

Síndrome da Radiação Aguda: aspectos biológicos, clínicos e a importância da proteção radiológica

Acute radiation syndrome: biological and clinical aspects and the importance of radiological protection

**Lorrany Vycторыa Silva Soares¹,
Nathan Santos de Oliveira²**

Resumo

A radiação ionizante é amplamente utilizada em diversas áreas, especialmente na medicina, indústria e pesquisa científica, contribuindo significativamente para o desenvolvimento tecnológico e para a melhoria da qualidade de vida da população. Entretanto, a exposição a elevadas doses de radiação em curto período de tempo pode desencadear a Síndrome da Radiação Aguda (SRA), condição clínica caracterizada por importantes alterações biológicas e fisiológicas no organismo humano. Este estudo teve como objetivo analisar os efeitos biológicos da radiação ionizante e compreender as principais manifestações clínicas, métodos diagnósticos, abordagens terapêuticas e medidas de proteção relacionadas à SRA. Trata-se de uma revisão integrativa, de caráter descritivo e abordagem qualitativa, desenvolvida a partir de artigos científicos, livros, monografias e documentos institucionais publicados em bases de dados nacionais e internacionais. Os estudos selecionados evidenciaram a relação entre dose absorvida e gravidade da síndrome, o comprometimento dos sistemas hematopoiético, gastrointestinal, neurovascular e cutâneo, a importância do diagnóstico e manejo clínico e a relevância das medidas de radioproteção na prevenção dos danos causados pela exposição à radiação ionizante. Os achados reforçam a importância da prevenção, do diagnóstico precoce e do manejo adequado em situações de emergência radiológica.

Palavras-Chave: Síndrome da Radiação Aguda. Radiação ionizante. Efeitos biológicos. Radioproteção. Saúde ocupacional.

Abstract

Ionizing radiation is widely used in several areas, especially medicine, industry, and scientific research, contributing significantly to technological development and improving quality of life. However, exposure to high doses of radiation over a short period can trigger Acute Radiation Syndrome (ARS), a clinical condition characterized by important biological and physiological changes in the human body. This study aimed to analyze the biological effects of ionizing radiation and understand the main clinical manifestations, diagnostic methods, therapeutic approaches, and protective measures related to ARS. This is an integrative review with a descriptive and qualitative approach, developed from scientific articles, books, monographs, and institutional documents from national and international databases. The selected studies showed a relationship between absorbed dose and syndrome severity, involvement of the hematopoietic, gastrointestinal, neurovascular, and cutaneous systems, the importance of diagnosis and clinical management, and the relevance of radiation protection measures in preventing damage caused by ionizing radiation. The findings reinforce the importance of prevention, early diagnosis, and appropriate management in radiological emergency situations.

Keywords: Acute Radiation Syndrome. Ionizing Radiation. Biological Effects. Radiation Protection. Occupational Health.

Revista Científica Integr@ção. v. 6 n. 2: 956-970 (2026)

¹ Graduanda em Radiologia pelo Centro Universitário de Patos – UNIFIP. E-mail: lorranysoares@radio.fiponline.edu.br. ORCID: 0009-0002-3420-6990. Autora correspondente.

² Tecnólogo em Radiologia, Mestrando em Saúde Pública pela Universidade Estadual da Paraíba – UEPB e Docente no Centro Universitário de Patos – UNIFIP. E-mail: nathanoliveira@fiponline.edu.br. ORCID: 0009-0007-1469-679X.

INTRODUÇÃO

A radiação ionizante possui ampla aplicação em diferentes setores da sociedade, destacando-se as áreas da saúde, indústria, agricultura, pesquisa científica e geração de energia. No campo da saúde, sua utilização possibilitou importantes avanços nos métodos diagnósticos e terapêuticos, contribuindo para a identificação, o acompanhamento e o tratamento de diferentes condições clínicas. Entretanto, apesar dos benefícios decorrentes de sua utilização, a exposição à radiação ionizante não é isenta de riscos biológicos. Conforme destaca Okuno (2013, p. 185), “qualquer tipo de radiação interage com corpos, inclusive o humano, depositando neles energia”, podendo desencadear processos físicos e químicos capazes de produzir alterações celulares e teciduais.

Os efeitos biológicos da radiação estão relacionados à transferência de energia para os tecidos e à consequente ionização de átomos e moléculas. Esse processo pode provocar alterações em estruturas celulares, incluindo danos ao DNA e modificações cromossômicas, com repercussões que variam de acordo com fatores como dose absorvida, taxa de dose, extensão corporal irradiada e radiosensibilidade dos tecidos. Segundo Okuno (2013), a ionização constitui o evento inicial do dano biológico provocado pela radiação ionizante. Dependendo das características da exposição, seus efeitos podem manifestar-se de diferentes formas e apresentar consequências imediatas ou tardias.

Entre as consequências mais graves da exposição a doses elevadas de radiação ionizante encontra-se a Síndrome da Radiação Aguda (SRA), condição clínica associada principalmente à exposição significativa de grande parte do organismo em curto intervalo de tempo. A síndrome pode comprometer diferentes órgãos e sistemas, com destaque para os sistemas hematopoiético, gastrointestinal, neurovascular e cutâneo, cuja manifestação e gravidade estão relacionadas às características da exposição (Dainiak; Albanese, 2022). O comprometimento desses sistemas pode produzir manifestações de diferentes intensidades e determinar a evolução clínica dos indivíduos expostos.

Do ponto de vista clínico, a SRA pode apresentar evolução caracterizada por diferentes fases. Inicialmente, podem ocorrer manifestações prodrômicas, como náuseas, vômitos, fadiga, anorexia e diarreia, seguidas por um período de latência cuja duração depende da intensidade da exposição. Posteriormente, manifestações específicas relacionadas aos sistemas afetados podem tornar-se evidentes. Em exposições mais severas, o comprometimento hematopoiético e gastrointestinal pode favorecer infecções, hemorragias e alterações sistêmicas graves, enquanto exposições de maior magnitude podem resultar em comprometimento neurovascular e elevada mortalidade (Arnautou *et al.*, 2024).

A relevância dessa condição tornou-se particularmente evidente a partir dos acidentes radiológicos e nucleares registrados ao longo da história. Episódios envolvendo exposições acidentais demonstraram que os efeitos da radiação podem ultrapassar o indivíduo diretamente exposto e exigir

respostas articuladas dos serviços de saúde e dos órgãos responsáveis pela segurança radiológica. Embora eventos dessa natureza sejam pouco frequentes, suas consequências podem ser graves, especialmente diante de exposições significativas, reforçando a necessidade de preparação dos serviços de saúde para o reconhecimento e o manejo das vítimas de emergências radiológicas (Dainiak; Albanese, 2022).

No contexto brasileiro, o acidente radiológico com o Césio-137 ocorrido em Goiânia, em 1987, constitui um importante marco para a compreensão dos efeitos da exposição humana à radiação ionizante. O episódio demonstrou as consequências da manipulação inadequada de uma fonte radioativa e exigiu ampla mobilização para identificação, monitoramento, descontaminação e atendimento das pessoas envolvidas. Além das repercussões imediatas, o acidente contribuiu para ampliar as discussões acerca da segurança das fontes radioativas, do acompanhamento das populações expostas e da preparação dos profissionais para atuação em emergências radiológicas (IAEA, 2014; Rocha, 2010).

O manejo da SRA representa um desafio adicional, pois exige reconhecimento precoce da exposição, avaliação clínica e laboratorial, estimativa da dose recebida e definição das medidas terapêuticas de acordo com os sistemas comprometidos. Dainiak e Albanese (2022) destacam a complexidade do manejo médico da síndrome e as limitações das evidências disponíveis para determinadas intervenções. Essa realidade reforça a necessidade de atualização dos profissionais que podem participar da assistência às vítimas de acidentes radiológicos, especialmente quanto ao reconhecimento das manifestações clínicas e às condutas iniciais diante da exposição.

Paralelamente às medidas diagnósticas e terapêuticas, a proteção radiológica constitui elemento fundamental para reduzir os riscos relacionados à utilização das radiações ionizantes. A adoção de medidas preventivas, o controle das exposições e o cumprimento dos requisitos de segurança contribuem para minimizar os riscos entre trabalhadores ocupacionalmente expostos, pacientes e população em geral. No campo da radiologia diagnóstica e intervencionista, a regulamentação sanitária brasileira estabelece requisitos destinados à proteção de pacientes, trabalhadores e público, reforçando a necessidade de controle das exposições e de implementação de práticas de segurança nos serviços que utilizam radiações ionizantes (Brasil, 2022).

A ampliação das aplicações das radiações ionizantes torna essa discussão especialmente relevante para os profissionais das áreas da saúde e das ciências das radiações. Embora a SRA esteja predominantemente associada a exposições de elevada magnitude e situações excepcionais, o conhecimento sobre seus mecanismos, manifestações e consequências permite compreender de maneira mais ampla a importância dos princípios de proteção radiológica. Dessa forma, o estudo da síndrome contribui não apenas para a preparação diante de emergências, mas também para a valorização das práticas preventivas nos diferentes ambientes em que fontes de radiação são utilizadas.

Diante desse contexto, estabelece-se como questão norteadora: como os efeitos biológicos e clínicos da Síndrome da Radiação Aguda evidenciam a importância da proteção radiológica na prevenção de danos à saúde humana decorrentes da exposição à radiação ionizante? Assim, este estudo tem como objetivo analisar a Síndrome da Radiação Aguda, considerando seus aspectos biológicos e clínicos, bem como discutir a importância das medidas de proteção radiológica na prevenção dos efeitos adversos decorrentes da exposição à radiação ionizante.

METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão integrativa, de caráter descritivo e abordagem qualitativa. A investigação foi direcionada à análise da Síndrome da Radiação Aguda (SRA), considerando seus aspectos biológicos e clínicos e sua relação com a proteção radiológica. A escolha desse delineamento possibilitou reunir, analisar e sintetizar produções científicas relacionadas aos efeitos da exposição aguda à radiação ionizante, às manifestações da síndrome, às possibilidades terapêuticas e às estratégias destinadas à prevenção dos danos decorrentes da exposição.

A abordagem qualitativa foi adotada por possibilitar a interpretação das informações disponíveis na literatura acerca do fenômeno investigado. De acordo com Minayo (2014), esse tipo de abordagem favorece a análise dos fenômenos a partir dos significados, relações e particularidades que os constituem. O caráter descritivo permitiu identificar e apresentar as principais características relacionadas à SRA e à proteção radiológica, enquanto a revisão integrativa possibilitou reunir e sintetizar conhecimentos previamente publicados e pertinentes ao objeto investigado (Gil, 2008; Marconi; Lakatos, 2021).

A revisão foi orientada pela seguinte questão norteadora: como os efeitos biológicos e clínicos da Síndrome da Radiação Aguda evidenciam a importância da proteção radiológica na prevenção de danos à saúde humana decorrentes da exposição à radiação ionizante? A partir dessa questão, a busca e a seleção das publicações foram direcionadas para a identificação de evidências relacionadas aos efeitos biológicos da radiação ionizante, à fisiopatologia e às manifestações clínicas da SRA, aos acidentes radiológicos, às possibilidades terapêuticas e às medidas de proteção radiológica.

A busca dos estudos foi realizada nas bases e fontes de informação Scientific Electronic Library Online (SciELO), PubMed/MEDLINE, Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS) e Google Scholar. A utilização de diferentes fontes teve como finalidade ampliar a identificação de produções nacionais e internacionais relacionadas ao objeto da pesquisa e contemplar os diferentes eixos definidos para a revisão.

Para a identificação das publicações, foram empregados termos relacionados à temática nos idiomas português e inglês, entre eles: “Síndrome da Radiação Aguda”, “Acute Radiation Syndrome”, “Radiação Ionizante”, “Ionizing Radiation”, “Radioproteção”, “Radiation Protection”, “Acidentes

Radiológicos”, “Radiation Injuries”, “Radiobiologia” e “Exposição à Radiação”. Os termos foram utilizados de forma isolada ou combinada durante as buscas, de acordo com as possibilidades oferecidas pelas fontes consultadas, visando localizar publicações relacionadas aos aspectos biológicos e clínicos da SRA, às abordagens terapêuticas, aos acidentes radiológicos e à proteção diante da exposição à radiação ionizante.

Como critérios de inclusão, foram consideradas publicações entre 2015 e 2025, nos idiomas português e inglês, disponíveis em texto completo e que apresentassem relação direta com pelo menos um dos eixos estabelecidos para a revisão: efeitos biológicos da radiação ionizante; fisiopatologia e manifestações clínicas da SRA; acidentes radiológicos; abordagens terapêuticas; e proteção radiológica. Foram priorizadas produções científicas e documentos técnicos ou normativos pertinentes ao objeto investigado e capazes de contribuir diretamente para a resposta à questão norteadora.

Foram excluídas publicações duplicadas, resumos sem disponibilidade do texto completo, documentos incompletos, materiais de caráter exclusivamente opinativo ou sem fundamentação científica e estudos que, após a leitura, não apresentaram relação direta com a questão norteadora ou com os objetivos estabelecidos. Inicialmente, as publicações foram avaliadas quanto ao título e ao resumo e, posteriormente, aquelas consideradas potencialmente elegíveis foram submetidas à leitura do texto completo para verificação de sua pertinência.

Publicações anteriores a 2015 não foram consideradas integrantes do corpus de estudos selecionados. Entretanto, obras clássicas, documentos institucionais e publicações anteriores ao recorte temporal foram utilizadas, quando necessárias, exclusivamente como fontes complementares para a fundamentação conceitual, normativa ou histórica. Dessa forma, referências anteriores a 2015 empregadas para contextualizar os fundamentos da radiobiologia, os princípios de proteção radiológica ou acidentes radiológicos de reconhecida relevância não foram contabilizadas entre as publicações selecionadas nem incluídas na caracterização dos estudos que compõem os resultados da revisão.

Após a seleção, as publicações integrantes do corpus foram organizadas de acordo com cinco eixos temáticos: efeitos biológicos da radiação ionizante; fisiopatologia e manifestações clínicas da Síndrome da Radiação Aguda; estratégias terapêuticas e contramedidas; acidentes radiológicos; e proteção radiológica. Os dados foram submetidos à análise qualitativa mediante leitura crítica, interpretação, comparação e categorização das informações, buscando-se identificar convergências, particularidades e complementaridades entre as publicações. A organização dos achados segundo esses eixos possibilitou relacionar os mecanismos biológicos e as manifestações clínicas da SRA às possibilidades terapêuticas e às medidas de proteção radiológica, contribuindo para a compreensão integrada do objeto investigado.

RESULTADOS

A análise das publicações selecionadas evidenciou que a Síndrome da Radiação Aguda (SRA) e a proteção radiológica têm sido investigadas sob diferentes perspectivas, abrangendo cinco eixos temáticos: efeitos biológicos da radiação ionizante, fisiopatologia e manifestações clínicas da síndrome, estratégias terapêuticas, consequências de acidentes radiológicos e medidas de proteção radiológica. Os estudos permitiram relacionar as características da exposição aos danos celulares e teciduais, às manifestações clínicas e às estratégias de prevenção e tratamento.

Em relação aos efeitos biológicos, Havránková (2020) e Costa, Ietsugu e Bolognesi (2024) destacam que a radiação ionizante pode provocar alterações moleculares e celulares, incluindo danos ao DNA, morte celular e comprometimento dos tecidos. A intensidade dessas alterações depende de fatores como dose absorvida, taxa de dose, extensão corporal exposta e radiosensibilidade dos tecidos. Em exposições agudas de elevada magnitude, estruturas com intensa atividade proliferativa, como a medula óssea e o epitélio gastrointestinal, apresentam maior vulnerabilidade, contribuindo para o desenvolvimento das manifestações sistêmicas características da SRA.

Quanto à fisiopatologia e às manifestações clínicas, Dainiak e Albanese (2022) e Arnautou *et al.* (2024) apontam que a SRA compromete principalmente os sistemas hematopoiético, gastrointestinal, cutâneo e neurovascular. A apresentação clínica pode envolver sintomas iniciais, como náuseas, vômitos e fadiga, evoluindo, conforme a gravidade da exposição, para alterações hematológicas, infecções, hemorragias, lesões gastrointestinais e comprometimento neurológico. Feldman, Kazzi e Walter (2023) complementam essas evidências ao abordar as particularidades da exposição pediátrica, ressaltando a importância da avaliação clínica e do reconhecimento precoce das manifestações em crianças.

No campo terapêutico, foram identificadas medidas de suporte clínico e abordagens destinadas à recuperação dos sistemas comprometidos, especialmente o hematopoiético. Singh, Seed e Olabisi (2019) discutem estratégias para o desenvolvimento de contramedidas farmacológicas, enquanto Lazarus e Gale (2024) abordam a utilização de citocinas e fatores estimuladores de colônias na recuperação hematopoiética. Christy *et al.* (2024), por sua vez, apresentam as terapias celulares como possibilidades para o tratamento de lesões induzidas pela radiação. Embora essas abordagens representem avanços importantes, parte das intervenções ainda apresenta caráter experimental, exigindo investigações adicionais quanto à eficácia e à segurança clínica.

No eixo dos acidentes radiológicos, Uchoa (2021) analisa o biomonitoramento genético de indivíduos expostos ao Césio-137 no acidente de Goiânia, destacando a importância do acompanhamento das repercussões biológicas e genéticas após a exposição. Os achados reforçam a necessidade de vigilância das populações atingidas, considerando que determinadas consequências podem persistir ou manifestar-se após a fase inicial do acidente. Essa perspectiva amplia a

compreensão dos impactos da exposição radiológica para além das manifestações clínicas imediatas.

Em relação à proteção radiológica, as publicações evidenciaram a importância de medidas preventivas, da capacitação profissional e do controle das exposições nos serviços de saúde. Bernardo, Almeida e Morgado (2017) avaliaram uma campanha educativa associada à implantação de uma carteira de radioproteção para crianças, identificando redução de 22% na realização de exames radiológicos no setor pediátrico de urgência e emergência e de 29% nas solicitações de exames múltiplos ou com múltiplas incidências. Esses resultados demonstraram a contribuição de estratégias educativas para a utilização mais criteriosa dos exames e a redução de exposições desnecessárias. Moura e Bacchim Neto (2015) também abordam a proteção radiológica no contexto da radiologia intervencionista, ressaltando a importância da adoção de medidas preventivas destinadas à redução da exposição de pacientes e profissionais durante os procedimentos. Essa contribuição amplia a discussão sobre a aplicação prática dos princípios de radioproteção nos serviços de saúde, complementando os achados relacionados à educação permanente e à segurança ocupacional.

Batista *et al.* (2019), ao investigarem o conhecimento de 59 profissionais de saúde sobre proteção radiológica, identificaram deficiências na formação e no conhecimento das medidas de segurança. Os resultados apontaram limitações relacionadas à capacitação institucional, ao conhecimento das normas e à adoção de práticas preventivas, evidenciando a necessidade de educação permanente e de maior atenção às condições de proteção nos ambientes de trabalho. O estudo contribui para compreender a importância da preparação dos profissionais que atuam em serviços que utilizam radiações ionizantes.

Ainda no contexto da proteção radiológica, Vieira, Martinez e Cardoso (2024) investigaram a mortalidade por câncer entre trabalhadores com risco de exposição ocupacional à radiação ionizante, contribuindo para a discussão sobre os possíveis efeitos tardios e a importância da vigilância da saúde ocupacional. Diferentemente dos estudos centrados na SRA, essa investigação aborda consequências de longo prazo, permitindo ampliar a análise dos riscos radiológicos sem confundir os efeitos associados às exposições ocupacionais com aqueles decorrentes de exposições agudas de elevada magnitude.

A caracterização das publicações evidencia que os cinco eixos apresentam contribuições complementares, embora possuam objetos de investigação distintos. Os estudos clínicos e terapêuticos concentram-se nas consequências de exposições agudas significativas, enquanto as pesquisas sobre proteção radiológica abordam predominantemente a prevenção de exposições médicas e ocupacionais. Essa distinção permite compreender que a proteção radiológica constitui uma estratégia abrangente de segurança, cujas medidas preventivas também são relevantes para reduzir a possibilidade de acidentes capazes de produzir exposições de elevada magnitude. Para sistematizar essas contribuições, as características e os principais achados das publicações selecionadas encontram-se apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização das publicações selecionadas segundo os eixos temáticos da revisão

Eixo temático	Autor(es)/ano	Tipo/foco do estudo	Principais achados
Efeitos biológicos	Havránková (2020)	Revisão sobre efeitos biológicos da radiação ionizante	Aborda danos celulares e genéticos, morte celular, reações teciduais e efeitos estocásticos associados à exposição.
Efeitos biológicos	Costa, Ietsugu e Bolognesi (2024)	Estudo sobre efeitos biológicos e SRA	Relaciona os mecanismos de dano biológico às manifestações decorrentes da exposição à radiação ionizante.
Fisiopatologia e manifestações clínicas	Dainiak e Albanese (2022)	Revisão clínica	Discute manifestações clínicas, avaliação, prognóstico e manejo médico da SRA.
Fisiopatologia e manifestações clínicas	Feldman, Kazzi e Walter (2023)	Revisão clínica pediátrica	Apresenta particularidades das lesões por radiação e da SRA em crianças.
Fisiopatologia e manifestações clínicas	Arnautou <i>et al.</i> (2024)	Revisão clínica	Aborda apresentação clínica, avaliação da gravidade e tratamento da SRA.
Estratégias terapêuticas	Singh, Seed e Olabisi (2019)	Revisão farmacológica	Analisa estratégias de desenvolvimento de contramedidas farmacológicas para a SRA.
Estratégias terapêuticas	Christy <i>et al.</i> (2024)	Revisão sobre terapias celulares	Discute o potencial de intervenções celulares na recuperação de lesões induzidas pela radiação.
Estratégias terapêuticas	Lazarus e Gale (2024)	Revisão terapêutica	Analisa o uso de citocinas e fatores estimuladores de colônias no tratamento da SRA.
Acidentes radiológicos	Uchoa (2021)	Revisão sobre biomonitoramento genético	Destaca a importância do acompanhamento dos indivíduos expostos ao Césio-137 em Goiânia.
Proteção radiológica	Moura e Bacchim Neto (2015)	Publicação técnico-científica sobre radioproteção em radiologia intervencionista	Discute a importância das medidas de proteção radiológica para reduzir a exposição de pacientes e profissionais durante procedimentos intervencionistas.
Proteção radiológica	Bernardo, Almeida e Morgado (2017)	Estudo original com intervenção educativa	Identifica redução de 22% nos exames radiológicos e de 29% nas solicitações múltiplas após a campanha de radioproteção pediátrica.
Proteção radiológica	Batista <i>et al.</i> (2019)	Estudo transversal exploratório	Identifica lacunas na formação e no conhecimento de profissionais de saúde sobre práticas de proteção radiológica.
Proteção radiológica e efeitos tardios	Vieira, Martinez e Cardoso (2024)	Estudo de coorte retrospectiva	Investiga a mortalidade por câncer entre trabalhadores com risco de exposição ocupacional à radiação ionizante.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

A sistematização dos estudos evidencia a diversidade de abordagens sobre a SRA, contemplando efeitos biológicos, manifestações clínicas, estratégias terapêuticas e proteção radiológica. Em conjunto, os achados reforçam a relação entre a exposição à radiação ionizante, seus efeitos sobre o organismo e a importância das medidas preventivas para a redução dos riscos radiológicos.

DISCUSSÃO

Os achados desta revisão integrativa evidenciam que a gravidade da Síndrome da Radiação Aguda (SRA) está relacionada às características da exposição à radiação ionizante e à radiosensibilidade dos tecidos atingidos. Os efeitos biológicos têm início com alterações moleculares e celulares, especialmente danos ao DNA, que podem comprometer o funcionamento e a sobrevivência das células. Havránková (2020) e Costa, Ietsugu e Bolognesi (2024) contribuem para a compreensão desses mecanismos, demonstrando que a intensidade dos danos depende de fatores como dose absorvida, taxa de dose e características dos tecidos expostos. Dessa forma, as manifestações clínicas da SRA representam consequências sistêmicas de alterações inicialmente desencadeadas em nível celular.

A radiosensibilidade dos tecidos constitui um fator importante para compreender a distribuição e a gravidade dessas manifestações. Estruturas formadas por células com elevada atividade proliferativa, como a medula óssea e o epitélio gastrointestinal, apresentam maior vulnerabilidade aos efeitos da radiação ionizante. Conforme discutido por Hall e Giaccia (2019), a capacidade de renovação celular influencia a resposta dos tecidos à exposição, contribuindo para explicar o comprometimento desses sistemas na SRA. Essa relação evidencia que os danos produzidos pela radiação não ocorrem de maneira uniforme no organismo, mas variam conforme as características biológicas das estruturas atingidas.

Os estudos clínicos de Dainiak e Albanese (2022) e Arnautou *et al.* (2024) reforçam essa compreensão ao descreverem o comprometimento dos sistemas hematopoiético, gastrointestinal, cutâneo e neurovascular. Entre essas manifestações, a síndrome hematopoiética apresenta particular relevância, pois a lesão das células precursoras da medula óssea compromete a produção dos componentes sanguíneos, aumentando a suscetibilidade a infecções, anemia e hemorragias. Em exposições de maior magnitude, o comprometimento gastrointestinal e neurovascular pode agravar o quadro clínico e reduzir as possibilidades de recuperação. Feldman, Kazzi e Walter (2023) ampliam essa discussão ao abordar as particularidades das lesões por radiação em crianças, ressaltando a importância da avaliação clínica conforme as características dos indivíduos expostos.

A evolução clínica da SRA também exige atenção, uma vez que as manifestações podem ocorrer em diferentes fases. Os sintomas iniciais, característicos da fase prodrômica, podem ser seguidos por um período de aparente melhora, denominado fase latente, antes do desenvolvimento de manifestações mais graves. Arnautou *et al.* (2024) destacam a importância da avaliação da intensidade e da evolução dos sintomas para estimar a gravidade da exposição e orientar o acompanhamento clínico. Assim, a redução temporária das manifestações não deve ser interpretada, isoladamente, como recuperação, especialmente quando há suspeita de exposição significativa à radiação ionizante.

No campo terapêutico, as publicações demonstram avanços no desenvolvimento de intervenções destinadas à recuperação dos sistemas comprometidos, particularmente o hematopoiético. Singh, Seed e Olabisi (2019) discutem estratégias para o desenvolvimento de contramedidas farmacológicas, enquanto Lazarus e Gale (2024) abordam o emprego de citocinas e fatores estimuladores de colônias na recuperação hematopoiética. Christy *et al.* (2024), por sua vez, apresentam as terapias celulares como possibilidades para o tratamento de lesões induzidas pela radiação. Embora essas abordagens ampliem as perspectivas terapêuticas, parte das intervenções ainda depende de investigações adicionais quanto à eficácia e à segurança, demonstrando que o tratamento, mesmo quando disponível, não elimina a importância das medidas preventivas.

As consequências dos acidentes radiológicos reforçam a necessidade de prevenção e acompanhamento das populações expostas. No contexto brasileiro, o acidente com Césio-137 em Goiânia evidenciou os riscos associados ao gerenciamento inadequado de fontes radioativas e as repercussões que podem atingir trabalhadores e a população. Uchoa (2021), ao abordar o biomonitoramento genético de indivíduos expostos nesse acidente, destaca a relevância do acompanhamento das possíveis alterações biológicas e genéticas após a exposição. Esses achados demonstram que a atenção às pessoas atingidas não deve se limitar ao atendimento inicial, considerando a possibilidade de consequências que exigem acompanhamento prolongado.

Em uma perspectiva complementar, Vieira, Martinez e Cardoso (2024) investigaram a mortalidade por câncer entre trabalhadores com risco de exposição ocupacional à radiação ionizante, contribuindo para a compreensão dos possíveis efeitos tardios e da importância da vigilância da saúde ocupacional. Diferentemente dos estudos sobre a SRA, essa investigação aborda consequências de longo prazo, que não devem ser confundidas com as manifestações decorrentes de exposições agudas de elevada magnitude. Essa distinção é fundamental para compreender que os riscos associados à radiação ionizante abrangem diferentes condições de exposição e exigem medidas de proteção adequadas a cada contexto.

Nesse sentido, a proteção radiológica constitui uma estratégia essencial para prevenir ou reduzir os danos decorrentes da exposição à radiação ionizante. Entre as principais medidas encontram-se a redução do tempo de exposição, o aumento da distância em relação às fontes, a utilização de blindagens, o monitoramento dosimétrico e a adoção de procedimentos de segurança. Essas práticas integram os princípios de proteção radiológica estabelecidos pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP, 2007), especialmente a justificção e a otimização das exposições. No contexto brasileiro, a Resolução RDC nº 611/2022 estabelece requisitos sanitários para a organização e o funcionamento dos serviços de radiologia diagnóstica ou intervencionista, contribuindo para a segurança dos pacientes, trabalhadores e público (Brasil, 2022).

A dimensão educativa também se destaca como componente importante da proteção radiológica. No âmbito da radiologia intervencionista, Moura e Bacchim Neto (2015) destacam a

relevância da proteção radiológica durante a realização dos procedimentos, considerando a necessidade de reduzir exposições desnecessárias entre pacientes e profissionais. Essa perspectiva complementa as recomendações da ICRP (2007) e reforça que a segurança radiológica depende da aplicação de medidas técnicas e da observância dos princípios de justificação e otimização das exposições.

Bernardo, Almeida e Morgado (2017) identificaram redução na realização de exames radiológicos após a implementação de estratégias educativas voltadas à proteção de crianças, evidenciando a contribuição dessas iniciativas para a utilização mais criteriosa dos procedimentos. Batista *et al.* (2019), por outro lado, identificaram limitações no conhecimento de profissionais de saúde sobre normas e medidas de proteção radiológica, demonstrando a necessidade de capacitação contínua e fortalecimento das práticas institucionais de segurança. Esses resultados indicam que a prevenção depende não apenas de recursos técnicos, mas também da formação profissional, do conhecimento dos riscos e da adoção de condutas adequadas nos ambientes de trabalho.

É importante considerar, entretanto, que as exposições decorrentes de procedimentos diagnósticos realizados adequadamente não correspondem, em condições habituais, às exposições de elevada magnitude responsáveis pela SRA. Ainda assim, os estudos sobre proteção radiológica em serviços de saúde contribuem para compreender a importância da prevenção de exposições desnecessárias e do fortalecimento da cultura de segurança. O conhecimento dos mecanismos biológicos e das consequências clínicas da síndrome também favorece a preparação dos profissionais para reconhecer situações de risco e atuar de maneira adequada diante de possíveis emergências radiológicas.

Dessa forma, a análise integrada das publicações permite compreender que os efeitos biológicos, as manifestações clínicas, as possibilidades terapêuticas e as medidas preventivas constituem dimensões complementares do estudo da SRA. Enquanto os conhecimentos radiobiológicos explicam os mecanismos responsáveis pelos danos, os estudos clínicos e terapêuticos demonstram suas repercussões e as possibilidades de intervenção. A proteção radiológica, por sua vez, atua prioritariamente na prevenção das exposições e na redução dos riscos. Essa articulação responde à questão norteadora da pesquisa ao evidenciar que a gravidade potencial dos efeitos biológicos e clínicos da SRA reforça a importância do controle das fontes radioativas, do monitoramento das exposições, da capacitação profissional e da aplicação sistemática dos princípios de segurança radiológica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste estudo possibilitou analisar os principais aspectos biológicos e clínicos da Síndrome da Radiação Aguda (SRA), relacionando suas manifestações à importância da proteção

radiológica na prevenção dos danos à saúde humana. Os achados evidenciaram que a SRA constitui uma condição de elevada complexidade, decorrente da exposição significativa à radiação ionizante em curto intervalo de tempo, cuja gravidade depende de fatores como dose absorvida, extensão corporal exposta e radiosensibilidade dos tecidos atingidos.

Verificou-se que os efeitos da radiação ionizante têm início em nível molecular e celular, podendo desencadear alterações que comprometem o funcionamento de diferentes sistemas orgânicos. A maior vulnerabilidade dos tecidos com elevada atividade proliferativa contribui para explicar o comprometimento hematopoiético e gastrointestinal, enquanto exposições de maior magnitude podem provocar manifestações neurovasculares e falência de múltiplos órgãos. Dessa forma, o conhecimento dos mecanismos biológicos e das fases clínicas da síndrome mostra-se essencial para o reconhecimento precoce das manifestações e o direcionamento adequado da assistência aos indivíduos expostos.

No campo terapêutico, a literatura evidenciou avanços relacionados às medidas de suporte clínico, à recuperação hematopoiética e ao desenvolvimento de contramedidas farmacológicas e terapias celulares. Entretanto, parte dessas intervenções permanece em investigação, demonstrando a necessidade de novos estudos que avaliem sua eficácia, segurança e aplicabilidade clínica. Os achados reforçam que, embora o desenvolvimento científico amplie as possibilidades de tratamento, as intervenções terapêuticas não substituem as estratégias destinadas à prevenção das exposições.

A análise das consequências de acidentes radiológicos, especialmente do acidente com Césio-137 em Goiânia, também evidenciou a importância do gerenciamento adequado das fontes radioativas, da preparação dos serviços de saúde e do acompanhamento das populações atingidas. Paralelamente, os estudos sobre proteção radiológica demonstraram a contribuição das ações educativas, da capacitação profissional e da vigilância ocupacional para a redução dos riscos associados à utilização da radiação ionizante. Ressalta-se, contudo, que as exposições médicas e ocupacionais habituais apresentam características distintas daquelas responsáveis pelo desenvolvimento da SRA, embora também exijam medidas permanentes de segurança.

Diante dos resultados, conclui-se que a proteção radiológica desempenha papel fundamental na prevenção dos danos decorrentes da exposição à radiação ionizante. A aplicação dos princípios de segurança, associada ao monitoramento das exposições, ao controle das fontes e à qualificação dos profissionais, constitui uma medida indispensável para a proteção dos trabalhadores, pacientes e da população. Assim, a compreensão dos efeitos biológicos e clínicos da SRA reforça a necessidade de práticas preventivas sistemáticas e de preparação institucional para possíveis emergências radiológicas.

Como limitação, destaca-se a distribuição desigual das publicações entre os eixos temáticos, especialmente a menor representação de estudos específicos sobre acidentes radiológicos. Recomenda-se, portanto, a ampliação de pesquisas sobre os efeitos da exposição aguda, o

acompanhamento das populações atingidas e o aprimoramento das estratégias terapêuticas e preventivas. Desse modo, espera-se que os conhecimentos reunidos contribuam para o fortalecimento da cultura de segurança radiológica e para o desenvolvimento de medidas capazes de reduzir os riscos à saúde humana.

REFERÊNCIAS

ARNAUTOU, P. *et al.* Management of acute radiation syndrome. **Transfusion Clinique et Biologique**, v. 31, n. 4, p. 253-259, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tracli.2024.07.002>. Acesso em: 9 out. 2026.

BATISTA, V. M. D. *et al.* Proteção radiológica na perspectiva dos profissionais de saúde expostos à radiação. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 72, supl. 1, p. 12-19, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-7167-2017-0545>. Acesso em: 9 out. 2026.

BERNARDO, M. O.; ALMEIDA, F. A.; MORGADO, F. Campanha e carteira de radioproteção: estratégias educativas que reduzem a exposição excessiva de crianças a exames radiológicos. **Revista Paulista de Pediatria**, v. 35, n. 2, p. 178-184, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1984-0462/2017;35;2;00011>. Acesso em: 9 out. 2026.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 611, de 9 de março de 2022. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2022.

CHRISTY, B. A. *et al.* Cell therapies for acute radiation syndrome. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 25, n. 13, art. 6973, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms25136973>. Acesso em: 9 out. 2026.

COSTA, Y. A. P.; IETSUGU, M. V.; BOLOGNESI, L. [Título do artigo a confirmar]. **Tekhne e Logos**, Botucatu, v. 15, n. 1, abr. 2024. Disponível em: <http://revista.fatecbt.edu.br/index.php/tl/article/view/946/532>. Acesso em: 9 out. 2026.

DAINIAK, N.; ALBANESE, J. Medical management of acute radiation syndrome. **Journal of Radiological Protection**, v. 42, n. 3, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1361-6498/ac7d18>. Acesso em: 9 out. 2026.

FELDMAN, K.; KAZZI, Z.; WALTER, F. Radiation injuries: acute radiation syndrome in children. **Pediatric Annals**, v. 52, n. 6, p. e231-e237, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3928/19382359-20230411-03>. Acesso em: 9 out. 2026.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HALL, E. J.; GIACCIA, A. J. **Radiobiology for the radiologist**. 8. ed. Philadelphia: Wolters Kluwer, 2019.

HAVRÁNKOVÁ, R. Biological effects of ionizing radiation. **Časopis Lékařů Českých**, v. 159, n. 7-8, p. 258-260, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33445930/>. Acesso em: 9 out. 2026.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). **The radiological accident in Goiânia**. Vienna: IAEA, 1988. 132 p. (STI/PUB/815). Disponível em: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub815_web.pdf. Acesso em: 9 out. 2026.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP). The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. **Annals of the ICRP**, v. 37, n. 2-4, 2007. (ICRP Publication 103).

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

LAZARUS, H. M.; GALE, R. P. Cytokine therapy of acute radiation syndrome. **Best Practice & Research Clinical Haematology**, v. 37, n. 4, art. 101599, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.beha.2025.101599>. Acesso em: 9 out. 2026.

MINAYO, M. C. S. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 34. ed. Petrópolis: Vozes, 2014.

MOURA, R.; BACCHIM NETO, F. A. Proteção radiológica aplicada à radiologia intervencionista. **Jornal Vascular Brasileiro**, v. 14, n. 3, p. 197-199, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1677-5449.1403>. Acesso em: 9 out. 2026.

OKUNO, E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de Goiânia. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 27, n. 77, p. 185-200, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/xzD9Dgv8GPFtHkxkfbQsn4f/?lang=pt>. Acesso em: 9 out. 2026.

ROCHA, S. F. Acidente radioativo com o Césio-137: a participação da Marinha no atendimento às vítimas. **Navigator**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 12, p. 70-84, 2010.

SINGH, V. K.; SEED, T. M.; OLABISI, A. O. Drug discovery strategies for acute radiation syndrome. **Expert Opinion on Drug Discovery**, v. 14, n. 7, p. 701-715, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17460441.2019.1604674>. Acesso em: 9 out. 2026.

UCHOA, E. M. G. S. **Césio 137: revisão integrativa do biomonitoramento genético de pessoas expostas à radiação ionizante no acidente radiológico de Goiânia, no período de 1988 a 2021**. 2021. 91 f. Dissertação (Mestrado em Genética) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2021.

VIEIRA, G. S.; MARTINEZ, M. C.; CARDOSO, M. R. A. 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**, v. 27, art. e240011, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1980-549720240011.2>. Acesso em: 9 out. 2026.