

RADIOESTERILIZAÇÃO: Uma abordagem promissora para a eliminação de microrganismos

Amanda de Souza¹; Taygor Eduardo de Oliveira Garcês¹; João Borges da Silveira^{2,6}; Jaquecielen Rodrigues de Souza^{3,6}; Emilieni Bononi Gomes^{4,6}; Natascha Policei Marques^{5,6*}

¹ Graduando em Tecnologia em Radiologia, Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS; ²Doutor em Ciência dos Materiais – UNESP; ³ Esp. em Mamografia – UNYLEYA; ⁴ Esp. em Imaginologia – FAMESSP; ⁵ Mestre em Ciências – USP; ⁶ Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

* autor correspondente: natasha_policei@hotmail.com

RESUMO

Este artigo explora os princípios e aplicações da radioesterilização, destacando seus benefícios, limitações e fontes utilizadas no processo. A radioesterilização é um método altamente eficaz na eliminação de microrganismos utilizando radiação ionizante. A radiação ionizante é capaz de danificar o DNA e a outros e componentes celulares dos microrganismos, inibindo sua capacidade de reprodução e sobrevivência. Conseqüentemente, os microrganismos são eliminados, tornando o material estéril e livre de agentes patogênicos. A radioesterilização pode ser realizada através de radioisótopos, como o Cobalto 60 e o Césio 137, ou através da produção artificial por meio de aceleradores linear que produzem feixes de elétrons. Na indústria esse método atua como uma alternativa viável em diferentes produtos, sendo utilizado para diversas finalidades. Na área da saúde é utilizada em uma ampla gama de produtos médicos e tecidos biológicos. No setor de alimentos, atua impedindo o brotamento e prolongando a vida útil dos alimentos. A radioesterilização pode ainda ser empregada na indústria farmacêutica, nos laboratórios de pesquisa e análise, bem como na preservação de bens culturais. Além disso, é fundamental ressaltar que a radioesterilização, ao utilizar radioisótopos, não resulta em qualquer forma de contaminação radioativa do objeto a ser esterilizado. Nesse processo, o objeto é apenas submetido à irradiação, não possuindo, portanto, qualquer constituinte radioativo em sua composição. Adicionalmente, não deixa resíduos químicos nos produtos tratados, o que é especialmente relevante em aplicações médicas e industriais.

PALAVRAS-CHAVE: microrganismos; radiação ionizante; esterilização; radioesterilização; fontes radioativas.

1 INTRODUÇÃO

A presença de microrganismos patogênicos em produtos e materiais pode representar um risco significativo para a saúde humana. A contaminação microbiológica é uma preocupação constante em diversos setores, como a indústria

farmacêutica, a produção de alimentos e a área da saúde. Para garantir a segurança e a qualidade desses produtos, métodos eficazes de esterilização são essenciais (NASCIMENTO, 2010).

Entre as técnicas de esterilização disponíveis, a radioesterilização tem se destacado como uma abordagem

promissora e inovadora. A radioesterilização, também conhecida como esterilização por radiação ionizante, utiliza radiação ionizante para destruir os organismos inesperados, tornando os produtos livres de contaminação microbiológica. Diferentemente de outros métodos de esterilização, como a esterilização por calor ou a esterilização química, a radioesterilização não requer aplicação de altas temperaturas ou o uso de agentes químicos, o que torna uma técnica vantajosa em diversas aplicações (AFREBRAS, 2021).

Dentre os principais benefícios da radioesterilização estão a capacidade de penetração em materiais complexos, a eliminação efetiva de microrganismos em todas as partes do produto e a ausência de resíduos nos produtos. Essas características fazem desse método uma opção valiosa para garantir a segurança e qualidade de uma ampla gama de produtos (AFREBRAS, 2021). No entanto, apesar de sua eficácia, esse método de esterilização também possui algumas limitações. Certos materiais podem ser sensíveis à radiação e sofrer alterações físicas ou químicas durante o processo. Portanto, é necessário avaliar cuidadosamente os materiais a serem esterilizados para garantir sua integridade (IPEN, 2023a).

O objetivo deste artigo é detalhar (i) a rádio esterilização como um método eficiente de eliminação de microrganismos; (ii) analisar os princípios básicos dessa técnica, os tipos de radiação ionizante utilizados, os processos envolvidos e os benefícios e limitações alcançados ao adotar essa abordagem.

Este artigo foi elaborado a partir de levantamento de dados realizado por meio de pesquisa em artigos científicos, livros, sítios científicos etc.

2 MICRORGANISMOS

Os microrganismos são constituídos, em sua maioria, por uma única

célula e são classificados como as menores formas de vida, onde a maior parte desses seres podem ser vistos somente através de um microscópio Segundo Adriana Lara Fonseca, professora da plataforma CPT, os microrganismos estão presentes em todos os tipos de lugares, solo, água, ar e no trato digestivo dos seres humanos e de animais, desempenhando papéis fundamentais em diversos aspectos da vida e do meio ambiente (TEIXEIRA, 2023). Alguns microrganismos são benéficos, como os encontrados na flora intestinal humana saudável, sendo composta por bilhões destes que auxiliam no seu funcionamento correto. Apesar de possuir funcionalidades favoráveis, no meio em que vivemos também dividimos espaço com microrganismos patogênicos, causando doenças em seres humanos, animais e plantas (BATISTA, 2023).

2.1 Tipos e classificações de microrganismos

Os principais grupos de organismos abordados na microbiologia incluem bactérias, vírus, fungos e protozoários, todos amplamente distribuídos na natureza.

As bactérias são seres simples e unicelulares, apesar disso não possuem núcleo celular e membranas que envolvem as estruturas intracelulares, as quais são características da maioria das outras células. As bactérias habitam vários meios, mas principalmente o corpo humano, onde o seu número pode ultrapassar a quantidade de células presentes em um corpo adulto. Para sua sobrevivência, necessitam de temperatura e umidade elevadas, além de alimento como oxigênio e carbono, portanto, o corpo humano é uma excelente área de proliferação para esses seres. Exemplos de doenças causadas por bactérias são tuberculose, pneumonia, coqueluche e meningite (MUHLPOINTNER, 2021).

Os vírus não possuem células, e sim um capsídeo que envolve um ácido

nucleico (DNA ou RNA). Como são considerados parasitas, necessitam de uma célula viva de outro ser para se replicarem, seja ela um humano ou até mesmo uma bactéria. Ao parasitar uma célula o vírus pode causar doenças. Exemplos de doenças causadas por vírus são AIDS, gripe, raiva, rubéola e herpes (bucal ou genital) (NASCIMENTO, 2010; SANTOS, 2023).

Os fungos possuem cerca de 1,5 milhões de espécies, dentre elas as leveduras e certos tipos de mofo, são microrganismos unicelulares de tamanho microscópico. Outros, como os cogumelos, são organismos macroscópicos compostos por várias células. Os fungos também apresentam núcleo celular e estruturas intracelulares. Como não produzem seu próprio alimento, esses seres se mantêm parasitando outros organismos, absorvendo nutrientes já prontos. Exemplos de doenças causadas por fungos são micoses, candidíase e frieiras (NASCIMENTO, 2010).

Os protozoários também são organismos unicelulares microscópicos, que apresentam pelo menos um núcleo e diversas estruturas intracelulares. Muitos protozoários se nutrem englobando ou ingerindo microrganismos de menor porte. A maioria dos protozoários possui a habilidade de locomoção, embora alguns, especialmente aqueles responsáveis por doenças, permaneçam imóveis. Esses microrganismos podem ser encontrados em diversos ambientes aquáticos e no solo, além de residirem em animais, como os mosquitos portadores do protozoário causador da malária. Exemplos de doenças causadas por protozoários são malária, doença de chagas, leishmaniose, toxoplasmose e amebíase (BLACK; BLACK, 2021).

2.2 Controle de microrganismos patogênicos

A eliminação de microrganismos patogênicos desempenha um papel fundamental na manutenção da saúde e na

prevenção de doenças. A esterilização de superfícies e objetos, especialmente em ambientes de cuidados de saúde, desempenham um papel crítico na prevenção da disseminação de infecções. Isso ajuda a proteger tanto os pacientes quanto os profissionais de saúde (LOURENÇÃO, 2009). Além disso, a eliminação de microrganismos patogênicos é essencial na segurança alimentar. A manipulação, preparação e armazenamento adequados dos alimentos, juntamente com a eliminação de patógenos por técnicas como cozimento e pasteurização, são vitais para garantir que os alimentos que consumimos não nos causem doenças (BIOXXI, 2020). Portanto, a eliminação de microrganismos patogênicos é crucial para proteger a saúde pública, prevenir surtos de doenças infecciosas e manter um ambiente seguro em diversos setores, incluindo saúde e alimentação. É uma medida essencial para promover a qualidade de vida e o bem-estar da sociedade como um todo (BIOXXI, 2020; LOURENÇÃO, 2009).

Dentre as medidas de controle de microrganismos temos a esterilização e a desinfecção, porém, existem diferenças entre elas, apesar de ambas terem o objetivo de limpar, possuem características distintas (AFREBRAS, 2021). O Quadro 1 mostra com detalhes as principais distinções dos dois métodos.

O processo de desinfecção pode ser muito eficaz para a eliminação de microrganismos, porém não destrói os esporos e alguns tipos de vírus, dessa maneira, só desinfetar não é suficiente. Por sua eficácia na eliminação de todos os microrganismos presentes em superfícies ou objetos, a esterilização desempenha um papel crucial em ambientes hospitalares e na indústria alimentícia, garantindo a segurança da população (KALIL; COSTA, 1994).

3 ESTERILIZAÇÃO

A esterilização se trata da

eliminação de toda e qualquer vida microbiana (patológicas ou não), inviabilizando a proliferação de doenças (BIOXXI, 2020). Em ambientes hospitalares ou clínicas, pode-se encontrar uma CME (Central de Material Esterilizado), onde uma equipe direcionada é responsável pela higienização e esterilização

de artigos utilizados em tal ambiente. Dentre esses artigos, tem-se objetos de cunho cirúrgico, pinças, luvas, aventais médicos, cápsulas de medicamentos, invólucros coletores de material biológico para análise entre muitos outros itens (SGS, 2023).

Quadro 1. Desinfecção e esterilização.

| | Desinfecção | Esterilização |
|-----------|---|---|
| Definição | Desinfetar significa eliminar a maioria dos microrganismos prejudiciais (não incluindo seus esporos) | Esterilizar significa matar todos os microrganismos – sejam eles nocivos ou não – e seus esporos presentes |
| Métodos | Geralmente químico, mas há opções de métodos físicos (pasteurização, por exemplo) | Físicos, químicos ou físico-químicos (calor, produtos químicos, irradiação, alta pressão e filtração) |
| Tipos | Álcoois, aldeídos, agentes oxidantes, fenólicos, calor e radiação UV. | Vapor, aquecimento, esterilização química, esterilização por radiação, filtração estéril. |
| Usos | A desinfecção é usada principalmente para superfícies e ambientes. | A esterilização é usada principalmente para alimentos e utensílios. |

Fonte: Extraído de AFREBRAS, 2021.

Em indústrias alimentícias a esterilização, também nomeada por esterilização comercial, é empregada com o objetivo de aumentar a durabilidade de seus produtos, visando mantê-los por mais tempo em temperatura ambiente, erradicando qualquer possível microrganismo (KALIL; COSTA, 1994). Dessa forma, apesar de suas diferenças, os métodos que envolvem esterilização contam com um principal objetivo em comum, manter o ser humano que entrará em contato com tal objeto/alimento livre da possibilidade de alguma infecção microbiana afetando a sua saúde (ANVISA, 2010).

3.1 Métodos de esterilização

O nível de garantia de esterilidade deve ser estabelecido por meio de

estudos de validação apropriados (ANVISA, 2010). Convencionalmente, um artigo é considerado estéril quando a probabilidade de sobrevivência dos microrganismos contaminantes é inferior a 1 em 1.000.000 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2001). De acordo com a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), o processo de esterilização pode ser classificado em três níveis, processos físicos, químicos e físico-químicos, ao qual, deve ser adequado a sua necessidade (ARAÚJO; PAULINO, 2020).

Os métodos físicos de esterilização empregam radiação ionizante e calor. A radiação ionizante atinge diretamente o DNA do microrganismo, inviabilizando sua reprodução. Além disso, possui a vantagem de poder penetrar em

produtos, mesmo quando estão embalados, sem alterar sua temperatura ou aspecto físico. A esterilização por calor pode ser subdividida em calor seco e calor úmido. No calor seco são utilizadas altas temperaturas por um longo período, o que leva à oxidação das células microbianas. Por outro lado, no calor úmido, ocorre a coagulação das proteínas dos microrganismos inativando-os, geralmente executado em estufas com altas temperaturas (KASVI, 2023). Os métodos químicos de esterilização envolvem a imersão dos objetos em produtos químicos, sejam líquidos ou gasosos, são indicados para produtos termossensíveis, ou seja, que não resistem a altas temperaturas. Exemplos desses produtos químicos incluem o óxido de etileno, peróxido de hidrogênio, formaldeído e ácido peracético (KALIL; COSTA, 1994).

Por fim, existem os métodos físico-químicos, que combinam elementos dos métodos físicos e químicos. Geralmente, são empregados em artigos termossensíveis e suscetíveis à umidade. Nesse caso, são utilizados gases como vapor de óxido de etileno e plasma de peróxido de hidrogênio para alcançar a esterilização desejada (BARRIENTOS, 2012).

3.2 Radioesterilização

A radioesterilização é um método de esterilização que utiliza radiação ionizante, como raios gama de uma fonte de Cobalto-60 ou feixes de elétrons de alta energia, gerados em aceleradores lineares, eliminando microrganismos presentes em materiais ou alimentos. Esse processo é amplamente utilizado em indústrias farmacêuticas, de alimentos, médicas e outras áreas onde a esterilidade é essencial (SOUZA et al., 2010).

Durante a radioesterilização, os materiais são expostos a uma fonte de radiação ionizante. A radiação ionizante danifica o DNA e outros componentes celulares dos microrganismos, impedindo sua capacidade de reprodução e

sobrevivência. Como resultado, os microrganismos são mortos, tornando o material estéril e livres de microrganismos patogênicos (IPEN, 2023a; ALVES et al., 2019).

A radioesterilização apresenta diversas vantagens. A radiação ionizante é altamente eficaz na eliminação de microrganismos patogênicos, incluindo bactérias, vírus e fungos. Além disso, essa técnica possui a capacidade de penetrar em embalagens e materiais, assegurando a esterilização de áreas de difícil acesso. A radioesterilização não requer altas temperaturas, ao contrário de outros métodos de esterilização, como a esterilização por calor, o que a torna adequada para produtos sensíveis ao calor. Ela também não deixa resíduos químicos nos produtos tratados, diferentemente das técnicas que utilizam agentes químicos para a esterilização (ROMANO, 2023; CASTRO, 2017).

A radioesterilização também apresenta algumas desvantagens, visto que a aquisição e manutenção de fontes radioativas ou aceleradores de partículas podem ter alto custo, o que pode limitar sua aplicação em algumas indústrias. Além disso, é necessário um controle rigoroso da dose de radiação aplicada para garantir a esterilização adequada e evitar danos aos produtos. Outra limitação é que alguns materiais podem ser afetados pela radiação, sofrendo alterações em suas propriedades físicas ou químicas durante o processo de radioesterilização (ROMANO, 2023; CASTRO, 2017).

Apesar de sua eficácia em diversos aspectos, é essencial ponderar minuciosamente essas desvantagens ao decidir pela sua aplicação em distintos segmentos industriais. Todas essas características fazem da radioesterilização uma opção eficiente e segura para garantir a esterilidade de uma ampla gama de produtos em diversos setores industriais. Portanto, é crucial considerar cuidadosamente as vantagens e desvantagens

antes de optar por essa tecnologia em um determinado contexto industrial (ROMANO, 2023; CASTRO, 2017).

3.3 Radiação e fontes de irradiação

Radiação é a energia que se propaga a partir de uma fonte emissora através de qualquer meio, seja na forma de onda eletromagnética ou partícula. Na forma de partículas atômicas ou subatômicas, como partículas alfa, elétrons, pósitrons, prótons, nêutrons, possuem carga, massa e velocidade, e podem ser geradas em aceleradores de partículas ou em reatores. Além disso, partículas alfa, elétrons e pósitrons também são emitidos espontaneamente a partir dos núcleos de átomos radioativos. Por outro lado, na forma de onda eletromagnética, a radiação não possui massa nem carga e é constituída por campos elétricos e magnéticos oscilantes, que são perpendiculares entre si, como os raios X, radiação gama, microondas e luz visível. A teoria da dualidade onda-partícula estabelece uma relação entre partículas e ondas, em que uma onda eletromagnética é emitida e se propaga na forma de pequenos pacotes de energia chamados fótons. (SCAFF, 2010; OKUNO, 2013).

As radiações podem ser categorizadas em duas classes: ionizantes e não-ionizantes. A radiação ionizante é a radiação transmitida por partícula de alta energia (partículas alfas, prótons, elétrons, nêutrons) ou ondas eletromagnéticas (raios X, raios gama) têm a capacidade de transferir energia suficiente para remover elétrons de átomos ou moléculas quando interagem com um meio, produzindo conseqüentemente a sua ionização. Por outro lado, as radiações não-ionizantes não possuem essa capacidade (OKUNO; YOSHIMURA, 2010; SCAFF, 2010; PINO; GIOVEDI, 2005).

A crescente variedade de aplicações da radiação ionizante na área industrial decorre do seu poder de ionização, permitindo sua aplicação em

diversas finalidades, incluindo a radioesterilização (PINO; GIOVEDI, 2005).

Existem várias fontes de radiação utilizadas para esterilização, sendo que as mais comuns são a radiação gama e feixe de elétrons.

A radiação gama é gerada pela desintegração radioativa de isótopos radioativos, como o cobalto-60 (^{60}Co) e o céσιο-137 (^{137}Cs). Esses isótopos são inseridos em uma fonte selada e emitem radiação gama de alta energia. Essa radiação penetra profundamente nos materiais e é eficaz na esterilização (PROSS, 2023). O ^{60}Co é produzido pela irradiação de um alvo de cobalto-59 com nêutrons em um reator nuclear. Tem um tempo de meia-vida de aproximadamente 5,27 anos e emite radiação gama de alta energia (1,17 e 1,33 MeV) durante o decaimento radioativo. (PORTO, 2013). O ^{137}Cs também é um radioisótopo artificialmente produzido em reatores nucleares. Possui um tempo de meia-vida de aproximadamente 30 anos, o que significa que leva cerca de 30 anos para que metade da quantidade de céσιο-137 se desintegre (LIMA, 2023).

O feixe de elétrons é produzido a partir de um acelerador linear. Os aceleradores lineares não dependem de material radioativo para emitir radiação, portanto, quando desligados não produzem ou emitem qualquer tipo de radiação. (TSAI, 2006; CASTRO, 2017; ROCCO et al., 2023).

Cada uma dessas fontes de radiação possui características específicas de penetração, dose e eficácia de esterilização, e a escolha da fonte a ser utilizada depende do tipo de material e dos requisitos de esterilização necessários (PINO; GIOVEDI, 2005).

A aplicação de radioisótopos na radioesterilização é estritamente regulamentada por agências de controle nuclear e saúde, garantindo a segurança dos processos. São estabelecidas diretrizes para a quantidade de radiação que os produtos podem receber, a fim de

garantir a eficácia da esterilização e a segurança dos produtos. Além disso, é fundamental ressaltar que a radioesterilização, ao utilizar radioisótopos, não resulta em qualquer forma de contaminação radioativa do objeto a ser esterilizado. Nesse processo, o objeto é apenas submetido à irradiação, não possuindo, portanto, qualquer constituinte radioativo em sua composição (TSAI, 2006; PORTO, 2013).

3.4 Aplicações da rádio esterilização

A rádio esterilização é uma técnica aplicada no Brasil desde a década de 80, desempenhando um papel crucial em várias áreas, desde a saúde até a indústria e a pesquisa. Essa técnica é valorizada por sua capacidade de esterilizar produtos que são sensíveis ao calor e à umidade, além de sua eficácia na preservação da qualidade de alimentos e em outras aplicações (IPEN, 2023).

Figura 1. Ossos embalados prontos para serem rádio esterilizados.



Fonte: Extraído de IPEN, 2023b.

No campo da saúde, a radioesterilização é utilizada para esterilizar uma ampla gama de produtos médicos, incluindo seringas, catéteres, suturas e dispositivos médicos descartáveis. Essa esterilização é essencial para garantir a segurança dos pacientes e reduzir o risco de infecções hospitalares. Além disso, a radioesterilização desempenha um papel importante na esterilização de tecidos biológicos, como ossos, peles e membranas, que são frequentemente

usados em procedimentos cirúrgicos de implantes (Figura 1) (IPEN, 2023a, b).

No setor de alimentos, a radioesterilização é uma ferramenta valiosa para conservar produtos alimentícios, como especiarias e temperos. Também é aplicada para impedir o desenvolvimento de brotos em batatas e cebolas, bem como para retardar o amadurecimento e reduzir a proliferação de fungos em frutas e vegetais. Isso pode ser visualizado na Figura 2, que apresenta duas bandejas de morango após quatro dias do processo de radioesterilização, a bandeja à esquerda é a controle e a bandeja à direita irradiada com dose de 3 kGy. Além disso, também pode ser aplicada em derivados animais, como os derivados cárneo, a fim de matar bactérias patogênicas presentes na carne (MARTINS, 2016; SANTOS et al., 2023; IPEN, 2023c).

Figura 2. Rádio esterilização em morangos.



Fonte: Extraído de IPEN, 2023c.

A indústria farmacêutica também se beneficia da radioesterilização, que é usada para esterilizar produtos farmacêuticos sensíveis ao calor. Isso é fundamental para a produção de medicamentos seguros e eficazes, protegendo a integridade dos princípios ativos (IPEN, 2023a).

Nos laboratórios de pesquisa e análise, a radioesterilização é empregada para esterilizar meios de cultura, soluções e outros ingredientes usados em experimentos e testes microbiológicos. Isso assegura a precisão dos resultados e a validade das análises (IPEN, 2023a). Além disso, a radioesterilização

desempenha um papel na preservação de bens culturais, como livros, quadros esculturas, tecidos etc., eliminando organismos indesejáveis, como insetos e fungos que podem causar danos a esses objetos com o tempo (IPEN, 2023a; IPEN, 2023d).

Atualmente, no Brasil se tem três irradiadores comerciais que utilizam fontes de ^{60}Co . Estes irradiadores são instalações de duas empresas: Johnson & Johnson e EMBRARAD. A instalação da Johnson & Johnson destinam à esterilização de sua própria produção, incluindo catéteres, seringas, fraldas descartáveis, suturas, e outros produtos médicos. As instalações da EMBRARAD prestam serviços de irradiação para terceiros (IPEN, 2023a).

O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), foram implantadas fontes de pequeno porte de ^{60}Co , destinado a Universidades e unidades do próprio IPEN. Essas fontes são destinadas a ensaios de radioesterilização para determinação da dose ideal e prestação de serviços de esterilização em diversos produtos biológicos (IPEN, 2023a).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A radioesterilização é uma técnica comprovadamente eficiente que desempenha um papel crucial em diversas áreas, desde a saúde até a indústria de alimentos e farmacêutica. Sua capacidade de eliminar microrganismos indesejados sem deixar resíduos químicos nos produtos tratados a torna uma opção valiosa para garantir a segurança e a qualidade de uma ampla gama de produtos.

Dessa forma, a radioesterilização oferece vantagens significativas em relação a outros métodos convencionais de esterilização, como a esterilização química e térmica. Através do uso de raios gama ou feixes de elétrons de alta energia, a radioesterilização penetra

profundamente nos materiais, alcançando locais de difícil acesso, garantindo uma esterilização completa e confiável. Além disso, ao contrário de outras técnicas, a radioesterilização não deixa resíduos químicos nos produtos tratados, o que é fundamental para indústrias que requerem um alto padrão de qualidade e segurança. Entretanto, é fundamental destacar que a radioesterilização não é isenta de desafios, como o controle da dose de radiação e a necessidade de monitorar e validar continuamente os processos. Dessa forma, a garantia de conformidade com as normas de segurança é essencial para a aplicação bem-sucedida dessa técnica. Portanto, a radioesterilização continua a ser uma ferramenta valiosa para esterilizar produtos em diversas indústrias, oferecendo benefícios significativos em termos de segurança, qualidade e preservação. Seu uso adequado e sua evolução contínua são elementos-chave para o progresso da ciência, da indústria e da proteção da saúde pública.

REFERÊNCIAS

AFREBRAS. Esterilização e desinfecção: aprenda conceitos básicos para diferenciá-las. Disponível em: <<https://afrebras.org.br/noticias/esterilizacao-e-desinfeccao-aprenda-conceitos-basicos-para-diferencia-las/>>.

Acesso em: 28 jun. 2023.

ALVES, A. V. T. et al. RADIOESTERILIZAÇÃO DE MATERIAIS. Disponível em: <<http://publicacoesacademicas.unicatolicaquixada.edu.br/index.php/mostrabiomedicina/article/view/3455>>. Acesso em: 27 jul. 2023.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Farmacopeia Brasileira Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília, 2010. Disponível em: <[https://antigo.anvisa.gov.br/documents/33832/260079/5%C2%AA+edi%](https://antigo.anvisa.gov.br/documents/33832/260079/5%C2%AA+edi%20)

C3%A7%C3%A3o+-+Vo-
lume+1/4c530f86-fe83-4c4a-b907-
6a96b5c2d2fc>. Acesso em: 5 jul. 2023.
ARAÚJO, A. A. A.; PAULINO, R. G. Ma-
nual de Processamento de Produtos
para Saúde. Brasília, 2020.

BARRIENTOS, C. P. C. Contribuições à
Avaliação Metrológica de Esterilizadores
por Vapor Saturado. Dissertação de
Mestrado, Pontifícia Universidade Católica
do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro,
2012.

BATISTA, C. Microrganismos: o que são
e tipos. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/microrganismos/>>.
Acesso em: 28 jun. 2023.

BIOXXI. Tipos de esterilização hospita-
lar. Disponível em:
<<https://bioxxi.com.br/blog/tipos-de-esterilizacao-hospitalar/>>. Acesso em: 17
jul. 2023.

BLACK, J. G.; BLACK, L. J. Microbiologia -
Fundamentos e Perspectivas. Rio
de Janeiro: Grupo GEN, 2021. E-book.
ISBN 9788527737326. Disponível em:
<<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788527737326/>>.
Acesso em: 28 jun. 2023.

CASTRO, M. A. de. Efeito da irradiação
de feixe de elétrons sobre as proprieda-
des térmicas e mecânicas do compósito
polipropileno/fibra de vidro. Disponível
em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/187803>>. Acesso em: 24
jun. 2023.

IPEN. Agricultura. Disponível em:
<https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=731>. Acesso
em: 25 set. 2023c.

IPEN. Banco de Tecidos. Disponível em:
<https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=744&campo=843>. Acesso em:

25 set. 2023b.

IPEN. Irradiações - Desinfestação e de-
sinfecção de bens culturais por radiação
gama. Disponível em:
<https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=696&campo=1652>. Acesso em:
25 set. 2023d.

IPEN. Radioesterilização. Disponível
em: <https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=741#:~:text=irradia%C3%A7%C3%A3o%20de%20obras%20de%20artede%20organismos%20in-desej%C3%A1veis%20nes-ses%20bens>. Acesso em: 3 set. 2023.

KALIL, E. M.; COSTA, A. J. F. Desinfec-
ção e esterilização. Acta Ortopédica Bra-
sileira, dez. 1994.

KASVI. Esterilização: quais os tipos e
sua importância na saúde. Disponível
em: <<https://kasvi.com.br/esterilizacao-quais-os-tipos-e-sua-importancia-na-saude/#:~:text=A%20esteriliza%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A9%20um%20pro-cesso,como%20v%C3%ADrus%2C%20bact%C3%A9rias%20e%20fungos>>.
Acesso em: 28 jun. 2023.

LIMA, A. L. L. Césio-137. Disponível em:
<<https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/cesio-137.htm>>. Acesso em: 5 jul.
2023.

LOURENÇÃO, J. Avaliação da resistên-
cia de microrganismos patogênicos à de-
sinfecção sequencial com ozônio-radia-
ção ultravioleta e cloro-radiação ultravio-
leta. Dissertação de Mestrado, Universi-
dade de São Paulo São Carlos, 2009.

MARTINS, D. B. Uso da Irradiação na In-
dústria de Alimentos. Trabalho de Con-
clusão de Curso. Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do

Sudeste de Minas Gerais, Rio Pomba, 2016.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Orientações gerais para Central de Esterilização. Brasília, 2001.

MUHLPOINTNER, M. D. Biologia celular e microbiologia em radiologia. 1. ed. São Caetano do Sul: Difusão, 2021. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 28 jun. 2023.

NASCIMENTO, J. S. Biologia de Microrganismos - Introdução à Microbiologia. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2009. E-book. Disponível em: http://portal.virtual.ufpb.br/biologia/novo_site/Biblioteca/Livro_4/6-Biologia_de_Microrganismos.pdf. Acesso em: 28 jun. 2023.

OKUNO, E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes. Acidente radiológico de Goiânia. Estudos Avançados, v. 27, n. 77, p. 185-199, 2013.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. Física das Radiações. 1o ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

PINO, E. S.; GIOVEDI, C. Radiação Ionizante e duas Aplicações na Indústria. UNILUS Ensino e Pesquisa, n. 2, v. 2, jan/jun 2005.

PORTO, K. M. B. G. Efeitos da radiação gama (cobalto-60) nas principais propriedades físicas e químicas de embalagens compostas por papel grau cirúrgico e filme plástico laminado, destinada à esterilização de produtos para saúde. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

PROSS, G. R. Física. net - O canal de física na internet. 2023. Disponível em: <https://fisica.net/nuclear/>. Acesso em 11/09/2023.

ROCCO, M. L. M. et al. Irradiação de

polímeros com feixe de elétrons: caracterização de íons positivos através da técnica de tempo-de-vôo. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/mW6ZVB46N7NtNV9TpPc448w/#>. Acesso em: 4 jul. 2023.

ROMANO, J. C. Esterilização por radiação ionizante. Disponível em: <http://www.hospvirt.org.br/enfermagem/port/radion.html#:~:text=Custo%20elevado.,o%20asunto%20nesta%20%C3%A1rea%202D%20esteriliza%C3%A7%C3%A3o.>>. Acesso em: 24 jun. 2023.

SANTOS, A. F. et al. Determinação da dose de radiação gama para reduzir a população de Salmonella spp em carne de frango. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/5p8sH7M8ZJhB-mwvqpx449Wv/#>. Acesso em: 25 set. 2023.

SANTOS, V. Vírus. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/amp/biologia/virus.htm>. Acesso em: 28 jun. 2023.

SCAFF, L. A. M. Física na Radioterapia. 1. ed. São Paulo: Editora Projeto Saber, 2010).

SGS - SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE SURVEILLANCE. Esterilização de produtos para cuidados com a saúde - radiação. Disponível em: <https://www.sgs.com/pt-br/services/iso-11137-1-2-esterilizacao-de-produtos-para-cuidados-com-a-saude-radiacao>. Acesso em: 26 ago. 2023.

SOUZA, A. S. et al. Embalagens para esterilização: suas aplicações e recomendações na prática hospitalar. Revista de Pesquisa: Cuidado é Fundamental Online. 2(Ed. Supl.), p. 316-319, dez. 2010.

TEIXEIRA, S. Você sabe o que são os microrganismos? Disponível em: <<https://www.cpt.com.br/cursos-seguranca-alimentar/artigos/voce-sabe-o-que-sao-os-microrganismos>>. Acesso em: 2 jul. 2023.

TSAI, D. Aplicação da radiação ionizante por feixe de elétrons como agente esterilizante de microrganismos em substrato turfoso. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.