



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA**  
**BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**GABRIEL FREDERICO NOVAES**

**RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA UV-C NA DESINFECÇÃO E ESTERILIZAÇÃO**  
**MICROBIOLÓGICA: UMA REVISÃO**

**SERRA TALHADA-PE**  
**2024**

GABRIEL FREDERICO NOVAES

**Radiação eletromagnética UV-C na desinfecção e esterilização microbiológica:  
uma revisão**

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, em exigência para obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Luiza da Silva.

SERRA TALHADA-PE  
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

N936r Novaes, Gabriel Frederico  
Radiação eletromagnética UV-C na desinfecção e esterilização microbiológica: uma revisão / Gabriel Frederico Novaes. - 2024.  
43 f. : il.

Orientadora: Ana Luiza da Silva.  
Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco,  
Bacharelado em Ciências Biológicas, Serra Talhada, 2024.

1. Desinfecção. 2. Esterilização. 3. Microrganismos patogênicos. 4. Radiação UV-C. I. Silva, Ana Luiza da, orient. II. Título

CDD 574

---

GABRIEL FREDERICO NOVAES

**Radiação eletromagnética UV-C na desinfecção e esterilização microbológica:  
uma revisão**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas, da Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UAST, da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas.

BANCA EXAMINADORA:

---

Professora Doutora Ana Luíza da Silva (Presidente/Orientadora)  
UFRPE/UAST

---

Professora Doutora Cássia Lima Silva Gusmão (2º titular)  
UFRPE/UAST

---

Professor Doutor Eduardo Henrique da Silva Ramos (3º titular)  
UFRPE/UAST

*Dedico à minha mãe por todo o esforço que empregou para me inspirar a nunca desistir, mesmo nos momentos mais desafiadores, e a encorajar-me a concluir este ciclo com determinação e gratidão. E ao meu irmão Giordano Bruno Novaes (in memoriam), por todo o companheirismo e apoio nas mais diversas fases da minha vida.*

## AGRADECIMENTOS

Gratidão ao ser supremo por guiar-me com amor e sabedoria em cada passo da minha jornada.

Aos meus pais João de Sá Novaes e Mazarele Iolanda de Souza Novaes, por sempre acreditarem em mim e serem os maiores incentivadores do meu crescimento e sucesso.

Aos meus irmãos Gustavo Henrique Novaes e Giordano Bruno Novaes (*in memoriam*), que, apesar das adversidades, sempre demos o sangue um pelo outro.

À minha avó Iolanda de Souza Novaes, por todo o suporte, palavras de sabedoria e experiências compartilhadas, e à minha tia e madrinha, Marluce Iolanda de Souza, por toda a ajuda e encorajamento ao meu crescimento pessoal.

À Priscila Santos, por toda ajuda e companheirismo nessa reta final, suporte psicológico nos meus piores momentos e por me incentivar a concluir e encerrar esse ciclo.

À todos os amigos e colegas que compartilharam momentos comigo e contribuíram para minha chegada até aqui.

À minha professora Dr. Ana Luiza da Silva, pela orientação e dedicação ao meu crescimento acadêmico.

À todos os professores da graduação, que ao transmitir seus conhecimentos moldaram-me no profissional que sou hoje.

E à Universidade Federal Rural de Pernambuco, por toda a estrutura e oportunidade que tornou possível a minha formação.

***“Verum, sine mendatio, certum et verissimum:***

***Quod est inferius est sicut quod est superius, et quod est superius est sicut quod est inferius, ad perpetranda miracula rei unius.***

***Et sicut res omnes fuerunt ab uno, meditatione unius, sic omnes res natae ab hac una re, adaptatione.***

***Ascendit a terra in coelum, iterumque descendit in terram, et recipit vim superiorum et inferiorum.***

***Sic habebis Gloriam totius mundi. Ideo fugiet a te omnis obscuritas.”***

**-Tábua de Esmeralda (Hermes Trismegisto).**

## RESUMO

A melhor ação para a redução dos riscos de contaminação por microrganismos patogênicos é a utilização de medidas de prevenção, principalmente a higienização e descontaminação de ambientes, alimentos, objetos, entre outros. Geralmente, utiliza-se germicidas químicos para promover tais ações, contudo, esse método pode não ser tão eficiente. Por isso, novas tecnologias são necessárias, uma delas é a utilização da radiação no espectro do ultravioleta de ondas curtas (UV-C), um método que vem sendo reconhecido como bastante eficaz para descontaminação de diversas superfícies. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi registrar as recentes aplicações na desinfecção e esterilização microbiológica utilizando a radiação eletromagnética UV-C, através de uma Revisão Integrativa de Literatura. As plataformas utilizadas para o levantamento dos trabalhos foram: *Google Scholar*, *Web of Science* e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS). Foi escolhida a seguinte questão para nortear a pesquisa: "Quais as recentes e eficazes aplicações da radiação UV-C na desinfecção e esterilização de microrganismos em diferentes áreas, e seus principais avanços e desafios?". Após o levantamento, 525 trabalhos foram analisados, dos quais selecionou-se 100 para serem lidos completos, e, ao término da análise, 30 trabalhos foram incluídos e apresentados nesta revisão. Os resultados foram organizados em um quadro sinóptico que apresenta a síntese dos estudos selecionados. Todos os trabalhos analisados apresentaram resultados promissores no que diz respeito a inativação de microrganismos em diferentes contextos utilizando a radiação ultravioleta de ondas curtas (UV-C). Essa revisão fornece uma base sólida para a implementação de práticas de desinfecção e esterilização baseadas em UV-C em uma ampla variedade de cenários, contribuindo significativamente para a prevenção da disseminação de doenças infecciosas e para a promoção da segurança sanitária e saúde pública.

**Palavras-chave:** Desinfecção, esterilização, microrganismos patogênicos, radiação UV-C.

## ABSTRACT

The best action to reduce the risks of contamination by pathogenic microorganisms is the use of prevention measures, mainly the hygiene and decontamination of environments, food, objects, among others. Generally, chemical germicides are used to promote such actions, however, this method may not be as efficient. Therefore, new technologies are necessary, one of which is the use of radiation in the shortwave ultraviolet spectrum (UV-C), a method that has been recognized as very effective for decontaminating various surfaces. Therefore, the objective of this work was to record recent applications for microbiological disinfection and sterilization using UV-C electromagnetic radiation, through an Integrative Literature Review. The platforms used to survey the works were: Google Scholar, Web of Science and Virtual Health Library (VHL). The following question was chosen to guide the research: "What are the recent and effective applications of UV-C radiation in the disinfection and sterilization of microorganisms in different areas, and their main advances and challenges?". After the survey, 525 works were analyzed, of which 100 were selected to be read in full, and, at the end of the analysis, 30 works were included and presented in this review. The results were organized in a synoptic table that presents the synthesis of the selected studies. All the works analyzed presented promising results regarding the inactivation of microorganisms in different contexts using shortwave ultraviolet radiation (UV-C). This review provides a solid basis for implementing UV-C-based disinfection and sterilization practices in a wide variety of scenarios, contributing significantly to preventing the spread of infectious diseases and promoting health security and public health.

**Keywords:** Disinfection, sterilization, pathogenic microorganisms, radiation UV-C.

## LISTA DE FIGURAS

**FIGURA 1.** Comprimento eletromagnético da radiação UV-C.....16

**FIGURA 2.** Fluxograma prisma com as etapas de seleção dos artigos incluídos na revisão.....19

## LISTA DE TABELA

<b>QUADRO 1.</b> Quadro sinóptico que apresenta a síntese dos trabalhos analisados, evidenciando os principais resultados.....	20
--	----

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	13
2.1 Desenvolvimento e riscos de microrganismos patogênicos.....	13
2.2 Principais meios de controle de microrganismos.....	14
2.3 Processos químicos e físicos de desinfecção e esterilização.....	15
2.4 Radiação ultravioleta de ondas curtas (UV-C).....	16
<b>3 MATERIAL E MÉTODO</b> .....	17
<b>4 RESULTADOS</b> .....	18
<b>5 DISCUSSÃO</b> .....	30
5.1 Aplicações da tecnologia uv-c no setor da saúde e em ambientes hospitalares.....	30
5.2 Aplicações da tecnologia UV-C no tratamento de água.....	32
5.3 Aplicações da tecnologia UV-C na indústria alimentícia.....	33
5.4 Aplicações da tecnologia UV-C em lugares públicos.....	34
5.5 Aplicações da tecnologia UV-C em objetos .....	35
5.6 Aplicações da tecnologia UV-C em combinação com outros produtos.....	35
5.7 Desafios e inovações da radiação UV-C em patógenos.....	36
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	37
<b>7 REFERÊNCIAS</b> .....	37

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história muitas epidemias marcaram e mudaram a ciência, economia e sociedade de suas épocas (SENHORAS, 2020). Recentemente, a pandemia de covid-19 doença transmitida pelo SARs-COV-2, provocou perdas incontáveis e irreversíveis no mundo todo. No cenário atual, essa e outras doenças encontram-se mais controladas devido à vacinação e também à tomada de medidas de higienização e sanitização de ambientes (CARVALHO *et al.*, 2022). É essencial que tais ações permaneçam em desenvolvimento constante para evitar que tanto a covid-19, como diversas outras doenças existentes venham a proliferar, continuem sendo transmitidas e outra pandemia aconteça novamente.

Sendo assim, a melhor ação para isso é o estudo de novas tecnologias para redução dos riscos de contaminação por vírus e bactérias, utilizando medidas de prevenção, principalmente a descontaminação de ambientes, alimentos e objetos. Geralmente, utiliza-se germicidas solúveis e químicos para promover tais ações, como álcool em gel e líquido, soluções de hipoclorito de sódio, entre outros, contudo, esses métodos podem não ser tão eficientes, como por exemplo, para higienizar eletrônicos (BOIGUES *et al.*, 2020).

Esses germicidas também podem promover riscos à saúde humana pelo seu manuseio incorreto, e deixar resquícios de subprodutos tóxicos em água e alimentos processados (COELHO *et al.*, 2015), além disso, o uso excessivo e inadequado desses produtos pode levar ao desenvolvimento de microrganismos resistentes, prejudicando a sua eficácia a longo prazo (REIS *et al.*, 2011). Por isso, novas tecnologias de desinfecção e esterilização vêm sendo estudadas, uma delas é a utilização da radiação no espectro do ultravioleta de ondas curtas (UV-C) (SILVA; REED, 2010; SILVA *et al.*, 2020; BARBOSA *et al.*, 2021; BRITO, 2023).

A luz UV-C transmite ondas que se situam entre 200nm e 280nm e é considerada a maior causadora de danos devido a capacidade de destruição a nível microbiológico, e por isso é denominada de “faixa germicida” (LARA, 2020; SILVA *et al.*, 2020). A sua atuação como desinfetante, descontaminando superfícies é atribuída às mutações que a alta dose dessa radiação é capaz de promover nos ácidos nucleicos dos microrganismos, acarretando dano ao seu material genético e assim, interferindo no seu ciclo reprodutivo (CARVALHO *et al.*, 2022). Portanto, é um método

que vem sendo reconhecido como bastante eficaz para desinfecção e esterilização em diversos cenários (MOMESSO, 2020; PESSÔA *et al.*, 2021). Diante disso, o objetivo deste trabalho foi registrar as recentes aplicações na desinfecção e esterilização microbiológica utilizando a radiação eletromagnética UV-C, através de uma Revisão Integrativa de Literatura. É essencial que toda pesquisa seja fundamentada em fatos e evidências científicas, por isso, a revisão integrativa emerge como uma ferramenta elucidativa, proporcionando suporte na compreensão da temática, na coleta de dados e no estabelecimento de fundamentos científicos ao sintetizar conhecimentos na área (SOUZA; SILVA; CARVALHO, 2010).

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Desenvolvimento e riscos de microrganismos patogênicos**

Os microrganismos são as primeiras formas de vida descritas na história evolutiva, existindo há bilhões de anos. Ao longo do tempo, adaptaram-se aos mais diversos tipos de ambientes para sobreviverem, desenvolvendo diferentes estratégias (SILVA; SIQUEIRA; SIQUEIRA, 2022). Posteriormente, como se sabe, houve o surgimento de outros seres vivos através do processo evolutivo, contudo, isso não implicou na extinção dos microrganismos, todos os outros seres tiveram que adaptar-se à sua presença para garantirem a suas sobrevivências (SILVA; SIQUEIRA; SIQUEIRA, 2022).

A manutenção das demais formas de vida depende muitas vezes desses seres microscópicos, entretanto, algumas espécies tornaram-se parasitas de outros seres vivos, provocando infecções e doenças, e conseqüentemente prejudicando o estado de saúde do hospedeiro. Essas espécies são denominadas de patogênicas e desde sua descoberta passaram a ter grande importância na área da saúde (SILVA; SIQUEIRA; SIQUEIRA, 2022).

O surgimento do sistema imune no processo evolutivo do ser humano foi uma resposta aos ataques dos microrganismos patogênicos, em uma invasão ao organismo humano, esse sistema atua coletando partes do micróbio, como proteínas específicas, denominadas de antígenos, que serão utilizadas para a produção de anticorpos contra a espécie invasora em uma futura tentativa de infecção (VAZ *et*

*al.*,2014). Os microrganismos patogênicos geralmente são protozoários, vírus, fungos ou bactérias, e podem manter sua capacidade de sobrevivência mesmo fora do hospedeiro, em diferentes tipos de superfície (ROCHA *et al.*, 2021).

Atualmente, a área da microbiologia enfrenta o desafio da descoberta de novos microrganismos patogênicos causadores de doenças infecciosas graves, muitos deles com uma alta capacidade de disseminação e de mutação, ao passo que patógenos antigos estão ressurgindo (DUARTE, 2020; LIMA, 2020; MICHELON, 2021; UJVARI, 2003). A classificação dos microrganismos se dá em quatro categorias de acordo com o grau de risco, apresentadas pelo comitê Advisory Committee for Dangerous Pathogens (2015): risco baixo, que representa microrganismos raramente patógenos em humano; risco médio, são os microrganismos que apesar de serem patógenos, possuem difícil disseminação na comunidade; risco alto, que podem ser agentes de doenças graves em humanos, provocam a disseminação na comunidade, porém, a profilaxia e tratamento normalmente são eficazes; e risco alto individual e para comunidade, são agentes de doenças graves em humanos, há disseminação na comunidade e a profilaxia e tratamento não são eficientes.

## **2.2 Principais meios de controle de microrganismos**

A infecção é um processo que o ser humano se depara desde os primórdios dos estudos médicos (KALIL; COSTA, 1994; SILVA; SIQUEIRA; SIQUEIRA, 2022). Ao longo do tempo e com o avanço do conhecimento microbiológico, as derrotas do homem para os agentes infecciosos têm reduzido cada vez mais. Isso tem sido possível graças à evolução de boas práticas de higiene, limpeza, alimentação, entre outros (KALIL; COSTA, 1994). Todavia, o sucesso do controle do crescimento e disseminação de microrganismos, se dá principalmente às aplicações dentro das áreas das Ciências Biológicas e Saúde, como o estudo da patogênese e do tratamento de doenças infecciosas, e o entendimento e uso de medidas de prevenção destas doenças por meio de desinfecção, esterilização, antissepsia, assepsia e imunização (CHAN *et al.*, 1997; TORTORA; FUNKE; CASE; 2002).

A desinfecção e esterilização são meios utilizados para controlar e reduzir possíveis infecções microbiológicas. Esses métodos podem ser aplicados em diferentes locais e objetos, como em transportes públicos, hospitais, equipamentos

médicos, pisos, sistemas de climatização, elevadores, dispositivos eletrônicos, ambiente doméstico, ambiente escolar, etc. (ROCHA *et al.*, 2021). Apesar de serem usados frequentemente como termos sinônimos, desinfecção e esterilização não devem ser confundidos pois agem de maneiras distintas, enquanto a desinfecção elimina apenas microrganismos patogênicos, a esterilização elimina todas as formas de vida microbiana existentes em um determinado local (KALIL; COSTA, 1994).

### **2.3 Processos químicos e físicos de desinfecção e esterilização**

Existem dois tipos de processos pelos quais uma superfície pode ser desinfetada ou esterilizada, os processos químicos ou físicos. Dentro dos processos químicos mais utilizados estão o óxido de etileno, quartenário de amônia, glutaraldeído 2%, formaldeído (solução alcoólica) e formaldeído (solução aquosa 10%) (KALIL; COSTA, 1994; CHAN *et al.*, 1997; TORTORA; FUNKE; CASE; 2002). Os desinfetantes químicos pode apresentar alguns fatores desvantajosos quanto a sua eficácia, como a manipulação incorreta, que pode provocar contaminação bacteriana ou efeito tóxico à pessoa que manipular o produto; diluição do produto durante sua utilização ao longo dos dias; não são eficazes para higienizar eletrônicos; além da preocupante resistência microbiana a esses produtos, um problema que tem sido evidente em instituições de saúde pelo uso inadequado de desinfetantes (REIS *et al.*, 2011; PAIVA *et al.*, 2014).

Dentre os agentes físicos estão o calor, filtração e radiação (KALIL; COSTA, 1994; CHAN *et al.*, 1997; TORTORA; FUNKE; CASE; 2002; PACHECO, 2012). A utilização de calor é um método que pode ser realizado através de fervura, autoclavagem, que refere-se a esterilização a vapor sob pressão, e pasteurização, que é aplicada na forma de calor e resfriamento em temperaturas específicas (PACHECO, 2012; CHRISTEN *et al.*, 2013). A filtração é aplicada através de membranas porosas que podem remover partículas e microrganismos de uma solução (ROSSEL *et al.*, 2020).

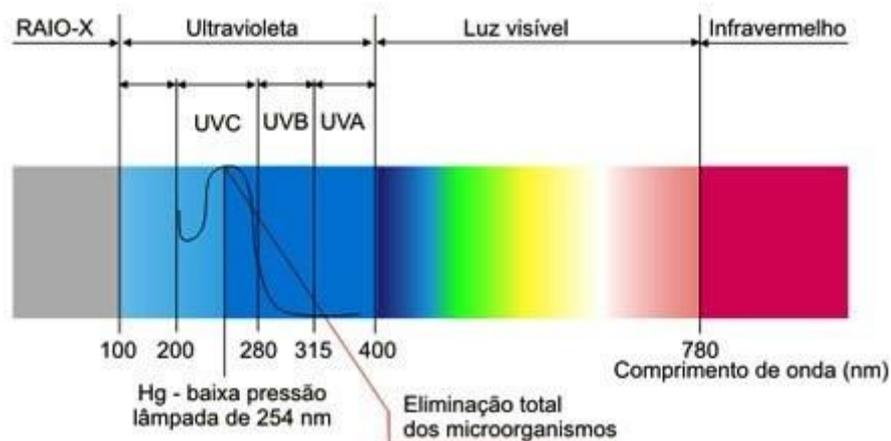
O método físico utilizando radiação é realizado por meio de radiação ionizante, que inclui raios gamas e raios-X, e também, pela radiação ultravioleta de ondas curtas (UV-C) capaz de danificar o DNA dos microrganismos, impedindo sua reprodução (KALIL; COSTA, 1994; CHAN *et al.*, 1997; TORTORA; FUNKE; CASE; 2002).

## 2.4 Radiação ultravioleta de ondas curtas (UV-C)

Foi em 1801 que o físico alemão Johann Ritter fez a descoberta da luz ultravioleta (WEIRICH *et al.*, 2020). O seu efeito germicida foi identificado no ano de 1877 por Downes e Blunt, os quais notaram a inativação de bactérias pela luz solar e destacaram a eficácia do espectro azul-violeta (PESSÔA *et al.*, 2021). Só em 1930, no intuito de controlar infecções hospitalares, iniciaram-se as primeiras aplicações dessa radiação, e 20 anos depois, a radiação ultravioleta já tinha sua eficácia comprovada na desinfecção do ar e de superfícies, desde então, tem sido estudada e utilizada para desinfecção e esterilização em todo o mundo (MOURA *et al.*, 2000; PESSÔA *et al.*, 2021).

O espectro UV encontra-se situado entre os raios x (100nm) e a luz visível (400nm) e é dividido em três subdivisões: UV-A, UV-B e UV-C. A radiação UV-C localiza-se no intervalo de 200nm a 280nm (figura 1) (WEIRICH *et al.*, 2020), encontra-se presente nos raios solares e possui alta intensidade energética, contudo, antes de chegar ao solo, a camada de ozônio filtra boa parte dessa radiação que é capaz de causar sérios danos aos seres humanos que ficam diretamente expostos a ela.

**Figura 1:** Comprimento eletromagnético da radiação UV-C.



Fonte: National Center for Food Safety and Technology, Illinois Institute of Technology.

A luz UV-C sintética é produzida principalmente com mercúrio de baixa pressão e gases inertes, são essas as utilizadas em diversos experimentos no campo das

ciências (BRITO, 2023). A sua eficácia contra vírus, bactérias, fungos e demais microrganismos faz com que essa faixa seja denominada de faixa germicida, apresentando um pico de esterilização em 254nm (WEIRICH *et al.*, 2020).

Esse efeito acontece através de alterações que a luz UV-C provoca no material genético dos microrganismos, pelo deslocamento de elétrons e quebra de ligações no seu DNA ou RNA, fazendo com que sua replicação seja impedida, além disso, o espectro atua quebrando moléculas de carbono e ocasionando a desnaturação proteica e desorganização da parede celular desses seres (BELTR; NOVAS, 2004; ARANTES; LIPOMANN, 2011; EVANGELISTA, 2015; WEIRICH *et al.*, 2020). Todos esses danos na estrutura e metabolismo do microrganismo acaba o levando a morte.

### 3 MATERIAL E MÉTODO

Neste trabalho realizou-se uma abordagem qualitativa e exploratória, através de uma Revisão Integrativa de Literatura (RIL), analisando a utilização de diferentes tecnologias e aplicações da radiação eletromagnética UV-C na desinfecção e esterilização microbiológica, no intuito de contribuir com futuras pesquisas a respeito desse assunto.

A revisão integrativa de literatura é uma abordagem de pesquisa que sintetiza conhecimentos sobre uma determinada temática através de levantamento bibliográfico. Baseia-se em seis fases de desenvolvimento em sua elaboração, começando pela escolha da questão que guiará a pesquisa, seguida pela definição de critérios de inclusão e exclusão dos artigos, coleta de dados, análise dos trabalhos selecionados, discussão dos resultados e apresentação da revisão (SOUZA; SILVA; CARVALHO, 2010).

Foi escolhida a seguinte questão para nortear a pesquisa: “Quais as recentes e eficazes aplicações da radiação UV-C na desinfecção e esterilização de microrganismos em diferentes áreas, e seus principais avanços e desafios?”

Os dados foram coletados entre os meses de setembro e dezembro de 2023. As plataformas utilizadas para o levantamento dos artigos foram: *Google Scholar*, *Web of Science* e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS).

Empregou-se nesta pesquisa os seguintes descritores (DeCS): “radiação UV-C”, “microbiologia”, “desinfecção”, “esterilização”, e utilizou-se o operador booleano

AND, sendo escritos na barra de pesquisa da seguinte maneira: “radiação UV-C” and “microbiologia”; “radiação UV-C” and “desinfecção”; “radiação UV-C” and “esterilização”.

Os critérios de inclusão desta revisão foram: trabalhos publicados nos últimos dez anos (entre 2013 e 2023), de livre acesso, e em versão completa publicados em revistas científicas ou em repositórios, na seleção foram considerados todos os estudos que apresentaram aplicações tecnológicas de raios UV-C na desinfecção e esterilização microbiológica nas diversas áreas abrangentes (alimentícia, hospitalar, etc). Quanto aos critérios de exclusão foram definidos: trabalhos duplicados, inconsistentes com o tema ou confusos, incompletos, revisões de literatura e estudos que tenham sido publicados fora da data de inclusão.

Os dados dos trabalhos analisados foram compilados em um banco de dados em uma planilha no programa *Microsoft Excel*, considerando ano de publicação, área que abrange, tipo de metodologia utilizada e principais resultados.

#### **4 RESULTADOS**

No levantamento realizado na plataforma *Google Scholar* foram identificados 700 resultados de busca, dos quais, 176 encontrou-se ao utilizar os descritores “radiação UV-C” and “microbiologia”, 325 ao utilizar os descritores “radiação UV-C” and “desinfecção”, e 199 quando utilizados os descritores “radiação UV-C” and “esterilização”. Na plataforma Biblioteca Virtual em Saúde encontrou-se 1.305 resultados de busca, dos quais, 766 foram referentes aos descritores “radiação UV-C” and “microbiologia”, 325 aos descritores “radiação UV-C” and “desinfecção”, e 199 aos descritores “radiação UV-C” and “esterilização”. Já ao se utilizar a plataforma *Web of Science*, foram identificados 373 resultados de busca, dos quais, 143 estavam relacionados aos descritores “radiação UV-C” and “microbiologia”, 126 aos descritores “radiação UV-C” and “desinfecção”, e 104 aos descritores “radiação UV-C” and “esterilização”. Assim, observou-se um total de 2.378 resultados de busca utilizando os DeCS escolhidos para a pesquisa.

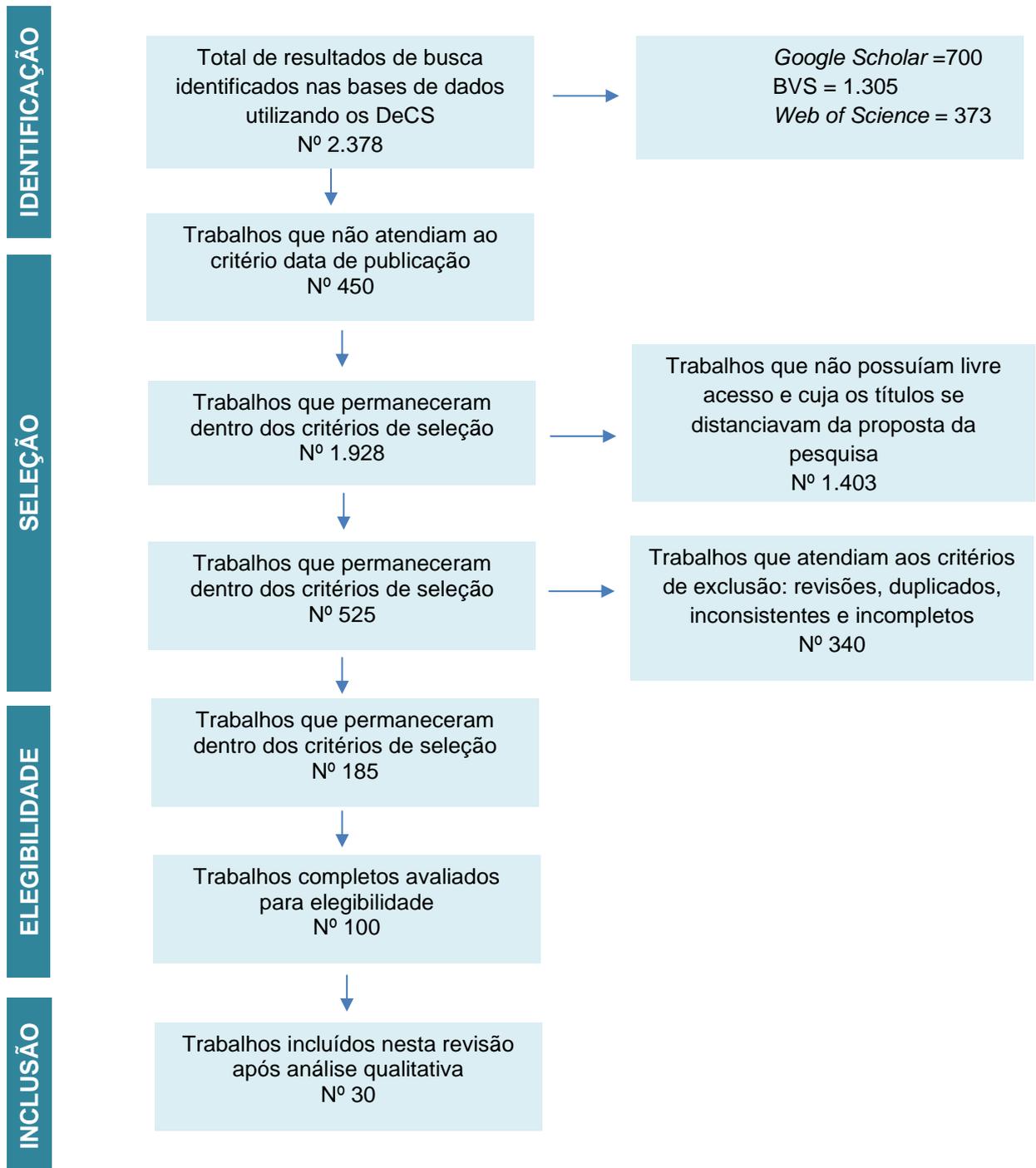
Após aplicado o critério de inclusão da data de publicação (2013-2023) restaram 1.928 resultados, 562 do *Google Scholar*, 1.058 da Biblioteca Virtual em

Saúde e 308 da *Web of Science*. Em seguida, foi realizado o *download* de todos os trabalhos que possuíam livre acesso e cujo os títulos não se distanciavam da proposta da pesquisa, resultando em 525 trabalhos.

Após análise dos trabalhos, foram excluídos revisões bibliográficas, trabalhos duplicados (que se referiram tanto a estudos que se repetiam em bases de dados distintas, quanto a estudos que se repetiam ao utilizar-se DeCS diferentes em uma mesma base de dados), incompletos (que se referiam a trabalhos publicados só em forma de resumos ou legislações, ou seja, que não seguiam o padrão de artigos, com introdução, metodologia, resultados, discussão e conclusão) e confusos (os quais a metodologia e os resultados não estavam claros e compreensíveis) restando um total de 185 trabalhos, que tiveram seus resumos lidos. Destes, 100 trabalhos foram selecionados para serem lidos completos e após análise qualitativa, incluiu-se 30 trabalhos para apresentação dos resultados.

Para melhor visualização das etapas de seleção das obras literárias foi elaborado um fluxograma prisma (figura 2).

**Figura 2** - Fluxograma prisma com as etapas de seleção dos artigos incluídos na revisão.



**Fonte:** Adaptado do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses PRISMA 2020* (Page *et al.*, 2021), 2024.

Para a apresentação dos resultados, utilizou-se um quadro sinóptico (Quadro 01), no qual se encontra uma síntese do que se extraiu das obras analisadas, ordenadas em autor/ano da publicação, título, metodologia aplicada e os principais

resultados (LAKATOS, 2021). Considerou-se para a escolha desses estudos, temas que abrangessem áreas diversas, apresentassem uma metodologia clara e detalhada, com figuras dos equipamentos e protótipos utilizados, como também, resultados consistentes mostrando de fato a eficácia da tecnologia UV-C. Os trabalhos foram organizados no quadro por área que abrangiam, divididas em: saúde/hospital; tratamento de água; indústria alimentícia; lugares públicos e outras áreas, sendo acrescentados em ordem crescente de acordo com o ano de publicação. É importante ressaltar que 19 estudos dentre os selecionados, foram publicados em outros idiomas (inglês e espanhol), contudo optou-se por apresentar o título e demais informações no idioma português – Brasil.

**Quadro 01:** Quadro sinóptico que apresenta a síntese dos artigos analisados, evidenciando os principais resultados.

AUTOR/ANO/ TÍTULO EM PORTUGUÊS	METODOLOGIA	RESULTADOS
<b>ÁREA: SAÚDE/HOSPITALAR</b>		
<p>Christen <i>et al.</i>, 2013.</p> <p>Irradiação por Ultravioleta-C: Um novo método de pasteurização para leite humano doado</p>	<p>Inoculação de amostras de leite humano com cinco espécies de bactérias, seguida pela irradiação UV-C. As amostras não tratadas e tratadas foram analisadas quanto ao conteúdo bacteriano, atividade da lipase estimulada por sais biliares (BSSL), atividade da fosfatase alcalina (ALP) e perfil de ácidos graxos. Para superar a limitação da penetração dos raios UV-C em líquidos opacos, os pesquisadores utilizaram um fluxo turbulento para transportar os microrganismos para os fótons.</p>	<p>A irradiação por UV-C foi eficaz na redução da carga bacteriana no leite humano doado para os padrões exigidos pelos bancos de leite humano. O método de irradiação UV-C preservou a bioatividade de enzimas sensíveis ao calor, como a lipase estimulada por sais biliares (BSSL) e a fosfatase alcalina (ALP), importantes para a saúde e digestão de bebês, sem alterar o perfil de ácidos graxos do leite humano.</p>
<p>Knox <i>et al.</i>, 2015.</p> <p>Método inovador para descontaminar instrumentos cirúrgicos em ambientes operacionais e austeros</p>	<p>Inoculação de cinco grupos experimentais com 120 instrumentos cirúrgicos cada, com bactérias comuns em feridas. Os grupos foram tratados com clorexidina, irradiação UVC e selagem a vácuo de diferentes maneiras. Após armazenamento e análise das unidades formadoras de colônias remanescentes, foi possível avaliar a eficácia dos métodos de desinfecção e esterilização utilizados nos instrumentos.</p>	<p>O grupo 4, que consistia apenas na selagem a vácuo dos instrumentos apresentou uma quantidade significativamente maior de unidades formadoras de colônias (UFC) em comparação com os grupos 1, 2 e 3. Todos os instrumentos do grupo 2, que foram tratados com clorexidina e irradiação com UVC, não apresentaram crescimento bacteriano, atingindo a esterilização. O grupo 3, que recebeu tratamento com clorexidina, seguido de selagem a vácuo e irradiação com UVC através do saco, teve um instrumento com 7 UFC remanescentes, alcançando desinfecção de alto nível.</p>
<p>Messina <i>et al.</i>, 2016.</p> <p>Eficiência Temporal da luz Ultravioleta C (UVC) emitida por diodos emissores de luz (LEDs) na redução da contaminação de estetoscópios</p>	<p>Realização de ciclos de desinfecção de 5 minutos com os LEDs UVC em membranas de estetoscópios contaminadas, tanto após o uso clínico quanto em um ambiente laboratorial. Foi produzido um protótipo experimental por uma impressora 3D para posicionar corretamente os LEDs e a cabeça do estetoscópio.</p>	<p>Após o tempo de incubação, a contaminação basal do voluntário (controle) foi de 104 Unidades Formadoras de Colônias (UFCs), enquanto o resultado foi de 15 UFCs após irradiação com o LED 16 e 12 UFCs após irradiação com o LED 18. Ambas as reduções foram estatisticamente significativas (<math>p &lt; 0,001</math>). Diferenças estatisticamente significativas (<math>p &lt; 0,001</math>) também foram encontradas na redução da contaminação laboratorial.</p>
<p>Pavia et al, 2018.</p> <p>O efeito da tecnologia de ultravioleta-C na incidência de</p>	<p>A tecnologia UV-C foi implementada durante aproximadamente 12 meses em um hospital pediátrico. A incidência de infecções virais foi monitorada antes e durante a implantação do UV-C,</p>	<p>Comparando o período de 12 meses em que o UV-C foi utilizado com o período anterior de 12 meses sem o UV-C, foi observada uma redução de 44% na incidência geral de infecções virais após implantação do UV-C. A análise de</p>

<p>infecções virais em uma instalação pediátrica de cuidados de longo prazo</p>	<p>com identificação de vírus por PCR. Uma análise de regressão segmentada foi realizada para avaliar a redução na incidência de infecções virais após o sistema de radiação UV-C.</p>	<p>regressão segmentada demonstrou uma redução de 44% na inclinação da taxa de infecções (HAIs/10.000 dias de paciente) com o uso do UV-C.</p>
<p>Cassini <i>et al.</i>, 2019.  Avaliação de um dispositivo emissor de luz Ultravioleta C para desinfecção de superfícies de alto toque em áreas críticas hospitalares</p>	<p>Realização de um estudo prospectivo em um hospital de ensino na Itália, durante quatro meses, para avaliar a eficácia de um sistema de desinfecção por luz UV-C em reduzir a contaminação ambiental em áreas críticas do hospital. Foram coletadas amostras em diferentes áreas, incluindo quartos de pacientes, unidades de terapia intensiva e salas de operação. O dispositivo PX-UVC foi utilizado, o qual utiliza uma lâmpada de flash de xenônio para gerar luz ultravioleta e visível de alta energia e amplo espectro em pulsos de microssegundos.</p>	<p>Apenas 18% das amostras foram positivas para contaminação após a aplicação do PX-UVC, em comparação com 63% após o protocolo operacional padrão (SOP) de limpeza com desinfetantes. A presença de <i>Clostridium difficile</i> e <i>Klebsiella pneumoniae</i> foi observada apenas após o SOP, não sendo detectadas após a desinfecção com PX-UV-C. O PX-UVC também garantiu conformidade com os padrões de higiene, com todas as amostras em salas de operação estando em conformidade após a desinfecção, em comparação com 11% de superfícies não conformes antes do tratamento.</p>
<p>Yang <i>et al.</i>, 2019.  Eficácia de um sistema de desinfecção por Ultravioleta-C na redução de patógenos associados à saúde</p>	<p>Avaliação da eficácia de um robô de desinfecção móvel automatizado que utiliza radiação UV-C, na redução de patógenos multirresistentes comuns em ambientes hospitalares. Foram realizados testes in vitro com cepas clínicas desses patógenos, bem como coletas de amostras em quartos de pacientes para avaliar a redução na contagem de colônias bacterianas em diferentes superfícies após a irradiação com UV-C.</p>	<p>Foi observada uma redução de mais de 3 log10 na maioria das colônias de bactérias vegetativas após a irradiação com UV-C por 5 minutos a uma distância de 3m do dispositivo. A uma distância de 1 m, foi observada uma redução substancial e comparável das colônias em todos os microrganismos testados, independentemente do tempo de exposição. Em amostras de diferentes superfícies coletadas, houve uma redução de 100% nas colônias. O efeito de eliminação foi menos pronunciado para <i>Aspergillus fumigatus</i>, especialmente a uma distância de 2 a 3 m.</p>
<p>Silva <i>et al.</i>, 2020.  Sistema de descontaminação de máscaras baseado no efeito luminescente causado por espectro ultravioleta (UV-C)</p>	<p>Elaboração de uma modelagem 3D da estrutura de uma caixa no software Autodesk Inventor® e impressão desta estrutura em uma impressora 3D. Paralelamente à etapa anterior, foram desenvolvidos um circuito eletrônico e um aplicativo, o circuito foi inserido na estrutura impressa. Após isso, ocorreu a integração do aplicativo ao sistema para acesso remoto pelo aparelho celular, bem como a avaliação e validação do sistema completo.</p>	<p>O protótipo foi avaliado funcionalmente, verificando o acesso remoto e controle pelo aplicativo, bem como o funcionamento do sistema completo. Durante os testes, o sistema acionou conforme o programado, ligando a lâmpada e acionando os servos motores de acordo com as instruções do aplicativo.</p>
<p>Bentancor <i>et al.</i>, 2021.</p>	<p>Desenvolvimento de um dispositivo de desinfecção</p>	<p>Os resultados dos testes mostraram que após 15 minutos de</p>

<p>LUCIA: Um dispositivo de código aberto para desinfecção de máscaras N95 usando radiação UV-C</p>	<p>por luz UV-C para máscaras N95, o qual foi testado aplicando uma dose de UV-C de cerca de 2 J/cm<sup>2</sup> em cada lado da máscara. Os testes microbiológicos foram realizados inoculando as máscaras com o vírus hRSV em diferentes concentrações. Após a inoculação, as máscaras foram expostas à radiação UV-C do dispositivo de desinfecção. Foram feitas medições da carga viral remanescente nas máscaras, permitindo avaliar a eficácia da desinfecção.</p>	<p>exposição à radiação UV-C, o vírus hRSV não pôde ser recuperado de nenhuma das máscaras inoculadas com 5 log<sub>10</sub> TCID<sub>50</sub>. Além disso, a carga viral eluída das máscaras tratadas inoculadas com 10 log<sub>10</sub> TCID<sub>50</sub> foi reduzida para 2.1 log<sub>10</sub> TCID<sub>50</sub>, em comparação com 8.4 log<sub>10</sub> TCID<sub>50</sub> nas máscaras não tratadas, demonstrando a eficácia da desinfecção.</p>
<p>Mafud, 2021.</p> <p>Estudo de viabilidade para descontaminação de rim para transplante utilizando líquido circulante</p>	<p>Utilização de um modelo ex-vivo com rim de porco circulando em uma máquina do tipo Lifeport para demonstrar a viabilidade da técnica de descontaminação de rins para transplante utilizando líquido circulante. A combinação da radiação UV-C com o Custodiol® foi explorada como uma estratégia para aumentar a eficácia do processo de descontaminação do órgão sob perfusão.</p>	<p>Houve uma redução significativa da carga microbiana durante o processo de descontaminação. Durante 4 horas de irradiação, foi possível reduzir 100% da carga microbiana no líquido circulante, demonstrando a eficácia do método na inibição do crescimento bacteriano. Foram identificadas limitações na técnica de descontaminação em relação à liberação de microrganismos presentes no tecido do órgão para circulação no sistema.</p>
<p>Lorca <i>et al.</i>, 2022.</p> <p>Inativação rápida do SARS-CoV-2 em um quarto de hospital simulado usando um robô móvel e autônomo que emite luz Ultravioleta-C</p>	<p>Utilização de um robô UV-C autônomo chamado ASSUM com lâmpadas UV-C para inativar o vírus SARS-CoV-2 em placas desidratadas. O vírus foi isolado de um paciente na Espanha e cultivado em células Vero E6. As placas foram irradiadas em diferentes períodos de tempo, com indicadores registrando a dose de radiação UV-C. O experimento foi realizado em uma caixa experimental simulando um quarto de hospital, seguindo medidas de biossegurança de nível 3.</p>	<p>Após 12 e 20 minutos de exposição ao UV-C, as amostras localizadas a 100 cm de altura nas paredes mostraram uma redução de infectividade variando entre ≥ 99.91% e ≥ 99.99%. As amostras no chão, após 12 minutos de exposição, apresentaram uma redução de infectividade de 99.47% a 99.93%. Já as amostras sob a mesa, após 12 minutos de exposição, mostraram uma redução de infectividade de 63.7% a 98.41%</p>
<p>Cassini <i>et al.</i>, 2023.</p> <p>Implementação de um protocolo de limpeza ambiental em áreas críticas hospitalares usando um robô de desinfecção UV-C</p>	<p>Avaliação da eficácia de um protocolo aprimorado de limpeza e desinfecção, aplicando irradiação UV-C para a desinfecção de quartos de um hospital entre dois pacientes sucessivos. Vinte superfícies de alto toque em diferentes áreas críticas foram amostradas (enfermaria e UTI), tanto imediatamente antes quanto depois da limpeza e desinfecção padrão do protocolo</p>	<p>De acordo com os padrões higiênicos nacionais para ambientes de saúde, 9,3% das amostras resultaram em não conformidade após o SOP e apenas 1,2% estavam em não conformidade após a desinfecção com UV-C. Além disso, o uso de panos reutilizáveis e a gestão de produtos químicos na limpeza padrão resultaram em valores de biocarga nas superfícies ainda mais altos do que os detectados antes da</p>

	operacional (SOP) e após a desinfecção UV-C. Os resultados foram comparados para determinar a eficácia da desinfecção UV-C.	limpeza.
Rózańska <i>et al.</i> , 2023.  Avaliação da eficácia da radiação UV-C na eliminação de microorganismos de importância epidemiológica especial de superfícies de contato em condições laboratoriais e no ambiente hospitalar	Contaminação bacteriana de placas de aço inoxidável, plástico e vidro, seguida pela desinfecção com radiação UV-C usando robôs OCTA UVC. Após isso, as amostras bacterianas foram coletadas para avaliar a eficácia da desinfecção. Os testes foram realizados em condições laboratoriais e hospitalares para simular situações reais e avaliar a eficácia da desinfecção por UV-C.	A redução na densidade das suspensões bacterianas foi significativa, de pelo menos três logaritmos para a maioria das cepas testadas. Em termos percentuais, isso corresponde a uma redução de 95% a 100%. A eficácia da desinfecção foi ligeiramente menor na superfície de plástico em comparação com as superfícies de aço inoxidável e vidro. A superfície de vidro demonstrou uma eficácia ligeiramente maior na eliminação de microorganismos em comparação com as outras superfícies testadas.
<b>ÁREA: TRATAMENTO DE ÁGUA</b>		
Follmer <i>et al.</i> , 2019.  Construção e eficiência de um fotorreator de radiação ultravioleta de baixo custo para desinfecção de água	Descrição da seleção de materiais para a construção do fotorreator UVC, a análise estatística da eficiência de desinfecção da água em diferentes tempos de exposição à radiação UVC, e a comparação dos resultados obtidos com amostras de efluente sanitário tratado (estação de tratamento de esgoto doméstico).	O custo do fotorreator foi consideravelmente menor dos que os que são vendidos em e-commerce. Após 9 minutos de desinfecção no fotorreator, não houve diferença estatística entre a contagem de microorganismos na água da companhia de abastecimento e no efluente tratado. O melhor tempo de detenção hidráulica foi de 15 minutos, resultando em uma redução de 99,25% na concentração de microorganismos em relação ao efluente estudado.
Rossel <i>et al.</i> , 2020.  Radiação ultravioleta-c para desinfecção bacteriana (coliformes totais e termotolerantes) no tratamento de água potável	Utilização da técnica de Filtro de Membrana para identificar coliformes totais e termotolerantes na água, reconhecida por sua precisão. As amostras foram expostas a radiação UV-C entre a saída e o início de um canal por 1, 2, 3 e 4 segundos, servindo como referência para utilização futura da tecnologia UV-C na potabilização de água para consumo humano. Após a exposição, foram feitas leituras dos coliformes para avaliar a eficácia da inativação bacteriana.	Para um tempo de exposição de 2 segundos, a contagem de coliformes variou de maior que 200 UFC/100 ml a no mínimo 80 UFC/100 ml. Com 3 segundos de exposição, a contagem variou de 98 UFC/100 ml a 37 UFC/100 ml, e para 4 segundos de exposição, não foram detectados coliformes na água tratada, demonstrando a eficácia da radiação UV-C na inativação bacteriana.
Alexis <i>et al.</i> , 2021.	Avaliação a eficácia da exposição da água de injeção da indústria de petróleo e gás à luz UV-C em diferentes tempos de exposição (1 a 20 minutos), para eliminar bactérias redutoras de sulfato (SRB) e produtoras de ácido (APB). Foram utilizadas técnicas	Houve eliminação de bactérias sulfato redutoras (SRB) e bactérias produtoras de ácido (APB) em água de produção, com eficiências entre 99-100%. O método foi eficaz no controle das principais populações bacterianas (SRB e APB)

	de cultura seletiva e qPCR para avaliar a eficácia da radiação na eliminação dessas bactérias. Os testes foram realizados em água com gorduras e óleos, sólidos suspensos totais e turbidez controlados.	associadas à biocorrosão e ao agriamento.
Alves, 2021.  Radiação ultravioleta aplicada à desinfecção de águas superficiais urbanas	Coletas de amostras de água de uma lagoa que apresentava características decorrentes de processos de contaminação urbana. Os experimentos foram realizados em laboratório com uma amostra de 50L de água, utilizando um fotorreator ultravioleta (UV-C). Foram realizados dois experimentos com diferentes vazões e tempos de detenção hidráulica, coletando alíquotas a cada 3 minutos e finalizando após 18 minutos. Os parâmetros de Turbidez, pH e TDS foram analisados, e as melhores condições operacionais foram replicadas para alcançar a inativação total dos indicadores de contaminação microbiológica na água de estudo.	A tecnologia de desinfecção baseada na radiação UV-C, associada à filtração por membrana de polipropileno, foi eficaz na inativação total dos indicadores de contaminação microbiológica presentes na água da lagoa. A aplicação dessa tecnologia resultou em uma remoção de 100% das bactérias heterotróficas, <i>Escherichia coli</i> e Coliformes Totais, atendendo aos padrões estabelecidos pela Portaria nº 888 do Ministério da Saúde do Brasil para consumo humano.
<b>ÁREA: INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA</b>		
Melo, 2019.  Métodos para desinfecção de ovos férteis e caracterização de sua microbiota	Avaliação do efeito da desinfecção de ovos férteis de matrizes velhas com procedimentos alternativos de desinfecção sobre a contagem microbiana da casca, qualidade da casca, rendimento de incubação, qualidade de pintos neonatos e contaminação microbiana do saco vitelínico de pintos de um dia de idade. Um dos tratamentos foi a exposição dos ovos a radiação UV-C.	A desinfecção de ovos férteis de matrizes pesadas com 70 semanas de idade utilizando luz UV-C e pulverização com ácido peracético resultou em uma redução significativa da contagem de microrganismos aeróbicos totais na superfície da casca do ovo, sem prejudicar a qualidade da casca (espessura e resistência), o rendimento de incubação e a qualidade dos pintos de um dia de idade.
Abadias, 2021.  Aplicação de uma inovadora tecnologia de luz ultravioleta C assistida por água para a inativação de microrganismos em indústrias de processamento de tomate	Avaliação da redução da carga microbiana na superfície dos tomates e na água de lavagem por meio de experimentos. Foram analisados parâmetros como turbidez, condutividade, pH e potencial de oxirredução da água de lavagem em diferentes concentrações de polpa de tomate. A população de microrganismos aeróbios totais (TAM) foi monitorada na superfície dos tomates e na água de lavagem após o tratamento com UV-C em diferentes tempos.	o sistema de luz UV-C assistida por água (WUVC) foi eficaz na redução da carga microbiana, incluindo <i>Listeria innocua</i> , tanto na superfície dos tomates quanto na água de lavagem. A eficácia do tratamento foi influenciada pelo tempo de exposição, pela presença de matéria orgânica e pela turbidez da água de lavagem, com reduções significativamente maiores em águas com menor turbidez.
Pilard <i>et al.</i> , 2021.	Desenvolvimento de um método de triagem em placas para testar 147 cepas de 14 espécies diferentes, com	Houve eficácia do tratamento com UV-C na redução da população celular para níveis muito baixos, com exceção de

Sensibilidade de espécies de leveduras de vinho à radiação ultravioleta	ênfase em <i>Brettanomyces bruxellensis</i> , e confirmarem o impacto do tratamento com UV-C em vinho tinto. As placas foram expostas a doses crescentes de UV-C usando um aparato com duas lâmpadas de mercúrio de baixa pressão posicionadas a 15cm acima das placas. Além disso, foi realizado um tratamento com um módulo de UV-C composto por uma lâmpada germicida de mercúrio de baixa pressão, cercada por uma manga de quartzo, e um tubo de fluoropolímero enrolado em torno da manga.	uma cepa específica. Além disso, foi confirmada a eficácia do tratamento com UV-C mesmo em vinhos vermelhos altamente absorventes e contaminados por populações elevadas de <i>Brettanomyces bruxellensis</i> , espécie ênfase do estudo.
Söbeli; Uyarcan; Kaayardi, 2021.  Radiação de UV-C pulsada em bifes de lombo de boi: efeitos na inativação microbiana, atributos de qualidade e compostos voláteis	Os bifes de lombo de boi foram adquiridos de um açougue local, cortados em porções uniformes e tratados em um sistema de luz UV-C pulsada em laboratório. Os tratamentos foram realizados em ambos os lados das amostras por diferentes períodos de tempo para atingir as fluências desejadas. Análises de pH, cor e microbiologia foram realizadas imediatamente após o tratamento, enquanto análises de compostos químicos e voláteis foram realizadas nas amostras armazenadas a -18°C.	o tratamento com luz UV-C pulsada, especialmente nas fluências de 2,1 J/cm <sup>2</sup> e 4,2 J/cm <sup>2</sup> , pode efetivamente reduzir a carga microbiana dos bifes de lombo de boi, alcançando taxas de inativação de aproximadamente 2-3 logs UFC/g, enquanto que não afetou significativamente a composição proximal (umidade, cinzas, proteínas e lipídios) dos bifes. Também houve variações nas concentrações de compostos voláteis.
<b>ÁREA: LUGARES PÚBLICOS</b>		
Mikhailovskiy <i>et al.</i> , 2021.  UltraBot: robô móvel autônomo para desinfecção UV-C interna com formato não-trivial de zona de desinfecção	Construção do robô UltraBot com lâmpadas UV-C, ventilação de ar, plataforma de acionamento diferencial e tecnologia SLAM. Experimentos foram realizados em uma loja de souvenirs, armazém e supermercado para testar a eficácia do UltraBot. Foi proposta uma técnica de desinfecção de múltiplas passagens do equipamento nos locais. Amostras de swab foram coletadas em diferentes superfícies e alturas após a passagem do robô para avaliar a redução de bactérias.	A técnica de multipassagem do robô UltraBot proporcionou uma redução de 1-log na contagem de bactérias após duas passagens do robô a uma velocidade de 0,14 m/s. Isso equivale a uma redução de aproximadamente 90% na presença de microrganismos.
Bachmann; Braga, 2022.  Implementação e caracterização radiométrica de lâmpadas emissoras de UV-C como alternativa para inativação de	Instalação de um sistema de irradiação de ambientes em uma sala de aula, onde foram colocadas 3 lâmpadas UV-C de 30 W. Foram realizadas medições de densidade de potência e tempo de exposição para avaliar a eficácia do sistema, e incluídos diversos dispositivos de proteção para garantir a segurança do	Os resultados apresentam a densidade de energia e tempo de exposição necessários para fotoinativação de algumas espécies de microrganismos com uma redução de 90% da viabilidade, considerando a mesma distribuição espectral do trabalho e assim, se mostra eficaz servindo como modelo para implementação desse sistema em ambientes públicos,

microrganismos em ambientes públicos	público.	como salas de aula.
Cale <i>et al.</i> , 2023.  Desenvolvimento de um robô móvel diferencial autônomo com um sistema híbrido de desinfecção	Desenvolvimento de um sistema de desinfecção híbrido, que consiste em um módulo de desinfecção por radiação UV-C e um módulo de desinfecção por aerossol. O robô foi elaborado com a capacidade de detectar a presença de pessoas e equipamentos eletrônicos, permitindo-lhe decidir qual método de desinfecção utilizar com base nessa detecção. Os testes contaram com culturas de fungos, leveduras e bactérias presentes na superfície e no ambiente de um corredor com grande fluxo de pessoas. Durante os testes, o robô foi operado para realizar a desinfecção da área utilizando seu sistema híbrido de desinfecção.	Foi verificado que a desinfecção realizada pelo sistema híbrido é eficaz, resultando em uma redução da carga microbiológica em ambientes de 86% e em superfícies de 96%. Esses percentuais de redução são considerados adequados para uma desinfecção geral e profunda do ambiente em um tempo de exposição de 15 minutos.
Ullian, 2023.  Projeto de instalação de iluminação LED Ultravioleta C para desinfecção do interior de elevadores	Desenvolvimento de um sistema de desinfecção das superfícies mais contaminadas de uma cabine de elevador através de iluminação por radiação UV-C. Foi escolhido o LED UV-C mais eficaz, elaborou-se um conversor em malha fechada para acionar a lâmpada germicida e realizou-se a implementação de dispositivos de segurança. Os testes em laboratório foram feitos para certificar a correta operação do sistema de desinfecção, enquanto os testes na cabine de elevador foram realizados para validar o funcionamento do sistema.	A lâmpada germicida LED foi capaz de inativar certos patógenos em cerca de 89 segundos a uma distância de 5 mm da superfície, com uma irradiância total de 11,25 mW/cm <sup>2</sup> . Os testes forneceram dados suficientes para comprovar os cálculos e simulações realizados em laboratório, validando o funcionamento do sistema.
<b>ÁREA: OUTRAS ÁREAS</b>		
Kinasz, 2019.  Desenvolvimento de metodologias para descontaminação de testemunhos de gelo para análises de Ecologia Microbiana e Astrobiologia	Elaboração de um protocolo de descontaminação microbiológica de testemunhos de gelo para ser aplicado em estudos de ecologia microbiana e astrobiologia, envolvendo a construção de testemunhos de gelo artificiais, a contaminação desses testemunhos com culturas de microrganismos, e a avaliação de diferentes métodos de descontaminação do gelo. Foram testados tratamentos com etanol 70%, hipoclorito de sódio 5,25%, cloreto de benzalcônio (BKC) 0,5%, e radiação UV-C.	A combinação de BKC (cloreto de benzalcônio) e radiação UV-C demonstrou ser a mais eficaz na descontaminação dos testemunhos de gelo, resultando na ausência de microrganismos nas camadas 1 e 2, respectivamente. Essa combinação foi capaz de eliminar os contaminantes de forma mais eficiente do que os outros métodos testados.

<p>Fukui <i>et al.</i>, 2020.</p> <p>Ensaio clínico exploratório sobre a segurança e o efeito bactericida da irradiação de 222nm de ultravioleta C em humanos saudáveis</p>	<p>Ensaio clínico exploratório com voluntários saudáveis, a fim de investigar a segurança e o efeito bactericida da irradiação de UV-C de 222 nm em humanos. Foram realizados testes de eritema com doses menores de irradiação de 222 nm, em 50, 100 e 200 mJ/cm<sup>2</sup>, e nenhum eritema foi observado. Posteriormente, a irradiação com a dose máxima que não causou eritema foi realizada em todos os participantes. Após a irradiação, amostras de swab de pele foram coletadas para cultura, e tecido da pele foi coletado para análise de dímeros de pirimidina ciclobutano (CPD) como indicador de dano ao DNA.</p>	<p>Os resultados indicaram que a irradiação UV-C de 222 nm a 500 mJ/cm<sup>2</sup> ou menos não induziu eritema na pele dos participantes. Além disso, não foram observados sintomas adversos em nenhum dos participantes durante três meses após a irradiação. A cultura de swab de pele mostrou uma redução significativa no número de colônias bacterianas na área irradiada em comparação com a área não irradiada. A análise de dímeros de pirimidina ciclobutano (CPD) indicou que a quantidade de CPD produzida na região irradiada foi ligeiramente, mas significativamente maior do que na região não irradiada.</p>
<p>Ferreira, 2021.</p> <p>Estudo da utilização da luz UV-C para desinfecção das cédulas em caixa de supermercado</p>	<p>Realização de testes laboratoriais para identificar microrganismos em cédulas de dinheiro e avaliar o poder da luz UV-C na desinfecção dessas cédulas. Elaborou-se um protótipo de caixa de supermercado com lâmpada UV-C com dimensões baseadas em caixas de supermercado comuns, e foram realizados ensaios para analisar a efetividade da desinfecção. A lâmpada UV-C era acionada por um botão pulsador localizado na gaveta, garantindo a segurança do operador de caixa.</p>	<p>Houve uma redução significativa no número de microrganismos presentes nas cédulas de 2 e 5 reais, com porcentagens de redução de colônias bacterianas de até 99,78% em alguns meios de cultura. Esses resultados demonstram uma alta eficácia da luz UVC na desinfecção das cédulas de dinheiro, com uma significativa redução no número de colônias bacterianas presentes.</p>
<p>Rocha <i>et al.</i>, 2021.</p> <p>Verificação da eficiência de um dispositivo de desinfecção por radiação UV-C</p>	<p>Descrição de passo a passo de todas as etapas de construção de um dispositivo de desinfecção baseado em lâmpadas UV-C, utilizando materiais simples, de baixo custo e acessíveis à maioria da população e empresas. Os critérios atendidos pelo dispositivo incluíram baixo custo, fácil disponibilidade dos componentes, fácil montagem e eficiência na desinfecção, comprovada através de testes microbiológicos.</p>	<p>Os testes microbiológicos realizados em laboratório, mostraram a eficácia do dispositivo, reduzindo os microrganismos (<i>Candida albicans</i>, <i>Escherichia coli</i> e <i>Staphylococcus aureus</i>) do meio de cultura em menos de 20 minutos de exposição.</p>
<p>Li; Blatchley, 2023.</p> <p>Validação de purificadores de ar baseados em UV-C em ambientes internos</p>	<p>Desenvolvimento de um método embasado em experimentos e um modelo matemático para quantificar os efeitos dos purificadores de ar baseados em UV-C. Foram realizados testes em um ambiente controlado para avaliar a eficácia desses dispositivos na redução da concentração de agentes</p>	<p>Os purificadores de ar baseados em UV-C foram eficazes na redução da concentração do agente viral aerossolizado (T1 phage) no ambiente controlado. O tratamento "filtro + UV, Q1" e "UV apenas, Q1" alcançaram uma redução contínua de aproximadamente 1,0 unidade log<sub>10</sub> na concentração de T1 infeccioso no ar, enquanto o tratamento "filtro apenas,</p>

	patogênicos aerotransportados. O principal parâmetro avaliado foi a taxa de entrega de ar limpo (CADR).	Q1" resultou em uma redução de aproximadamente 0,5 unidade log10 de T1.
--	---	---

**Fonte:** O autor, 2024.

## 5. DISCUSSÃO

Todos os trabalhos analisados apresentaram resultados promissores no que diz respeito à desinfecção e esterilização de microrganismos em diferentes contextos utilizando a radiação ultravioleta de ondas curtas (UV-C). Observou-se que a eficácia do espectro UV-C para esse fim, vai depender diretamente da metodologia utilizada na pesquisa, pois fatores como posicionamento da luz, distância da radiação à superfície exposta, tempo de exposição, dose mínima de inativação, entre outros, podem interferir nos danos aos patógenos, reduzindo ou ampliando a sua eficácia, por isso, são parâmetros que devem ser testados e definidos para cada tipo de experimento.

Ullian (2023) avaliou que a desinfecção foi mais rápida quanto mais próxima a lâmpada estava da superfície devido à maior radiação incidente, concluindo que esses parâmetros (distância e tempo) são inversamente proporcionais na utilização de radiação UV-C para inativação microbiana. Devido a essas questões, trabalhos como o de Weis *et al.* (2022), o qual apresenta um equipamento com a capacidade de adaptar o dispositivo para diferentes aplicações, controlando a dose UV em tempo real, apresentarão vantagens, visto que cada patógeno necessita de uma dosagem diferente para sua inativação (BOIGUES *et al.*, 2020). A fórmula para encontrar a dose mínima de desativação microbiana é:  $D(I,t) = I \times t$ , na qual,  $I$  é a intensidade da radiação UV-C em  $\mu\text{mW}/\text{cm}^2$  e  $t$  é o tempo de exposição em segundos (PROLAMPSALES, 2020).

### 5.1 Aplicações da tecnologia uv-c no setor da saúde e em ambientes hospitalares

Os estudos também evidenciaram que a tecnologia UV-C é testada e aplicada nas mais diferentes áreas como uma alternativa a métodos convencionais de descontaminação. A área hospitalar é uma das mais estudadas, pois por receber pacientes com as mais diversas doenças e infecções existentes, os hospitais são locais suscetíveis a contaminação e disseminação de doenças e infecções (OLIVEIRA; DAMASCENO, 2010). As infecções hospitalares representam um importante problema de saúde pública, devido ao constante aumento do número de

casos, da resistências dos microrganismos a antibióticos e produtos químicos utilizados na limpeza padrão e da ocorrência da alta mortalidade por elas (RODRIGUES, 1997; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1998).

Inúmeros estudos apresentados nessa revisão foram realizados em área hospitalar ou estão relacionados a essa área (CHRISTEN *et al.*, 2013; KNOX *et al.*, 2015; MESSINA *et al.*, 2016; PAVIA *et al.*, 2018; CASINI *et al.*, 2019; YANG *et al.*, 2019; BENTANCOR *et al.*, 2021; MAFUD, 2021; LORCA *et al.*, 2022; WEIS *et al.*, 2022; CASINI *et al.*, 2023; RÓZAŃSKA *et al.*, 2023). Há a descrição de testes utilizando o método UV-C com diversas finalidades para inativação de diferentes patógenos, até mesmo patógenos considerados multirresistentes como *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus spp*, *Clostridium difficile*, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, entre outros (KNOX *et al.*, 2015; MESSINA *et al.*, 2016; CASINI *et al.*, 2019; YANG *et al.*, 2019, RÓZAŃSKA *et al.*, 2023).

Diante a pandemia recente ocasionada pelo vírus SARS-CoV-2, alguns trabalhos se voltaram para realização de testes na inativação desse patógeno que é considerado um vírus menos resistente (LORCA *et al.*, 2022), e para a construção de equipamentos visando a desinfecção e esterilização de máscaras, incluindo a N95, utilizada por profissionais de saúde, visto que, a disponibilidade se tornou escassa durante a pandemia e dispositivos como esses se tornariam úteis para manter a segurança dos profissionais (SILVA *et al.*, 2020; BENTANCOR *et al.*, 2021).

Muitos trabalhos utilizaram como equipamento de descontaminação, robôs autônomos móveis, capazes de percorrer áreas críticas dos hospitais como enfermarias, centros cirúrgicos e unidades de terapia intensiva. Esses robôs se mostraram bastante eficientes para uma descontaminação mais ampla, por serem móveis, podem percorrer por diversos ambientes e alcançar locais de difícil acesso, e também pela segurança, por conterem sensores de movimento que os fazem desligar ao sentirem a presença de pessoas nos locais em que estão, e por serem automáticos, garantindo a segurança dos seus operadores (CASINI *et al.*, 2019; YANG *et al.*, 2019; CASINI *et al.*, 2023; RÓZAŃSKA *et al.*, 2023).

Além disso, não apenas superfícies de quartos, salas e corredores são incluídos nos estudos de descontaminação em hospitais e clínicas, mas também objetos suscetíveis a propagação de patógenos, como estetoscópios (MESSINA *et*

*al.*, 2016) e instrumentos cirúrgicos (KNOX *et al.*, 2015). Deve haver uma atenção para descontaminação de todos os objetos que são reutilizáveis nesses ambientes, visando alcançar altos níveis de desinfecção ou a esterilização deles.

A utilização da tecnologia UV-C como alternativa para métodos convencionais de descontaminação também alcança áreas pouco estudadas dentro do contexto hospitalar, como é o caso da pesquisa de Christen *et al.* (2013), na qual puderam constatar que esse método pode ser mais eficaz do que o método padrão na descontaminação de leite humano doado para os bancos de leite, pois a pasteurização térmica, comumente ocasiona alterações na bioatividade de enzimas e ácidos graxos do leite importantes para os bebês, já o método com UV-C preservou isso, além de reduzir a carga bacteriana para níveis exigidos. Já Mafud (2021), aplicou essa técnica para descontaminação de rins para transplante utilizando líquido circulante, visto que muitos órgãos doados saudáveis são perdidos devido a contaminação bacteriana. Ela também obteve sucesso na redução de carga microbiana no líquido, porém encontrou algumas dificuldades que podem ser selecionadas com estudos complementares, por isso a importância da continuidade das pesquisas.

## **5.2 Aplicações da tecnologia UV-C no tratamento de água**

A radiação UV-C também é bastante testada como alternativa para tratamento de águas. As águas contaminadas além de prejudicar ecossistemas aquáticos, podem colocar em risco a saúde humana, reduzir a disponibilidade de água potável e limitar diversos tipos de atividades. Corpos d'água em todo o mundo são contaminados por patógenos, metais e produtos químicos potencialmente tóxicos, causando alterações na composição das águas, e conseqüentemente em sua qualidade para uso e consumo. Isso acontece devido ao despejo de esgotos tratados de forma inadequada e efluentes industriais e agrícolas nesses corpos d'água (TOMAZ *et al.*, 2023).

Os dispositivos UV-C construídos com a finalidade de descontaminação de águas podem ser uma alternativa aos oxidantes químicos e uma sugestão para melhoria da qualidade da água em regiões onde não há tratamento adequado, muitos trabalhos nesta revisão constataam a sua eficácia para esse fim (FOLLMER *et al.*,

2019; ROSSEL *et al.*, 2020; ALEXIS *et al.*, 2021; ALVES, 2021), inclusive, fotorreatores UV-C podem ser uma opção de baixo custo para tratamento de água (FOLLMER *et al.*, 2019).

Esses equipamentos podem ser usados não apenas visando o consumo humano, mas por indústrias que utilizam esse recurso com outros objetivos, como foi mostrado no trabalho de Alexis *et al.* (2021), no qual eles testam um sistema contendo radiação UV-C no tratamento da água de injeção utilizada para extração de petróleo e gás, no intuito de eliminar substâncias indesejadas, poluentes e microrganismos que possam prejudicar a extração de petróleo ou gás, assim como a integridade dos equipamentos e tubulações empregados na indústria.

### **5.3 Aplicações da tecnologia UV-C na indústria alimentícia**

Diversas tecnologias também são empregadas na indústria alimentícia para conservação dos alimentos, com o objetivo de durarem o maior tempo possível, e as melhores técnicas serão aquelas que garantam um prazo de validade considerável alterando o mínimo possível as características naturais dos alimentos (LOPES, 2007). No trabalho de Söbeli; Uyarcan e Kaayardi (2021), foi utilizada a luz UV-C pulsada como uma técnica não térmica para conservação de bifes de lombo, e os autores obtiveram resultados satisfatórios pois a técnica reduziu a carga microbiana dos bifes sem afetar significativamente a composição levando em consideração a umidade, cinzas, proteínas e lipídios da carne. Observaram também, que houve alterações (redução e aumento) de alguns compostos voláteis relacionados ao seu aroma e sabor que podem ter influenciado positivamente o perfil sensorial da carne, tornando-a mais atraente e saborosa.

Ainda dentro desse contexto alimentício, sabe-se que frutas e hortaliças são bastante suscetíveis a contaminação por fungos, bactérias, vírus e parasitas no período pós colheita, sendo que em qualquer das etapas desse período pode ocorrer a contaminação. Produtos químicos, como compostos clorados são bastante utilizados para higienizar esses alimentos, contudo, vêm se tornando menos atrativos devido a sua toxicidade, podendo prejudicar o consumidor (COELHO *et al.*, 2015). Como uma alternativa, o trabalho de Abadias (2021) apresentou aplicação da tecnologia UV-C nas superfícies de tomates e na água de lavagem desses frutos,

observando eficácia na redução microbiana de ambas, indicando que esse método pode ser promissor na indústria de processamento de tomates e outras hortaliças.

Considerando a importância da qualidade microbiológica de ovos na produção avícola, a pesquisa de Melo (2019) buscou identificar quais métodos de desinfecção seriam mais eficazes e seguros para garantir a qualidade dos ovos e a saúde das aves, e observou que a utilização da radiação UV-C reduziu os microrganismos presentes na casca, sem prejudicar a sua qualidade (espessura e resistência), o rendimento de incubação e a qualidade dos pintos de um dia de idade, se mostrando como um ótimo método de desinfecção de ovos férteis e áreas relacionadas.

A conservação de bebidas também constitui um problema na indústria alimentícia (LEITE *et al.*, 2015). Segundo Pillard *et al.* (2021), o método mais comum para prevenção de microrganismos e oxidação das bebidas na área de produção vinícola é o uso de sulfitos, como o dióxido de enxofre. No entanto, devido a preocupações com alergia e questões de saúde, há uma tendência em reduzir o seu uso e buscar por alternativas. Em seu estudo, os autores puderam constatar eficácia da radiação UV-C na redução de diferentes cepas em vinho tinto, apresentando o método como alternativa eficiente para sua conservação, podendo ser expandida para outros tipos de bebidas.

#### **5.4 Aplicações da tecnologia UV-C em lugares públicos**

A tecnologia UV-C também pode ser bem empregada em lugares públicos, já que esses representam por natureza, nível elevado de contágio de doenças transmissíveis, levando em conta a aglomeração do ambiente e a interação direta e indireta entre os indivíduos (UFMG, 2020). Considerando essa problemática, Uillian (2023) desenvolveu um projeto de instalação de iluminação LED UV-C para desinfecção do interior de elevadores, validando o funcionamento do sistema através de testes microbiológicos. Dentro do contexto, Mikhailovskiy *et al.* (2021), testaram a tecnologia através de um robô autônomo móvel denominado UltraBot em uma loja de um museu e em um supermercado, enquanto Bachmann e Braga (2022), instalaram um sistema de irradiação em uma sala de aula, e todos comprovaram eficiência dos métodos para descontaminar os ambientes.

## 5.5 Aplicações da tecnologia UV-C em objetos

Outra forma de alto risco de contágio e propagação de patógenos é através de cédulas de dinheiro, pois recebem contatos de diversas pessoas (MARITZ *et al.*, 2017). Por isso, Ferreira (2021) elaborou um protótipo de caixa de supermercado com lâmpada UV-C, contendo dimensões baseadas em caixas de supermercado comuns, para testar a eficácia na descontaminação de micróbios presentes nas cédulas e observaram porcentagens de redução de colônias bacterianas de até 99,78% em alguns meios de cultura, mostrando ser um método eficiente e aplicável na indústria de supermercados e afins.

## 5.6 Aplicações da tecnologia UV-C em combinação com outros produtos

Através dos trabalhos analisados, foi possível ver que a utilização da tecnologia UV-C para desinfecção e esterilização de microrganismos pode ser utilizada isoladamente, mas também ser bastante eficaz ao ser utilizada em conjunto com produtos ou outras formas convencionais de limpeza (KNOX *et al.*, 2015; CASINI *et al.*, 2019; KINASZ, 2019; MAFUD, 2021, CALE *et al.*, 2023; CASINI *et al.*, 2023), até mesmo porque, dependendo dos métodos utilizados pelos profissionais de limpeza e resistência dos microrganismos aos componentes químicos dos produtos utilizados, a carga microbiana pode continuar alta mesmo após a aplicação do protocolo operacional padrão de limpeza com desinfetantes, podendo ser consideravelmente reduzidas após utilização de radiação UV-C como complemento do processo (CASINI *et al.*, 2019; CASINI *et al.*, 2023). Ao considerar isso, Cale *et al.* (2023), desenvolveram um robô autônomo móvel com um sistema de desinfecção híbrido, que consiste em um módulo de desinfecção por radiação UV-C e um módulo de desinfecção por aerossol, utilizando uma substância quaternária de amônio como agente desinfetante, e conseguiu apresentar resultado com porcentagens altas de desinfecção.

Dentre os estudos, também vemos uma combinação da utilização do método UV-C com cloreto de benzalcônio para descontaminação microbiológica de testemunhos de gelo utilizados em análises de ecologia microbiana e astrobiologia (KINASZ, 2019). Apesar de ser uma área incomum referente ao uso dessa tecnologia,

trabalhos como esse tornam-se extremamente importante para avanços nas pesquisas científicas, pois devido ao potencial de contaminação por microrganismos provenientes de diferentes fontes, como instrumentos de coleta, recipientes de transporte e áreas de armazenamento das amostras de gelo, é fundamental estabelecer procedimentos de descontaminação eficazes para garantir a autenticidade e confiabilidade das pesquisas conduzidas com elas, as quais podem fornecer percepções sobre a possibilidade de vida fora da terra e ampliar nosso conhecimento sobre a diversidade e adaptação dos microrganismos a ambientes extremos.

### **5.7 Desafios e inovações da radiação UV-C em patógenos**

Apesar de ter sua eficácia comprovada na desinfecção e esterilização microbiana em diversos ambientes, a radiação UV-C apresenta alguns desafios na sua aplicação, os quais foram observados nos estudos desta revisão. Um deles é a segurança do método utilizado, pois a radiação ultravioleta (UV) de 254 nm, que é a mais utilizada, não pode ser exposta a olhos e pele humana pois causam genotoxicidade, podendo até levar ao desenvolvimento de câncer de pele devido à formação de lesões no DNA (YAMANO *et al.*, 2020), por isso, sistemas de segurança devem ser sempre incluídos na aplicação desse método, principalmente em ambientes onde há alta circulação de pessoas.

Baseado nisso, pesquisas inovadoras têm testado a radiação UV-C de 222 nm, que é considerada não danosa para humanos. No trabalho de Fukui *et al* (2020), foram realizados testes dessa radiação em voluntários, humanos saudáveis, para observar tanto seu efeito bactericida quanto os efeitos adversos na pele e DNA dos indivíduos. Os resultados indicaram que a irradiação UV-C de 222 nm a 500 mJ/cm<sup>2</sup> ou menos não induziu eritema na pele dos participantes e foi capaz de reduzir significativamente o número de colônias de bactérias da pele durante três meses de observação, contudo, houve uma produção ligeiramente maior de dímeros de pirimidina ciclobutano (CPDs) na região irradiada em comparação com a não irradiada. Os autores mencionam que essa alteração pode ser atribuída a diferenças nos métodos de avaliação de CPDs utilizados em estudos anteriores e no estudo em questão, além disso, destacam que a produção de CPDs não necessariamente indica

atividade prejudicial, especialmente se estiver dentro da capacidade de reparo do organismo. Mesmo assim, sugere-se que mais pesquisas sejam realizadas para comprovar a segurança desse método.

Outro desafio da tecnologia UV-C é a formação de sombras pelos objetos expostos à luz, pois essas regiões de sombra não serão afetadas pelos raios podendo prejudicar a descontaminação. Por isso, sugere-se que para gerar melhores resultados, sejam elaborados protótipos com geometria e materiais que reduzam as sombras.

## 6 CONCLUSÕES

A presente Revisão Integrativa de Literatura revela uma gama diversificada de estudos que demonstram a eficácia dos métodos de desinfecção e esterilização utilizando radiação eletromagnética UV-C em diversos ambientes. Os resultados consolidam a viabilidade e eficiência dessa abordagem em diferentes contextos, desde ambientes hospitalares até espaços públicos e industriais, e a evidenciam como uma medida de controle de patógenos promissora.

Além disso, destaca também a importância da implementação de medidas de segurança adequadas, como a instalação de sistemas de segurança que desativem os dispositivos UV-C na presença de pessoas. Por fim, essa revisão fornece uma base sólida para a implementação de práticas de desinfecção e esterilização baseadas em UV-C em uma ampla variedade de cenários, contribuindo significativamente para a prevenção da disseminação de doenças infecciosas e para a promoção da segurança sanitária e saúde pública.

## 7 REFERÊNCIAS

ABADIAS, M. *et al.* Application of an innovative water-assisted ultraviolet C light technology for the inactivation of microorganisms in tomato processing industries. **Food Microbiology**, v. 94, p. 103631, 2021.

ADVISORY COMMITTEE ON DANGEROUS PATHOGENS. **Categorisation of non-circulating strains of influenza virus of known pandemic potential**. 2015.

ALEXIS, J. *et al.* Ultraviolet radiation to control bacteria from oil and gas industry water. **CT&F - Ciencia, Tecnologia y Futuro**, v. 11, n. 1, p. 5-10, 2021.

ALVES, I. A. **Radiação Ultravioleta Aplicada à Desinfecção de Águas Superficiais Urbanas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Centro Universitário Christus, Fortaleza, 2021.

ARANTES, F. A.; LIPPMANN, F. C. **Desinfecção de água por lâmpadas ultravioleta a partir de energia solar fotovoltaica sem utilização de baterias**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Elétrica Ênfase em Eletrotécnica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

BACHMANN, L.; BRAGA, G. U. L. Implementação e caracterização radiométrica de lâmpadas emissoras de UV-C como alternativa para inativação de microrganismos em ambientes públicos. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 16, p. 605, 2022

BARBOSA, A. S. A. A. *et al.* Avaliação da ação germicida da luz ultravioleta de cabine de segurança biológica frente às espécies bacterianas. **Medicina (Ribeirão Preto)**, v. 54, n. 1, p. e166597-e166597, 2021.

BELTR, N. J. A. G.; NOVAS, G. V. B. C. Advantages and limitations on processing foods by UV light. **Food science and technology international**, v. 10, n. 3, p. 137-147, 2004.

BENTANCOR, M. *et al.* LUCIA: An open source device for disinfection of N95 masks using UV-C radiation. **HardwareX**, v. 9, 2021.

BOIGUES, G. S. *et al.* **Protótipo de uma camara de radiação uv-c para desinfecção de objetos**. *In: Colloquium Exactarum*, p. 71-81, 2020.

BRITO, P. C. T. **Eficácia da luz ultravioleta contínua na descontaminação de cédulas do Real**. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Biológicas – Modalidade Médica) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2023.

CALE, L. A. *et al.* Development of an Autonomous Differential Mobile Robot for Disinfection with a Hybrid Disinfection System. **International Conference on Ubiquitous Robots (UR)**, 2023.

CARVALHO, L. V. S. *et al.* Discursos sobre tecnologias de desinfecção pós-pandêmicas: luz ultravioleta germicida, fotocatalise e ozônio. **Revista de Casos e Consultoria**, v. 13, n. 1, p. e27985-e27985, 2022.

CASINI, B. *et al.* Implementation of an Environmental Cleaning Protocol in Hospital Critical Areas Using a UV-C Disinfection Robot. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 20, n. 4284, 2023

CASINI, B. *et al.* Evaluation of an Ultraviolet C (UVC) Light-Emitting Device for Disinfection of High Touch Surfaces in Hospital Critical Areas. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 18, p. 3572, 2019.

CHAN, E. C. *et al.* Microbiologia: conceitos e aplicações. *In: Microbiologia: conceitos e aplicações*, p. 524-524. 1997.

CHRISTEN, L. *et al.* Ultraviolet-C Irradiation: A Novel Pasteurization Method for Donor Human Milk. **PLOS ONE**, v. 8, n. 6, 2013.

COELHO, C. C. S. *et al.* Ozonização como tecnologia pós-colheita na conservação de frutas e hortaliças: Uma revisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 369-375, 2015.

DUARTE, P. M. COVID-19: Origem do novo coronavírus. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 2, p. 3585-3590, 2020.

EVANGELISTA, Z. R. **Radiação UV-C e cloreto de cálcio na qualidade pós-colheita da jabuticaba sabará**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola - Engenharia de Sistemas Agroindustriais) - Programa de pós-graduação Stricto Sensu em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2015.

FERREIRA, L. B. **Estudo da utilização da luz UVC para desinfecção das cédulas em caixa de supermercado**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Faculdade Evangélica de Goianésia, 2021.

FOLLMER, D. L. S. *et al.* Construção e eficiência de um fotorreator de radiação ultravioleta de baixo custo para desinfecção de água. **Revista de Gestão Sustentável e Ambiental**, v. 8, n. 4, p. 165-181, 2019.

FUKUI, T. *et al.* Exploratory clinical trial on the safety and bactericidal effect of 222-nm ultraviolet C irradiation in healthy humans. **PLOS ONE**, v. 15, n. 8, p. e0235948, 2020.

KALIL, E. M.; COSTA, A. J. F. da. Desinfecção e esterilização. **Acta Ortopédica Brasileira**, v. 2, n. 4, p. 1, 1994.

KINASZ, C. T. **Desenvolvimento de metodologias para descontaminação de testemunhos de gelo para análises de Ecologia Microbiana e Astrobiologia**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.

KNOX, R. W. *et al.* A Novel Method to Decontaminate Surgical Instruments for Operational and Austere Environments. **Wilderness & Environmental Medicine**, v. 26, n. 4, p. 509-513, 2015.

LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. Grupo GEN, 2021.

LARA, R. **Raios ultravioletas podem destruir vírus, mas efeito não é imediato**. Tilt, 2020. Disponível em: <https://www.uol.com.br/tilt/noticias/redacao/2020/05/15/raios-ultravioleta-podem-destruir-virus-mas-efeito-nao-e-imediato.htm>. Acesso em 14 dez. 2022.

LEITE, P. B. *et al.* Estudo prospectivo sobre métodos de conservação de bebidas alcoólicas e tecnologias correlatas sob o enfoque em documentos de patentes. **Cadernos de Prospecção**, v. 8, n. 1, p. 75-75, 2015.

LI, X.; BLATCHLEY III, E. R. Validation of UV-C-Based Air Cleaners. *Indoor Air*, v. 33,

n. 6, p. 13, 2023.

LOPES, R. L. T. Conservação de alimentos. **Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais: CETEC**, 2007.

LORCA-ORÓ, C. *et al.* Rapid SARS-CoV-2 Inactivation in a Simulated Hospital Room Using a Mobile and Autonomous Robot Emitting Ultraviolet-C Light. **The Journal of Infectious Diseases**, v. 225, n. 4, p. 587-591, 15 fev. 2022.

MAFUD, L. C. G. **Estudo de viabilidade para descontaminação de rim para transplante utilizando líquido circulante.** Dissertação (Mestrado em Física Aplicada Biomolecular) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2021.

MARITZ, J.M., *et al.* Filthy lucre: A metagenomic pilot study of microbes found on circulating currency in New York City. **PLoS ONE**, v. 12, n. 4, p. e0175527, 2017.

MELO, E. F. **Métodos para desinfecção de ovos férteis e caracterização de sua microbiota.** Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária, Belo Horizonte, 2019

MESSINA, G. *et al.* Time Effectiveness of Ultraviolet C Light (UVC) Emitted by Light Emitting Diodes (LEDs) in Reducing Stethoscope Contamination. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 13, n. 9, p. 940, 2016.

MICHELON, C. M. Principais variantes do SARS-CoV-2 notificadas no Brasil. **RBAC**, v. 53, n. 2, p. 109-116, 2021.

MIKHAILOVSKIY, N. *et al.* UltraBot: Autonomous Mobile Robot for Indoor UV-C Disinfection with Non-trivial Shape of Disinfection Zone. **International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation**, 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria 2616 de 12 de maio de 1998.** Diário Oficial da União, 1998.

MOMESSO, A. P. Avaliação da utilização de cabines ultravioletas como descontaminantes de carrinhos de compras em supermercados durante a pandemia de sars-cov-2: aspectos técnicos e de segurança. **Revista Higiene Alimentar**, p. 14, 2020.

OLIVEIRA, A. C.; DAMASCENO, Q. S. Superfícies do ambiente hospitalar como possíveis reservatórios de bactérias resistentes: uma revisão. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 44, p. 1118-1123, 2010.

PAGE, M. J. *et al.* Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. **Revista española de cardiología**, v. 74, n. 9, p. 790-799, 2021.

PACHECO, S. C. N. **Conceção e realização de um sistema de informação em**

**contexto de produtos médicos de uso único.** Tese (Mestrado em Engenharia Biomédica) - Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, 2012.

PAIVA, R. M. C. *et al.* Emprego de métodos físicos e químicos para esterilização do instrumental ortodôntico. **Revista de Iniciação Científica da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 4, n. 1, 2014.

PAVIA, M. *et al.* The effect of ultraviolet-C technology on viral infection incidence in a pediatric long-term care facility. **American Journal of Infection Control**, v. 46, p. 720-722, 2018.

PESSÔA, M. A. S. *et al.* A Física de um Desinfector com Radiação UV-C. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, e20210217, 2021.

PILARD, E. *et al.* Wine yeast species show strong inter- and intra-specific variability in their sensitivity to ultraviolet radiation. **International Journal of Food Microbiology**, 2021.

PROLAMPSALES: **How to Calculate UV-C Dose on a Surface**, 2020. Disponível em: <https://www.prolampsales.com/blogs/specialty-architectural-lighting/how-to-calculate-uv-c-dose-on-a-surface>. Acesso em: fev. 2024.

REED, N. G. The history of ultraviolet germicidal irradiation for air disinfection. **Public health reports**, v. 125, n. 1, p. 15-27, 2010.

REIS, L. M. *et al.* Avaliação da atividade antimicrobiana de antissépticos e desinfetantes utilizados em um serviço público de saúde. **Revista brasileira de Enfermagem**, v. 64, p. 870-875, 2011.

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

RODRIGUES, E. A. C. **Histórico das infecções hospitalares. In: Infecções hospitalares: prevenção e controle.** São Paulo: Sarvier; 1997.

ROSSEL, B. L. J. *et al.* Radiación ultravioleta-c para desinfección bacteriana (coliformes totales y termotolerantes) en el tratamiento de agua potable. **Revista de Investigaciones Altoandinas**, v. 22, n. 1, p. 68-77, 2020

RÓZAŃSKA, A. *et al.* Evaluation of the Efficacy of UV-C Radiation in Eliminating Microorganisms of Special Epidemiological Importance from Touch Surfaces under Laboratory Conditions and in the Hospital Environment. **Healthcare**, v. 11, p. 3096, 2023.

SENHORAS, E. M. Coronavírus e o papel das pandemias na história humana. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, v. 1, n. 1, p. 29, 2020.

SILVA, A. I. A. ; SIQUEIRA, J. G.; SIQUEIRA, C. G. Vacinas: história, negacionismo,

fake news'e a Covid-19 no Brasil hoje Vaccines: history, denialism, fake news, and Covid-19 in Brazil today. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 5, p. 35200-35217, 2022.

SILVA, E. A. *et al.* **Sistema de Descontaminação de Máscaras Baseado no Efeito Luminescente Causado por Espectro Ultravioleta (UV-C)**. In: **XVII Congresso Latino-Americano de Software Livre e Tecnologias Abertas**. Anais, p. 26-35, 2020.

SÖBELI, C., UYARCAN, M., KAYAARDI, S. Pulsed UV-C radiation of beef loin steaks: Effects on microbial inactivation, quality attributes and volatile compounds. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 67, p. 102558, 2021

SOUZA, M. T. ; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein**, v. 8, p. 102-106, 2010.

TOMAZ, A. T. *et al.* Descontaminação de Águas Residuais Contendo Poluentes Orgânicos: Uma Revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 15, n. 1, 2023.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. Microbiologia. **Microbiologia**, p. 827-827. 2002.

UFMG: **Risco de contaminação pela Covid-19 varia em diversos ambientes públicos**, 2017. Disponível em: <https://ufmg.br/comunicacao/noticias/risco-de-contaminacao-pela-covid-19-varia-em-diversos-ambientes-publicos>. Acesso em: fev. 2024.

UJVARI, S. C. A história e suas epidemias: a convivência do homem com os microrganismos. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, v. 45, p. 212-212, 2003.

ULLIAN, P. H. **Projeto de instalação de iluminação LED ultravioleta C para desinfecção do interior de elevadores**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2023.

WEIRICH, J. J. *et al.* **Sistema de esterilização para ambientes hospitalares, utilizando radiação UVC**. Anais da Engenharia Mecânica, v. 5, n. 1, p. 354-372, 2020.

WEIS, G. L. *et al.* Construção de dispositivo para Irradiação Ultravioleta UV-C. **Research Society and Development**, v. 11, n. 15, e72111536844, 2022.

YAMANO, N. *et al.* Long-term Effects of 222-nm ultraviolet radiation C Sterilizing Lamps on Mice Susceptible to Ultraviolet Radiation. **Photochemistry and Photobiology**, v. 96, p. 853-862, 2020.

YANG, J. H. *et al.* Effectiveness of an ultraviolet-C disinfection system for reduction of healthcare-associated pathogens. **Journal of Microbiology, Immunology and Infection**, v. 52, n. 3, p. 487-493, 2019.