

MATHEUS ALVAREZ

**VALIDAÇÃO DE NÍVEIS DE REFERÊNCIA DE DIAGNÓSTICO LOCAIS
(LDRLS) E DETERMINAÇÃO DE DOSE EFETIVA EM PROCEDIMENTOS
HEMODINÂMICOS**

Relatório de Pós-doutorado realizado na
Unversidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Medicina de Botucatu,
Departamento de Infectologia,
Dermatologia, Diagnóstico por Imagem e
Radioterapia

Supervisora: Prof. Tit Diana Rodrigues de
Pina

Botucatu

2023

Resumo

Este estudo teve como objetivo validar os Níveis de Referência de Diagnóstico Locais (LDRLs) e estabelecer Valores Típicos (TVs) ajustados por variáveis clínicas e antropométricas em procedimentos hemodinâmicos, além de estimar a dose efetiva (E) utilizando simulações com o software PCXMC 2.0. Foram analisados 2.200 exames intervencionistas retrospectivos (angiografias e angioplastias vasculares e coronarianas), realizados em um hospital universitário de grande porte entre 2022 e 2024. Os dados clínicos e dosimétricos foram extraídos de relatórios dos equipamentos de fluoroscopia, com apoio de um sistema semiautomático baseado em reconhecimento óptico de caracteres (OCR).

Os TVs e LDRLs foram calculados para o kerma no ponto de referência ($K_{a,r}$) e tempo de fluoroscopia, estratificados por tipo de procedimento, índice de massa corporal (IMC) e sexo. Observou-se que procedimentos terapêuticos e pacientes com maior IMC apresentaram significativamente maiores exposições. A dose efetiva foi estimada com base nos LDRLs utilizando parâmetros técnicos reais dos exames, com valores variando entre 5,2 mSv e 89,3 mSv, dependendo do tipo de procedimento.

Os resultados indicam que a estratificação dos parâmetros de dose por características clínicas e antropométricas melhora a precisão dos indicadores de vigilância radiológica. A metodologia adotada, aliando TVs, LDRLs e simulação de dose efetiva, mostrou-se eficaz para otimização da prática clínica e fortalecimento da proteção radiológica em procedimentos hemodinâmicos.

Palavras-chave: radiologia intervencionista; LDRL; valor típico; dose efetiva; fluoroscopia; PCXMC.

Introdução

As doenças cardiovasculares permanecem como a principal causa de mortalidade no mundo, representando aproximadamente 17,9 milhões de mortes por ano, segundo a Organização Mundial da Saúde. Esse grupo de enfermidades não apenas compromete a qualidade e a expectativa de vida, como também representa um desafio crescente para os sistemas de saúde, especialmente em países com envelhecimento populacional e mudanças no estilo de vida da população (TRISTRAM et al., 2022). A crescente incidência de condições como infarto agudo do miocárdio e insuficiência coronariana tem levado à expansão de procedimentos minimamente invasivos, como a angioplastia com implante de stent, guiados por fluoroscopia em tempo real.

A radiologia intervencionista, campo responsável por esses procedimentos, representa um avanço importante na medicina moderna, substituindo cirurgias invasivas por intervenções percutâneas seguras e eficientes. No entanto, essa prática é também uma das que mais expõe pacientes e profissionais à radiação ionizante, especialmente devido ao uso prolongado e repetitivo de fluoroscopia e cineangiografia (SOTHMANN et al., 2021).

Para garantir a segurança radiológica nesses contextos, a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) introduziu, a partir da década de 1990, os Níveis de Referência Diagnósticos (Diagnostic Reference Levels – DRLs), inicialmente aplicados à radiologia convencional, e posteriormente expandidos para modalidades mais complexas, como a radiologia intervencionista. Os DRLs correspondem ao terceiro quartil (Q3) das distribuições de dose observadas para um determinado procedimento e são utilizados como ferramentas de vigilância e otimização, sem caráter de limite regulatório (ICRP, 2017).

No entanto, a definição de DRLs nacionais ou regionais pode não refletir adequadamente a realidade de serviços específicos, cujas práticas clínicas, protocolos técnicos e perfis populacionais são distintos. Por essa razão, a própria ICRP passou a recomendar a adoção de Níveis de Referência Diagnósticos Locais (LDRLs), calculados com base nos dados obtidos dentro de uma única instituição ou equipamento. Os LDRLs oferecem uma visão mais ajustada da prática real, permitindo uma abordagem mais eficiente na identificação de exposições atípicas e na revisão de protocolos (DAMILAKIS; VASSILEVA, 2021; SEMGHOULI et al., 2024).

Mais recentemente, tem-se proposto o uso complementar dos Valores Típicos (Typical Values – TVs), definidos como a mediana das distribuições de dose. Por sua maior robustez estatística e menor sensibilidade a valores extremos, os TVs permitem caracterizar de forma mais estável a prática clínica local, sendo especialmente úteis para o acompanhamento longitudinal e comparações entre subgrupos populacionais (TRISTRAM et al., 2022). Além disso, ao contrário dos DRLs, que são limitados ao terceiro quartil, os TVs podem ser estratificados por variáveis relevantes como tipo de procedimento, índice de massa corporal (IMC), sexo e idade, permitindo análises mais granulares.

Diversos estudos demonstram que a massa corporal é um dos principais fatores modificadores da dose em radiologia intervencionista. Pacientes com maior IMC requerem parâmetros técnicos mais elevados (como maior kV e mA), além de tempo de exposição mais prolongado, o que resulta em maior carga de radiação absorvida (VIEIRA et al., 2022). Tais evidências apontam para a necessidade de estratificação dos valores de referência por categorias de IMC, de modo a evitar subestimações ou superestimações nos processos de monitoramento e otimização da dose.

A influência de variáveis clínicas também se estende ao sexo do paciente, como discutido por Tristram et al. (2022), que relataram variações nos níveis de dose entre homens e mulheres mesmo dentro das mesmas faixas de IMC. Essa diferença pode estar relacionada à composição corporal e à espessura torácica, que afetam a atenuação do feixe e exigem ajustes na técnica de aquisição das imagens.

No que diz respeito aos parâmetros dosimétricos, o kerma no ponto de referência ($K_{a,r}$) e o produto kerma-área (PKA ou KAP) são as grandezas mais utilizadas na prática clínica e nas recomendações da ICRP para monitoramento da exposição. Essas grandezas são frequentemente extraídas diretamente dos relatórios gerados pelos equipamentos angiográficos, podendo ser utilizadas para cálculo dos DRLs, TVs e, ainda, como base para a estimativa da dose efetiva (E).

A dose efetiva representa uma medida ponderada do risco estocástico associado à exposição, considerando a radiosensibilidade de cada órgão exposto. Embora sua determinação exata em cada paciente não seja prática em ambiente clínico, pode ser estimada por meio de simulações computacionais com base no método de Monte Carlo,

como as realizadas pelo software PCXMC 2.0, amplamente validado na literatura (TAPIOVAARA; SIISKONEN, 2008; AROUA et al., 2007). Esse tipo de simulação permite incorporar dados técnicos reais do procedimento (kV, filtragem, geometria do feixe, projeções) e fornece uma estimativa robusta da dose efetiva por tipo de exame.

Nesse contexto, a presente pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de validar os LDRLs e estabelecer Valores Típicos ajustados por IMC, tipo de procedimento e sexo, com base em uma base de dados composta por 2.200 exames intervencionistas realizados em um hospital terciário. Além disso, buscou-se estimar a dose efetiva associada aos procedimentos mais comuns, por meio da simulação no PCXMC 2.0, com entrada dos dados técnicos reais obtidos nos exames. Como inovação metodológica, foi desenvolvido um sistema de extração semiautomática de dados dosimétricos utilizando tecnologia de reconhecimento óptico de caracteres (OCR), conforme discutido por Riccardi et al. (2018), o que viabilizou a análise em larga escala de exames armazenados em formato DICOM, mesmo sem integração com sistemas RDMS.

Os achados deste estudo oferecem uma contribuição significativa para a caracterização da prática radiológica local, fornecendo dados realistas para a otimização dos protocolos clínicos e para a adoção de estratégias de proteção radiológica alinhadas às diretrizes internacionais. A aplicação de TVs estratificados, combinada com a estimativa da dose efetiva, reforça a importância de abordagens multifatoriais para o gerenciamento da exposição à radiação em procedimentos hemodinâmicos, promovendo um equilíbrio adequado entre benefício clínico e segurança do paciente.

Objetivos

O objetivo dessa pesquisa foi validar os Níveis de Referência de Diagnóstico Locais (LDRLs) e estabelecer Valores Típicos (Typical Values, TVs) de exposição à radiação em procedimentos hemodinâmicos, considerando variáveis clínicas e antropométricas, com o intuito de promover a otimização da dose e reforçar as estratégias de proteção radiológica em ambiente hospitalar.

Objetivos Específicos

- Determinar os Valores Típicos (TVs) e os LDRLs para procedimentos intervencionistas (angiografias e angioplastias vasculares e coronarianas) com base em dados reais de 2.200 exames clínicos realizados em equipamento de fluoroscopia.
- Avaliar o impacto de variáveis clínicas e antropométricas, como índice de massa corporal (IMC), sexo e idade, sobre a exposição à radiação, utilizando o produto kerma-área (P_{ka}) e o kerma no ponto de referência ($K_{a,r}$) como indicadores dosimétricos.
- Correlacionar o tempo total de fluoroscopia com os níveis de dose, visando compreender a influência da duração do exame na magnitude da exposição.
- Estabelecer TVs e LDRLs estratificados por tipo de procedimento, categoria de IMC e sexo, a fim de refletir com maior precisão as práticas locais e otimizar a vigilância dos níveis de dose.
- Desenvolver e aplicar uma metodologia semiautomática de coleta e análise de dados dosimétricos a partir de relatórios em formato DICOM, com uso de tecnologia de reconhecimento óptico de caracteres (OCR).
- Estimar a dose efetiva (E) nos pacientes submetidos a procedimentos hemodinâmicos, utilizando os parâmetros obtidos dos LDRLs como entrada no

software PCXMC 2.0, considerando simulações realistas baseadas nos protocolos clínicos aplicados.

- Comparar os valores obtidos com referências da literatura internacional e nacional, avaliando a conformidade dos níveis de exposição e os potenciais riscos associados.

Materiais e Métodos

1. Local do Estudo e Equipamentos Utilizados

O estudo foi conduzido em um hospital universitário de grande porte, referência regional em procedimentos hemodinâmicos. Foram avaliados dois sistemas de fluoroscopia de arco em C: o *GE Innova IGS 320*® (GE Healthcare), utilizado majoritariamente nos procedimentos de rotina clínica, e o *Siemens Artis Zee*® (Siemens Healthineers), empregado em um conjunto adicional de exames analisados com base em imagens DICOM para extração semiautomática dos dados.

Ambos os equipamentos possuem certificação de conformidade com os requisitos técnicos estabelecidos pela legislação brasileira e passaram por testes de garantia de qualidade em conformidade com os padrões da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e da Anvisa (RDC n.º 611/2022).

2. Delineamento do Estudo

Trata-se de um estudo observacional, retrospectivo, com abordagem quantitativa, dividido em duas etapas principais:

- **Etapa 1:** Coleta e análise dos dados clínicos e dosimétricos de 2.200 procedimentos hemodinâmicos realizados entre dezembro de 2022 e março de 2024.
- **Etapa 2:** Estimativa da dose efetiva (E) em pacientes selecionados, utilizando simulações no software PCXMC 2.0, com base nos dados obtidos na primeira etapa e nos LDRLs calculados.

3. Critérios de Inclusão e Exclusão

Foram incluídos exames de pacientes adultos (≥ 18 anos) que realizaram angiografias e angioplastias coronarianas ou vasculares, com registros completos de dose e informações antropométricas (peso e altura). Procedimentos com dados incompletos,

duplicados ou inconsistentes foram excluídos. Também foram desconsiderados exames repetidos no mesmo paciente no mesmo dia, com os valores agregados como uma única entrada.

4. Coleta de Dados Clínicos e Dosimétricos

As informações foram extraídas a partir de relatórios emitidos pelos próprios equipamentos de fluoroscopia e complementadas por registros eletrônicos hospitalares. Os parâmetros coletados incluíram:

- **Dados demográficos:** sexo, idade;
- **Dados antropométricos:** peso (kg), altura (m), índice de massa corporal (IMC);
- **Parâmetros dosimétricos:**
 - *Kerma no ponto de referência* ($K_{a,r}$, em mGy);
 - *Produto kerma-área* (P_{ka} , em Gy.cm²);
 - *Tempo total de fluoroscopia* (em minutos);
 - *Número de imagens adquiridas em cineangiografia*.

Nos exames do sistema *Artis Zee*®, os dados foram extraídos de imagens em formato DICOM por meio de um software proprietário desenvolvido para leitura via Reconhecimento Óptico de Caracteres (OCR), capaz de converter os relatórios em arquivos estruturados. O algoritmo alcançou taxa de acurácia de 95% na validação cruzada dos dados.

5. Cálculo dos Valores Típicos e LDRLs

Os **Valores Típicos (TVs)** foram definidos como a **mediana** das distribuições de $K_{a,r}$ e tempo de fluoroscopia para cada grupo analisado, conforme recomendações da ICRP 135. Já os **Níveis de Referência Diagnóstica Locais (LDRLs)** foram estabelecidos com base no **terceiro quartil (Q3)** dessas distribuições.

As análises foram realizadas com diferentes estratificações:

- Por tipo de procedimento: angiografia coronariana, angioplastia coronariana, angiografia vascular, angioplastia vascular;
- Por categoria de IMC, segundo a Organização Mundial da Saúde:
 - <18,5 (baixo peso),
 - 18,5–24,9 (normal),
 - 25,0–29,9 (sobrepeso),
 - 30,0–34,9 (obesidade grau I),
 - 35,0–39,9 (obesidade grau II),
 - ≥ 40 (obesidade grau III);
- Por sexo biológico.

As comparações estatísticas entre grupos foram realizadas utilizando ANOVA e teste de Tukey, ou teste de Mann-Whitney quando apropriado, adotando-se nível de significância de $p < 0,05$. A normalidade das distribuições foi avaliada com o teste de Shapiro-Wilk.

6. Estimativa da Dose Efetiva (E)

Para a estimativa da dose efetiva nos pacientes, foi utilizado o **software PCXMC 2.0** (STUK – Radiation and Nuclear Safety Authority, Finlândia), baseado no método de simulação Monte Carlo.

As simulações foram realizadas considerando os seguintes parâmetros:

- **Modelo antropomórfico padrão:** paciente adulto de 178,2 cm, 73,2 kg;
- **Número de histórias simuladas:** 1 milhão de fótons por projeção;
- **Distância foco-detector:** 120 cm;

- **Distância foco-pele:** 80 cm;
- **kVp e filtragem adicional:** definidos com base na mediana dos valores clínicos por tipo de procedimento;
- **Projeções C-arm:** RAO, LAO, cranial/caudal tilt, AP e oblíquas, conforme protocolo clínico por exame.

Os **valores de Ka,r** médios por projeção, obtidos da amostra clínica, foram utilizados como entrada para o cálculo da **dose efetiva (E)** em milisievert (mSv). Em seguida, foi calculado o **fator de conversão (Cf)** entre a dose efetiva e o Ka,r, permitindo a extrapolação dos dados para diferentes cenários clínicos.

7. Ferramentas Estatísticas

As análises estatísticas e de correlação foram conduzidas com o uso da biblioteca **NumPy** e **Pandas** (Python 3.10), além de gráficos e boxplots para visualização dos resultados. A correlação linear entre Ka,r, tempo de fluoroscopia, IMC e idade foi avaliada por meio do **coeficiente de Pearson (r)**.

Resultados

Durante o período avaliado, foram analisados 2.200 procedimentos hemodinâmicos realizados com auxílio de fluoroscopia, envolvendo angiografias e angioplastias vasculares e coronarianas. Os dados foram obtidos por meio da extração manual e automática dos relatórios dos equipamentos GE Innova IGS 320® e Siemens Artis Zee®, consolidando um banco de dados representativo da prática clínica local.

1. Perfil Demográfico e Antropométrico da Amostra

A amostra foi composta predominantemente por pacientes do sexo masculino (cerca de 70%), com idade média variando entre 57 e 64 anos. A média de índice de massa corporal (IMC) situou-se entre 27,2 e 28,1 kg/m², indicando predominância de pacientes com sobrepeso ou obesidade grau I, grupo que tende a exigir maior carga técnica para aquisição de imagens de qualidade adequada.

2. Valores Típicos e LDRLs por Tipo de Procedimento

Os Valores Típicos (TVs) e os Níveis de Referência Diagnósticos Locais (LDRLs) foram calculados para quatro principais categorias de procedimento:

- **Angiografia Vascular:**
 - TV Ka,r: 147,0 mGy
 - Tempo médio de fluoroscopia: 3,7 min
- **Angioplastia Vascular:**
 - TV Ka,r: 132,0 mGy
 - Fluoroscopia: 3,6 min
- **Angiografia Coronária (diagnóstica):**
 - TV Ka,r: 369,5 mGy
 - Fluoroscopia: 2,9 min
- **Angioplastia Coronária (terapêutica):**

- TV Ka,r: 1.112 mGy (Q3: 1.706 mGy)
- Fluoroscopia: 6,9 min

Como mostrado na Tabela 1, os procedimentos terapêuticos (principalmente a angioplastia coronária) demandam maior tempo de fluoroscopia e resultam em doses consideravelmente mais elevadas do que os diagnósticos.

Tabela 1: Valores Típicos (TVs) de Ka,r (mGy), tempo de fluoroscopia (min) e valores de terceiro quartil (Q3) de Ka,r por tipo de procedimento. A última linha apresenta os dados consolidados para todos os procedimentos.

Procedimento	TV Ka,r (mGy)	Q3 Ka,r (mGy)	TV Tempo (min)
Angiografia Vascular	147,0	277,0	3,7
Angioplastia Vascular	132,0	441,7	3,6
Angiografia Coronária	369,5	520,0	2,3
Angioplastia Coronária	1112,0	1706,0	6,9
Todos os Procedimentos	413,0	711,3	2,9

A Figura 1 apresenta os boxplots comparativos de Ka,r e tempo de fluoroscopia por tipo de procedimento, evidenciando a maior dispersão e medianas nos procedimentos terapêuticos.

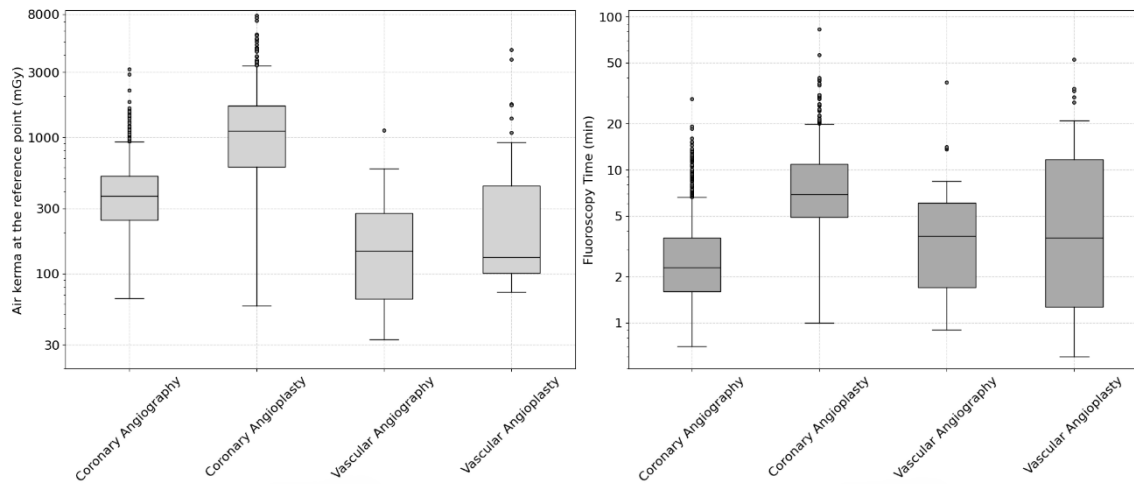


Figura 1. Distribuição dos valores de Ka,r e do tempo de fluoroscopia por tipo de procedimento intervencionista.

3. Variação da Dose por Índice de Massa Corporal (IMC)

A estratificação por IMC revelou um aumento progressivo da dose com o aumento da massa corporal. A Figura 2 demonstra que pacientes com obesidade grau III (IMC ≥ 40) receberam uma mediana de Ka,r de 796,5 mGy, em contraste com 185,0 mGy nos pacientes com baixo peso.

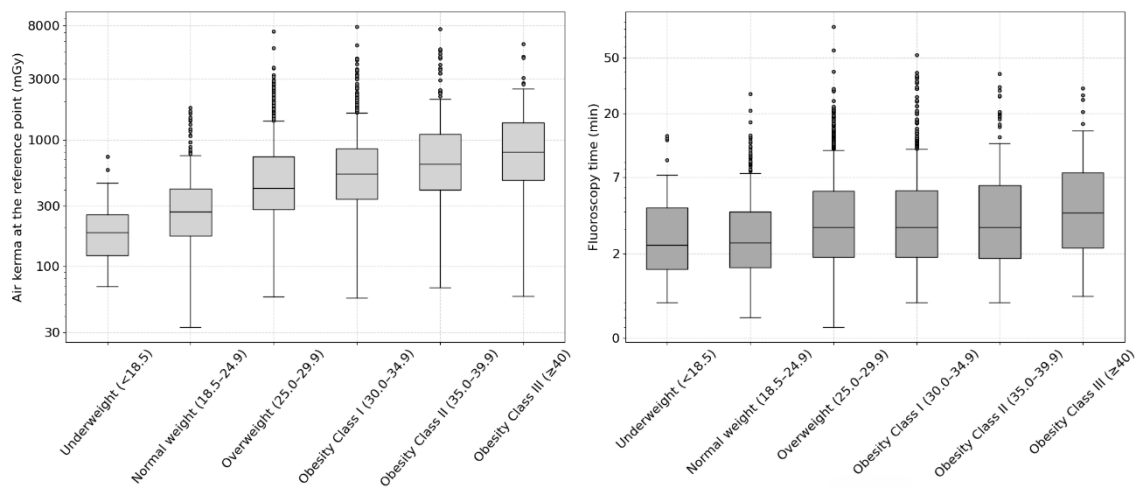


Figura 2. Distribuição de Ka,r (mGy) e tempo de fluoroscopia (min) por categoria de IMC.

A Figura 3, por sua vez, compara os TVs de Ka,r por categoria de IMC com o valor global da amostra (413 mGy), demonstrando diferenças estatisticamente significativas em quase todos os grupos (exceto no grupo com sobrepeso).

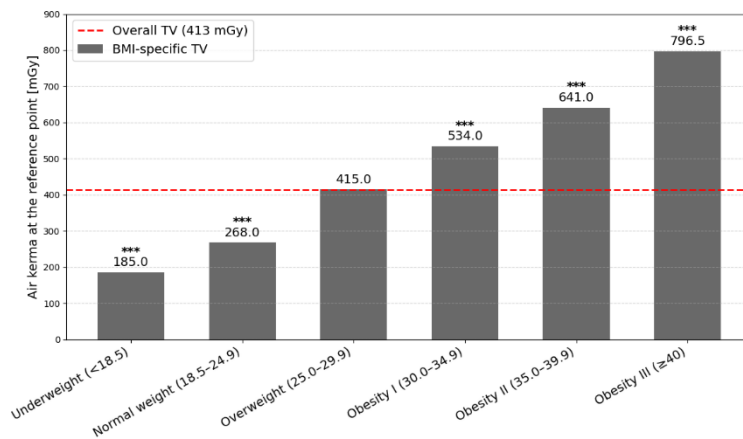


Figura 3. Valores típicos (TVs) de $K_{a,r}$ por categoria de IMC comparados ao valor típico geral.

Esses achados confirmam que a estratificação dos TVs por IMC fornece um retrato mais sensível e aplicável da prática clínica local, evitando subestimação ou superestimação das exposições.

4. Influência do Sexo na Dose Recebida

Os dados também indicaram que pacientes do sexo masculino apresentaram TVs de $K_{a,r}$ mais elevados do que as mulheres dentro de uma mesma faixa de IMC. A Figura 4 ilustra essa diferença, que pode estar associada a características físicas como maior espessura torácica e composição tecidual.

Por exemplo, na categoria de obesidade grau I, homens apresentaram um TV de 649,0 mGy, enquanto mulheres da mesma faixa atingiram apenas 452,0 mGy. Essa disparidade evidencia que o sexo biológico é um fator independente a ser considerado na caracterização dos níveis de exposição.

5. Correlação entre $K_{a,r}$, Fluoroscopia, IMC e Idade

A análise de correlação revelou que o tempo total de fluoroscopia foi o principal preditor da dose absorvida ($r = 0,69$; $p < 0,001$). O IMC também apresentou correlação positiva significativa com $K_{a,r}$ ($r = 0,21$; $p < 0,001$), enquanto a idade não demonstrou correlação significativa ($r = 0,01$; $p = 0,995$), como demonstrado na Figura 5 do manuscrito principal.

6. Estimativa da Dose Efetiva (E) por Simulação Monte Carlo

A simulação da dose efetiva (E) foi realizada no software PCXMC 2.0, utilizando os LDRLs como entrada. Os protocolos clínicos para cada procedimento foram reproduzidos conforme a rotina do serviço, incluindo posicionamentos RAO, LAO, cranial e caudal, com os seguintes resultados médios:

- **Angioplastia coronária:**
 - KAP: 29,8 Gy.cm²
 - E estimada: 6,9 mSv
- **Angiografia de cabeça/pescoço:**
 - KAP: 163,9 Gy.cm²
 - E estimada: 11,5 mSv
- **Angiografia abdominal:**
 - KAP: 98,1 Gy.cm²
 - E estimada: 30,5 mSv

Esses valores estão apresentados na Tabela 3, sendo comparados com referências da literatura internacional. Em geral, as doses efetivas observadas foram inferiores ou compatíveis com os valores publicados, o que reforça a adequação dos protocolos clínicos adotados no serviço.

Tab. 1. Valor do terceiro quartil do KAP e dose efetiva (E) apresentados neste estudo em comparação com a literatura.

Procedimento	KAP (Gy.cm ²)		E (ICRP 103) (mSv) (Laura 2015)		Presente Estudo	NCRP 160 (NCRP Report 160)	Erro Assoc. (%)
	Presente Estudo	Ref	Presente Estudo	Ref			

Angioplastia coronária transluminal percutânea, colocação de stent ou ablação por radiofrequência	29,8	26,0 (Kicken et al., 1999)	6,9	6,4 (Kicken et al., 1999)	0,2315	0,2600	-10,94%
Arteriografia de membros inferiores	59,7	68,0 (Arthur et al., 2002)	6,1	6,8 (Arthur et al., 2002)	0,1022	0,1000	2,18%
Angiografia de cabeça e/ou pescoço	163,9	14,1 (Li et al., 2020)	11,5	1,2 (Li et al., 2020)	0,0702	0,0870	-19,35%
Angiografia coronária (diagnóstica)	58,0	25,8 (Kicken et al., 1999)	5,2	3,1 (Kicken et al., 1999)	0,0897	0,1200	-25,29%
Embolização de veias pélvicas	220,7	282,2 (Li et al., 2020)	59,8	71,4 (Li et al., 2020)	0,2710	0,2530	7,11%
Angiografia torácica (artéria pulmonar ou aorta)	457,5	284,2 (Li et al., 2020)	89,3	73,9 (Li et al., 2020)	0,1952	0,2600	-24,93%
Angiografia ou aortografia abdominal	98,1	284,2 (Li et al., 2020)	30,5	73,9 (Li et al., 2020)	0,3109	0,2600	19,58%
TIPS – Colocação de derivação portossistêmica intra-hepática transjugular	25,4	108,1 (Li et al., 2020)	8,6	28,1 (Li et al., 2020)	0,3386	0,2600	30,22%

KAP – Produto kerma-área ($\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$); E – Dose efetiva (mSv); Cf – Fator de conversão (Sv/Gy);
DCCE – Coeficiente de conversão da dose de KAP para E ($\text{mSv}\cdot\text{Gy}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$)

7. Potenciais Riscos e Exposição Ocupacional

Embora o foco do presente relatório seja a dose no paciente, destaca-se que procedimentos com altos valores de KAP e longa duração de fluoroscopia (como embolizações pélvicas ou angiografias torácicas) também representam maior risco de exposição ocupacional para os profissionais de saúde, principalmente os intervencionistas. A análise realizada por Rafael Real de Sousa mostrou que, mesmo em salas com blindagem adequada, as variações técnicas e a posição do profissional influenciam significativamente na dose recebida pela equipe.

8. Contribuição da Ferramenta de Coleta Automática (OCR)

A utilização do software de leitura via OCR foi fundamental para a automação da coleta dosimétrica dos exames realizados com o equipamento Artis Zee®. Com taxa de acurácia de 95% e tempo de processamento reduzido, a ferramenta mostrou-se viável para integração em sistemas de Radiological Dose Management (RDM), facilitando a construção contínua de bancos de dados e a definição periódica de LDRLs atualizados.

Discussão

Os resultados deste estudo evidenciam a relevância da estratificação de parâmetros dosimétricos em procedimentos hemodinâmicos, destacando o impacto de fatores clínicos e antropométricos na magnitude da exposição à radiação. A definição de Valores Típicos (TVs) e Níveis de Referência de Diagnóstico Locais (LDRLs), conforme preconizado pela ICRP 135 (2017), revelou variações expressivas entre tipos de procedimentos, categorias de IMC e sexo biológico, corroborando a necessidade de parâmetros locais ajustados à realidade institucional.

Ao comparar os procedimentos diagnósticos e terapêuticos, observa-se que a angioplastia coronária foi responsável pelos maiores valores médios de $K_{a,r}$ (TV = 1.112 mGy), com Q3 de até 1.706 mGy, superando amplamente os valores observados nas angiografias vasculares (TV = 147 mGy). Esse padrão reforça a relação direta entre complexidade técnica e carga dosimétrica, uma vez que intervenções terapêuticas demandam mais tempo de fluoroscopia, aquisições cineangiográficas e manipulações invasivas. Esses achados são consistentes com os relatados por Tristram et al. (2022), que identificaram maiores doses em procedimentos terapêuticos, ainda que seu estudo não tenha considerado variáveis antropométricas ou diferenças por sexo (TRISTRAM et al., 2022).

A estratificação por índice de massa corporal (IMC) revelou um aumento progressivo da dose conforme o aumento da massa corporal. Pacientes com obesidade grau III (IMC ≥ 40) apresentaram valores medianos de $K_{a,r}$ superiores a 790 mGy, mais que o triplo dos observados em pacientes com baixo peso. Essa tendência confirma que o IMC é um dos principais fatores modificadores da dose, conforme já discutido por Vieira et al. (2022), que propuseram a adaptação dos DRLs em função do IMC para aumentar a sensibilidade dos indicadores de vigilância dosimétrica (VIEIRA et al., 2022). No presente estudo, a mediana como parâmetro base para os TVs mostrou-se estatisticamente mais robusta que o uso isolado do terceiro quartil, tornando-se uma alternativa metodológica mais sensível às variações clínicas locais.

Adicionalmente, a análise por sexo biológico demonstrou que, mesmo com IMC semelhantes, os homens receberam doses mais elevadas do que as mulheres, especialmente nas faixas de obesidade grau I e II. Esse achado é compatível com as

evidências de que o volume torácico e a composição tecidual em homens implicam maior atenuação do feixe, exigindo o uso de parâmetros técnicos mais agressivos, como aumento do mA e kV. Apesar de poucos estudos anteriores abordarem esse aspecto, nossos achados sugerem que o sexo do paciente também deve ser considerado na definição de parâmetros típicos para fins de otimização.

A análise de correlação demonstrou que o tempo total de fluoroscopia foi o preditor mais forte da dose absorvida ($r = 0,69$), resultado semelhante ao observado por Sothmann et al. (2021), que relacionaram o tempo como principal variável operacional associada ao aumento da dose em procedimentos cardíacos (SOTHMANN et al., 2021). Essa relação reafirma a importância de intervenções clínicas bem planejadas, com controle rigoroso da duração do exame, de modo a minimizar a exposição sem comprometer os resultados diagnósticos ou terapêuticos.

A segunda etapa do estudo, voltada à simulação da dose efetiva (E) por meio do software PCXMC 2.0, permitiu avaliar os riscos estocásticos associados às exposições observadas. Utilizando os LDRLs como entrada para as simulações, obteve-se, por exemplo, uma dose efetiva média de 6,9 mSv para angioplastias coronárias e de 11,5 mSv para angiografias de cabeça e pescoço. Esses valores, em geral, foram inferiores aos relatados na literatura internacional. Em comparação com os dados de Aroua et al. (2007), por exemplo, observamos valores menores em quase todos os procedimentos, o que pode ser atribuído à adoção de protocolos clínicos otimizados e ao uso moderado de aquisições cineangiográficas na instituição avaliada (AROUA et al., 2007).

Apesar disso, procedimentos como angiografias torácicas e embolizações pélvicas atingiram valores de dose efetiva próximos ou superiores a 30 mSv, sugerindo a necessidade de vigilância rigorosa e possível revisão de protocolos nesses casos específicos. Segundo as recomendações da Society of Interventional Radiology (SIR, 2009), valores de K_a,r acima de 3.000 mGy ou PKA superiores a 300 Gy.cm² devem ser monitorados durante o exame, sendo que exposições ainda mais elevadas exigem acompanhamento clínico pós-procedimento devido ao risco de efeitos determinísticos (SIR, 2009).

Outro ponto relevante foi a implementação de um sistema semiautomático de extração de dados por meio de Reconhecimento Óptico de Caracteres (OCR), que

permitiu processar grandes volumes de relatórios dosimétricos armazenados como imagens DICOM. Essa solução demonstrou elevada acurácia (95%) e viabilidade operacional, sendo particularmente útil em instituições que ainda não dispõem de sistemas integrados de gestão de dose (Radiation Dose Management Systems - RDMS). Conforme discutido por Riccardi et al. (2018), a extração automatizada de dados por OCR é uma ferramenta emergente com grande potencial para modernização da vigilância dosimétrica em serviços de radiologia (RICCARDI et al., 2018).

Em relação à proteção ocupacional, embora este estudo tenha se concentrado na exposição do paciente, é importante destacar que procedimentos com alto KAP e longa duração também elevam o risco de exposição para a equipe técnica. Como demonstrado por Sousa (2024), a dose ocupacional nos hemodinamicistas pode variar de acordo com o posicionamento na sala, a altura do profissional, o uso de aventais plumbíferos e a técnica aplicada (SOUSA, 2024). Assim, a gestão da dose no paciente atua também como ferramenta indireta de proteção ocupacional, ao reduzir a radiação espalhada.

Por fim, a abordagem metodológica adotada neste estudo — com estratificação por tipo de procedimento, IMC e sexo, uso de mediana para TVs, e simulação Monte Carlo para E — está em conformidade com as diretrizes da ICRP 135 (2017), oferecendo uma alternativa replicável e estatisticamente robusta para outras instituições com perfil semelhante. Os achados aqui apresentados contribuem significativamente para a melhoria dos indicadores de proteção radiológica e para a implementação de políticas baseadas em dados locais, alinhando-se com as melhores práticas internacionais.

Referências

ARTHUR, R. M. et al. Estimating effective doses for patients undergoing peripheral vascular interventional radiology procedures. *Radiology*, v. 225, n. 3, p. 708–715, 2002.

AROUA, A. et al. Radiation exposure to the radiologist performing diagnostic and therapeutic coronary angiography: Dosimetric measurements during clinical procedures. *Radiation Protection Dosimetry*, v. 123, n. 3, p. 353–358, 2007.

DAMILAKIS, J.; VASSILEVA, J. Diagnostic reference levels in interventional radiology and interventional cardiology: a review. *Radiation Protection Dosimetry*, v. 192, n. 3, p. 258–268, 2021.

ICRP – International Commission on Radiological Protection. Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging. *ICRP Publication 135*. Ann. ICRP 46(1), 2017.

KICKEN, P. J. H.; KEMERINK, G. J.; VAN ENGELSHOVEN, J. M. A. Radiation exposure in coronary angiography and percutaneous transluminal coronary angioplasty (PTCA). *Catheterization and Cardiovascular Diagnosis*, v. 46, n. 4, p. 445–448, 1999.

LI, X. et al. Patient radiation dose and risk estimation in fluoroscopically guided procedures: A multicenter study. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, v. 31, n. 5, p. 755–761, 2020.

NCRP – National Council on Radiation Protection and Measurements. Report No. 160: *Ionizing radiation exposure of the population of the United States*. Bethesda, MD: NCRP, 2009.

RICCARDI, G. et al. Optical Character Recognition (OCR) in radiation dose monitoring: A practical approach to extracting dosimetric data from image-based reports. *Radiation Protection Dosimetry*, v. 180, n. 1–4, p. 238–243, 2018.

SEMGHOULI, S. et al. Establishment of local diagnostic reference levels in interventional radiology in the absence of national data. *Journal of Radiological Protection*, v. 44, 2024 (no prelo).

SOTHMANN, P. J. et al. Typical values of dosimetric data for cardiac fluoroscopy-guided procedures in a South African teaching hospital. *Radiation Protection Dosimetry*, v. 196, n. 3–4, p. 153–158, 2021.

TAPIOVAARA, M.; SIISKONEN, T. PCXMC: A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. *STUK – Radiation and Nuclear Safety Authority, Finland*, 2008.

TRISTRAM, J. et al. Typical doses and typical values for fluoroscopic diagnostic and interventional procedures. *Journal of Radiological Protection*, v. 42, n. 2, p. 021510, 2022.

VIEIRA, M. R. et al. Proposal of diagnostic reference levels for interventional radiology procedures adjusted for BMI: a multicenter study in Brazil. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 198, p. 110273, 2022.

Orientações

- Co-orientador no trabalho de Mestrado de Rafael Real de Sousa no trabalho intitulado “DOSIMETRIA DA EQUIPE TÉCNICA DURANTE PROCEDIMENTOS HEMODINÂMICOS”, no Programa de Pós-Graduação Biologia Geral e Aplicada, com defesa em Fevereiro de 2025. Orientação da Prof. Associada Diana Rodrigues de Pina.
- Co-orientador no trabalho de Doutorado em andamento de Raissa Alexia Camargo Guassu no trabalho intitulado “Monitoramento da Exposição à Radiação da Equipe Médica e Pacientes no Setor de Hemodinâmica”, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Biomoleculares e Farmacológicas, com defesa prevista para Dezembro de 2026. Orientação da Prof. Associada Diana Rodrigues de Pina.
- Co-Orientador de Hires de Carvalho Leite , no seu Trabalho Final de Conclusão de Residência intitulado “IMPLEMENTAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE ACEITAÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE EM IMAGEM DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA DE ACORDO COM A RDC 611/2022”, na “Residência em Física Médica - Radiodiagnóstico”, apresentado em 03/12/24.
- Co-Orientador de Amanda Anselmo Rosa, no seu Trabalho Final de Conclusão de Residência intitulado “DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO PARA CONTROLE DE QUALIDADE EM RADIOLOGIA COM IMPRESSÃO 3D”, na “Residência em Física Médica - Radiodiagnóstico”, apresentado em 03/12/24.
- Co-Orientador de Marcos Aureliano Araujo Silva, no seu Trabalho Final de Conclusão de Residência intitulado “CT IMAGING AND LUNG SEGMENTATION ANALYSIS OF SARS-COV-2 VARIANTS AND VACCINATION IMPACTS ON LUNG IMPAIRMENT QUANTIFICATION”, na “Residência em Física Médica - Radiodiagnóstico”, apresentado em 10/01/24.

- Co-Orientador de Tulio Guilherme Soares Marques, no seu Trabalho Final de Conclusão de Residência intitulado “Estimativa de Dose Efetiva em procedimentos de Radiologia Intervencionista utilizando simulação de Monte-Carlo”, na “Residência em Física Médica - Radiodiagnóstico”, apresentado em 10/01/24.
- Co-Orientador de Samara Pavan Souza, no seu Trabalho Final de Conclusão de Residência intitulado “IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE GARANTIA DE QUALIDADE PARA O SETOR DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA”, na “Residência em Física Médica - Radiodiagnóstico”, apresentado em 18/01/23.
- Co-Orientador de Ana Luiza Milani, no seu Trabalho Final de Conclusão de Residência intitulado “Análise da repetição de exames de tomografia computadorizada e dose efetiva acumulada em pacientes no HCFMB”, na “Residência em Física Médica - Radiodiagnóstico”, apresentado em 18/01/23.

Disciplinas

- Disciplina: Laboratório de Instrumentação Médica; 4º ano da graduação do curso de Física médica, com participação de carga horária de 30 horas. Disciplina ministrada pela Prof. Associada Diana Rodrigues Pina.
- Disciplina: Laboratório de Radiodiagnóstico; 4º ano da graduação do curso de Física médica, com participação de carga horária de 30 horas. Disciplina ministrada pela Prof. Associada Diana Rodrigues Pina.