

## Artigo Original

# Avaliação da radiação espalhada e do impacto dos dispositivos locais de proteção em laboratório de cardiologia intervencionista

Igor Ribeiro de Castro Bienert<sup>a,\*</sup>, Luiz Carlos Ferreira Jr.<sup>a</sup>, Paulo André da Silva<sup>a</sup>, Daniela Tomie Kasama Miwa<sup>a</sup>, Carla Liberato Bastos Florêncio<sup>a</sup>, Rodrigo Lupp Mota<sup>a</sup>, Fabio Salermo Rinaldi<sup>a</sup>, Pedro Beraldo de Andrade<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Hospital das Clínicas, Faculdade Estadual de Medicina de Marília, Marília, SP, Brasil

<sup>b</sup> Santa Casa de Misericórdia de Marília, Marília, SP, Brasil

### INFORMAÇÕES SOBRE O ARTIGO

#### Histórico do artigo:

Recebido em 11 de novembro de 2015

Aceito em 2 de março de 2016

#### Palavras-chave:

Radiação ionizante  
Proteção radiológica  
Diagnóstico por imagem

### RESUMO

**Introdução:** As aplicações médicas representam a maior fonte de exposição radiológica ionizante e, neste contexto, é de especial importância a questão do risco profissional. Embora existam diferentes sensibilidades à radiação dos distintos órgãos do corpo humano, avaliações específicas do impacto nas diversas regiões do corpo do operador, com diferentes dispositivos de radioproteção, são raras em nosso meio.

**Métodos:** Teste de radiação espalhada foi realizado com câmara de ionização em estação de fluoroscopia, com jogo de acessórios de radioproteção padrão do equipamento (saia inferior e escudo móvel superior, em duas diferentes posições), a distâncias sequenciais em relação à fonte, utilizando fantoma de acrílico em simulação de tórax humano.

**Resultados:** Foram identificadas diferenças na radiação em relação à distância e ao uso dos dispositivos de radioproteção. A redução mediana da radiação foi de 50,6% (intervalo interquartil – IQ de 39,42% a 51,05%) com uso do escudo saia inferior, 71,3% (IQ de 67,66% a 77,05%) com adição de escudo superior em posicionamento angulado e 84,7% (IQ de 83,75% a 85,87%) com adição de escudo superior em linha ao escudo inferior. Diferenças significativas foram encontradas ainda em relação à altura e à distância da fonte.

**Conclusões:** O uso dos dispositivos locais de radioproteção avaliados se mostrou efetivo na redução global do impacto radiológico ao operador, havendo, no entanto, vias de escape de radiação, especialmente com posicionamento não ideal, demonstrando a importância do uso adicional dos dispositivos de proteção individuais.

© 2016 Sociedade Brasileira de Hemodinâmica e Cardiologia Intervencionista. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Este é um artigo Open Access sob a licença de CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Evaluation of scattered radiation and impact of local protective devices in an interventional cardiology laboratory

### ABSTRACT

**Background:** Medical applications are the main source of ionizing radiation exposure, and in this context the issue of occupational risk is particularly important. Although the different organs of the human body present different radiation sensitivities, specific assessments of the impact on the different regions of the interventionalist's body with diverse radioprotection devices are rare in Brazil.

**Methods:** A scattered radiation test was performed using an ionization chamber in a fluoroscopy station, with standard radioprotection accessory kit of the equipment (lower skirt and upper movable shield, in two different positions), at sequential distances from the source, using acrylic phantoms as human chest simulation.

**Results:** Differences in radiation were identified in relation to distance and use of radioprotection devices. The median radiation reduction was 50.6% (interquartile range – IQ from 39.42% to 51.05%) using the lower skirt shield, 71.3% (IQ from 67.66% to 77.05%) with the addition of an upper shield in angulated position, and 84.7% (IQ from 83.75% to 85.87%) with the addition of an upper shield aligned with the lower shield. Significant differences were also found regarding height and distance from the source.

#### Keywords:

Radiation, ionizing  
Radiological protection  
Diagnostic imaging

\* Autor para correspondência: Serviço de Hemodinâmica do Hospital das Clínicas de Marília, Rua Aziz Atallah, s/n, 1º andar, Fragata, CEP: 17519-101, Marília, SP, Brasil.

E-mail: [bienert@famema.br](mailto:bienert@famema.br) (I.R.C. Bienert).

A revisão por pares é de responsabilidade da Sociedade Brasileira de Hemodinâmica e Cardiologia Intervencionista.

**Conclusions:** The use of the assessed local radioprotection devices was effective in reducing the overall radiological impact to the interventionist. However, there were radiation escape routes, especially with non-ideal positioning, demonstrating the importance of the additional use of individual protection devices.

© 2016 Sociedade Brasileira de Hemodinâmica e Cardiologia Intervencionista. Published by Elsevier Editora Ltda. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Introdução

As aplicações médicas representam a maior fonte de exposição radiológica ionizante artificial da população na atualidade. Dentre os campos de aplicação médica, é de especial importância a questão do risco profissional, que é tanto maior quanto mais exposto for à fonte de radiação, e quanto mais longo o tempo de exposição. Neste contexto, médicos intervencionistas são rotineiramente expostos à radiação ionizante e, dentre os profissionais expostos à radiação, os cardiologistas intervencionistas são os que acumulam a maior carga recebida, principalmente devido à exposição à radiação espalhada do paciente, o qual recebe o feixe primário de raios X.<sup>1</sup> Consequentemente, operadores de técnicas intervencionistas radiológicas têm como princípio a obtenção do *as low as reasonably achievable* (ALARA),<sup>2</sup> limitando à duração da exposição, aumentando a distância da fonte de radiação e mantendo escudos de proteção radiológica.

As literaturas nacional<sup>3-5</sup> e internacional<sup>6-8</sup> descrevem efeitos deletérios das radiações ionizantes (tabela 1), assim como padrões máximos de recomendação quanto à exposição ocupacional acumulada, de acordo com a área afetada (tabela 2).

**Tabela 1**  
Efeito de radioexposição aguda em adulto<sup>3</sup>

Forma	Dose absorvida	Sintomatologia
Infraclínica	Inferior a 1 Gy	Ausência de sintomatologia na maioria dos indivíduos
Reações gerais leves	1-2 Gy	Asthenia, náuseas, vômitos (3 a 6 horas após a exposição)
Hematopoiética leve	2-4 Gy	Função medular comprometida (linfopenia, leucopenia, trombopenia e anemia); recuperação em 6 meses
Hematopoiética grave	4-6 Gy	Função medular gravemente atingida
Dose letal mediana (DL50)	4,0-4,5 Gy	Morte de 50% dos indivíduos irradiados
Gastrointestinal	6-7 Gy	Diarreia, vômitos, hemorragias, morte em 5 a 6 dias
Pulmonar	8-9 Gy	Insuficiência respiratória aguda, coma e morte em 14 a 36 horas
Cerebral	Superior a 10 Gy	Morte em poucas horas

**Tabela 2**  
Limites de doses equivalentes de radiação a operadores

Área de exposição	mSv/ano
Cristalino	20
Tireoide	150
Pele	500
Dose efetiva anual	20 por 5 anos consecutivos de trabalho OU 50 em 1 ano

Fonte: Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Rio de Janeiro: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação; 2014 [cited 2016 Jan 30]. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>

Usualmente, o conjunto padrão de proteção radiológica inclui equipamentos de proteção individual, como avental de radioproteção e colar de tireoide, ambos com 0,5 mm de equivalência de chumbo, e os óculos de proteção, construídos com vidro plumbífero 0,75 mm. Ainda, dispositivos de proteção locais na estação de fluoroscopia, como escudo de vinil plumbífero, tipo saia, na região inferior da mesa (com ou sem anteparo adicional rebatível), e escudo móvel suspenso de vidro com cortina de vinil plumbífero, ambos com 0,5 mm de equivalência de chumbo, são adotados universalmente, fornecendo ao operador proteção de 95% da radiação total a que é exposto.<sup>9</sup>

Nota-se que os limites de dose equivalente diferem entre as diversas regiões do corpo do operador, de acordo com a sensibilidade à radiação, sendo o cristalino considerado o órgão limitante. Embora diretriz internacional<sup>10</sup> recomende a utilização de três dosímetros a indivíduos altamente expostos (incluindo um dosímetro pessoal sob o avental plumbífero), a norma brasileira estabelece uma única medida à altura do tórax, por fora do avental,<sup>4</sup> sendo determinada a dose individual, ou equivalente de dose efetiva, medida da exposição estimada por este único dosímetro. O cálculo de impacto total é realizado com a multiplicação da dose registrada no tórax pelo fator de correção para fótons (fator f = 1,14 Sv/Gy) e expressa em Sv.<sup>11</sup>

Esta é a medida mais direta disponível do risco oncológico ao operador em nossa prática diária, sendo este valor o habitualmente encontrado nos relatórios mensais de exposição ocupacional. Uma revisão de riscos e efeitos nocivos da radiação ionizante em Cardiologia Intervencionista foi recentemente publicada e detalha aspectos das normatizações brasileira e internacional, com recomendações importantes para proteção de pacientes e equipe de trabalho.<sup>5</sup>

Embora existam diferentes sensibilidades à radiação e órgãos mais sensíveis, como as gônadas e a tireoide, avaliações específicas para o operador, focadas nas diversas regiões do corpo, são raras,<sup>12</sup> e não foi encontrada, até o limite da nossa pesquisa, avaliação do impacto diferencial nos órgãos de maior sensibilidade utilizando os diferentes dispositivos de radioproteção locais disponíveis na estação de fluoroscopia.

O objetivo da nossa pesquisa foi avaliar o impacto da radiação espalhada com a utilização dos diferentes equipamentos de radioproteção disponíveis na estação de fluoroscopia (escudo de vinil plumbífero tipo saia inferior e escudo móvel de vidro com cortina de vinil plumbífero suspenso), em ambiente controlado simulado de laboratório de hemodinâmica, testando variações em relação à altura e à distância da fonte.

## Métodos

O teste de campo radiométrico referente à radiação espalhada foi realizado com câmara de ionização modelo RadCal 1.800 cm<sup>3</sup> e fator de correção 1, com umidade do ar ambiente a 48%, 93 Kpa de pressão atmosférica e temperatura de 25°C, em estação de fluoroscopia previamente calibrada (Philips, Allura Xper FD20), no campo de 48 cm em posição padrão *georeset*, sem angulação. O posicionamento padrão do tubo de raios X na posição *georeset* foi situado suspenso a 50 cm do solo, com distância entre mesa e tubo de 40 cm e detector tipo plano 30 cm acima da mesa, com jogo de acessórios de radioproteção

padrão do equipamento, sendo estes a saia inferior e o escudo móvel superior, ambos com equivalência de 0,5 mm Pb e posicionados conforme demonstrados nas figuras 1 a 3. No feixe primário, foi utilizado filtro de 1,7 cm Al (a sigla refere-se à espessura do alumínio – Al), mantido estável com taxa de 15 frames por segundo a 80 Kv e 14,3 mA. No eixo central do feixe, foi posicionado fantoma comercial de acrílico, simulando o tórax humano.

A sequência de aquisição foi realizada de acordo com a distância da fonte (eixo axial entre feixe primário e fantoma de acrílico) e

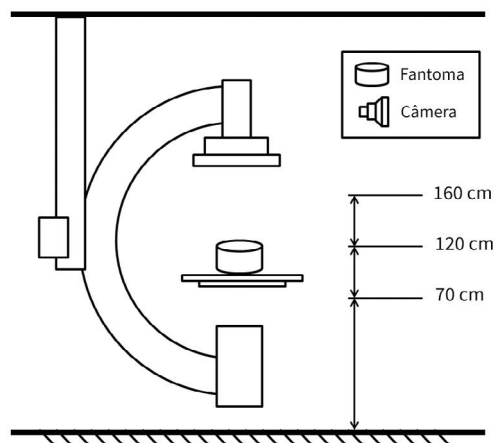


Figura 1. Alturas especificadas em relação às medidas de interesse.

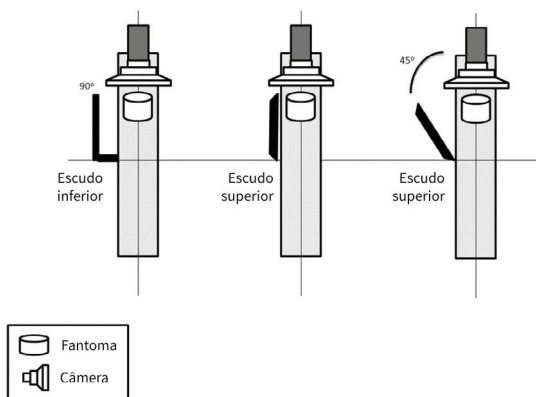


Figura 2. Posicionamento dos escudos de proteção. Vista superior.

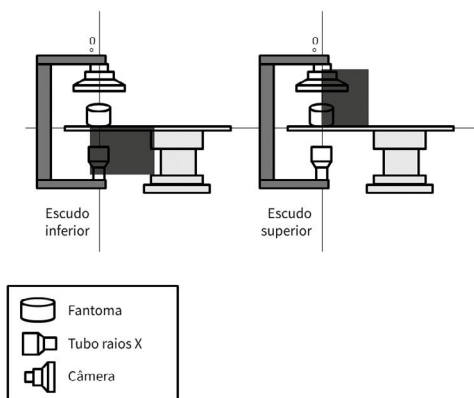


Figura 3. Posicionamento dos escudos de proteção. Vista lateral.

mensurada em três pontos definidos de altura, para simulação de gônadas, tórax e cristalino, assumindo o operador com altura de 1,70 m. Foram obtidas, então, três medidas padronizadas em 70 cm, 120 cm e 160 cm de altura. As medidas em relação à distância da fonte foram detalhadas a cada 50 cm (50 a 300 cm) quanto à radiação espalhada em relação ao feixe primário, que foi mensurada após estabilização do feixe em relação ao tempo, como microSievert/minuto ( $\mu\text{Sv}/\text{min}$ ) e em direção diagonal a  $45^\circ$  do eixo da mesa, imediatamente posterior aos dispositivos de radioproteção.

As variáveis contínuas foram expressas em unidades e porcentual, ou mediana e intervalo interquartil (IQ), conforme necessário. O software utilizado para construção de planilhas e gráficos foi o Microsoft Excel versão 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, EUA).

## Resultados

Foram observadas diferenças entre os grupos quanto ao nível de radiação direcionada ao operador. Os níveis atingidos nos diferentes locais de mensuração podem ser observados na tabela 3, e sua redução porcentual em relação ao campo aberto na tabela 4 [redução % =  $(\text{radiação}_{\text{campo aberto}} - \text{radiação}_{\text{com dispositivo}}) / \text{radiação}_{\text{campo aberto}} \times 100$ ].

Redução da radiação acumulada nos três pontos de interesse pode ser observada nas figuras 4 e 5, de acordo com a distância da fonte. A redução mediana da radiação foi de 50,6% (IQ de 39,42% a 51,05%) com uso do escudo plumbífero inferior, 71,3% (IQ de 67,66% a 77,05%) com adição de escudo superior angulado e 84,7% (IQ de 83,75% a 85,87%) com adição do escudo superior em linha ao escudo inferior.

## Discussão

Comparados aos estudos que avaliaram a exposição ao paciente, existe relativamente pouca literatura com foco na exposição ao operador, sendo a maioria estudos de radiação expressos em tempo de fluoroscopia, *Dose Area Product* (DAP) ou kermas no ar (AK).

Atualmente, tanto a comunidade médica quanto os órgãos de regulamentação estão cientes do efeito oncológico da radiação ionizante em baixas doses, assumindo incertezas pela falta de evidências científicas diretas para cálculo de risco, que pode ser duas a três ve-

Tabela 3

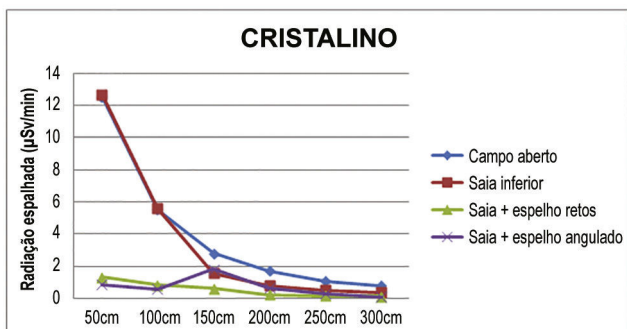
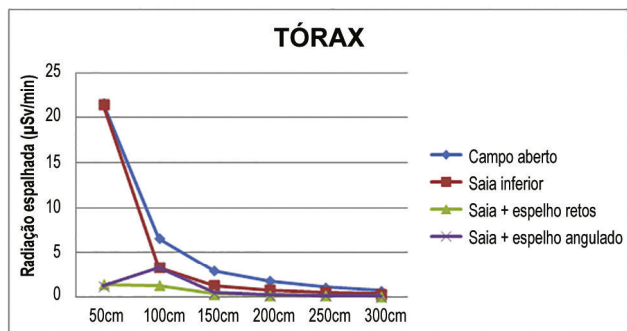
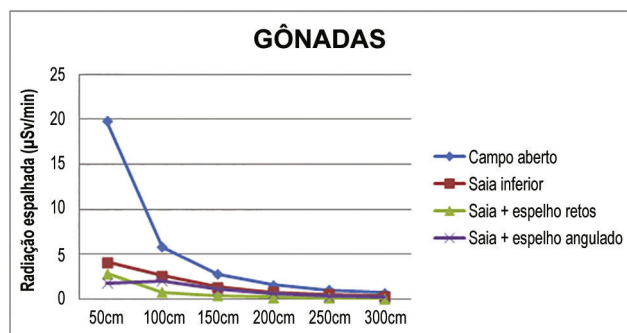
Radiação espalhada em relação à distância da fonte, em microSievert/minuto, e ao uso dos diferentes dispositivos de proteção

Foco avaliado	Campo aberto	Saia inferior	Saia/escudo reto	Saia/escudo angulado
<b>Gônada (70 cm)</b>				
50 cm	19,80	4,12	2,86	1,79
100 cm	5,83	2,61	0,83	2,03
150 cm	2,79	1,38	0,41	1,13
200 cm	1,63	0,83	0,23	0,66
250 cm	1,02	0,54	0,16	0,39
300 cm	0,72	0,37	0,11	0,27
<b>Tórax (120 cm)</b>				
50 cm	21,6	21,45	1,42	1,22
100 cm	6,58	3,32	1,29	3,29
150 cm	2,95	1,31	0,37	0,51
200 cm	1,80	0,79	0,24	0,24
250 cm	1,12	0,53	0,17	0,17
300 cm	0,76	0,36	0,11	0,12
<b>Cristalino (160cm)</b>				
50 cm	12,53	12,70	1,34	0,87
100 cm	5,54	5,59	0,84	0,60
150 cm	2,80	1,56	0,63	1,84
200 cm	1,70	0,79	0,24	0,66
250 cm	1,08	0,51	0,17	0,31
300 cm	0,79	0,38	0,12	0,10

**Tabela 4**

Redução da radiação espalhada em relação à distância da fonte e ao uso dos diferentes dispositivos de proteção

Foco avaliado	Saia inferior (%)	Saia/escudo reto (%)	Saia/escudo angulado (%)
<b>Gônada (70 cm)</b>			
50 cm	-79,19	-85,56	-90,96
100 cm	-55,23	-85,76	-65,18
150 cm	-50,54	-85,30	-59,50
200 cm	-49,08	-85,89	-59,51
250 cm	-47,06	-84,31	-61,76
300 cm	-48,61	-84,72	-62,50
<b>Tórax (120 cm)</b>			
50 cm	-0,69	-93,43	-94,35
100 cm	-49,54	-80,40	-50,00
150 cm	-55,59	-87,46	-82,71
200 cm	-56,11	-86,67	-86,67
250 cm	-52,68	-84,82	-84,82
300 cm	-52,63	-85,53	-84,21
<b>Cristalino (160 cm)</b>			
50 cm	1,36	-89,31	-93,06
100 cm	0,90	-84,84	-89,17
150 cm	-44,29	-77,50	-34,29
200 cm	-53,53	-85,88	-61,18
250 cm	-52,78	-84,26	-71,30
300 cm	-51,90	-84,81	-87,34



**Figura 4.** Intensidade da radiação espalhada em relação à distância da fonte e ao uso dos diferentes dispositivos de proteção.

zes maior ou menor que o estimado; o limiar geralmente aceito do risco por exposição ocupacional é de 50 mSv.<sup>1</sup> No entanto, estudo que avaliou cardiologistas intervencionistas expostos a radiação média de 4 mSv ao ano mostrou aumento de duas vezes na presença de linfócitos com aberrações cromossômicas e presença de micronúcleos, marcadores substitutivos para o risco de câncer.<sup>13</sup>

Certamente a evidência científica, embora não conclusiva, é um alerta para efeitos práticos de orientação à proteção contra a radiação ionizante. O risco da exposição média deve ser considerado inclusive na perspectiva de profissionais altamente expostos e não somente na média de exposição, que pode ser bastante heterogênea dentro de um mesmo ambiente. Com exposição de 5 mSv por ano, a incidência de câncer após 20 anos de carreira é estimada em um para 100, o que, mesmo dentro dos limites de segurança ocupacional, não pode ser considerado um risco negligível.<sup>1</sup>

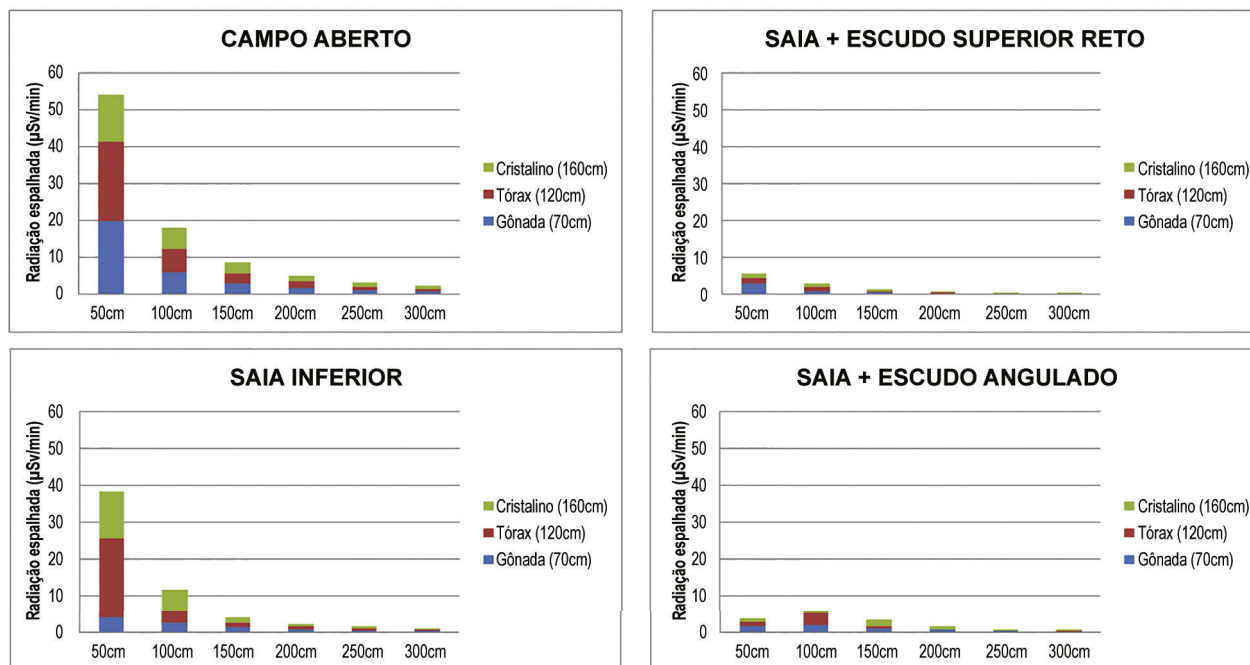
Em nosso estudo, o uso dos dispositivos de proteção reduziu efetivamente a radiação espalhada, principal foco de risco ao operador. Analisado individualmente, o escudo inferior teve um significativo impacto na redução da radiação na altura de gônadas, conforme esperado, mas nota-se que o escudo de vidro plumbífero, superiormente posicionado, significou redução adicional, especialmente quando retificado em concordância com a saia e em uma distância de 50 a 100 cm. Este achado faz sentido ao recordarmos que a maior fonte da radiação espalhada é o fantoma, e não o tubo de raios X, posicionado na porção inferior da estação de fluoroscopia, e fonte do feixe primário. Em relação aos níveis de radiação torácica, os resultados demonstram efetiva redução da radiação, adicionando o escudo superior, o que se repete em relação à altura de 160 cm simulada para o cristalino.

O posicionamento do operador é de especial importância. É digno de nota que há redução da proteção deste ao afastar-se do escudo superior, como visto ao analisarmos a distância entre 50 a 100 cm. Além disto, é digno de nota que, ao angularmos o escudo superior, hábito bastante comum na prática clínica, proporcionamos uma via de escape, diminuindo a eficiência da proteção a 100 cm, tanto em gônadas quanto no tórax, e a 150 cm no cristalino. Como esta é uma distância usual do operador à fonte, potencialmente reflete uma redução da proteção proporcionada pelos dispositivos em caso de posicionamento inadequado, suplantando mesmo a redução esperada pelo aumento da distância entre o operador e o fantoma.

Com o uso correto de ambos os escudos, a radiação acumulada total entre 100 a 150 cm foi aproximadamente 2 µSv/min, ou seja, taxa bastante similar ao campo aberto além de 250 a 300 cm. Comparando esta dose à quantidade usual de radiação de uma radiografia de tórax (20 µSv),<sup>3</sup> teríamos uma exposição equivalente a uma radiografia a cada 10 minutos de trabalho, com uso adequado de proteção, e uma radiografia por minuto, na ausência de dispositivos de proteção locais da estação de fluoroscopia.

Entre 50 a 150 cm, a maior redução da radiação espalhada (85%) foi proporcionada pelo uso concomitante do escudo superior e inferior. Como exercício teórico, o limiar de 20 mSv ao ano referente ao cristalino seria atingido após pouco mais de 3.600 minutos de radiação a 100 cm da fonte. No ano de 2016, com pouco mais de 250 dias úteis, um operador ocupado, realizando oito procedimentos por dia, com menos de 2 minutos de fluoroscopia por exame, atingiria este limiar, caso não utilizasse os dispositivos de radioproteção. Embora certamente este cálculo seja apenas hipotético, visto não considerar a utilização dos óculos de radioproteção, é útil para demonstrar a importância do uso correto dos equipamentos de proteção de sala, que devem ser complementados com os equipamentos de radioproteção individuais.

Por fim, surpreendentemente, a relação encontrada entre a radiação acumulada total em relação ao tórax, local onde é posicionado o dosímetro termoluminescente padrão, oscilou entre 2,5 e 3,0 vezes nas simulações de campo aberto, levantando a possibilidade de que a estimativa habitual de correção para dosimetria individual em campos homogêneos



**Figura 5.** Radiação espalhada acumulada total em relação à distância da fonte e ao uso dos diferentes dispositivos de proteção.

com fator de correção de 1,14, derivada de estudos radiológicos, talvez esteja subestimada em relação à realidade dos procedimentos de Cardiologia Intervencionista, especialmente se considerarmos angulações e escapes direcionais em relação ao feixe primário.

A avaliação dos riscos radiológicos tem tido interesse crescente, em um cenário no qual cada vez mais são realizados procedimentos complexos, com maior tempo de exposição radiológica tanto para o paciente quanto o operador. Neste aspecto, este estudo é o primeiro de que temos conhecimento em que foram avaliados simultaneamente vários pontos de impacto radiológico de importância clínica, como simulação de focos de risco ao médico operador ocupacionalmente exposto e com avaliação da efetividade de dispositivos de radioproteção locais.

#### Limitações

O estudo atual é um estudo piloto e tem limitações importantes, como não analisar os efeitos das angulações das diferentes projeções, utilizar um posicionamento padrão dos escudos (que pode não refletir a prática diária) e não levar em conta variações de diferentes equipamentos de fluoroscopia. Porém os achados relativos ao impacto da radiação total acumulada nos distintos pontos de mensuração e a divergência encontrada em relação ao fator de correção habitualmente utilizado como pressuposto para cálculos de risco ocupacional certamente levantam questões que devem ser analisadas em outros estudos específicos.

#### Conclusões

O uso dos dispositivos de radioproteção locais se mostrou efetivo na redução global do impacto radiológico ao operador, havendo, no entanto, vias de escape de radiação, especialmente com posicionamento não ideal, demonstrando não só potencial campo de pesquisa como ainda a importância da utilização adicional dos dispositivos de proteção individuais.

#### Fonte de financiamento

Houve financiamento da análise por meio da contratação dos serviços de mensuração radiológica de empresa terceirizada, conforme informado nos conflitos de interesse. A empresa patrocinadora foi a Supri Artigos Médico Hospitalares Ltda.

#### Conflitos de interesse

A análise da radiação ionizante foi conduzida em parceria público-privada em laboratório de hemodinâmica da Faculdade Estadual de Medicina de Marília. O autor principal é consultor em radiação ionizante, e a análise foi financiada por empresa de equipamentos de radioproteção privada. O financiamento foi cego, irrestrito e não teve qualquer influência nos resultados encontrados. Os demais autores não têm conflito de interesse relacionado ao estudo.

#### Referências

- Venneri L, Rossi F, Botto N, Andreassi MG, Salcone N, Emad A, et al. Cancer risk from professional exposure in staff working in cardiac catheterization laboratory: insights from the National Research Council's Biological Effects of Ionizing Radiation VII Report. *Am Heart J*. 2009;157(1):118-24.
- Moores BM, Regulla D. A review of the scientific basis for radiation protection of the patient. *Radiat Prot Dosimetry*. 2011;147(1-2):22-9.
- Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Radiações ionizantes e a vida [Internet]. Rio de Janeiro: CNEN; 2008 [cited 2016 jan 26]. Available from: <http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/radiacoes-ionizantes.pdf>
- Brasil. Ministério da Saúde. Portaria/MS/SVS n.453, de 1o de junho de 1998. Brasília, DF: Ministério da Saúde; 1998.
- Leyton F, Canevaro L, Dourado A, Castello H, Bacelar A, Navarro MT, et al. Riscos da radiação X e a importância da proteção radiológica na cardiologia intervencionista: uma revisão sistemática. *Rev Bras Cardiol Invasiva*. 2014;22(1):87-98.
- The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann ICRP*. 2007;37(2-4):1-332.
- Authors on behalf of ICRP, Stewart FA, Akleyev AV, Hauer-Jensen M, Hendry JH, Kleiman NJ, Macvittie TJ, et al. ICRP publication 118: ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs-threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. *Ann ICRP*. 2012;41(1-2):1-322.

8. Limacher MC, Douglas PS, Germano G, Laskey WK, Lindsay BD, McKetty MH, et al. ACC expert consensus document. Radiation safety in the practice of cardiology. American College of Cardiology. *J Am Coll Cardiol*. 1998;31(4):892-913.
9. Chambers CE, Fetterly KA, Holzer R, Lin PJ, Blankenship JC, Balter S, et al. Radiation safety program for the cardiac catheterization laboratory. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2011;77(4):546-56.
10. Valentin J. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. *Ann ICRP*. 2000;30(2):7-67.
11. Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Posição Regulatória 3.01/005:2011. Critérios para cálculo de dose efetiva, a partir da monitoração individual [Internet]. Rio de Janeiro: CNEN, 2011 [cited 2016 jan 26]. Available from: [http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301\\_05.pdf](http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/pr301_05.pdf)
12. Bienert IR, de Andrade PB, Rinaldi FS, Vilela FD, Silva PA, Braga JC, et al. Comparative test of radiological exposure between femoral and radial techniques, development of a protective device and clinical trial design. *BMJ Innovations*. 2015;1(4):103-10.
13. Maffei F, Angelini S, Forti GC, Violante FS, Lodi V, Mattioli S, et al. Spectrum of chromosomal aberrations in peripheral lymphocytes of hospital workers occupationally exposed to low doses of ionizing radiation. *Mutat Res*. 2004;547(1-2):91-9.