

Desafios, Estratégias e Paradigmas para a Proteção Radiológica na Medicina: o horizonte até 2040

Challenges, Strategies and Paradigms for Radiation Protection in Medicine: the horizon to 2040

Louise Giansante¹, Edilaine H. da Silva², Paulo R. Costa^{2,3}

¹ Joint Department of Physics, The Royal Marsden NHS Foundation Trust, London (UK)

² Departamento de Física Nuclear, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

³ Departamento de Radiologia e Oncologia, Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

Abstract

A International Conference on Radiation Protection in Medicine: X Ray Vision (RADPROM 2025) realizada em Viena entre 8 – 12 de dezembro de 2025 delineou novos paradigmas para a proteção radiológica (PR) na prática médica, movendo o foco da mera otimização técnica para uma abordagem holística e centrada no paciente. O evento, que serviu como um balanço dos avanços desde a Conferência de Bonn (2012), destacou a complexidade do risco em baixas doses, o aumento preocupante da dose cumulativa em pacientes e a necessidade urgente de integrar a ética, a comunicação e os fatores humanos na segurança radiológica. A Inteligência Artificial (IA) emergiu como uma ferramenta que combina vantagens e riscos sendo um poderoso vetor de individualização e acessibilidade, mas também um gerador de novos desafios regulatórios e éticos, tais como vieses e excesso de confiança. As conclusões da conferência, sintetizadas nos "Imperativos Emergentes" e nas prioridades "Bonn+", apontam para um futuro onde a PR é uma responsabilidade compartilhada, exigindo parcerias globais e multidisciplinares, inovação de baixo custo e, fundamentalmente, o reconhecimento da "humanidade" (humanness) como o pilar central da medicina. Destacamos, no presente artigo, alguns pontos discutidos na Conferência e que julgamos importantes, mas que não representam posições institucionais.

Keywords: Proteção radiológica; Medicina; Cultura de segurança.

1. O Novo Paradigma da Proteção Radiológica

A proteção radiológica na medicina moderna encontra-se em um ponto de inflexão. Historicamente ancorada nos princípios de Justificação, Otimização e Limitação de Dose, a prática tem sido desafiada pela rápida evolução tecnológica, pelo aumento da exposição médica da população e por compreensão cientificamente mais rigorosa dos riscos biológicos das radiações ionizantes. A *International Conference on Radiation Protection in Medicine: X Ray Vision (RADPROM 2025)* (www.iaea.org/events/radprom2025), cujos resultados são aqui sintetizados, buscou reavaliar o estado-da-arte da proteção radiológica (PR), identificando lacunas e estabelecendo prioridades para a próxima década, em um esforço que se configura na iniciativa batizada como "Bonn+".

Embora a tecnologia venha, nas últimas décadas, proporcionado melhores diagnósticos e terapias mais precisas, a percepção de risco pela população permanece elevada, sendo muitas vezes desproporcional ao risco real. O principal desafio reside na dificuldade de traduzir a incerteza inerente à ciência do risco atribuído às modalidades médicas que utilizam radiações ionizantes em diretrizes práticas e comunicáveis. A conferência revelou que, apesar da redução histórica das doses ocupacionais, a dose cumulativa em pacientes submetidos a exames recorrentes, como tomografias computadorizadas, atingiu níveis preocupantes, com alguns subgrupos de pacientes apresentando doses

efetivas superiores a 100 mSv, um valor associado a riscos que devem ser adequadamente investigados.

Este cenário exige uma mudança de paradigma, que transcenda às práticas atuais fortemente centradas nos atributos dosimétricos associados aos métodos diagnósticos e terapêuticos correntes. Essa mudança incorpora a ética, a individualização e a corresponsabilidade, reconhecendo que a PR é um conceito holístico que abrange tanto os receptores quanto os prestadores de cuidados.

2. Complexidade do risco associado a práticas radiológicas na área médica

A PR continua a ser um campo de intensa pesquisa, especialmente no que se refere aos efeitos de baixas doses. Neste caso, a incorporação das incertezas como componente indissociável do aprimoramento do conhecimento científico foi fortemente enfatizada na RADPROM 2025. Estudos recentes em radiobiologia e epidemiologia sugerem que o risco não é determinado apenas por mutações genéticas potencialmente causadas pela exposição à radiação, mas também pela resposta imunológica e por fatores ambientais. Essa perspectiva indica que o risco pode estar superestimado em certos subgrupos.

Visando atender demandas de melhorias na qualidade da informação utilizada tanto em pesquisas quanto em aplicações práticas que envolvam a PR, métodos metrológicos estão sendo redefinidos. Estão sendo propostos fatores de eficácia da taxa de dose que podem aumentar as estimativas de detrimento da radiação. Além disso, a otimização da dose não pode

ser dissociada da qualidade das imagens em aplicações diagnósticas. A metrologia deve incluir estes parâmetros, reconhecendo que a redução excessiva das doses aplicadas que possam comprometer a qualidade da imagem pode levar a erros diagnósticos e, paradoxalmente, a piores resultados clínicos.

Apesar do arcabouço regulatório existente, que inclui a determinação de Níveis de Referência Diagnósticos (DRLs – *Diagnostic Reference Levels*), a comunidade científica reconhece as dificuldades em controlar exposições elevadas. Além disso, existem cenários distintos entre países desenvolvidos e aqueles com médio ou baixo produto interno bruto pois, nestes últimos, as equipes multidisciplinares (físicos médicos, radiologistas, gestores, tecnólogos, biomédicos e, em especial, profissionais de tecnologia da informação) que devem atuar de forma coordenada para a correta avaliação dos DRLs nem sempre estão cientes de sua importância estratégica e sua atuação em projetos de otimização. A comparação de riscos radiológicos com os de outros procedimentos médicos demonstra que a exposição a doses elevadas não pode ser minimizada, especialmente considerando o aumento da sobrevivência dos pacientes, o que torna mais provável a manifestação de efeitos tardios. Neste raciocínio, contudo, não se deve deixar de considerar que este aumento de sobrevivência, em muitos casos, decorre justamente da ampliação do acesso da população a exames de imagem.

3. Ética, Comunicação e Cultura de Segurança

A conferência enfatizou que o elemento humano é o fator mais decisivo e, paradoxalmente, o mais vulnerável na cadeia de segurança radiológica. A atuação profissional inadequada, que se manifesta como elitismo e paternalismo, foi identificada como um obstáculo à aplicação eficaz de métodos de PR. Para evitar este tipo de atuação, o imperativo ético apontado como prioritário entre os participantes da RADPROM 2025 é a justificativa compartilhada, promovendo transparência e autonomia do paciente.

A comunicação efetiva também foi destacada como um pilar fundamental. Ela deve ser bidirecional, abrangendo tanto o público quanto o paciente, e deve ser baseada em confiança, escuta e acomodação da diversidade. A necessidade de um vocabulário consistente foi ressaltada para evitar que a falta de compreensão do paciente seja atribuída a ele. Além disso, a comunicação deve ser sensível, informada e engajadora, e seu timing é crucial, ocorrendo antes e durante o cuidado. Ficou claro que comunicar o risco da radiação pode ser ao mesmo tempo desafiador, pois os potenciais danos da radiação ionizante geralmente são de longo prazo e estocásticos. Por outro lado, os benefícios dos exames de imagem costumam ser imediatos e clinicamente necessários. Existe o risco de que explicações excessivamente técnicas ou numéricas aumentem a ansiedade dos pacientes. A orientação é fornecer descrições qualitativas, incluindo explicações claras sobre os

benefícios e as consequências de não se realizar o exame de imagem.

No campo da educação, destacou-se que avaliações de competência definidas pela soma de conhecimento + habilidades + atitudes são as mais adequadas para o preparo de profissionais do futuro que irão implementar de forma consistente as propostas para a cultura de segurança acordadas durante a RADPROM 2025. Métodos pedagógicos e andragógicos modernos, incluindo o uso de Inteligência Artificial e Realidade Virtual, são essenciais para a formação contínua de professores, preceptores e mentores, garantindo que o treinamento seja sustentável e mensurável.

4. Fatores Humanos e Regulamentação

Interfaces de equipamentos mal projetadas e o excesso de automação podem sobrecarregar os operadores, tornando-os o ponto mais frágil da segurança. A solução proposta é o redesenho colaborativo dos sistemas, priorizando a ergonomia dos operadores e o apoio à tomada de decisão. Durante a RADPROM 2025 palestrantes destacaram que a regulação em radioproteção deve ser consistente com o progresso tecnológico. As regulamentações gerais e locais precisam ser objetivamente implementáveis. Além disso, suas atualizações devem ser facilitadas e eficazes, mantendo o foco no objetivo maior que é a qualidade do cuidado médico. Neste sentido, a conferência abordou aspectos relativos à PR em ambientes com recursos limitados, onde a tradução de diretrizes em padrões de camadas e a inovação de baixo custo são cruciais para a sustentabilidade e a redução de disparidades globais.

5. Oportunidades e Limitações Éticas relacionadas à Inteligência Artificial

A Inteligência Artificial (IA) e os Modelos de Linguagem de Grande Escala (*Large Language Models* - LLMs) foram reconhecidos como ferramentas transformadoras, com potencial para melhorar a qualidade da imagem, a dosimetria, a triagem de pacientes e a acessibilidade educacional. Contudo, a RADPROM 2025 dedicou um espaço significativo às limitações éticas e técnicas da IA, reforçando que seu uso deve ser combinado com a inteligência humana. Dessa forma, e com supervisão humana adequada, especialmente em países nos quais os recursos humanos e financeiros são mais escassos, a inteligência artificial pode atuar como aliada, fornecendo um ponto de partida para a elaboração de documentos, como diretrizes de encaminhamento (*referral guidelines*) ou materiais de treinamento.

Os principais desafios da IA incluem:

- **Vieses e Falta de Transparência:** A necessidade de modelos adequadamente representativos da diversidade das populações e a compreensão dos processos envolvidos nos treinamentos dos algoritmos;

- Excesso de Confiança (*Over-reliance*): O risco de que a competência humana seja corroída pela dependência excessiva da automação;
- Governança e Responsabilidade: A responsabilidade tripla (desenvolvedor, físico médico/instalação e usuário), a percepção e reconhecimento da existência de potenciais vulnerabilidades, e responsabilização em caso de erros ou falhas do algoritmo.

A afirmação categórica "A IA não pode ser um médico" resumiu o consenso ético, argumentando que a medicina é feita por e para os humanos, que possuem uma estrutura de inteligência que transcende a capacidade de inferência da máquina. A governança da IA deve ser orientada pela ética, transparência e pela necessidade de validação externa rigorosa.

6. Os imperativos Bonn+ e o futuro da PR

A conferência culminou na definição de decisões prioritárias que guiarão a PR até 2040. Estas decisões levaram em consideração fatores técnicos e humanos. A valorização da ciência e da ética foram fortemente enfatizadas, bem como da individualização do cuidado e da importância em envolver o paciente nas decisões antes e durante o tratamento. Com isso, a ênfase na comunicação e na adequação da linguagem são ações importantes a serem consideradas pelos profissionais e pela regulamentação. Destacou-se a necessidade de enfatizar que a proteção deve ser PELA radiação, apoiada pelos benefícios de sua utilização para melhoria da saúde humana, sem se contrapor à proteção CONTRA a radiação, associada a seus riscos. Este aspecto sinaliza uma mudança de foco, enfatizando o equilíbrio risco-benefício.

Dentre as prioridades para a próxima década foram estruturados cinco pilares visando a integração total da PR no cuidado clínico:

- 1 PR centrada no Paciente: Abordagem colaborativa, holística e individualizada.
- 2 Ênfase na aplicação ética das radiações: Implementação do princípio de otimização e fomento de uma cultura de segurança.
- 3 Importância da comunicação efetiva: Diálogo sensível, informado e engajador com o público e pacientes.
- 4 Inteligência Integrada: Uso de IA e meios analíticos para soluções confiáveis e precisas.
- 5 Melhoria da formação de profissionais: Garantir uma força de trabalho saudável, bem formada e com papéis e responsabilidades claras.

7. Conclusão

A RADPROM 2025 marcou um momento de reflexão crítica e proativa. O caminho a seguir exige que a comunidade científica e médica entenda e considere as incertezas inerentes aos riscos associados às radiações ionizantes, enfrente os desafios éticos da IA e, acima de tudo, coloque a dignidade e a

autonomia do paciente no centro de todas as decisões. O sucesso da PR na era da tecnologia avançada dependerá da capacidade de equilibrar a inovação com a segurança, a regulamentação com a adaptabilidade, e a técnica com a humanidade.

Entendemos que a participação ativa de tomadores de decisão do cenário nacional - como ocorreu em conferências anteriores, como a de Bonn em 2012, e a de Viena em 2017 - facilitaria a transição das políticas locais de proteção radiológica na área médica em regulamentações e legislação apropriadas e em ações efetivas, em consonância com as prioridades estabelecidas durante a RADPROM 2025, mencionadas anteriormente. Observou-se a participação ativa de representantes de diversos países com recursos econômicos e estruturais inferiores aos do Brasil, o que evidencia que o engajamento institucional independe exclusivamente de limitações orçamentárias.

Entendemos que o protagonismo histórico do Brasil nesta área deve ser re-impulsionado pelos agentes públicos e pelas associações de classe que atuam na interface entre a aplicação de ferramentas diagnósticas e terapêuticas que utilizam radiações ionizantes. O país dispõe de capacidade técnica, científica e institucional suficientes para tornar-se uma referência internacional — ao menos em âmbito regional — na aplicação segura e adequada da radiação ionizante na Medicina. São necessários, entretanto, avanços consistentes em regulamentação, atualização legislativa e implementação efetiva de políticas públicas que assegurem a adequada proteção radiológica da população.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo (FUSP, Projeto 3745), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (processo 302986/2023-5), ao Marsden e o ICR (Institute of Cancer Research).

Contato:

Paulo Roberto Costa
Departamento de Física Nuclear, Instituto de Física,
Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil
Rua do Matão 1371 - CEP 05508-090
Cidade Universitária, São Paulo – Brasil
pcosta@if.usp.br