



INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Mestrado Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde

**Uso de radiação ultravioleta C na desinfecção de guias cirúrgicos acrílicos
impressos em 3D**

Versão Corrigida

MARCELO TOSHIO TADEU CALIMAN SATO

**Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Mestre Profissional em Tecnologia das
Radiações em Ciências da Saúde na Área
de Concentração: Processos de Radiação
na Saúde**

**Orientadora: Profa. Dra. Martha Simões
Ribeiro**

**São Paulo
2024**

**INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia Associada à Universidade de São Paulo**

**Uso de radiação ultravioleta C na desinfecção de guias cirúrgicos acrílicos
impressos em 3D**

Versão Corrigida

MARCELO TOSHIO TADEU CALIMAN SATO

**Dissertação apresentada como parte
dos requisitos para obtenção do Grau de
Mestre Profissional em Tecnologia das
Radiações em Ciências da Saúde na
Área de Concentração: Processos de
Radiação na Saúde**

**Orientadora: Profa. Dra. Martha Simões
Ribeiro**

**São Paulo
2024**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Como citar:

SATO, M. T. T. C. ***Uso de radiação ultravioleta C na desinfecção de guias cirúrgicos acrílicos impressos em 3D***. 2024. 56 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN, São Paulo. Disponível em: <<http://repositorio.ipen.br/>>

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de geração automática da Biblioteca IPEN, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Sato, Marcelo Toshio Tadeu Caliman Uso de radiação ultravioleta na desinfecção de guias cirúrgicos acrílicos impressos em 3D / Marcelo Toshio Tadeu Caliman Sato; orientadora Martha Simões Ribeiro. -- São Paulo, 2024.
56 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde (Processos de Radiação na Saúde) -- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2024.

1. Guias cirúrgicos. 2. Escherichia coli. 3. Candida albicans. 4. Luz UVC. 5. Impressão 3D I. Ribeiro, Martha Simões, orient. II. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Marcelo Toshio Tadeu Caliman Sato

Título: Uso de radiação ultravioleta C na desinfecção de polímeros acrílicos impressos em 3D

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde.

Data: ____ / ____ / ____

Banca Examinadora

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, primeiramente, a Deus, por sempre proporcionar saúde, vontade e oportunidades.

À minha esposa, à minha filha e aos meus familiares, por sempre apoiarem e me incentivarem nessa jornada pessoal e profissional.

Minha gratidão especial pela honra de ter a Professora Dra. Martha Simões Ribeiro como orientadora, com todo seu conhecimento e sabedoria.

À Professora Dra. Denise Zezell, por ter coordenado o curso com proficiência e aspiração.

Aos demais professores do Ipen, por terem dividido suas experiências, seus conhecimentos e por sua evidente vontade de ensinar.

À Tânia Yoshimura que sempre me acolheu e ensinou tanto ao longo da minha experiência laboratorial.

À Andrea Malavazi e aos demais funcionários do laboratório, por proporcionar um ambiente agradável e produtivo para que tudo isso fosse possível.

Às minhas amigas Aline e Zita que foram anjos, que seguraram na minha mão nos momentos difíceis. E aos demais colegas e amigos, que sempre foram parceiros e solidários em toda esta caminhada.

Aos órgãos de fomento à pesquisa CNPQ, CAPES e FAPESP que, direta e indiretamente, auxiliaram com financiamentos.

Minha eterna gratidão a todos vocês que participaram desta jornada e a todos os amigos e professores que tive na vida e foram responsáveis pela minha formação.

RESUMO

SATO, Marcelo T.T.C. **Uso de radiação ultravioleta C na desinfecção de polímeros acrílicos impressos em 3D**. 2024. 56 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN. São Paulo.

Guias cirúrgicos são protótipos de acrílico que auxiliam no posicionamento e fixação de implantes, que podem ser confeccionados por impressão 3D. Eles estão sendo frequentemente utilizados em ambiente cirúrgico, para facilitar e aumentar a segurança na implementação de implantes em pacientes. No entanto, há uma escassez de conhecimento sobre a eficácia dos processos de desinfecção destes materiais a base de acrílico. A radiação ultravioleta C (UVC) é uma tecnologia que tem ganhado atenção como um método altamente eficaz para desinfetar superfícies. Neste trabalho, discos de acrílico produzidos em impressora 3D foram contaminados com bactérias *Escherichia coli* e fungos *Candida albicans* e submetidos à radiação UVC em diferentes tempos de exposição. Os controles positivos utilizados neste ensaio foram a autoclave de ciclo de 30 min e o ácido peracético 0,2% por 10 min. Os resultados obtidos mostram que a luz UVC foi capaz de erradicar ambos os microrganismos depois de 15 min de irradiação. Além disso, foram realizados ensaios de microscopia eletrônica de varredura e perfilometria óptica, a fim de avaliar se os polímeros sofrem modificações estruturais sob ação dos diferentes métodos de desinfecção. Embora tenha se observado camadas de estrias nas superfícies, sem um padrão definido de rugosidade, inerente ao processo de fabricação, não foram visualizadas mudanças estruturais significativas nos corpos de prova após tratamentos. Conclui-se que a radiação UVC pode ser uma alternativa eficaz, de baixo custo e não poluente para processos de desinfecção de guias cirúrgicos.

Palavras-chave: Guias cirúrgicos, *Escherichia coli*, *Candida albicans*, Luz UVC, Impressão 3D.

ABSTRACT

SATO, Marcelo T.T.C. **Use of ultraviolet C radiation in the disinfection of 3D printed acrylic polymers**. 2024. 56 p. Dissertation (Professional Master's Degree in Radiation Technology in Health Sciences), Institute of Energetic and Nuclear Research – IPEN-CNEN/SP. São Paulo.

Surgical guides are acrylic prototypes that assist in the positioning and fixation of implants, which can be manufactured using 3D printing. They are frequently used in surgical environments to facilitate and increase the safety of implants implementation in patients. However, there is a lack of knowledge about the effectiveness of the disinfection processes for these acrylic-based materials. Ultraviolet C (UVC) radiation is a technology that has gained attention as a highly effective method for disinfecting surfaces. In this study, acrylic discs produced with a 3D printer were contaminated with *Escherichia coli* bacteria and *Candida albicans* fungi and subjected to UVC radiation at different exposure times. The positive controls used in this assay were a 30-minute cycle in an autoclave and 0.2% peracetic acid for 10 min. The results showed that UVC light was able to eradicate both microorganisms after 15 min of irradiation. Additionally, scanning electron microscopy and optical profilometry tests were conducted to evaluate whether the polymers undergo structural changes under different disinfection methods. Although striation layers were observed on the surfaces, without a defined roughness pattern inherent to the manufacturing process, no significant structural changes were seen in the test samples after treatments. It is concluded that UVC radiation can be an effective, low-cost, and non-polluting alternative for the disinfection processes of surgical guides.

Keywords: Surgical guides; *Escherichia coli*, *Candida albicans*, UVC light, 3D Impression.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplificação do Processo de Impressão 3D	18
Figura 2 – Fórmula do Ácido Peracético.....	22
Figura 3 – Espectro eletromagnético em nm	24
Figura 4 – Relação entre intensidade relativa de UVC e comprimento de ondas em nm	25
Figura 5 – Processo de penetração de membrana por radiações UV	26
Figura 6 – Relação entre doses de radiação UV e microrganismos	29
Figura 7 - Dados dos aparelhos de UVC	33
Figura 8 – Representação os grupos dos ensaios	35
Figura 9 – Representação gráfica dos ensaios	37
Figura 10 – Equipamento Tabletop da Hitachi TM300	38
Figura 11 – Equipamento Perfilômetro óptico, marca Zygo, modelo ZeGage 3D	38
Figura 12 – Relação entre a média e o tempo. <i>E. coli</i>	40
Figura 13 – Relação entre a média e o tempo. <i>C. albicans</i>	41
Figura 14 - Placas de <i>E. coli</i> após tratamento com ác. peracético e autoclave ...	45
Figura 15 - Visualização macroscópica de um disco 3D sem tratamento.....	46
Figura 16 - Discos de Controle (MEV)	46
Figura 17 - Discos de Ácido Peracético (MEV).....	47
Figura 18 – Discos radiação UVC 15 min (MEV).....	47
Figura 19 - Discos ciclo de 30 minutos de autoclave (MEV).....	48
Figura 20 – Perfilometria Discos Controle	48
Figura 21 - Perfilometria Discos Ácido Peracético.....	49
Figura 22 - Perfilometria Discos UVC 15 min	49
Figura 23 – Perfilometria Disco Autoclave 30 min	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Capacidade de desinfecção por nivelamento	20
Quadro 2 – Levantamento de práticas de gestão e cuidados de artigos semicríticos	31
Quadro 3 – Sumário de resultados da literatura para inativação de microrganismos por luz UVC.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites de radiação UV para tecidos biológicos.....	27
Tabela 2 – Estatística descritiva referente a análise de <i>E. coli</i>	39
Tabela 3 – Estatística descritiva referente a análise de <i>C. albicans</i>	39

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BHI – *Brain Heart Infusion*

CAD – *Computer Aided Design*

CELAP – Centro de Lasers e Aplicações

C. albicans – *Candida albicans*

CLSI – *Clinical and Laboratory Standards Institute*

CRAI – Centro de Recursos para Aprendizagem e Investigação

DLP – Processamento digital de luz, do inglês *Digital Light Processing*

E. coli – *Escherichia coli*

EPA – *Environmental Protection Agency*

EPI – Equipamento de proteção individual

FDA – *Food and Drug Administration*

FOUSP – Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo

IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

ISO – *International Organization of Standardization*

LCD – Display de cristal líquido, do inglês *Liquid Cristal Display*

MEV – Microscopia eletrônica de varredura

PBS – Salina tamponada com fosfato, do inglês *Phosphate Buffered Saline*

RAAQ – Resina Acrílica Ativada Quimicamente

RAAT – Resina Acrílica Ativada Termicamente

SLA – Estereolitografia, do inglês *Stereolithography*

UFC – Unidades formadoras de colônias

UV – Ultravioleta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivos Gerais	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3 EMBASAMENTO TEÓRICO	14
3.1 Uso e Classificação de Resinas Acrílicas	14
3.2 Síntese sobre Tecnologia de Impressão Tridimensional	16
3.3 Processo de Esterilização	18
3.3.1 Ácido peracético	21
3.3.2 Autoclaves	23
3.4 Radiação UVC	23
3.5 Boas Práticas na Saúde	29
4 MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1 Caracterização da Pesquisa e Descrição de Materiais	32
4.2 Descrição dos Métodos	34
4.2.1 Ensaio microbiológico	34
4.2.2 Análise morfológica dos corpos de prova por microscopia eletrônica de varredura (MEV)	37
4.2.3 <i>Análise morfológica dos corpos de prova por perfilometria óptica</i>	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
7 CONCLUSÃO	52
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

Depois de termos passado por uma pandemia, técnicas de desinfecção nunca foram tão importantes quanto agora. Com a crescente preocupação com doenças infectocontagiosas, como aquelas causadas por vírus, bactérias multirresistente e outros patógenos capazes de transmitir infecções pelo contato ou mesmo pelo ar, o uso de tecnologias que possam conter estas disseminações trouxe a aspiração de se pesquisar a respeito do uso da radiação UVC. A UVC pode ser uma alternativa eficaz para se termos por exemplo dentro de um centro cirúrgico por se tratar de um aparelho portátil capaz de realizar a desinfecção de guias cirúrgicos que são utilizados na colocação de implante.

A capacidade de produzir dispositivos personalizados por meio de impressoras com tecnologia de impressão tridimensional (3D), tem ampliado as possibilidades de tratamento e intervenção de profissionais da área da saúde. Em especial ao campo da Odontologia, os guias cirúrgicos utilizados para planejar e orientar os procedimentos com maior precisão são um dos equipamentos que passaram a ser impressos por tais dispositivos.

Mais especificamente, os guias cirúrgicos são usualmente fabricados com materiais biocompatíveis, como resinas acrílicas, e personalizados para cada indivíduo, de modo a permitir maior acurácia na identificação de profundidade, posição e angulação da colocação de implantes dentários.¹ Além de servir como um agente facilitador do procedimento, eles proporcionam maior precisão e rapidez aos procedimentos que tendem a ser complexos, de modo a contribuir com a minimização de erros durante a intervenção e conferir conforto ao paciente nos períodos que precedem, coincidem e sucedem o procedimento cirúrgico.

Dentre a variedade do escopo de características principais concernentes a um guia cirúrgico, cabe destacar sua rigidez, com fins de garantir a máxima conformidade com o modelo estabelecido, ainda que permita determinados ajustes e estabilidades durante a cirurgia. Outras propriedades desejáveis são: a) ser insípido; b) inodoro; c) não tóxico; d) não irritante aos tecidos bucais, uma vez que algumas pessoas podem apresentar alergia ao monômero; e) insolúvel na saliva; f) fácil de manipular e de polir; g) passível de desinfecção; h) apresentar alta estabilidade dimensional, morfológica e de cor.²

Quanto ao emprego de impressoras 3D na fabricação de guias cirúrgicos, sua utilização é viável devido à capacidade de criar objetos tridimensionais a partir de arquivos digitais. Dentre a variedade de especialidades médicas, diversas delas estão incorporando o uso dessa tecnologia em suas práticas, tais como a cardiologia, cirurgia cardiotorácica, cuidados intensivos, gastroenterologia, radiologia intervencionista, neurocirurgia, oftalmologia, cirurgia oral e maxilofacial, cirurgia ortopédica, otorrinolaringologia, cirurgia plástica, pneumologia, radioterapia oncológica, cirurgia de transplante, urologia e cirurgia vascular, todas.³ Especificamente na Odontologia, as impressões podem servir para produzir protetores dentários, guias cirúrgicos, modelos de estudo e outros dispositivos personalizados.

Concomitantemente com as utilidades inerentes ao uso dos guias cirúrgicos, surgem desafios relacionados à segurança e à esterilização desses equipamentos, sobretudo, por estarem em contato direto com o sangue, com solução de continuidade da mucosa e com exposição óssea, o que pode causar infecções. Em especial, a utilização do polímero acrílico em centro cirúrgico criou a necessidade de novos protocolos de esterilização, pois nem todos os acrílicos atuais podem ser esterilizados com calor úmido, e nem por produtos químicos, devido à distorção do material e à capacidade de sorção de líquidos pelos polímeros, respectivamente.³

No caso de desinfecção com líquidos, há ainda o risco de resíduos de substâncias químicas, como a do glutaraldeído e do ácido peracético, serem liberados no tecido.⁴ Outras modalidades de esterilização, como o emprego de óxido de etileno e radiação gama, são reconhecidas por sua exigência de tempo e custo mais elevados. Diante disso, faz-se necessário o desenvolvimento de novas abordagens de desinfecção/esterilização para materiais sensíveis aos métodos convencionais.

Cabe destacar que as infecções causadas por microrganismos estão se tornando multirresistentes. Tais microrganismos, conhecidos como “superbugs”, são o principal objeto de preocupação no pós-operatório. Além do mais, eles protagonizam parte da crise globalizada na assistência ao paciente, uma vez que refletem um ônus epidemiológico e econômico que pressiona os sistemas de saúde. Nessa linha, as infecções hospitalares são uma das principais causas de

morbidade, mortalidade e prolongamento de tempo de internação hospitalar, podendo alcançar até 23 dias adicionais. ⁴

Em dados⁵, as infecções associadas aos cuidados de saúde repercutem em custos médios totais de 9,8 bilhões de dólares americanos ao ano em todo o mundo. Outros dados evidenciam que, durante a permanência no hospital nos Estados Unidos, 5 a 10% dos pacientes desenvolvem algum tipo de infecção adquirida nesse ambiente e os custos associados ao tratamento das infecções hospitalares são estimados em média US\$ 25.000 por infecção. ⁵

A partir do exposto, observa-se a necessidade de se discutir medidas e protocolos de prevenção. De acordo com o Centro de Controle e Prevenção de Doenças dos Estados Unidos, a desinfecção e a esterilização emergem como pilares fundamentais na mitigação do risco de infecções associadas à assistência à saúde. Em definição, a desinfecção é responsável por eliminar a maioria ou todos os microrganismos patogênicos presentes em objetos inanimados, com exceção dos esporos bacterianos. Por sua vez, a esterilização se trata do processo que visa destruir ou eliminar todas as formas de vida microbiana.⁶

Diante desses fatos, a desinfecção de placas acrílicas impressas por impressoras 3D torna-se um meio de prevenção de infecções e promoção de segurança, tanto para pacientes quanto para os profissionais de saúde. Especificamente a radiação ultravioleta (UV), do espectro UVC, tem suscitado considerável interesse científico devido à sua capacidade de inativar uma diversidade abrangente de microrganismos, tais como vírus, bactérias e fungos.

Estudos evidenciam que a adoção de fontes de radiação como a luz UVC, pode ser uma solução para alcançar uma desinfecção de alto nível em materiais acrílicos produzidos por impressoras 3D, de modo a permitir a entrada desses equipamentos em centros cirúrgicos. ^{7,8,9} A luz ultravioleta é uma forma de radiação eletromagnética com comprimentos de onda mais curtos do que a luz visível, porém mais longos do que os raios-X. Estudos prévios mostram que sua natureza germicida pode contribuir com a eliminação de microrganismos altamente resistentes a desinfetantes químicos, devido à absorção de luz UV por DNA e proteínas. ^{7,8,9}

Considerando o potencial da luz UV para garantir segurança no uso de materiais cirúrgicos expostos a potenciais infectivos, como os guias utilizados na Odontologia¹⁰⁻¹¹, o presente estudo se propôs a avaliar o processo de desinfecção

e/ou esterilização de placas acrílicas impressas por meio da radiação UVC. A pesquisa visa preencher uma lacuna importante no campo da desinfecção de equipamentos cirúrgicos, especialmente aqueles produzidos por tecnologias de fabricação aditiva, como a impressão 3D. E justifica-se pelos desafios específicos na esterilização de equipamentos cirúrgicos apresentados, bem como pela necessidade mencionada de métodos desinfecção e esterilização de alta performance.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral do estudo é verificar se a utilização da luz UVC para desinfecção/esterilização de materiais acrílicos é uma forma segura, eficaz e sustentável de desinfecção de guias cirúrgicos, para a implementação em centro cirúrgico, especificamente, no transoperatório.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são: a) investigar a capacidade de inativação da luz UVC em bactérias e fungos inseridos em corpos de prova de acrílico impressos em 3D; b) avaliar morfologicamente o material acrílico por microscopia eletrônica de varredura; c) avaliar a rugosidade da superfície dos discos acrílicos através de perfilometria óptica; d) comparar os resultados à solução de ácido periacético 0,2% e autoclave.

3 EMBASAMENTO TEÓRICO

3.1 Uso e classificação de resinas acrílicas

Não é recente que as resinas acrílicas tenham passado a fazer parte dos materiais de trabalho profissional no campo da Odontologia. Importa dizer que os primeiros registros de aplicações da resina acrílica se deram em 1933 no segmento industrial.³ Tal material passou a ser utilizado para a produção de bens de consumo na era de Revolução Industrial, mas não teve sua utilidade restrita aos processos de produção desenvolvidos em indústrias.³⁻⁵

Em 1936, os registros de sua introdução na Odontologia são encontrados em sua forma termoativada (Vernonite), como material para base de próteses totais.³⁻⁵ Entre o período de 1945 e 1950, a forma quimicamente ativada, denominada *Sevitron*, ganhou seu espaço nas utilidades clínicas e cirúrgicas. A partir dos anos 50, houve tentativa de utilizá-la como material restaurador direto. Ademais, o procedimento não alcançou o sucesso esperado, levando ao desenvolvimento do Bisgma cerca de 10 anos depois.³⁻⁵

Em termos de classificação, destaca-se dois tipos principais de resina acrílica sendo eles, especificamente: a) Resina Acrílica Ativada Quimicamente (RAAQ), que é considerada como substância química com função de ativar reações de polimerização e enquadradas, normalmente, como amina terciária; b) Resina Acrílica Ativada Termicamente (RAAT), que tem como elemento diferencial o calor como elemento de ativação de reações de polimerização, sendo suas temperaturas próximas a 65° C.¹²

Tratando da utilidade em Odontologia, a resina acrílica é o material utilizado em guias cirúrgicos que contribuem com a precisão de técnicas durante uma cirurgia, com fins de atenuar riscos de danos aos tecidos adjacentes ou mesmo aos dentes e raízes.¹² Os guias cirúrgicos também ajudam a determinar o posicionamento ideal dos implantes dentários para que eles sejam inseridos na posição correta.

No que tange à escolha pela confecção de guias em materiais acrílicos, cabe reiterar suas características principais, que contribuem com o trabalho do profissional em um procedimento cirúrgico, como as de ser não tóxico, insolúvel, inodoro, possível de manipular, ainda que tenha certa rigidez, e passível de desinfecção.² Além disso, destaca-se sua facilidade de confecção e sua ausência de cor, uma vez que esses fatores contribuem com a acurácia no posicionamento em relação ao elemento receptor.²

Cabe adicionar que a cirurgia guiada em implantes começou a aparecer nos procedimentos por volta de 1988, quando a *Columbia Scientific* apresentou à comunidade científica um *software* em 3D voltado para o uso na Odontologia, que, a partir de imagens de tomografia computadorizada, convertia cortes axiais em imagens transversais reconstruídas das cristas alveolares para diagnóstico.¹³

3.2 Síntese sobre tecnologia de impressão tridimensional

A utilização das impressoras 3D se apresenta como uma extensão, e até mesmo uma eventual substituição, do método convencional empregado em laboratório, por intermédio de uma técnica digital subtrativa, caracterizada pela aplicação de resina ativada por procedimentos químicos.¹⁴

Importa dizer que, historicamente, a impressão de objetos tridimensionais foi desenvolvida para uso industrial e para soluções em Engenharias. Na Odontologia, concentrou-se na prototipagem rápida, cujo objetivo é produzir modelos físicos de componentes ou sistemas para fins de visualização. Os materiais empregados na fabricação de guias cirúrgicos e placas, predominantemente, consistem em fotopolímeros à base de resina metilmetacrilato, os quais guardam semelhanças com as resinas acrílicas já estabelecidas na odontologia.¹⁵ A manufatura aditiva, frequentemente referida como tecnologia de impressão tridimensional, é a principal técnica empregada para esse propósito.¹⁵

Mais especificamente, foi na década de 1980 que Charles Hull, engenheiro norte-americano, registrou a patente do primeiro dispositivo e tecnologia de impressão 3D, denominado estereolitografia. Em 1986, o engenheiro desenvolveu a primeira máquina de impressão 3D comercial, conhecida como SLA-1. Três anos mais tarde, Carl Deckard patenteou o método de sinterização seletiva a laser, baseado em pó, no qual o material em pó é fundido e solidificado por um feixe de laser. A criação e o processamento são as etapas fundamentais e frequentemente usadas para estabelecer um modelo digital por meio de vários tipos de software CAD (*Computer Aided Design*). Posteriormente, o modelo digital deve ser materializado pelo material mais adequado e pelo processo de fabricação correspondente.¹⁶

No mercado odontológico, as três impressoras predominantes são: a) Estereolitografia, do inglês *Stereolithography* (SLA); b) Processamento Digital de Luz, do inglês *Digital Light Processing* (DLP) e Display de Cristal Líquido, do inglês *Liquid Cristal Display* (LCD). Cabe mencionar que a distinção principal entre elas reside no sistema interno de funcionamento, isto é, o método pelo qual cada uma delas realiza a solidificação da resina durante o processo de impressão.¹⁷

Em termos específicos, as impressoras SLA empregam um laser de luz ultravioleta que é direcionado por meio de uma tela de vidro localizada abaixo do tanque de resina. Tal laser é direcionado por um conjunto de espelhos até atingir a plataforma de impressão, sendo a polimerização da resina capaz de ocorrer somente nos locais onde o feixe de luz incide.^{17,18,19,20}

Por sua vez, as impressoras DLP utilizam um dispositivo interno que projeta uma imagem por meio da mesma tela de vidro para a plataforma de impressão, de modo que a polimerização ocorra em camadas. Já as impressoras LCD também operam por camadas, pois possuem uma tela do tipo LCD que atua como uma janela fotocrômica, controlando a emissão de luz durante o processo de impressão.^{17,18,19,20}

É importante enfatizar que, após o processo de impressão 3D, há a necessidade de pós-processamento dos objetos impressos para que se obtenham as corretas propriedades do material. Isto é, ao se remover o objeto da plataforma de construção da impressora, o excesso de resina não polimerizada deve ser retirado com banhos em álcool isopropílico, sendo variável o tempo e o número de banhos conforme as especificidades de composição da resina e orientações do fabricante.²¹ Em seguida, os materiais requerem um processo final de polimerização em câmaras de luz UV para assegurar que estejam completamente polimerizados. Os protocolos específicos desse processo também variam de acordo com as orientações do fabricante para cada tipologia de resina.²¹

Dessa forma, observa-se que a introdução das impressoras 3D e seus polímeros na área da saúde, especialmente na fabricação de próteses e outros equipamentos, trouxe consigo a demanda por novos protocolos de esterilização, para que sua utilização possa ocorrer em ambientes cirúrgicos. Assim, a luz UVC pode representar uma solução sustentável para garantir a segurança desses materiais ao serem introduzidos em centros cirúrgicos. Apresenta-se na Figura 1 uma exemplificação desse processo.

Figura 1 – Exemplificação do Processo de Impressão 3D



Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 1, pode-se verificar o passo da confecção de discos 3d, com resina autoclavável, o que permitiu utilizar estes corpos de prova livres de contaminação.

3.3 Processos de Desinfecção/Esterilização

Dada a exposição sobre resinas acrílicas e impressão tridimensional, é pertinente ampliar a descrição para incluir aspectos relacionados aos processos de esterilização, especialmente, por considerar seu uso em contextos nos quais as infecções associadas à assistência à saúde, causadas por patógenos multirresistentes, representam uma ameaça significativa aos pacientes e aos profissionais.

Contribuições da literatura evidenciam que tais infecções causadas por patógenos multirresistentes são diretamente associadas ao aumento de mortalidade e morbidade após procedimentos cirúrgicos.²² Adiciona-se a esse quadro, o fato de que os cuidados de saúde desencadeados desse quadro exigem, dentre outros efeitos, custos financeiros elevados. Devido a isso, faz-se necessário que a limpeza do ambiente hospitalar seja abordada como uma prioridade para se evitar a transmissão de patógenos.

Pesquisas oriundas de campos de estudo correlatos alertam que a resistência das infecções aos tratamentos baseados em antibióticos pode levar 10 milhões de pessoas a perderem suas vidas até o ano de 2050.²³ Tal previsão é acompanhada de um estudo financeiro que prevê, dentre outros aspectos, o dispêndio econômico desse contexto, que pode se acumular em 100 trilhões de

dólares em PIB global até o mesmo período. ²³ Como base comparativa, cabe mencionar que o PIB global anual no ano de 2021 consolidou-se em torno do valor de 96 trilhões de dólares²³, o que evidencia que o impacto econômico projetado da resistência antimicrobiana representaria uma parcela significativa da atividade econômica global.

Desse modo, os números apresentados ressaltam a urgência de ações coordenadas e abrangentes para enfrentar esse desafio crescente ocasionado pelas infecções. Discutir abordagens para a desinfecção de instrumentos e itens utilizados nos cuidados com o paciente é uma das medidas de contenção desse cenário. Mais especificamente, o termo desinfecção é utilizado para se referir a um processo, ou seja, o cumprimento de etapas, que visam o controle ou eliminação de microrganismos patogênicos em objetos, superfícies ou ambientes, reduzindo assim o risco de infecção. ²⁴

O conceito de desinfecção pode ser compreendido mediante a classificação dos instrumentos e equipamentos utilizados nos cuidados ao paciente em três categorias distintas, com base em seu potencial de risco de transmissão de infecções. Tais categorias são definidas como: a) crítica, relacionada a procedimentos que envolvem penetração em tecidos estéreis e, dessa forma, requer esterilização; b) semicrítica, envolvendo contato com membranas mucosas e, conseqüentemente, demandando desinfecção de alto nível; c) não-crítica, em contato com pele intacta, de modo a requerer uma desinfecção de baixo nível. ²⁴

É relevante observar que não existe uma definição ou conjunto uniforme de padrões para os processos de esterilização, desinfecção e limpeza. No entanto, o *Clinical and Laboratory Standards Institute* (CLSI) delineou orientações com base em testes de concentração inibitória mínima, atualmente padronizadas pela *International Organization of Standardization* (ISO).²⁵ Tais normas foram inicialmente estabelecidas em 2004, sendo posteriormente atualizadas em 2010, com a publicação de novas diretrizes.

Em relação à esterilização, pode ser caracterizada como o procedimento que visa à eliminação ou destruição total de todas as formas de vida microbiana, abrangendo tanto formas vegetativas quanto esporos. ²⁵ Esse processo pode ser concretizado por meio de uma variedade de métodos físicos e químicos. Sob uma perspectiva técnica, a esterilização implica na redução de pelo menos 6 log₁₀ de

unidades formadoras de colônias (UFC) dos esporos mais resistentes, alcançada no decorrer da metade do tempo de um ciclo convencional. ²⁵

A desinfecção, por sua vez, é conceituada como um procedimento destinado à eliminação total das formas vegetativas de microrganismos presentes em objetos inanimados, com exceção dos esporos bacterianos. Sob uma perspectiva técnica, esse processo implica na redução de pelo menos 3 log₁₀ UFC de microrganismos por meio desse método, excluindo os esporos. No Quadro 1, apresenta-se uma descrição dos nivelamentos de desinfecção.

Quadro 1 – Capacidade de desinfecção por nivelamento

Nível de desinfecção	Capacidade	Exemplos
I. Alto nível	I.I Destruir microrganismos de bactérias e esporos. I.II Uso para itens reutilizáveis semicríticos sensíveis ao calor.	I.III Peróxidos, glualdeído e ac. peracético.
II. Intermediário	II.I Eliminar bactérias vegetativas, vírus e fungos. II.II Uso para superfícies de contato ambiental e residências que tenham superfícies com sangue visível.	II.III Cloro, fenólico e iodóforos.
III. Baixo	III.I Eliminar a maioria das bactérias vegetativas, alguns vírus e fungos. III.II Uso para superfícies ambientais não críticas sem sangue visível.	III.III Álcool, peróxido de hidrogênio, produto à base de peróxido de hidrogênio e cloro.

Fonte: elaborado pelo autor

O Quadro 1 apresenta um levantamento da capacidade de desinfecção por níveis, categorizando os métodos conforme sua eficácia em eliminar diferentes tipos de microrganismos. No nível de alto grau de desinfecção, destacam-se os agentes capazes de destruir tanto microrganismos bacterianos quanto esporos, sendo recomendados para itens reutilizáveis semicríticos que são sensíveis ao calor. Exemplos incluem peróxidos, glutaraldeído e ácido peracético. Já no nível intermediário, os métodos visam eliminar bactérias vegetativas, vírus e fungos,

sendo adequados para limpar superfícies ambientais e residências que apresentam vestígios de sangue. Cloro, fenólicos e iodóforos estão entre os exemplos comumente utilizados. No nível de baixa desinfecção, os agentes reduzem a maioria das bactérias vegetativas, alguns vírus e fungos, sendo recomendados para a desinfecção de superfícies ambientais não críticas, sem a presença visível de sangue. Álcool, peróxido de hidrogênio e produtos à base de peróxido de hidrogênio e cloro são alguns dos exemplos mencionados.

Após a exposição dos métodos de desinfecção por níveis, torna-se evidente que as técnicas de esterilização física, como calor seco, calor úmido e radiação, representam pilares fundamentais nesse contexto. Cabe ressaltar que tanto a desinfecção física quanto a esterilização operam sob o mesmo princípio básico, destacando a importância desses processos na garantia da segurança e higienização adequada de ambientes e materiais utilizados na prática clínica.^{26, 27}

Nesse contexto de esterilização de equipamentos, instrumentos e materiais, tanto o ácido peracético quanto as autoclaves desempenham papéis importantes como métodos de esterilização. Nas próximas subseções, serão abordados aspectos teóricos sobre os métodos usados neste trabalho como controles, com fins de permitir uma compreensão mais aprofundada de suas características, mecanismos de ação, aplicações e considerações práticas.

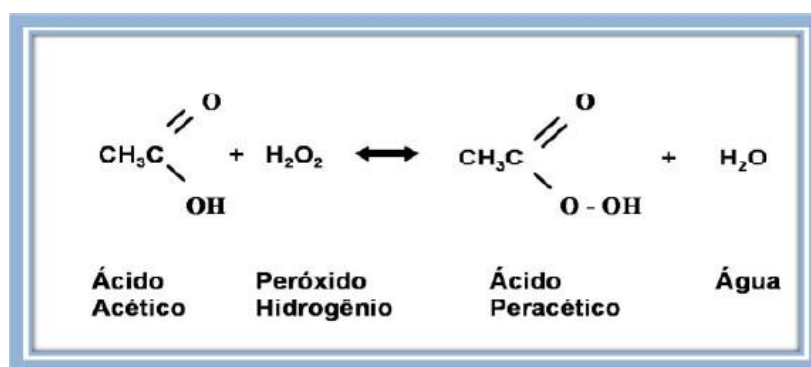
3.3.1 *Ácido peracético*

O ácido peracético, também conhecido como acetil hidroperóxido ou ácido peroxiacético, é um composto químico caracterizado por sua forma líquida incolor e não pigmentada. Reconhecido como um agente oxidante de alta potência, este ácido apresenta um pH ácido, densidade semelhante à da água e um odor levemente avinagrado.²⁸ É importante notar que o ácido peracético é corrosivo para metais como bronze, cobre, ferro galvanizado e latão. Em concentrações reduzidas, exerce uma ação rápida e eficaz contra uma variedade de microrganismos, tais como os esporos bacterianos.²⁸

Apesar de a primeira solução em equilíbrio estabilizada ter sido alcançada em 1975, somente em 1986 o ácido peracético foi oficialmente aprovado pela *Environmental Protection Agency* (EPA).²⁹ No âmbito nacional, recebeu aprovação do Ministério da Saúde por meio da Portaria 122 de 29/11/1993, e em

1998, obteve reconhecimento pelo *Food and Drug Administration* (FDA) como um agente eficaz e seguro.²⁹ Importa dizer que o ácido peracético se tornou amplamente reconhecido como um dos mais rápidos e potentes agentes microbicidas disponíveis globalmente.²⁹ Apresenta-se, na Figura 2, a fórmula do ácido mencionado.

Figura 2 – Fórmula do Ácido Peracético



Fonte: Zhao et al., 2007.

O ácido peracético age de maneira análoga aos agentes oxidantes, como o peróxido de hidrogênio. Devido à sua marcante capacidade oxidante, promove a oxidação das ligações S-S e SH presentes nos componentes celulares e exerce sua ação sobre a membrana citoplasmática desativando funções fisiológicas cruciais, como a barreira osmótica. Sua atividade desinfetante fundamenta-se na oxidação dos constituintes celulares, mediante a liberação de oxigênio ativo, que interage com as ligações de enxofre encontradas em proteínas, enzimas e outros metabólitos dos microrganismos.

Outra atribuição atribuída ao ácido peracético é interromper a função osmótica e o transporte por lipoproteínas da membrana citoplasmática, o que causa deslocamento ou ruptura da parede celular. Isso facilita a sua ação contra microrganismos da tipologia Gram-negativos. Sua capacidade de desnaturar proteínas contribui para explicar suas características esporicidas e ovidas. Adicionalmente, o ácido peracético age sobre as bases da molécula de DNA e inativa a catalase, isto é, a enzima responsável por neutralizar a ação dos radicais livres de hidroxila.²⁹

O ácido peracético na concentração de 0,2% pode causar desconforto respiratório devido à irritação de seus vapores, embora sua atividade vaporosa seja

mínima a essa concentração de uso. Embora exija manuseio cuidadoso, não se observa sensibilização dérmica nem irritação cutânea primária à pele a essa concentração.³⁰ Entretanto, sua estabilidade durante o armazenamento é baixa, e apresenta baixo efeito residual, além de não ser espumante.³¹ Dessa forma, observa-se que, devido à natureza química da substância, é desafiador garantir sua estabilidade e funcionalidade ao longo do período recomendado pelo fabricante.

3.3.2 Autoclaves

As autoclaves representam uma opção de ferramenta para a esterilização de instrumentos e outros equipamentos cirúrgicos por meio do calor úmido sob pressão. Comumente compostas por uma câmara em que o material a ser esterilizado é acomodado, esses equipamentos podem variar em sua orientação, sendo horizontais ou verticais, e em seu método de remoção de ar, que pode ser dinâmico ou gravitacional.⁸ O mecanismo de ação da esterilização por vapor úmido é determinado pela combinação de quatro fatores principais: tempo, temperatura, pressão e umidade. A interação entre temperatura e umidade provoca a coagulação e desnaturação irreversíveis das proteínas estruturais dos microrganismos, levando à perda de sua capacidade funcional e, conseqüentemente, à morte celular.⁸

Apesar de ser amplamente recomendada como o método padrão de esterilização, a utilização de autoclaves apresenta algumas limitações. Além de demandar um tempo considerável para a conclusão do processo, pode gerar resíduos e causar distorções em materiais acrílicos, o que pode prejudicar a sua integridade e funcionalidade.¹⁰ No entanto, uma recente inovação neste campo, representada pelo desenvolvimento de um tipo específico de acrílico para impressoras 3D, permite sua esterilização em autoclave. Essa descoberta abre novas possibilidades para a esterilização eficaz de materiais sensíveis, com fins de oferecer maior versatilidade e segurança nos procedimentos clínicos e laboratoriais.¹⁰

3.4 Radiação UVC

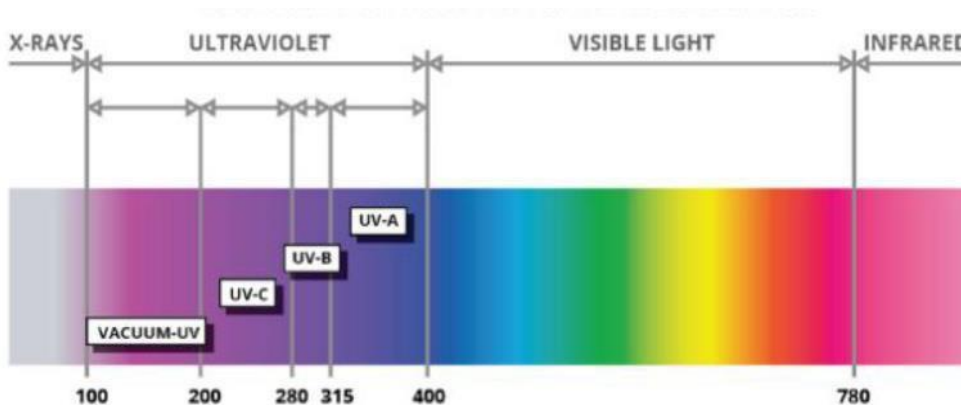
No século XVI, surgiram as primeiras observações concernentes à luz ultravioleta. Em 1801, Ritter notou a presença de raios invisíveis além do espectro

violeta, os quais demonstraram ser mais eficazes na indução de reações químicas.³¹ Estes foram designados como raios desoxidantes, diferenciando-se dos raios de calor, referentes à radiação infravermelha ³¹.

Em 1878, Downes e Blunt publicaram um artigo que descrevia como bactérias podiam ser esterilizadas através da exposição a uma luz de comprimento de onda curto. Desde então, tem sido reconhecido por mais de um século que a luz ultravioleta possui a capacidade de causar mutações no nível celular. ^{32,33}

Mais especificamente, a radiação ultravioleta pode ser classificada em várias faixas de comprimento de onda, sendo o UV de comprimento de onda curto, conhecido como UVC, considerado como UV germicida. A radiação UVC abrange o espectro de comprimento de onda de 200 nm a 280 nm. Seu mecanismo de inativação é direto e a energia absorvida pode induzir defeitos, tal como a formação de dímeros de pirimidina. ^{8,9} Esses dímeros podem interferir na replicação ou na expressão de proteínas vitais, resultando na morte ou inativação do organismo alvo. Na Figura 3 pode-se observar as faixas de radiação eletromagnéticas.

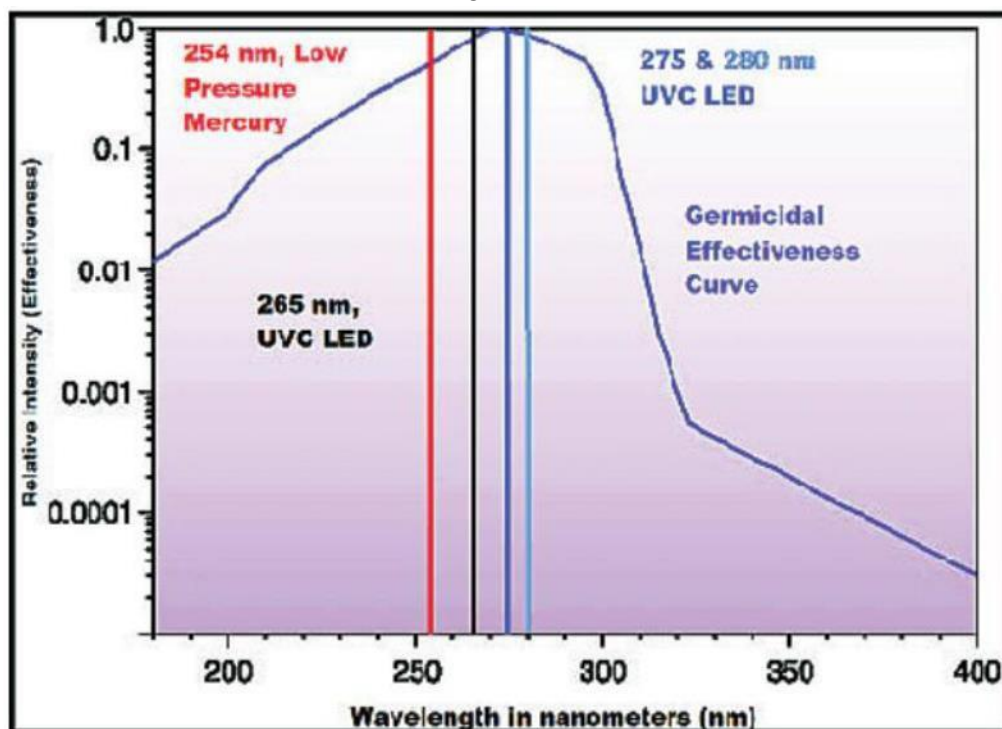
Figura 3 – Espectro eletromagnético. Os comprimentos de onda são dados em nm



Fonte: R. Santhosh and S. Yadav, 2021⁸

A luz UVC com um comprimento de onda específico de 254 nm tem demonstrado eficácia na eliminação ou destruição do DNA de bactérias e vírus, incluindo o SARS-CoV-2. Observa-se na Figura 4 fontes de luz, e respectivos comprimentos de onda, que apresentam potencial ação germicida.

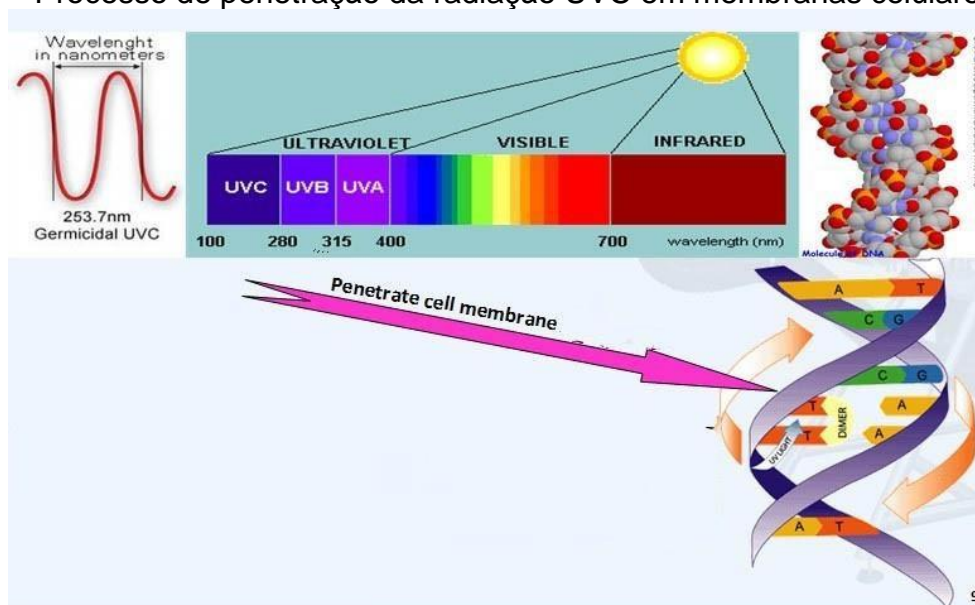
Figura 4 – Relação entre intensidade relativa de UVC e comprimento de ondas em nm



Fonte: R. Santhosh and S. Yadav, 2021⁸

Dado o exposto, cabe complementar que a relação entre a radiação UV e ácidos nucleicos se consolida na capacidade da radiação UVC de causar danos à estrutura do RNA e DNA, de modo afetar sua função e contribuir para processos biológicos como a mutagênese. Quando patógenos são expostos a uma faixa específica de luz, aproximadamente entre 250 nm e 280 nm, certas ligações químicas intracelulares são quebradas, embaralhando a estrutura do DNA, RNA e proteínas, fazendo com que o microrganismo seja incapaz de se replicar. ^{10,11} Apresenta-se na Figura 5 uma exemplificação desse processo.

Figura 5 – Processo de penetração da radiação UVC em membranas celulares



Fonte: Devin Mills. et al 2018.³⁴

No que tange às variáveis que são consideradas para calcular a dose UV adequadas para alcançar os efeitos na eliminação ou destruição do DNA de bactérias e vírus, a literatura evidencia uma equação que descreve a quantidade de energia UV absorvida por unidade de área ao longo de um determinado período de exposição³⁵. Mais especificamente, a potência luminosa proveniente de uma fonte de luz UVC é medida em watts (W), enquanto a irradiância da radiação ultravioleta (UV) é quantificada em W/m^2 . A dose necessária é uma combinação da irradiância e da duração da exposição e é expressa como exposição radiante (J/m^2). Importa dizer que tanto a dose quanto a irradiância desempenham papéis fundamentais na ação germicida.

As lâmpadas UV de ondas curtas e as lâmpadas de mercúrio, projetadas para emitir radiação na região germicida de 254 nm, são semelhantes em termos de funcionamento elétrico às lâmpadas fluorescentes. A principal diferença entre elas reside na ausência de uma cobertura de fósforo, responsável pela produção de luz visível através do processo de fluorescência. Essas lâmpadas podem ser feitas de vidro de bário ou quartzo, materiais que permitem a transmissão de radiação UVC.³⁶ Na Tabela 1, apresenta-se os limites de exposição dos tecidos biológicos, como olhos e peles, para alguns comprimentos de radiação UV.

Tabela 1 – Limites de radiação UV para tecidos biológicos

Comprimento de onda (nm)	Limite de exposição (mJ cm ⁻²)	Comprimento de onda (nm)	Limite de exposição (mJ cm ⁻²)
180	250	310	200
190	160	313	500
200	100	315	100
205	59	316	1300
210	40	317	1500
215	32	318	1900
220	25	319	2500
225	20	320	2900
230	16	322	4500
235	13	323	5600
240	10	325	6000
245	8,3	328	6800
250	7	330	7300
254	6	333	8100
255	5,8	335	8800
260	4,6	340	11000
265	3,7	345	13000
270	3,0	350	15000
275	3,1	355	19000
280	3,4	360	23000
285	3,9	365	27000
290	4,7	370	32000
295	5,6	375	39000
297	6,5	380	47000
300	10	385	57000
303	25	390	68000
305	50	395	83000
308	120	400	100000

Fonte: Mckinlay, A.F. et al., 2004.³⁶

Adiciona-se que a aderência desse método proporciona uma série de benefícios, tais como a necessidade de um tempo reduzido de contato com a superfície tratada, a facilidade de operação para os usuários, custos de instalação e operação moderados e a ausência de interações adversas com outros sistemas químicos e físicos.³⁵ Contudo, sua desvantagem reside na limitada capacidade de penetração, exigindo que os microrganismos estejam diretamente expostos à radiação, sem a presença de obstáculos sólidos, como partículas de poeira. Por outro lado, essa limitação na penetração da radiação UVC em materiais sólidos também a torna especialmente eficaz para a descontaminação de superfícies.³⁶

Resultados de pesquisa evidenciam que a luz UVC causa danos aos ácidos nucleicos (DNA/RNA), sobretudo, por meio da formação de dímeros de timina e pirimidina, juntamente com outros fotoprodutos nucleicos³⁷. Esses danos comprometem a replicação dos ácidos nucleicos, levando à inativação dos microrganismos.³⁸

No entanto, é importante ressaltar que existe uma dose mínima de radiação necessária para expor os microrganismos a danos irreparáveis, impedindo ou dificultando sua regeneração. Esse fenômeno é conhecido como fotorreativação e foi descrito por Kelner e Dulbecco em 1949.³⁸ Especificamente, o mecanismo da fotorreativação varia entre as diferentes espécies microbianas, levando em consideração sua estrutura biológica e a extensão dos danos causados. Em doses elevadas, os patógenos acumulam uma variedade de lesões, incluindo dímeros de pirimidina, que podem impedir sua recuperação. Assim, a capacidade de recuperação depende não apenas da dose inicial de radiação, mas também da dose de fotorreativação e das características biológicas específicas da espécie irradiada.³⁸

Assim, é importante notar que a radiação UVC não produz subprodutos físicos e/ou químicos, o que a torna uma fonte de energia não poluente. Devido à sua baixa capacidade de penetração, ela é mais eficaz em superfícies ou materiais transparentes, sendo preferível sua aplicação próxima ao objeto alvo. As vantagens deste método físico em relação a outros incluem a ausência de exposição de superfícies e materiais a substâncias tóxicas, a inexistência de resíduos perigosos e a possibilidade de realização em baixas temperaturas.³⁷

Embora o método baseado em luz UVC não possa substituir completamente a desinfecção química e térmica em todas as circunstâncias, ele demonstra uma eficácia considerável na desinfecção de ambientes e superfícies em comparação com os métodos mencionados anteriormente.

Diversos fatores físicos, como a distância entre a fonte de radiação e a superfície a ser tratada, bem como o perfil de emissão da própria fonte, desempenham um papel no cálculo do tempo necessário para que uma ferramenta de desinfecção UV seja eficaz contra diferentes tipos de patógenos.³⁹ Adicionalmente, diferentes tipos de superfícies, como porosas ou não porosas, demandam doses de radiação distintas.³⁹

Na Figura 6, apresenta-se um comparativo entre doses de radiação UV para determinados vírus e bactérias.

Figura 6 – Relação entre doses de radiação UV e microrganismos

Bactéria	Dose UV (mWs/cm ²)	Vírus	Dose UV (mWs/cm ²)
<i>Argobacterium lumenfaciens</i>	8,5	Adenovírus Tipo III 3	4,5
<i>Bacillus anthracis</i>	8,7	Bacteriófagos	6,6
<i>Bacillus anthracis</i> (esporos de Antrax)	46,2	Coxsackie	6,3
<i>Bacillus paratyphonsus</i>	6,1	Hepatite A*	3,7
<i>Bacillus subtilis</i>	11	Hepatite Infecciosa	8
<i>Clostridium tetani</i>	23,1	Influenza	6,6
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	6,5	Mosaico do tabaco	440
<i>Dysentery bacilli</i>	4,2	Poliovírus*	7,5
<i>Eberthella typhosa</i>	4,1	Rotavírus	24
<i>Escherichia coli</i>	6,6	Rotavírus SA – 11*	9,9
Espécies de <i>Salmonella</i>	15,2		
Esporos de <i>Bacillus subtilis</i>	22	Protozoários e helmintos	
<i>Legionella bozemanii</i>	3,5	Cistos de <i>Giardia lamblia</i>	100
<i>Legionella pneumophila</i> (doença dos legionários)	12,3	<i>E. histolytica</i>	8,4
<i>Leptospira interrogans</i>	6	Ovos de nematodos	40
<i>Micrococcus candidus</i>	12,3		
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	10	Algas	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (cepas ambientais)	10,5	<i>Chlorella vulgaris</i>	22,0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (cepas laboratoriais)	3,9	Alga azul-verde	420
<i>Salmonella enteritidis</i>	7,6		
<i>Salmonella paratyphi</i> (febre entérica)	6,1	Fungos	
<i>Salmonella typhi</i> (febre tifóide)	7	<i>Aspergillus amstelodami</i>	77
<i>Salmonella typhimurium</i>	15,2	<i>Aspergillus glaucus</i>	88
<i>Sarcina lutea</i>	26,4	<i>Aspergillus Niger</i>	330
<i>Shigella dysenteriae</i> – disenteria	4,2	<i>Penicillium digitatum</i>	88
<i>Shigella flexneri</i> – disenteria	3,4	<i>Penicillium expansum</i>	22
<i>Shigella paradyserteriae</i>	3,4	<i>Rhizopus nigricans</i>	220
<i>Staphylococcus aureus</i>	6,6		
<i>Staphylococcus epidemidis</i>	5,8	Leveduras	
<i>Streptococcus faecalis</i>	10	Levedura do pão	8,8
<i>Streptococcus hemolyticus</i>	5,5	Levedura de cerveja	6,6
<i>Vibrio cholerae</i>	6,5	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	13,2
<i>Vibrio comma</i> (cólera)	6,5	<i>Saccharomyces ellipsoideus</i>	13,2

Fonte: Maria Soler et al, 2020. ⁴⁰

Conforme observado na Figura 6, é necessário administrar dosagens mais elevadas de radiação UVC para inativar efetivamente os patógenos virais.⁴⁰ Em todo caso, para assegurar uma desinfecção de modo seguro, deve-se considerar diversos fatores. Isso inclui uma compreensão detalhada da estrutura do agente patogênico em questão, a determinação precisa da dose ideal de radiação, a distância da fonte de luz à superfície, a avaliação cuidadosa da superfície a ser irradiada e a aplicação adequada do procedimento.⁴⁰

3.5 Boas Práticas na Saúde

Tendo em vista que infecções associadas causadas por agentes patogênicos multirresistentes estão significativamente associadas ao aumento da mortalidade, morbidade e custos excessivos de cuidados de saúde, observa-se uma necessidade em priorizar práticas adequadas na saúde.³⁷

A esterilização e a desinfecção de microrganismos têm sido estudadas sob a luz de teorias e abordagens aprofundadas ao longo dos anos, a fim de se resolver o problema da contaminação. Isso porque, em um ambiente cirúrgico, várias formas de poluentes perigosos, como microrganismos e gases nocivos, são liberadas no ambiente e absorvidas pelo corpo humano por inalação, adsorção ou ingestão.^{4,5} Isso leva a um agravamento de taxas de mortalidade por doenças respiratórias, derrames, câncer de pulmão e distúrbios cardíacos relacionados a esses poluentes.^{4,5}

Quando ambientes cirúrgicos e instalações de saúde não são devidamente esterilizados e desinfetados, há um aumento do risco de infecções hospitalares, complicações pós-operatórias e propagação de doenças infecciosas, o que pode resultar em internações prolongadas, tratamentos adicionais e até mesmo procedimentos cirúrgicos adicionais.⁵ Dessa forma, a esterilização e desinfecção não se consolidam nesse contexto apenas como questões de saúde pública, mas também são questões econômicas porque influenciam diretamente os custos associados aos cuidados médicos que são arcados pelos próprios pacientes e/ou por hospitais, de natureza pública ou privada.

Ante a esse cenário, cabe mencionar que a área da saúde está progressivamente adotando abordagens caracterizadas por serem mais atualizadas, isto é, em consonância com as contribuições científicas mais recentes, e ambientalmente conscientes.⁶ Desse modo, faz-se importante discutir técnicas que possam se apoiar no tripé da saúde pública, economia e sustentabilidade, de modo que permitam a esterilização e desinfecção de forma eficaz, que não gere demasiada poluição ambiental e que atenuie significativamente custos econômicos com internações. Em geral, são conhecidas muitas formas de tratamentos físicos e químicos tradicionais de esterilização e desinfecção, tais como calor seco e úmido, radiação, filtração, óxido de etileno, ozônio, peróxido de hidrogênio, entre outros.

Nessa linha, a gestão e cuidados de artigos semicríticos em centros cirúrgicos são uma das etapas para promover a segurança dos pacientes, equipe médica e demais profissionais envolvidos no processo cirúrgico. Tais artigos podem ser caracterizados como aqueles que entram em contato com as mucosas e pele não íntegra dos pacientes, tais como sondas, endoscópios, laringoscópios e guias cirúrgicos. No Quadro 1, apresenta-se práticas levantadas na literatura que contribuem com a gestão e cuidados de artigos semicríticos em centros cirúrgicos.

Quadro 2 – Levantamento de práticas de gestão e cuidados de artigos semicríticos

PRÁTICA	DESCRIÇÃO
Identificação	Cada artigo deve ter uma etiqueta ou rótulo com informações sobre o seu uso, e última data de desinfecção ou esterilização.
Limpeza	Deve ser realizada imediatamente após o uso, removendo-se todos os resíduos visíveis. É importante seguir as instruções do fabricante quanto aos produtos e métodos de limpeza.
Desinfecção	Trata-se de um processo importante para eliminar microrganismos presentes nos artigos semicríticos. Existem vários métodos de desinfecção, incluindo desinfecção química e desinfecção com vapor.
Esterilização	É realizada em artigos críticos, como instrumentos cirúrgicos. A esterilização pode ser realizada com vapor, óxido de etileno, ou mesmo a utilização de radiação UVC.
Armazenamento	Os artigos semicríticos devem ser armazenados em locais adequados, limpos e secos, para evitar a contaminação. Para evitar danos, deve-se ter cuidado ao empilhar os artigos e manuseá-los.
Monitoramento	Inclui a monitorização da temperatura e do tempo dos ciclos de desinfecção ou esterilização, bem como a validação dos processos de desinfecção ou esterilização.
Treinamento	A equipe do centro cirúrgico deve ser treinada adequadamente nas práticas recomendadas para gestão e cuidados de artigos Semicríticos

Fonte: elaborado pelo autor.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Pesquisa e Descrição de Materiais

Para atender aos objetivos de pesquisa propostos, o presente estudo adotou uma abordagem quantitativa de análise, uma vez que se propõe coletar e analisar dados para medir a desinfecção de microrganismos em guias cirúrgicos. A opção por essa metodologia é embasada em sua capacidade de gerar informações mensuráveis, o que contribui com a acurácia e a objetividade na condução de estudos no campo da saúde.³⁹

Adicionalmente, o estudo também é enquadrado na tipologia experimental e investiga relações de causa e efeito entre variáveis em grupos experimentais. A pesquisa experimental se destaca como a abordagem mais apropriada neste contexto, uma vez que permite controlar fatores externos que poderiam interferir nos resultados. Conforme preconizado em delineamentos experimentais³⁹, a inclusão de um grupo controle é fundamental para permitir comparações adequadas. Neste estudo em questão, foram constituídos seis grupos de comparação, cada um caracterizado como grupo controle ou grupo teste. Os microrganismos avaliados são denominados *Escherichia coli* (*E. coli*) e *Candida albicans* (*C. albicans*).

Quanto à descrição dos microrganismos avaliados, cabe mencionar que, no campo de estudos da Microbiologia, a compreensão das características distintas dos microrganismos permite entender seu comportamento e seu potencial impacto na saúde humana.⁴⁰ No caso da *E. coli*, por sua classificação como bactéria Gram-negativa, identifica-se sua capacidade de se adaptar a ambientes anaeróbicos e aeróbicos, caracterizando-a como uma anaeróbia facultativa. Sua rápida curva de crescimento, variando de 6 a 8 h, torna esta bactéria uma espécie de interesse significativo em estudos microbiológicos.⁴⁰

Por outro lado, *C. albicans*, uma levedura pertencente ao reino dos fungos, também demonstra a capacidade de se adaptar a diferentes condições de oxigenação, sendo considerada uma anaeróbia facultativa⁴⁰. Esses microrganismos, embora distintos em sua classificação taxonômica e estrutura celular, compartilham a característica de serem capazes de prosperar tanto em ambientes anaeróbicos quanto em ambientes aeróbicos, destacando a

versatilidade e a adaptabilidade dos microrganismos em resposta aos desafios ambientais.⁴⁰

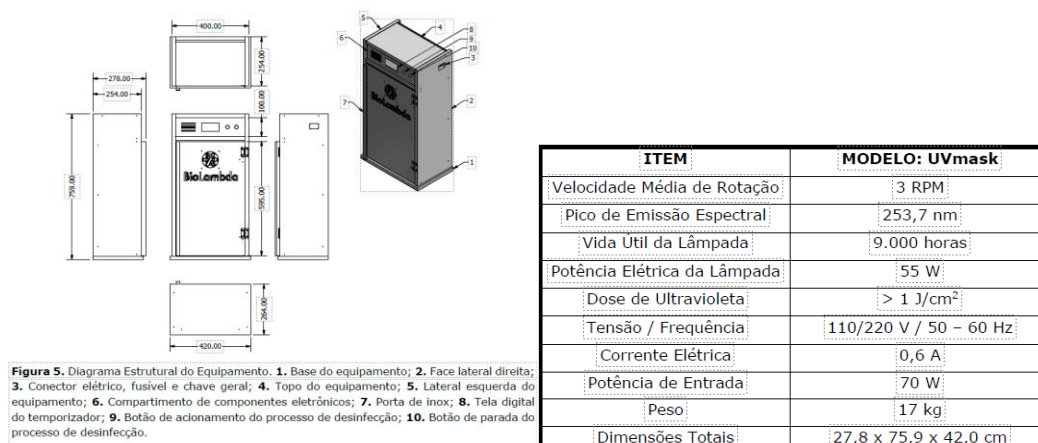
Dada à caracterização dos microrganismos selecionados para a análise, importa dizer que o estudo foi conduzido no laboratório de Terapia Óptica do Centro de Lasers e Aplicações (CELAP) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). A amostra do presente trabalho consistiu em discos impressos em impressora 3D utilizando resina acrílica, que foram testados quanto à sua eficácia de desinfecção.

No que diz respeito aos materiais utilizados, foram empregados os equipamentos: a) impressora 3D; b) cabine de segurança microbiológica Classe II, do tipo A1; c) autoclave; d) estufa; e) balança de precisão; f) espectrofotômetro; g) equipamento irradiador de UVC. Além disso, utilizou-se equipamentos de proteção individual (EPIs), instrumentais, vidrarias, tubos e placas.

Em consonância com o aporte teórico apresentado^{4,5,37}, o delineamento da pesquisa buscou verificar a utilização da luz UVC para desinfecção de materiais acrílicos em relação a 3 aspectos principais: segurança, eficácia e sustentabilidade. Para cumprir esse propósito, etapas de procedimentos experimentais foram conduzidas. Inicialmente, os discos foram preparados seguindo um protocolo específico que pudesse garantir consistência e uniformidade na amostragem. Em seguida, esses discos foram submetidos à exposição à luz UVC, em nível concernente com a literatura³⁶⁻⁴⁰ para propriedades desinfetantes.

O aparelho utilizado foi da marca Biolâmbda, modelo Uvmask tem as seguintes características:

Figura 7 – Dados dos aparelhos de UVC



Fonte: representante da marca Biolâmbda

Após a exposição, amostras foram coletadas e submetidas a uma análise microbiológica, a fim de se avaliar a eficácia do processo de desinfecção. Nessa etapa, a carga microbiana presente nos discos foi quantificada e a identidade das espécies de microrganismos foi determinada, destacando-se especialmente a presença de *E. coli* e *C. albicans*, os microrganismos-alvo do estudo. Em seguida, os resultados obtidos foram submetidos a uma análise para determinar a significância estatística das diferenças observadas entre os grupos experimentais. Com base nessa caracterização dos aspectos gerais concernentes ao estudo, a subseção seguinte foi elaborado com fins de ampliar os esclarecimentos a respeito dos métodos de pesquisa.

4.2 Descrição dos Métodos

4.1.1 Ensaio microbiológicos

Os corpos de prova utilizados neste estudo foram fabricados no Centro de Recursos para Aprendizagem e Investigação (CRAI) da Faculdade de Odontologia – USP (FO-USP). O processo de fabricação envolveu a utilização do *software* Meshmixer para o desenvolvimento dos modelos, seguido pela impressão tridimensional utilizando a impressora 3D FlashForge. A escolha da resina Prizma, da empresa MarkertechLabs, foi motivada pela sua recente disponibilidade e pela sua capacidade de resistir à esterilização por autoclave, proporcionando assim a obtenção de amostras livres de microrganismos.

Uma vez confeccionados, os corpos de prova foram submetidos ao processo de cura utilizando a máquina Anycubic. Os ensaios microbiológicos foram conduzidos no CELAP, que possui infraestrutura adequada para a realização dos procedimentos experimentais. Para avaliar a resposta dos corpos de prova aos microrganismos, foram preparadas placas de agar de *Brain Heart Infusion* (BHI) para *E. coli* e placas de agar Sabouraud para *C. albicans*, nas quais o inóculo obtido foi semeado para os ensaios.

A cepa de *E. coli* utilizada neste estudo foi a ATCC 25922, conhecida por ser um bastonete curto, bactéria Gram-negativa, anaeróbia facultativa e não esporulada, com dimensões que variam entre 1,1 e 1,5 μm . É importante ressaltar que a maioria das células de *E. coli* são móveis devido à presença de flagelos peritríqueos, o que pode influenciar sua interação com os corpos de prova em estudo.⁴²

Já a cepa de *C. albicans* (ATCC10231) é um tipo de levedura,

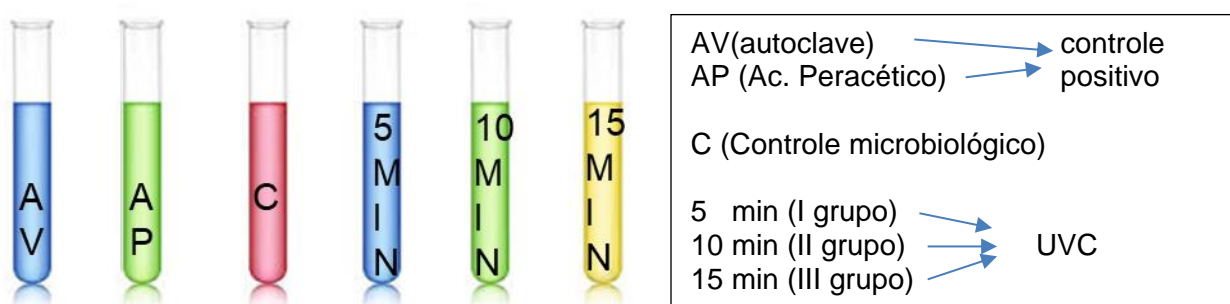
pertencente ao grupo dos fungos e classificado como uma anaeróbia facultativa, pode crescer tanto em ambientes com ou sem oxigênio.⁴³ Suas colônias são caracterizadas por uma morfologia colonial que é úmida, cremosa e muitas vezes possui um odor distintivo. Essas colônias podem apresentar superfícies lisas ou rugosas.

Em nível microscópico, as células de *C. albicans* têm uma forma predominantemente leveduriforme, podendo ser esféricas, ovais ou alongadas.⁴³ O diâmetro dessas células geralmente varia entre 3 e 5 μm .⁴

A partir de estudos disponíveis na literatura foi adaptada uma metodologia para ensaio do experimento.⁴⁴⁻⁴⁷ Mais especificamente, os ensaios microbiológicos foram conduzidos dentro de uma cabine de segurança microbiológica de Classe II tipo A1, equipada com uma lâmpada germicida, com fins de garantir um ambiente controlado e livre de contaminações externas.

Este é um ensaio controlado laboratorial, experimental e comparativo. Foram divididos em 6 grupos conforme a figura abaixo:

Figura 8 – Representação os grupos dos ensaios



Fonte: elaborado pelo autor.

Para preparar o inóculo, utilizou-se uma cultura de *E. coli*, incubada em uma estufa bacteriológica a 37°C durante 16 h, em um tubo Falcon de 15 ml contendo 5 ml de infusão líquida de BHI. Para as amostras de *C. albicans*, o período de incubação foi estendido para 24 h, utilizando-se caldo Saboraud nas mesmas condições.

Após o crescimento, os homogeneizados foram diluídos em solução salina tamponada com fosfato (PBS), com uma concentração de 1/20 para *E. coli* e 1/5 para *C. albicans*. Os discos foram então colocados em placas de Petri devidamente identificadas, e 10 μL do inóculo diluído foram aplicados nos discos correspondentes, sendo deixados secar por 10 min.

Em seguida, as placas identificadas com os números I, II e III foram submetidas à irradiação com luz UVC pelos tempos de 5, 10 e 15 min, respectivamente, utilizando um equipamento fornecido pela empresa Biolambda, equipado com uma lâmpada de baixa pressão de vapor de mercúrio de 18 W, cujo pico de emissão espectral é de $253,7 \pm 1$ nm. A irradiância média é de $11,3 \text{ mW/cm}^2$. Assim, as doses de luz fornecidas foram de 3,39, 6,78 e $10,17 \text{ J/cm}^2$, respectivamente [$D (\text{J/cm}^2) = I (\text{W/cm}^2) \times t (\text{s})$]. Antes do tratamento, o equipamento passou por um ciclo de 10 min para aquecimento interno da cabine.

No grupo tratado com ácido peracético 0,2%, as recomendações do fabricante foram estritamente seguidas, com imersão do disco por 10 min. Quanto ao grupo submetido à autoclavagem, o ciclo de esterilização ocorreu a uma temperatura de 121°C , com o disco embalado em grau cirúrgico. O tempo de ciclo foi estabelecido em 30 min para assegurar que a temperatura permanecesse estável por no mínimo 15 min no interior da autoclave.

A recuperação dos microrganismos presentes nos discos ocorreu por meio da transferência destes para tubos Falcon de 50 ml contendo 1 ml de solução PBS, com um disco de cada grupo em cada tubo. Todos os tubos foram adequadamente identificados e colocados em um agitador por 20 min. Cabe enfatizar que o procedimento de recuperação para *E. coli* e *C. albicans* foi idêntico.

Para a realização da diluição seriada, foram feitas diluições de 10^{-1} até 10^{-5} para *Escherichia coli* e de 10^{-1} até 10^{-4} para *C. albicans*. Os grupos tratados com ácido peracético e autoclave não necessitaram de diluição, portanto, não foram realizados plaqueamentos para esses grupos.

Para cada microrganismo, foram preparadas 12 placas de agar BHI para *E. coli* e 12 placas de agar Saboraud para *C. albicans*. No grupo controle de *E. coli*, foram distribuídos 100 μL das diluições 10^{-3} , 10^{-4} e 10^{-5} , utilizando um swab estéril. Para as placas controle de *C. albicans*, foram distribuídos 100 μL das diluições 10^{-2} , 10^{-3} e 10^{-4} , enquanto nos grupos UVC I, II e III foram utilizadas diluições de 10^{-2} , 10^{-3} e 10^{-4} .

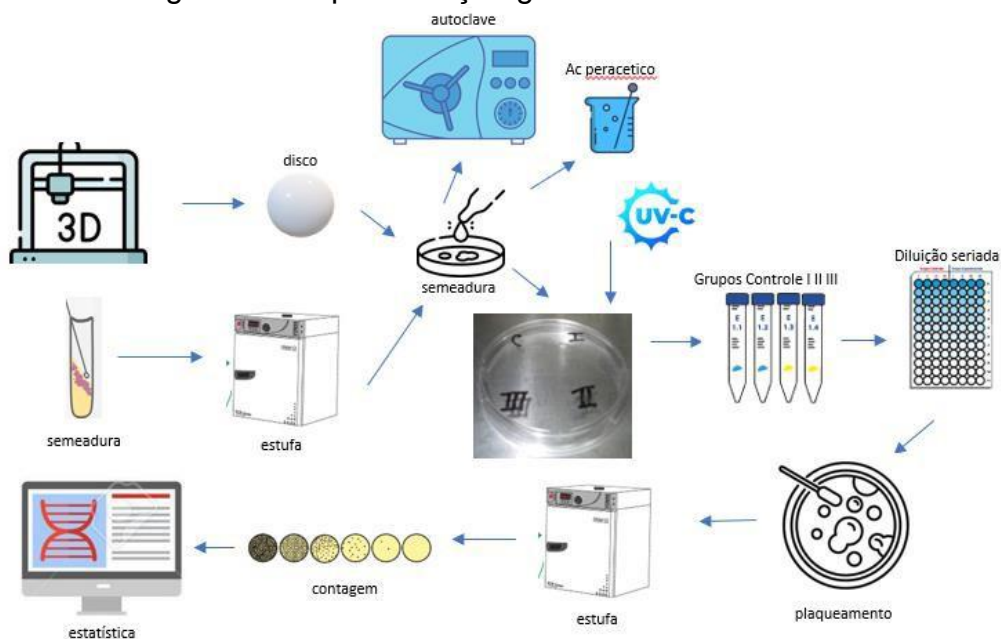
Após o plaqueamento, as placas foram incubadas em uma estufa bacteriológica a 37°C durante 16 h para *E. coli* e 24 h para *C. albicans*. Os valores de UFC/ml foram calculados a partir da contagem das colônias visíveis, ajustadas pelos respectivos fatores de volume e diluição, conforme equação a seguir:

$$\begin{aligned}\text{Volume transferido} &= \text{Volume do diluente} / (\text{Fator de diluição} - 1) \\ \text{Volume total misturado} &= \text{Volume do diluente} + \text{Volume transferido}\end{aligned}$$

Todas as amostras foram plaqueadas em triplicata. A Figura 7 resume o

procedimento experimental.

Figura 9 – Representação gráfica dos ensaios



Fonte: elaborado pelo autor.

4.1.2 Análise morfológica dos corpos de prova por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

As amostras foram analisadas por MEV (TM300®, Tabletop, Hitachi, Japão) em diferentes aumentos (X500, X1000, X1500), para análise qualitativa da morfologia superficial, de discos a-) sem nenhum tratamento, b-) após tratamento com UVC (15 min), c-) ácido peracético 0,2% por 10 min seguido de secagem, e d-) autoclave por 30 min. As amostras não precisaram ser processadas para visualização ao MEV.

Na Figura 10, apresenta-se o equipamento utilizado para análise por MEV.

Figura 10 – Equipamento Tabletop da Hitachi TM300

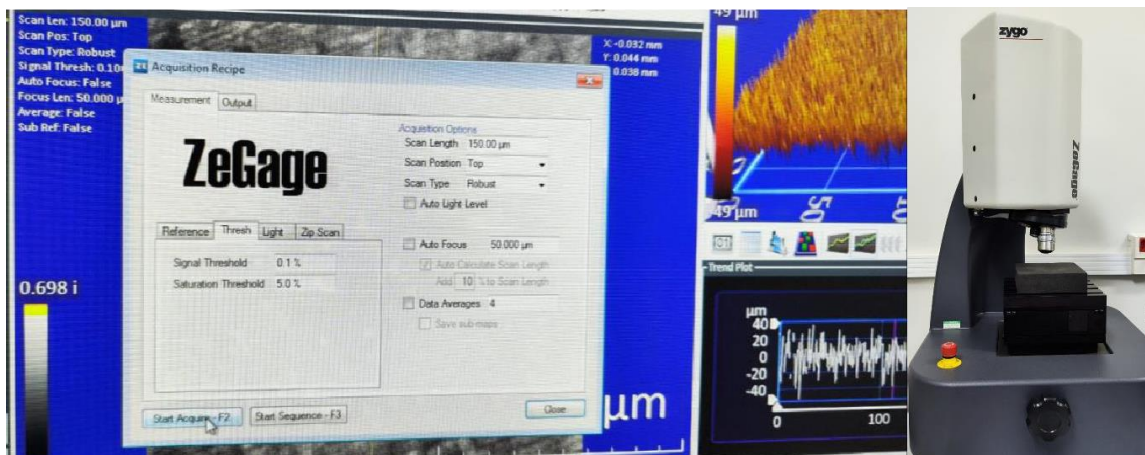


Fonte: elaborado pelo autor.

4.1.3 Análise morfológica dos corpos de prova por perfilometria óptica.

As amostras foram também analisadas por um perfilômetro óptico, marca Zygo, modelo ZeGage 3D (Figura 9), para avaliar a influência dos tratamentos propostos neste estudo (ácido peracético, radiação UVC e autoclave) na topografia da superfície dos discos acrílicos.

Figura 11 – Equipamento Zygo, modelo ZeGage 3D



Fonte: elaborado pelo autor

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a aplicação dos métodos, foi conduzida uma análise dos microrganismos que resistiram à irradiação de UVC sobre os discos impressos em resina utilizando-se dados estatísticos. Esses dados foram calculados utilizando os *softwares* Excel e Jamovi. A Tabela 2 apresenta uma análise estatística descritiva dos efeitos da irradiação de UVC sobre o microrganismo *E. coli* em diferentes períodos de exposição (5, 10 e 15 min), comparados a um grupo controle sem exposição à irradiação.

Tabela 2 – Estatística descritiva referente a análise de *E. coli*

	Controle	5 min	10 min	15 min
N	4	4	4	4
Média	442500	130500	11825	0.00
Mediana	430000	128000	11650	0.00
Desvio-padrão	131498	5686	2692	0.00
Mínimo	330000	127000	9100	0
Máximo	580000	139000	14900	0

Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados apresentados na Tabela 2 evidenciam uma redução significativa na quantidade de *E. coli* após a exposição à UVC, conforme demonstrado pela diminuição da média e da mediana de microrganismos. Adicionalmente, observou-se uma diminuição progressiva no desvio-padrão (DP), indicando uma redução na dispersão dos dados e uma maior consistência nos resultados à medida que o tempo de exposição aumentava. Após 15 min de exposição à UVC, a média e a mediana de unidades de *E. coli* foram reduzidas a zero, sugerindo uma erradicação do microrganismo. Em seguimento, apresenta-se na Tabela 3 os resultados da mesma análise para o microrganismo *C. albicans*.

Tabela 3 – Estatística descritiva referente a análise de *C. albicans*

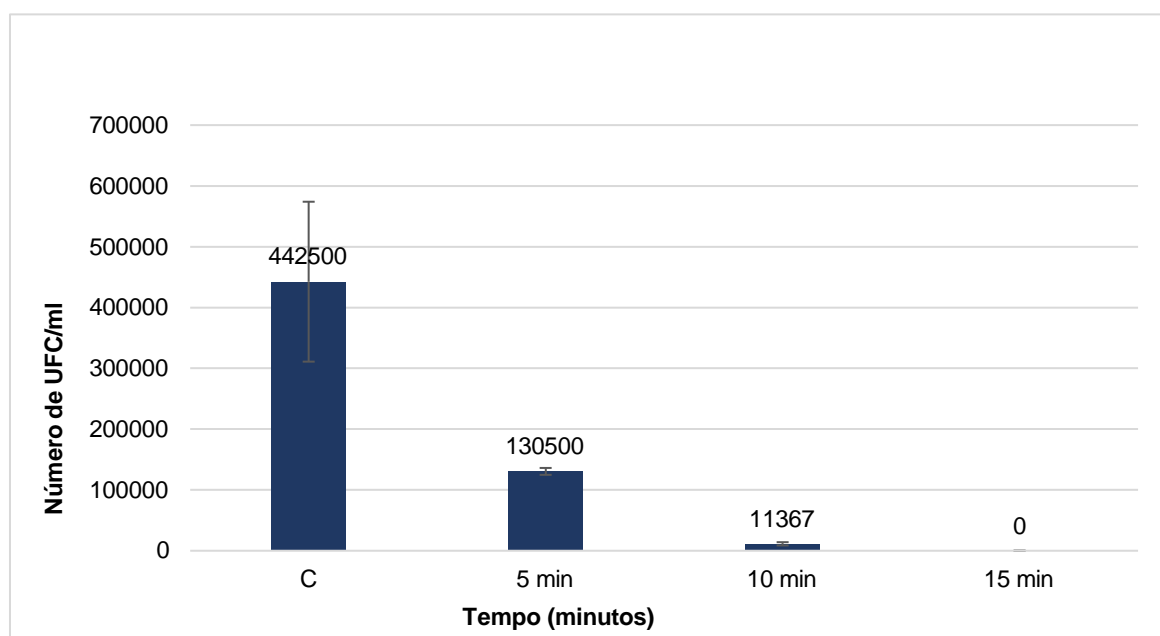
	Controle	5 min	10 min	15 min
N	4	4	4	4
Média	24750	3150	2225	0.00
Mediana	24500	3200	2250	0.00

	Controle	5 min	10 min	15 min
Desvio-padrão	4992	412	532	0.00
Mínimo	20000	2600	1600	0
Máximo	30000	3600	2800	0

Fonte: elaborado pelo autor.

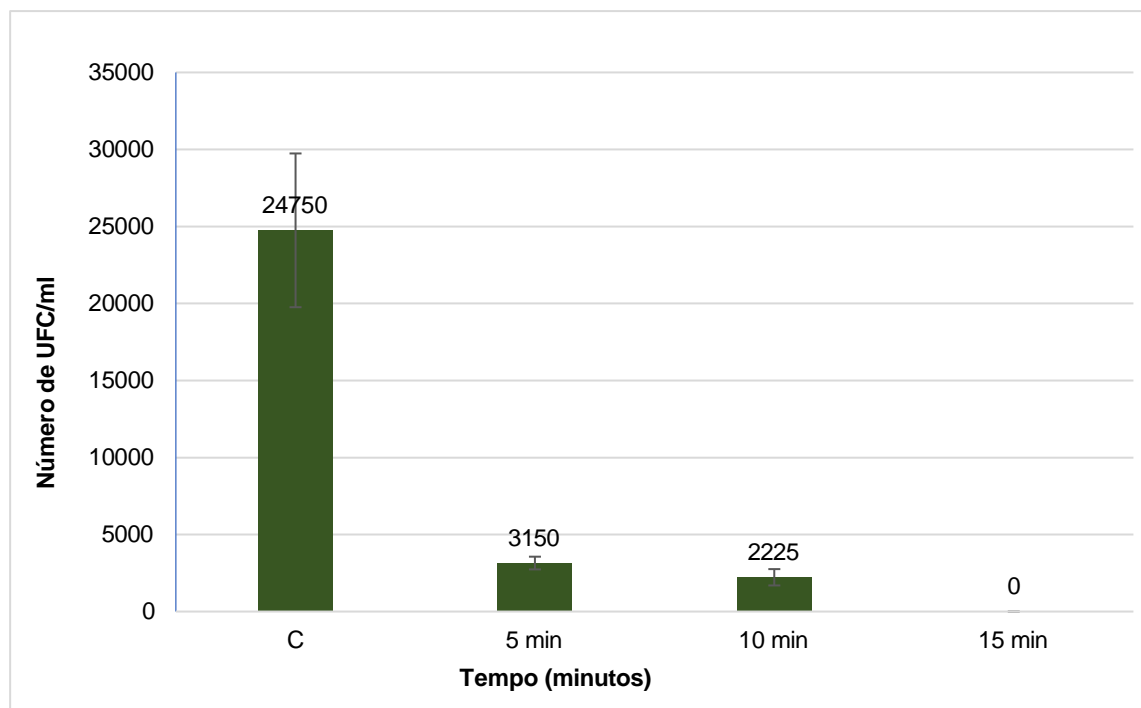
Na Tabela 3, os dados indicam uma redução progressiva na quantidade de *C. albicans* à medida que o tempo de exposição à UVC aumenta. Mais uma vez, isso se reflete na diminuição da média e da mediana das unidades do microrganismo em cada período de exposição, acompanhada por uma redução na dispersão dos dados, conforme evidenciado pela diminuição do desvio-padrão. Em consonância com os resultados obtidos anteriormente, após 15 min de exposição à UVC, a média e a mediana das unidades de *C. albicans* atingiram zero, o que sugere a eliminação do microrganismo. Em complemento, apresenta-se as Figuras 12 e 13, que apresentam graficamente os resultados obtidos.

Figura 12 – Média \pm DP do número de UFC/ml para *E. coli* submetidas à luz UVC.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 13 – Média \pm DP do número de UFC/ml para *C. albicans* submetidas à luz UVC



Fonte: elaborado pelo autor.

Quanto à eficácia na eliminação dos microrganismos, cabe mencionar que a análise revelou que a bactéria *E. coli* mostrou uma redução de cerca de 3 vezes após apenas 5 min de exposição à UVC, demonstrando um declínio biológico constante e gradual, tendendo a zero após 15 min. Da mesma forma, o fungo *C. albicans* apresentou uma redução de aproximadamente 10 vezes após 5 min de exposição à UVC, com pouca diferença observada entre 5 e 10 min, e uma completa redução após 15 min de exposição. Ante a esse resultado, é importante ressaltar que os aportes teóricos que embasam o estudo evidenciam que as bactérias requerem uma menor dose de UVC para inativação do que vírus. Estes, que, por sua vez, necessitam de uma menor dose em comparação com fungos ou leveduras.

Importa dizer que os resultados obtidos são influenciados por diversos fatores experimentais, que precisam ser considerados na presente discussão. Tais como: a) o comprimento de onda; b) a dose de radiação; c) o tempo de exposição; d) o tipo de superfície a ser desinfetada; e) a umidade relativa; f) a temperatura; g) o tipo de fonte luminosa; h) a distância entre a fonte de luz UVC e a amostra; i) a amostra utilizada. Conseqüentemente, torna-se fundamental estabelecer critérios padronizados para os resultados, a fim de promover uma melhor compreensão e

confiabilidade nos estudos futuros relacionados a esse tema.

Importa dizer que os resultados obtidos são influenciados por diversos fatores experimentais, que precisam ser considerados na presente discussão. Tais como: a) o comprimento de onda; b) a dose de radiação; c) o tempo de exposição; d) o tipo de superfície a ser desinfetada; e) a umidade relativa; f) a temperatura; g) o tipo de fonte luminosa; h) a distância entre a fonte de luz UVC e a amostra; i) a amostra utilizada. Conseqüentemente, torna-se fundamental estabelecer critérios padronizados para os resultados, a fim de promover uma melhor compreensão e confiabilidade nos estudos futuros relacionados a esse tema.

Ressalta-se que os resultados obtidos podem ser confrontados com os padrões estabelecidos pela EPA e pela FDA dos Estados Unidos, para verificar a eficácia da desinfecção.

Ao longo do estudo, observou-se que os avanços tecnológicos estão transformando as práticas de saúde em todo o mundo, em especial, as odontológicas, de modo a contribuir com a tomada de decisões precisas e a fabricação de peças personalizadas, como guias cirúrgicos. No entanto, é importante destacar que os instrumentos odontológicos críticos, que entram em contato direto com tecidos moles ou ósseos, devem ser esterilizados adequadamente.

Embora o vapor seja o método preferido para a esterilização de instrumentos médicos e cirúrgicos críticos, a análise de microscopia eletrônica de varredura evidenciou que as resinas acrílicas podem sofrer distorção durante esse processo. Isso significa que, apesar dos avanços tecnológicos, persistem desafios no que concerne à esterilização adequada de instrumentos odontológicos críticos fabricados com resinas acrílicas. Essa constatação sublinha a necessidade de se buscar soluções que minimizem ou eliminem a distorção das resinas acrílicas durante o processo de esterilização para a preservação da integridade dos instrumentos e, conseqüentemente, para a qualidade do cuidado odontológico prestado aos pacientes. Olhando para um horizonte próximo, a Nasa, vem estudando formas de esterilização de instrumentos cirúrgicos no espaço através de radiação UVC. Além de estar trabalhando com a fabricação de instrumentos por impressora 3D que facilita a logística de transporte de material, a luz UVC pode ser uma forma segura de esterilização e não gerar resíduos.⁵²

Por fim, é relevante mencionar que a desinfecção por UVC emerge como alternativa promissora. A luz UVC oferece uma abordagem rápida e eficaz para a desinfecção de superfícies e sistemas de tratamento de ar e água. A literatura corrobora os resultados obtidos no ensaio realizado, conforme evidenciado pelo Quadro 3.

Quadro 3 – Sumário de resultados da literatura para inativação de microrganismos por luz UVC.

Referência	Tempo de irradiação	Objetivo	Redução microbiana
Cadnum, JL BS <i>et al</i> ²⁷	40 min	Verificar a efetividade da UVC (254 nm) para inativar espécies de <i>Candida</i>	4 logs (99,99%) para <i>C. Albicans</i>
Buonanno M <i>et al</i> ²⁸	25 min	Verificar a efetividade da UVC (222 nm) para inativação viral	4 logs (99,99%)
Narita, K <i>et al</i> ²⁹	Variável de acordo com o comprimento de onda e microrganismo	Comparar a efetividade da UVC em 222 nm com UVC em 254 nm para inativação de patógenos humanos (vírus, bactérias e fungos)	UVC (222 nm) apresentou efeito germicida para células bacterianas vegetativas, leveduras e vírus tão eficiente quanto 254 nm. UVC (222 nm) exibiu maior efeito germicida em endosporos bacterianos. O efeito fungicida do UVC de 222 nm contra os esporos e hifas dos fungos foi menor do que o do UVC de 254 nm.
Bispo-dos-Santos <i>et al.</i> ¹⁷	300 s	Verificar a efetividade da UVC (254 nm) em reduzir SARS-CoV-2 em pó de maquiagem e batom	5 logs (99,999%)
Epelle EI, <i>et al</i> ³⁰	15 min	Verificar a efetividade da UVC (254 nm) contra <i>E. coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>C. albicans</i> e <i>Aspergillus fumigatus</i> em substratos de aço inox, polimetilmetacrilato, cobre, máscara cirúrgica, denim e tecido de algodão e poliéster	98,9 a 100%, independente do material e do microrganismo. Para <i>A. fumigatus</i> , redução de 72 a 100%, dependendo do material
Mengmeng, Li <i>et al</i> ³¹	30 min	Verificar a efetividade da UVC-LED (265-278 nm) contra as bactérias <i>Acinetobacter baumannii</i> , <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Klebsiella aerogenes</i> , <i>Klebsiella oxytoca</i> , <i>Serratia marcescens</i> , <i>S. aureus</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Enterococcus faecium</i> , <i>E. coli</i> e <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	99,99%, independente do microrganismo

Fonte: elaborado pelo autor.

A análise do quadro apresentado indica que a eficácia da redução microbiana sob exposição à luz UVC está sujeita a uma variedade de fatores experimentais. Estes incluem o comprimento de onda da radiação, o tempo de exposição, que está diretamente relacionado à potência e irradiância da fonte de luz, a natureza da superfície a ser desinfetada e o tipo de microrganismo. Observa-se ainda que a radiação UVC demonstrou eficácia na inativação de várias espécies de patógenos, abrangendo tanto bactérias quanto vírus, fungos e leveduras.

Assim como na literatura, a autoclave e o ácido peracético se mostraram eficientes métodos de esterilização, onde após a realização dos ensaios, não se observou crescimento de microrganismos (Figura 14).⁵⁰

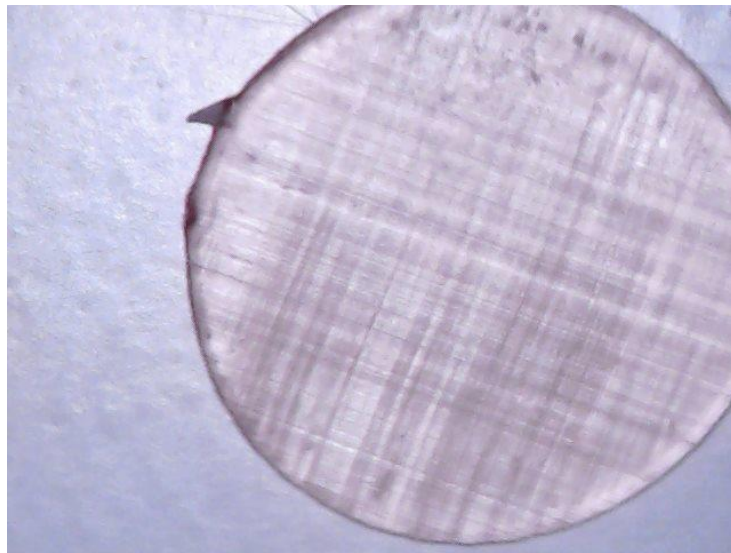
Figura 14: Placas de *E. coli* após tratamento com ácido peracético 0,2% e autoclave.



Fonte: elaborado pelo autor.

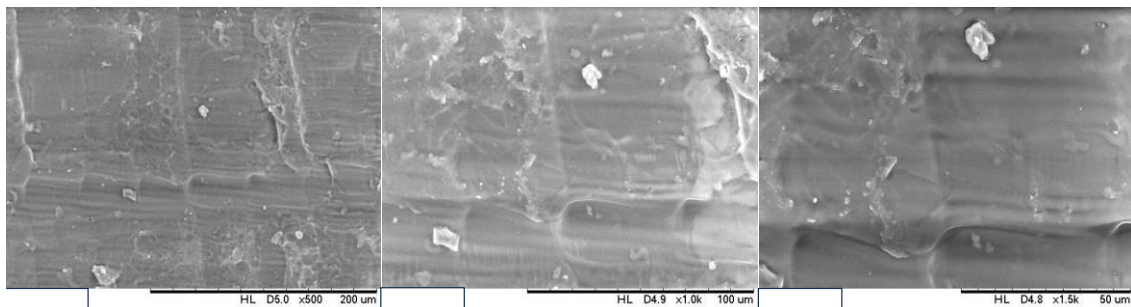
As Figuras 15 e 16 mostram a visualização macroscópica e por MEV de um disco impresso em impressora 3D, respectivamente, sem nenhum tratamento. As imagens adquiridas por MEV mostram superfícies planas e lisas, com algumas irregularidades provavelmente formadas durante a preparação da amostra. As linhas horizontais observadas nas imagens correspondem a camadas individuais formadas durante a impressão.

Figura 15 – Visualização macroscópica de um disco impresso em impressora 3D sem tratamento.



Fonte: elaborado pelo autor

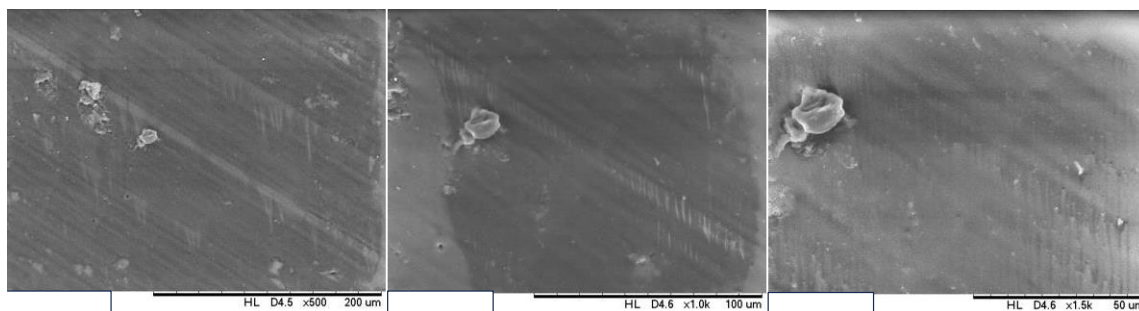
Figura 16 – Elétron-micrografias de discos impressos em impressora 3D sem tratamento.



Fonte: elaborado pelo autor

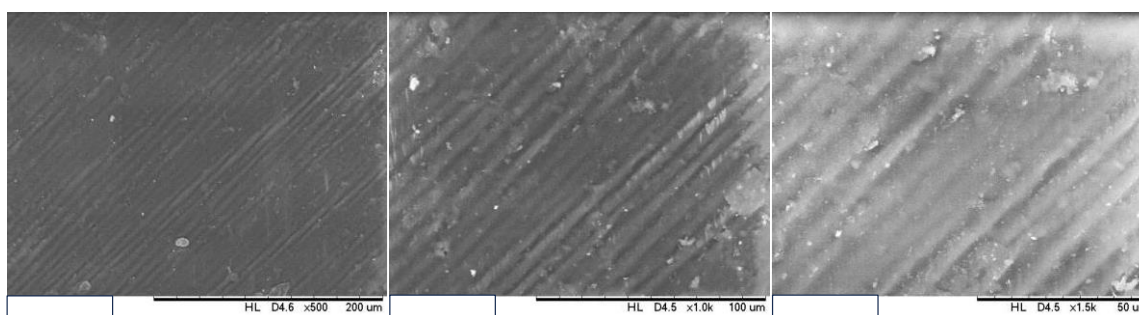
As Figuras 17, 18 e 19 mostram a morfologia dos corpos de prova submetidos ao ácido peracético 0,2% (10 min), UVC (15 min) e autoclave (30 min). Em todas as imagens, observam-se as estrias características do processo de impressão.

Figura 17 – Elétron-micrografias de discos impressos em impressora 3D tratados com ácido peracético.



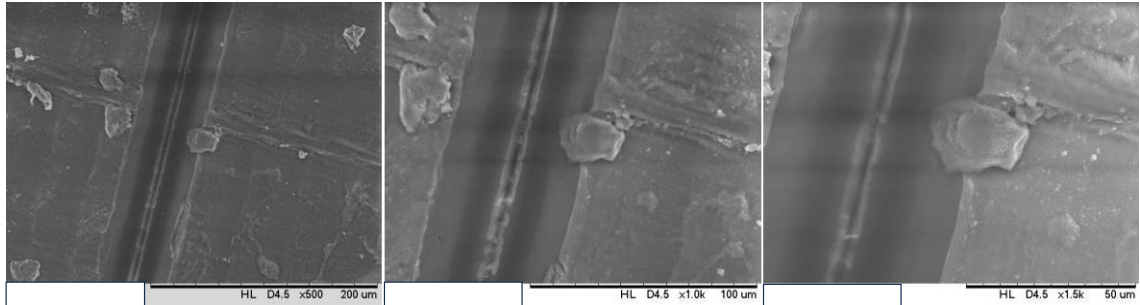
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 18 – Elétron-micrografias de discos impressos em impressora 3D tratados com luz UVC.



Fonte: elaborado pelo autor

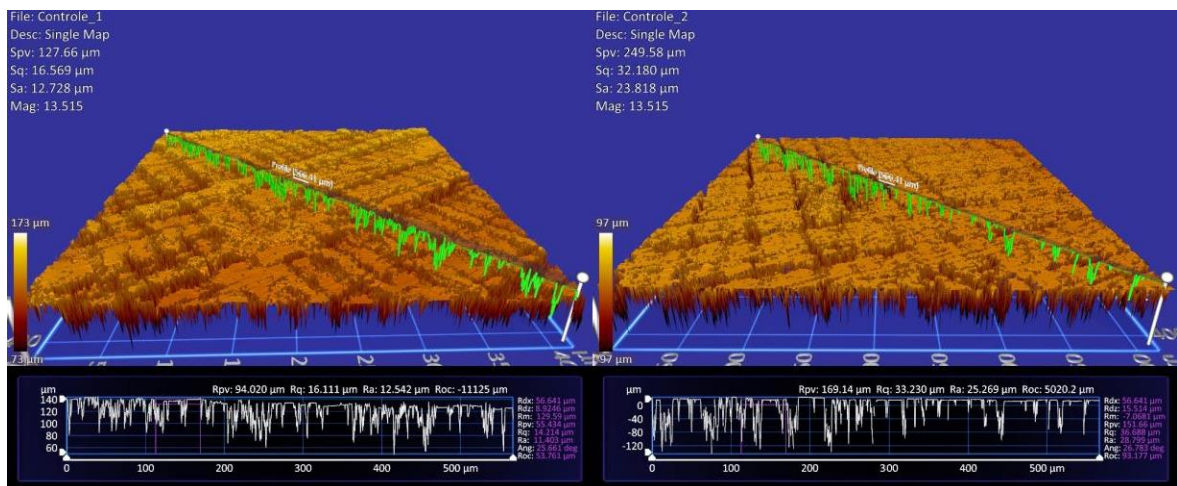
Figura 19– Elétron-micrografias de discos impressos em impressora 3D autoclavados.



Fonte: elaborado pelo autor

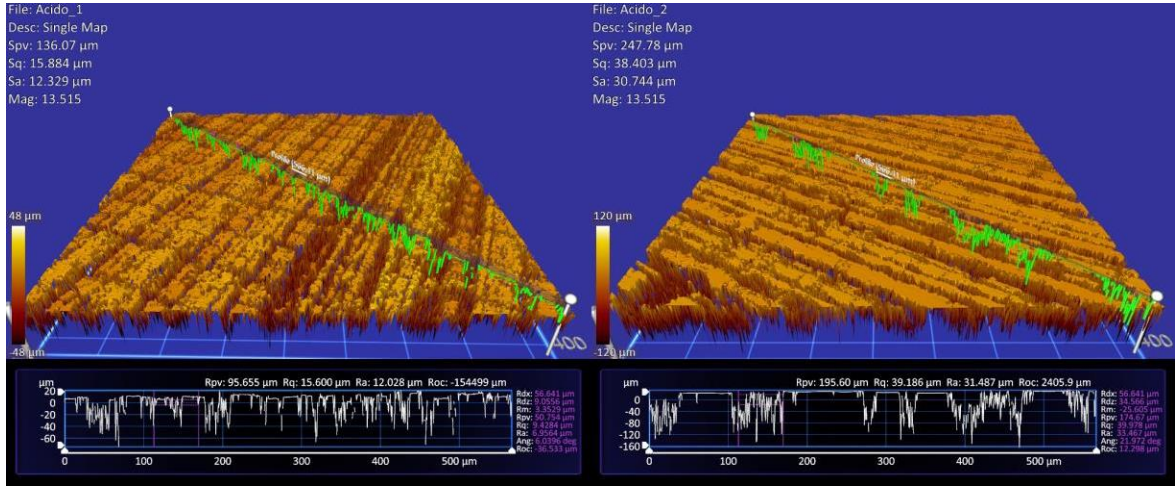
A rugosidade da superfície dos discos foi posteriormente analisada por perfilometria óptica. Provavelmente devido ao processo de impressão, não foi possível estabelecer um padrão e obter uma média da rugosidade para os discos controle sem tratamento e discos tratados (Figuras 20, 21, 22 e 23).

Figura 20 – Micrografias ópticas de discos impressos em impressora 3D sem tratamento.



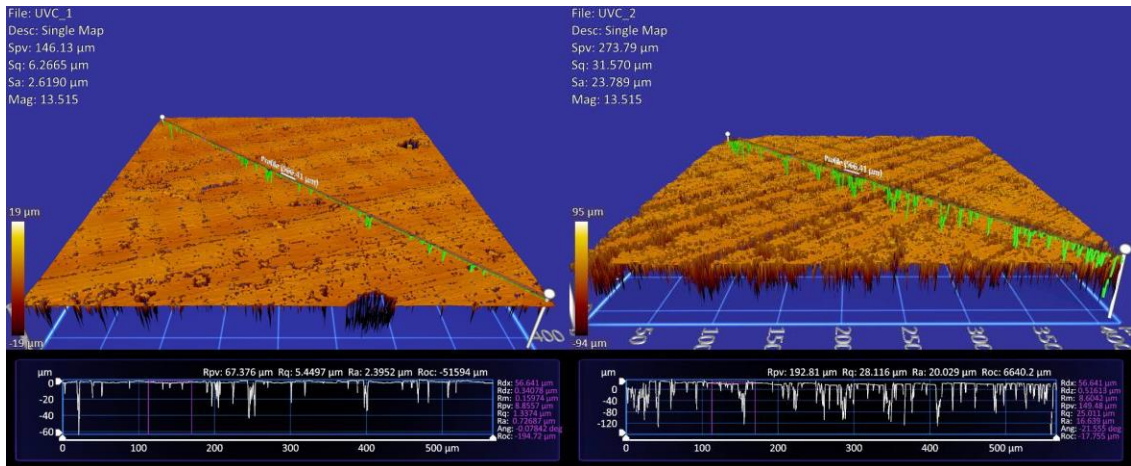
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 21 - Micrografias ópticas de discos impressos em impressora 3D tratados com ácido peracético.



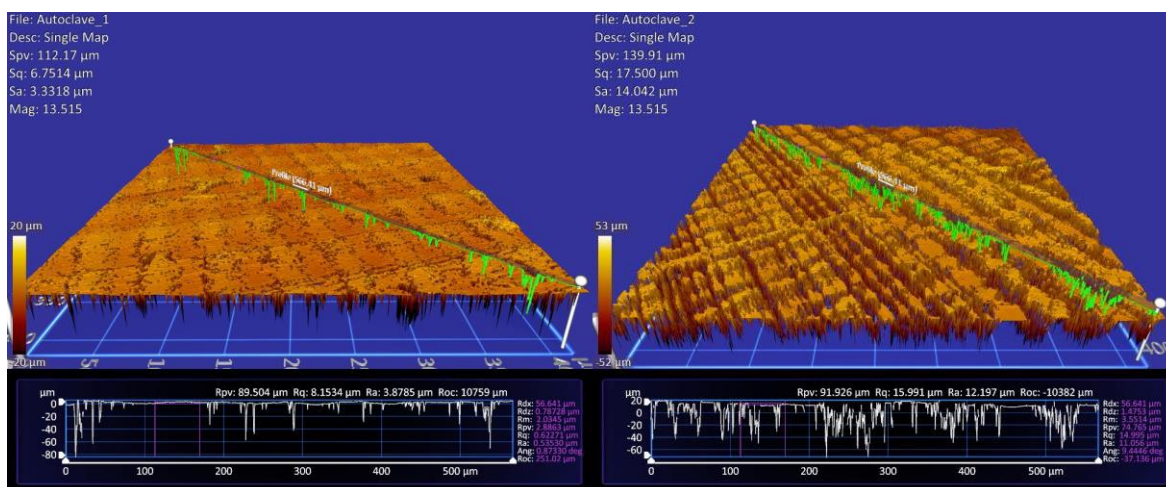
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 22 – Micrografias ópticas de discos impressos em impressora 3D tratados com luz UVC.



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 23 – Micrografias ópticas de discos impressos em impressora 3D autoclavados.



Fonte: elaborado pelo autor

Atualmente, com a expansão do uso da impressão 3D na área de saúde, tornou-se necessário a compreensão dos parâmetros das matérias-primas utilizadas e dos limites de sua usabilidade. A esterilização deste material é um dos pilares para a utilização em cirurgias. Ferramentas físico-médicas como a MEV e a perfilometria óptica mostram que é seguro utilizar estes polímeros para fins de guia cirúrgico, no que tange sua aplicabilidade quanto à resistência, reprodutibilidade e esterilização do material. Eles são de uso único ou no máximo duas vezes utilizados e, por isso, não sofrem modificações morfológicas e topográficas que possam interferir na sua aplicação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo foi consolidado em meio a um quadro em que tecnologias baseadas em UVC têm se destacado como instrumentos importantes no processo de desinfecção de superfícies e ambientes. Dentre o escopo de contribuições acarretadas dessas tecnologias, enfatizou-se a sua capacidade de reduzir a disseminação de agentes infecciosos, como bactérias e fungos, em placas

acrílicas geradas por impressoras 3D, que são utilizadas em ambientes que ocorrem procedimentos de saúde complexos, como cirurgias de implantes dentários.

Observou-se, por meio de levantamentos da literatura, que ainda é essencial compreender como diferentes comprimentos de onda da radiação UVC interagem com os tipos de microrganismos encontrados nesses ambientes. Com fins de levantar indícios que possam ampliar a compreensão do uso da radiação UVC, delimitou-se uma estrutura metodológica experimental, a partir de análises em laboratório, que abrangeu ensaios microbiológicos e aplicação de técnicas de microscopia para análise dos corpos de prova. Tais corpos de prova envolveram grupos experimentais de discos em acrílicos, impressos por tecnologia de impressão 3D, que foram expostos aos microrganismos *E. coli* e *C. albicans*.

Como resultados dos testes de desinfecção por UVC, observou-se uma resposta satisfatória quando expostos a doses adequadas de radiação, apesar das variações na susceptibilidade. Mais especificamente, foi observada completa eliminação do microrganismo após 15 min de UVC. É importante ressaltar que as disparidades nos valores das doses obtidas aqui quando confrontadas com a literatura, estão relacionadas a fatores como a natureza da superfície, a distância entre a fonte de luz UVC e a amostra, bem como o tempo de exposição à radiação.

Embora pareça que o uso de UVC seja simplificado e não demande muitos recursos, quando comparado a outras opções, é fundamental ressaltar que ainda são necessárias mais pesquisas para compreender completamente o potencial do uso dessa tecnologia em ambiente clínico. No mais, os resultados já se configuram como uma contribuição significativa para o campo da Odontologia, tanto do ponto de vista teórico quanto prático.

Sob uma análise mais ampla, esses resultados servem como um estímulo para promover a saúde pública e prevenir a propagação de doenças infecciosas, uma vez que são contrastados com outros achados recentes da literatura concernente ao tema e reforçam a importância da constante busca por avanços na compreensão e aplicação das tecnologias de desinfecção.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitem concluir que a morte microbiana promovida pela radiação UVC em discos de resina acrílica impressos em 3D foi dose-dependente. Após 15 min de irradiação, obteve-se completa eliminação dos microrganismos *E. coli* e *C. albicans*. Resultados similares foram obtidos com o ácido peracético 0,2% (10 min) e autoclave (30 min).

A análise morfológica revelou que o corpo de prova possui camadas de estrias, inerentes ao processo de impressão. Não foram observadas mudanças significativas após tratamentos.

O padrão de rugosidade se mostrou irregular nas diferentes amostras, sugerindo variabilidade na confecção dos discos por manufatura aditiva.

Nosso processo demonstra a necessidade de aprofundar os estudos a respeito da utilização da radiação ultravioleta C na desinfecção de polímeros acrílicos. Etapas futuras nesse campo devem focar no desenvolvimento de sistemas de irradiação UVC mais eficientes e adaptáveis, que permitam uma desinfecção uniforme e completa das superfícies complexas dos polímeros. Além disso, é crucial realizar estudos detalhados sobre a influência da radiação UVC na integridade estrutural e nas propriedades físico-químicas dos polímeros acrílicos a longo prazo, para garantir que o processo de desinfecção não comprometa a durabilidade e a funcionalidade dos materiais. Por fim, a implementação de protocolos padronizados e regulamentações específicas para o uso de UVC na desinfecção de polímeros acrílicos em ambientes cirúrgicos será fundamental para a adoção generalizada e segurança deste processo.


REFERÊNCIAS

1. D'HAESE, J.; ACKHURST, J.; WISMEIJER, D.; BRUYN, H.; TAHMASEB, A. Current state of the art of computer-guided implant surgery. **Periodontol** **2000**, v. 73, n. 1, p. 121-133, 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28000275/>.
2. CRAIG, R.G.; POWERS, J.M. **Materiais Dentários Restauradores**. Santos: Santos Ed., 2004.
3. GANAPATHY, A.; CHEN D.; ELUMALAI, A.; ALBERS, B.; TAPPA, K.; JAMMALAMADAKA, U.; HOEGGER, M.J.; BALLARD, D.H. Guide for starting or optimizing a 3D printing clinical service. **Methods**, v. 206, n.1, p. 41-52, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1046202322001736>.
4. JUNG, S.H.; RYU, C.M.; KIM J.S. Bacterial persistence: fundamentals and clinical importance. **Microbiol. Journal**, v. 57, n. 10, p. 829-835, 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31463787/>.
5. ZIMLICHMAN, E.; HENDERSON, D.; TAMIR, O.; FRANZ, C.; SONG, P.; YAMIN, C.K.; KEOHANE, C.; DENHAM, C.R.; BATES, D.W. Health care-associated infections: a meta-analysis of costs and financial impact on the US health care system. **JAMA Intern Med**. V. 173, n. 22, p. 2039-2046, 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23999949/>.
6. WILLIAM, A. RUTALA, D.M.P.H.; DAVID J.; WEBER, M.D. **Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities update 2019**. 2019. Disponível em: <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/disinfection/>.
7. EUROPEAN COMMISSION. **Potential health effects of exposure to electromagnetic**. 2015. Disponível em: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/members_wg/index_en.htm. Acesso em: 20 fev. 2024.
8. SANTHOS, H. R.; YADAV, S. Low-Cost Multipurpose UV-C Sterilizer box for protection against COVID'19. In: 2021 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS), **Anais [...]**, Coimbatore, India, 2021, pp. 1495-1498. 10.1109/ICAIS50930.2021.9395752,
9. SHE, R.C.; CHEN D.; PAK, P.; ARMANI, D.K.; SCHUBERT, A.; ARMANI, A.M. Lightweight UV-C disinfection system. **Biomed Opt Express**, v. 11, n. 8, p. 4326-4332, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32923046/>.
10. SINHA, R.P.; HÄDER, D.P. UV-induced DNA damage and repair: a review. **Photochem Photobiol Sci**, v.1, n.1, p. 225–236, 2002. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12661961/>.
11. KOIVUNEN J.; HEINONEN-TANSKI H. Inactivation of enteric microorganisms with chemical disinfectants, UV irradiation and combined chemical/UV treatments. *Water Res.*, v. 39, n. 8, p. 1519-1526, 2005. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15878023/>.
12. Roscoe, M.; Meira, J. **Texto de apoio da aula de resina acrílica**. Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, 2019. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/92569/mod_resource/content/1/Texto%20de%20apoio-%20resina%20acr%C3%ADlica.pdf. Acesso em: 15 mar. 2023.
13. GANGULI, A.; PAGAN-DIAZ, G.J.; GRANT L.; CVETKOVIC, C.; BRAMLET, M.; VOZENILEK, J.; KESAVADAS, T.; BASHIR, R. 3D printing for preoperative planning and surgical training: a review. **Biomed Microdevices**, v. 4, n. 20, p. 47-:65. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30078059/>.

14. REVILLA-LEÓN, M.; BESNÉ-TORRE, A.; SÁNCHEZ-RUBIO, J.L.; FÁBREGA, J.J.; ÖZCAN, M. Digital tools and 3D printing technologies integrated into the workflow of restorative treatment: a clinical report. **J Prosthet Dent.**, v. 121, n. 3, p. 1-10, 2018. 10.1016/j.prosdent.2018.02.020.
15. BALLARD, D.H.; TRACE, A.P.; ALI S.; HODGDON, T.; ZYGMONT, M.E.; DEBENEDECTIS, C.M.; SMITH, S.E.; RICHARDSON, M.L.; PATEL, M.J.; DECKER, S.J.; LENCHIK, L. Clinical Applications of 3D Printing: Primer for Radiologists. **Acad Radiol.**, v. 25. n. 1, p. 52-65, 2018. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6404775/>.
16. HUANG, G.; WU, L.; HU, J.; ZHOU, X.; HE, F.; WAN, L. Pan ST. Main Applications and Recent Research Progresses of Additive Manufacturing in Dentistry. **Biomed Res Int.**, v. 24, n. 1, p. 1-39, 2020. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8894006/>.
17. REYMUS, M.; STAWARCZYK, B. In vitro study on the influence of postpolymerization and aging on the Martens parameters of 3D-printed occlusal devices. **J Prosthet Dent.**, v. 220, n.1, p. 827-823, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32444206/>.
18. VÄYRYNEN, V.O.; TANNER, J.; VALLITTU, P.K. The anisotropy of the flexural properties of an occlusal device material processed by stereolithography. **J Prosthet Dent.**, v. 116, n. 5, p. 811-817, 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27312654/>.
19. LIN, C.H.; LIN, Y.M., LAI, Y.L.; LEE, S.Y. Mechanical properties, accuracy, and cytotoxicity of UV-polymerized 3D printing resins composed of Bis-EMA. **J Prosthet Dent.**, v. 123, n. 2 p. 349-54, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31202550/>.
20. REVILLA-LEÓN, M.; BESNÉ-TORRE, A.; SÁNCHEZ-RUBIO, J.L.; FÁBREGA J.J.; ÖZCAN M. Digital tools and 3D printing technologies integrated into the workflow of restorative treatment: A clinical report. **J Prosthet Dent.** v. 121, n.1 p. 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30093121/>.
21. WAGENLEHNER, F.M.E.; DITTMAR, FL. Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis. **The lancet**, v. 12, n. 1, p. 629-655, 2022.
22. O'NEILL, J. Review on antimicrobial resistance, 2014. Disponível em: <http://amr-review.org/>. Acesso em: 21 jan. 2024.
23. BHARTI, B.; LI, H.; REN, Z.; ZHU, R.; ZHU, Z. Recent advances in sterilization and disinfection technology: a review. **Chemosphere**, v. 308, n. 12, p. 1-24, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36165840/>.
24. RAI S, DASH D, AGARWAL N. Introducing the new face of CLSI M100 in 2023: An explanatory review. **Indian J Med Microbiol.** 2023 Nov-Dec;46:100432. doi: 10.1016/j.ijmmb.2023.100432.
25. RUTALA, W.A.; WEBER, D.J. Society for Healthcare Epidemiology of America. Guideline for disinfection and sterilization of prion-contaminated medical instruments. **Infect Control Hosp Epidemiol.** v. 31, n. 2, p. 107-17, 2010. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20055640/>.
26. BHARTI, B.; LI, H.; REN, Z.; ZHU, R.; ZHU Z. Recent advances in sterilization and disinfection technology: a review. **Chemosphere**, v. 308, n. 3, p. 1-15, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36165840/>.
27. WUTZLER, P.; SAUERBREI, A. Virucidal activity of the new disinfectant monopercitric acid. **Letters Appl Microbiol.** v.39, n.2, p. 194-198, 2004. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15242461/>.

28. BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria 122 de 25 de janeiro de 2012**. Disponível em: http://189.28.128.100/dab/docs/legislacao/portaria_122_25_01_2011.pdf. Acesso em: 14 abr. 2024.
29. DOMÍNGUEZ, H. L.; TUROLLA, A; ANTONELLI, M. Disinfection by-products formation and ecotoxicological effects of effluents treated with peracetic acid: a review. **Chemosphere**, v. 213, n. 1, p. 25-40, 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30212717/>.
30. ROYAL COLLEGE OF NURSING. **Is there an alternative to glutaraldehyde? a review of agents used in cold sterilization**: working well initiative. Newcastle: University of Newcastle Medical School, 2002.
31. HOCKBERGER, P. E. History of Ultraviolet Photobiology. **Photochemistry and Photobiology**, v. 76, n. 6, p. 561-579, 2002. Disponível em: <http://photobiology.info/Hockberger.html>.
32. US FOOD AND DRUG. **Ultraviolet (UV) radiation**. 2018. Disponível em: <https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/tanning/ultraviolet-uv-...%E2%80%A2>. Acesso em 07 mai. 2023.
33. PORTAL SANEAMENTO BÁSICO. **Conheça a aplicação UV e os sistemas UV HOD da Atlantium, 2019**. Disponível em: <https://saneamentobasico.com.br/abastecimento-de-agua/aplicacao-uv-sistemas-uv-hod-atlantium>. Acesso em: 29 mar. 2024.
34. MILLS, D. HARNISH DA, LAWRENCE C, SANDOVAL-POWERS M, HEIMBUCH BK. Ultraviolet germicidal irradiation of influenza-contaminated N95 filtering facepiece respirators. **J Infect Control.**, v. 46, n. 7, p. 49-55, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2018.02.018>
35. SESTI-COSTA R.; NEGRÃO C.V.Z.; SHIMIZU J.F.; NAGAI A.; TAVARES R.S.N.; ADAMOSKI D.; COSTA W.; FONTOURA M.A.; DA SILVA T.J.; BARROS A.; GIRASOLE A.; DE CARVALHO M.; TEIXEIRA V.C.; AMBROSIO A.L.B.; GRANJA F.; PROENÇA-MÓDENA J.L.; MARQUES R.E.; DIAS S.M.G. UV 254 nm is more efficient than UV 222 nm in inactivating SARS-CoV-2 present in human saliva. **Photodiagnosis Photodyn Ther.** v. 39, n. 1, p. 1-24, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35843562/>.
36. MCKINLAY, A.F. et al., Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). **Health Physics**, v. 87, n. 2, p. 171-186, 2004. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15257218/>.
37. CHANG, J.C.H.; OSSOFF, S.F.; LOBE, D.C.; DORFMAN, M.H.; DUMAIS, C.M.; QUALLS, R.G.; JOHNSON, J.D. UV Inactivation of Pathogenic and Indicator Microorganisms. **Applied and environmental microbiology**, v.49, n.6, p. 1361-1365, 1985. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC241729/>.
38. CUTLER, T.D.; ZIMMERMAN, J.J. Ultraviolet irradiation and the mechanisms underlying its inactivation of infectious agents. **Anim Health Res. Ver.**, v. 1, [s.n.], p. 15–23, 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21676338/>.
39. GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. UFRGS/UAB, Brasília-DF: UFRGS/UAB, 2009.
40. SOLER M, SCHOLTZ A, ZETO R, ARMANI AM. Engineering photonics solutions for COVID-19. **APL Photonics**. 2020 Sep 1;5(9):090901. doi: 10.1063/5.0021270.
41. LACERDA, J. A. S. **Utilização da radiação ultravioleta (UV-C) visando a atenuação da ecotoxicidade em fluidos de teste hidrostático e hibernação de dutos na indústria de petróleo e gás**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória/ES – 2010.

42. WEF. **Wastewater Disinfection**: manual of practice. New York: Water Environment Federation, 1996.
43. TORTOTA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C.L. **Microbiologia**. 8 ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.
44. RIBEIRO, E. L. **Leveduras de *Candida* isoladas da boca de crianças com Síndrome de Down: aspectos fenotípicos, relação intrafamiliar e perfil de imunoglobulinas**. 2008. 129 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
45. YANG, J.H.; WU, U.I.; TAI, H.M.; SHENG, W.H. Effectiveness of an ultraviolet-C disinfection system for reduction of healthcare-associated pathogens. **J Microbiol Immunol Infect.**, v. 52, n. 3, p. 487-493, 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28951015/>.
46. NING, P.; HAN, Y.; LIU, Y.; LIU, S.; SUN, Z.; WANG, X.; WANG, B.; GAO, F.; WANG, Y.; WANG, Y.; GAO, X.; CHEN, G.; LI, X. Study on disinfection effect of a 222-nm UVC excimer lamp on object surface. **AMB Express.**, v. 13, n. 7, p. 102-115, 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37752386/#:~:text=Our%20data%20demonstrate%20that%20the,disinfection%20effect%20under%20identical%20conditions.>
47. SZETO, W., YAM, W.C., HUANG, H. The efficacy of vacuum-ultraviolet light disinfection of some common environmental pathogens. **BMC Infect Dis.**, v. 20, n. 127, p. 1-9, 2020. Disponível em: <https://bmcinfectdis.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12879-020-4847-9#:~:text=High%2Denergy%20vacuum%2DUV%20light,inactivating%20the%20re%20plication%20of%20microorganisms.>
48. BISPO-DOS-SANTOS, K.; BARBOSA, P.P.; GRANJA, F.; MARTINI, M.C.; OLIVEIRA, C.F.S.; SCHUCK, D.C.; BROHEM, C.A.; ARNS, C.W.; HARES JUNIOR, S.J.; SABINO, C.P.; PROENCA-MODENA, J. L. Ultraviolet germicidal irradiation is effective against SARS-CoV-2 in contaminated makeup powder and lipstick. **J Photochem Photobiol.**, v. 8, n. 1, p. 1-7, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34635881/>.
49. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Interim guidance e review for products adding residual efficacy claims**. 2022. Disponível em: <https://www.epa.gov/pesticide-registration/interim-guidance-reviewproducts-adding-residual-efficacy-claims>.
50. US CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. A rational approach to disinfection and sterilization. 2022. Disponível em: <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/disinfection/rationalapproach.html>. Acesso em: 24 fev. 2024.
51. YANG, J.H.; WU U.I.; TAI, H.M.; SHENG, W.H. Effectiveness of an ultraviolet-C disinfection system for reduction of healthcare-associated pathogens. **J Microbiol Immunol Infect.** v. 52, n. 3, p. 487-493, 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28951015/>.
52. KOVALSKI E.; SALAZAR L.; LEVIN D.; KAMINE TH. A 3D-Printed Portable Sterilizer to Be Used During Surgical Procedures in Spaceflight. **Aerosp Med Hum Perform.** 2023 Nov 1;94(11):857-860. doi: 10.3357/AMHP.6294.2023.
53. ZHAO, X.; ZHANG, T.; ZHOU, Y.; LIU, D. **Preparation of peracetic acid from hydrogen peroxide part I: kinetics for peracetic acid synthesis and hydrolysis**. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, v. 271, n. 1, p. 246–252, 2007.



INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Diretoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Ensino
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária CEP: 05508-000
Fone (11) 2810-1570 ou (11) 2810-1572
SÃO PAULO – São Paulo – Brasil
<http://mprofissional.ipen.br>

O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) é uma Autarquia vinculada à Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Governo do Estado de São Paulo e gerida técnica e administrativamente pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), órgão do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) do Governo Federal.

