



RAFAEL REAL DE SOUSA

**DOSIMETRIA DA EQUIPE TÉCNICA DURANTE PROCEDIMENTOS
HEMODINÂMICOS**

Botucatu

2025

RAFAEL REAL DE SOUSA

**DOSIMETRIA DA EQUIPE TÉCNICA DURANTE PROCEDIMENTOS
HEMODINÂMICOS**

Dissertação apresentada como requisito à obtenção do título de Mestre à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Programa de Pós-graduação em Biologia Geral e Aplicada, sob orientação da Prof^a. Dr^a. Diana Rodrigues de Pina Miranda.

Orientador(a): Prof^a. Dr^a. Diana Rodrigues de Pina Miranda

Coorientador(a): Dr. Matheus Alvarez

Botucatu

2025

S725d Sousa, Rafael Real de
 Dosimetria da equipe técnica durante
 procedimentos hemodinâmicos / Rafael Real de
 Sousa. -- Botucatu, 2025
 49 f. : il., tabs.

 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual
 Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Botucatu
 Orientadora: Diana Rodrigues de Pina Miranda
 Coorientadora: Matheus Alvarez

 1. Exposições ocupacionais. 2. Dosimetria
 pessoal. 3. Procedimentos hemodinâmicos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp.
Dados fornecidos pelo autor(a).

Impacto potencial desta pesquisa

Título da tese: Dosimetria da equipe técnica durante procedimentos hemodinâmicos.

O presente estudo apresenta impactos científicos, econômicos e sociais significativos. A pesquisa avança no conhecimento sobre a relação entre doses recebidas por pacientes e profissionais, destacando a eficácia de medidas de proteção, como anteparos e EPIs, alinhadas às normativas vigentes, como a CNEN 3.01/2024. Utilizando tecnologias avançadas, como medidores de radiação calibrados e simuladores, o trabalho oferece dados robustos que validam práticas mais seguras e otimizadas, promovendo melhorias na proteção radiológica e nos protocolos clínicos.

A pesquisa também apresenta implicações econômicas relevantes ao reduzir custos associados a afastamentos de profissionais expostos e à reposição de pessoal. A padronização dos processos e o treinamento contínuo das equipes promovem maior eficiência operacional, diminuindo variações indesejadas nos procedimentos. A implementação de práticas otimizadas reduz riscos legais e assegura a sustentabilidade financeira das instituições.

No âmbito social, o trabalho contribui para a melhoria da saúde ocupacional, prevenindo doenças relacionadas à exposição à radiação e promovendo maior qualidade de vida aos profissionais. A conscientização sobre o uso de barreiras protetoras e EPIs reflete-se em procedimentos mais seguros, beneficiando diretamente os pacientes. O equilíbrio entre o risco e o benefício fortalece a confiança nos processos clínicos, evidenciando a importância de uma abordagem integrada para a proteção radiológica. Dessa forma, o estudo gera impacto duradouro e positivo para profissionais, pacientes e instituições de saúde.

Potential impact of this research

Thesis Title: Dosimetry of the Technical Staff During Hemodynamic Procedures.

The present study presents significant scientific, economic, and social impacts. The research advances knowledge about the relationship between doses received by patients and professionals, highlighting the effectiveness of protective measures, such as shielding and personal protective equipment (PPE), in compliance with current regulations, such as CNEN 3.01/2024. Utilizing advanced technologies, such as calibrated radiation meters and simulators, this work provides robust data that validate safer and optimized practices, promoting improvements in radiological protection and clinical protocols.

The research also demonstrates relevant economic implications by reducing costs associated with the absence of exposed professionals and the need for personnel replacement. Standardizing processes and continuous team training enhance operational efficiency, minimizing undesirable variations in procedures. The implementation of optimized practices reduces legal risks and ensures the financial sustainability of institutions.

On a social level, this work contributes to the improvement of occupational health by preventing diseases related to radiation exposure and promoting better quality of life for professionals. Awareness of the use of protective barriers and PPE translates into safer procedures, directly benefiting patients. The balance between risk and benefit strengthens trust in clinical processes, underscoring the importance of an integrated approach to radiological protection. In this way, the study generates lasting and positive impacts for professionals, patients, and healthcare institutions.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Dosimetria da Equipe Técnica Durante Procedimentos Hemodinâmicos.

AUTOR: RAFAEL REAL DE SOUSA

ORIENTADORA: DIANA RODRIGUES DE PINA MIRANDA

COORIENTADOR: MATHEUS ALVAREZ

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Biologia Geral e Aplicada, área: Biologia Celular Estrutural e Funcional pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MATHEUS ALVAREZ (Participação Virtual)
Núcleo de Física Médica e Radioproteção / Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu

Prof. Dr. LUIS ANTONIO JUSTULIN JUNIOR (Participação Virtual)
Departamento de Biologia Estrutural e Funcional / Instituto de Biociências de Botucatu - Unesp

Prof. Dr. MATHEUS BERTANHA (Participação Virtual)
Departamento de Cirurgia e Ortopedia / Faculdade de Medicina de Botucatu - Unesp

Botucatu, 17 de fevereiro de 2025

Maria Victória Ramalho da Cunha
Assistente Administrativo II da Seção Técnica de Pós-Graduação
Instituto de Biociências de Botucatu

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida e não somente nestes anos acadêmicos, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

À Prof^a. Dr^a. Diana Rodrigues de Pina Miranda, que desde o primeiro contato, motivou o meu retorno aos estudos e dedicou seu tempo e experiência para comigo. Não teria orientadora melhor. Fica o meu agradecimento e acima de tudo, admiração.

Ao grande amigo de longa data, Dr. Matheus Alvarez, onde sem ele, não teria conhecido o universo acadêmico da Unesp, além das horas à disposição por todo o período da pós-graduação.

Minha esposa Caroline e filha Isabela, principais motivadoras e apoiadoras da minha vida. Sentido de viver, além de inspiração para ser uma pessoa melhor dia após dia.

A toda equipe de físicos-médicos e residentes do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu.

RESUMO

Este estudo comparativo investigou a relação entre a dose do paciente e a radiação espalhada em procedimentos hemodinâmicos realizados em dois hospitais: um público em Botucatu e um privado em Bauru. A pesquisa envolveu a busca e análise em banco de dados para avaliar a dose efetiva em pacientes, além de medir a radiação espalhada em diferentes cenários, com e sem a utilização de anteparos protetivos, através de instrumentos específicos e devidamente calibrados e certificados. A análise dos dados revelou que o uso de anteparos reduziu significativamente as taxas de dose espalhada, mantendo as exposições dos profissionais abaixo dos limites de 20 mSv/ano estabelecidos pela CNEN 3.01/2024. Ambos os hospitais mostraram a eficácia das medidas de proteção radiológica adotadas, destacando a importância de EPIs e protocolos otimizados. A não adesão a esses protocolos pode gerar impactos sociais, como a deterioração da saúde dos profissionais, aumentando o risco de catarata e câncer, além de comprometer a qualidade de vida. Ademais, implicações econômicas como afastamentos e custos com a reposição de pessoal podem afetar a sustentabilidade financeira das instituições. Este trabalho reforça a relevância de uma abordagem integrada na proteção radiológica, alinhando segurança ocupacional e otimização dos procedimentos.

Palavras-chave: Exposições ocupacionais; Dosimetria pessoal; Procedimentos hemodinâmicos.

ABSTRACT

This comparative study investigated the relationship between patient dose and scattered radiation in hemodynamic procedures performed at two hospitals: a public hospital in Botucatu and a private hospital in Bauru. The research involved a database search and analysis to evaluate the effective dose in patients, as well as measuring scattered radiation in different scenarios, with and without the use of protective shields, using specific, calibrated, and certified instruments. Data analysis revealed that the use of shields significantly reduced scattered dose rates, keeping occupational exposures below the limits of 20 mSv/year established by CNEN 3.01/2024. Both hospitals demonstrated the effectiveness of the adopted radiological protection measures, highlighting the importance of PPE and optimized protocols. Non-compliance with these protocols can lead to social impacts, such as the deterioration of professionals' health, increasing the risk of cataracts and cancer, as well as compromising their quality of life. Moreover, economic implications such as employee absences and personnel replacement costs may affect the financial sustainability of institutions. This study emphasizes the importance of an integrated approach to radiological protection, aligning occupational safety with the optimization of procedures.

Keywords: Occupational exposures; Personal dosimetry; Hemodynamic procedures.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS.....	14
	2.1 Objetivo Geral.....	14
	2.2 Objetivos específicos.....	14
3	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	15
	3.1 Radiação ionizante e seus efeitos biológicos.....	15
	3.1.1 Mecanismo direto.....	15
	3.1.2 Mecanismo indireto.....	16
	3.2 Dosimetria da radiação ionizante e grandezas dosimétricas.....	16
	3.2.1 Dose absorvida.....	17
	3.2.2 Dose equivalente.....	17
	3.2.3 Dose efetiva.....	18
	3.2.4 Kerma e taxa de kerma.....	18
	3.2.5 Kerma no ar incidente.....	19
	3.2.6 Kerma de entrada na superfície.....	19
	3.2.7 Produto kerma área (PKA).....	20
	3.3 Proteção radiológica.....	21
	3.3.1 Equipamentos de proteção individual.....	21
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
	4.1 Equipamento de hemodinâmica.....	24
	4.2 Determinação dos procedimentos.....	24
	4.3 Coleta de dados.....	25
	4.4 Levantamento da dose espalhada dos profissionais expostos.....	27
	4.4.1 Detector de radiação RTI Black Piranha.....	28
	4.4.2 Detector RTI Scatter Probe.....	29
	4.4.3 Detector Victoreen 451P.....	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
	5.1 Levantamento das doses dos pacientes.....	31
	5.1.1 Pacientes do hospital privado de Bauru.....	31
	5.1.2 Pacientes do hospital público de Botucatu.....	34
	5.1.3 Análise comparativa de ambos os hospitais.....	38

5.2 Levantamento da dose espalhada.....	41
5.2.1 Levantamento da dose espalhada Hospital Público.....	41
5.2.2 Levantamento da dose espalhada Hospital Privado.....	44
5.2.3 Análise comparativa de ambos os hospitais.....	46
6 CONCLUSÕES.....	49

REFERÊNCIAS

1 INTRODUÇÃO

As doenças cardiovasculares surgiram no século XX, tornando-se uma preocupação importante tanto para países desenvolvidos quanto para aqueles em desenvolvimento (Malta et al., 2023). A modernização trouxe consigo novas práticas sociais que posicionaram as doenças cardiovasculares como a principal causa de mortalidade global, além de estarem associadas a uma alta morbidade, impactando negativamente tanto a qualidade quanto a duração da vida das populações (Hausler et al., 2009, Ferreti et al., 2014).

As doenças cardiovasculares constituem a principal causa de mortalidade, não apenas no Brasil, mas em escala global (Da Silva et al., 2022). Após uma breve perda de primazia em 2021 em virtude da Covid-19, que naquele ano provocou 411 mil óbitos, as enfermidades cardíacas e do sistema circulatório reestabeleceram sua posição de liderança. No Brasil, cerca de 400 mil pessoas faleceram em 2022, número que se aproxima do total de vítimas registrado no ano mais crítico da pandemia do novo coronavírus (Mensah et al., 2023, George A. et al., 2023).

Dentre os mais diversos procedimentos médicos relacionados a avaliação e tratamento de doenças cardiovasculares existem a angiografia e angioplastia (Braunwald, 2005). A angiografia é um exame de imagem para visualização dos vasos sanguíneos, podendo obter resultados sobre a extensão de estenose ou regurgitação valvar, disfunção ventricular e demais alterações (Braunwald, 2005). A angioplastia consiste num procedimento intervencionista utilizado para tratar obstruções nas artérias com objetivo de ampliar um vaso sanguíneo com estenose para restaurar o fluxo sanguíneo (Braunwald, 2005). Após a angiografia, se uma obstrução for identificada, um cateter com um balão na ponta é inserido e posicionado na área afetada. O balão é então inflado, dilatando a artéria. A angioplastia é um tratamento eficaz, minimamente invasivo, comparado à cirurgia de revascularização e permite uma rápida recuperação do fluxo sanguíneo e reduzindo o risco de complicações (Braunwald, 2005).

Diante do atual cenário, a radiação ionizante desempenha um papel crucial nos procedimentos diagnósticos e terapêuticos (Linch et al., 2009). De forma prática, essa fonte de energia tem um papel significativo na área da hemodinâmica, que tem como principal característica o tratamento do infarto

agudo miocárdio através da angioplastia e implantação de stent, visto que durante os procedimentos, a radiação ionizante é utilizada para obter imagens dos vasos sanguíneos e auxiliar no diagnóstico e tratamento (Soares et al., 2011). A palavra Hemodinâmica origina-se do grego *haima* (sangue) e *dynamis* (força) que resulta no estudo dos movimentos do sangue e das forças que impulsionam (Linch et al., 2009). A Hemodinâmica é o ramo da fisiologia e da física que estuda o movimento do sangue através do sistema circulatório, analisando os mecanismos responsáveis pelo fluxo sanguíneo, as forças envolvidas, como pressão, resistência e viscosidade e a interação entre o coração, os vasos sanguíneos e os tecidos (Guyton et al., 2021). Este serviço utiliza tecnologias e materiais específicos para cada tipo de intervenção e opera em um ambiente controlado, caracterizado por iluminação artificial, sons e ruídos típicos dos equipamentos, e o uso de radiação ionizante durante os procedimentos (Linch et al., 2009).

A Radiologia Intervencionista experimentou um avanço significativo em sua aplicação a partir da metade da década de 1970, graças ao progresso nas técnicas de aquisição de imagens médicas (Soares et al., 2011). Desde então, essa técnica tem se expandido consideravelmente, substituindo cirurgias complexas e muito invasivas por procedimentos mais simples e menos invasivos. Como resultado, o tempo de recuperação dos pacientes foi reduzido ((Linch et al., 2009, Soares et al., 2011, Kim et al., 2012). Devido à proximidade intensa e ao longo tempo de exposição, a Radiologia Intervencionista é a especialidade médica que resulta nas maiores doses de radiação ionizante para toda a equipe de saúde (Häusler et al., 2009, Jacob et al., 2013).

A análise da radiação recebida em diferentes áreas do corpo dos profissionais durante o procedimento ajuda a compreender melhor quais medidas são necessárias para assegurar a proteção radiológica dos trabalhadores expostos ao risco (Häusler et al., 2009, Miller et al., 2010a). Como os pacientes são a principal fonte de radiação dispersa durante um procedimento de Radiologia Intervencionista, os profissionais que estão mais próximos deles acabam recebendo os níveis mais altos de radiação (Häusler et al., 2009, Vano et al., 2010, Schonfeld et al., 2011).

Para uma melhor proteção ao profissional intervencionista é importante manter uma boa gestão da dose fornecida ao paciente. Os principais processos

de prevenção e cuidado incluem a execução meticulosa dos procedimentos, monitoramento contínuo dos pacientes e a documentação adequada além do acompanhamento sistemático (Stecker et al., 2009). As medidas de resultado ou indicadores para esses processos compreendem a avaliação individualizada do risco de radiação para o paciente e a adesão rigorosa ao registro da dose administrada (Stecker et al., 2009). Embora as preocupações com as doses de radiação sejam legítimas, é crucial entender que o objetivo primordial dos procedimentos de radiologia intervencionista é o tratamento dos pacientes, com o intuito de melhorar seu bem-estar. Em termos gerais, o risco para o paciente associado à radiação é relativamente baixo quando comparado a outros riscos procedimentais, e os benefícios proporcionados pela orientação por imagem são substanciais (Geleijns et al., 2005). Já para os profissionais intervencionistas, devido às altas taxas de dose, ao maior tempo de exposição e à proximidade do paciente durante o procedimento, o risco pode ser considerado alto (Häusler et al., 2009).

A exposição dos profissionais a doses de radiação varia com fatores como o tempo de exposição, a carga aplicada no tubo de raios X, o tipo de exame realizado, os locais de intervenção, a anatomia e as condições gerais do paciente (Häusler et al., 2009, Charles, 2008, Miller et al., 2010a). Além disso, o risco também é influenciado pela altura do profissional, seu posicionamento na sala e a posição do tubo de raios X em relação à mesa e ao paciente, o uso adequado de roupas e barreiras de proteção radiológica, a técnica aplicada durante o procedimento e, principalmente, o tempo total em que o feixe de raios X está ativado (Kim et al., 2012, Charles, 2008).

Diante o atual cenário, existe a necessidade de conscientizar todos os envolvidos no setor de hemodinâmica, através dos resultados adquiridos com a otimização de protocolos, melhorando a relação entre risco e benefício, resultando em uma gestão eficiente das exposições com maximização da eficácia do procedimento e da segurança dos pacientes e profissionais ali envolvidos (Häusler et al., 2009, Vano et al., 2010, Chida et al., 2013, Wagner et al., 1994).

2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

2.1. Objetivo geral

Este estudo tem como objetivo correlacionar a dosimetria do paciente, expressa pelo Produto Kerma-Área (PKA) registrado pelo equipamento de hemodinâmica, com as doses ocupacionais recebidas pela equipe técnica. Através da medição da radiação espalhada durante procedimentos cardiológicos, o estudo busca avaliar a exposição ocupacional e propor melhorias nas práticas de proteção radiológica.

2.2. Objetivos específicos

- Quantificar a radiação espalhada nas salas de hemodinâmica em dois hospitais de grande porte situados na região de Bauru e Botucatu;
- Realizar um levantamento detalhado dos procedimentos hemodinâmicos efetuados em pacientes na área cardiológica, abrangendo um período anual;
- Apresentar e discutir os resultados obtidos em ambos os hospitais, proporcionando uma análise comparativa dos dados;
- Oferecer informações sobre proteção radiológica para reduzir riscos ocupacionais e promover melhores práticas de segurança.

3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1. Radiação Ionizante e seus efeitos biológicos

A radiação ionizante é uma ferramenta valiosa para o diagnóstico e tratamento de doenças, mas requer cautela devido ao seu potencial de causar alterações celulares. Os efeitos biológicos da radiação ionizante podem levar anos para se manifestar após a exposição. No entanto, os processos químicos que desencadeiam esses efeitos ocorrem em apenas alguns milissegundos (Wardman, 2009).

O processo de ionização causado pela radiação ionizante pode modificar o arranjo dos elétrons ao redor dos átomos. Essa mudança pode, por sua vez, afetar a estrutura das moléculas que contêm esses átomos. Se a energia da radiação for suficiente para superar a energia das ligações químicas, pode ocorrer a quebra dessas ligações, levando a mudanças nas moléculas (Dance et al., 2014, Tauhata et al., 2003). Quando a radiação atinge moléculas dentro de uma célula, essas alterações podem ter efeitos diretos ou indiretos sobre a célula, como a produção de íons, elétrons e radicais livres (Dance et al., 2014, Tauhata et al., 2003). A interação da radiação com a célula pode resultar em alterações ou até mesmo na morte da célula (Dance et al., 2014).

3.1.1. Mecanismo Direto

O mecanismo direto acontece quando a radiação atinge diretamente as moléculas importantes, como o DNA. Isso causa danos ao DNA, resultando em anormalidades nos cromossomos, conhecidas como aberrações cromossômicas. Os tipos de danos mais comuns incluem: alteração de uma base, perda de uma base, rompimento das pontes de hidrogênio, quebra de uma fita, quebra de ambas as fitas, formação de ligações cruzadas dentro da hélice de uma molécula de DNA, ligações cruzadas entre duas moléculas de DNA, ou a ligação de uma molécula de DNA a uma proteína (Wardman, 2009, Dance et al., 2014, Prasad et al., 2004, Okuno and Yoshimura, 2010). Dentre esses danos, a quebra de ambas as fitas do DNA é a mais complexa e que mais requer energia

para ser reparada, embora exposições a raios X em doses relativamente baixas já possam causar essas lesões (Rothkamm et al., 2003).

3.1.2. Mecanismo Indireto

No mecanismo indireto de dano biológico, a radiação quebra as moléculas de água, processo conhecido como radiólise. Durante essa quebra, são gerados íons H^+ e OH^- e radicais livres. Os íons H^+ e OH^- não causam problemas significativos, pois estão presentes em grandes quantidades nos fluidos corporais. No entanto, os radicais livres podem ser estáveis ou reagir com outras moléculas na solução. Além disso, esses radicais podem se recombinar para formar peróxido de hidrogênio, que ao se decompor, pode formar espécies reativas de oxigênio, que são prejudiciais, especialmente para o DNA, levando a danos biológicos (Dance et al., 2014).

3.2. Dosimetria da Radiação Ionizante e grandezas dosimétricas

A dosimetria da radiação ionizante pode ser realizada usando dispositivos ou sistemas que medem diretamente ou indiretamente a quantidade de radiação. Diversas grandezas podem ser avaliadas, como a dose absorvida, a dose equivalente e a dose efetiva (Attix, 2008). As principais características de um dosímetro incluem: precisão e exatidão, resposta linear, relação com a dose ou taxa de dose, sensibilidade à energia medida e dependência da direção. No entanto, nem todos os dosímetros atendem a todos esses critérios. Por isso, é importante escolher um dosímetro adequado de acordo com as necessidades específicas da medição (Knoll, 2010, Podgorsak and International Atomic Energy Agency, 2005).

Quando a radiação ionizante atinge um dosímetro TLD, ela faz com que alguns elétrons no cristal do dosímetro se movam para bandas de energia mais altas, gerando pares de elétrons e lacunas. O dosímetro possui armadilhas em sua estrutura cristalina para capturar e reter esses elétrons, evitando que se recombinem imediatamente com suas lacunas. Dessa forma, a energia relacionada à diferença entre a banda de energia original do elétron e a nova banda após a exposição é armazenada. Para medir a exposição à radiação, o

elétron capturado é energizado (por exemplo, pelo calor na termoluminescência) para se liberar da armadilha e recombinar-se com a lacuna, o que resulta na emissão de um fóton de luz. A quantidade e a energia dos fótons emitidos são proporcionais à quantidade de radiação que o dosímetro recebeu (Knoll, 2010, Podgorsak and International Atomic Energy Agency, 2005). A seguir, serão discutidas as principais grandezas dosimétricas que fundamentarão este trabalho.

3.2.1. Dose Absorvida

Na Proteção radiológica, a dose absorvida (D_A) é a grandeza de dose básica. Ela se aplica a qualquer tipo de radiação e configuração de exposição. D_A resulta como o quociente entre a energia média depositada (dE) e a massa (dm) de material. No sistema Internacional (SI) a unidade D_A é $J.kg^{-1}$. A equação apresentada a seguir ilustra formalmente a definição da dose absorvida (ICRP, 2007):

$$D_A = \frac{dE}{dm}$$

3.2.2. Dose Equivalente

Na proteção radiológica, a dose equivalente (D_E) é a medida usada para expressar a quantidade de dose recebida em diferentes tecidos devido a diferentes tipos de radiação. A equação a seguir destaca a dose equivalente que é calculada somando as doses absorvidas ($D_{A,R}$) causadas por vários tipos de radiação, cada uma multiplicada pelo seu respectivo fator de ponderação W_R (ICRP, 2007).

$$D_E = \sum_R W_R \cdot D_{A,R}$$

Para fótons, que são o principal tipo de radiação usado em radiodiagnóstico, o fator de ponderação W_R é igual a 1. No SI, a unidade de D_E é $J.kg^{-1}$, e essa unidade é chamada de Sievert (Sv) (ICRP, 2007).

3.2.3. Dose Efetiva

A equação a seguir formaliza a definição da dose efetiva (E), a qual é a grandeza utilizada em proteção radiológica para descrever os riscos potenciais que uma pessoa pode enfrentar em decorrência da exposição à radiação. A dose efetiva representa a melhor forma de quantificar esses riscos, sendo calculada como a soma ponderada das doses equivalentes recebidas por todos os tecidos do corpo (ICRP, 2007):

$$E = \sum (D_T \times w_T)$$

O W_T representa o valor atribuído ao tecido T, sendo que a soma de todos os W_T para os tecidos de um indivíduo totaliza 1. Tecidos que são sensíveis à radiação e à indução de efeitos estocásticos recebem um valor específico de W_T . Esses valores são definidos para refletir a contribuição de cada órgão ou tecido aos danos totais causados pela exposição à radiação³². No SI, a unidade de medida para dose efetiva é $J.kg^{-1}$, e essa unidade é chamada de Sievert (Sv) (ICRP, 2007).

3.2.4. Kerma e taxa de kerma

A equação a seguir define o kerma (K), que é o quociente entre a energia transferida pela radiação ionizante (dE_{tr}) e a massa do material (dm) (ICRP, 2007). No Sistema Internacional (SI) a unidade de medida do Kerma é expressa em $\frac{J}{kg}$ recebendo a denominação de Gray (Gy).

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm}$$

Onde:

K: Kerma;

dE_{tr}: Soma das energias cinéticas iniciais de todas as partículas carregadas liberadas pelas partículas não carregadas em dm;

dm: a massa de um material

A equação a seguir define a taxa do kerma sendo o quociente entre dK e dt,:

$$\dot{K} = \frac{dK}{dt}$$

Onde:

K: kerma;

dK: incremento de kerma;

dt: intervalo de tempo.

Unidade: J/kg.s. Nome especial gray por segundo (Gy/s).

3.2.5. Kerma no ar incidente (K_i)

É o kerma no ar de um feixe de raios X incidente medido no eixo central do feixe, isto é, no plano de entrada da pele, ou na superfície do simulador. Inclui apenas a radiação incidente e não a radiação espalhada. Unidade: $\frac{J}{kg}$ ou gray (Gy).

3.2.6. Kerma de entrada na superfície (K_e)

É o kerma no ar de um feixe de raios X incidente medido no eixo central do feixe, isto é, no plano de entrada da pele, ou na superfície do simulador. A

radiação incidente no paciente e a radiação espalhada não incluídas na definição. Unidade: $\frac{J}{kg}$ ou gray (Gy).

3.2.7. Produto kerma-área (P_{ka})

A equação a seguir descreve o Produto Kerma-Área (PKA), que é a integral do produto do kerma no ar em uma área $dx dy$ do feixe de raios X em um plano perpendicular ao eixo central do feixe. O PKA é obtido pela multiplicação da quantidade de kerma pela área do feixe no mesmo plano, sendo expresso nas unidades de $(J/kg) \cdot m^2$ ou $Gy \cdot m^2$.

$$P_{KA} = K \cdot A$$

A radiação espalhada pelo paciente não é considerada diretamente na definição do Produto Kerma-Área (PKA). Para evitar a interferência da radiação espalhada na medição do PKA, o plano de medição deve ser colocado a uma distância adequada do paciente. Isso garante que a quantidade de radiação espalhada capturada seja mínima, permitindo uma medição mais precisa do PKA (ICRP, 2007).

O valor do PKA é independente da distância em relação ao foco do tubo, o que significa que a medição não é afetada pela atenuação da radiação pelo ar ou pela radiação extrafocal. Portanto, o PKA pode ser medido em qualquer plano entre o colimador e o paciente, desde que o campo irradiado permaneça constante (ICRP, 2007).

O PKA é especialmente relevante para a avaliação do risco, pois está diretamente relacionado à quantidade total de energia entregue ao paciente. A medida da área irradiada e da dose total proporciona uma indicação mais completa da exposição do paciente e pode ser usada para estimar o risco associado ao procedimento (ICRP, 2007). A Figura 01, intitulada 'Grandezas dosimétricas em pacientes e caracterização de equipamentos de raios X', apresenta de forma resumida as grandezas de interesse para a dosimetria e a avaliação da exposição do paciente.

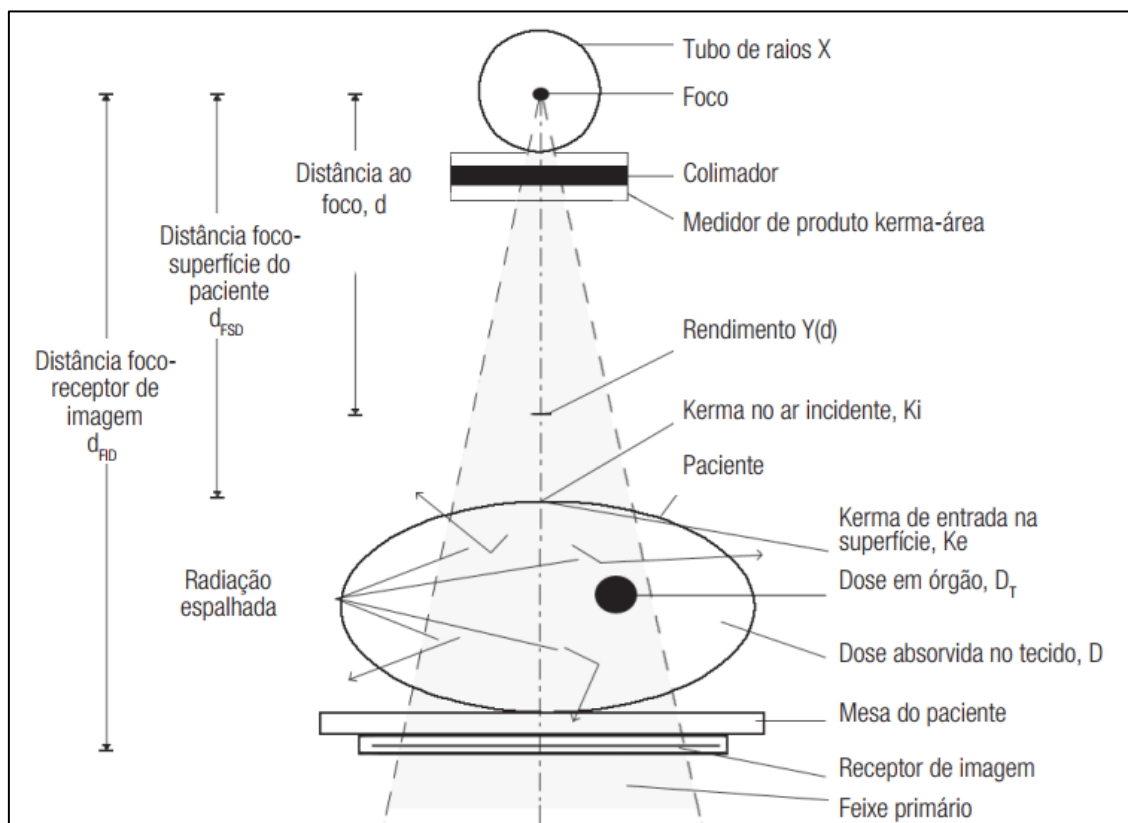


Figura 1 – Grandezas dosimétricas em pacientes e caracterização de equipamentos de raios X

3.3. Proteção Radiológica

De acordo com a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), a proteção radiológica refere-se a um conjunto de medidas destinadas a proteger as pessoas, suas futuras gerações e o meio ambiente contra os possíveis efeitos adversos da radiação ionizante (CNEN, 2024). Essas medidas são baseadas em três princípios principais: justificação, otimização e limitação de doses individuais.

O princípio da justificação estabelece que qualquer prática que envolva radiação ionizante só deve ser permitida se oferecer benefícios suficientes para o indivíduo exposto ou para a sociedade. No caso de exposições médicas, elas devem trazer um benefício real para a saúde do indivíduo ou para a sociedade. Também é importante considerar a eficácia, os benefícios e os riscos de outras técnicas diagnósticas e terapêuticas que envolvam menos ou nenhuma radiação ionizante (CNEN, 2024).

O princípio da otimização recomenda que as exposições à radiação sejam mantidas no nível mais baixo possível, sem comprometer a qualidade do resultado desejado. Isso envolve um planejamento detalhado das atividades e uma análise cuidadosa dos objetivos e das ações dos profissionais para garantir uma proteção radiológica adequada (CNEN, 2024).

O princípio da limitação de doses individuais afirma que a dose de radiação recebida por um indivíduo, proveniente de todas as práticas às quais ele possa estar exposto, não deve ultrapassar os limites estabelecidos pelas normas de radioproteção. Esse princípio aplica-se apenas aos trabalhadores expostos e ao público geral, não se aplicando às doses de radiação para pacientes em tratamento (CNEN, 2024).

A Portaria 518/2003 do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), publicada no Diário Oficial da União de 07/04/2003, adota como atividades perigosas, entre outras, as atividades de operação com aparelhos de raios X que constam no quadro de atividades e áreas de riscos apresentado na norma regulamentadora (NR) 16 (BRASIL, 2024). A presente Portaria ressalta que qualquer forma de exposição do trabalhador às radiações ionizantes é, em potencial, nociva à sua saúde, considerando que, mesmo com as inovações tecnológicas incorporadas nos aparelhos de radiologia e nos equipamentos de proteção individual (EPI), a eliminação desse risco não se revela viável (BRASIL, 2022). Tais atividades encontram-se inclusas na relação de atividades e operações perigosas aprovada pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN, 2024). A natureza perigosa da exposição do trabalhador à radiação ionizante garante ao empregado o direito a um adicional de periculosidade de 30% sobre o salário base, conforme estipulado no parágrafo 1º do artigo 193 da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) (BRASIL 2024).

3.3.1. Equipamento de Proteção Individual

O Equipamento de Proteção Individual (EPI) é qualquer dispositivo que o trabalhador deve utilizar para se proteger de riscos que possam ameaçar sua segurança e saúde dentro de seu ambiente de trabalho. Todo EPI deve possuir o Certificado de Aprovação (CA) concedido pelo Ministério do Trabalho e

Emprego que é responsável pela supervisão da qualidade desses equipamentos (BRASIL, 2022).

Dentre os mais diversos dispositivos EPIs, os principais utilizados no setor de Hemodinâmica são: aventais plumbíferos, protetor de tireoides plumbíferos, luvas plumbíferas e óculos com vidro plumbífero. Os EPIs devem ser disponibilizados pela corporação gratuitamente e em condições adequadas de uso para o profissional, além da capacitação sobre o uso correto, guarda e conservação do mesmo (Moura et al., 2015, Canevaro, 2009).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este projeto possui aprovação junto ao Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina de Botucatu (FMB-UNESP), sob o protocolo CAAE: 16932513.5.0000.5411.

4.1. Equipamentos de Hemodinâmica

Os hospitais que participaram deste estudo dispõem de setores dedicados à Hemodinâmica, cada um equipado com dois aparelhos intervencionistas fixos. Entre eles, encontra-se um equipamento da marca Siemens, modelo Artis Zee (Siemens Medical Solutions, Erlangen, Alemanha), e um da GE, modelo Innova IGS 520 (GE Healthcare).

Os dispositivos mencionados são submetidos à avaliações periódicas, em conformidade com todos os testes de controle de qualidade previstos pela RDC 611/2022 e pela Instrução Normativa nº 91, de 27 de maio de 2021. Tais testes constituem pré-requisitos de qualidade, sendo igualmente necessários para a validação das medidas de dosimetria.

4.2. Determinação dos Procedimentos

Para a determinação dos procedimentos, foram considerados três critérios: a duração total da exposição (tempo de fluoroscopia), a frequência dos procedimentos e o nível de ruído (um parâmetro selecionado para cada protocolo, influenciado pela corrente no tubo – mA). Esse processo culminou na seleção dos procedimentos cardiológicos mais recorrentes, como exemplificado pelas angiografias, angioplastias com ou sem a utilização de stents, entre outros.

A escolha dos procedimentos cardiológicos como foco deste trabalho fundamenta-se em sua elevada relevância na prática clínica contemporânea. Ademais, a crescente evolução das técnicas e dispositivos empregados na angioplastia constitui um campo fértil para pesquisa e debate, refletindo os avanços da cardiologia intervencionista.

4.3. Coleta de dados

Esta etapa foi retrospectiva e multicêntrica, permitindo uma natureza descritiva e comparativa de ambos os hospitais. Uma parte dos dados coletados foi de pacientes que realizaram procedimentos cardiológicos. Dados como PKA, Dose e Tempo foram alimentados por um programa autoral, utilizando *Phyton* na plataforma *Google Colab*.

O período coletado de informações dos pacientes foi de janeiro de 2023 a dezembro de 2023 e o banco de dados utilizado foi do sistema Arya (Pixon Medical Systems). O sistema é integrado e reúne informações de ambos os hospitais envolvidos no estudo, permitindo o compartilhamento entre eles.

A segunda parte dos dados foram as análises quantitativas da radiação espalhada. Houve uma simulação e os protocolos foram idênticos aos utilizados em um paciente real, abrangendo a posição do tubo-detecores, os métodos de aquisição de imagem, o nível de ruído e o processamento de imagem. O principal intervencionista e seu assistente se posicionam ao mesmo lado da mesa, a aproximadamente 0,50 e 1,0 metro da área do paciente em exame, respectivamente. A figura 2 ilustra o posicionamento dos profissionais durante as análises quantitativas da radiação espalhada.

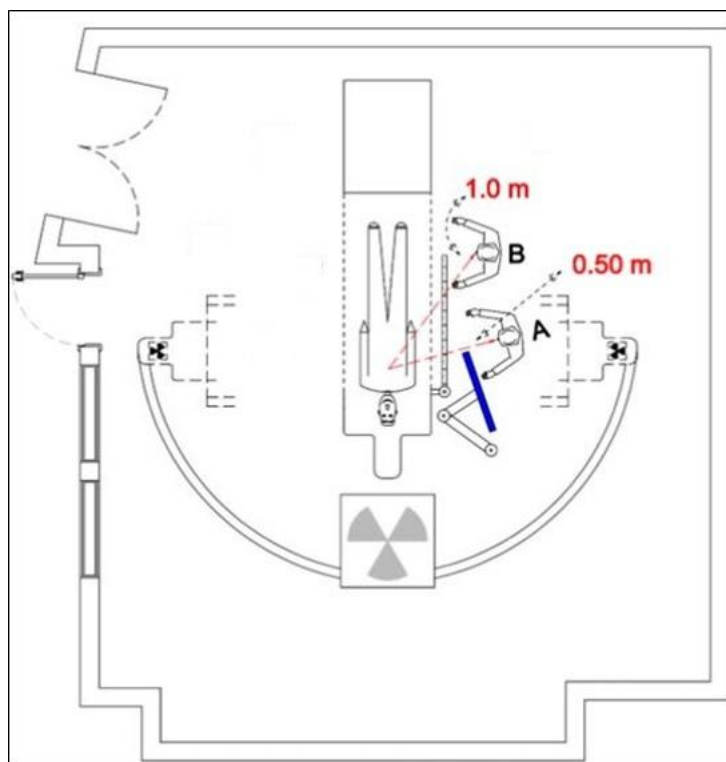


Figura 2 – Ilustração do posicionamento dos profissionais em procedimentos hemodinâmicos.

Hospitais participantes: Neste estudo, a pesquisa foi conduzida em dois hospitais distintos, localizados em diferentes contextos geográficos e operacionais. Um hospital público na cidade de Botucatu e um hospital privado na cidade de Bauru. Essa escolha estratégica permitiu uma análise comparativa que considera as particularidades de cada instituição e contribuiu para uma compreensão mais ampla dos procedimentos hemodinâmicos realizados em diferentes ambientes de atendimento. O hospital público de Botucatu, sendo uma instituição voltada para o atendimento universal e de alta demanda, possui aproximadamente 1.500 colaboradores e atende uma população diversa e muitas vezes com acesso limitado a cuidados de saúde especializados. A variedade de casos e a necessidade de intervenções hemodinâmicas em um contexto público proporcionou uma rica base de dados, refletindo a realidade de muitos pacientes que enfrentam desafios relacionados à saúde. Por outro lado, o hospital privado de Bauru que possui aproximadamente 1.200 colaboradores ofereceu uma perspectiva distinta, frequentemente associada a um atendimento mais personalizado, com estrutura de recursos amplo. Essa instituição, por sua natureza, apresentou características diferenciadas, como tempos de espera reduzidos e acesso a tecnologias avançadas. Outra distinção entre os hospitais reside na dinâmica operacional, na qual o hospital público conta com um maior número de profissionais intervencionistas envolvidos, além de incorporar a presença de residentes que participam ativamente das rotinas processuais. A inclusão de hospitais com perfis diferentes enriqueceu o estudo ao possibilitar a identificação de variáveis que podem impactar os resultados, como a qualidade do atendimento, a disponibilidade de recursos, e a experiência da equipe médica.

A população de estudo deste trabalho foi composta exclusivamente por adultos, incluindo indivíduos de diferentes faixas etárias, gêneros e pesos. Essa escolha de amostra fundamentou-se na relevância de investigar as variáveis clínicas e os desfechos associados a procedimentos intervencionistas em um grupo etário que apresenta as condições adequadas para a realização dessas intervenções. A diversidade na população estudada foi um fator essencial para garantir a generalização dos resultados obtidos. Isso se dá porque o comportamento de diferentes grupos demográficos pode variar e o foco em uma amostra mais ampla proporcionou dados que são aplicáveis a uma gama maior de pacientes que podem passar por procedimentos hemodinâmicos.

4.4. Levantamento da dose espalhada dos profissionais expostos

Para o levantamento da dose espalhada utilizou-se um simulador (fantoma de polimetilmetacrilato – PMMA), com 32 centímetros de diâmetro em um ambiente controlado. O estudo focou em procedimentos cardiológicos. As medições de dose espalhada (em mGy/min) foram feitas em diferentes posições em relação ao tubo de raios X e ao intensificador de imagem, variando a distância entre o ponto de medição e o simulador.

Os parâmetros dos protocolos clínicos utilizados para os procedimentos cardiológicos foram fornecidos pelos próprios fluoroscópios, que possuem controle automático de exposição, operando a uma taxa de 15 quadros por segundo. No hospital público no equipamento Innova, a distância do tubo com o simulador foi de 65 cm e a técnica que o equipamento forneceu foi de 81 kV e corrente média de 19 mA. O hospital privado utilizou o equipamento ArtisZee mantendo a distância do tubo com o simulador de 65 cm e técnica que o equipamento forneceu foi de 68 kV e corrente média de 107 mA.

As medições de dose espalhada foram realizadas em distâncias de 100 cm e 70 cm do simulador, utilizando as configurações padrão do protocolo descrito acima. Além disso, foram avaliadas as condições com e sem o uso de anteparos (vidro de material plumbífero), posicionados a 50 cm e 78 cm do simulador, para verificar a redução da dose espalhada em cada cenário. Para cada posição e condição de medição (com e sem anteparo), a dose espalhada foi registrada utilizando três tipos de medidores de radiação espalhada, conhecidos por sua precisão e confiabilidade na monitorização da exposição à radiação ionizante: o detector de radiação de estado sólido modelo Black Piranha, detector RTI Scatter Probe e Victoreen 451P com uma taxa de emissão constante, variando entre 10 mGy/min e 64,7 mGy/min conforme o tipo de procedimento e os parâmetros definidos.

Em resumo, os dados foram coletados para as seguintes condições experimentais: distância de 100 cm e 70 cm do simulador, posição entre 0° e 90° em relação ao tubo de raios X e o intensificador de imagem e as medições com e sem uso de anteparos.

4.4.1. Detector de radiação de estado sólido RTI Black Piranha

O detector Black Piranha é um equipamento avançado projetado para medir a radiação direta e a exposição em tempo real. Sua tecnologia de estado sólido permite uma resposta rápida e uma alta sensibilidade, tornando-o ideal para ambientes onde a monitorização contínua da radiação é essencial. Este dispositivo é capaz de registrar dados com precisão em condições variadas, assegurando que as medições reflitam fielmente os níveis de radiação a que os profissionais de saúde e os pacientes estão expostos durante os procedimentos. Além disso, o Black Piranha oferece recursos de visualização de dados em tempo real, permitindo que os operadores monitorem as condições de radiação durante a realização dos procedimentos. Essa capacidade de visualização imediata é crucial para a tomada de decisões rápidas e informadas, contribuindo para a segurança dos pacientes e da equipe médica. A figura 3, apresentada a seguir, ilustra o equipamento.

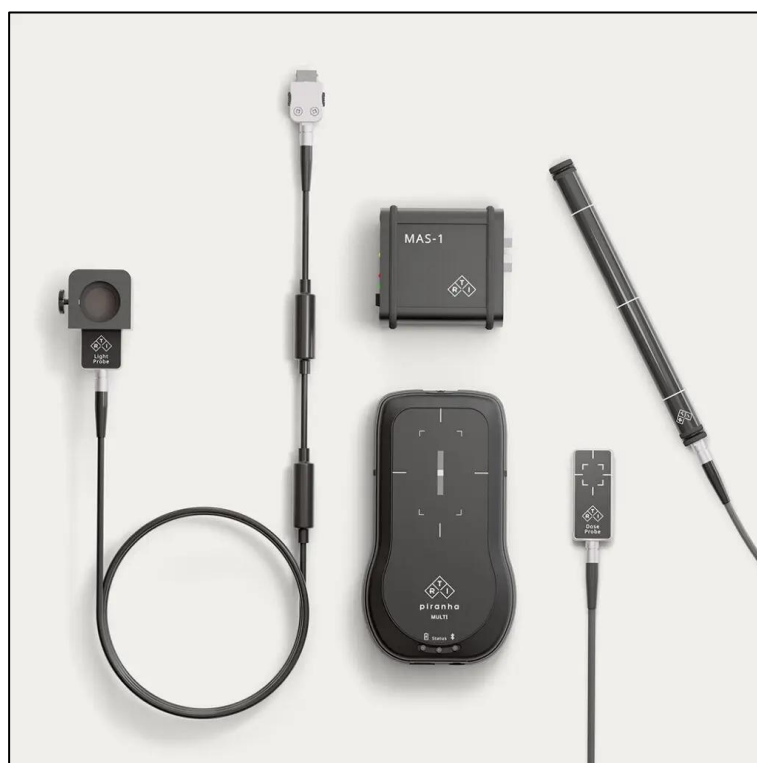


Figura 3 – Detector RTI Black Piranha

4.4.2. Detector RTI Scatter Probe

O detector RTI Scatter Probe é especialmente projetado para quantificar a radiação espalhada. Esse detector é capaz de realizar medições em diferentes ângulos e distâncias da fonte de radiação, proporcionando uma avaliação abrangente do espalhamento da radiação no ambiente clínico. A precisão deste equipamento é fundamental para a análise dos níveis de radiação que os operadores enfrentam durante as intervenções, permitindo a identificação de áreas de maior risco e a implementação de medidas de proteção adequadas. A figura 4, apresentada a seguir, ilustra o equipamento.



Figura 4 – Detector RTI Scatter Probe

4.4.3. Detector Victoreen 451P Ion Chamber Survey Meter

Complementando as medições, o detector Victoreen 451P foi escolhido por sua alta sensibilidade e precisão na detecção de radiação gama e raios-X, sendo amplamente utilizado em controles de qualidade e radioproteção. O Victoreen 451P é ideal para medições de baixas doses, fornecendo uma interface de fácil leitura com exibição em tempo real das taxas de dose e da dose acumulada, o que permitiu um monitoramento contínuo e preciso das condições de exposição. Sua faixa de medição, variando de 0,1 mR/h até 500 R/h, abrange todas as necessidades do estudo. O equipamento foi devidamente calibrado em laboratório certificado, antes da realização dos testes, garantindo a exatidão necessária para a coleta de dados. A figura 5, apresentada a seguir, ilustra o equipamento.



Figura 5 – Detector Victoreen 451P

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Levantamento da dose dos pacientes

5.1.1. Pacientes do Hospital Privado de Bauru

A análise comparativa dos pacientes submetidos a procedimentos cardiológicos na Hemodinâmica do Hospital Privado de Bauru resultou na confecção de três histogramas separados por PKA, Tempo e Dose, revelando informações importantes sobre a distribuição dos dados e as características das variáveis envolvidas. As figuras 6, 7 e 8 apresentam os histogramas de PKA, Dose e Tempo respectivamente.

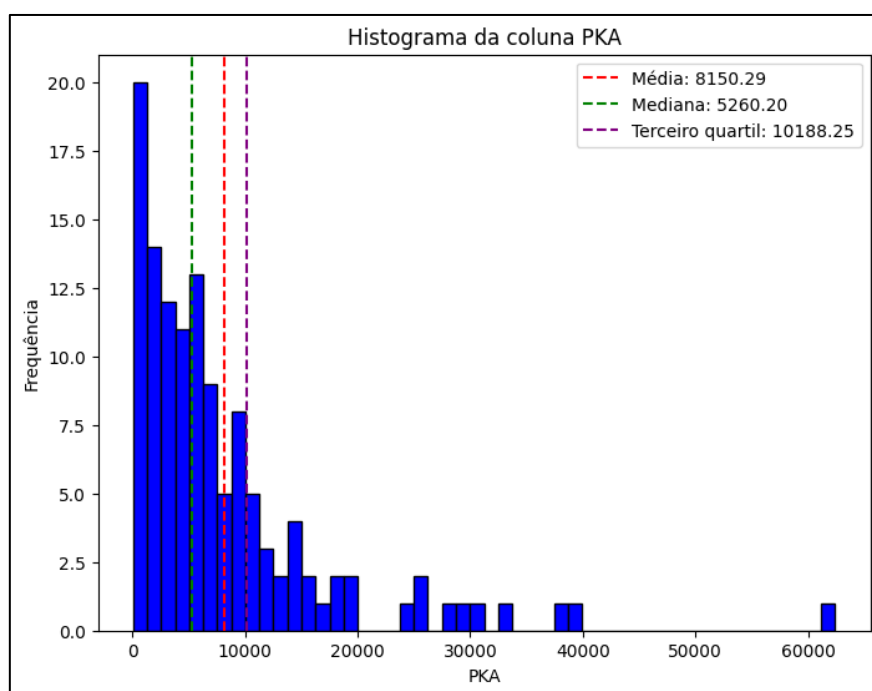


Figura 6 – Histograma de PKA (uGym^2) – Hospital Privado de Bauru

O valor médio de PKA ($8150,29 \text{ uGym}^2$) é relevante, pois o PKA representa o produto entre a dose e a área irradiada, fornecendo uma medida da exposição total do paciente. Em procedimentos hemodinâmicos, valores elevados de PKA podem indicar procedimentos complexos ou longos. A assimetria à direita sugere que, embora a maioria dos procedimentos tenha valores moderados de PKA, alguns pacientes foram expostos à radiação

significativamente maior, provavelmente devido à complexidade do procedimento.

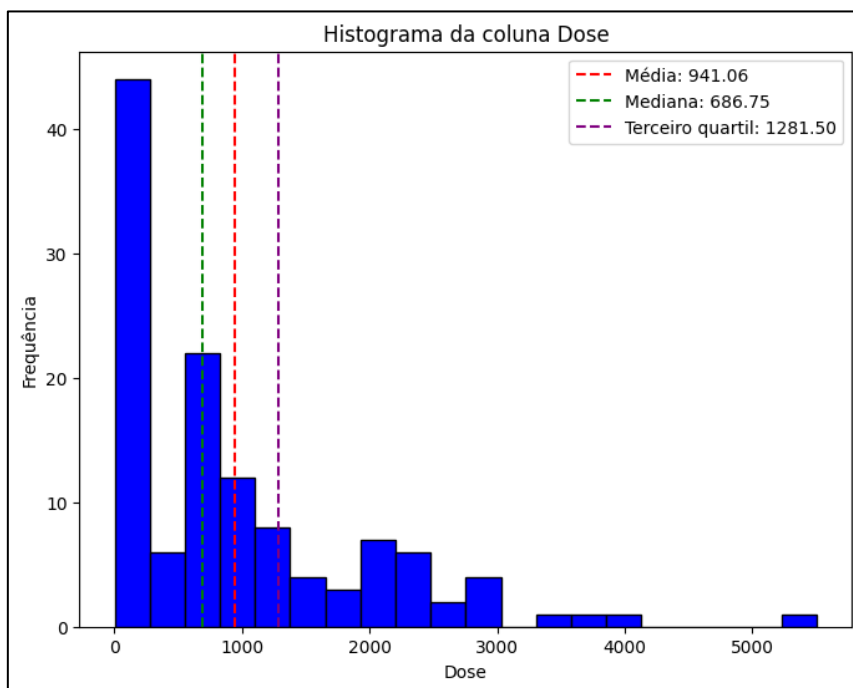


Figura 7 – Histograma de Dose (mGy) - Hospital Privado de Bauru

A dose de radiação administrada durante procedimentos hemodinâmicos cardíacos varia conforme a duração do procedimento e o tipo de intervenção. Com uma média de 941,06 mGy e um terceiro quartil de 1281,50 mGy, a maioria dos pacientes foi exposta a doses moderadas de radiação, o que está de acordo com os protocolos de segurança radiológica. Doses mais elevadas, acima de 3000, podem indicar procedimentos mais longos ou complexos, como revascularizações em múltiplos vasos, procedimentos com o uso de stents ou em pacientes com condições anatômicas complexas.

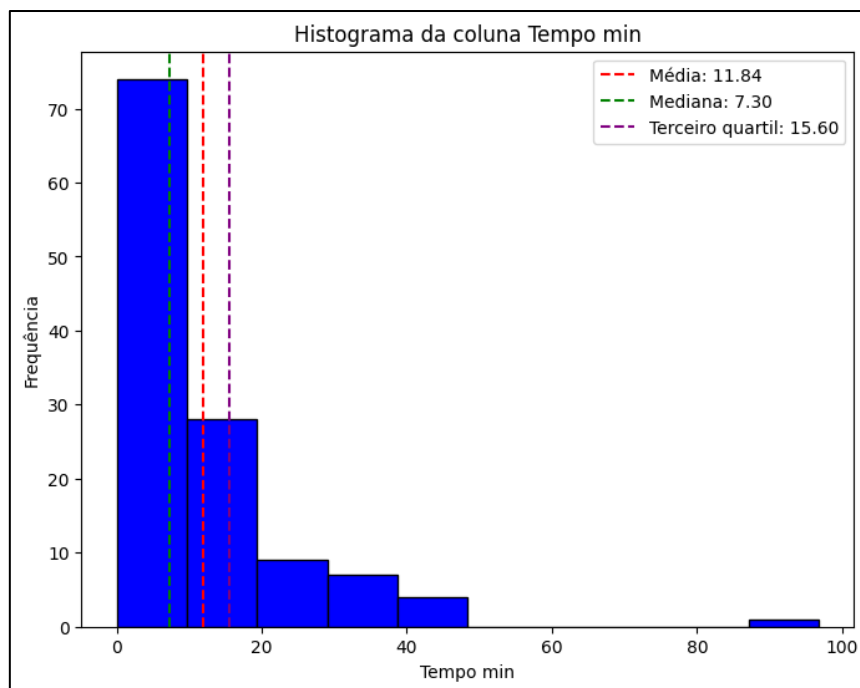


Figura 8 – Histograma de tempo (Min) - Hospital Privado de Bauru

Os tempos observados são consistentes com a prática em hemodinâmica. Procedimentos como angioplastia não ultrapassam 20 minutos em muitos casos, especialmente em situações rotineiras ou em pacientes com complicações limitadas. A média de 11,84 minutos e a mediana de 7,30 minutos mostram que, na maioria dos casos, os procedimentos são relativamente curtos. No entanto, a presença de valores maiores reflete a possível complexidade de alguns casos, como a necessidade de intervenções mais longas como oclusões ou complicações durante o procedimento.

Ao comparar os três conjuntos de dados temos:

- O PKA e a Dose estão diretamente relacionados, pois um aumento no tempo e na complexidade do procedimento reflete-se em ambos. O fato de a mediana do PKA ser maior que a mediana da dose sugere que, embora a área irradiada e o PKA possam ser elevados em alguns casos, a dose em si é mantida sob controle, provavelmente devido a boas práticas de proteção radiológica;
- A média de tempo de 11,84 minutos, comparada à dose, sugere que a maioria dos procedimentos é concluída rapidamente, com exposição moderada à radiação, refletida nas doses. Procedimentos mais longos

tendem a aumentar a dose, conforme observado na cauda da distribuição de ambos os gráficos;

- A assimetria à direita em todos os histogramas destaca que a maioria dos pacientes recebe baixas doses, curtos tempos de procedimento e valores moderados de PKA, enquanto alguns casos excepcionais aumentam as médias.

5.1.2. Pacientes do Hospital Público de Botucatu

De maneira semelhante, foram analisados os pacientes submetidos a procedimentos cardíacos na unidade de Hemodinâmica do Hospital Público de Botucatu. As figuras 9, 10 e 11 apresentam os histogramas de PKA, Dose e Tempo respectivamente.

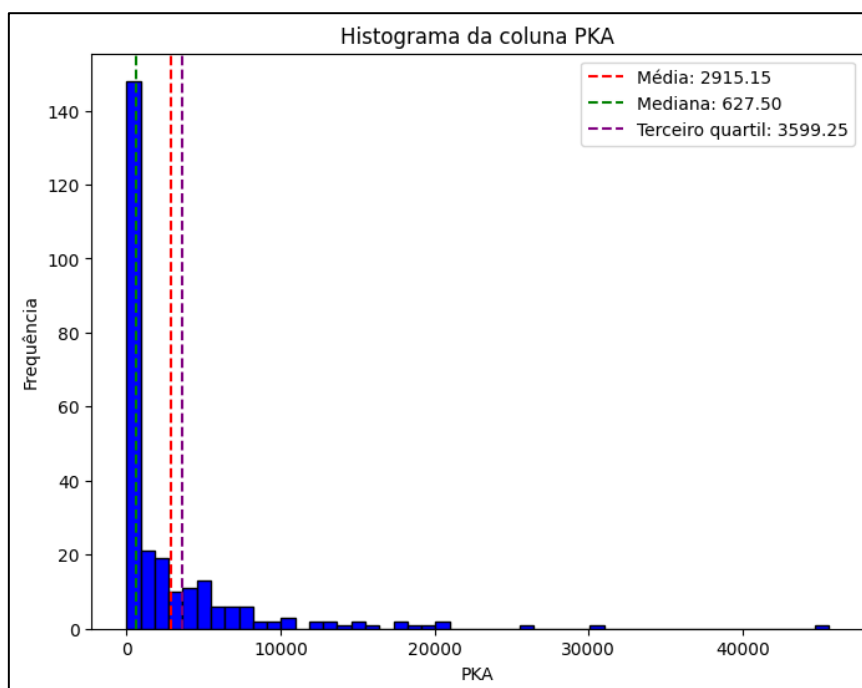


Figura 9 – Histograma de PKA (μGym^2) - Hospital Público de Botucatu

O histograma dos valores de Produto Kerma Área (PKA) revelou uma distribuição assimétrica positiva, com a maioria dos valores concentrados nas faixas mais baixas. A mediana do PKA foi de 627,50 μGym^2 , enquanto a média foi de 2915,15 μGym^2 , indicando a presença de valores elevados que impactam a média e sugerem uma disparidade entre a maioria dos procedimentos e casos específicos. O terceiro quartil, de 3599,25 μGym^2 , mostra que 25% dos valores

de PKA estão consideravelmente acima da média dos demais, reforçando a variabilidade dos dados. Essa distribuição, com uma cauda longa para a direita, aponta que a maioria dos procedimentos utiliza doses relativamente baixas, enquanto uma fração apresenta doses significativamente elevadas. Esses valores mais altos requerem atenção, podendo indicar a necessidade de revisão dos protocolos e estratégias para otimizar a dose de radiação nos procedimentos intervencionistas. A análise sugere que os procedimentos de alta dose devem ser avaliados em termos de complexidade e justificativa clínica, para garantir um equilíbrio entre a eficácia diagnóstica e a minimização da exposição à radiação.

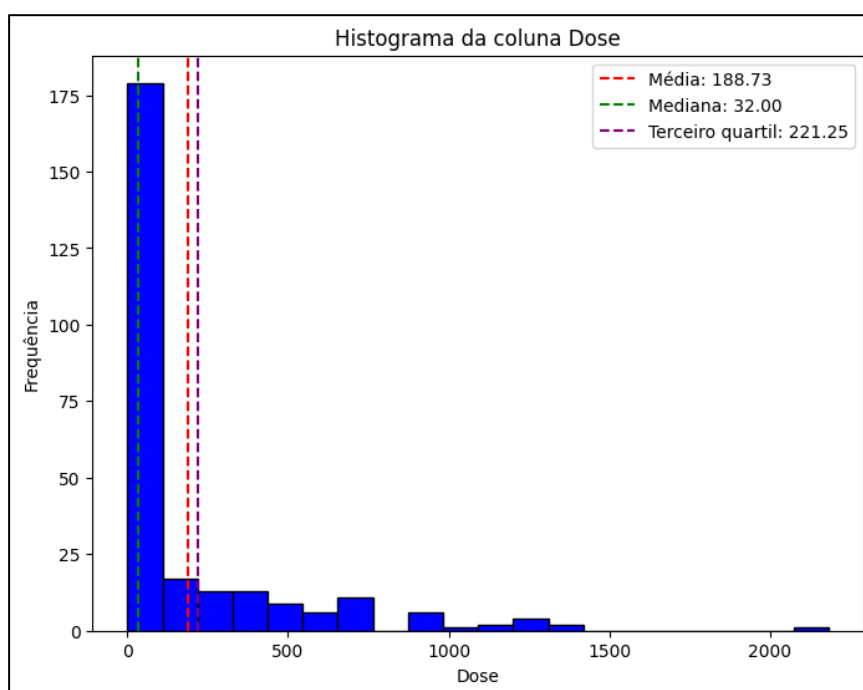


Figura 10 – Histograma de Dose (mGy) - Hospital Público de Botucatu

O histograma dos valores de dose apresentou uma distribuição assimétrica positiva, com a maioria dos valores concentrada na faixa de dose mais baixa. A mediana foi de 32,00 mGy, enquanto a média alcançou 188,73 mGy, indicando a presença de valores extremos que influenciam significativamente a média. O terceiro quartil (221,25 mGy) mostrou que 25% dos procedimentos têm doses superiores a esse valor, sugerindo uma alta variabilidade nos dados. A maioria dos procedimentos foi realizada com doses relativamente baixas, o que é positivo em termos de proteção radiológica, enquanto uma fração menor apresentou doses significativamente mais altas. Em termos de controle de qualidade, é importante focar na padronização e na

otimização dos protocolos para reduzir as exposições elevadas. A diferença substancial entre a média e a mediana reforça que a mediana pode ser um indicador mais representativo do valor central da dose para os procedimentos avaliados porque ela não é influenciada por valores extremos, tornando-se uma medida mais robusta em distribuições assimétricas.

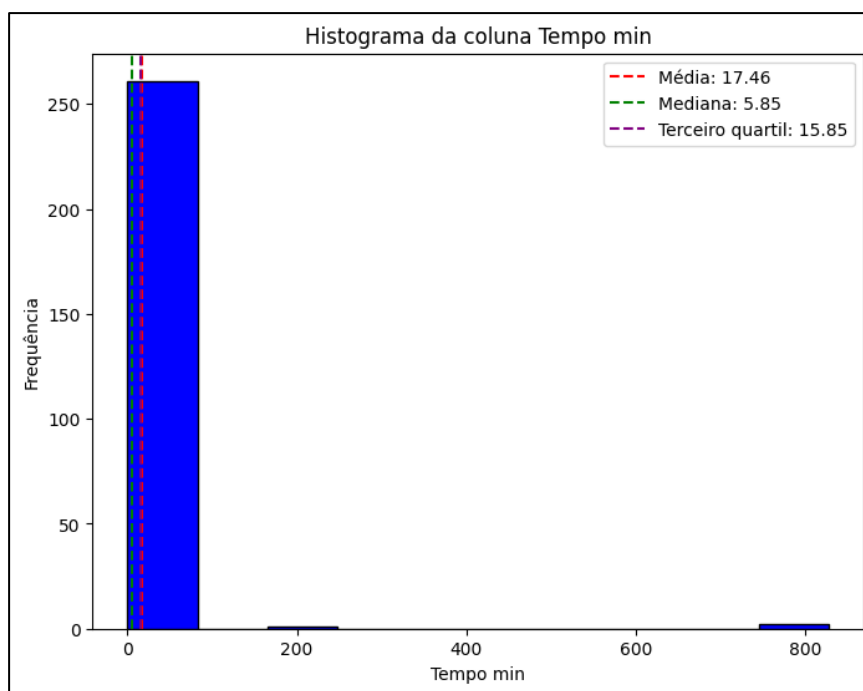


Figura 11 – Histograma de tempo (Min) - Hospital Público de Botucatu

O histograma dos tempos de procedimentos apresentou uma distribuição fortemente assimétrica positiva, com a maioria dos valores concentrada na faixa de tempo mais baixa. A mediana foi de 5,85 minutos, enquanto a média foi de 17,46 minutos. O terceiro quartil (15,85 minutos) mostrou que 75% dos procedimentos duraram menos de 15,85 minutos, enquanto apenas 25% apresentaram tempos mais elevados. A concentração da maioria dos procedimentos em tempos curtos sugere que a rotina clínica está sendo executada de maneira eficiente. A discrepância significativa entre média e mediana indica que a mediana é uma medida mais representativa do valor central do tempo dos procedimentos.

Os histogramas de PKA, Dose e Tempo exibiram distribuição assimétrica positiva, indicando que a maioria dos procedimentos é realizada com valores baixos e que alguns valores extremos aumentam as médias

Ao comparar os três conjuntos de dados temos:

- PKA e Dose: Em ambos os casos, a média foi consideravelmente superior à mediana, indicando que os outliers, ou seja, os valores extremos de alta exposição à radiação, aumentaram a média. Isso reforça a necessidade de atenção às práticas que resultam em altas doses de radiação e PKA, buscando justificativa e otimização para minimizar a exposição desnecessária.
- Tempo: A média também foi substancialmente maior que a mediana, indicando que a maior parte dos procedimentos foi realizada em tempos curtos, enquanto alguns poucos procedimentos, que duraram várias horas, aumentaram a média. Isso pode refletir a necessidade de uma análise mais profunda para entender as razões desses tempos elevados e se há oportunidades para reduzir a variabilidade.

Os três conjuntos de histogramas revelaram importantes oportunidades de intervenção no controle de qualidade e na otimização dos procedimentos como a padronização e otimização dos protocolos pois a variabilidade observada em PKA, dose e o tempo sugere que existe uma oportunidade de padronizar protocolos e reduzir diferenças entre operadores ou equipamentos. Melhorias na padronização poderiam levar a uma diminuição dos outliers e a uma maior consistência nos procedimentos. Treinamento da equipe intervencionista também pode ser considerado um fator essencial para o controle de qualidade pois a disparidade entre os tempos e doses pode ser resultado de diferenças na experiência do operador ou da complexidade dos casos clínicos.

5.1.3. Análise comparativa de ambos os hospitais

A Figura 12 apresenta um gráfico comparativo do PKA entre os dois hospitais, evidenciando diferenças significativas em suas características:

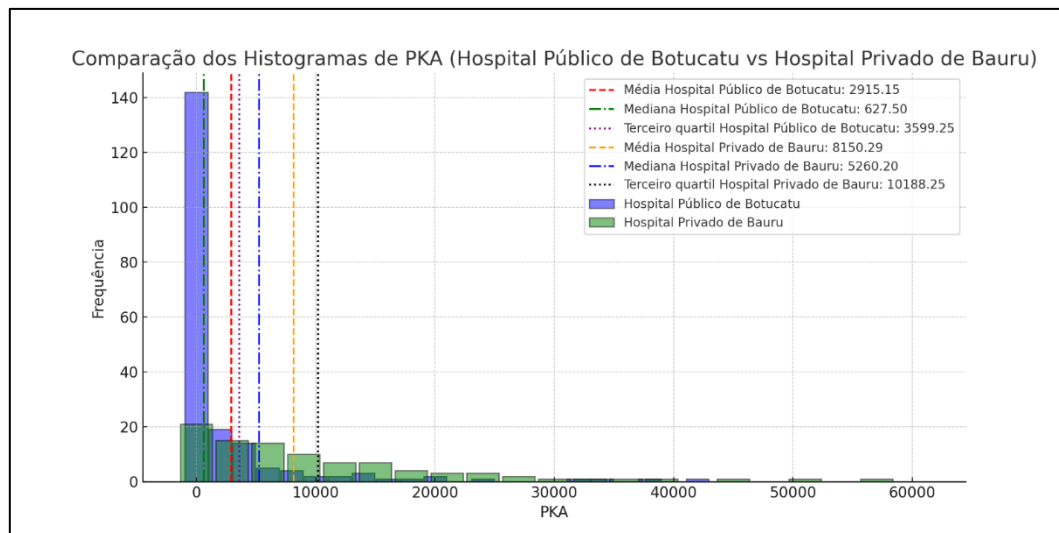


Figura 12 – Comparação do PKA (uGym²) entre os hospitais

- Hospital Público de Botucatu (azul): apresenta uma maior concentração de valores de PKA na faixa inicial, indicando doses relativamente baixas. A média de 2915,15 uGym² está muito acima da mediana de 627,50 uGym², indicando a presença de outliers que aumentam a média, enquanto 75% dos valores estão abaixo do terceiro quartil (3599,25 uGym²).
- Hospital Privado de Bauru (verde): mostra uma distribuição mais dispersa, com uma média maior (8150,29 uGym²) e uma mediana também mais alta (5260,20 uGym²), sugerindo doses mais elevadas em geral. O terceiro quartil é de 10188,25 uGym², evidenciando que as doses mais elevadas ocorrem com mais frequência neste hospital.

O Hospital Público de Botucatu possui uma média e mediana mais baixas, sugerindo um uso mais controlado e consistente da radiação. Já o Hospital Privado de Bauru apresenta uma média e uma dispersão mais elevadas, indicando a necessidade de maior atenção no controle de doses, otimização dos protocolos e treinamento dos operadores. Essas diferenças sugerem que o Hospital Privado de Bauru esteja realizando procedimentos mais complexos ou menos otimizados quanto à dose de radiação.

A Figura 13 apresenta um gráfico comparativo dos histogramas de dose nos pacientes entre os dois hospitais.

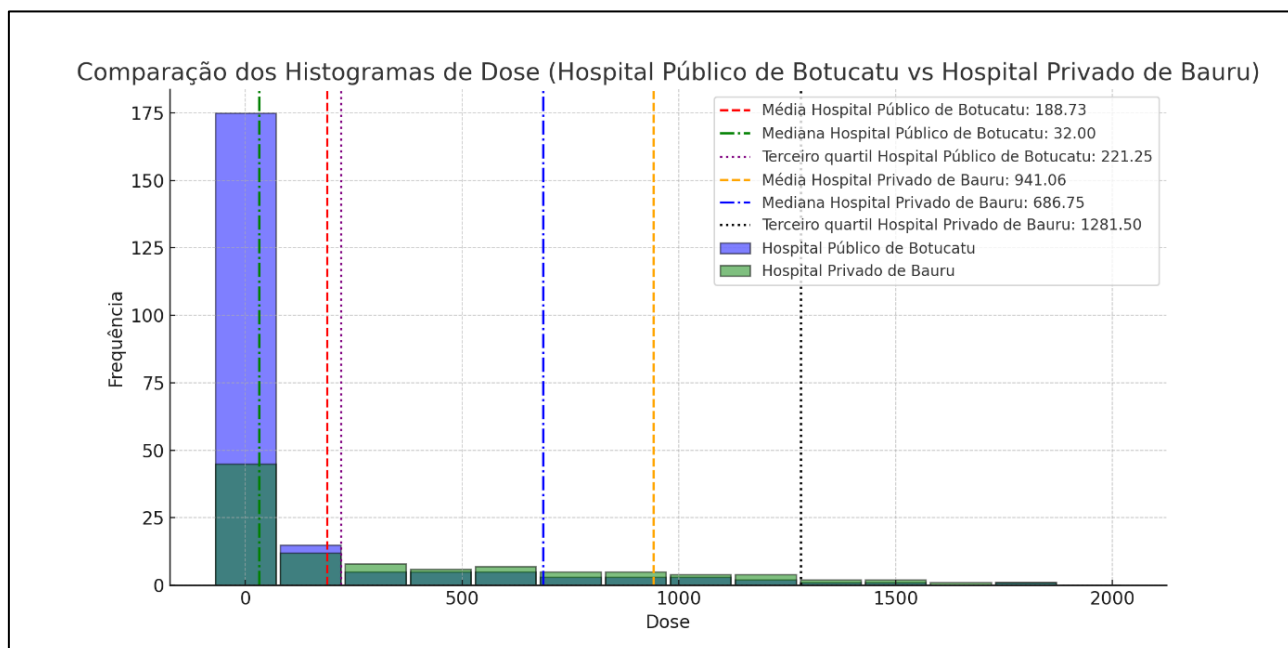


Figura 13 – Comparação de Dose (mGy) entre os hospitais

O Hospital Público de Botucatu tem uma média de dose significativamente mais baixa (188.73 mGy) em comparação com o Hospital Privado de Bauru (941.06 mGy). A mediana no Hospital Público de Botucatu (32.00 mGy) também é muito inferior à do Hospital Privado de Bauru (686.75 mGy). O terceiro quartil do Hospital Privado de Bauru também é maior (1281.50 mGy) em relação ao Hospital Público de Botucatu (221.25 mGy), sugerindo doses mais elevadas no hospital privado.

Em síntese, a análise comparativa das doses de radiação entre o Hospital Público de Botucatu e o Hospital Privado de Bauru evidencia uma prática mais controlada e otimizada no primeiro, com doses significativamente menores e uma menor dispersão. No caso do Hospital Privado de Bauru, as doses mais elevadas, aliadas a uma maior variabilidade, indicam a necessidade de uma reavaliação dos protocolos de exposição radiológica, com vistas a aprimorar a segurança dos pacientes e assegurar que os princípios de radioproteção sejam seguidos de forma rigorosa.

A Figura 14 apresenta um gráfico comparativo dos histogramas de tempo dos procedimentos entre os dois hospitais, ilustrando as diferenças nos tempos de procedimentos, destacando as médias, medianas e os terceiros quartis para ambos.

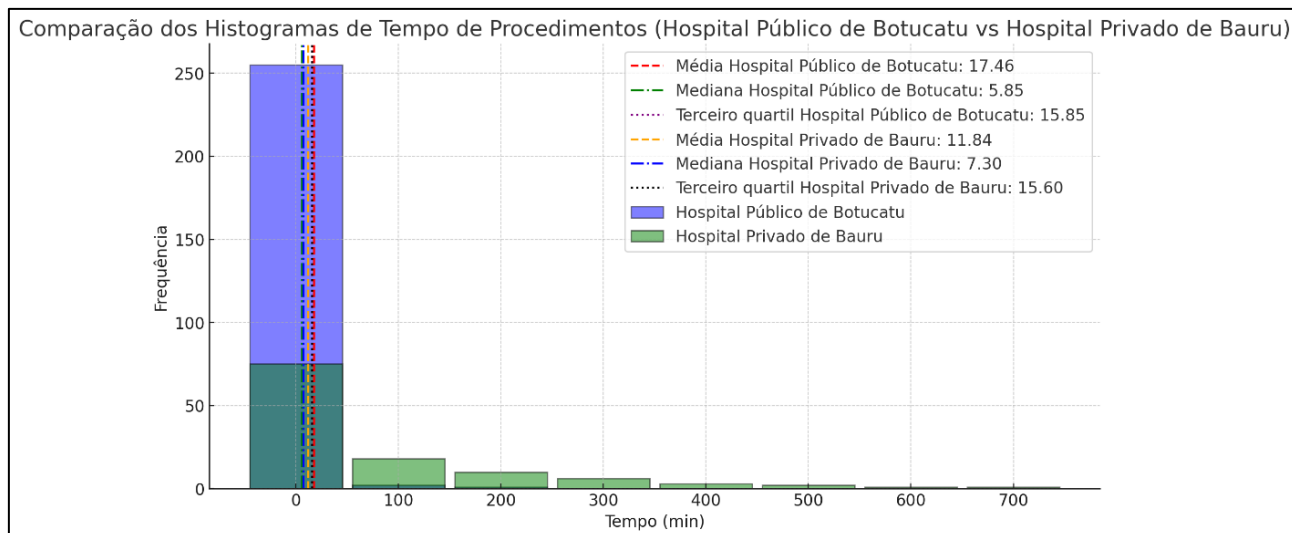


Figura 14 – Comparação de tempo (min) entre os hospitais

O Hospital Público de Botucatu apresenta um tempo médio de 17,46 minutos, enquanto no Hospital Privado de Bauru a média é de 11,84 minutos. A diferença entre essas médias sugere que, em geral, os procedimentos no Hospital Público de Botucatu são mais longos. Esta diferença pode estar associada a fatores como a complexidade dos casos tratados, a disponibilidade de recursos ou a experiência da equipe. Procedimentos mais longos podem, em algumas situações, implicar em uma maior exposição à radiação, dependendo da técnica utilizada, o que reforça a importância de uma gestão eficiente do tempo e da dosimetria.

A comparação revela que, enquanto o Hospital Público de Botucatu lida com uma maior variabilidade nos tempos de procedimentos e apresenta outliers muito mais pronunciados, o Hospital Privado de Bauru tende a manter uma maior consistência em seus processos, com procedimentos mais curtos e menos dispersos. Isso pode refletir diferentes níveis de complexidade dos casos tratados ou variações nos protocolos adotados. No entanto, apesar do tempo mais reduzido no Hospital Privado de Bauru, a dose utilizada é mais alta, uma vez que os profissionais intervencionistas exigem uma melhor qualidade de imagem, o que demanda uma dose maior por quadro. Por outro lado, os

protocolos do Hospital Público de Botucatu são otimizados para minimizar a dose e melhorar a colimação.

O Produto Kerma-Área (PKA) tem sido amplamente utilizado como uma métrica fundamental para monitorar a dose de radiação em procedimentos intervencionistas. (Marques, 2024) em seu artigo, apresentou resultados que o PKA é uma medida eficaz para calcular a dose efetiva e estabelecer níveis de referência diagnóstica locais (LDRLs) para diferentes tipos de procedimentos. Nos dados coletados em ambos os hospitais, os valores de PKA observados são consistentes com aqueles relatados na literatura, com o terceiro quartil servindo como base para estabelecer LDRLs.

Ainda sobre o artigo do expert, o mesmo sugere que a dose efetiva pode ser utilizada como um indicador de segurança em radiologia intervencionista. Com base nos valores de PKA coletados neste trabalho, a dose efetiva foi estimada utilizando as mesmas metodologias apresentadas no artigo, permitindo uma comparação direta com os níveis recomendados pela literatura.

5.2 Levantamento da dose espalhada

5.2.1. Levantamento da dose espalhada do Hospital Público de Botucatu

As tabelas 1 e 2 apresentam os resultados dos levantamentos da dose espalhada do Hospital Público de Botucatu.

Tabela 1. Dose espalhada do Hospital Público de Botucatu com anteparo
A distância do anteparo com o simulador foi de 78 cm (na posição de 100 cm)
e 50 cm (na posição de 70 cm)

Distância	Posição	Taxa de Dose (mGy/min)
100 cm do Simulador	0° Tubo (Lado do operador)	0
100cm do Simulador	90° Tubo (Lado do operador)	0,00075
100cm do Simulador	90° Intensificador	0,000582
70cm do Simulador	0° Tubo (Lado do operador)	0,000114
70cm do Simulador	90° Tubo (Lado do operador)	0,001956
70cm do Simulador	90° Intensificador	0,001512

Fonte: Autor (2024).

Tabela 2. Dose espalhada do Hospital Público de Botucatu sem anteparo

Distância	Posição	Taxa de Dose (mGy/min)
100 cm do Simulador	0° Tubo (Lado do operador)	0,003534
100cm do Simulador	90° Tubo (Lado do operador)	0,03541
100cm do Simulador	90° Intensificador	0,01191
70cm do Simulador	0° Tubo (Lado do operador)	0,00591
70cm do Simulador	90° Tubo (Lado do operador)	0,07878
70cm do Simulador	90° Intensificador	0,01498

Fonte: Autor (2024).

A análise dos dados de dose espalhada no Hospital Público de Botucatu, permite discutir a importância do uso de anteparos na proteção radiológica durante procedimentos intervencionistas, bem como a influência da distância e da posição na taxa de dose recebida pelos operadores e equipamentos adjacentes. As tabelas mostram claramente uma redução significativa das taxas de dose de radiação espalhada com a utilização do anteparo. Em todas as posições e distâncias medidas, a presença do anteparo contribuiu para uma expressiva diminuição da exposição à radiação. Por exemplo, a dose medida a 100 cm do simulador e a 90° do tubo, do lado do operador, foi de 0,03541 mGy/min sem anteparo, enquanto com o anteparo essa dose foi reduzida para apenas 0,00075 mGy/min. Essa diferença ilustra a eficácia do anteparo em proporcionar um ambiente mais seguro, reduzindo substancialmente a dose recebida pelos operadores, especialmente em áreas onde o risco de exposição é maior. O gráfico da figura 15 apresenta as comparações com anteparo e sem anteparo.

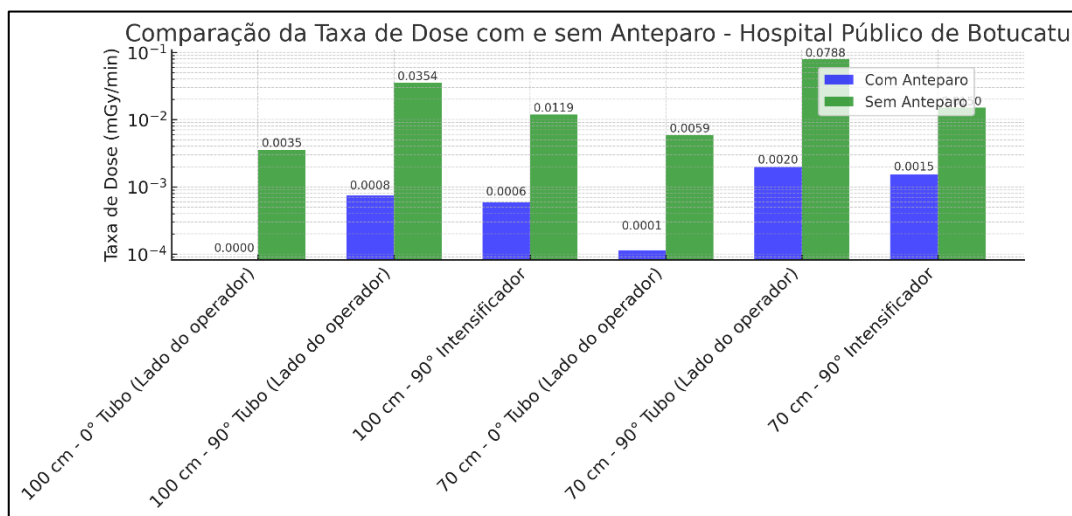


Figura 15 – Comparação da taxa de dose com e sem anteparo – Hospital Público de Botucatu

Outro fator relevante observado nos dados é a influência da distância na dose de radiação espalhada. Em ambas as situações (com e sem anteparo), a dose medida é maior em 70 cm do simulador do que em 100 cm. Isso segue o princípio físico da radiação, onde a intensidade diminui à medida que a distância da fonte aumenta, conforme a lei do inverso do quadrado da distância. Essa observação reforça a importância de manter uma distância segura durante os procedimentos, além de utilizar barreiras físicas como o anteparo para proteção adicional.

A posição relativa ao simulador também tem um papel importante nas taxas de dose. Os resultados mostram que as maiores taxas de dose foram registradas a 70 cm do simulador na posição de 90° do tubo, do lado do operador. Isso indica que há uma concentração maior de radiação espalhada nessa posição, justificando a necessidade de proteção reforçada. O uso do anteparo parece ser particularmente eficaz na posição de 0° do tubo, onde a taxa de dose foi reduzida a zero com o anteparo, enquanto sem ele a dose era de 0,003534 mGy/min a 100 cm. Esse dado destaca que, além de reduzir a exposição de operadores, o anteparo também influencia a proteção em posições específicas, como a área do intensificador.

A redução da dose proporcionada pelo anteparo é especialmente relevante em distâncias menores, como 70 cm. Nesse caso, a taxa de dose na posição de 90° do tubo (lado do operador) sem o anteparo foi de 0,07878 mGy/min, enquanto com o anteparo foi reduzida para 0,001956 mGy/min. Isso demonstra que, em situações em que os operadores precisam estar próximos ao paciente ou à fonte de radiação, a utilização de anteparos protetores se torna ainda mais crucial para minimizar a exposição.

Além disso, a comparação das taxas de dose na posição de 90° do intensificador também evidenciou uma redução significativa com o uso do anteparo, sugerindo que, além de proteger os operadores, o anteparo também oferece uma proteção adicional a dispositivos adjacentes. Esse dado é relevante, pois mostra que a proteção radiológica proporcionada pelo anteparo vai além da proteção individual e contribui para a integridade dos equipamentos de imagem.

A redução na taxa de dose ao utilizar o anteparo na posição de 100 cm e 90° do tubo (lado do operador) foi de aproximadamente 97,88%. Esse valor

destaca a eficácia do anteparo em minimizar a exposição à radiação, sendo fundamental para justificar a sua recomendação em ambientes clínicos como parte de uma estratégia abrangente de proteção radiológica.

5.2.2. Levantamento da dose espalhada do Hospital Privado de Bauru

As tabelas 3 e 4 apresentam os resultados dos levantamentos da dose espalhada do Hospital Privado de Bauru.

Tabela 1. Dose espalhada do Hospital Privado de Bauru com anteparo
A distância do anteparo com o simulador foi de 78 cm (na posição de 100 cm)
e 50 cm (na posição de 70 cm)

Distância	Posição	Taxa de Dose (mGy/min)
100 cm do Simulador	0° Tubo (Lado do operador)	0,003
100cm do Simulador	90° Tubo (Lado do operador)	0,0037
100cm do Simulador	90° Intensificador	0,0026
70cm do Simulador	0° Tubo (Lado do operador)	0,00416
70cm do Simulador	90° Tubo (Lado do operador)	0,0045
70cm do Simulador	90° Intensificador	0,0048

Fonte: Autor (2024).

Tabela 2. Dose espalhada do Hospital Privado de Bauru sem anteparo

Distância	Posição	Taxa de Dose (mGy/min)
100 cm do Simulador	0° Tubo (Lado do operador)	0,0113
100cm do Simulador	90° Tubo (Lado do operador)	0,013
100cm do Simulador	90° Intensificador	0,0683
70cm do Simulador	0° Tubo (Lado do operador)	0,0175
70cm do Simulador	90° Tubo (Lado do operador)	0,0333
70cm do Simulador	90° Intensificador	0,014

Fonte: Autor (2024).

A análise dos dados de dose espalhada no Hospital Privado de Bauru, comparando medições com e sem o uso de anteparo, permite discutir a eficiência dos anteparos na proteção radiológica e a importância de seu uso em procedimentos intervencionistas. As medições foram realizadas a distâncias de 100 cm e 70 cm do simulador, com as respectivas posições de 0° e 90° em relação ao tubo e ao intensificador, observando-se o efeito da radiação espalhada nas condições descritas. As tabelas demonstram que a presença do

anteparo contribui para uma redução significativa da taxa de dose em todas as posições e distâncias avaliadas. Em 100 cm do simulador, na posição de 0° do tubo (lado do operador), a taxa de dose sem o anteparo foi de 0,0113 mGy/min, enquanto com o anteparo a taxa foi reduzida para 0,003 mGy/min. Esse exemplo específico evidencia a importância do anteparo, que proporciona uma diminuição significativa da exposição à radiação, garantindo maior segurança aos profissionais que operam o equipamento de imagem. O gráfico da figura 15 apresenta as comparações com anteparo e sem anteparo.

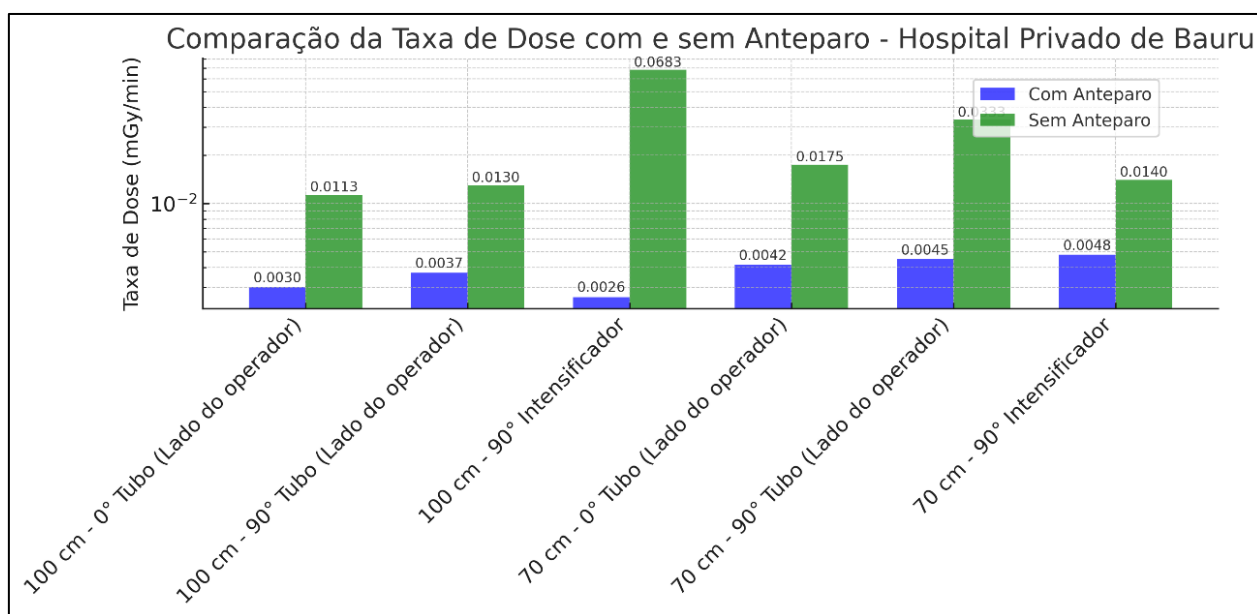


Figura 15 – Comparação da taxa de dose com e sem anteparo – Hospital Privado de Bauru

A influência da distância na dose de radiação espalhada é outro fator relevante observado. As taxas de dose são mais elevadas em 70 cm do simulador do que em 100 cm, conforme previsto pela lei do inverso do quadrado da distância, que determina que a intensidade da radiação decresce à medida que a distância da fonte aumenta. Por exemplo, na posição de 0° do tubo a 70 cm, a taxa de dose sem anteparo é de 0,0175 mGy/min, comparada a 0,00416 mGy/min com o uso do anteparo. Esse dado reforça a necessidade de associar o uso de anteparos a uma distância adequada para reduzir a exposição em procedimentos de radiologia intervencionista.

Além disso, a análise por posição revelou diferenças nas taxas de dose, especialmente na posição de 90° em relação ao tubo e ao intensificador. As maiores taxas de dose foram registradas na posição de 90° do intensificador a

100 cm do simulador, onde a dose sem anteparo foi de 0,0683 mGy/min e com anteparo foi reduzida para 0,0026 mGy/min. Essa redução significativa demonstra a eficácia dos anteparos em minimizar a radiação espalhada, mesmo nas posições mais críticas em termos de exposição.

Ao calcular a proporção de redução de dose, é possível quantificar a eficiência do anteparo. Na posição de 100 cm e 90° do tubo (lado do operador), a taxa de dose foi reduzida em aproximadamente 77,69%. Essa redução expressiva reforça a importância do uso de anteparos como parte das medidas de proteção radiológica em ambientes clínicos, garantindo a segurança dos operadores e a conformidade com as normativas vigentes.

5.2.3. Análise comparativa de ambos os hospitais

A comparação entre as medições de dose espalhada realizadas no Hospital Público de Botucatu e no Hospital Privado de Bauru revela importantes distinções e semelhanças quanto à eficácia dos anteparos na proteção radiológica. Em ambos os cenários, os dados coletados sugerem que o uso de anteparos reduz significativamente a taxa de dose de radiação espalhada, embora os valores específicos e as proporções de redução apresentem algumas variações relevantes.

No Hospital Público de Botucatu, os resultados indicam uma expressiva diminuição na taxa de dose em todas as posições e distâncias avaliadas, com uma redução de aproximadamente 97,88% na posição de 100 cm e 90° do tubo (lado do operador) ao se utilizar o anteparo. Essa elevada redução ressalta a eficácia do anteparo nesse contexto específico, garantindo maior segurança aos operadores dos equipamentos de imagem e minimizando a exposição à radiação. Por outro lado, no Hospital Privado de Bauru, a proporção de redução também se mostra relevante, embora de menor magnitude em comparação com o hospital público. Na mesma posição (100 cm e 90° do tubo), a redução foi de cerca de 77,69% ao utilizar o anteparo. Apesar de a redução ser inferior à observada no Hospital Público de Botucatu, os dados ainda corroboram a importância do uso do anteparo como uma medida protetiva eficaz.

Uma análise detalhada dos valores absolutos das taxas de dose nos dois hospitais revela que, mesmo com o anteparo, as taxas de dose no Hospital Privado de Bauru tendem a ser ligeiramente mais altas do que as registradas no Hospital Público de Botucatu. Isso pode ser atribuído a diferenças nas condições operacionais, como a configuração dos equipamentos, a proximidade dos operadores ao simulador e a eficácia específica dos anteparos utilizados em cada instituição.

Ambos os estudos sublinham a importância de uma abordagem integrada de proteção radiológica, na qual o uso de anteparos é combinado com o distanciamento adequado dos operadores e a otimização dos procedimentos. A diferença nas proporções de redução observadas entre os dois hospitais reforça a necessidade de considerar as especificidades de cada ambiente clínico para a implementação de estratégias de proteção radiológica, visando sempre atender ao princípio ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*). A figura 16 apresenta o gráfico comparativo entre os dois hospitais.

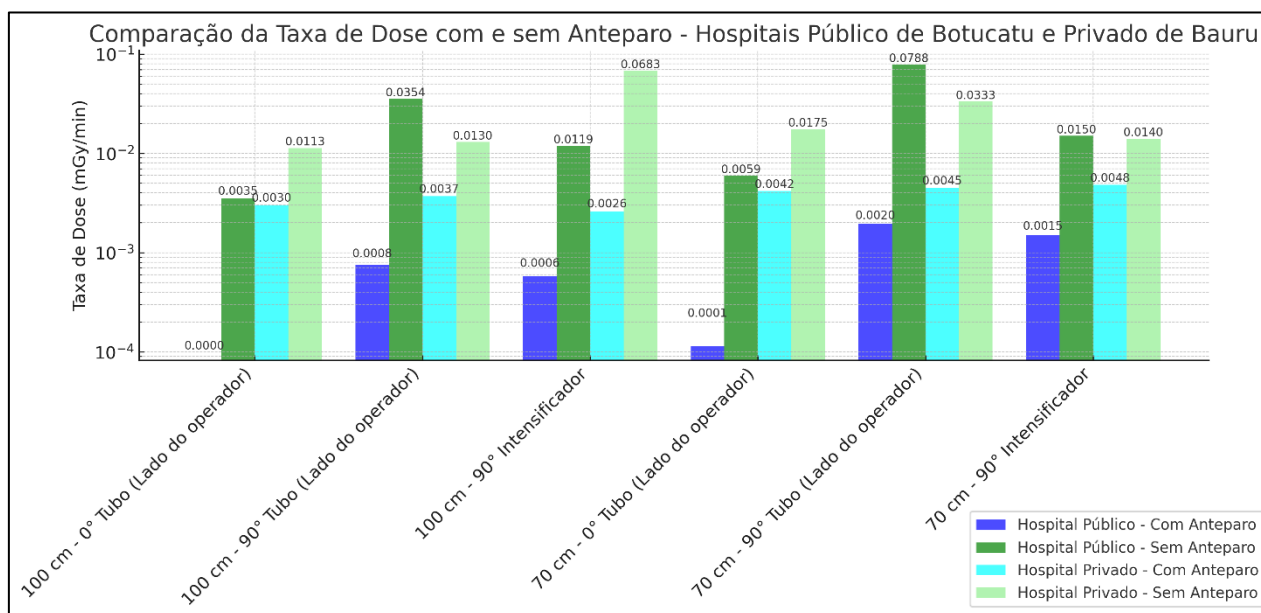


Figura 16 – Comparação da taxa de dose entre os dois hospitais

Além do uso de anteparos, a utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) é fundamental para a proteção dos profissionais envolvidos em atividades intervencionistas. De acordo com a International Commission on Radiological Protection (ICRP), as normas da American Association of Physicists in Medicine (AAPM) e a CNEN 3.01/2024, a utilização de aventais plumbíferos,

protetores de tireoide, óculos de proteção radiológica e luvas plumbíferas é crucial para minimizar a dose recebida por trabalhadores durante procedimentos que envolvem radiação ionizante. Esses EPIs funcionam como uma barreira adicional contra a radiação espalhada, contribuindo para a redução da exposição cumulativa em operadores que, frequentemente, estão em contato próximo com a fonte de radiação durante procedimentos intervencionistas.

A norma CNEN 3.01/2024, que regulamenta a proteção radiológica em instalações que utilizam radiação ionizante, enfatiza a obrigatoriedade do uso de EPIs adequados e de anteparos em procedimentos radiológicos e intervencionistas. Esta norma estabelece os limites de dose para os trabalhadores e destaca a necessidade de implementação de um programa de proteção radiológica que inclua o monitoramento contínuo das doses recebidas e a manutenção de práticas que reduzam a exposição.

A literatura destaca que a combinação entre a utilização de anteparos fixos e móveis e o uso adequado de EPIs pode reduzir drasticamente os riscos ocupacionais associados à exposição à radiação.

Dessa forma, a implementação dos anteparos nos hospitais analisados, aliada ao uso rigoroso de EPIs conforme as orientações da CNEN 3.01/2024, demonstra-se uma prática essencial para a mitigação das doses de radiação espalhada, sobretudo em cenários onde a proximidade entre os operadores e a fonte de radiação é imprescindível. As evidências obtidas destacam a importância de uma abordagem integrada, na qual a utilização de barreiras físicas, o distanciamento adequado e a otimização dos procedimentos compõem uma estratégia holística de proteção radiológica. A utilização de anteparos e EPIs, aliada a uma criteriosa organização do espaço de trabalho, converge para a concretização dos princípios da proteção radiológica, promovendo um ambiente clínico mais seguro e eficaz para todos os envolvidos.

6 CONCLUSÕES

A análise comparativa dos procedimentos em pacientes e os levantamentos radiométricos nos hospitais público de Botucatu e privado de Bauru demonstra a eficácia das práticas de proteção radiológica adotadas, mantendo as exposições abaixo dos limites regulamentares da CNEN 3.01/2024 para indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE). O uso de anteparos reduz significativamente as taxas de dose, garantindo que a exposição dos profissionais se mantenha abaixo do limite de 20 mSv/ano. Embora o Hospital Privado de Bauru apresente valores médios de dose e PKA superiores aos do Hospital Público de Botucatu, ambos se beneficiam de uma estratégia integrada de proteção que inclui EPIs e otimização de protocolos. Ignorar esses protocolos pode resultar em consequências sociais significativas para os intervencionistas, como problemas de saúde a longo prazo, incluindo catarata e maior risco de desenvolvimento de câncer, afetando diretamente sua qualidade de vida e capacidade de trabalho. Isso pode comprometer a confiança dos trabalhadores no ambiente clínico, gerando um ambiente de trabalho menos seguro e produtivo. Além disso, as consequências econômicas para as instituições também são relevantes, como afastamentos médicos, custos de reposição de pessoal e possíveis implicações legais devido ao não cumprimento das normas de proteção radiológica, afetando a sustentabilidade financeira e operacional dos serviços de saúde.

REFERÊNCIAS

ATTIX, Frank Herbert. **Introduction to radiological physics and radiation dosimetry**. John Wiley & Sons, 2008.

BRAUNWALD, Eugene. Tratado de doenças cardiovasculares. In: **Tratado de doenças cardiovasculares**. 2005.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora NR 16 – Atividades e Operações Perigosas. Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. Diário Oficial da União, 06 jul. 1978. Alterada pela Portaria MTE n.º 1.418, de 27 de agosto de 2024.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora NR 6 – Equipamentos de Proteção Individual (EPI). Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. Diário Oficial da União, 06 jul. 1978. Alterada pela Portaria MTP n.º 2.175, de 28 de julho de 2022, e Portaria MTP n.º 4.219, de 20 de dezembro de 2022.

CANEVARO, Lucia. Aspectos físicos e técnicos da radiologia intervencionista. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 3, n. 1, p. 101-115, 2009.

CHARLES, Monty W. ICRP Publication 103: Recommendations of the ICRP. 2008.

CHIDA, Koichi et al. Occupational dose in interventional radiology procedures. **American Journal of Roentgenology**, v. 200, n. 1, p. 138-141, 2013.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Norma CNEN NN 3.01: Requisitos básicos de radioproteção e segurança radiológica de fontes de

radiação. Resolução CNEN 323/24, publicada no Diário Oficial da União em 18 de abril de 2024.

DANCE, D. R. et al. Diagnostic radiology physics. **International Atomic Energy Agency**, v. 299, p. 12-14, 2014.

DA SILVA, Matheus Vinicius Barbosa et al. Caracterização do perfil epidemiológico da mortalidade por doenças cardiovasculares no Brasil: um estudo descritivo. **Enfermagem Brasil**, v. 21, n. 2, p. 154-165, 2022.

FERRETTI, Fatima et al. Impact of a health education program on the elderly's knowledge about cardiovascular diseases. **Revista de Salud Pública**, v. 16, n. 6, p. 807-820, 2014.

GELEIJNS, Jacob; WONDERGEM, Jan. X-ray imaging and the skin: radiation biology, patient dosimetry and observed effects. **Radiation protection dosimetry**, v. 114, n. 1-3, p. 121-125, 2005.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. Tratado de Fisiologia Médica. 14^a ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2021.

GEORGE A, Mensah et al. Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risks, 1990-2022. 2023.

HÄUSLER, Uwe; CZARWINSKI, Renate; BRIX, Gunnar. Radiation exposure of medical staff from interventional x-ray procedures: a multicentre study. **European radiology**, v. 19, p. 2000-2008, 2009.

JACOB, Sophie et al. Eye lens radiation exposure to interventional cardiologists: a retrospective assessment of cumulative doses. **Radiation Protection Dosimetry**, v. 153, n. 3, p. 282-293, 2013.

KIM, Kwang Pyo et al. Occupational radiation doses to operators performing fluoroscopically-guided procedures. **Health physics**, v. 103, n. 1, p. 80-99, 2012.

KNOLL, Glenn F. **Radiation detection and measurement**. John Wiley & Sons, 2010.

LINCH, Graciele Fernanda da Costa et al. Unit of hemodynamics: the production of the knowledge. **Revista Gaúcha de Enfermagem**, v. 30, p. 742-749, 2009.

Malta, D.C., Teixeira, R.A., Oliveira, G.M.M., Ribeiro, A.L.P., & Brant, L.C.C. (2023). *Estatística Cardiovascular – Brasil 2023*. Arquivos Brasileiros de Cardiologia, 120(4), 1-2.

MARQUES, Túlio Guilherme Soares. **Estimativa de dose efetiva em procedimentos de radiologia intervencionista utilizando Simulação de Monte Carlo**. 2024.

MENSAH, George A.; FUSTER, Valentin; ROTH, Gregory A. A heart-healthy and stroke-free world: using data to inform global action. **Journal of the American College of Cardiology**, v. 82, n. 25, p. 2343-2349, 2023.

MILLER, Donald L. Review of air kerma-area product, effective dose and dose conversion coefficients for non-cardiac interventional fluoroscopy procedures. **Medical physics**, v. 47, n. 3, p. 975-982, 2020.

MOURA, Regina; BACCHIM, Fernando Antonio. Proteção radiológica aplicada à radiologia intervencionista. **Jornal Vascular Brasileiro**, v. 14, n. 3, p. 197-199, 2015.

OKUNO, EMICO; YOSHIMURA, E. Radiação. **Física das Radiações**, p. 11-29, 2010.

PODGORSAK, Ervin B. **Radiation oncology physics: a handbook for teachers and students**. 2005.

PRASAD, K. N.; COLE, W. C.; HAASE, G. M. Radiation protection in humans: extending the concept of as low as reasonably achievable (ALARA) from dose to biological damage. **The British journal of radiology**, v. 77, n. 914, p. 97-99, 2004.

PROTECTION, Radiological. ICRP publication 103. **Ann ICRP**, v. 37, n. 2.4, p. 2, 2007.

ROTHKAMM, Kai; LÖBRICH, Markus. Evidence for a lack of DNA double-strand break repair in human cells exposed to very low x-ray doses. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 100, n. 9, p. 5057-5062, 2003.

SCHUCH, Franciely Fernanda. **Estudo e desenvolvimento de dosímetros opticamente estimulados para aplicações em radioterapia**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SOARES, Flávio Augusto Penna; PEREIRA, Aline Garcia; FLÔR, Rita de Cássia. Utilização de vestimentas de proteção radiológica para redução de dose absorvida: uma revisão integrativa da literatura. **Radiologia Brasileira**, v. 44, p. 97-103, 2011.

STECKER, Michael S. et al. Guidelines for patient radiation dose management. **Journal of Vascular and Interventional Radiology**, v. 20, n. 7, p. S263-S273, 2009.

TAUHATA, Luiz et al. **Radioproteção e dosimetria: fundamentos**. CBPF, 2003.

VANO, Eliseo et al. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. **Radiation research**, v. 174, n. 4, p. 490-495, 2010.

WAGNER, Louis K.; EIFEL, Patricia J.; GEISE, Richard A. Potential biological effects following high X-ray dose interventional procedures. **Journal of Vascular and Interventional Radiology**, v. 5, n. 1, p. 71-84, 1994.

WARDMAN, P. The importance of radiation chemistry to radiation and free radical biology (The 2008 Silvanus Thompson Memorial Lecture). **The British journal of radiology**, v. 82, n. 974, p. 89-104, 2009.