e gestores das seis Unidades de Tratamento Intensivo (UTIs), de hospitais públicos e privados de Governador Valadares e região, constatou-se a dificuldade de compra das máscaras N95/PFF2, bem como de esterilização dos ambientes e superfícies dos hospitais. Inicialmente, estipulou-se o desenvolvimento de

protótipo para a esterilização de 20 a 25 máscaras, por vez – número médio de profissionais de saúde envolvidos em atividades de UTIs, segundo relato por representante da Associação Médica Local. Depois, com o teste da tecnologia, visou-se a fabricação do rodo, com a radiação UV-c, para a esterilização de ambientes e superfícies hospitalares.

Posteriormente, foram levantados estudos publicados sobre o uso de UV-c para a esterilização de máscaras N95/PFF2, ambientes e superfícies hospitalares. Com isso, foram identificados protótipos já desenvolvidos, procedimentos de uso, requisitos de operação e parâmetros de funcionamento dos mesmos, tendo demonstrada a ampla aplicabilidade da técnica e a possibilidade de desenvolvimento de diferentes produtos que podem ser usados nos sistemas de saúde, para e além da crise do Covid-19.

Aliados a isso, foram levantadas especificações técnicas de protótipos internacionais, de forma a compará-los - tanto produtos já em fase em comercialização, quanto itens ainda em fase de ideação. Por engenharia reversa, foram identificadas facilidades de fabricação e de otimização de recursos, bem como adaptação do projeto em fase de concepção.

Após a análise das características técnicas dos protótipos levantados, bem como a facilidade de uso e de manuseio, considerou-se a produção de dois protótipos no formato de capela (com dimensões diferentes) para a desinfecção de máscaras N95/PFF2 e de um protótipo no formato de rodo, para a esterilização de ambientes hospitalares.

Visando o aproveitamento máximo da incidência da luz germicida UV-c, todos os 3 protótipos foram construídos em Aço inoxidável 430 de 0,8mm de espessura, o que garante uma boa refletância dos raios UV e considerável resistência mecânica, além da durabilidade e pelo baixo peso do produto final. As lâmpadas usadas foram de 15, 11 e 8w, variando em cada tipo de projeto com diferentes dimensões, aplicações e análises de custo- benefício.

Optou-se pelas lâmpadas Puritec da marca OSRAM, uma vez que o efeito de purificação é obtido com comprimentos de onda abaixo de 320 nm, com eficácia máxima a 260 nm. As lâmpadas germicidas OSRAM emitem luz em 254 nm, cerca de 85% da eficácia máxima, sem ozônio, condicionando maior controle e previsibilidade de comportamento (OSRAM, 2020).

4.1. Características e produção dos protótipos de esterilização, por UV-c

Dessa maneira, foram concebidos os seguintes protótipos: capela de descontaminação UV-c IFMG Maior (CDUV-c Maior), capela de descontaminação UV-c IFMG Menor (CDUV-c Menor) e rodo de descontaminação UV-c IFMG (RDUV-c). As capelas contêm sistema

eletrônico de automação, sendo o PCI – Placa de Circuito Interno (Figura 5). Já o rodo não possui tal sistema, uma vez que o tempo de exposição é curto e o nível de radiação mais elevado, quando comparado às capelas. Para isso, os itens usados foram: 1 arduíno nano; 1 potenciômetro 10k; 1 relé 127; 3 botões; 1 *buzzer* 12v; 1 *display* LCD 1602A; 1 fonte de 12v.

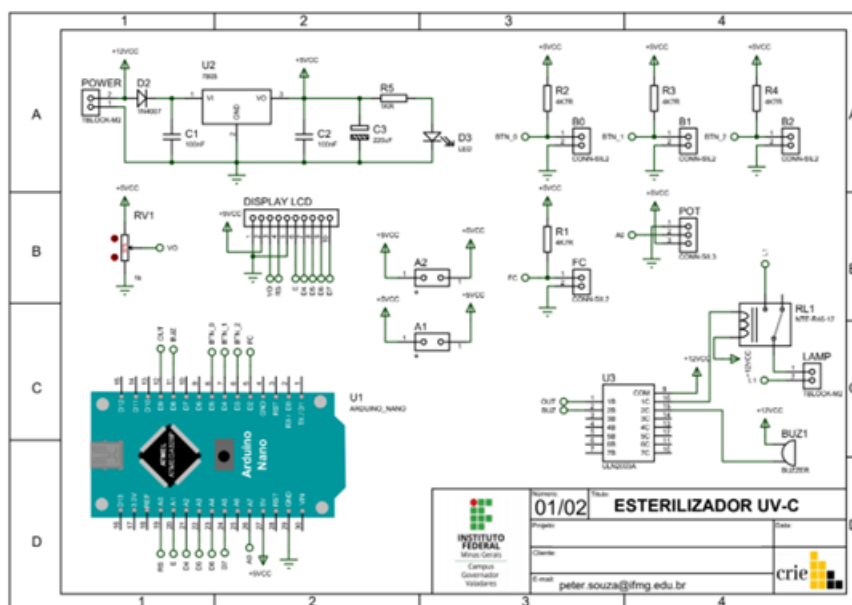


Figura 5 – Esquemático do sistema de automação.
Fonte: Autoria própria.

Com base no projeto desenvolvido, construiu-se o sistema eletroeletrônico (Figura 6).

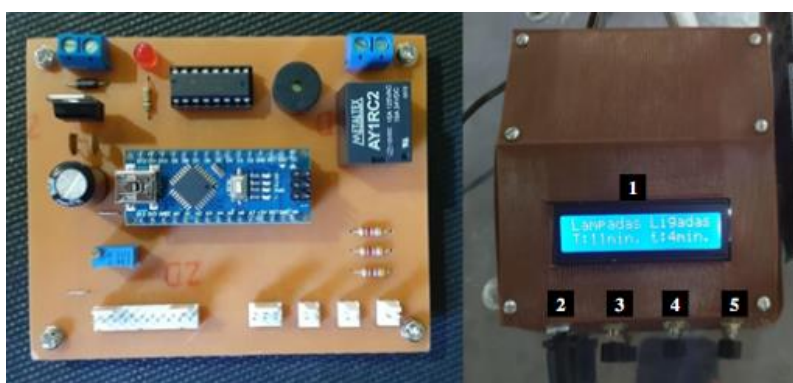


Figura 6 - Sistema automatizado para o funcionamento das capelas de descontaminação.
Fonte: Autoria própria.

Os elementos da interface estão descritos abaixo:

1. Visor LCD para monitoramento da esterilização.
2. Potenciômetro para regulagem do tempo de esterilização, que varia do mínimo de 5 ao máximo de 60 minutos.
3. Botão para navegação no menu de inicialização; em cada pulso navega-se para a opção

abaixo.

4. Botão de seleção, onde a cada pulso confirma-se a opção selecionada.
5. Botão de navegação no menu de inicialização; em cada pulso navega-se para a opção acima.

Para o sistema de interface, levou-se em consideração as necessidades do projeto. O arduíno aciona o relé, que aciona as lâmpadas. O *display* em LCD contém todas as informações textuais e numéricas, e os botões permitem que o usuário possa configurar todo o protótipo.

Pensando na agilidade de acionamento do protótipo, foi instalado um potenciômetro para permitir ajustes analógicos, lineares, no sistema. Para sinais de alerta foi instalada um alarme sonoro (*Buzzer*). Tanto o relé como o *buzzer* são acionados por um CI ULN2003, um *driver* que amplifica a corrente do arduíno e evita que seus pinos se queiem.

A fonte de alimentação de energia foi escolhida em função da praticidade e fácil manutenção, além de reduzir espaço na PCI. Foi utilizado o Arduíno pela facilidade de programação, conexão USB nativa, possibilidade de posterior expansão e bibliotecas prontas na internet. O código desenvolvido no *software* Arduíno IDE e consiste na declaração dos dispositivos e de suas variáveis, bem como a dinâmica de funcionamento.

Assim, de acordo com a escolha de funcionamento acionada pelo usuário, que lê as informações mostradas no *display* de LCD, sendo que as lâmpadas de radiação UV-c são ligadas para, posteriormente, serem desligadas após 30 min de funcionamento. Com o fim do procedimento, o *buzzer* é acionado, indicando ao usuário, de maneira sonora.

Os projetos em CAD (desenho assistido em computador) dos protótipos, as instruções de uso, os componentes usados para sua produção, a linha de programação do sistema de automação eletrônica e a caixa 3D para a inclusão dos componentes eletrônicos encontram-se no seguinte link, sendo de livre acesso, garantindo o compartilhamento de conhecimento: <<https://encurtador.com.br/rtyX5>>.

O primeiro projeto (Figura 7), a Capela de Descontaminação UV-C IFMG Maior (CDUV-c Maior), foi produzido com dimensões de 700x700x330mm, contendo 4 lâmpadas Osram Puritec 15W UV-c (com soquetes e reatores compatíveis).

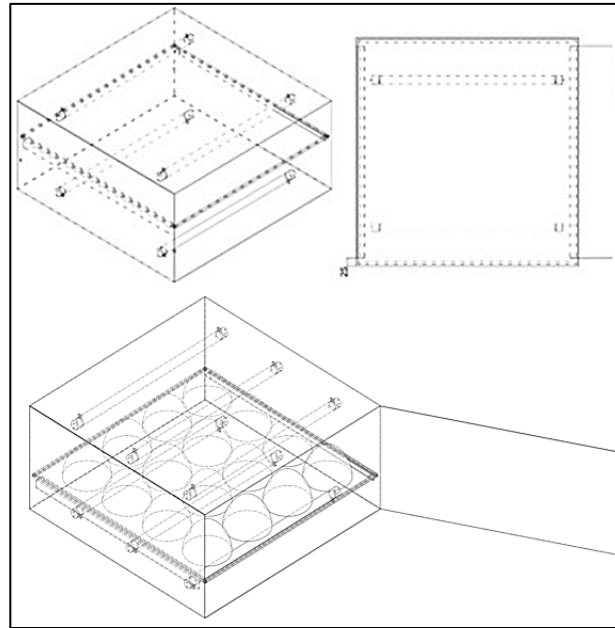


Figura 7 – Projeto de protótipo CDUV-c Maior e demonstrativo da distribuição das máscaras N95/PFF2.
Fonte: Autoria própria.

Já o segundo protótipo (Figura 8), denominado Capela de Descontaminação UV-C IFMG Menor (CDUV-c Menor), apresenta dimensões de 300x300x300mm, dispondo 4 Lâmpadas Osram Puritec de 8W (com soquetes e reatores compatíveis).

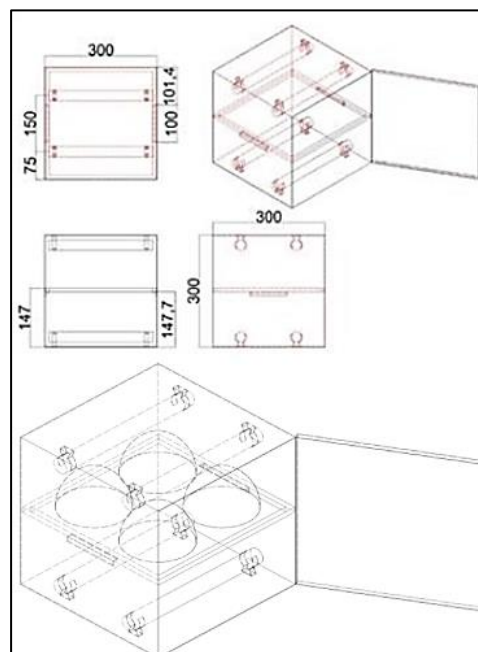


Figura 8 – Projeto de protótipo CDUV-c Menor e demonstrativo da distribuição das máscaras N95/PFF2.
Fonte: Autoria própria.

O terceiro e último protótipo (Figura 9), o rodo de descontaminação UV-c IFMG (RDUV-c), tem dimensão de 1000x176x60mm, contendo 2 Lâmpadas Osram Puritec de 15W

(com soquetes e reatores compatíveis). No projeto, a lâmpada fica a 8cm da superfície e as placas de inox ficam a 1mm da lâmpada.

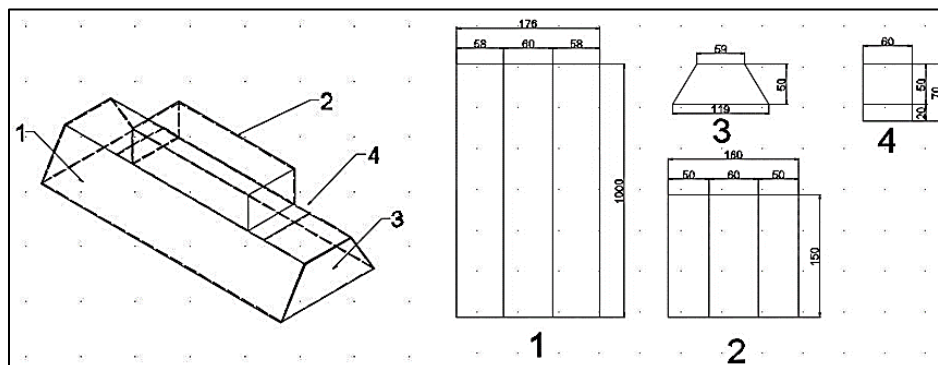


Figura 9 – Projeto de protótipo RDUV-c.
Fonte: Autoria própria.

A Figura 9 apresenta os protótipos fabricados, de acordo com o projeto.

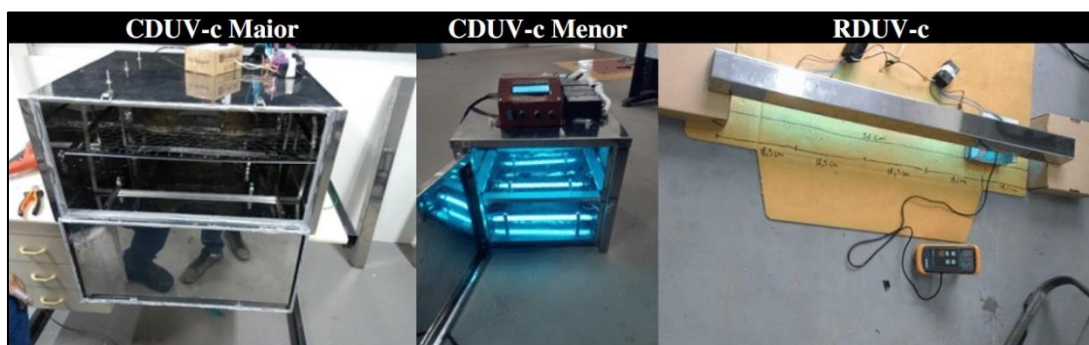


Figura 9 – Protótipos do CDUV-c Maior e Menor e RDUV-c.
Fonte: Autoria própria.

O próximo subtópico apresentará os testes microbiológicos aos quais os protótipos foram submetidos, de modo a se testar a eficácia de esterilização.

4.2. Experimentos microbiológicos dos protótipos

Nesta fase do estudo, buscou-se identificar e comparar o nível de eficácia de esterilização de cada protótipo, levando-se em consideração que a inativação do UVGI se relaciona com o nível de irradiação, duração da irradiação, umidade relativa e a distância do objeto (Figura 11) em relação à lâmpada UV-c (WEAVER *et al.*, 2021; JENSEN, 1964; LIN; LI, 2002; SUMMER, 1962).

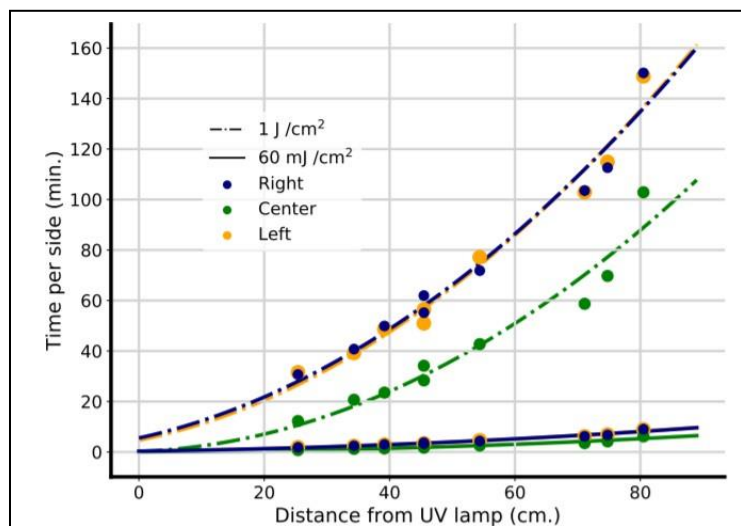


Figura 11 - Tempo e dosagem de descontaminação e a distância entre a lâmpada UV-c e esterilização de máscaras N95/PFF2.

Fonte: Weaver *et al.* (2021).

Para as capelas de esterilização, como se propõe no estudo de Weaver *et al.* (2021), nota-se que quanto mais distantes as máscaras N95/PFF2 da lâmpada de radiação UV-c, maior a necessidade de doses de radiação, de modo que com radiações de $60\text{mJ}/\text{cm}^2$ o tempo de exposição de cada máscara se faz menor. Weaver *et al.* (2021) também sugerem que UVGI resulta em menos deformação física do que alvejante, micro-ondas e peróxido de hidrogênio vaporizado.

Todos os experimentos foram realizados no mesmo dia e no mesmo local, assegurando-se o nível de umidade relativa a todos os protótipos. Os resultados da eficiência média total de cada um dos protótipos encontram-se na Tabela 1. Nos próximos subtópicos 4.2.1 e 4.2.2 serão apresentados os passos para a obtenção de tais dados.

Vale ressaltar que os resultados obtidos neste estudo são referentes a colônias de microrganismos que, segundo Weaver *et al.* (2021), requisitam maior intensidade e tempo de exposição à radiação UV-c do que o Coronavírus. Gerchman *et al.* (2020) demonstram que o coronavírus humano possui sensibilidade a comprimentos de onda de $267\text{ nm} \sim 279\text{ nm} > 286\text{ nm} > 297\text{ nm}$, resultado semelhante ao que já foi obtido em análises de outros vírus, recomendando a eficácia do uso de radiação UV-c a $\sim 286\text{ nm}$.

A radiação UV-c entre 250 e 260 nm é letal para a maioria dos microrganismos como bactérias, vírus, protozoários, fungos, leveduras e algas e o efeito germicida se dá pela indução da formação de fotoprodutos do DNA bacteriano, comumente dímeros de pirimidina, originados por ligações cruzadas entre bases sensíveis à radiação a 254 nm. Essas alterações comprometem a transcrição e reprodução da célula, levando à morte (GAYÁN; CONDÓN;

ÁLVAREZ, 2014; CUTLER; ZIMMERMAN, 2011).

O ágar utilizado neste experimento é do tipo não seletivo, ou seja, está sujeito a contaminação de qualquer tipo de microrganismos e suas variantes genéticas. Grande parte destes detém um potente mecanismo de reparo dos danos causados pela luz UV-C, chamado fotorreativação, que ocorre via absorção da luz visível em comprimentos de onda entre 350 e 500 nm, devido a enzimas liases capazes de reverter o dano causado ao DNA (CIVELLO; VICENTE; MARTÍNEZ, 2006; GAYÁN; CONDÓN; ÁLVAREZ, 2014) o que pode ter sido fator crítico para não esterilização total das colônias em algumas posições dos protótipos.

Tendo em vista os resultados discutidos acima e a fim de obter uma esterilização eficiente, orienta-se para a CDUV-c Maior, um tempo de esterilização de 30 minutos a altura de 80mm da superfície superior da lâmpada. Para a CDUV-c Menor, orienta-se também o tempo de 30 minutos de esterilização a uma altura de 120mm da lâmpada superior. Para o RDUV-C orienta-se o uso de 1 minuto de exposição sobre a superfície que deseja ser esterilizada.

4.2.1. Resultados das incidências com o sensor angulado

Com a disposição das máscaras N95/PFF2 dentro dos protótipos, as mesmas estarão sujeitas a luz germicida de diferentes posições. Tendo em vista este evento, foi-se necessário aferir as incidências em 30 e 45 graus (Tabela 1), para obter o máximo de eficiência possível.

Tabela 1 - Incidências aferidas com o sensor em diferentes ângulos e Tempo de Exposição (TE) necessário para inativar o coronavírus.

Posições (cm)	Incidência(mw/cm ²)	TE (s)	Ângulo
10	2,5	400,00	45°
15	2,53	395,26	30°
25	2,74	364,96	30°
30	2,26	442,47	45°

Fonte: Autoria própria.

Note que, para que seja alcançado o nível de radiação de 1J/cm², necessário para inativar o coronavírus, os tempos de exposição das máscaras às lâmpadas de radiação de UV-c são distintos.

4.2.2. Resultados microbiológicos para CDUV-c Maior, CDUV-c Menor e RDUV-c

A incidência de luz UV-C dentro da CDUV-c Maior foi mensurada através do sensor

UVC Light Meter - Medidor de luz uvc254nm, em diferentes posições. Foram realizados os experimentos nas seguintes distâncias: 200mm, 140mm, 80mm, 20mm. Estas são as distâncias da grade até a lâmpada. O sensor foi instalado dentro da capela de esterilização e movimentado em 7 posições, detalhe para a porta do protótipo que se encontra próximo ao ponto 1, percorrendo toda o seu interior para aferir a incidência UV-c em diferentes pontos (Figura 12).

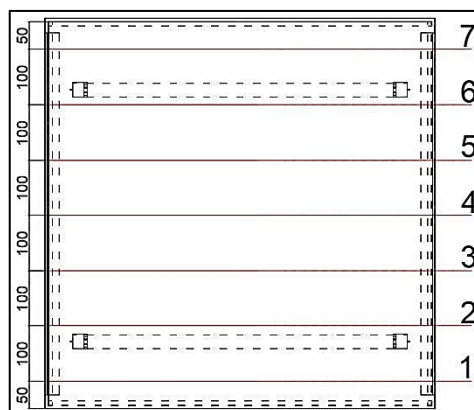


Figura 12 - Posições das incidências UV-c analisadas dentro da CDUV-c Maior.

Fonte: Autoria própria.

Os resultados do protótipo CDUV-c Maior, em relação à incidência UV-c (Tabela 2).

Tabela 2 - Resultados das Incidência UV-c analisadas na CDUV-c Maior e o Tempo de Exposição (TE) necessário para inativar o coronavírus.

Posições	200mm		140mm		80mm		20mm	
	mW/cm ²	TE (s)	mW/cm ²	TE (s)	mW/cm ²	TE (s)	mW/cm ²	TE (s)
1	0,37	2702,703	0,22	4545,455	0,07	14285,71	0,02	50000
2	0,81	1234,568	1,11	900,9009	2,03	492,6108	3,63	275,4821
3	1,26	793,6508	1,63	613,4969	0,9	1111,111	0,27	3703,704
4	1,1	909,0909	1,2	833,3333	1,8	555,5556	3,26	306,7485
5	1,18	847,4576	1,26	793,6508	0,74	1351,351	0,16	6250
6	0,8	1250	1	1000	1,74	574,7126	3	333,3333
7	0,58	1724,138	0,35	2857,143	0,15	6666,667	0,04	25000

Fonte: Autoria própria.

Para a distância de 80mm da lâmpada superior (Figura 13), foram destinadas 18 placas de ágar nas posições 3, 4 e 5 por 17 min, com duas repetições lateralizadas (A e B).

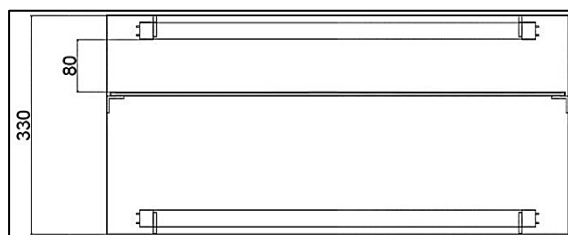


Figura 13 - Teste UV-c nas placas de Petri na altura de 80mm da lâmpada superior (imagem de frente).

Fonte: Autoria própria.

Para a distância de 140mm da lâmpada superior (Figura 14), foram testadas as posições 3, 4 e 5 por 25 min, com duas repetições lateralizadas (A e B).

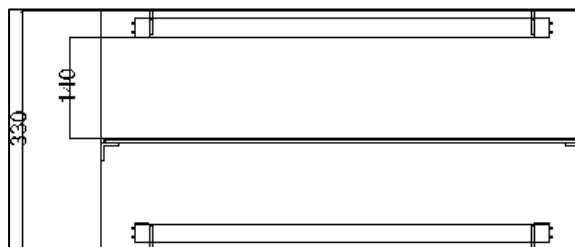


Figura 14 - Teste UV-C nas placas de Petri na altura de 140mm da lâmpada superior (imagem de frente).
Fonte: Autoria própria.

Após respeitados todos os parâmetros para o crescimento bacteriano e para a esterilização, pôde-se comparar o crescimento microbiológico entre os grupos de controle e os que tiveram algum tempo em exposição as luzes germicidas. No primeiro protótipo (CDUV-c Maior), a Tabela 3 apresenta os resultados após a esterilização sobre as luzes germicidas.

Tabela 3 - Resultado da esterilização das luzes germicidas no CDUV-c Maior.

Tempo (min)	Posições						Controles	
	3		4		5		1	2
	A	B	A	B	A	B		
17	3	1	3	4	0	1	77	51
25	1	2	5	4	4	1		

Fonte: Autoria própria.

Já para o teste microbiológico do CDUV-c Menor, foram dispostas 10 placas de Ágar, sendo estas 2 para controle e 8 para a esterilização. As placas contaminadas foram expostas aos tempos de 10, 11, 12 e 13 minutos, a 120mm da lâmpada superior. Após respeitados todos os parâmetros, para o crescimento bacteriano e para a esterilização, comparou-se o grupo controle com os que tiveram algum tempo em exposição as luzes germicidas (Tabela 4).

Tabela 4 - Resultado da esterilização das luzes germicidas no CDUV-c Menor com diferentes posicionamentos da luz de radiação UV-c.

Tempo (min)	A	B	Controles	
			1	2
8	6	1	16	24
9	4	5		
10	0	5		
11	4	5		
12	1	2		
13	6	4		

Fonte: Autoria própria.

Por fim, foram realizados os testes para o RDUV-c. As placas de Petri foram expostas ao tempo de 1 minuto de esterilização, à distância de 10mm da superfície das lâmpadas, percorrendo toda sua extensão de 920mm. Esta distância foi dividida em 4 partes: 180.5, 370, 550.5 e 740mm (Figuras 15 e 16). Optou-se por testes com lateralização para identificar os microrganismos que sobreviveriam na sua lateral (a placa de petri foi posicionada para que metade se encontrasse em incidência direta do protótipo e a outra metade fora).

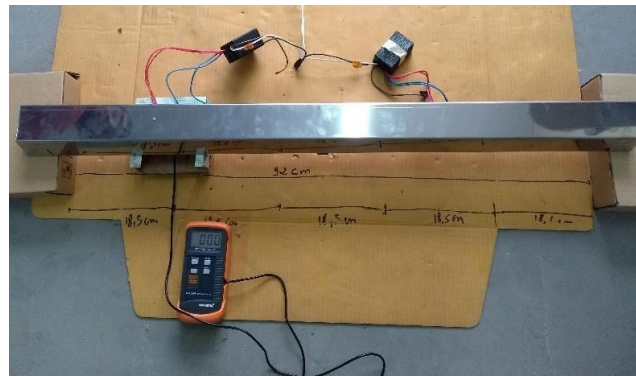


Figura 15 - Posição do sensor para medição de incidência UV-c do RDUV-c.
Fonte: Autoria própria.

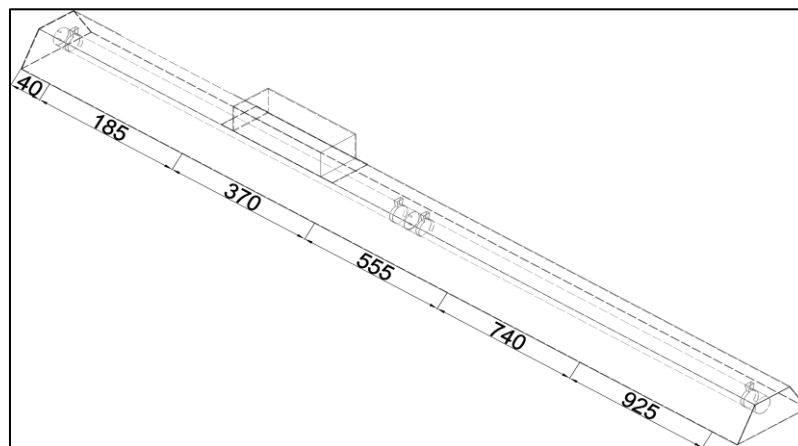


Figura 16 – Distanciamentos adotados para aferir incidências do RDUV-c.
Fonte: Autoria própria.

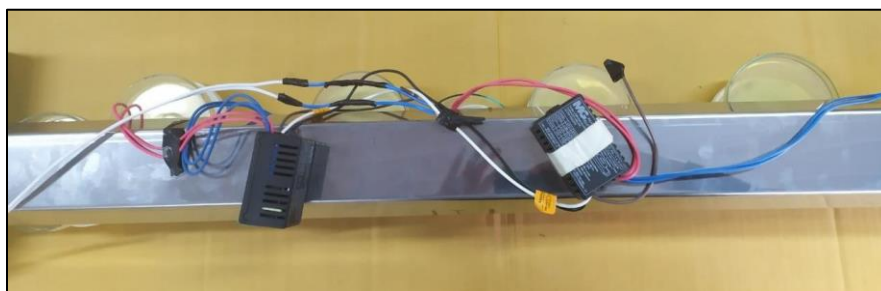
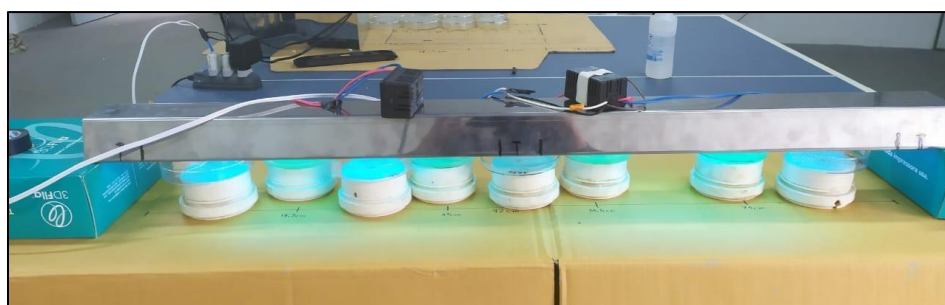
Ao adotar tais distanciamentos, foram obtidas as seguintes incidências e Tempo de Exposição (TE) para inativação do coronavírus (Tabela 5).

Tabela 5 - Resultado das incidências UV-c no protótipo RDUV-c.

mm	mw/cm ²	TE (s)
180,5	5,42	184,5018
370	4,92	203,252
550,5	5,45	183,4862
740	5,69	175,7469

Fonte: Autoria própria.

Para o teste microbiológico foram dispostas 10 placas de Ágar, sendo estas 2 para controle e 8 para a esterilização, com dois tipos de esterilização (Figuras 17 e 18). Uma centralizada abaixo da lâmpada e outra a 1cm deslocado para a esquerda, fazendo com que apenas metade da placa ficasse exposta a luz germicida. A cada posição, destinou-se uma placa de ágar.

Figura 17 - Visão superior das disposições das placas de Petri para esterilização UV-c no RDUV-c.
Fonte: Autoria própria.Figura 18 - Disposições das placas de Petri para esterilização UV-C no RDUV-c.
Fonte: Autoria própria.

Após respeitados todos os parâmetros para o crescimento bacteriano e para a esterilização, pôde-se, então, comparar o grupo controle com os que tiveram algum tempo em exposição as luzes germicidas. Para o protótipo RDUV-c, após a esterilização sobre as luzes germicidas, foram obtidos os resultados da Tabela 6.

Tabela 6 - Resultado da esterilização das luzes germicidas no RDUV-c.

Posição	Distâncias (mm)				Controle	
	180,5	370	550,5	740	1	2
Centro	6	6	9	8		
A*	1	4	1	5	16	24
B**	4	8	4	5		

Legenda: A e B são partes da mesma placa de petri contendo ágar previamente contaminado - metade da placa ficasse exposta a luz germicida ou *Esterilizado e a outra metade fora do rodo **Não esterilizado.

Fonte: Autoria própria.

Os resultados indicaram eficácias de esterilização de 96,06%, 81,34% e 73,96% para CDUV-c Maior, CDUV-c Menor e RDUV-c, respectivamente. O que indica possibilidades de ajuste nos projetos, a partir da inclusão de lâmpadas mais potentes, da maior proximidade dos objetos das lâmpadas e, até mesmo, a integração de outros itens, como termostato e gerador de ozônio, para o CDUV-c Menor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pandemia do novo coronavírus deflagrou uma crise de suprimentos, principalmente entre sistemas de saúde. Fato este que influenciou na decisão de agências internacionais de saúde quanto à decisão de reuso de máscaras do tipo N95/PFF2 e nas recomendações de higienização de ambientes e superfícies hospitalares.

Por isso, esse trabalho se propôs ao desenvolvimento de protótipos de radiação UV-c para máscaras N95/PFF2, ambientes e superfícies hospitalares, tomando como base artigos publicados, produtos já comercializados e desenvolvimentos em fase de ideação. Com base nisso, foram concebidos e produzidos os protótipos CDUV-c Maior, CDUV-c Menor e RDUV-c, que tiveram suas eficácias de esterilização testadas e, com os tempos de exposição adequados, demonstraram a capacidade de inativar o coronavírus.

Por ser realizado em plena pandemia, o presente artigo encontrou uma série de problemas. Tais como: fornecedores, comércios e laboratórios fechados, equipe de trabalho reduzida, horários limitados, testes microbiológicos realizados tomando-se como base apenas crescimento microbiano geral nas placas de petri, por restrições de equipamentos disponíveis em laboratório.

Em decorrência disso, também não foi possível a realização de testes de contaminação das máscaras N95/PFF2, uma vez que testes genéticos para identificação da Covid-19 devem ser feitos em laboratórios mais estruturados. Isso se explica em função do alto risco individual e para a comunidade em função de risco biológico com alto poder de transmissão,

principalmente por via respiratória ou desconhecida, como indicado por Brasil (2017).

Como estudos futuros, sugere-se ajustes nos protótipos como: incidência em diferentes distâncias das lâmpadas como fim de otimizar a esterilização, testes de diferentes tipos de lâmpadas, além da realização de testes genéticos em laboratórios mais capacitados. Por fim, este estudo demonstrou sua importância, disponibilizando possibilidades de reuso seguro de máscaras do tipo N95/PPF2, sem comprometimento do seu funcionamento, bem como de desinfecção de ambientes e superfícies hospitalares. Tais resultados foram disponibilizados em plataforma *Open Source*.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento do Setor de Pesquisa e Inovação do Instituto Federal de Minas Gerais campus Governador Valadares (IFMG-GV), que fomentou financeiramente a realização do estudo.

REFERÊNCIAS

3M COMPANY. Disinfection of Filtering Facepiece Respirators. **Technical Bulletin**, Saint Paul (EUA), Mar. 2020. Disponível em: <http://project-manus.mit.edu/wp-content/uploads/2020/03/Disinfection-of-3M-Filtering-Facepiece-Respirators.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2020.

UNITED STATES PATENT. Seyed A. Angadjivand; Marvin E. Jones; Daniel E. Meyer. **Electret filter media**. 6,119,691. 19 sep. 2000. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/ef/bf/5d/916819b4cdff45/US6119691.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2020.

BAR-ON, Y. M.; FLAMHOLZ, A.; PHILLIPS, R.; MILO, R. Science Forum: SARS-CoV-2 (COVID-19) by the numbers. **eLife**, v. 9, e57309, DOI: 10.7554/eLife.57309, 2020. Disponível em: <https://elifesciences.org/articles/57309>. Acesso em: 19 abr. 2020.

BERGMAN, M. S.; VISCUSI, D. J.; HEIMBUCH, B. K.; WANDER, J. D.; SAMBOL, A. R.; SHAFFER, R. E. Evaluation of Multiple (3-Cycle) Decontamination Processing for Filtering Facepiece Respirators. **Journal of Engineered Fibers and Fabrics**, v. 5, p. 33-41, 2010. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/155892501000500405>. Acesso em: 19 abr. 2020.

BERGMAN, M.S.; VISCUSI, D.J.; PALMIERO, A.J.; POWELL, J.B.; SHAFFER,

R. E. Impact of three cycles of decontamination treatments on filtering facepiece respirator fit. **Journal of the International Society for Respiratory Protection**, v. 28, n. 1, p. 48-59, 2011. Disponível em: <https://www.isrp.com/the-isrp-journal/journal-public-abstracts/1135-vol-28-no-1-2011-pp-48-59-bergman-open-access/file>. Acesso em: 19 abr. 2020.

BLAIR, F. M.; WASSELL, R. W. A survey of the methods of disinfection of dental impressions used in dental hospitals in the United Kingdom. **British dental journal**, London, v. 180, p. 369-375, doi.org/10.1038/sj.bdj.4809092, 1996. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/4809092>. Acesso em: 20 abr. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Classificação de risco dos agentes biológicos**. 3. ed. Brasília: Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos, Departamento do Complexo Industrial e Inovação em Saúde, 2017. 48 p. Disponível em: https://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/classificacao_risco_agentes_biologicos_3ed.pdf. Acesso em: 17 dez. 2020.

BRICKNER, P. W.; VINCENT, R. L.; FIRST, M.; NARDELL, E.; MURRAY, M.; KAUFMAN, W. The application of ultraviolet germicidal irradiation to control transmission of airborne disease: bioterrorism countermeasure. **Public Health Report**, v. 118, n. 2, p. 99-114, doi:10.1093/phr/118.2.99, 2003. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12690064/>. Acesso em: 20 abr. 2020.

CASTRO, C. S.; HOLZGREFE, J. V.; REIS, R. B.; ANDRADE, B. B.; QUINTANILHA, L. F. COVID-19 pandemic: scenario of the Brazilian health system for coping with the crisis. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, 2020. p. 1-8. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/4383/3751>. Acesso em: 17 dez. 2020.

CENTERS OF DISEASE CONTROL AND PREVENTION – CDC. Implementing Filtering Facepiece Respirator (FFR) Reuse, Including Reuse after Decontamination, When There Are Known Shortages of N95 Respirators. Atlanta, GA, 2020c. Disponível em: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/ppe-strategy/decontamination-reuse-respirators.html>. Acesso em 21 abr. 2020.

CENTERS OF DISEASE CONTROL AND PREVENTION – CDC. **Decontamination and Reuse of Filtering Facepiece Respirators**. Atlanta, GA, 2020b. Disponível em: <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/90574>. Acesso em 21 abr. 2020.

CENTERS OF DISEASE CONTROL AND PREVENTION – CDC. **NIOSH-Approved Particulate Filtering Facepiece Respirators**. Atlanta, GA, 2020c. Disponível em: https://www.cdc.gov/niosh/npptl/topics/respirators/disp_part/default.html. Acesso em 21 abr. 2020.

CENTERS OF DISEASE CONTROL AND PREVENTION – CDC. **Strategies for Optimizing the Supply of N95 Respirators**. Atlanta, GA, 2020d. Disponível em: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/respirators-strategy/index.html>. Acesso em 21 abr. 2020.

CENTERS OF DISEASE CONTROL AND PREVENTION – CDC. **Summary for healthcare facilities: strategies for optimizing the supply of ppe during shortages**. Atlanta, GA, 2020e. Disponível em:

<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/ppe-strategy/strategies-optimize-ppe-shortages.html>. Acesso em 17 dez. 2020.

CIVELLO, P. M.; VICENTE, A. R.; MARTÍNEZ, G. A. UV-C technology to control postharvest diseases of fruits and vegetables. *In*: TRONCOSO-ROJAS, R.; TIZNADO-HERNÁNDEZ, M. E.; GONZÁLEZ-LEÓN A. (Ed.). **Recent advances in alternative postharvest technologies to control fungal diseases in fruits & vegetables**. Kerala, India: Research Signpost, 2006. Cap. 4. p. 71-102.

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, doi:10.1017/S1466252311000016, 2011. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/1FA44143D8ABA87E4761BD95E68C2952/S1466252311000016a.pdf/ultraviolet-irradiation-and-the-mechanisms-underlying-its-inactivation-of-infectious-agents.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2020.

DUIZER, E.; BIJKERK, P.; ROCKX, B.; GROOT, A.; TWISK, F.; KOOPMANS, M. Inactivation of caliciviruses. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 70, n. 8, p. 4538–4543, DOI: [10.1128/AEM.70.8.4538-4543.2004](https://doi.org/10.1128/AEM.70.8.4538-4543.2004), 2004. Disponível em: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/AEM.70.8.4538-4543.2004>. Acesso em: 12 abr. 2020.

EVANCHO, G. M.; SVEUM, W. H.; MOBERG, L. J.; FRANK, J. F. Microbiological monitoring of the food processing environment. *In*: DOWNES F. P.; ITO, K. (ed.). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4. ed. Washington, D.C.: APHA; 2001. p. 25-36.

FISHER; E. M.; SHAFFER, R. E. Considerations for recommending extended use and limited reuse of filtering facepiece respirators in health care settings. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 11, n. 8, p. D115-D128, 2014. Doi: [10.1080/15459624.2014.902954](https://doi.org/10.1080/15459624.2014.902954). Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4610368/>. Acesso em: 12 dez. 2020.

FISHER, E. M.; WILLIAMS, J. L.; SHAFFER, R. E. Evaluation of Microwave Steam Bags for the Decontamination of Filtering Facepiece Respirators. **Plos One**, v. 6, n. 4, e18585, Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018585>, April 2011. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0018585>. Acesso em: 12 abr. 2020.

FERENCZY, A.; BERGERON, C.; RICHART, R. M. Human papillomavirus DNA in fomites on objects used for the management of patients with genital human papillomavirus infections. **International Journal of Gynecology & Obstetrics**, v. 74, n. 6, p. 950-954, DOI: [https://doi.org/10.1016/0020-7292\(90\)90371-Q](https://doi.org/10.1016/0020-7292(90)90371-Q), 1989. Disponível em: <https://obgyn.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1016/0020-7292%2890%2990371-Q>. Acesso em: 12 abr. 2020.

GAYÁN, E.; CONDÓN, S.; ÁLVAREZ, I. Biological aspects in food preservation by ultraviolet light: a review. **Food and Bioprocess Technology**, New York, v. 7, n. 1, p. 1-20, DOI: [10.1007/s11947-013-1168-7](https://doi.org/10.1007/s11947-013-1168-7), 2014. Disponível em: http://ssu.ac.ir/cms/fileadmin/user_upload/Mtahghighat/food/ARTICLES/microb-

[safety/Biological Aspects in Food Preservation by Ultraviolet.pdf](#). Acesso em: 12 dez. 2020.

GERCHMAN, Y.; MAMANE, H.; FRIEDMAN, N.; MANDELBOIM, M. UV-LED disinfection of Coronavirus: wavelength effect. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 212, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2020.112044>. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1011134420304942?via%3Dihub>. Acesso em: 19 dez. 2020.

GRABOIS, V. *et al.* **Adaptação da capacidade hospitalar em resposta à pandemia por COVID-19**. Rio de Janeiro, [2020]. (Nota Técnica). Disponível em: https://portal.fiocruz.br/sites/portal.fiocruz.br/files/documentos/nt_fiocruz-puc-ime-ufrj-nku_adaptacao_capacidade_hospitalar_covid-19.pdf. Acesso em: 07 abr. 2020.

GORBALENYA, A. E. *et al.* Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: the species and its viruses a statement of the Coronavirus Study Group. **bioRxiv**, p. 1-15, Doi: <https://doi.org/10.1101/2020.02.07.937862>, 2020. Disponível em: <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2020.02.07.937862v1.full.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2020.

HEIMBUCH, B.K.; WALLACE, W.H.; KINNEY, K.; LUMLEY, A. E.; WU, C. Y.; WOO, M.-H.; WANDER, J. D. A pandemic influenza preparedness study: Use of energetic methods to decontaminate filtering facepiece respirators contaminated with H1N1 aerosols and droplets. **American Journal of Infection Control**, v. 39, n. 1, p. e1-e9, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2010.07.004>, 2011. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA560922.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2020.

JENSEN, M. M. Inactivation of airborne viruses by ultraviolet irradiation. **Applied Microbiology**, v. 12, n. 5, p. 418-420, 1964. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1058147/pdf/applmicro00355-0030.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2020.

KOWALSKI, W. **Ultraviolet germicidal irradiation handbook: UVGI for air and surface disinfection**. Berlin: Springer, 2009.

LIAO, M. *et al.* Single-cell landscape of bronchoalveolar immune cells in patients with COVID-19. **Nature Medicine**, v. 26, p. 842-844, DOI: 10.1038/s41591-020-0901-9, 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41591-020-0901-9.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2020.

LIMA, D. L. F.; DIAS, A. A.; RABELO, R. S.; CRUZ, I. D.; COSTA, S. C.; NIGRI, F. M. N.; NERI, J. R. COVID-19 no estado do Ceará, Brasil: comportamentos e crenças na chegada da pandemia. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, n. 5, p. 1575-1586, DOI: [10.1590/1413-81232020255.07192020](https://doi.org/10.1590/1413-81232020255.07192020), 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/BtsPz7tPKSDfhTRKMzFCYCR/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 jan. 2020.

LIN, C.-Y.; LI, C.-S. Control effectiveness of ultraviolet germicidal irradiation on bioaerosols. **Aerosol Science and Technology**, v. 36, n. 4, p. 474-478, 2002. DOI: 10.1080/027868202753571296. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/027868202753571296>. Acesso em: 12 jan. 2020.

LINDSLEY, W. G.; MARTIN JR., S. B.; THEWLIS, R. E.; SARKISIAN, K.; NWOKO, J. O.; MEAD, K. R.; NOTI, J. D. Effects of ultraviolet germicidal irradiation (uvgi) on n95 respirator filtration performance and structural integrity. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 12, n. 8, p. 509-517, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/15459624.2015.1018518>. Disponível em:

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4699414/pdf/UOEH_12_1018518.pdf. Acesso em: 12 abr. 2020.

LORE, M. B.; HEIMBUCH, B. K.; BROWN, T. L.; WANDER, J. D.; HINRICHS, S. H. Effectiveness of Three Decontamination Treatments against Influenza Virus Applied to Filtering Facepiece Respirators. **The Annals of Occupational Hygiene**, v. 56, n. 1, p. 92-101, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1093/annhyg/mer054>. Disponível em:

<http://www.abeclin.org.br/uploads/arquivos/arquivo-68405.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2020.

LOWE, J. J. *et al.* **N95 filtering facemask respirator ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) process for decontamination and reuse**. Omaha (NE): Nebraska Medicine, 2020. Disponível em: <https://www.nebraskamed.com/sites/default/files/documents/covid-19/n-95-decon-process.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2020.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

MILLS, D.; HARNISH, D. A.; LAWRENCE, C.; SANDOVAL-POWERS, M.; HEIMBUCH, B. K. Ultraviolet germicidal irradiation of influenza-contaminated N95 filtering facepiece respirators. **American Journal of Infection Control**, v. 46, n. 7, p. e49-e55, 2018. DOI: [10.1016/j.ajic.2018.02.018](https://doi.org/10.1016/j.ajic.2018.02.018). Disponível em: [https://www.ajicjournal.org/article/S0196-6553\(18\)30140-8/fulltext](https://www.ajicjournal.org/article/S0196-6553(18)30140-8/fulltext). Acesso em: 12 abr. 2020.

N95DECON. A scientific consortium for data-driven study of N95 filtering facepiece respirator decontamination. [Estados Unidos]: N95DECON Incorporation, 2020. Disponível em: <https://www.n95decon.org>. Acesso em 21 abr. 2020.

OSRAM. **Light is pure PURITEC® HNS® UV-C lamps**: efficient purification of air, water and surfaces. Munich (Germany), [2020]. Disponível em: [https://dammedia.osram.info/media/resource/hires/osram-dam-4121389/PURITEC%20HNS%20Brochure%20\(EN\).pdf](https://dammedia.osram.info/media/resource/hires/osram-dam-4121389/PURITEC%20HNS%20Brochure%20(EN).pdf). Acesso em: 15 abr. 2020.

RABENAU, H. F.; CINATL, J.; MORGENSTERN, B.; BAUER, G.; PREISER, W.; DOERR, H. W. Stability and inactivation of SARS coronavirus. **Medical Microbiology And Immunology**, v. 194, n. 1-2, p. 1-6, 2005. DOI: [10.1007/s00430-004-0219-0](https://doi.org/10.1007/s00430-004-0219-0). Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7086689/pdf/430_2004_Article_219.pdf. Acesso em: 13 abr. 2020.

RACHE, B.; ROCHA, R.; NUNES, L.; SPINOLA, P.; MALIK, A. M.; MASSUDA, A. **Necessidades de Infraestrutura do SUS em Preparo à COVID-19**: leitos de UTI, respiradores e ocupação hospitalar. São Paulo: Instituto de Estudos para Políticas de Saúde (IEPS), 2020. (Nota Técnica, n. 3). Disponível em: <https://ieps.org.br/wp-content/uploads/2020/04/IEPS-NT3.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2020.

RADONOVICH, L.J.; CHENG, B.V.; SHENAL, M.; HODGSON, B.S.; BENDER, B. S. Respirator tolerance in health care workers. **JAMA: The Journal of the American Medical**

Association, v. 301, n. 1, p. 36-38, 2009. DOI: 10.1001/jama.2008.894. Disponível em: <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/183158>. Acesso em: 11 abr. 2020.

RANNEY, M. L.; RIFFETH, V.; JHA, A. K. Critical supply shortages: the need for ventilators and personal protective equipment during the covid-19 pandemic. **The New England Journal Of Medicine**, v. 382, n. 18, p. e41(1)-e41(3), 2020. doi: 10.1056/NEJMp2006141. Disponível em: <https://www.nejm.org/doi/pdf/10.1056/NEJMp2006141?articleTools=true>. Acesso em: 11 abr. 2020.

REBMANN, T.; CARRICO, R.; WANG, J. Physiologic and other effects and compliance with long-term respirator use among medical intensive care unit nurses. **American Journal of Infection Control**, v. 41, n. 12, p. 1218-1223, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196655313005920>. Acesso em: 12 abr. 2020.

RENGASAMY, S.; EIMER, B.; SHAFFER, R. E. Simple respiratory protection: evaluation of the filtration performance of cloth masks and common fabric materials against 20-1000 nm size particles. **The Annals of Occupational Hygiene**, v. 54, n. 7, p.789-798, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1093/annhyg/meq044>. Disponível em: <https://academic.oup.com/annweh/article/54/7/789/202744>. Acesso em: 12 abr. 2020.

ROBACK, J.; GUARNER, J. Convalescent plasma to treat covid-19: possibilities and challenges. **JAMA: The Journal of the American Medical Association**, v. 323, n. 16, p. 1561-1562, 2020. Doi:10.1001/jama.2020.4940. Disponível em: <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2763982>. Acesso em: 12 abr. 2020.

ROSSI, M. C. A. **Desinfecção por ação fotônica de um recurso fisioterápico em Unidade de Terapia Intensiva**. 2020. 43 f. Dissertação (Mestrado em Pesquisa e Desenvolvimento – Biotecnologia Médica) - Faculdade de Medicina, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2020. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/192089/rossi_mca_me_bot.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 12 abr. 2020.

SIEGEL, J. D.; RHINEHART, E.; JACKSON, M.; CHIARELLO, L. 2007 guideline for isolation precautions: preventing transmission of infectious agents in health care settings. **American Journal Infection Control**, v. 35, n. 10, suppl. 2, p. S65– S164, 2007. DOI: [10.1016/j.ajic.2007.10.007](https://doi.org/10.1016/j.ajic.2007.10.007). Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7119119/pdf/main.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2020.

SKORZEWSKA, N. A clinician’s view from the frontline: UV light and other strategies to reduce aerosol transmission of COVID-19 and protect health workers. **Global Biosecurity**, v. 1, n. 3, 2020. DOI: <http://doi.org/10.31646/gbio.60>. Disponível em: <https://jglobalbiosecurity.com/articles/10.31646/gbio.60/>. Acesso em: 12 abr. 2020.

SUMMER, W. **Ultraviolet and infrared engineering**. New York: Inter-science Publishers, 1962. p. 202–203.

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, 2007. DOI: 10.1080/15459620701329012. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7196698/pdf/UOEH_4_232797.pdf. Acesso

em: 12 abr. 2020.

UNITED STATES PATENT. Donald A. Kubik, Charles I. Davis. **Melt-blown fibrous** electrets. US4215682A, 6 feb. 1978, 5 aug. 1980. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/95/9c/b7/da42d9c1288bb3/US4215682.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2020.

VAN DOREMALEN, N. *et al.* Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. **The New England Journal of Medicine**, v. 382, p.1564-1567, 2020. DOI: 10.1056/NEJMc2004973. Disponível em: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/nejmc2004973>. Acesso em: 19 abr. 2020.

VISCUSI, D. J.; BERGMAN, M. S.; EIMER, B. C.; SHAFFER, R. E. Evaluation of five decontamination methods for filtering facepiece respirators. **Annals of Occupational Hygiene**, n. 53, v. 8, p. 815-827, 2009. DOI: 10.1093/annhyg/mep070. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2781738/>. Acesso em: 23 abr. 2020.

VISCUSI D. J.; BERGMAN, M. S.; NOVAK, D. A.; FAULKNER, K. A.; PALMIERO, A.; POWELL, J.; SHAFFER, R. E. Impact of three biological decontamination methods on filtering facepiece respirator fit, odor, comfort, and donning ease. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 8, n. 7, p. 426-436, 2011. DOI: [10.1080/15459624.2011.585927](https://doi.org/10.1080/15459624.2011.585927). Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15459624.2011.585927>. Acesso em: 19 abr. 2020.

VISCUSI, D. J.; KING, W. P.; SHAFFER, R. E. Effect of decontamination on the filtration efficiency of two filtering facepiece respirator models. **Journal of the International Society for Respiratory Protection**, v. 24, n. 3-4, p. 93-107, 2007. Disponível em: <https://www.isrp.com/the-isrp-journal/journal-public-abstracts/1138-vol-24-no-3-and-no-4-2007-pp-93-107-viscusi-open-access/file>. Acesso em: 23 abr. 2020.

VUMA, C. D. *et al.* The Effect on fit of multiple consecutive donning and doffing of N95 filtering facepiece respirators. **Annals of Work Exposures and Health**, v. 63, n. 8, p. 930-936, 2019. DOI: 10.1093/annweh/wxz060. Disponível em: <https://academic.oup.com/annweh/article/63/8/930/5554877>. Acesso: em 11 dez. 2020.

WANG, X.; ZHANG, X.; HE, J. Challenges to the system of reserve medical supplies for public health emergencies: reflections on the outbreak of the severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) epidemic in China. **BioScience Trends**, v. 14, n. 1, p. 3-8, 2020. DOI: [10.5582/bst.2020.01043](https://doi.org/10.5582/bst.2020.01043). Disponível em: Acesso em: 23 abr. 2020.

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: The Journal of the American Medical Association**, v. 323, n. 18, 2020. p. 1843-1844. DOI: [10.1001/jama.2020.3786](https://doi.org/10.1001/jama.2020.3786). Disponível em: <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2762997>. Acesso em: 19 abr. 2020.

WEAVER, D. T. *et al.* UV Sterilization of personal protective equipment with idle laboratory biosafety cabinets during the Covid-19 pandemic. **Plos One**, jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241734>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0241734>. Acesso em: 23 abr. 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. Coronavirus disease (COVID-19)

Technical guidance: essential resource planning. Genebra (Suíça), 2020a. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/covid-19-critical-items>. Acesso em: 12 abr. 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. Covid-19 strategy update. Genebra (Suíça), 2020b. Disponível em: <https://www.who.int/publications/m/item/covid-19-strategy-update>. Acesso em: 12 abr. 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. Strengthening the health system response to COVID-19: policy brief: recommendations for the WHO European Region (1 abril 2020).

Genebra (Suíça), 2020c. Disponível em:

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/333072/WHO-EURO-2020-806-40541-54465-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 abr. 2020.

WYCKOFF, R. W. G. The killing of colon bacilli by ultraviolet light. Journal General Physiology, v. 15, n. 3, p. 351–361, 1931. DOI: <https://doi.org/10.1085/jgp.15.3.351>.

Disponível em: <https://rupress.org/jgp/article-pdf/15/3/351/1234528/351.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2020.

DADOS DOS AUTORES:

Nome: Tatielle Menolli Longhini

E-mail: tatielle.longhini@gmail.com

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5187395539638194>

Engenheira de Produção pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) e mestre em Administração, com ênfase em Finanças, pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Atualmente, docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais campus Ibirité (IFMG Ibirité).

Nome: Allynne Avylla Alves

E-mail: allynne.alves@ifmg.edu.br

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5404546759809640>

Bióloga com Mestrado em Meio Ambiente e Sustentabilidade. Professora EBTT de Biologia/ Meio Ambiente do Instituto Federal do Maranhão (IFMA Campus Zé Doca). Graduada em Ciências Biológicas/ Licenciatura (2006) e Mestre em Meio Ambiente e Sustentabilidade (2010) pelo Centro Universitário de Caratinga (UNEC)/ RSC III. Atualmente cedida pelo acordo de Cooperação Técnica N° 01/2017, celebrado entre IFMA e IFMG.

Nome: Níckolas Ferreira do Amaral

E-mail: nickolasafmaral@gmail.com

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5047026751131721>

Graduação em Engenharia de Produção pelo Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG. Técnico em Eletroeletrônica, possui ensino médio pela Escola Estadual Professor Joaquim Pedro Nascimento (2011).

Nome: Randolfo Monteiro Lage

E-mail: randolfo.lage@hotmail.com

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8026996777685226>

Graduação em Engenharia de Produção pelo IFMG Governador Valadares (2018). Técnico em eletroeletrônica pelo Senai Luiz Chaves (2009). Ensino médio pelo Centro Interescolar Dr. Raimundo Soares de A. Filho (2006). Tem experiência na área de Engenharia de Produção.

Nome: Rodrigo Marques de Oliveira

E-mail: rodrigo.marques@ifmg.edu.br

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3017579311577088>

Graduado em Física pela Universidade Federal de Viçosa (2001), mestre e doutor em Física Aplicada pela Universidade de São Paulo em 2003 e 2009, respectivamente. Pós-doutor pela Universidade de São Paulo em 2010. Atualmente é docente do Instituto Federal Minas Gerais IFMG (campus Governador Valadares).

Nome: Peter Franklin Ribeiro de Souza

E-mail: peter.souza@ifmg.edu.br

Curriculum Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4510071062156684>

Mestrado Profissional em Educação em andamento pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, possui graduação em Engenharia de Controle e Automação pela Faculdade Pitágoras (2014), Especialização em Automação e Controle de Processos Agrícolas e Industriais pela Universidade Federal de Viçosa – UFV (2019), MBA Gestão de Projetos pelo Centro Universitário Internacional - UNINTER (2018), além de cursos técnicos nas áreas de Eletrotécnica pelo SENAI/DR/MG (2016) e Eletrônica pelo CEFET/MG (2008). Atualmente é servidor público do Instituto Federal Minas Gerais.