

DESENVOLVIMENTO DE CABINE DE LUZ UVC PARA DESINFECÇÃO DE MÁSCARAS MÉDICAS N95

UVC cabin development for N95 medical masks disinfection

Susana Oliveira de SOUZA^{1*}, Carlos Leandro Silva dos PRAZERES², Jodnes Sobreira VIEIRA³, Wandson ALMEIDA⁴, Aquiles Sales Craveiro SARMENTO⁵, Paula Viviane Dantas da CRUZ⁵, José Joatan RODRIGUES JUNIOR¹, Eraldo Nascimento OLIVEIRA⁶, Márcia Regina Pereira ATTIE¹, Walderi Monteiro da SILVA JUNIOR²

¹Departamento de Física, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, São Cristóvão-SE, Brasil

²Programa de Pós-graduação em Gestão e Inovação Tecnológica em Saúde, Hospital Universitário, Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de Sergipe, 49060-025, Aracaju-SE, Brasil

³ Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, São Cristóvão-SE, Brasil

⁴Departamento de Química, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, São Cristóvão-SE, Brasil

⁵ Hospital Universitário de Lagarto, Universidade Federal de Sergipe, 49403-000, Lagarto-SE, Brasil
Hospital Universitário, Universidade Federal de Sergipe, 49060-025, Aracaju-SE, Brasil

*sosouza@ufs.br

Resumo

A máscara facial descartável de nível N95 é um Equipamento de Proteção Individual (EPI). Ela se destina a proteger o usuário contra a inalação de agentes infecciosos transmissíveis pelo ar e também contra o risco de transmissão por gotículas. Apesar das máscaras N95 serem recomendadas para profissionais em contato próximo com pacientes, a atual pandemia de COVID-19 levou a uma escassez significativa desse EPI. O uso prolongado dificilmente reduz a proteção oferecida por uma máscara desse tipo e estudos apoiam a informação de que respiradores descartáveis podem funcionar por semanas a meses. Entretanto, as máscaras de proteção respiratória, após o uso, podem conter vários vírus e bactérias, sendo recomendada sua desinfecção. A irradiação germicida com luz ultravioleta (UVGI) em 254 nm, método de desinfecção muito utilizado no mundo, foi testada em máscaras N95, e mostrou que preserva seu rendimento de filtragem mesmo com doses bastante elevadas. Devido a necessidade de reutilização de EPI pelos profissionais da saúde, foram produzidas cabines iluminadoras de baixo custo com luz UVGI para distribuição em instituições de saúde. As cabines foram testadas quanto a sua eficiência dosimétrica, com taxa de dose média de $(8,6 \pm 0,3)$ mW/cm², demonstrando que em menos de 2 min atingiam a dose de 1 J/cm², bem como passaram com sucesso por um teste bacteriológico preliminar, demonstrando que a cabine UVC apresentou bons efeitos para descontaminação. Nesse trabalho, além desses resultados, são apresentados detalhes da construção para sistemas semelhantes e indicamos estratégias para a sua implementação em instituições de saúde. Mesmo com o fim da pandemia, as cabines poderão ser utilizadas para a desinfecção de outros objetos nessas mesmas instituições de saúde.

Palavras-chave: UVC, Descontaminação de máscaras, COVID-19.

Abstract

The N95 disposable face mask is Personal Protective Equipment (PPE). It is intended to protect the user against the inhalation of infectious agents transmitted by air and also against the risk of droplet transmission. Although N95 masks are recommended for professionals in close contact with patients, the current COVID-19 pandemic has led to a significant shortage of this PPE. Prolonged use hardly reduces the protection offered by such a mask, and studies have supported the information that disposable respirators can work for weeks to months. However, Filtering Facepiece Respirator, after use, may contain various viruses and bacteria, and their disinfection is recommended. Germicidal irradiation with ultraviolet light (UVGI) at 254 nm, a disinfection method widely used in the world, was tested in N95 masks and showed that it preserves its filtration performance even at very high doses. Due to the need to reuse PPE by health professionals, low-cost illuminating cabin with UVGI light was produced for distribution in health institutions. The cabin was tested for dosimetric efficiency, with an average dose rate of 8.56 mW/cm², demonstrating that in less than 2 min it reached the dose of 1 J/cm², as well as successfully passed a preliminary bacteriological test, demonstrating that the UVC cabin had good effects for decontamination. In this work, in addition to these results, construction details for similar systems are presented and strategies for their implementation in health institutions are indicated. Even with the end of the pandemic, the cabins can be used to disinfect other objects in these same health institutions.

Keywords: UVC, mask decontamination, COVID-19.

1. INTRODUÇÃO

Organizações de saúde pública recomendam o uso de respiradores de máscara facial com filtro N95 (*Filtering Facepiece Respirator - FFRs*) em ambientes de assistência à saúde. É fundamental a proteção pessoal, especialmente máscaras faciais, para pessoas próximas a pacientes infectados com SARS-CoV-2. A máscara facial descartável de nível N95 é um equipamento de proteção individual (EPI). Ela se destina a proteger o usuário contra a inalação de agentes infecciosos transmissíveis pelo ar e também contra o risco de transmissão por gotículas. De acordo com Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional dos Estados Unidos (NIOSH), N95 refere-se à (N) resistência não oleosa e (95) eficiência de retenção >95% para tamanhos de partículas de cerca de 0,3 µm (CDC, 2020^a). O padrão N95 equivale às máscaras denominadas FFP2 (União Europeia), KN95 (China), DS/DL2 (Japão) e KF94 (Coreia do Sul) (Liao *et al.*, 2020).

Apesar das máscaras N95 serem recomendadas para profissionais em contato próximo com pacientes, a atual pandemia de COVID-19 levou a uma escassez significativa desse EPI em todo o mundo. Devido a essa escassez, em meio a imensa necessidade das instituições de saúde, muitos profissionais tiveram que estender o uso das suas *FFRs* por períodos mais longos, ou mesmo, reutilizar a mesma máscara por diversas vezes. A situação ficou particularmente grave no Brasil, onde alguns relatos particulares de profissionais de saúde apontam que as máscaras têm sido reutilizadas por até 30 dias. É preciso salientar que o procedimento padrão é o descarte das máscaras N95 após seu uso único. Entretanto, devido à pandemia de COVID-19 e a escassez deste material no mercado, o reuso e desinfecção passou a ser uma situação considerada pelo governo americano, tendo sido autorizada pelo *Food and Drug Administration (FDA)* em 29 de março de 2020, para os EUA [FDA, 2020]. No Brasil, não existem recomendações oficiais sobre processos de descontaminação e reuso da *FFRs*. As diretrizes existentes do Centro de Controle e Prevenção de Doenças dos Estados Unidos (*Center of Disease Control and Prevention - CDC*) recomendam uma combinação de abordagens para conservar suprimentos e proteger os profissionais de saúde nessas circunstâncias [CDC, 2020b]. No geral, os estudos científicos fornecem evidências de que o uso prolongado pelo mesmo usuário dificilmente reduz a proteção oferecida por uma *FFR* e apoiam a informação de que respiradores descartáveis podem funcionar por semanas a meses (Fisher, 2014). Entretanto, as máscaras de proteção respiratória podem reter uma série de patógenos, incluindo coronavírus, sendo interessante a proposta de sua desinfecção periódica.

Há pelo menos quatro aspectos-chave do reprocessamento bem-sucedido de descontaminação dos respiradores. O método deve inativar os organismos alvos, como o vírus que causa o COVID-19 e outros; não deve danificar a filtragem do respirador; não deve afetar o ajuste do respirador; e deve ser seguro para a pessoa que usa o respirador (3M Technical Bulletin, 2020).

Tornou-se questão importante saber se as máscaras faciais com filtros N95 podiam ser desinfetadas de forma a permitir a reutilização sem reduzir a sua eficiência da filtração. As máscaras do tipo N95 não podem passar por sistemas de lavanderia comum. Liao *et al.* (2020) testaram vários métodos para desinfecção de máscaras N95. Concluiu-se que soluções alcoólicas e soluções à base de cloro reduziram a eficiência de filtração das máscaras. O uso de vapor também não é ideal, pois o polipropileno, que compõe as fibras, é hidrofóbico (repelindo a água). Para efetuar a desinfecção, a quantidade de vapor suficiente pode saturar as fibras e também reduzir sua eficiência de filtração. Se as máscaras contêm partes plásticas, o uso de calor também é contraindicado, pois pode provocar a fusão desse material. O método de desinfecção com luz ultravioleta germicida (UVGI) em um esterilizador com uma lâmpada UV de 8 W por 30 min, mostrou que após 10 ciclos de tratamento UV a eficiência da filtração permaneceu constante.

A luz UVC tem sido estudada por diversos pesquisadores e usada extensivamente por mais de 40 anos na desinfecção de água, ar, laboratórios, produtos farmacêuticos e superfícies em geral contra patógenos humanos. Usada há décadas em instalações de saúde, sabe-se que a UVGI é capaz de inativar microrganismos, limitando sua capacidade de crescer e se multiplicar quando inalado ou aspirado em superfícies. É importante frisar que a luz UV germicida refere-se especificamente à energia luminosa UVC, com comprimentos de onda de 200 a 280 nm, que é a única que pode desativar de forma confiável os vírus e bactérias. A luz UV do Sol que atinge a superfície da Terra faz parte da região UVA e UVB, que é menos energética. A UVGI é um método de desinfecção eficiente de patógenos, pois gera alterações significativas em seus ácidos nucleicos, deixando-os incapazes de desempenhar importantes funções metabólicas (Kowalski, 2009; Weber, 2019). A Associação Internacional de Ultravioleta alerta que se os raios UV não atingirem toda a superfície, as partes sombreadas poderão não receber luz UV suficiente para a desinfecção (IUVA, 2020). Portanto, a luz UV perde sua eficácia se não for incidida diretamente.

Segundo o CDC dos EUA, UVGI é um método promissor para desinfecção de *FFRs*, mas sua eficácia depende da dose aplicada (CDC, 2020c). A dose de UV (J/m^2) é dada pela integral no tempo da taxa de fluência (Bolton *et al.*, 2020). A unidade mais comum utilizada para fluência é $W.cm^{-2}$ e para dose UV, $mJ.cm^{-2}$. A fluência varia muito com a distância da lâmpada e com a potência dela. Embora atualmente não haja diretrizes no Brasil para o nível de descontaminação necessário para *FFRs* contaminados, a dose UV aplicada deve produzir redução significativa na viabilidade dos microrganismos.

Cada organismo tem uma sensibilidade diferente a UVGI. Malayeri *et al.*, (2020) compilaram os dados obtidos em diversos trabalhos sobre a dose de UV necessária para alcançar a inativação, ou seja, a perda de capacidade reprodutiva de bactérias, protozoários, vírus e algas. Há diferenças na suscetibilidade à desinfecção por UVC, mas todos os organismos testados, incluindo

outros coronavírus, responderam nas doses apropriadas. Doses relatadas entre 0,5 e 1,8 J/cm² tiveram eficácia antimicrobiana de 99,9% para todos os vírus testados (CDC, 2020c). Tseng e Li (2007) avaliaram que doses UVGI de 2 a 5 mJ/cm² foram suficientes para inativar vírus de RNA de fita simples do mesmo tipo do SARS-CoV-2. Assim, doses similares devem ser suficientes para inativar o vírus da SARS-CoV-2, mas até o momento, não há dados na literatura a esse respeito (IUVA, 2020). Para saber se as doses necessárias para inativar os patógenos danificariam as *FFRs*, elas foram testadas com diferentes doses UVGI. O desempenho aceitável da filtragem foi registrado para onze modelos de *FFR* expostos a várias doses de UV, variando de aproximadamente 0,5 a 950 J/cm², com um efeito mínimo no ajuste [CDC, 2020c].

A Universidade de Nebraska (EUA) tem utilizado a técnica de desinfecção de máscaras N95 por uso de UVGI como procedimento emergencial. No método adotado, eles validaram a exposição de 60 mJ/cm² e 300 mJ/cm² aplicada no sensor da sala de descontaminação, com dose total aplicada na máscara variando de 180 mJ/cm² a 1200 mJ/cm², dependendo do posicionamento da máscara. Além disso, procedimentos de averiguação das máscaras, cuidados e higiene foram sugeridos (Lowe et al., 2020).

A Empresa 3M (Saint Paul - MN, EUA), uma das maiores produtoras de máscaras N95 no mundo, avaliou o impacto de métodos selecionados em certos modelos de *FFR* para ajudar os clientes a implementar descontaminação de forma a ser improvável que danificassem os *FFRs*. Em seu boletim técnico de junho de 2020, a 3M relata que dentre os métodos seguros estão os sistemas de descontaminação com UVGI com ciclos de reprocessamento testados até a exposição acumulada máxima de 100 J/cm² [3M Technical Bulletin, 2020].

O vírus da COVID-19 (SARS-CoV-2) é muito novo. Assim, ainda não se sabe a dosagem exata para sua desativação. Como o vírus pode estar oculto ou protegido da luz direta do UVC nas dobras das máscaras, reduzindo a eficácia do UVC, como forma de compensação, os pesquisadores estão aplicando doses que vão de 1 a 3 J/cm² para garantir a desativação de 99,9%. O CDC recomenda doses de 1 J/cm² [CDC, 2020c].

Devido a necessidade de reutilização de *FFRs* pelos profissionais da saúde no Brasil durante a pandemia pelo SARS-CoV-2, nesse trabalho desenvolvemos o projeto de cabine para descontaminação de EPI (CDEPI) com luz UVC para o processo de desinfecção de máscaras N95.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração da CDEPI, uma equipe multidisciplinar com grande experiência na detecção e uso de luz ultravioleta [Souza (2002); Araujo et al. (2010); Lima, et al. (2009) Araujo & Souza, (2008) Souza & Watanabe (2001) foi reunida para executar o projeto pensando em todos os aspectos fundamentais para o sucesso da descontaminação das *FFR*. O presente trabalho foi

iniciado com a adoção do método de pesquisa qualitativo. Optou-se por instalar em cada CDEPI, 6 lâmpadas UVC para a irradiação de máscaras entre elas, sem a necessidade de mudar a posição das mesmas, manualmente ou com algum processo de automação, de forma a diminuir o tempo necessário, bem como o preço do equipamento.

O projeto da CDEPI foi desenhado com o *software* SketchUp 2018, de modelagem tridimensional. A ferramenta matemática MATLAB com ambiente de desenvolvimento integrado foi utilizada para executar os cálculos laboriosos das estruturas e estimativas de dose. O simulador esquemático Festo FluidSIM 4.2 foi utilizado para desenvolver o esquema dos circuitos elétricos.

Um esboço da CDEPI é mostrado na Fig. 1. Conforme planejado, foi produzido um caixote de MDF para acomodar toda a estrutura. A cabine se trata de um caixote com dimensões de 48,0 cm x 29,5 cm x 52,1 cm. A altura corresponde a medida necessária para instalar as lâmpadas tubulares de baixa pressão de vapor Hg, Osram UVGI 15 W, verticalmente dentro da cabine, bem próximo da parede, onde foram fixados os soquetes. Foram espaçadas lateralmente três lâmpadas a cada 13,6 cm a partir de seu centro. As outras três foram instaladas exatamente no lado oposto da caixa. Os reatores, necessários para esse tipo de lâmpada, foram fixados na estrutura externamente e foram protegidos por uma estrutura de madeira com pequenas aberturas para ventilação. Foi fixado externamente também um interruptor para ligação das lâmpadas.

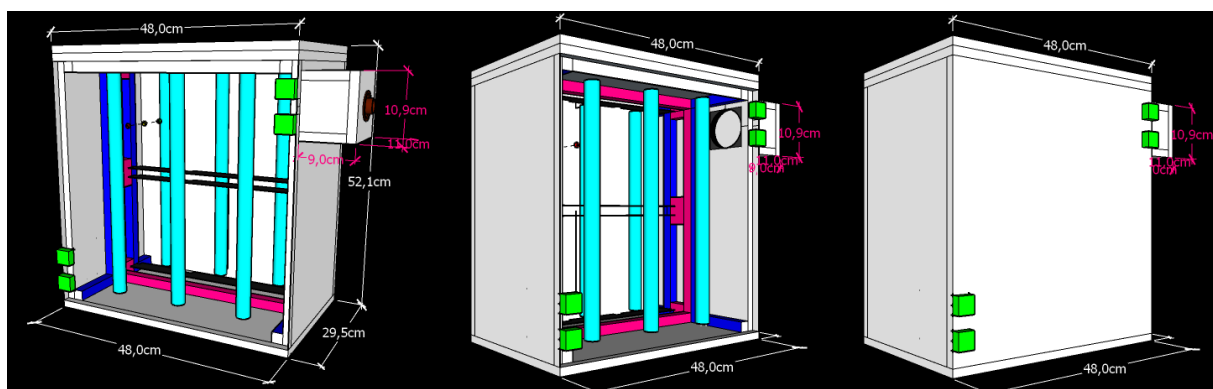


Figura 1 - Esboço da CDEPI e suas dimensões.

As dimensões internas foram planejadas de forma dispor num suporte seis *FFRs* N95 sem sobreposição (Figura 2). Esse suporte é encaixado na cabine e corre numa pequena guia de madeira, como uma espécie de gaveta centralizada entre as lâmpadas UVGI, de 15 W cada. Cada máscara fica centralizada entre duas lâmpadas, uma que irradia a sua frente e outra o seu verso, para receber a maior taxa de dose UVC possível, sem encostar nas lâmpadas. No suporte de máscaras, foram feitos ganchos para fixar os elásticos de cada *FFR*, de forma a abrir e expor à luz UVC toda a superfície da máscara, frente e verso (parte externa e interna da máscara).

Como a luz UVC também produz ozônio, que é tóxico, planejou-se a colocação de um sistema de exaustão desse gás para que possa ser expelido para o ambiente externo, evitando seu

acúmulo no interior da caixa. Um pequeno compartimento cúbico, também de MDF, foi adicionado a lateral do caixote. Para o gás poder penetrar nesse compartimento, foi feita uma abertura circular na parede do caixote, exatamente onde foi acoplado o compartimento. Dentro dele, um cooler similar aos utilizados em computadores, faz a exaustão do ozônio produzido. Esse compartimento também tem uma saída circular na qual pode-se ainda acoplar um tubo para transportar o ozônio para outro local bem ventilado.

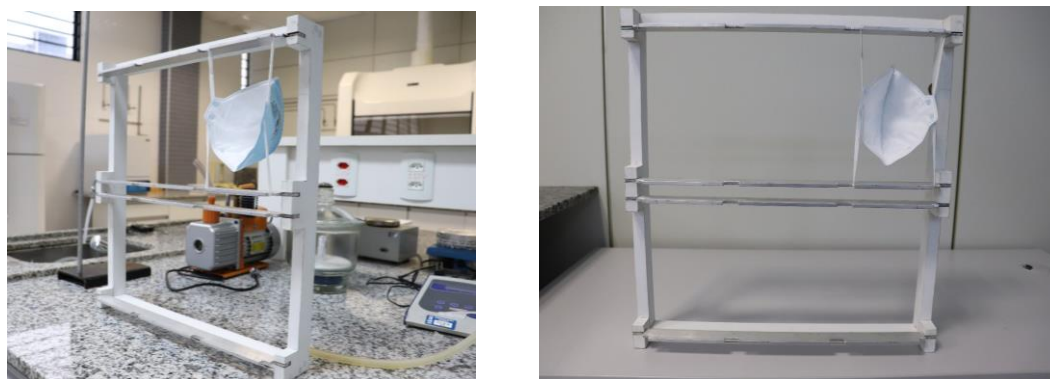


Figura 2 – Suporte para disposição de 6 FFRs N95 sem sobreposição na CDEPI.

A tampa da caixa é aberta com um puxador e nela foi feita uma abertura circular com um visor de vidro para que o interior da cabine possa ser observado sem prejuízos biológicos ao operador, pois o vidro comum filtra a luz UVC.

O MDF foi recoberto por uma resina melamínica. Como essa resina não é boa refletora de luz UVC, toda a estrutura interna também foi coberta com papel alumínio, a fim de permitir maior taxa de dose no interior da caixa.

A instalação elétrica foi feita de forma que as lâmpadas germicidas foram instaladas em paralelo e submissas à um interruptor manualmente operado. Entre esse último, destacamos o emprego da chave fim-de-curso, componente essencial para a segurança do operador, uma vez que, o aparelho somente irá funcionar se esse interruptor estiver com o contato fechado, ou seja, com a tampa da caixa fechada. Cabos elétricos protegidos da luz ultravioleta foram utilizados para as ligações na condução da energia elétrica. Na Fig. 3 se pode ver o esquema elétrico do equipamento.

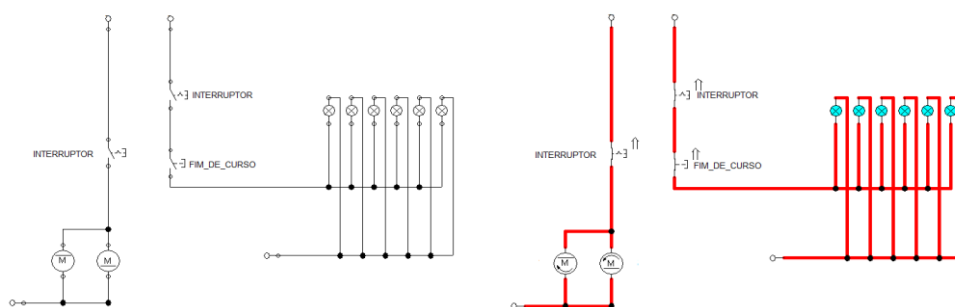


Figura 3 - Circuito elétrico da CDEPI.

Foram realizadas medições da taxa de dose UVC depositada pela CDEPI. Para tal tarefa utilizamos um radiômetro UVC GenUV (Daejeon, Coréia do Sul). O radiômetro foi posicionado em diferentes alturas a partir da base da cabine e diferentes posições em relação as lâmpadas mostradas na Fig. 4.

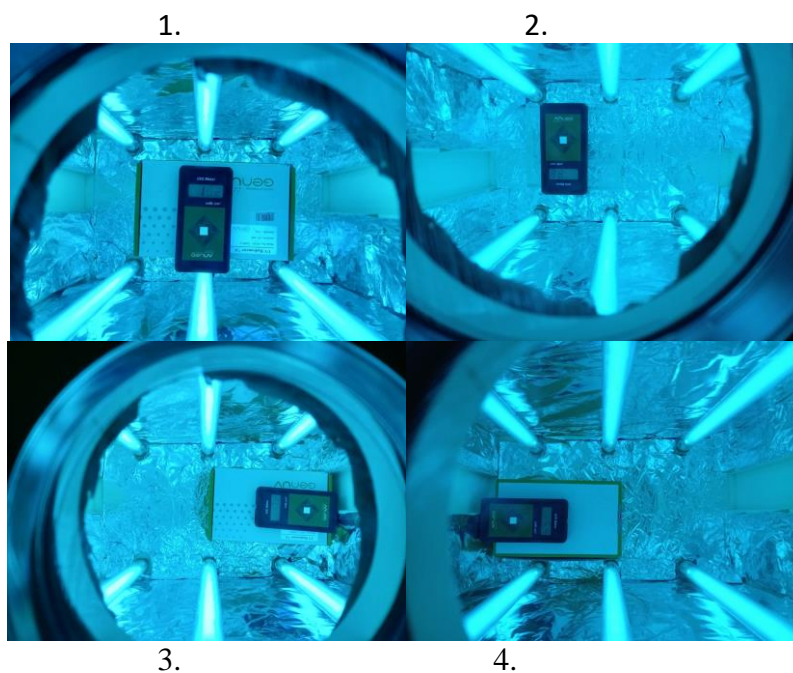


Figura 4. Posicionamento do radiômetro em diferentes posições CDEPI em relação as lâmpadas.

1. Radiômetro colocado em frente a uma das lâmpadas;
2. Radiômetro colocado entre duas lâmpadas;
3. Radiômetro colocado transversalmente às lâmpadas (sentido direita);
4. Radiômetro colocado transversalmente às lâmpadas (sentido esquerda)

Para obter o espectro de emissão das lâmpadas na cabine a luz emitida foi coletada por uma fibra óptica conectada a um espectrômetro CCD-compacto (OceanOptics QE65000).

Um primeiro estudo bacteriológico em bacilos Gram-negativos foi realizado para testar a eficiência da luz ultravioleta. Para esse teste, 1 μ L de uma bactéria Gram negativa foi inoculado numa turbidez de 0,5 da escala McFarland (McF), que foi adicionada sob três placas de Ágar Sangue de Cavalo numa sementeira de contagem. Uma placa de controle não foi exposta à luz ultravioleta e ambas foram independentemente expostas respectivamente à luz UVC advindas da cabine UVC desenvolvida para esse estudo - CDEPI (Fig. 5A) e da Cabine de Segurança Biológica (CSB) de classe II, usada como referência (Fig. 5B). O teste foi repetido para exposições de 2, 5 e 10 min sob a luz UVC.



A)

B)

Figura 5. A) CDEPI - Placa posicionada no suporte de máscaras de forma aberta após os semeios, entrando em contato diretamente com a luz ultravioleta (seta). B) CSB de classe II - Placa posicionada de forma aberta após os semeios, entrando em contato diretamente com a luz ultravioleta (seta).

3. RESULTADOS

Como o objetivo foi produzir cabines UVGI para desinfecção de máscaras a serem distribuídas em Hospitais e em Unidades de Pronto Atendimento (UPA), buscou-se a otimização do projeto, bem como o uso de materiais de baixo custo e que pudessem atender os profissionais de saúde de forma prática e segura. O custo estimado de uma cabine foi de cerca de R\$ 1.000,00. Uma foto de uma cabine que já foi produzida é mostrada na Fig 6.



A – Aberta

B– Fechada

C– Fechada

Figura 6 - Exemplo de cabine UVGI construída com lâmpadas UVC de vapor de Hg para desinfetar máscaras. A) Aberta, mostrando o interior e a disposições das lâmpadas. A tampa aberta tem um visor de vidro fixado no centro. B) Fechada, lateral mostrando a proteção feita para os reatores fixados externamente. Os reatores foram colocados dentro de uma caixa anexa de madeira vazada para ventilação. C) Fechada, mostrando a lateral onde os fios que são ligados às lâmpadas do lado oposto passam e são protegidos até se conectarem com os reatores fixados numa das laterais.

O espectro de emissão da cabine UVC (Fig. 7) demonstra que há várias linhas emitidas pelas lâmpadas de baixa pressão de vapor Hg, como esperado, e dentre elas, destaca-se a radiação em 253,7 nm, que é a UVGI.

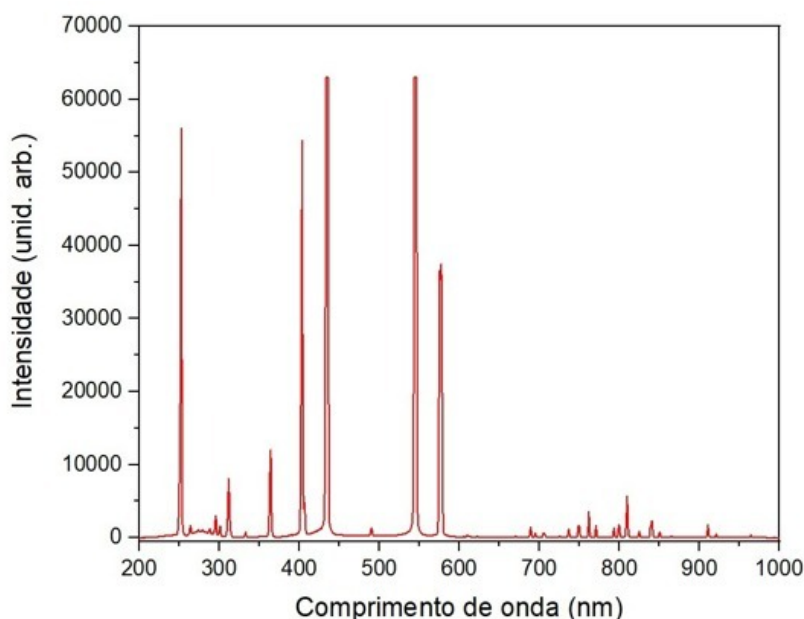


Figura 7 – Espectro de emissão das lâmpadas na cabine UVC

A exposição recomendada pelo CDC é de que pelo menos 1 J/cm^2 seja depositado na superfície da *FFR*. Para garantir que seja entregue a dose necessária para desinfetar as máscaras é necessário monitorar o fluxo de energia radiante que chega nas máscaras. A potência UVC, em geral, é cerca de apenas 20 a 30% da potência nominal da lâmpada. Cada lâmpada usada nesse projeto tem a potência nominal de 15 W. Portanto, espera-se que cerca de 3 a 4,5 W sejam a potência em UVC de cada lâmpada. Essa potência é distribuída não homogeneamente pelo tubo, sendo menor em suas extremidades, e diminui fortemente com a distância da lâmpada. Assim, é necessário medir a taxa de dose em diversos pontos da cabine, principalmente na parte central da CDEPI, onde serão fixadas as máscaras. Para isso, foi medida a taxa de dose através de um radiômetro UVC em diversas posições no interior da CDEPI. Essa dosimetria foi realizada com a caixa de MDF antes de ser recoberta com papel alumínio e após ser recoberta. Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Taxas de doses registradas em região central da cabine UVC medidas nas diferentes posições 1, 2, 3 e 4 (Fig. 4) a diferentes alturas a partir da base da cabine. Incerteza do radiômetro $\pm 0,1 \text{ mW/cm}^2$

Posição da Medida	Sem papel alumínio	Com papel alumínio
Na base	Taxa de dose (mW/cm²)	Taxa de dose (mW/cm²)
1	0,2	7,0
2	0,4	9,0
3	0,9	8,6
4	0,8	9,4
Média	0,57 ± 0,19	8,5 ± 0,5
A 6,5 cm da base	Sem papel alumínio	Com papel alumínio
1	5,3	9,7
2	3,8	8,8
3	2,3	7,5
4	2,8	8,5
Média	3,6 ± 0,7	8,6 ± 0,5
A 12,0 cm da base	Sem papel alumínio	Com papel alumínio
1	3,7	8,8
2	1,4	9,4
3	2,1	7,4
4	1,9	7,8
Média	2,3 ± 0,5	8,4 ± 0,5
A 18,5 cm da base	Sem papel alumínio	Com papel alumínio
1	4,6	10,2
2	3,0	9,7
3	2,2	6,1
4	2,2	7,0
Média	3,0 ± 0,6	8,2 ± 1,0
A 27,0 cm da base	Sem papel alumínio	Com papel alumínio
1	5,6	11,6
2	4,3	9,5
3	3,3	9,3
4	3,0	10,3
Média	4,0 ± 0,6	10,2 ± 0,5
A 36,0 cm da base	Sem papel alumínio	Com papel alumínio
1	4,4	7,8
2	2,6	6,9
3	2,5	7,4
4	2,4	7,8
Média	3,0 ± 0,5	7,5 ± 0,2
Média geral da CDEPI	2,7 ± 0,5	8,6 ± 0,3

A média da taxa de doses na cabine UVC antes de ser recoberta com papel alumínio foi de $(2,7 \pm 0,5) \text{ mW/cm}^2$. Após ser recoberta, a taxa de dose média, além de ficar mais uniforme, resultou em um valor mais de 3 vezes superior, chegando a $(8,6 \pm 0,3) \text{ mW/cm}^2$. Para atingir a dose recomendada de 1 J/cm^2 , que inativa vírus similares ao da SARS-CoV-2 ($\geq 3 \log$) na maioria das FFR testadas [N95DECON, 2020], com a taxa de dose de $8,6 \text{ mW/cm}^2$, o tempo de exposição pode ser calculado como:

$$1 \text{ J/cm}^2 / 0,0086 \text{ mW/cm}^2 = 116 \text{ s}$$

Sendo assim, o ciclo de desinfecção sugerido para uma cabine que segue esse modelo é de mínimo de 2 min para atingir a dose de 1 J/cm^2

O primeiro estudo bacteriológico em bacilos Gram-negativos demonstrou que a cabine UVC apresenta boa eficiência em seus efeitos antibacterianos. Foram feitos 3 testes de exposição à luz UVC, de 2, 5 e 10 min, na CDEPI e outra em uma CSB de classe II, para fins de comparação. Uma terceira placa foi semeada em cada teste e não exposta a luz UVC. Após 24 h de incubação a $35 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, observou-se que uma placa semeada e não exposta à luz UVC apresentou crescimento eficiente nos três testes realizados (Fig. 8A). Uma placa exposta por dois minutos na CSB de classe II e incubada por 24 h também mostrou algum crescimento de bacilos (Fig. 8B), mas apresentou ausência de crescimento microbiano significativo com as exposições de 5 e 10 min. É apropriado lembrar que para essa CSB de classe II, o tempo de desinfecção recomendado é de 15 min. Por outro lado, a placa semeada e exposta por 2, 5 e 10 min à luz UVC da CDEPI apresentou ausência de crescimento microbiano significativo (Fig. 8C), indicando eficiência promissora em seus efeitos antibacterianos. A repetição desses testes em triplicata, bem como a execução de testes em tempos ainda menores são planejadas para execução em breve.

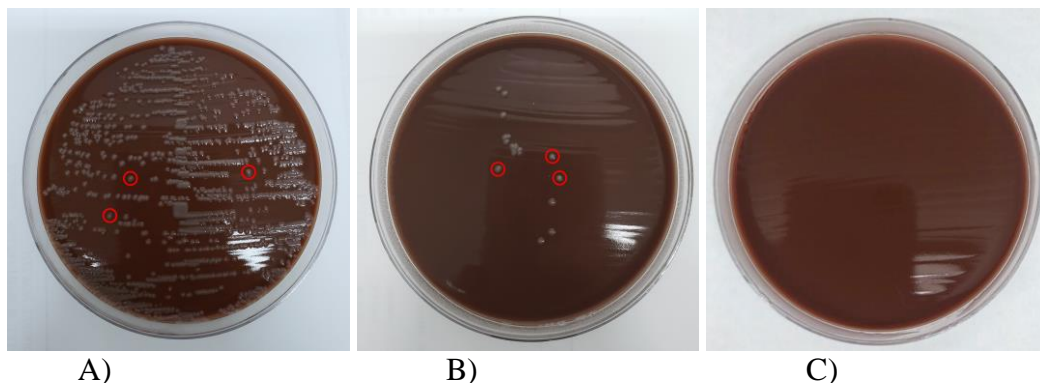


Figura 8. Resultados do primeiro estudo bacteriológico em bacilos Gram-negativos. A) Na ausência de luz UV: presença de crescimento bacteriano (destacado em vermelho). B) Na presença de luz UV por 2 min advinda da CSB de classe II: presença de algum crescimento bacteriano (destacado em vermelho). C) Na presença de luz UV da CDEPI: ausência de crescimento bacteriano significativo.

A CDEPI foi projetada para proporcionar em 2 min ao menos 1 J/cm^2 , que deverá ser suficiente para desativar também vírus da COVID-19 (SARS-CoV-2). Se além dos 2 min de luzes acesas, adicionarmos 10 min extra ao ciclo de descontaminação para o preparo e retirada das máscaras do suporte, o ciclo total terá duração de 12 min. Assim, poderão ser efetuados 5 ciclos de desinfecção por hora, atingindo a desinfecção de 30 máscaras por hora, podendo chegar a 720 máscaras diariamente, com cada CDEPI UVGI.

4. CONCLUSÕES

A cabine de desinfecção UVGI desenvolvida para esse estudo levou em conta os estudos disponíveis e recomendações do CDC dos EUA sobre desinfecção de respiradores de máscara facial com filtro N95. Como a máscara se molda a face do profissional da saúde que a utilizou, após a desinfecção, ela deve retornar ao mesmo usuário, de forma a manter uma perfeita vedação. Para isso, devem ser tomados cuidados com a marcação da máscara para que não ocorra a troca de usuário. Sugere-se ainda anotar o número de ciclos pelos quais a máscara já passou, verificando a integridade física da *FFR* ao final de cada ciclo, não utilizando a mesma caso seja notado qualquer dano à máscara.

A CDEPI foi projetada para proporcionar, em 2 min, ao menos 1 J/cm² de dose UV sobre as áreas superficiais que recebem menor dose de irradiação, aferidos por radiômetro com sensibilidade na região UVC. Esses valores de energia para a desinfecção das máscaras foram definidos com testes envolvendo outros vírus como H1N1, SARS e MERS, bactéria e fungos. Como até o momento não há dados na literatura sobre doses que desativariam o vírus da SARS-CoV-2, não é possível garantir 100% de eficácia da desinfecção UVGI para esse vírus. Também é importante frisar que até o momento não foi aprovada no Brasil nenhuma orientação sobre desinfecção de máscaras N95 ou qualquer outro modelo similar


O equipamento que está sendo oferecido foi baseado em parâmetros estabelecidos nos EUA e em dados científicos reportados na literatura. A cabine de desinfecção UVGI está sendo oferecida para avaliação voluntária dos usuários, dentro de uma proposta de pesquisa científica, com objetivo de mitigar os efeitos da pandemia sobre os profissionais de saúde.

O que se propõe com a cabine de desinfecção UVGI é a redução da carga viral na superfície das máscaras N95, diminuindo o risco de contaminação dos usuários. O uso desta técnica deverá ser acompanhado de todos os demais cuidados recomendados pela ANVISA quanto a higiene, acondicionamento e reuso das máscaras e demais procedimentos de combate à COVID-19, definidos por meio da NOTA TÉCNICA GVIMS/GGTES/ANVISA Nº 04/2020 [ANVISA, 2020].

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos colaboradores do setor de marcenaria e manutenção elétrica do Hospital Universitário (HU-UFS), Hospital Universitário de Lagarto e da Prefeitura da Universidade Federal de Sergipe que colaboraram na execução da CDEPI. Os autores também agradecem ao Prof. Dr. Francesco d'Errico pelas discussões e revisão do texto.

6. REFERÊNCIAS

- 3M Technical Bulletin (2020). *Disinfection of Filtering Facepiece Respirators*. Acessado em 18 de junho de 2020 <https://multimedia.3m.com/mws/media/1824869O/decontamination-methods-for-3m-n95-respirators-technical-bulletin.pdf> 
- ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2020). *Nota Técnica GVIMS/GGTES/ANVISA Nº 04/2020*. Acessado em 01 de junho de 2020 em <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33852/271858/Nota+T%C3%A9cnica+n+04-2020+GVIMS-GGTES-ANVISA/ab598660-3de4-4f14-8e6f-b9341c196b28>
- Araújo, T.S., Souza, S. O. (2008) Protetores Solares e os efeitos da radiação ultravioleta. *Scientia Plena*, 4(11): 1-7. Acessado em 18-07-2020 em: <https://www.scienciaplena.org.br/sp/article/view/721/374>
- Araújo, T.S., Souza, S. O., Miyakawa, W., de Sousa, E.M.B. (2010). Phosphates nanoparticles doped with zinc and manganese for sunscreens. *Materials Chemistry and Physics*, 124: 1071-1076. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2010.08.034>
- Bolton J.R., Beck S., Linden K.G. (2020). *Protocol for the determination of fluence (UV dose) using a low-pressure or low-pressure high-output UV lamp in benchscale collimated beam ultraviolet experiments*. Acessado em 18 de junho de 2020 em <https://www.iuva.org/resources/Resource%20Documents/Bolton-Protocol%20for%20the%20Determination%20of%20Fluence.pdf>
- CDC - Center of Disease Control and Prevention (2020a). *NIOSH-Approved Particulate Filtering Facepiece Respirators*. Acessado em 01 de junho de 2020 em https://www.cdc.gov/niosh/npptl/topics/respirators/disp_part/default.html
- CDC - Center of Disease Control and Prevention (2020b). *Recommended Guidance for Extended Use and Limited Reuse of N95 Filtering Facepiece Respirators in Healthcare Settings*. Acessado em 01 de junho de 2020 em <https://www.cdc.gov/niosh/topics/hcwcontrols/recommendedguidanceextuse.html>
- CDC - Center of Disease Control and Prevention (2020c). *Decontamination and Reuse of Filtering Facepiece Respirators*. Acessado em 01 de junho de 2020 em <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/ppe-strategy/decontamination-reuse-respirators.html>
- FDA - U.S. Food and Drugs Administration (2020). *Emergency use authorization: Batelle Decontamination System*. Acessado em 01 de junho de 2020 em <https://www.fda.gov/media/136529/download>
- Fisher, E.M., Shaffer, R.E. (2014). Considerations for Recommending Extended Use and Limited Reuse of Filtering Facepiece Respirators in Health Care Settings, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 11:8, D115-D128. doi: [10.1080/15459624.2014.902954](https://doi.org/10.1080/15459624.2014.902954)
- Kowalski, W. (2009). *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook: UVGI for Air and Surface Disinfection*. 1a. Ed. Springer.

Liao, L. et al. (2020). *Can N95 facial masks be used after disinfection? And for how many times? Report from the collaboration of Stanford University and 4C Air.* medRxiv preprint Acessado em 01 de junho de 2020 em <https://doi.org/10.1101/2020.04.01.20050443>

Lima, A.F., Souza, S. O., Lalic, M.V. (2009). Theoretical analysis of optical characteristics of the alpha spodumene in ultraviolet region. *Optical Materials*, 31: 1478-1482.

Lowe, J.J. et al. (2020). N95 Filtering Facemask Respirator Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI) Process for Decontamination and Reuse. Acessado em 01 de junho de 2020 em <https://www.nebraskamed.com/sites/default/files/documents/covid-19/n-95-decon-process.pdf>

Malayeri A.H., Mohseni M., Cairns B., Bolton J.R., Chevrefils G., Caron E., Barbeau B., Wright H., Linden K.G. (2020). *Fluence (UV Dose) Required to Achieve Incremental Log Inactivation of Bacteria, Protozoa, Viruses and Algae.* Acessado em 18 de junho de 2020 em https://www.iuvanews.com/stories/pdf/archives/180301_UVSensitivityReview_full.pdf

N95DECON (2020). Acessado em 18 de junho de 2020 em [A scientific consortium for data-driven study of N95 filtering facepiece respirator decontaminationexternal icon.](#)

Souza, S. O., Watanabe, S. (2001). UV and VUV light effects on thermoluminescence in lilac spodumene. *Activity Report* (Laboratório Nacional de Luz Síncrotron), Brasil, 1: 117-118.

Souza, S.O. (2002). *Efeito da radiação UV e gama nas propriedades de absorção óptica, de ressonância paramagnética eletrônica e de termoluminescência na kunzita* [Tese de Doutorado]. São Paulo (SP): Universidade de São Paulo.

Tseng, C.C., Li, C.S. (2019). Inactivation of Viruses on Surfaces by Ultraviolet Germicidal Irradiation, *J. of Occupational and Environ.l Hygiene*, 4(6): 400-405. doi: [10.1080/15459620701329012](https://doi.org/10.1080/15459620701329012)

Weber, D., Rutala, W., Sickbert-Bennet, E., Kanamori, H., Anderson, D. (2019). Continuous room decontamination technologies. *Am. J. Infect. Control*, 47: A72-A78. doi: 10.1016/j.ajic.2019.03.016