

BIOLOGICAL EFFECTS OF IONIZING RADIATION

EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE

EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE

Candido Alves da Silva Neto¹
Kaylane Cristina de Sousa Santos²
Lucivan Pereira Ferraz³
Valney Moura da Silva⁴
João Vitor dos Santos Silva⁵

DESCRIPTORS

Ionizing
Radiation, Cell
Death,
Radioprotection
, Neoplasm

ABSTRACT: Introduction: The applicability of ionizing radiation in the medical context plays a fundamental role, being present in several stages such as diagnosis, planning, and treatment. Methodology: The proposed research is configured as a synthesis of a variety of analyzed scientific articles, with an emphasis on the harmful effects caused by the use of ionizing radiation. Results and Discussion: The deliberate use of ionizing radiation can induce the ionization of an atom, which in turn may cause damage to large molecules or the relocation of atoms within a molecule. It can also affect fundamental structures such as DNA, leading to damage to the genetic material. Conclusion: It is essential to be aware of the effects that radiation can have on matter, whether to a lesser or greater extent. While the use of radiology for diagnostic, treatment, and disease monitoring purposes is beneficial, it is important to consider the risks associated with the process, especially when the exposure doses are not ideal.

DESCRITORES

Radiación
Ionizante, Morte
Celular,
Radioprotección,
Neoplasia

RESUMO: Introdução: A aplicabilidade da radiação ionizante no contexto médico desempenha um papel fundamental, estando presente em várias etapas como o diagnóstico, a planificação e o tratamento. Metodologia: A investigação proposta se configura como uma síntese de uma variedade de artigos científicos analisados, com ênfase nos efeitos nocivos causados pelo uso da radiação ionizante. Resultados e Discussão: O uso deliberado da radiação ionizante pode induzir a ionização de um átomo, o qual a sua vez pode provocar danos em macromoléculas ou a reubicación de átomos dentro de uma molécula. Também pode atuar sobre estruturas fundamentais como o ADN, gerando danos en el material genético. Conclusão: Es fundamental prestar atención a los efectos que la radiación puede causar en la materia, ya sea en menor o mayor grado. Si bien el uso de la radiología con fines de diagnóstico, tratamiento y seguimiento de patologías es beneficioso, es importante considerar los riesgos asociados al proceso, especialmente cuando las dosis de exposición no son las ideales.

DESCRIPTORES

Radiación
Ionizante,
Muerte Celular,
Radioprotección,
Neoplasia

RESUMEN: Introducción: La aplicabilidad de la radiación ionizante en el contexto médico desempeña un papel fundamental, estando presente en varias etapas como el diagnóstico, la planificación y el tratamiento. **Metodología:** La investigación propuesta se configura como una síntesis de una variedad de artículos científicos analizados, con énfasis en los efectos nocivos causados por el uso de la radiación ionizante. **Resultados y Discusión:** El uso deliberado de la radiación ionizante puede inducir la ionización de un átomo, lo cual a su vez puede provocar daños en macromoléculas o la reubicación de átomos dentro de una molécula. También puede actuar sobre estructuras fundamentales como el ADN, generando daños en el material genético. **Conclusión:** Es fundamental prestar atención a los efectos que la radiación puede causar en la materia, ya sea en menor o mayor grado. Si bien el uso de la radiología con fines de diagnóstico, tratamiento y seguimiento de patologías es beneficioso, es importante considerar los riesgos asociados al proceso, especialmente cuando las dosis de exposición no son las ideales.

¹Graduando do Curso Superior Tecnólogo em Radiologia, Centro Universitário de Ciências e Tecnologia do Maranhão - UniFacema, Caxias Maranhão, Brasil, candidonetto2013@gmail.com

² Graduando do Curso Superior Tecnólogo em Radiologia, Centro Universitário de Ciências e Tecnologia do Maranhão - UniFacema, Caxias Maranhão, Brasil, kaylanecristinafilho@gmail.com

³ Graduando do Curso Superior Tecnólogo em Radiologia, Centro Universitário de Ciências e Tecnologia do Maranhão - UniFacema, Caxias Maranhão, Brasil, ferrazlucivan725@gmail.com

⁴ Docente do Curso Superior de Tecnologia em Radiologia, Mestre, Centro Universitário de Ciências e Tecnologia do Maranhão - UniFacema, Caxias, Maranhão, Brasil, valney.silva@unifacema.edu.br

⁵ Docente do Curso Superior de Tecnologia em Radiologia, Especialista, Centro Universitário de Ciências e Tecnologia do Maranhão - UniFacema, Caxias, Maranhão, Brasil, joao.santos@unifacema.edu.br

1. INTRODUÇÃO/CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A aplicabilidade da radiação ionizante no contexto médico desempenha um papel fundamental, estando presente em diversas fases, como diagnóstico, planejamento e tratamento. Assim, é essencial o entendimento sobre a manipulação dos raios ionizantes, dos aparelhos e das formas de proteção contra as radiações (CIRILO et al., 2021).

Com o emprego da radiação ionizante, torna-se primordial a identificação de doenças. No entanto, é inegável a possibilidade de efeitos biológicos, como danos ao DNA, mesmo em proporções baixas de exposição. Dessa forma, é indispensável o entendimento dos riscos biológicos, pois a exposição à radiação ionizante pode quebrar ligações químicas a nível atômico. Os raios X, ao atingirem moléculas, podem descolar elétrons. Esse processo pode danificar moléculas orgânicas, gerando radicais livres que têm o poder de atacar outras estruturas, originando câncer ou outras doenças (CIRILO et al., 2021).

Uma das definições básicas de radiação ionizante é que se trata de um “tipo de energia capaz de remover cargas elétricas negativas de um átomo, formando assim os íons”, podendo ser concebida de forma natural ou artificial. O organismo humano, por ser composto de matéria, é constituído de átomos que formam diversas moléculas fundamentais organizadas por forças elétricas. A exposição à radiação ionizante pode induzir o deslocamento de um elétron, resultando em um desequilíbrio molecular que pode originar efeitos biológicos, como o surgimento do câncer (MOURA et al., 2022).

A radiação ionizante, dependendo da dose de exposição, possui características nocivas, e as lesões podem ser cumulativas. As células mais propensas à radiosensibilidade são as mais jovens e diferenciadas, como os glóbulos brancos, glóbulos vermelhos, óvulos e espermatozoides. As células

cristalinas e epiteliais possuem sensibilidade intermediária, enquanto as células que compõem o sistema nervoso e o sistema muscular são as mais resistentes. Os efeitos a curto prazo podem ser identificados em horas, dias ou semanas, com sintomas característicos. Já os efeitos a longo prazo resultam de grandes exposições em pequenos períodos de tempo ou de quantidades de radiação acumuladas em longos períodos (MARCHIORI, 2015).

Para remediar tais efeitos biológicos, a implementação de práticas de radioproteção torna-se crucial, mesmo existindo falhas no entendimento da proteção radiológica por parte dos profissionais de saúde, seja por deficiências na formação ou pela atuação incompleta do empregador, que não exerce seu papel da forma adequada (BATISTA et al., 2019).

Nesse contexto, é fundamental ressaltar a importância de alguns mecanismos que atuam como forma de proteção, dentre os quais se pode mencionar o Programa de Controle de Qualidade (PCQ). Este é concebido como um conjunto de padrões que visa o cumprimento de normas de forma sistêmica, por meio de ações monitoradas e revisadas, com a finalidade de manter os requisitos dos protocolos de garantia de qualidade e proteção radiológica (GEAMBASTIANI et al., 2022).

Sendo assim, a finalidade deste artigo é apresentar a aplicabilidade da radiação no contexto histórico para fins de radiodiagnóstico, os efeitos biológicos provenientes do seu uso, bem como os meios de prevenção existentes.

2. METODOLOGIA

De forma ampla, a metodologia científica é uma ciência estabelecida, abordada basicamente em dois modos: o interno, que gira em torno das concepções metodológicas debatidas, e o externo, relacionado com o que é estabelecido ou não como ciência (ALEXANDRE, 2021).

Nesse sentido, o saber científico atua em prol de uma posição de valor. Ou seja, o pesquisador

deve ter uma designação objetiva, pois suas interpretações dos dados coletados devem valorizar a moralidade presente na sociedade (ALEXANDRE, 2021).

Nesse cenário, a pesquisa proposta configura-se pela síntese de uma variedade de artigos científicos e outros estudos analisados, com ênfase nos efeitos nocivos causados pelo uso da radiação ionizante. Buscou-se trabalhar com uma pesquisa de caráter bibliográfico qualitativo, ou seja, baseada no aprofundamento teórico relacionado à análise e interpretação de conteúdos já publicados, levando em consideração a literatura existente, a fim de apurar dados informativos pautados no tema central: Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante.

O levantamento dos estudos que culminaram neste trabalho foi obtido por meio de pesquisas realizadas em plataformas de busca, como o Google Acadêmico, PubMed, SciELO Brasil e Biblioteca Virtual (plataforma privada), que permitem o acesso a diversos tipos de documentos científicos, como teses, dissertações, livros, resumos e artigos científicos, ou seja, levando em consideração estudos já publicados e relevantes para o tema.

Tabela-01

Plataforma	Quantidade de estudos achados	Estudos selecionados
Google Acadêmico	16.660	28
Minha Biblioteca	35	05
PubMed	701	02
SciELO Brasil	48	02

Fonte: Autoria, 2025.

Em um primeiro momento, foi elaborado o título do artigo: “Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante”. Logo depois, foi definida a finalidade do estudo, que visa analisar os efeitos biológicos decorrentes da aplicação da radiação ionizante no radiodiagnóstico, bem como os meios de prevenção existentes. A partir disso, a pesquisa foi desenvolvida mediante alguns critérios, nos quais foram analisados estudos publicados em língua portuguesa e inglesa, nos últimos 10 anos, com afinidade ao tema e disponíveis nas plataformas

mentionadas, por serem de fácil acesso. Os tipos de documentos considerados foram: artigos científicos, teses, dissertações e livros. Os documentos excluídos foram aqueles com datas de publicação superiores a 10 anos ou que não estavam relacionados ao tema, além daqueles com limitação de acesso.

Os descritores utilizados na busca foram: Radiação Ionizante, Morte Celular, Radioproteção e Neoplasia. Esses descritores foram obtidos por meio da plataforma Descritores em Ciências da Saúde (DeCS/MeSH), um sistema de vocabulário controlado para indexar e organizar informações científicas na área da saúde.

As investigações e análises ocorreram entre os dias 12 de abril e 12 de maio de 2025. Na plataforma Google Acadêmico, foram encontrados 16.660 estudos relacionados ao tema, dos quais 68 foram reservados, 28 selecionados para a construção deste artigo e 40 descartados. Na plataforma PubMed, os resultados da pesquisa foram 701, dos quais 07 foram avaliados, 02 escolhidos e 05 descartados. Na Biblioteca Virtual, foram encontrados 35 estudos, dos quais 08 foram selecionados para análise, 05 utilizados na montagem do artigo e 03 descartados. Na SciELO Brasil, foram obtidas 48 pesquisas, das quais 08 foram reservadas para análise, 02 foram usadas na montagem do artigo e 07 descartadas. As seleções foram feitas com base na leitura diária dos resumos e títulos dos estudos, conforme sua afinidade com o tema proposto.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 História da Radiologia

Para uma análise mais completa do conhecimento radiológico, é imprescindível um entendimento mais retroativo, especificamente no que se refere às propostas dos pensadores gregos a respeito do átomo. Oliveira (2017) aponta em seu

estudo que, desde os tempos remotos, a composição da matéria tem sido alvo de investigação. Mediante os estudos dos gregos Leucipo e Demócrito, foi possível obter os primórdios do entendimento do átomo. Eles afirmaram que o mundo é constituído por átomos e vazio. A então Teoria Atomística propunha que o universo é composto por átomos, partículas indivisíveis, invisíveis, impenetráveis e dotadas de movimento próprio.

Em um avanço na linha do tempo, especificamente em 1803, o britânico John Dalton propôs, por meio de seus estudos sobre os gases, uma nova teoria atômica. Dalton concluiu que os gases poderiam se misturar, mas não tinham a capacidade de se ligar quimicamente. Sua teoria era apoiada na ideia de que os gases atmosféricos eram constituídos por unidades fundamentais que não poderiam ser divididas em partículas menores. Para Dalton, o átomo era uma pequena estrutura maciça, indestrutível e indivisível (SILVA; SILVA, 2021).

Já em 1911, Ernest Rutherford propôs que o átomo era formado por um núcleo circundado por elétrons. Ele sugeriu ainda que o átomo seria divisível ao propor a existência de uma nova partícula elementar, o próton. Nessa mesma linha, Bohr percebeu que o elétron, ao absorver energia, transitava de uma órbita mais interna para uma órbita mais externa (SILVA; SILVA, 2021).

A grande virada conceitual veio em 1876 com Gotthilf-Eugen Goldstein, que cunhou o termo "raios catódicos" para descrever a emissão luminosa que partia do eletrodo negativo em direção ao positivo, nos tubos contendo gases rarefeitos. Essa denominação marcou o início de uma nova fase nas pesquisas, que seria levada adiante principalmente por três cientistas: William Crookes, Heinrich Hertz e Philipp Lenard (PACHECO; FREITAS-REIS, 2023).

Nessa conjuntura, a descoberta realizada por Röntgen em 1895 está intrinsecamente ligada ao modelo atômico quântico, sendo um dos marcos na descoberta que ajudaram no entendimento estrutural do modelo atômico quântico. A radiologia passou a se estabelecer como ciência, mediante os estudos publicados por Röntgen em dezembro de

1895, levando em consideração observações feitas por meio da ampola de Crookes e a emissão dos raios catódicos. Em seus estudos, Röntgen percebeu que os raios atravessavam materiais como vidro, papelão e madeira, mas eram contidos por metais como o chumbo. Além disso, tinham a capacidade de impregnar placas, desde que entre a placa e os raios existisse um corpo, como no exemplo da radiografia de sua própria mão e, mais tarde, da mão de sua esposa, em abril de 1896 (MARCHIORI, 2015).

Antoni Henri Becquerel (1852-1908), após ter contato com as publicações de Röntgen sobre os raios X, passou a se questionar se seus estudos em relação a elementos fluorescentes, como o urânio, tinham as mesmas propriedades dos raios X. Ao guardar chapas fotográficas juntamente com sais de urânio, percebeu que as chapas eram sensibilizadas por uma radiação invisível. Por não identificar o fenômeno, batizou-o de Raios de Becquerel (OLIVEIRA, 2022).

Já no ano de 1898, o casal Marie e Pierre Curie, complementando os estudos desenvolvidos por Becquerel, descobriram a existência de um novo elemento químico no campo da radioatividade, o polônio, por meio de pesquisas com o mineral pechblenda. Dando continuidade às pesquisas, mais tarde, os Curie descobriram outro elemento químico, o rádio, 900 vezes mais radioativo que o urânio (MARTINS, 2021).

O fato é que a história das radiações não se resume a um momento isolado de genialidade, mas a uma rede de contribuições acumuladas.

3.2 Surgimento de Câncer

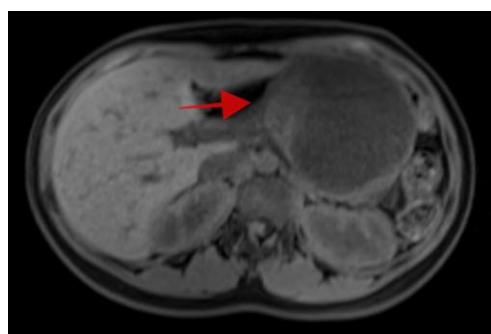
O câncer pode ser ocasionado por inúmeros fatores de risco, tais como genéticos, ambientais, culturais, socioeconômicos, estilos de vida ou até mesmo o próprio processo de envelhecimento (SANTOS; PADILHA, 2022). Observar o processo de origem de uma neoplasia de forma longitudinal é algo inviável. O que se pode afirmar com precisão é que, durante o processo de multiplicação de uma

célula, erros podem introduzir mutações no DNA das células secundárias. Durante esse evento, mudanças cromossômicas podem se desenvolver, como perdas, duplicação ou rearranjo. Tais alterações favorecem o desenvolvimento de neoplasias (GRAHAM; SOTTORIVA, 2016).

A radiação ionizante, ao interagir com o corpo humano, pode ocasionar lesões no DNA das células, podendo se manifestar de forma direta, quando a radiação atinge o DNA, ou de forma indireta, quando surgem radicais livres que atacam moléculas saudáveis. Normalmente, o corpo tende a reparar esse DNA danificado; no entanto, podem ocorrer falhas no reparo, o que possibilita o surgimento de um câncer (JUNG; ATALLAH, 2017). É importante mencionar que, em alguns casos, a manifestação cancerígena ocorre conforme a proporcionalidade e a frequência da radiação absorvida. Doses elevadas ou baixas, mas constantes, induzem a formação carcinogênica.

Vale ressaltar que "fatores genéticos/hereditários também estão relacionados à presença de mutações em determinados genes" (SPÍNOLA; FERREIRA; ARAÚJO, 2021).

Figura 1 - Ressonância magnética de abdome (volumosa massa heterogênea encapsulada em cauda)



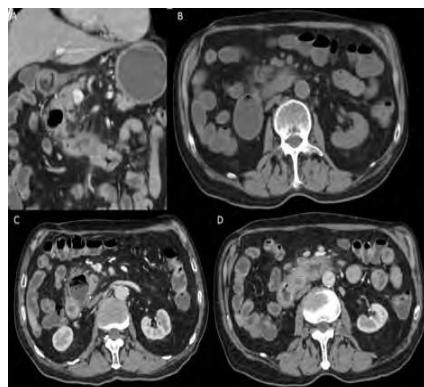
Fonte: Saramago et al., 2024.

A evolução da medicina tem proporcionado diagnósticos cada vez mais assertivos. No entanto, é imprescindível considerar métodos radiológicos, especialmente a modalidade de tomografia computadorizada (TC), que tem gerado certo

alarme em relação à manifestação de neoplasias. Embora o risco seja considerado pequeno, quando aplicado de forma constante, pode, no futuro, representar um risco para a saúde pública (JUNG; ATALLAH, 2017).

Para se ter uma ideia, a dose de radiação empregada em um determinado exame de TC é bem maior que a dose utilizada em uma radiografia convencional. Em uma radiografia do estômago, a dose chega a 0,25 mGy, enquanto em uma TC, a dose no mesmo exame é cerca de 50 vezes maior (JUNG; ATALLAH, 2017).

Figura 2 - Neoplasia primária de duodeno



Fonte: Schuh, 2021.

O fato é que a radiação ionizante é um agente cancerígeno, não havendo um limiar específico entre a dose absorvida e o risco de desenvolvimento de câncer. Os limites de proteção em relação à exposição à radiação para aqueles que trabalham diariamente com ela são baseados em grandes doses únicas e também em situações de pacientes expostos à radioterapia com exposições volumosas (VIEIRA; MARTINEZ; CARDOSO, 2024).

Durante o exercício de suas atividades laborais, os homens estão constantemente em contato com agentes induzidores de neoplasias. Para se ter uma ideia, cerca de 19 tipos de tumores que afetam de forma nociva o organismo humano estão associados ao ambiente de trabalho. Nesse contexto, a radiação ionizante se destaca entre os fatores carcinogênicos (MEDRADO, 2015).

3.3 Efeitos da Radiação Ionizante

O uso deliberado da radiação ionizante pode induzir a ionização de um átomo, o que, por sua vez, pode originar danos a grandes moléculas ou relocação de átomos dentro da molécula. Isso ocorre principalmente devido a exposições intensas, o que pode tornar os raios X nocivos à saúde humana, elevando as manifestações de tumores, leucemia e outros problemas possíveis (NATALE, 2015).

De forma geral, as manifestações biológicas provenientes das exposições radiológicas se dividem em três categorias distintas: dose absorvida, em que os efeitos biológicos são classificados como determinísticos e estocásticos; tempo de manifestação, que pode variar conforme o tempo de exposição, podendo ser tardio ou imediato; e nível orgânico atingido, podendo ser classificado como somático ou genético (COSTA; IETSUGU; BOLOGNESI, 2023).

No cenário da radiologia intervencionista, por exemplo, os profissionais estão expostos a inúmeros riscos decorrentes da exposição à radiação, que podem resultar em consequências que variam de problemas leves a graves. Entre os principais efeitos, podem ser mencionados: efeitos agudos na pele, catarata ocular, danos ao DNA, problemas de saúde a longo prazo e fertilidade, que incluem problemas reprodutivos (MOURA; KRAUSE; COSTA, 2024).

Okuno (2025) afirma em seu estudo que existem dois mecanismos básicos pelos quais a radiação pode afetar nocivamente uma molécula. O mecanismo direto ocorre quando a radiação age diretamente em moléculas fundamentais, como o DNA, induzindo danos no material genético. O mecanismo indireto acontece quando a radiação age modificando as moléculas de água, que constituem cerca de 65% do organismo humano, provocando um efeito chamado radiólise.

Costa, letsugu e Bolognesi (2023) apontam em seu estudo que a predominância do efeito determinístico está associada a uma elevada exposição à radiação em um curto período de

tempo, acarretando danos às células que não podem ser compensados pelo reparo, elevando o nível de morte celular. Para que um tecido ou órgão seja negativamente afetado, é necessário ultrapassar o limite de dose estabelecido. "Os efeitos teciduais são, em sua grande maioria, imediatos, e se manifestam horas ou dias após". As manifestações nocivas causadas à região aplicada dependem da proporcionalidade da dose absorvida. Outros fatores, como a área total irradiada e o intervalo de tempo, também influenciam.

Os efeitos estocásticos, por outro lado, estão associados a qualquer dose de radiação, incluindo doses muito baixas. Um exemplo disso é a proliferação de células cancerígenas. A exposição não mata a célula, mas a danifica, provocando a perpetuação nociva nas células filhas (OKUNO, 2025).

Outro tipo de efeito associado a questões biológicas é o somático, que se manifesta pela morte celular, vinculada à não compensação da regeneração, originando efeitos clínicos ou até mesmo patológicos, como "esterilidade, eritema, necrose celular, leucopenia, anemia, hemorragia, cataratas, náuseas e alterações fibróticas em órgãos internos" (GUIDETTI et al., 2021).

Embora haja comprovação do uso seguro da radiação ionizante para aplicabilidade médica, ainda existem receios quanto ao surgimento de possíveis efeitos nocivos à saúde (DIMENSTEIN, 2023). Dentre esses efeitos, destacam-se os efeitos hereditários, que estão relacionados à dose de exposição nas regiões gonadais, o que tem se tornado um desafio tanto ético quanto social. Esses efeitos são reconhecidos desde 1903, incluindo até mesmo casos em organismos não humanos (FUKUNAGA; HAMADA, 2024).

Figura 3 - Efeitos projetados pela radiação ionizante



Fonte: Autoria própria, 2025.

As doses de radiação utilizadas nos exames diagnósticos não têm o potencial de provocar morte celular. Mas poderiam, eventualmente, provocar mutações genéticas com potencial de provocar câncer ou doenças congênitas na prole. Acredita-se que esses efeitos são dependentes da dose recebida ao longo da vida (GUIDETTI et al., 2021).

Os efeitos hereditários podem ser classificados de duas formas, multigeracionais, quando estão associados aos indivíduos expostos e seus filhos; e os transgeracionais, quando os efeitos afetam os netos do indivíduo exposto e suas gerações subsequentes. Tais características, são consideradas originadas das exposições dos testículos masculinos, responsáveis pela produção de células-tronco germinativas (FUKUNAGA; HAMADA, 2024).

3.4 Radioproteção

A radioproteção trabalha primordialmente com a prevenção dos danos ocasionados pela radiação ionizante aos profissionais e aos pacientes, dependendo da dose de radiação absorvida, da potência da exposição e do acúmulo de repetições. No contexto da aplicabilidade da radiação ionizante, o indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE) tem como obrigação fundamental entender os

riscos que sua profissão representa, assim como saber quais medidas adotar em relação à proteção radiológica para poder minimizar os possíveis riscos (SILVA et al., 2021).

Devido ao elevado uso da radiação ionizante para fins médicos na investigação de patologias, é imprescindível a fundamentação de mecanismos de proteção para minimizar ao máximo os efeitos nocivos dessa forma de energia. Para esse fim, é ideal seguir as práticas abordadas e recomendadas nas normas, pois o cumprimento delas estabelece os requisitos de proteção (ALVES; JESUS, 2024).

Tabela 2 - Limites de Dose

Limites de Dose Anuais [a]			
Grandeza	Órgão	IOE	Indivíduo do público
Dose efetiva	Corpo inteiro	20 mSv [b]	1 mSv [c]
Dose equivalente	Cristalino	20 mSv [b]	15 mSv
	Pele [d]	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pés	500 mSv	---

Fonte: Resolução CNEN 323/24.

Para a efetividade da radioproteção, é fundamental levar em conta os princípios basilares de segurança no que se refere ao emprego da radiação ionizante, tais como justificação, otimização e limitação das doses (PEREIRA; CARDOSO; VERGARA, 2015).

O princípio da justificação afirma que a radiação não deve ser usada de forma deliberada, mas sim para preservar a integridade do paciente, garantindo que o benefício da exposição se sobressaia em relação ao risco (AGUIAR; LUCERO; JESUS, 2024). A otimização visa a menor dose de radiação possível, sem comprometer a qualidade do exame (MENEZES et al., 2016). Já a limitação das doses está associada à necessidade de gerenciamento das doses de radiação para os IOEs, garantindo que esses valores não ultrapassem os

limites estabelecidos pelas normas (MOURA; OLIVEIRA; SILVA, 2020).

O uso de equipamentos de proteção individual, como avental de chumbo, óculos, luvas plumbíferas e protetor de tireoide, são exemplos de equipamentos de extrema importância, não apenas para os profissionais das práticas radiológicas, mas também para o público. Embora haja omissão quanto à disponibilidade no serviço, esses itens são de uso obrigatório (PAZ; BOLOGNESI, 2017). (PAZ; BOLOGNESI, 2017).

Figura 4 - Equipamentos de proteção individual utilizados em radiodiagnóstico



Fonte: Vale et al., 2024.

A união das práticas e das medidas norteadas pela radioproteção representam significância no que se refere a segurança em instalações que comportam equipamentos radiológicos, com a finalidade de contenção dessa energia quando aplicada de forma desnecessária ao interagir com o organismo humano (SILVA et al., 2022).

3.5 Controle de Qualidade

O conceito de qualidade pode ser definido de várias maneiras. Segundo estudos de Pezzatto et al. (2018), qualidade pode ser entendida como a união de elementos que compõem determinado produto, tais como grau de excelência, cumprimento do propósito, ausência de defeitos ou imperfeições e a busca pela satisfação do consumidor. No contexto da radiologia, o PCQ busca o cumprimento desses elementos, focando em

rotinas técnicas e administrativas que incluem a calibração de equipamentos, testes de qualidade da imagem, controle de parâmetros físicos e ambientais, além de registros sistemáticos (DIAS; BACELAR; CAPAVERDE, 2018).

Os testes de controle de qualidade incluem a verificação da uniformidade da imagem, resolução espacial, razão sinal-ruído, linearidade da dose, entre outros. Equipamentos como radiografias digitais e tomografias computadorizadas devem ser avaliados regularmente para garantir o desempenho consistente. Estudos mostram que protocolos como o “Protocolo Espanhol de CQ em Radiodiagnóstico” têm se mostrado eficazes na manutenção da qualidade da imagem (DIAS; BACELAR; CAPAVERDE, 2018).

A implementação de um PCQ estruturado traz resultados concretos, como a redução no número de exames rejeitados, menor repetição de procedimentos e aumento na confiabilidade diagnóstica. Em um estudo realizado em hospital de médio porte, a taxa de rejeição de imagens radiográficas caiu de 14% para 5% após a implantação de um programa de CQ (RODRIGUES et al., 2016).

Para a realização de um programa de qualidade efetivo, é necessário ênfase em processos que garantam a continuidade, o que pode ser possível primordialmente por meio de ações de uma equipe qualificada. Importante ressaltar que o processo de controle de qualidade não está apenas voltado para a manutenção do equipamento, mas também para os possíveis sinais que indicam perda na qualidade da imagem adquirida, levando em conta a atuação do profissional (GEAMBASTIANI et al., 2022).

3. CONCLUSÕES

O desenvolvimento desta pesquisa baseou-se na análise de estudos científicos já publicados, o que permitiu uma avaliação acerca do processo evolutivo da área da radiologia desde o descobrimento dos raios X em 1895, assim como outros processos derivados. Foi enfatizado os benefícios que a radiologia pode acrescentar para o diagnóstico de patologias, mas também se mencionaram os possíveis efeitos nocivos que a radiação ionizante pode ocasionar ao interagir com a matéria.

A aplicabilidade da radiação ionizante ao longo da história tem provado sua relevância para a medicina diagnóstica e para outras áreas, sempre buscando a melhor forma de ser empregada em prol dos seres vivos e do meio ambiente. No entanto, seus efeitos biológicos são de essencial entendimento, pois qualquer erro em relação à utilização das fontes emissoras de radiação pode acarretar danos irreversíveis. Dessa forma, conceitos voltados para a radioproteção e análises científicas devem ser sempre considerados.

Torna-se fundamental atentar-se aos efeitos que a radiação pode causar na matéria, sejam em menor ou maior grau. Obviamente, o uso da radiologia para fins de diagnóstico, tratamento e acompanhamento de patologias é benéfico, mas deve-se levar em conta os riscos derivados do processo, caso as doses de exposição ultrapassem os limites estabelecidos.

Por fim, esperamos que este estudo contribua para as pesquisas científicas futuras, incentivando o conhecimento radiológico, que influencie o compartilhamento de informações sobre o tema, com ferramentas proveitosas para a medicina, assim como voltadas para o uso da radiação ionizante com segurança e responsabilidade.

4. REFERÊNCIAS

1. Cirilo, AR; Neto, DP; Tessaro, GC; Vilarim, LT; Figueira, PS. Radiação Ionizante: Uma Revisão de Literatura. Revista Acadêmica Novo Milênio. 2021; 3(4). Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=Radia%C3%A7%C3%A3o+Ionizante%3A+Uma+Revis%C3%A3o+de+Literatura.+&btnG=
2. Moura, MDG; Silva, BHF; Brito, MCC; Grossmann, SMC; Jorge, KL. Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante. 2022; 21(1):1-8. Disponível em: <http://periodicos.unincor.br/index.php/revistaunincor/article/view/6483>
3. Machiori, M. Introdução à Radiologia. Grupo GEN. 2015; 3^a edição. Disponível em: [https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/978-85-277-2702-0/epubcfi/6/2\[%3Bvnd.vst.idref%3Dcover\]!/4/2/2%4075:38](https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/978-85-277-2702-0/epubcfi/6/2[%3Bvnd.vst.idref%3Dcover]!/4/2/2%4075:38)
4. Batista, VMD; Bernado, MO; Morgado, F; Almeida, FA. Proteção radiológica na perspectiva dos profissionais de saúde expostos à radiação. Rev Bras Enferm. 2019; 7(1):12-19. Disponível: <https://www.scielo.br/j/reben/a/5sKySsS4WRHqkXNgX9xzMFR/?lang=pt>
5. Geambastiani, PMA; Vasques, PM; Souza, LS; Jesus, JS; Garcia, IFM; Lopes GA; Santos R. Controle de qualidade em ultrassom: uma perspectiva sobre principais recomendações. RevSALUS. 2022; 4(2). Disponível em: <https://revsalus.com/index.php/RevSALUS/article/view/190>
6. Alexandre, AF. METODOLOGIA CIENTÍFICA: Princípios e fundamentos. Editora Blucher. 2021; 3^a edição. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=+METODOLOGIA++CIENT%C3%88DFICA++Princ%C3%ADpios+e+fundamentos+
7. Oliveira, GA. A História do Átomo em Exposição. UFU - Universidade Federal de Uberlândia Física Licenciatura - INFIS. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/26402>
8. Silva, KMO; da Silva, O. DOS ATOMISTAS AO ÁTOMO MODERNO: Um resgate histórico da evolução dos modelos atômicos. Instituto Federal de Pernambuco campus Pesqueira. Curso de

- Licenciatura em Física. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifpe.edu.br/xmlui/handle/123456789/257>
9. Pacheco, LL; Freitas-Reis, I. Principais Contribuições responsáveis pela descoberta dos raios X: a estirpe coletiva da ciência. Revista Brasileira de Ensino de Física. 2023; 45. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/LGnXVMWzqK5NtJpYKSMnWkj/>
10. De Oliveira, MJ. Radioatividade: Uma Análise de Conhecimentos de Alunos no Ensino Médio. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/items/24c8e5ed-47af-4493-9586-a107906fa846>
11. Martins; RA. Do Urânio ao Rádio: Os Curie e os Novos Elementos Radioativos. Grupo de História, Teoria e Ensino de Ciências (GHTC). 2023. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=DO+UR%C3%82NIO+AO+R%C3%82DIO%3A+OS+CURIE+E+OS+NOVOS+ELEMENTOS+RADIOATIVOS&btnG=
12. Santos, ITB; Padilha, IQM. Mecanismos Epigenéticos no Surgimento do Câncer: uma Revisão Bibliográfica. 2022; 1: 130-134. Disponível em: https://ensaiosciencia.pgsscogna.com.br/ensaio_eciencia/article/view/9387.
13. Graham, AT; Sottoriva, A. Measuring cancer evolution from the genome. Journal of Pathology. 2016; 241: 183-191. Disponível em: <https://pathsocjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/path.4821>
14. Jung, R; Atallah, AN. Tomografia computadorizada e risco de neoplasias. Revista Diagnóstico e Tratamento. 2017; 22(2):57-62. Disponível em: <https://periodicosapm.emnuvens.com.br/rdt/article/view/79>
15. Spínola, TS; Ferreira, KMN; Araújo, VH. Radiação ionizante e câncer de mama: um estudo com mulheres quilombolas de barrocas. Brazilian Journal of Development. 2021; 7(4):36818-36837. Disponível: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/27958>
16. Saramago, LRO; Barbosa, AG; Oliveira, GB; Souza, LRMF; Rodrigues, BR; Terra, GA. Neoplasia Sólida Pseudopapilar do Pâncreas - Tumor de Frantz. Brad Cases - Brazilian Radiological Cases. 2024; 3. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=NEOPLASIA+S%C3%93LIDA+PS+EUDOPAPILAR+DO+P%C3%82NCREAS+-+TUMOR+DE+FRANTZ&btnG=
17. Schuh, GJ; Prediger, JE; Schuh, SJ; Marques, RSS; Fabris, N; Maciel, AC. Neoplasia primária de duodeno: aspecto de imagem. Clinical and biomedical research. 2021; 41(2):188-189. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=Neoplasia+prim%C3%A1ria+de+duodeno%3A+aspecto+de+imagem&btnG=
18. Vieira, GS; Martinez, MC; Cardoso, MRA. Mortalidade por câncer em trabalhadores com risco de exposição ocupacional à radiação ionizante em empresa do setor nuclear sediada em São Paulo. Revista Brasileira de Epidemiologia. 2024; 27. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbepid/a/RcnbC4CjsJL59Ncfjdmp9J/?format=html&lang=pt>
19. Medrado, L. Carcinogênese - Desenvolvimento, Diagnóstico e Tratamento das Neoplasias. Grupo GEN. 2015. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/home/search/titles?q=neoplasias>
20. Natale, ST. Proteção Radiológica e Dosimetria: Efeitos Genéticos e Biológicos, Principais Cuidados e Normas de Segurança. (Série eixos) Grupo GEN. 2015. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/home/search/titles?q=radia%C3%A7%C3%A3o+natale+>
21. Costa, YAP; Letsugu, MV; Bolognesi, L. Efeitos Biológicos da Radiação e Síndrome Aguda das Radiações. Tekhne e Logos. 2024; 15(1): 121-136. Disponível em: <http://www.revista.fatecbt.edu.br/index.php/tl/article/view/946>

22. Moura, SS; Krause, MO; Costa, APAO. Exposição a Radiação Ionizante nos Profissionais Radiologistas: Uma Revisão Integrativa. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação – REASE. 2024; 10(11). Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/17180>
23. Okuno, E. Radiação: Efeitos, Riscos e Benefícios. Grupo A. 2025. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/home/search/titles?q=radia%C3%A7%C3%A3o+natale+>
24. Guidetti, MA; Escobar, CJR; Malaquias, DP; Naia, GL; Mendonça, JZ; Carneiro; MSC et al. O Impacto da Exposição à Radiação nos Exames de Imagem para o Paciente: Revisão de Literatura. 2021; 26. Disponível em: <https://www.periodicos.univag.com.br/index.php/CONNECTIONLINE/article/view/1794>
25. Dimenstein, R. Estimativas de riscos com radiações ionizantes. Radiol Bras. 2023; 56(3). disponível em: <https://www.scielo.br/j/rb/a/WrRbBYzsNrFpzRKn4gQykGB/?lang=pt>
26. Fukunaga, H; Hamada, N. Testicular exposure to ionizing radiation and sperm epigenetic alterations as possible mechanisms of hereditary effects: perspectives from the viewpoint of radiation protection. International Journal of Radiation Biology. 2025; 101(2):101-106. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/10.1080/09553002.2024.2440860?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%20%20pubmed
27. Silva, PC; Cyrino, GF; Barreto Junior CL; Lamounier Junior EF; Cardoso, A; Patrocínio, AC. Treinamento em radiologia utilizando técnicas de realidade virtual: uma breve revisão do estado da arte. Research, Society and Development. 2021; 10(15). Disponível em: <https://rsdjurnal.org/index.php/rsd/article/view/22507>
28. Alves, ACM; Jesus, ALS. Princípios De Radioproteção Aplicados ao Radiodiagnóstico. Revista Tópicos. 2024. Disponível em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/principios-de-radioprotecao-aplicados-ao-radiodiagnostico>
29. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Norma CNEN NN 3.23: requisitos de proteção radiológica e segurança para serviços de radiologia diagnóstica e intervencionista. Brasília: CNEN; 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/acesso-rapido/normas/grupo-3>
30. Pereira, AG; Cardoso VMB; Vergara, LGL. Radioproteção na Perspectiva do Residente em Radiologia. Fourth International Conference on Integration of Design, Engineering and Management for innovation. 2015. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=RADIOPROTE%C3%87%C3%83O+NA+PERSPECTIVA+DO+RESIDENTE+EM++RADIOLOGIA+&btnG=
31. Aguiar, BF; Lind J; Netto, HP; Ramires, Y; Ramos, MP; Rocha, JLP. Reprocessamento de máscaras N95 ou equivalente: uma revisão narrativa. 2024;9(2):76-83. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=Reprocessamento+de+m%C3%A1scaras+N95+ou+equivalente%3A++uma+revis%C3%A3o+narrativa&btnG=
32. Menezes, FL; Ferreira, FCL; Paschoal, CMM; Belinato, W. Análise da Qualidade de Imagem e da Radioproteção em Radiodiagnóstico Odontológico na Cidade de Sobral. Rev Bras Fis Med. 2016; 9(2):14-7. Disponível em: <https://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/352>
33. Moura, DDC; Oliveira, GF; Silva, FCA. Autoavaliação de proteção radiológica em serviços de radiodiagnóstico odontológico com base na Portaria 453/98 ANVISA. Braz. J. Rad. Ciência. 2025;8(2). Disponível em: https://www.bjrs.org.br/revista_33014/index.php/REVISTA/article/view/958
34. Paz, A; Bolognesi; L. Radioproteção Aplicada ao Serviço de Hemodinâmica. Tekhne e Logos. 2017; 8(1). Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=Reprocessamento+de+m%C3%A1scara+aplicada+ao+servi%C3%A7o+de+hemodin%C3%A3mica&btnG=

A1scaras+N95+ou+equivalente%3A++uma+revis%C3%A3o+narrativa&btnG=

35. Do Vale, KS; Sena, MED; Silva, YCS; Silva, JVS. A Formação do Tecnólogo em Radiologia: A Importância da Competência Interpretativa de Exames Radiológicos. *Revista Ciência e Saberes* 2024; 12(1). Disponível em:
<https://unifacema.edu.br/revista/artigos/a-formacao-do-tecnologo-em-radiologia>
36. Silva, JVS; Silva, TS; Silva, MAP; Abreu, EGM; Santos, SM; Barros, CP et al. A Radioproteção em Instalações de Radiologia Médica. *Recima21 - Revista Científica Multidisciplinar*. 2022; 3(4). Disponível em:
<https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/1282>
37. Pezzatto AT, Affonso LMF, Lozada G et al. Sistema de controle de qualidade. Editora SAGAH. 2018. Disponível em:
[https://integrada\[minhabiblioteca\].com.br/reader/books/9788595026155](https://integrada[minhabiblioteca].com.br/reader/books/9788595026155)
38. Dias, JH; Bacelar, A; Capaverde, AS. Aplicação de um protocolo de controle de qualidade em um sistema de radiografia digital. *Revista Brasileira de Física Médica*. 018;12(1):29-35. Disponível em:
<https://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/444/v12n1p29>
39. Rodrigues, RP; da Silva, RP; Mattos, RL; de Góes, EG; Dytz, AG. Controle de qualidade de imagens radiográficas. *Disciplinarum Scientia - Naturais e Tecnológicas*. 2016; 13(2):169-177. Disponível em:
https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/1304?utm_source=chatgpt.com