



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

INSTITUTO DE FÍSICA

JÉSSICA CRISTINA HATAYAMA DA SILVA

Revisão da literatura sobre a avaliação das doses e seus efeitos em exames de raios X e tomografia computadorizada abdominal em crianças

Uberlândia 2026

Jéssica Cristina Hatayama da Silva

**Revisão da literatura sobre a avaliação das doses e seus efeitos
em exames de raios X e tomografia computadorizada
abdominal em crianças**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Física da Universidade Federal de
Uberlândia como requisito parcial para obtenção do
título de Bacharel em Física Médica.

Orientador(a): Profa. Dra. Ana Paula Perini

Uberlândia

2026

Revisão da literatura sobre a avaliação das doses e seus efeitos em exames de raios X e tomografia computadorizada abdominal em crianças

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Física da Universidade Federal de
Uberlândia como requisito parcial para obtenção do
título de Bacharel em Física Médica.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula Perini.

Uberlândia, 06 de agosto de 2026.

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Ana Paula Perini - Orientadora

Me. e Especialista Samara Pavan Souza – HC-UFG/HU - BRASIL e PPGEB-UFU

Membro

Me. Tainara Gabrieli Zandoná – PPGEB-UFU - Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora Aparecida, de quem sou devota, por fortalecer minha fé, renovar minhas esperanças, me sustentar nos momentos de dificuldade e me guiar ao longo de toda a minha trajetória acadêmica.

Aos meus pais, Márcia e Claudemir, meu amor incondicional, pelo apoio constante e por todos os esforços e sacrifícios realizados para que eu pudesse chegar até aqui. Obrigada por sempre acreditarem em mim, por me incentivarem a seguir em frente e por permanecerem ao meu lado.

Aos meus tios, agradeço por todo o carinho e apoio. Em especial, à minha tia Stella, por ser como uma segunda mãe, sempre me acolhendo, incentivando e fortalecendo com amor e suas palavras de motivação.

À minha avó, Virgínia, por todo o amor, dedicação e representação do mais belo significado do amor de uma avó. Ao meu querido avô, Tadashi (in memoriam), minha eterna gratidão por ter sido um dos pilares da minha formação. Seus ensinamentos, seu amor e seu incentivo permanecem vivos em meu coração e me acompanham até hoje.

Aos meus amigos de graduação, especialmente Beatriz e Douglas, agradeço a amizade, o companheirismo e por compartilharem comigo momentos de alegria, desafio, aprendizados e superação, tornando essa caminhada mais leve, especial e significativa.

A todos os colegas e amigos do Programa de Educação Tutorial (PET), agradeço a convivência, as experiências compartilhadas, as reuniões, os eventos e por fim, todos os momentos de trabalho em equipe, no qual foi contribuição na minha jornada de crescimento pessoal e profissional me tornando uma pessoa melhor.

À minha orientadora, Prof.^a Dra. Ana Paula Perini, minha sincera gratidão por toda dedicação, paciência, apoio e sabedoria durante a elaboração deste trabalho. Sua orientação foi fundamental para o meu crescimento acadêmico e para que eu pudesse concluir esta etapa tão importante da minha vida.

Agradeço ao apoio da Universidade Federal de Uberlândia, uma vez que este trabalho foi realizado com o apoio financeiro desta instituição e pelas agências de fomento:

- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG): APQ-04215-22; APQ-01254-23; APQ-04348-23.
- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq): Bolsa de Produtividade em Pesquisa 310646/2025-1 (Ana Paula Perini); Bolsa de Produtividade em Pesquisa 312160/2023-2 (Lucio Pereira Neves).
- Este trabalho faz parte do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para

Instrumentação Nuclear e Aplicações na Indústria e Saúde (INCT/INAIS), projeto CNPq 424498/2025.

“Se quer viver uma vida feliz, amarre-se a uma meta, não às pessoas nem às coisas.”

ALBERT EINSTEIN

RESUMO

Este trabalho apresenta uma revisão da literatura sobre a avaliação das doses de radiação em exames de raios X e tomografia computadorizada (TC) abdominal em crianças, com ênfase nos impactos à saúde pediátrica e nas estratégias de otimização voltadas à redução da exposição à radiação. A revisão demonstrou que a TC, apesar de indispensável em casos que exigem maior detalhamento diagnóstico, expõe os pacientes pediátricos a doses significativamente mais altas em comparação à radiografia convencional. Dada a maior vulnerabilidade das crianças à radiação ionizante, práticas fundamentadas nos princípios de justificação e otimização são indispensáveis para mitigar os riscos. Os avanços tecnológicos, como algoritmos de reconstrução iterativa e sistemas automáticos de controle de dose, têm permitido reduções substanciais na exposição à radiação sem comprometer a qualidade diagnóstica. Além disso, a personalização de protocolos, ajustados ao tamanho corporal e idade da criança, e programas educativos como o "*Image Gently*" têm desempenhado um papel fundamental na conscientização e capacitação dos profissionais de saúde. Os resultados deste trabalho evidenciaram variações nas doses efetivas entre os estudos analisados. Nas radiografias abdominais pediátricas, estudos reportam uma dose efetiva média de 34,6 μSv (0,0346 mSv). Para exames de TC abdominal pediátrica, um estudo brasileiro encontrou uma dose efetiva média de 4,35 mSv. Na literatura internacional, são reportados valores típicos entre aproximadamente 3,7 e 5,3 mSv para pacientes pediátricos, dependendo principalmente da idade, das dimensões do paciente e do protocolo empregado. Conclui-se que a implementação de práticas otimizadas em radiologia pediátrica é essencial para assegurar maior segurança ao paciente e manter a eficácia diagnóstica dos exames.

Palavras-chave: Radiologia pediátrica, doses de radiação, tomografia computadorizada, radiação ionizante, proteção radiológica, dose efetiva.

ABSTRACT

This study presents a literature review on the assessment of radiation doses from abdominal X-ray and computed tomography (CT) examinations in children, with an emphasis on their potential impacts on pediatric health and on optimization strategies aimed at reducing radiation exposure. The review showed that CT, although indispensable in cases requiring greater diagnostic detail, exposes pediatric patients to significantly higher radiation doses than conventional radiography. Given children's greater vulnerability to ionizing radiation, practices based on the principles of justification and optimization are essential to mitigate potential risks. Technological advances, such as iterative reconstruction algorithms and automatic exposure control systems, have enabled substantial reductions in radiation exposure without compromising diagnostic image quality. In addition, the customization of protocols according to the child's body size and age, together with educational initiatives such as "Image Gently," has played a key role in raising awareness and training healthcare professionals. The findings of this study revealed variations in effective dose among the studies analyzed. For pediatric abdominal radiography, studies reported a mean effective dose of 34.6 μ Sv (0.0346 mSv). For pediatric abdominal CT examinations, a Brazilian study reported a mean effective dose of 4.35 mSv. In the international literature, typical values ranging from approximately 3.7 to 5.3 mSv have been reported for pediatric patients, depending mainly on age, patient size, and the imaging protocol employed. It is concluded that the implementation of optimized practices in pediatric radiology is essential to enhance patient safety while maintaining the diagnostic effectiveness of these examinations.

Keywords: Pediatric radiology, radiation doses, computed tomography, ionizing radiation, radiation protection, effective dose.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mecanismos de ação direta e indireta da radiação ionizante e seus possíveis efeitos biológicos	19
Figura 2: Ordem relativa de radiosensibilidade de células e tecidos	20
Figura 3: Fluxograma do processo de seleção dos artigos incluídos na revisão bibliográfica.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre radiografia e TC abdominal em termos do tipo de imagem, dose efetiva aproximada e detalhamento anatômico	23
Tabela 2: Doses Efetivas Médias por Faixa Etária [SUTIL et al.,2022].....	29
Tabela 3: Valores de dose efetiva (E) em tomografia computadorizada abdominal pediátrica [Faversani (2021)]	30
Tabela 4: Valores de dose efetiva em tomografia computadorizada abdominal pediátrica [Pages et al.,2003].....	30
Tabela 5: Valores de dose efetiva em tomografia computadorizada abdominal pediátrica [Aloufi et al.,2024].....	31
Tabela 6: Valores de dose efetiva (E) em tomografia computadorizada abdominal pediátrica [Huda et al., 2007].....	32
Tabela 7: Valores de doses efetivas (E) de raios X e tomografia computadorizada abdominais.....	33

LISTA DE SIGLAS

ACR:	<i>American College of Radiology</i>
CTDI_{vol}:	<i>Computed Tomography Dose Index Volume</i>
CTDL_w:	Índice de dose ponderada
DLP:	Produto dose comprimento
DNA:	Ácido Desoxirribonucleico
E:	Dose efetiva
Gy:	Gray
ICRP:	Comissão Internacional de Proteção Radiológica (<i>International Commission on Radiological Protection</i>)
ICRU:	<i>International Commission on Radiation Units and Measurements</i>
PACS:	Sistema de Arquivamento e Comunicação de Imagens (<i>Picture Archiving and Communication System</i>)
SPR:	<i>Society for Pediatric Radiology</i>
TC:	Tomografia Computadorizada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
3.1 AS RADIAÇÕES IONIZANTES.....	16
3.1.1 GRANDEZAS DOSIMÉTRICAS	17
3.2. RADIOLOGIA DIAGNÓSTICA PEDIÁTRICA	17
3.3. RADIAÇÃO IONIZANTE E SEUS EFEITOS	18
3.4. COMPARAÇÕES ENTRE RAIOS X E TC.....	21
4. METODOLOGIA	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1. COMPARAÇÃO DOS VALORES DE DOSES EFETIVAS	26
5.2. IMPACTOS NA SAÚDE INFANTIL	34
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1 INTRODUÇÃO

A radiologia diagnóstica é uma ferramenta indispensável na prática médica, sendo amplamente utilizada para avaliação de condições clínicas e para o direcionamento terapêutico em diversas patologias (HALL; GIACCIA, 2019). Entretanto, o uso de radiação ionizante em procedimentos radiológicos, como os raios X e a tomografia computadorizada (TC) abdominal suscita preocupações relevantes, sobretudo em populações vulneráveis como crianças (BRENNER; HALL, 2007). Organismos pediátricos apresentam maior sensibilidade biológica à radiação em razão da elevada taxa de divisão celular e do longo período de vida após a exposição, o que amplia a probabilidade de efeitos tardios, tais como neoplasias malignas (HALL; GIACCIA, 2019).

A maior preocupação com a exposição pediátrica relaciona-se à elevada atividade proliferativa de diversos tecidos e ao maior tempo de vida remanescente, durante o qual efeitos tardios podem se manifestar (HALL; GIACCIA, 2019). Estudos epidemiológicos apontam que a exposição cumulativa a doses mesmo moderadas durante a infância está associada ao aumento do risco de câncer ao longo da vida (BRENNER; HALL, 2007). As evidências científicas indicam que a probabilidade de câncer induzido por radiação em crianças pode ser de três a cinco vezes superior ao observado em adultos (BRENNER; HALL, 2007).

Entre os métodos diagnósticos, a radiografia abdominal é considerada um procedimento de baixa dose quando comparada à TC. Entretanto, não está isenta de riscos, uma vez que essas exposições podem tornar-se relevantes no contexto pediátrico, especialmente em situações que exigem exames repetidos. Dessa forma, é fundamental a adoção de critérios adequados de proteção radiológica, conforme recomendado pela ICRP (2007).

Em contrapartida, a TC destaca-se pela alta capacidade diagnóstica, oferecendo imagens tridimensionais detalhadas de tecidos e órgãos internos. O avanço tecnológico, incluindo detectores multislice, algoritmos de reconstrução sofisticado e melhorias na resolução espacial, permite uma visualização detalhada de estruturas internas (MOURÃO, 2018). Contudo, essa precisão é alcançada à custa de doses significativamente maiores de radiação. De acordo com o trabalho de Brady *et al.* (2012), as doses efetivas estimadas para exames de TC variaram de 1,0 a 1,6 mSv para exames de crânio, de 1,8 a 13,0 mSv para exames de tórax e de 2,5 a 10,0 mSv para exames de abdome e pelve. Embora tais doses possam ser justificadas quando necessárias para a obtenção de diagnósticos precisos, a exposição à radiação ionizante em crianças deve ser cuidadosamente avaliada, especialmente em situações de repetição de exames,

devido ao aumento potencial do risco de efeitos tardios, como leucemia e tumores cerebrais (PEARCE *et al.*, 2012).

Esses dados tornam evidente a necessidade de estabelecer um equilíbrio entre a obtenção de informações diagnósticas precisas e a minimização da exposição à radiação. Práticas como a "Justificação" e a "Otimização" dos exames, defendidas pela *International Commission on Radiological Protection* (ICRP), são fundamentais nesse contexto. A justificação refere-se à necessidade de garantir que o benefício do exame radiológico supere os riscos associados, enquanto a otimização está relacionada à adoção de técnicas que minimizem a dose de radiação sem comprometer a qualidade da imagem (ICRP, 2007).

A literatura evidencia a eficácia das estratégias de proteção radiológica voltadas a pacientes pediátricos, com ênfase na redução da dose sem comprometimento da qualidade diagnóstica (COOK, 2001). Entre essas medidas, destacam-se a colimação adequada, a redução do número de projeções desnecessárias e o uso de algoritmos de reconstrução iterativa em TC, que contribuem para a diminuição da exposição à radiação. Além disso, a padronização dos fatores técnicos, como a tensão do tubo (kVp) e o produto corrente-tempo do tubo (mAs), ajustados de acordo com o tamanho corporal e a idade da criança, é essencial para evitar exposições desnecessárias. Essas estratégias podem reduzir a dose em até 50%, sem comprometer a qualidade da imagem (STRAUSS *et al.*, 2010).

Nesse contexto, são necessários esforços para reduzir e monitorar as doses em pacientes pediátricos, por meio de diretrizes específicas, capacitação profissional e iniciativas de conscientização, como o projeto "*Image Gently*", que enfatiza a adoção de práticas específicas para garantir segurança radiológica em populações pediátricas e reduzir exposições desnecessárias (MIGLIORETTI, 2013).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste estudo é avaliar, por meio de uma revisão bibliográfica, as doses de radiação em exames de radiografia e TC abdominal em crianças, considerando os possíveis efeitos biológicos associados à exposição à radiação ionizante e propondo estratégias para sua redução sem comprometer a qualidade diagnóstica. A análise busca compreender as diferenças entre essas modalidades diagnósticas, discutir a relação entre as doses de radiação e seus impactos nos tecidos pediátricos, bem como destacar a importância de práticas fundamentadas nos princípios de justificação e otimização, conforme as diretrizes da *International Commission on Radiological Protection* (ICRP).

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ☐ Identificar, na literatura científica, os valores de dose de radiação associados aos exames de radiografia e TC da região abdominal realizados em pacientes pediátricos;
- ☐ Comparar as doses de radiação relatadas para os exames de radiografia e tomografia computadorizada abdominal, considerando as diferenças entre as técnicas;
- ☐ Analisar os possíveis efeitos biológicos decorrentes da exposição à radiação ionizante em pacientes pediátricos;
- ☐ Identificar estratégias de otimização e redução de dose aplicáveis aos exames de imagem abdominal em crianças;
- ☐ Sintetizar recomendações para a realização segura e justificada de exames radiológicos na população pediátrica.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 AS RADIAÇÕES IONIZANTES

As radiações podem ser classificadas em dois tipos: ionizantes e não ionizantes (OKUNO; YOSHIMURA, 2010). As radiações ionizantes possuem energia suficiente para ionizar átomos e moléculas, enquanto as radiações não ionizantes não apresentam essa capacidade. Entre os exemplos de radiações ionizantes, destacam-se os raios X e os raios gama; já micro-ondas e as ondas de rádio são exemplos de radiações não ionizantes. Desde a descoberta dos raios X, em 1895, seu uso em aplicações médicas tornou-se cada vez mais frequente (OKUNO; YOSHIMURA, 2010). Dessa forma, o estudo da interação da radiação ionizante com os tecidos biológicos é fundamental para avaliar seus benefícios diagnósticos e terapêuticos, bem como os possíveis riscos associados à exposição.

A partir dessa descoberta várias comissões foram criadas para propor unidades e grandezas para quantificar essas radiações para que seu uso não fosse indiscriminado, e estabelecer limites pensando em possíveis efeitos indesejados que pudessem ocorrer tais como a necrose. A ICRU- *International Commission on Radiation Units and Measurements* desenvolve recomendações sobre grandezas e unidades, enquanto a ICRP- *International Commission on Radiological Protection* estabelece princípios e recomendações de proteção radiológica (ICRP, 2007).

3.1 AS RADIAÇÕES IONIZANTES

As radiações podem ser classificadas em dois tipos: ionizantes e não ionizantes (OKUNO; YOSHIMURA, 2010). As radiações ionizantes possuem energia suficiente para ionizar átomos e moléculas, enquanto as radiações não ionizantes não apresentam essa capacidade. Entre os exemplos de radiações ionizantes, destacam-se os raios X e os raios gama; já micro-ondas e as ondas de rádio são exemplos de radiações não ionizantes. Desde a descoberta dos raios X, em 1895, seu uso em aplicações médicas tornou-se cada vez mais frequente (OKUNO; YOSHIMURA, 2010). Dessa forma, o estudo da interação da radiação ionizante com os tecidos biológicos é fundamental para avaliar seus benefícios diagnósticos e terapêuticos, bem como os possíveis riscos associados à exposição.

A partir dessa descoberta várias comissões foram criadas para propor unidades e grandezas para quantificar essas radiações para que seu uso não fosse indiscriminado, e estabelecer limites pensando em possíveis efeitos indesejados que pudessem ocorrer tais como a necrose. A ICRU- *International Commission on Radiation Units and Measurements* desenvolve recomendações sobre grandezas e unidades, enquanto a ICRP- *International*

Commission on Radiological Protection estabelece princípios e recomendações de proteção radiológica (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

3.1.1 GRANDEZAS DOSIMÉTRICAS

Segundo a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN, 2024, p.4), “a dose absorvida (D) é uma grandeza fundamental, expressa pela razão entre a energia média depositada pela radiação ionizante ($d\varepsilon$) em um volume de matéria de massa (dm)”, conforme a equação (1):

$$D = \frac{d\varepsilon}{dm} \quad (1)$$

Além disso, sua unidade no sistema internacional (SI) é joule por quilograma (J/kg), conhecida como gray (Gy) (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

A dose equivalente (H_T), que é uma grandeza de proteção de suma importância para restringir a dose no órgão ou tecido (OKUNO; YOSHIMURA, 2010), é obtida pela equação (2):

$$H_T = \sum_R D_{TR} w_R \quad (2)$$

Segundo a CNEN (2024, p. 4) a dose equivalente é definida pela equação 2 em que: “ $D_{T,R}$ é a dose absorvida média no volume de um órgão ou tecido T específico, devido à radiação R incidente no corpo ou emitida por radionuclídeos incorporados e w_R é o fator de peso para a radiação R . A unidade no sistema internacional é o joule por quilograma (J.kg⁻¹), que recebe a denominação especial sievert (Sv)”.

Segundo a CNEN (2024, p.4) a “Dose efetiva - E - é a grandeza definida pela expressão $E = \sum_T w_T H_T$, onde H_T é a dose equivalente no tecido ou órgão T e w_T é o fator de peso do respectivo órgão ou tecido. A unidade no sistema internacional é o joule por quilograma (J.kg⁻¹), que recebe a denominação especial sievert (Sv)”

3.2. RADIOLOGIA DIAGNÓSTICA PEDIÁTRICA

A radiologia diagnóstica pediátrica é uma especialidade médica dedicada à obtenção e interpretação de imagens diagnósticas em pacientes pediátricos, abrangendo desde recém-nascidos até adolescentes. Essa área exige uma abordagem diferenciada em relação à radiologia de adultos, devido às particularidades anatômicas, fisiológicas e psicológicas das crianças (VALENTE *et al.*, 2012).

Uma das principais preocupações na radiologia pediátrica é a maior sensibilidade das crianças às radiações ionizantes. Essa sensibilidade aumentada deve-se à maior taxa de proliferação celular e ao maior tempo de vida potencial (BUSHBERG *et al.*, 2012), o que eleva o risco de efeitos estocásticos, como o desenvolvimento de neoplasias ao longo da vida. Além disso, o menor tamanho corporal dos pacientes pediátricos reduz a atenuação do feixe. Por isso, os parâmetros de exposição precisam ser ajustados ao tamanho ou à idade da criança, uma vez que a aplicação de protocolos desenvolvidos para adultos pode resultar em doses superiores às necessárias para a obtenção de imagens com qualidade para um diagnóstico adequado (KHONG *et al.*, 2013; BOONE *et al.*, 2003).

Para mitigar esses riscos, é fundamental a aplicação dos princípios de justificação e otimização. A justificação implica que todo exame radiológico deve ser clinicamente indicado, evitando exposições desnecessárias (CNEN, 2024). A otimização, por sua vez, refere-se ao ajuste dos parâmetros técnicos para obter a melhor qualidade de imagem com a menor dose possível de radiação. A *American College of Radiology* (ACR) e a *Society for Pediatric Radiology* (SPR) enfatizam a importância de protocolos específicos para a população pediátrica, que considerem fatores como idade, peso e área a ser examinada (SOCIETY FOR PEDIATRIC RADIOLOGY, 2025).

Além dos aspectos técnicos, a radiologia pediátrica requer habilidades interpessoais e comunicativas específicas. A criação de um ambiente acolhedor e a utilização de técnicas de distração podem reduzir a ansiedade da criança, facilitando a realização do exame e melhorando a qualidade das imagens obtidas (VALENTE *et al.*, 2012). A presença dos pais ou responsáveis durante o procedimento também pode contribuir para o conforto do paciente, desde que não comprometa a segurança radiológica.

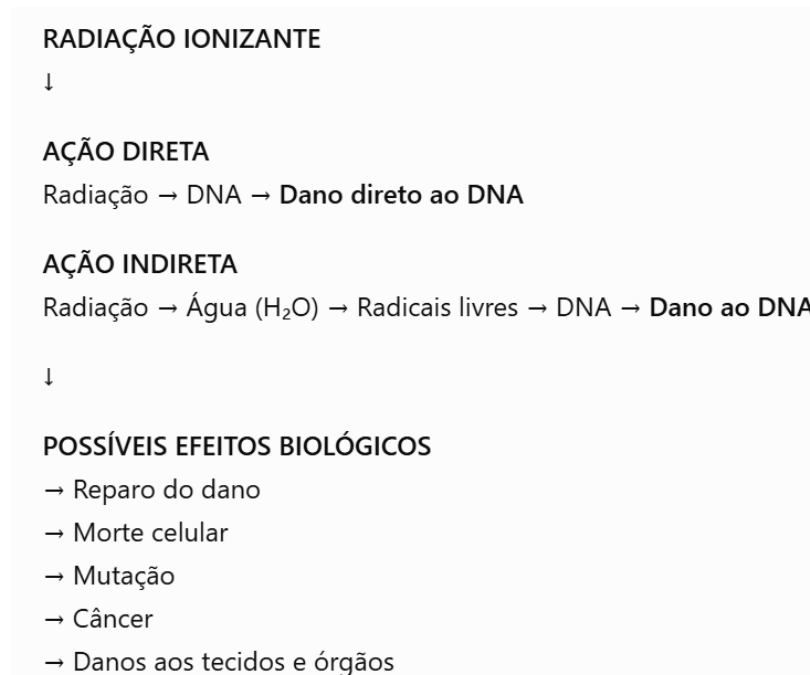
Outro fator que deve ser levado em consideração é a formação contínua dos profissionais de saúde que é essencial para a prática segura e eficaz da radiologia pediátrica. Programas de educação continuada e treinamentos específicos capacitam os profissionais a lidar com as particularidades dessa população, promovendo a adoção de práticas baseadas em evidências e atualizadas conforme as diretrizes internacionais.

3.3. RADIAÇÃO IONIZANTE E SEUS EFEITOS

A radiação ionizante refere-se a formas de energia que possuem capacidade suficiente para ionizar átomos e moléculas, ou seja, remover elétrons de suas órbitas, resultando na formação de íons (OKUNO; YOSHIMURA, 2010). Essa categoria de radiação inclui partículas

alfa, partículas beta, nêutrons e radiação eletromagnética de alta energia, como raios X e raios gama. A interação da radiação ionizante com a matéria pode provocar alterações significativas, especialmente em sistemas biológicos (OKUNO; YOSHIMURA, 2010), algumas dessas alterações são mostradas na Figura 1.

Figura 1: Mecanismos de ação direta e indireta da radiação ionizante e seus possíveis efeitos biológicos



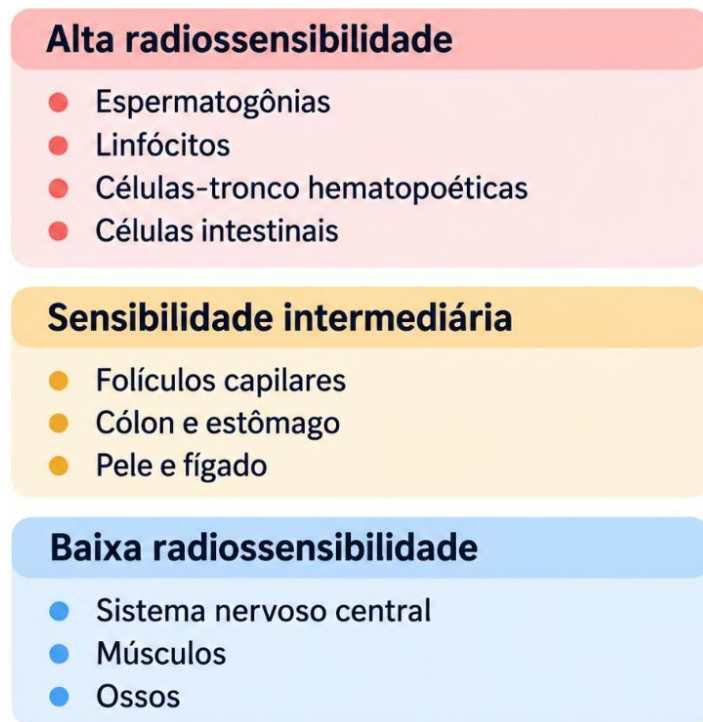
Fonte: Elaborado pela autora com auxílio do ChatGPT, com base em Hall e Giaccia (2019).

Os efeitos biológicos da radiação ionizante podem ser classificados em dois tipos principais: reações teciduais e efeitos estocásticos (OKUNO; YOSHIMURA, 2010). As reações teciduais ocorrem quando a dose de radiação ultrapassa um determinado limiar, resultando em danos celulares que se manifestam clinicamente, como queimaduras, cataratas e síndrome aguda da radiação (OKUNO; YOSHIMURA, 2010). Esses efeitos são dose-dependentes e sua gravidade aumenta com a elevação da dose recebida. Por outro lado, os efeitos estocásticos não possuem um limiar definido e sua probabilidade de ocorrência aumenta com a dose, embora a gravidade não seja dose-dependente (OKUNO; YOSHIMURA, 2010). Esses efeitos incluem mutações genéticas e o desenvolvimento de neoplasias malignas, como leucemias e outros tipos de câncer (OKUNO; YOSHIMURA, 2010).

A sensibilidade dos tecidos à radiação varia conforme o tipo celular e a fase do ciclo celular (BUSHBERG *et al.*, 2012). Células que se dividem rapidamente, como as da medula

óssea, epitélio gastrointestinal e tecido germinativo, são mais suscetíveis aos efeitos da radiação (BUSHBERG *et al.*, 2012). A Figura 2 ilustra a radiosensibilidade relativa de células e tecidos (BUSHBERG *et al.*, 2012).

Figura 2: Ordem relativa de radiosensibilidade de células e tecidos



Fonte: Elaborado pela autora com auxílio do ChatGPT, com base em Hall e Giaccia (2019).

Essa característica é particularmente relevante em pacientes pediátricos, uma vez que as crianças apresentam maior proporção de células em divisão ativa, tornando-as mais vulneráveis aos efeitos nocivos da radiação ionizante (BUSHBERG *et al.*, 2012).

A compreensão dos efeitos biológicos da radiação ionizante é fundamental para a implementação de medidas de proteção radiológica eficazes. Essas medidas incluem o monitoramento das doses recebidas, a utilização de equipamentos de proteção individual e coletiva, além da educação contínua dos profissionais de saúde e do público em geral sobre os riscos associados à exposição à radiação. Dessa forma, é possível maximizar os benefícios proporcionados pelas aplicações médicas da radiação ionizante, minimizando seus potenciais efeitos adversos (TAUHATA *et al.*, 2013).

3.4. COMPARAÇÕES ENTRE RAIOS X E TC

A radiografia convencional (raios X) e a TC são modalidades amplamente utilizadas na prática médica para diagnóstico e avaliação de diversas condições clínicas. Embora ambas empreguem radiação ionizante, apresentam diferenças significativas em termos de técnica, qualidade de imagem, dose de radiação e aplicações clínicas (BUSHBERG *et al.*, 2012). A radiografia convencional utiliza uma única fonte de raios X que atravessa o corpo do paciente, registrando a imagem em um detector plano. Essa técnica resulta em imagens bidimensionais da anatomia tridimensional do paciente, onde as estruturas anatômicas podem se sobrepor, dificultando a identificação de detalhes específicos (BUSHBERG *et al.*, 2012).

Uma diferença importante entre a radiografia convencional e a TC está relacionada à dose de radiação associada a cada exame. As radiografias geralmente envolvem doses mais baixas de radiação, como observado, por exemplo, em uma incidência anteroposterior (AP) da região abdominal, cuja dose aproximada pode ser de 0,25 mGy (BRENNER; HALL, 2007). Por outro lado, a TC, devido à sua maior complexidade e à aquisição de múltiplas imagens, resulta em doses significativamente mais elevadas. Para a mesma região anatômica, a dose pode ser cerca de 50 vezes maior, atingindo aproximadamente 12,5 mGy (BRENNER; HALL, 2007). Essa diferença é particularmente relevante no atendimento pediátrico, uma vez que crianças são mais sensíveis aos efeitos da radiação ionizante e apresentam maior expectativa de vida, o que aumenta a probabilidade de manifestação de efeitos adversos em longo prazo, como o desenvolvimento de câncer (HALL; BRENNER, 2008).

As aplicações clínicas também diferem entre essas modalidades. A radiografia convencional é amplamente utilizada como ferramenta de triagem inicial, devido à sua rapidez, acessibilidade e menor custo. É eficaz para avaliar estruturas ósseas, pulmões e detectar fraturas ou infecções (HALL; BRENNER, 2008). Em casos que demandam maior detalhamento, como a investigação de tumores ou a avaliação de órgãos internos, a TC é preferida, oferecendo imagens tridimensionais de alta resolução. Essa capacidade a torna indispensável para o planejamento cirúrgico e a detecção de condições complexas (HALL; BRENNER, 2008).

Dada a maior dose de radiação associada à TC, é essencial justificar cuidadosamente sua indicação, especialmente em populações mais vulneráveis, como crianças. Princípios como justificação e otimização, recomendados pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), são fundamentais para garantir que os benefícios do exame superem os riscos potenciais. Além disso, estratégias de redução de dose, como o uso de protocolos pediátricos e

a modulação automática da corrente do tubo, devem ser aplicadas para minimizar a exposição desnecessária à radiação (ICRP, 2007).

Mediante a isso, as estratégias para mitigar os riscos associados à exposição à radiação ionizante em crianças incluem, além dos avanços tecnológicos, programas de conscientização e treinamento voltados aos profissionais de saúde. Iniciativas como o programa *Image Gently* têm desempenhado um papel fundamental na promoção de boas práticas em radiologia pediátrica, incentivando a educação continuada de radiologistas, tecnólogos e médicos solicitantes, bem como a implementação de protocolos específicos para a população pediátrica (STRAUSS *et al.*, 2010). Adicionalmente, a utilização de algoritmos de reconstrução iterativa e de sistemas automáticos de controle de dose tem contribuído significativamente para a redução da exposição à radiação, permitindo a obtenção de imagens de qualidade diagnóstica com menores níveis de dose. Nesse contexto, estudos recentes têm demonstrado que algoritmos de reconstrução de imagem baseados em aprendizado profundo (*deep learning*) apresentam potencial para aprimorar a qualidade das imagens e reduzir a dose de radiação em exames de TC pediátrica. Essa tecnologia possibilita a otimização dos protocolos de aquisição, mantendo a qualidade diagnóstica das imagens e contribuindo para uma prática mais segura aos pacientes pediátricos (ZHANG *et al.*, 2022). Outro aspecto relevante refere-se à comunicação eficaz com os responsáveis pelas crianças, possibilitando que pais e familiares compreendam os benefícios e os riscos dos exames de imagem e participem de maneira mais consciente e informada no processo de tomada de decisão.

A Tabela 1 apresenta uma comparação para as modalidades de raios X e TC abdominal, destacando as diferenças no tipo de imagem, dose efetiva e detalhamento anatômico. Essas informações são particularmente relevantes no contexto pediátrico, onde a sensibilidade à radiação e a necessidade de diagnósticos precisos devem ser cuidadosamente equilibradas.

Tabela 1– Comparação entre radiografia e TC abdominal em termos do tipo de imagem, dose efetiva aproximada e detalhamento anatômico

Aspecto	Radiografia abdominal	TC de abdome
Tipo de imagem	Imagem radiográfica bidimensional, com sobreposição das estruturas anatômicas	Imagens seccionais bidimensionais, com possibilidade de reconstruções multiplanares e tridimensionais
Dose efetiva aproximada	0,03–0,11 mSv	6,3±4,8 mSv (neonato) – 2,7±3,0 mSv (5 anos)
Detalhamento anatômico	Limitado pela sobreposição das estruturas e pelo menor contraste dos tecidos moles	Elevado detalhamento de órgãos, tecidos moles, vasos sanguíneos e ossos

Fonte: elaborada pela autora (2026), com base nos trabalhos de Ward *et al.* (2017) e Obara *et al.* (2017).

4. METODOLOGIA

Este trabalho é delineado como uma revisão bibliográfica de natureza exploratória e descritiva, com abordagem qualitativa e quantitativa, construída a partir da análise de trabalhos científicos relacionados às doses de radiação em exames de radiografia abdominal e TC abdominal realizados em pacientes pediátricos.

A seleção dos trabalhos referenciados foi realizada por meio de buscas nas plataformas Google Acadêmico e PubMed. Nessas bases, foram utilizadas palavras-chave em português e inglês, incluindo: *tomography in pediatric patients*, *X-ray in pediatric patients*, *effective dose in X-ray procedures*, *effective dose in computed tomography (CT)*, raio X pediátrico abdominal e TC abdominal em crianças. Foram considerados, na análise, tanto estudos experimentais realizados em ambientes hospitalares, com avaliação de exames e parâmetros de exposição de pacientes pediátricos, quanto estudos computacionais destinados à estimativa de dose, incluindo aqueles que empregaram simulações por Monte Carlo e softwares específicos de cálculo e estimativa de dose.

O critério para seleção e classificação dos artigos envolveu etapas de identificação, seguidas da aplicação de critérios de inclusão e exclusão previamente definidos para a pesquisa.

Os critérios de inclusão abrangeram:

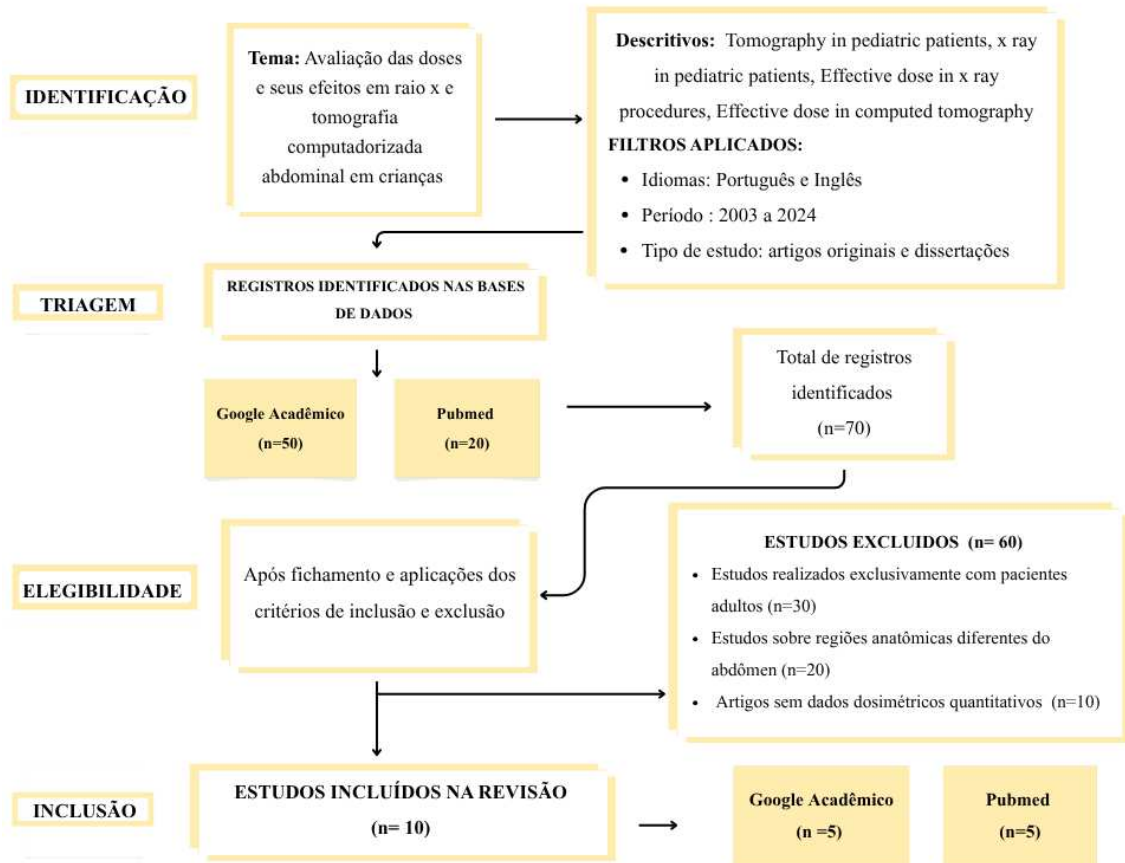
- Estudos que apresentassem dados específicos e separáveis para radiografia ou tomografia computadorizada da região abdominal;
- Estudos voltados à população pediátrica, compreendendo a faixa etária de recém-nascidos até 18 anos;
- Pesquisas que informassem valores nominais de dose efetiva;
- Estudos que utilizassem métodos validados de estimativa de dose, contemplando abordagens experimentais em ambientes hospitalares e métodos computacionais baseados em simulações de Monte Carlo ou software específicos para estimativa de dose.

Os critérios de exclusão consistiram em:

- Estudos que tratassem exclusivamente de pacientes adultos ou de outras regiões anatômicas;
- Artigos que não apresentassem dados quantificáveis referentes à exposição à radiação, especialmente aqueles que não informassem valores de dose efetiva.

Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, os estudos selecionados foram analisados quanto aos objetivos, à metodologia empregada, aos principais resultados e às conclusões apresentadas. O processo de identificação, seleção e inclusão dos estudos está apresentado na Figura 3, por meio de um fluxograma metodológico que sintetiza as etapas adotadas nesta revisão bibliográfica.

Figura 3: Fluxograma do processo de seleção dos artigos incluídos na revisão bibliográfica



Fonte: A autora (2026).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. COMPARAÇÃO DOS VALORES DE DOSES EFETIVAS

A análise comparativa das doses de radiação entre radiografias de abdômen e TC abdominais em pacientes pediátricos evidencia diferenças significativas, que influenciam diretamente a decisão clínica quanto ao método de imagem mais adequado. As radiografias abdominais, por utilizarem uma única exposição bidimensional, apresentam doses efetivas relativamente baixas. No entanto, a TC abdominal envolve múltiplas exposições rotacionais, o que resulta em doses mais elevadas em protocolos pediátricos (BRENNER; HALL, 2007). Essa diferença se deve às características intrínsecas das modalidades e à complexidade das imagens geradas (METTLER *et al.*, 2008).

Apesar da maior dose de radiação, a TC é frequentemente indicada quando há necessidade de avaliação anatômica detalhada, sobretudo em situações em que a radiografia simples não é capaz de identificar alterações sutis ou processos patológicos complexos. No contexto pediátrico, entretanto, essa escolha exige cautela, tendo em vista que os tecidos infantis apresentam maior radiosensibilidade e maior expectativa de vida futura, fatores que elevam o risco cumulativo de efeitos estocásticos, como o desenvolvimento de neoplasias radioinduzidas (PEARCE *et al.*, 2012).

Diante desse cenário, torna-se fundamental que a utilização da TC em pacientes pediátricos esteja associada à adoção de estratégias que priorizem a otimização dos protocolos de aquisição. Embora a TC seja de suma importância para fornecer informações diagnósticas detalhadas, o aumento da sua utilização nessa população tem despertado atenção devido à maior exposição à radiação ionizante e, conseqüentemente, ao risco estimado de efeitos adversos, como o câncer ao longo da vida. Assim, a aplicação de protocolos com parâmetros técnicos adequados e o controle rigoroso das doses de radiação nas crianças permitem reduzir a exposição sem comprometer a qualidade das imagens (MIGLIORETTI *et al.*, 2013).

Pesquisas que avaliam radiografias abdominais em crianças reforçam a ampla variabilidade das doses entre diferentes serviços. No estudo realizado por Ladia *et al.* (2016), foi avaliada a dose efetiva entregue em exames de radiografia abdominal em 80 crianças, divididas em quatro grupos etários, com idades entre 1 e 15 anos. A partir dos parâmetros do equipamento e da aplicação do método de Monte Carlo, foram determinadas as doses efetivas para cada grupo. O valor médio encontrado foi de 34,6 μ Sv, sem grande variação entre os grupos avaliados. O estudo também estimou o risco de incidência de câncer, que variou entre os grupos etários (LADIA *et al.*, 2016). O risco de morte por câncer induzido por radiação foi

ligeiramente maior no grupo de 1 ano de idade em comparação com crianças mais velhas, devido às características anatômicas e sensibilidade dos tecidos nessa fase.

Kiljunen *et al.* (2009) avaliaram a exposição de crianças submetidas a diferentes exames radiológicos em 24 hospitais finlandeses, totalizando 1.916 exames, dos quais 96 corresponderam a radiografias de abdômen. Com o auxílio do método de Monte Carlo, os autores estimaram as doses efetivas associadas a esses exames, observando ampla variação entre os valores encontrados. Para as radiografias abdominais, as doses efetivas médias variaram entre 25 μSv e 483 μSv . A média aritmética das doses efetivas (média entre os grupos etários e projeções) foi 116,4 μSv .

Essa variação esteve relacionada, entre outros fatores, à técnica de aquisição utilizada. Por exemplo, a incidência anteroposterior apresentou doses menores quando comparada à projeção lateral. O estudo também apresentou dados de dose absorvida em diferentes órgãos, como tireoide, fígado e rins, entre outros. Também, foi verificado que em exames abdominais de meninas, a dose nos ovários pode contribuir com 25% a 40% da dose efetiva total, reforçando a importância da blindagem quando possível. Os resultados, portanto, evidenciaram grande variabilidade entre os protocolos adotados pelos hospitais, reforçando a necessidade de padronização dos procedimentos radiológicos, de modo a atender ao princípio ALARA, especialmente em pacientes pediátricos, que constituem um grupo mais radiosensível e potencialmente mais vulnerável aos efeitos da radiação ionizante.

No estudo de Nahangi e Chaparian (2015), foi realizada uma análise dos valores de dose efetiva e do risco de desenvolvimento de câncer ao longo da vida em pacientes com idades desde recém-nascidos até 30 anos, submetidos a diferentes exames de radiografia abdominal. Considerando a faixa etária de 0 a 15 anos, observou-se uma variação significativa nos valores de dose efetiva, desde 64 μSv em recém-nascidos até 334 μSv em pacientes de 15 anos. A média aritmética das doses efetivas (média entre os grupos etários) foi de 188 μSv . O estudo também destacou a preocupação com órgãos mais radiosensíveis durante exames de raios X, uma vez que a exposição dessas estruturas pode contribuir para o aumento do risco de câncer ao longo da vida. Essa variação nas doses está associada aos diferentes parâmetros técnicos utilizados em cada faixa etária, bem como às diferenças de tamanho corporal e peso dos pacientes, fatores que influenciam diretamente a distribuição e a deposição da dose.

No estudo de Shatskiy e Golikov (2015), foram avaliadas radiografias anteroposteriores de abdômen em pacientes pediátricos com idades entre 0 e 18 anos. A dose efetiva foi estimada utilizando o software "EDEREX", baseado em modelos matemáticos de fantasmas pediátricos. A média aritmética dos valores de dose efetiva (média entre os grupos etários) foi de 250 μSv .

Também foi observada uma ampla variação nos valores de dose entre as diferentes faixas etárias. A dose efetiva média foi de 100 μSv para recém-nascidos e de 550 μSv para pacientes com idade entre 13 e 18 anos. Segundo os autores, a grande variação nas doses indica que parâmetros como kVp, mAs, filtração e uso de grades anti-espalhamento não estão padronizados para pacientes pediátricos.

O estudo de Earl *et al.* (2023), apresenta um estudo realizado no Royal Children's Hospital (RCH), em Melbourne, Austrália, com o objetivo de estimar as doses efetivas típicas e os riscos de radiação associados aos 20 exames de radiografia geral pediátrica mais comuns. Os pesquisadores utilizaram o software de simulação Monte Carlo (PCXMC) e protocolos de imagem baseados no peso do paciente para calcular as doses efetivas de crianças entre 0 e 18 anos. Os valores de doses efetivas relatados foram 10 μSv (3-7 kg) e 286 μSv para pacientes com mais de 60 kg. Os dados foram coletados apenas para exames realizados na projeção anteroposterior, sendo observada a média aritmética dos valores de doses efetivas (média entre as faixas de pesos) 107,8 μSv . Além disso, os autores discutiram a importância do princípio da justificção, especialmente em pacientes que necessitam de acompanhamento contínuo e, consequentemente, de exames radiológicos frequentes. Nesses casos, o risco cumulativo de câncer induzido por radiação deve ser considerado, sobretudo porque crianças são mais radiosensíveis do que adultos.

No contexto da TC, estudos apontam valores de dose efetiva que variam amplamente em função dos protocolos aplicados. No trabalho de Sutil *et al.* (2022), foram avaliadas as doses efetivas em pacientes pediátricos submetidos a exames de TC abdominal, através de uma análise retrospectiva de dados extraídos de cabeçalhos DICOM, e o software Virtual Dose[®]. A pesquisa abrangeu pacientes com idades entre 0 e 18 anos, no período de setembro a dezembro de 2020. Os resultados demonstraram variação significativa das doses efetivas entre as diferentes faixas etárias avaliadas. O grupo de pacientes entre 7 e 10 anos recebeu a maior dose efetiva média, correspondente a 5,09 mSv, seguido pelo grupo de 11 a 14 anos, com média de 4,58 mSv. Por fim, a faixa etária de 0 a 6 anos apresentou a menor dose efetiva média, com valor de 3,14 mSv (SUTIL *et al.*, 2022). O valor médio encontrado para as TCs abdominais foi de 4,35 mSv.

Dessa forma, os autores concluíram que as doses de radiação recebidas pelos pacientes durante os exames de TC abdominal apresentaram valores compatíveis com os descritos na literatura. No entanto, destacaram a necessidade de estudos complementares voltados à otimização das doses em pacientes pediátricos expostos a esse tipo de exame. Além disso, evidenciam que a dose efetiva em exames de TC abdominal pediátrica não depende

exclusivamente da idade do paciente. Outros fatores, como parâmetros técnicos, comprimento da região examinada e o biotipo influenciam a exposição à radiação. Logo, esses aspectos reforçam a importância da individualidade dos protocolos de TC em pacientes pediátricos, evitando a utilização de parâmetros padronizados para diferentes idades e características corporais (SUTIL *et al.*, 2022).

A Tabela 2 apresenta a variação das doses efetivas de acordo com as respectivas faixas etárias obtidas no trabalho de Sutil *et al.* (2022).

Tabela 2: Doses Efetivas Médias por Faixa Etária [SUTIL *et al.*,2022]

Idade (anos)	E (mSv)
0 - 6	2,75 – 4,89
7 - 10	3,45 – 12,38
11 - 14	2,21 – 13,44

Fonte: A autora (2026) com base no artigo de SUTIL *et al.* (2022)

No trabalho de Faversoni (2021) utilizou o software CALDose_XCT para estimar a dose absorvida pelos órgãos e a dose efetiva com base no tamanho específico de cada paciente. Foram avaliados exames de TC de abdômen realizados em crianças de 5 a 9 anos de idade, com massa corporal entre 17 kg e 48 kg, altura entre 110 cm e 150 cm e diâmetro efetivo variando de 17 cm a 28 cm.

Os valores de doses efetivas foram obtidos por meio de simulações de Monte Carlo, utilizando o software CALDose_XCT. Os resultados foram organizados em grupos de acordo com a massa corporal dos pacientes pediátricos, conforme apresentado na Tabela 3. Para os pacientes com peso entre 15 e 30 kg, a dose efetiva foi de 4,884 mSv, enquanto, para aqueles com peso entre 30 e 50 kg, o valor foi de 2,826 mSv.

Os valores encontrados foram inferiores ou compatíveis com os valores de referência utilizados no estudo. Entretanto, esses níveis não representam limites de segurança, devendo ser empregados como ferramentas para avaliação e otimização dos protocolos.

Tabela 3: Valores de dose efetiva (E) em tomografia computadorizada abdominal pediátrica [Faversani (2021)]

Peso (kg)	E (mSv)
$15 \leq \text{massa} < 30 \text{ kg}$	4,884
$30 \leq \text{massa} < 50 \text{ kg}$	2,826

Fonte: Elaborada pela autora (2026) baseado no trabalho de Faversani (2021).

O estudo de Pages *et al.* (2003), foi realizado em quatro centros hospitalares na Bélgica (três pediátricos e um não pediátrico) com o objetivo de avaliar os protocolos de TC em pacientes infantis. Foram avaliados exames comuns de crânio, tórax e abdome. A avaliação abrangeu três faixas etárias: 1, 5 e 10 anos. Os resultados indicaram ampla variação nos valores de dose efetiva, que variaram de 2,3 mSv a 19,9 mSv. Com o intuito de organizar e esclarecer os valores apresentados no estudo, foi elaborada a Tabela 4, demonstrando a variação da dose efetiva de acordo com as respectivas idades. O estudo identificou que alguns centros mantinham o mesmo, mAs para todos os tamanhos de pacientes e diminuía o fator de "*pitch*" para crianças menores, o que resultava em doses desnecessariamente altas. O *pitch* é definido como a razão entre o deslocamento da mesa por uma rotação completa (360) do *gantry* e a largura total do feixe colimado (BUSHBERG *et al.*, 2012). Como o *pitch* e a dose apresentam uma relação inversamente proporcional, a redução desse parâmetro aumenta a sobreposição das imagens e, conseqüentemente eleva a dose de radiação recebida pelo paciente. Assim, reduzir o *pitch* pela metade pode resultar, aproximadamente, na duplicação da dose de radiação (BUSHBERG *et al.*, 2012). e a dose são inversamente relacionados, reduzir o *pitch* pela metade dobra a dose de radiação

Dessa forma, o trabalho reforça a importância da otimização dos protocolos e do uso de diretrizes específicas para reduzir os riscos associados à exposição à radiação ionizante e assegurar maior proteção aos pacientes pediátricos.

Tabela 4: Valores de dose efetiva em tomografia computadorizada abdominal pediátrica [Pages *et al.*, 2003]

Idade (anos)	E (mSv)
1	2,33 - 15,5
5	4,32 - 17,1
10	5,06 - 19,9

Fonte: A autora (2026) com base no artigo de Pages *et al.* (2003)

Com base no estudo de Aloufi *et al.* (2024), que analisou doses de radiação em 600 pacientes pediátricos submetidos a exames de TC em Medina, na Arábia Saudita. A dose efetiva foi calculada multiplicando o produto dose-comprimento (DLP) por fatores de conversão específicos por idade. Verificou-se que os exames de TC abdominal apresentaram as maiores doses efetivas entre os procedimentos avaliados. Esse resultado evidencia a necessidade de monitoramento contínuo e otimização dos protocolos utilizados em exames pediátricos.

Os dados para este estudo retrospectivo, que envolveu 600 pacientes pediátricos, foram obtidos diretamente do Sistema de Arquivamento e Comunicação de Imagens (PACS). O sistema permitiu a coleta de 30 casos pediátricos para cada um dos cinco procedimentos de TC (cabeça, tórax, abdômen, abdômen-pélvico e tórax-abdômen-pélvico) em quatro categorias de idade diferentes. Para garantir a integridade dos dados, foram excluídos procedimentos com informações incompletas. A categorização dos dados foi realizada de acordo com o tipo de procedimento de TC e a faixa etária dos pacientes pediátricos, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5: Valores de dose efetiva em tomografia computadorizada abdominal pediátrica [Aloufi *et al.*,2024]

Idade (anos)	E (mSv)
<1	1,67 – 17,8
1 a 5	2,37 – 8,4
5 a 10	2,08 – 6,1
10 a 15	1,55 – 4,98

Fonte: A autora (2026) com base no artigo de Aloufi *et al.* (2024)

O estudo destaca que a maior dose efetiva média (6,3 mSv) foi encontrada justamente no grupo de crianças com menos de um ano, o que indica a necessidade de otimização dos protocolos para essa faixa etária específica, dada a sua maior radiosensibilidade.

Em Huda *et al.* (2007), foram analisadas as doses de radiação em exames de TC realizados em pacientes pediátricos e adultos, considerando a influência da massa corporal sobre as estimativas de dose efetiva. O estudo utilizou modelos matemáticos, representados por cilindros equivalentes de água, e simulações de Monte Carlo para estimar a deposição de energia nos órgãos durante exames de abdômen.

Além disso, foram considerados diferentes tamanhos corporais e faixas etárias, desde recém-nascidos até crianças maiores. A análise demonstrou que a dose efetiva em exames

abdominais foi aproximadamente 3 mSv para recém-nascidos, enquanto, para crianças com massa corporal de 10 kg, a dose estimada foi aproximadamente 2 mSv.

Por fim, a pesquisa destacou a importância da otimização dos protocolos de TC para reduzir a exposição à radiação, especialmente em pacientes pediátricos, bem como a necessidade de aplicação do princípio ALARA em conjunto com boas práticas de radioproteção. A Tabela 6 sintetiza os valores de dose efetiva para pacientes pediátricos trazidos no trabalho de Huda *et al.* (2007).

Tabela 6: Valores de dose efetiva (E) em tomografia computadorizada abdominal pediátrica [Huda *et al.*, 2007]

Idade/peso (kg)	E (mSv)
Recém-nascidos/3,5	Aproximadamente 3,0
Criança/10	Aproximadamente 2,0

Fonte: A autora (2026) com base no artigo de Huda *et al.* (2007).

O estudo de Huda *et al.* (2007) enfatiza que, seguindo o princípio ALARA e ajustando os protocolos ao tamanho do paciente, foi possível reduzir drasticamente a dose efetiva em crianças de 10 kg, que anteriormente era reportada como sendo de 7 mSv, para os atuais 2 mSv.

A análise conjunta dos estudos revisados demonstra que não há padronização dos procedimentos ao redor do mundo, tanto em radiografia abdominal quanto, em TC. Existe ampla variabilidade de dose na pediatria, fortemente influenciada por fatores como parâmetros técnicos, espessura corporal, número de incidências e adequação do protocolo ao biotipo do paciente. Essa heterogeneidade é observada em diferentes países, instituições e equipamentos, o que reforça a heterogeneidade entre os serviços avaliados. Diversos autores como Shatskiy e Golikov (2015) e Kiljunen (2009) relatam que essa falta de padronização nos quesitos de entrega de dose é preocupante pois como é conhecido pela literatura, quanto maior a dose recebida maior a probabilidade de um possível efeito como câncer radioinduzido a longo prazo. Essa variabilidade pode representar diferenças no detrimento radiológico potencial associado aos procedimentos, embora a dose efetiva não constitua uma estimativa individual de risco. Analisando cada artigo foi construída a Tabela 7 com o intuito de apresentar os valores de doses efetivas reportados nos artigos selecionados para fazer este trabalho de revisão.

Tabela 7: Valores de doses efetivas (E) de raios X e tomografia computadorizada abdominais.

Autor	Valores de E raios X abdominal	Autor	Valores de E TC abdominal
LADIA <i>et al.</i> (2016)	Valor médio 34,6 μ Sv	PAGES <i>et al.</i> (2003)	Média entre os grupos etários 11,42 mSv
KILJUNEN <i>et al.</i> (2009)	Média entre os grupos etários e projeções 116,4 μ Sv	FAVERSANI (2021)	Média entre as faixas de pesos 3,885 mSv
NAHANGI <i>et al.</i> (2015)	Média entre os grupos etários 188 μ Sv	SUTIL <i>et al.</i> (2022)	Valor médio 4,35 mSv
SHATSKIY <i>et al.</i> (2015)	Média entre os grupos etários 250 μ Sv	ALOUFI <i>et al.</i> (2024)	Média entre os grupos etários 4,33 mSv
EARL <i>et al.</i> (2023)	Média entre as faixas de pesos 107,8 μ Sv	HUDA <i>et al.</i> (2007)	Média entre a faixa etária e o peso 2,5 mSv

Fonte: A autora (2026) baseado nos artigos listados na tabela.

De acordo com a Tabela 7, verifica-se uma variação significativa entre os estudos analisados, com valores médios das doses no intervalo de 34,6 μ Sv a 250 μ Sv referentes a radiografia. Essa amplitude pode ser atribuída a diferenças nos protocolos técnicos, nos tipos de equipamentos utilizados, na faixa etária dos pacientes e nas práticas adotadas em cada instituição. Estudos como o de Ladia *et al.* (2016) apresentam valores mais baixos, possivelmente associados à aplicação de protocolos pediátricos otimizados. Em contrapartida, valores mais elevados, como os observados por Shatskiy *et al.* (2015), podem indicar menor padronização dos procedimentos e o uso de parâmetros técnicos mais altos. Esses achados reforçam a importância da adesão ao princípio ALARA, a fim de assegurar que as exposições à radiação ionizante sejam mantidas *tão baixas quanto razoavelmente exequível*, sem comprometer a qualidade diagnóstica.

Em relação à dose efetiva associada à TC abdominal, observa-se ampla variação entre os valores apresentados na Tabela 7, com valores médios variando de 2,5 mSv a 11,42 mSv. O maior valor foi reportado por Pages *et al.* (2003), com cerca de 11,42 mSv, sendo significativamente superior aos demais resultados encontrados na literatura. Em contrapartida, os menores valores foram observados nos estudos de Huda *et al.* (2007) e Faversani *et al.* (2021). Já os estudos de Sutil *et al.* (2022) e Aloufi *et al.* (2024) apresentaram resultados intermediários.

Essa comparação evidencia uma ampla variação das doses efetivas médias entre os estudos, com diferença superior a quatro vezes entre o maior e o menor valor observado. Tal discrepância pode estar relacionada aos protocolos de aquisição de imagem, às características dos equipamentos utilizados, à faixa etária dos pacientes e às estratégias de otimização da dose de radiação adotadas em cada instituição.

Embora alguns estudos recentes tenham relatado valores de dose inferiores aos observados em trabalhos mais antigos, as diferenças entre as populações avaliadas, os protocolos de aquisição, os equipamentos utilizados e os métodos dosimétricos empregados dificultam a identificação de uma tendência temporal consistente de redução das doses. Faversani (2021) destaca a importância da adoção de tecnologias de otimização, como os algoritmos de reconstrução iterativa e os protocolos ajustados ao biotipo do paciente pediátrico.

De modo geral, os estudos analisados demonstram que a radiografia convencional continua sendo a modalidade de menor exposição à radiação para avaliação abdominal pediátrica. Entretanto, quando há necessidade de maior detalhamento anatômico, a TC permanece indispensável, desde que sua indicação seja devidamente justificada e os protocolos otimizados. Nesse contexto, observa-se uma tendência de redução de doses de radiação nos estudos mais recentes, atribuída à incorporação de avanços tecnológicos, como reconstruções iterativas, algoritmos baseados em aprendizado profundo (*deep learning*) e protocolos específicos para crianças. Os estudos analisados demonstram que a proteção radiológica não depende apenas da tecnologia, mas também da capacitação da equipe, da padronização dos protocolos e do monitoramento contínuo das doses, garantindo o equilíbrio entre segurança do paciente e qualidade diagnóstica.

5.2. IMPACTOS NA SAÚDE INFANTIL

A exposição de crianças à radiação ionizante constitui uma preocupação relevante nas práticas médicas diagnósticas e terapêuticas. Essa preocupação decorre da maior

radiossensibilidade dos tecidos pediátricos, da intensa atividade de divisão celular durante o crescimento e do maior tempo de vida após a exposição, fatores que ampliam a possibilidade de manifestação de efeitos tardios. Em comparação aos adultos, crianças podem apresentar risco de duas a três vezes maior de desenvolver determinados tipos de câncer induzidos pela radiação, dependendo da idade, do sexo, do órgão irradiado e da dose recebida (BRENNER; HALL, 2007).

Estudos epidemiológicos indicam uma associação entre a exposição pediátrica à radiação proveniente de exames de TC e o aumento do risco de leucemia e tumores cerebrais. Em um estudo de coorte retrospectivo, Pearce *et al.* (2012) observaram que crianças submetidas a doses cumulativas mais elevadas decorrentes de exames de TC apresentaram risco de até três vezes maior para essas neoplasias, conforme a dose absorvida pelos órgãos. Embora o risco absoluto permaneça relativamente baixo, esses resultados reforçam a necessidade de justificar cada procedimento e otimizar os protocolos de aquisição, evitando exposições desnecessárias e repetições de exames.

Os possíveis efeitos da radiação também dependem dos órgãos e tecidos incluídos no campo irradiado. Em exposições cranianas de alta dose, como as utilizadas na radioterapia de tumores cerebrais, podem ocorrer alterações no desenvolvimento neuropsicológico e déficits cognitivos, especialmente em crianças mais jovens (MERCHANT *et al.*, 2009). Da mesma forma, exposições terapêuticas envolvendo o tórax podem aumentar o risco de efeitos tardios cardíacos e pulmonares, como disfunções cardíacas e pneumonite, dependendo da dose, do volume irradiado e do fracionamento.

É importante destacar, entretanto, que déficits cognitivos e complicações cardíacas ou pulmonares são descritos principalmente após exposições terapêuticas de alta dose e não correspondem aos efeitos normalmente esperados de um exame diagnóstico isolado. Nas exposições diagnósticas, a principal preocupação está relacionada aos efeitos estocásticos, sobretudo ao pequeno aumento potencial do risco de câncer ao longo da vida. Dessa forma, a utilização de radiação ionizante em pediatria deve seguir rigorosamente os princípios de justificação e otimização, com protocolos adaptados à idade, às dimensões corporais e à indicação clínica de cada paciente.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A exposição de crianças à radiação ionizante, especialmente em exames de diagnóstico por imagem, representa um dos principais desafios da radiologia pediátrica. Neste estudo, foram analisados valores de dose efetiva associados a exames abdominais de radiografia convencional e TC. Nos exames de radiografia abdominal pediátrica, a literatura relata dose efetiva média de 34,6 μ Sv. Em comparação, para a TC abdominal em pacientes pediátricos, um estudo brasileiro identificou dose efetiva média de 4,35 mSv. Esses resultados evidenciam diferenças expressivas entre as modalidades, demonstrando que, embora a TC seja indispensável em diversas situações clínicas, ela está associada a níveis de exposição significativamente superiores aos da radiografia convencional. Dessa forma, torna-se essencial a aplicação rigorosa dos princípios de justificação e otimização em exames pediátricos.

A ampla variação dos valores de dose observada entre os estudos analisados também evidencia a heterogeneidade dos protocolos utilizados em diferentes instituições e países. Essa discrepância pode estar relacionada a fatores como características dos equipamentos, parâmetros técnicos de aquisição, faixa etária dos pacientes, métodos de estimativa de dose e grau de implementação de estratégias de otimização. Assim, os achados reforçam a necessidade de maior padronização dos protocolos de radiologia pediátrica, de modo a reduzir exposições desnecessárias e garantir maior segurança aos pacientes.

Além da tecnologia, a personalização dos protocolos radiológicos para a população pediátrica mostrou-se indispensável. Protocolos ajustados à idade, ao peso e ao tamanho corporal da criança permitem a realização de exames com parâmetros mais adequados às características individuais do paciente, evitando exposições excessivas. A adoção de protocolos pediátricos específicos, conforme enfatizado por Strauss *et al.* (2010), constitui uma prática essencial para promover maior consistência, segurança e qualidade nos procedimentos radiológicos.

Outro ponto relevante discutido neste estudo refere-se aos possíveis impactos da radiação ionizante na saúde infantil. Crianças apresentam maior radiosensibilidade em comparação aos adultos, em razão da maior taxa de proliferação celular e da maior expectativa de vida, o que amplia o período para manifestação de possíveis efeitos estocásticos. Estudos como o de Pearce *et al.* (2012) indicam associação entre exposições acumuladas em exames de TC e aumento do risco de desenvolvimento de câncer, incluindo leucemia e tumores cerebrais. Esses achados reforçam a necessidade de vigilância contínua, especialmente em exames recorrentes ou que envolvam regiões anatômicas sensíveis.

Nesse cenário, o monitoramento contínuo das práticas radiológicas torna-se fundamental. A utilização de sistemas de registro de dose, a realização de auditorias periódicas e a comparação com níveis de referência diagnóstica permitem identificar variações, corrigir inadequações e aprimorar estratégias de otimização. Tais medidas contribuem para uma prática radiológica mais segura, fundamentada em evidências e alinhada às recomendações nacionais e internacionais de proteção radiológica.

Como limitação desta revisão, destaca-se a reduzida quantidade de estudos específicos sobre radiografia abdominal pediátrica, bem como a heterogeneidade metodológica entre os trabalhos analisados. Diferenças nas faixas etárias avaliadas, nos parâmetros técnicos empregados, nos equipamentos utilizados e nos métodos de estimativa de dose dificultam a comparação direta dos resultados. Essas limitações evidenciam a necessidade de novos estudos, com metodologias mais padronizadas, que permitam avaliar de forma mais precisa as doses envolvidas nos exames de imagem pediátricos.

Em síntese, a radiologia pediátrica exige um compromisso contínuo com a segurança do paciente, a qualidade diagnóstica e a atualização das práticas clínicas. Este estudo demonstrou que é possível equilibrar os benefícios dos exames de imagem com a proteção radiológica por meio da aplicação dos princípios de justificação e otimização, da adoção de protocolos individualizados, do uso de tecnologias modernas e da capacitação constante dos profissionais envolvidos. A implementação dessas estratégias contribui significativamente para a redução dos riscos associados à exposição à radiação ionizante em crianças, promovendo uma prática radiológica mais segura, eficiente e adequada às particularidades da população pediátrica.

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL:

A autora declara ter utilizado o ChatGPT, ferramenta de inteligência artificial generativa desenvolvida pela OpenAI, como recurso auxiliar para revisão linguística, aprimoramento da redação, organização textual e criação de figuras. Todo o conteúdo textual e visual produzido ou modificado com auxílio da ferramenta foi revisado e validado pela autora, que assume integral responsabilidade pelas informações, imagens e demais elementos apresentados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALOUFI, Khalid M. et al. Assessing effective doses and proposing DRLs for pediatric CT procedures in Madinah (single hospital), Saudi Arabia. *Applied Sciences*, v. 14, n. 17, art. 7583, 2024. DOI: 10.3390/app14177583. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/17/7583>. Acesso em: 8 abril 2026.

BOONE, J. M.; GERAGHTY, E. M.; SEIBERT, J. A.; WOOTTON-GORGES, S. L. **Dose reduction in pediatric CT: a rational approach.** *Radiology*, v. 228, n. 2, p. 352–360, 2003. DOI: 10.1148/radiol.2282020471.

BRADY, Z.; RAMANAUSKAS, F.; CAIN T.M.; JOHNSTON, P.N. Assessment of paediatric CT dose indicators for the purpose of optimisation. *Br J Radiol.* 2012 Nov;85(1019):1488-98. doi: 10.1259/bjr/28015185. Epub 2012 Jul 27. PMID: 22844033; PMCID: PMC3500792.

BRENNER, D. J.; HALL, E. J. Computed tomography—an increasing source of radiation exposure. *New England Journal of Medicine*, v. 357, n. 22, p. 2277-2284, 2007. DOI: 10.1056/NEJMr07249.

BUSHBERG, Jerrold T.; SEIBERT, J. Anthony; LEIDHOLDT JR., Edwin M.; BOONE, John M. *The essential physics of medical imaging*. 3. ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2012. 1048 p. ISBN 978-0-7817-8057-5.

COOK, J. V. Radiation protection and quality assurance in paediatric radiology. *Imaging*, v. 13, n. 4, p. 229-238, 2001.

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear. CNEN NN 3.01, de 28 de março de 2024. Requisitos básicos de radioproteção e segurança radiológica de fontes de radiação. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/acesso-rapido/normas/grupo-3/NormaCNENNN3.01.pdf>. Acesso em: 16 abril 2026.

EARL, V.J. et al. Effective doses for common paediatric diagnostic general radiography examinations at a major Australian paediatric hospital and the communication of associated radiation risks. *J Med Radiat Sci*. P. 30-39, 2023.

FAVERSANI, Gislene Gabrielle. **Avaliação da dose em exames de tomografia computadorizada pediátrica por tamanho específico do paciente.** 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

HALL, E. J.; BRENNER, D. J. Cancer risks from diagnostic radiology. *The British Journal of Radiology*, v. 81, n. 965, p. 362-378, 2008.

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

HUDA, W.; VANCE, A. Patient radiation doses from adult and pediatric CT. *American Journal of Roentgenology*, v. 188, n. 2, p. 540–546, 2007. DOI: 10.2214/AJR.06.0101.

ICRP, 2007. **The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection**. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).

KILJUNEN, T. *et al.* Organ doses and effective doses in pediatric radiography: Patient-dose survey in Finland. *Acta Radiologica*, p.114–124, 2009.

KHONG, P.-L. *et al.* **ICRP Publication 121: Radiological protection in paediatric diagnostic and interventional radiology**. *Annals of the ICRP*, v. 42, n. 2, p. 1–63, 2013. DOI: 10.1016/j.icrp.2012.10.001.

LADIA, A.P. *et al.* Radiation Dose and Image Quality Evaluation in Pediatrics Radiography. *International Journal of New Technology and Research*. v.2, p 9-14, 2016.

MERCHANT, T. E.; CONKLIN, H. M.; WU, S.; LUSTIG, R. H.; XIONG, X. Late effects of conformal radiation therapy for pediatric patients with low-grade glioma: prospective evaluation of cognitive, endocrine, and hearing deficits. *Journal of Clinical Oncology*, v. 27, n. 22, p. 3691-3697, 2009.

METTLER, F. A.; HUDA, W.; YOSHIZUMI, T. T.; MAHESH, M. Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog. *Radiology*, v. 248, n. 1, p. 254-263, 2008.

MIGLIORETTI, Diana L. *et al.* O uso da tomografia computadorizada em pediatria e a exposição à radiação associada e o risco estimado de câncer. *JAMA Pediatrics*, v. 167, n. 8, 2013.

MOURÃO, Arnaldo Prata. **Tomografia computadorizada: tecnologias e aplicações**. Difusão Editora, 2018.

NAHANGI, H. CHAPARIAN, A. Assessment of radiation risk to pediatric patients undergoing conventional X-ray examinations. *Radioprotection*, vol. 50, pp. 19-25, 2015.

OBARA, H.; TAKAHASHI, M.; KUDOU, K.; MARIYA, Y.; TAKAI, Y.; KASHIWAKURA, I. Estimation of effective doses in pediatric X-ray computed tomography examination. *Exp Ther Med*. 2017 Nov;14(5):4515-4520. doi: 10.3892/etm.2017.5102. Epub 2017 Sep 5. PMID: 29104659; PMCID: PMC5658718.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. M. **Física das Radiações Ionizantes**. [S.l.]: São Paulo Oficina De Textos, 2010.

OPENAI. ChatGPT. [Sistema de inteligência artificial generativa]. San Francisco: OpenAI, 2026. Disponível em: ChatGPT. Acesso em: 23 mai. 2026.

PAGES, Jessica; BULS, Nico; OSTEAX, Michel. CT doses in children: a multicentre study. *The British Journal of Radiology*, v. 76, n. 911, p. 803-811, 2003.

PEARCE, M. S.; SALOTTI, J. A.; LITTLE, M. P.; et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukemia and brain tumors: a retrospective cohort study. *The Lancet*, v. 380, n. 9840, p. 499-505, 2012.

SHATSKIY, I., & GOLIKOV, V. Paediatric doses in St Petersburg hospitals. *Radiation Protection Dosimetry*, 165(1-4), 199–204, 2015.

SOCIETY FOR PEDIATRIC RADIOLOGY (SPR). *Image Gently Campaign*. Disponível em: <https://www.imagegently.org>. Acesso em: 21 nov. 2025.

STRAUSS, K. J.; GOSKE, M. J.; KASTE, S. C.; et al. Image Gently: ten steps you can take to optimize image quality and lower CT dose for pediatric patients. *AJR American Journal of Roentgenology*, v. 194, n. 4, p. 868-873, 2010.

SUTIL, Maria Rita et al. Estimativa de dose em tomografia computadorizada pediátrica utilizando o software Virtual Dose[®]. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 5, p. e8611527800-e8611527800, 2022.

TAUHATA, L.; SALATI, P. A.; PRINZIO, R.; PRINZIO, A. R. **Radioproteção e dosimetria: fundamentos**. 10. ed. [S.l.]: CNEN, 2013.

VALENTE, Marcelo; OLIVEIRA, Luiz Antonio Nunes de; CARNEIRO-SAMPAIO, Magda. Radiologia pediátrica: quando o diagnóstico deve ser "amigo" da criança. *Radiologia Brasileira*, v. 45, p. V-V, 2012.

WARD, R.; CARROLL, W. D.; CUNNINGHAM, P. et al. Radiation dose from common radiological investigations and cumulative exposure in children with cystic fibrosis: an observational study from a single UK centre. *BMJ Open*, v. 7, n. 8, e017548, 2017. DOI: 10.1136/bmjopen-2017-017548.

ZHANG, Kun *et al.* Deep learning image reconstruction in pediatric abdominal and chest computed tomography: A comparison of image quality and radiation dose. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, v. 12, n. 6, p. 3238, 2022.

DECLARAÇÃO DE AUTORIA

Eu, Jéssica Cristina Hatayama da Silva, matrícula nº 11911FMD041, declaro, para os devidos fins, que o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Revisão da literatura sobre a avaliação das doses e seus efeitos em exames de raios X e tomografia computadorizada abdominal em crianças” é resultado de meu próprio trabalho acadêmico. Declaro que todas as ideias, informações, textos, imagens, dados, códigos e demais materiais provenientes de outras fontes foram devidamente identificados e referenciados, não tendo sido praticado plágio total ou parcial, falsificação de dados ou qualquer outra forma de apropriação indevida de autoria.

Quanto ao uso de ferramentas de Inteligência Artificial Generativa, assinalo:

☐ **Não utilizei** ferramentas de Inteligência Artificial Generativa na elaboração deste trabalho.

X Utilizei a(s) seguinte(s) ferramenta(s): o ChatGPT, ferramenta de inteligência artificial generativa desenvolvida pela OpenAI, exclusivamente como recurso auxiliar para revisão linguística, aprimoramento da redação, organização textual e criação de figuras.

Declaro que o conteúdo produzido ou revisado com auxílio de Inteligência Artificial foi analisado, verificado e, quando necessário, corrigido por mim. A ferramenta não foi considerada autora ou fonte científica, e não foi utilizada para substituir minha responsabilidade intelectual, interpretar resultados sem revisão ou produzir referências não verificadas.

Assumo integral responsabilidade pela autoria, originalidade, exatidão, integridade científica e conteúdo final do trabalho.

Uberlândia, 23 de setembro de 2026.

Jéssica Cristina Hatayama da Silva



Documento assinado digitalmente
JESSICA CRISTINA HATAYAMA DA SILVA
Data: 23/09/2026 13:13:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>