

LIVRO DE RESUMOS

IX Congresso de Proteção Contra Radiações da Comunidade dos Países de Língua Portuguesa

COIMBRA,
11 A 15 DE DEZEMBRO DE 2023

Organização da **Sociedade Portuguesa de Proteção Contra Radiações** e da **Sociedade Brasileira de Proteção Radiológica**.

Organização do Livro

Alfredo Lopes Ferreira Filho

Bernardo Maranhão Dantas

Denise Levy

Fernando Roberto de Andrade Lima

Luís Figueiredo Neves

ISBN 978-85-9496-211-9

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

Coimbra, 11 A 15 de dezembro de 2023



Realização

- Sociedade Portuguesa de Proteção Contra Radiações
- Sociedade Brasileira de Proteção Radiológica

Comissão Organizadora

- Luís Figueiredo Neves – Presidente (SPPCR)
- Josilto de Aquino - Vice-Presidente (SBPR)
- Margarida Malta - Secretária Geral (Portugal)
- Kenia Mares - Secretária Geral (Brasil)
- Luís Portugal - Secretário Executivo (Portugal)
- Alfredo Lopes Ferreira Filho - Secretário Executivo (Brasil)

Comissão Científica

- | | | |
|----------------------|-------------------------|------------------------|
| • Alcides Pereira | • Fernando Lima | • Letícia Rodrigues |
| • Ana Letícia Dantas | • Graciano Paulo | • Linda Caldas |
| • António Morgado | • João Oliveira Martins | • Luís Correia |
| • Bernardo Dantas | • Jorge Isidoro | • Maria do Carmo Lopes |
| • Denise Levy | • José Marcus Godoy | • Pedro Vaz |

Livro de Resumos – Organização

- Alfredo Lopes Ferreira Filho
- Bernardo Maranhão Dantas
- Denise Levy
- Fernando Andrade Lima

Apoios

- International Atomic Energy Agency
- Universidade de Coimbra
- IATV - Instituto do Ambiente, Tecnologia e Vida
- Alves & Rasteiro – Engenharia, Formação e Consultoria
- Ambifirst - Monitorização Ambiental
- Atomedical – Laboratório de Medicina Nuclear
- APA – Agência Portuguesa do Ambiente
- EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro SA
- ICNAS-UC – Instituto de Ciências Nucleares Aplicadas à Saúde



SUMÁRIO POR ÁREAS TEMÁTICAS

CULTURA DE SEGURANÇA EM PROTEÇÃO RADIOLÓGICA..... 6

Avaliação da probabilidade e impacto de um possível ataque malicioso à plataforma da empresa coral flng utilizando fonte de céσιο-137: uma abordagem de classificação de risco
Goessa, E. J.

« Safety and Security » = Segurança e Proteção?
Branco, D., Roberto, M.T.

DOSIMETRIA E INSTRUMENTAÇÃO 11

Correção de espectros de raios X da série N da ISO 4037-1 medidos com CdTe
Nascimento M. R., Santos J. C., Macedo E. M., Pacífico L. C., Magalhães L. A. G., Peixoto J.

Avaliação de incerteza da reta de calibração do espectro de fótons do Am-241 utilizando o software DPPMCA
Nascimento M. R., Macedo E. M., Peixoto J. G. P.

Revisão de dose em cristalino no período 2020 a 2022
J. Muñoz, J. Llansana, S. Pastor, O. Gultresa, J. Gultresa

Estudo de uma metodologia para determinação da camada semirretudora utilizando o código de Monte Carlo PHITS
Soares R. E., Lacerda M. A. S.

GESTÃO DE FONTES E RESÍDUOS RADIOATIVOS..... 20

Gerenciamento de fontes radioativas em desuso em Moçambique: desafios e perspectivas
Mussica R.P., Maphossa A.M.

Models of radionuclide migration from a near-surface repository
Carvalho C., Pereira A., Paiva I.

PLANEJAMENTO E RESPOSTA A EMERGÊNCIAS 25

Eventos significativos: detecção, ação, comunicação e mitigação
Graça S. I., Baptista M. C.

A Novel Radiation Detection System installed on UAV for Security and Safety Applications
Marques L., Vale A., Vaz P.

PROTEÇÃO RADIOLÓGICA DOS TRABALHADORES E DO PÚBLICO 30

Monitorização dos postos de trabalho e gestão das condições máximas de funcionamento em Tomografia Computorizada
Graça S. I., Baptista M. C.

A proposal for a qualification course to obtain the registration of Supervisor of Radiation Protection (SRP) to work at teaching and research institutions

Nascimento J. H. F., Razuck F. B.

Cultura de Segurança e Envolvimento dos Interessados

Levy D., Sordi G.M.A.A.

Gestão de Proteção Radiológica em Situações Excepcionais: Adaptação Estratégica a um caso de Exposição de Iodo-131 de um profissional de saúde, durante a Pandemia Covid-21

Braz S., Oliveira J., Lobão M.

Proteção Radiológica em uma Unidade Cirúrgica do Sul do Brasil: o que sabem os Profissionais?

Leal T.C., Silva E.; Ribeiro G., Melo J.; Huhn A.; Souza D. C. B.

PROTEÇÃO RADIOLÓGICA EM SAÚDE 41

Recomendações atualizadas para a utilização de blindagem de contacto em imagiologia

Pais, R. M.

Assuring the conformance of a SPECT system to international recommendations

Santos T., Barros C., Lopes M. C.

Uso de Plataformas Interativas e Novas Tecnologias na Aprendizagem de Radioproteção

Leal T.C. ; Oliveira A.A. ; Souza D. C. B.

Monitorização e gestão dos indicadores de dose de forma centralizada e automatizada

Costa F., Fernandes R., Baptista M. C.

Níveis de referência de diagnóstico em exames de mamografia digital de campo total e em exames de tomossíntese mamária

Rodrigues S., Abrantes A., Ribeiro L.

Notificação de altas doses – avaliação de 5 anos de eventos significativos

Machado C., Pinto I., Pinto R., Rodrigues A., Oliveira F.

Aplicação prática dos critérios mínimos de aceitabilidade definidos na publicação RP162 em Portugal. Não Conformidades detectadas nos diversos tipos de equipamento.

Matos A., Mota M., Albuquerque A., Moreira J., Brás P., Oliveira R., Antunes C., Pinto J., Carvalho I., Narciso J., Schiappa J., Silvestre C., Marques A., Silva A., Oliveira M., Lopes D., Perez J., Ferreira F., Ferreira H., Lopes M., Santos R.

Radiologia de intervenção por tomografia computadorizada

Pinto I., Machado C., Pinto R., Rodrigues A., Ribeiro I., Oliveira F.

PROTEÇÃO RADIOLÓGICA NA INDÚSTRIA 56

Desmantelamento e demolição de uma fábrica de fosfato dicálcico: aspectos de proteção e segurança radiológica

Trindade R., Narciso J., Lopes D., Marques S., Albuquerque C., Schiappa J., Matos A., Moreira J.

RADÃO..... 59

An analysis of the scientific production on radon in Brazil

Razuck F. B., Ferreira P. R.

O potencial da ciência cidadã na consciencialização e redução da exposição ao radão - O caso RadAR

Simão I., Canha N., Antunes C., Almeida S., Felizardo M., Fonseca H., Lage J., Malta M., Reis M.

The contribution of LeaRn4LIFE project for the implementation of EU policies and national legislation in Portugal and Spain

Antunes C., Malta M., Fonseca H., Trindade M. J.

Radon exhalation from building materials in Portugal

Sêco S.L.R., Domingos F.P., Pereira A.J.S.C., Trindade M.J., Malta M., Fonseca H., Santos Silva A., Costa D., Baptista F., Dinis M.L., Sousa L.

RADIAÇÕES NÃO IONIZANTES 68

Exposição a campos eletromagnéticos em 5G: os novos desafios e as abordagens a seguir

Correia, L. M.

Safety issues of solar energy industry workers due to non-ionizing radiation exposures

Samaniego R. D., Da Silva M. G., Ferreira A. D.

RADIOATIVIDADE NATURAL 73

Distribution of natural and anthropogenic radionuclides from the EEZ shelf sediments of Portugal

Cardoso G., Pereira A. J. S. C., Malta M., Madureira, P.

The natural radioactivity in Mondego river – current state

Luís G., Pereira A., Sêco S., Erbolato Filho J., Neves L.

REGULAMENTAÇÃO, POLÍTICAS E RECOMENDAÇÕES INTERNACIONAIS 78

Regulatory infrastructure for radiation protection and the safety of radiation sources in Mozambique

Mavie C. M., Mussica R. P, Matias L. S.

INDÚSTRIAS NORM 82

Trans-border Transportation and Final Disposal of NORM from the Brazilian Oil and Gas Industry

Rodrigues, L. O.

CULTURA DE SEGURANÇA



IX Congresso de Proteção
Contra Radiações da
Comunidade dos Países
de Língua Portuguesa

COIMBRA,
11 A 15 DE DEZEMBRO DE 2023

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

AVALIAÇÃO DA PROBABILIDADE E IMPACTO DE UM POSSÍVEL ATAQUE MALICIOSO À PLATAFORMA DA EMPRESA CORAL FLNG UTILIZANDO FONTE DE CÉSIO-137: UMA ABORDAGEM DE CLASSIFICAÇÃO DE RISCO

Goessa, E. J

Agência Nacional de Energia Atômica – Autoridade Reguladora, praça 25 de Junho,
nº 380, 2º Direito, contactos: +25821601010 ;+258845003833, Maputo—Moçambique

euniciagoessa@gmail.com

1. Introdução: É evidente que o uso ilícito de fontes radioactivas, tais como o “terrorismo radiológico” é uma possibilidade real e pode resultar em consequência radiológicas prejudiciais para o público e o meio ambiente. Um dos cenários de ameaça mais preocupantes é a utilização de materiais radioactivos, como o Césio-137 por ser altamente radioactivo e pode causar danos significativos à saúde humana e ao meio ambiente. As plataformas “*Floating Liquefied Natural Gas (FLNG)*” representam um componente vital da indústria de petróleo e Gás e permite a extração, processamento e transporte de gás natural em larga escala. Devido à sua importância económica e estratégica, essas instalações podem se tornar alvos atrativos para ataques maliciosos. De acordo com o Instituto Nacional de Petróleo, em Moçambique existe a plataforma flutuante pertencente a empresa coral sul FLNG na área 4 *Off Shore* da bacia do Rovuma trata-se de uma unidade de produção com 432 metros de comprimento, 66 metros de largura, cerca de 220.000 toneladas e com capacidade para liquefazer 3.37 milhões de toneladas de gás natural por ano e conta com um investimento de 7 mil milhões de dólares e emprega cerca de 1000 trabalhadores. Segundo a (IAEA NSS N° 21) existem 5 tipos de atos criminosos tais como: Sabotagem; aquisição não autorizada; tráfico ilícito; fabrico, posse e transporte ou uso de um Dispositivo de Exposição e/ou Dispersão Radioactiva, improvisado com a intenção de prejudicar o público, a economia, o ambiente e a sociedade e ataques informáticos. Através da análise da vulnerabilidade da plataforma FLNG e da probabilidade de um ataque ocorrer, essa abordagem permite que medidas de mitigação sejam implementadas para fortalecer a segurança e reduzir o risco de um evento devastador. Este artigo tem como objectivos: Avaliar as consequências de um possível ataque malicioso a plataforma da empresa coral FLNG; Demonstrar graficamente a classificação do risco e propor medidas de detenção em caso de atos maliciosos com materiais radioactivos.

2. Metodologia: A metodologia será qualitativa auxiliada pela quantitativa e consistirá em quatro etapas que são: análise de vulnerabilidade: vai permitir identificar e avaliar as vulnerabilidades físicas e cibernéticas da plataforma FLNG; avaliação de impacto: consistirá na análise dos danos à infraestrutura, os riscos à saúde humana, o impacto ambiental e económico, bem como a reputação da empresa operadora; classificação de risco: será usada uma abordagem quantitativa ou qualitativa através da atribuição do níveis de risco a diferentes cenários de ataque e vai permitir a priorização dos riscos e concentrar os esforços de segurança nas áreas mais críticas; medidas de mitigação com base nos resultados da classificação de risco, desenvolve-se um conjunto de medidas de mitigação para fortalecer a segurança da plataforma FLNG contra ataques com Césio-137.

3. Resultados: Este evento tem a seguinte classificação da probabilidade: possível – há uma chance de 50/50 de que esse cenário ocorra nos próximos 10 anos e a consequência será catastrófica para a economia, sociedade e para o ambiente: e provável que o cenário produza mais de 1000 vítimas e gere custos superiores a 10% do PIB e contamine uma grande área que inclui recursos nacionais de importância crítica. O uso de instrumentos de detenção de material radioactivo nos pontos de entrada dos produtos de consumo na Plataforma FLNG; A realização de patrulhas regulares com detectores pessoais de radiação; A implementação de protocolos de resposta a emergências radiológicas; o treinamento de pessoal; realização periódicas de análises laboratoriais em águas de consumo são medidas de detenção que podem ser adoptadas de modo a prevenir que atos de sabotagem usando material radioactivo ocorram na plataforma da empresa Coral FLNG.

4. Conclusão: A avaliação da probabilidade e impacto de um possível ataque malicioso à plataforma coral FLNG utilizando Césio-137 é fundamental para garantir a segurança das infraestruturas críticas. A abordagem de classificação de risco proposta neste artigo permite uma análise abrangente dos riscos associados a essa ameaça específica. Com as medidas de mitigação adequadas, será possível reduzir significativamente o risco de um evento catastrófico e proteger a integridade das operações de GNL e a segurança de todos os envolvidos.

5. Referências

1. www.inp.gov.mz
2. IAEA NSS Nr 21: Nuclear Security systems and Measures for the detection of Nuclear Material out of Regulatory Control;
3. IAEA NSS Nr 15: Nuclear Security Recommendations on Nuclear and Others radioactive material out of Regulatory Control;
4. IAEA NSS Nr 36 - G: Preventive measures for of Nuclear and others Material out of Regulatory Control.

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

« SAFETY AND SECURITY » = SEGURANÇA E PROTEÇÃO?

Branco, D. & Roberto, M.T.

Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal

Introdução

The PIO [Public Information Officer] (...) should always take into account the local and national communication culture and practices, legal background, function and responsibility of the communicators, and role of regulators and operators when planning and communicating with the public. (IAEA, 2012) [1, 2]

A 7 de outubro de 2023 foi lançada a ofensiva israelita contra o Hamas. A 24 de fevereiro de 2023 a Rússia invadiu a Ucrânia. A 11 de março de 2020 a Organização Mundial de Saúde anunciou que o COVID-19 passava ao estatuto de pandemia depois da declaração de *emergência de saúde pública de âmbito internacional* (PHEIC) a 20 de janeiro de 2020. A 14 de março de 2019 o ciclone Idai atingiu o Malawi, Moçambique e o Zimbabué, com impactos que ainda hoje são visíveis. A 11 de março de 2011, o acidente nuclear de Fukushima Daiichi, ocorrido na central nuclear de Fukushima, resultante da combinação do terramoto e tsunami de Tohoku, obteve a classificação de nível 7 na Escala Internacional de Eventos Nucleares (INES). Neste cenário global de eventos disruptivos, a importância de abordar explicitamente o papel das línguas, nomeadamente através da tradução, na gestão de eventos locais e internacionais parece-nos inquestionável, sobretudo quando a realidade dos eventos é relatada em momentos de enorme emoção, consternação, medo, perda de vidas, por interlocutores que sofreram o impacto direto do evento em causa, e onde a noção de segurança é testada até ao limite da experiência humana. Estes eventos dão origem a narrativas internas e externas que se perpetuam no tempo e que impactam todas as áreas da vida individual e coletiva, cujo efeito cascata assume magnitudes significativas (Alexander & Pescaroli, 2020) [3]. O domínio dos riscos radiológicos não é imune às narrativas individuais e coletivas, facto reconhecido pela AIEA na publicação de *Communicating with the public in a radiological or nuclear emergency* (IAEA, 2012) [1, 2], que reúne um conjunto de linhas orientadoras a considerar pelas organizações e Estados-Membros para a gestão eficaz de planos de comunicação de emergência que devem “(..) provide the public with useful, timely, truthful, consistent and appropriate information throughout a nuclear or radiological emergency” (IAEA, 2012, p. 1) [1, 2]. A ferramenta *The Nuclear Communicator’s Toolbox*, disponível no site da AIEA, procura também orientar a pessoa responsável pela comunicação com o público antes, no decorrer de, e depois de uma emergência, reconhecendo a diversidade de públicos a endereçar. Sendo a AIEA uma organização com 5 línguas oficiais – Árabe, Chinês, Espanhol, Francês, Inglês e Russo – e que publica informação que precisa de ser localizada em 177 Estados Membros e operacionalizada na comunicação e cooperação internacional no caso de uma emergência, verifica-se uma lacuna na área da comunicação de risco no que concerne aos seguintes aspetos: (1) o papel da tradução e o seu contributo concreto na transferência de conhecimento técnico e científico para realidades onde o domínio se encontra em diferentes estados de maturidade, (2) o contributo que a tradução pode dar ao ser considerada na fase inicial da preparação de comunicação de risco e de emergência, (3) a otimização do conhecimento novo que é co-construído no processo de tradução quando duas ou mais línguas e culturas se encontram para resolver problemas concretos onde se faz uso não só de ciência mas também de experiência humana e (4) a tradução como espaço aglutinador de visões diferentes de um mesmo domínio, retendo e amplificando o conhecimento culturalmente enraizado onde os domínios científicos e tecnológicos se alicerçam. A compreensão da importância da tradução em crises e emergências tem crescido com a expansão da área de tradução em situações de risco, crises e emergências (O’Brien, S., & Federici, F., 2020) [4] através de casos-de-estudo que demonstram o papel mitigador que a tradução pode desempenhar no período antes, durante e depois de um desastre. O presente trabalho tem como objetivo contribuir para a discussão da cultura de segurança ao propor um modelo integrativo, assente na teoria integral (Wilber, 2000) [7], com o potencial de ser uma ferramenta para organizações tecnológicas e científicas e outros stakeholders intervenientes na comunicação e gestão de riscos em língua portuguesa. Contribui de forma tangível para (1) gerir o processo de receção e integração de informação da AIEA de acordo com as competências e perfis existentes nas organizações, (2) identificar e explorar o perfil linguístico de que a organização já dispõe, tornando visível formas de otimizar, (3) explorar uma abordagem colaborativa de co-construção de recursos linguísticos da Comunidade dos

Países de Língua Oficial Portuguesa (CPLP) focada na comunicação de risco e resposta a emergências e (4) explorar o valor das narrativas individuais e coletivas para novas formas de reter e otimizar conhecimento tecnológico e científico.

Metodologia - A metodologia adotada neste estudo explora a meta-teoria integrativa ao combinar a teoria de narrativas (Baker, 2019) [5] e a teoria de associações semânticas (Leech, 1981) [6] num modelo de apoio aos processos de tomada de decisão na área da comunicação que pretende contribuir para alavancar recursos atuais e planejar a comunicação de risco e de emergência integrando as linhas macro da AIEA à luz da realidade de contexto cultural e linguístico, e ao nível da maturidade do domínio científico e literacia de risco em cada Estado-Membro. Para o efeito recorreu-se a um caso-de-estudo sobre os Estados-Membros da AIEA cuja língua oficial é portuguesa, tendo sido possível interagir com as entidades reguladoras do Brasil, Moçambique e Portugal na área nuclear, a saber: a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN, Brasil), a Agência Nacional de Energia Atômica (ANEA, Moçambique) e a Agência Portuguesa para o Ambiente (APA, Portugal). Os dados para o estudo foram recolhidos através de um questionário em-linha; foi compilado um corpus bilingue de textos disponíveis para consulta livre e pública provenientes da AIEA, do CNEN, da ANEA e da APA, complementado por entrevistas presenciais.

Resultados - Os resultados do estudo demonstram que apesar de a tradução não ser tratada explicitamente pelas organizações é reconhecido o seu impacto efetivo na otimização da informação proveniente da AIEA, na sua adaptação e localização, e nas interações entre especialistas e com o público. Adicionalmente, o modelo permitiu identificar necessidades e áreas concretas para intervenção que podem melhorar o desempenho das organizações em língua estrangeira e na sua própria língua. Foi também possível perceber mais claramente os desafios resultantes de narrativas diferenciadas relativamente ao domínio nuclear e radiológico. Foi ainda identificada uma oportunidade para exploração futura onde a compilação de informação disponível em língua portuguesa no domínio do risco radiológico e resposta a crises e emergências demonstra um potencial relevante para o posicionamento estratégico da língua portuguesa para repostas mais céleres e eficazes em Português, assegurando simultaneamente as responsabilidades subjacentes à pertença à comunidade da AIEA.

Conclusões - Os resultados do estudo permitem confirmar o contributo positivo do modelo integrativo como ferramenta para (1) o levantamento e identificação de necessidades e lacunas comunicativas, (2) para o delineamento de passos concretos na planificação da comunicação de risco em língua portuguesa, alinhado com as características locais de cada Estado-Membro e (3) como ferramenta capaz de integrar a multidisciplinaridade que deve informar o processo de tomada de decisão em torno de fenómenos complexos como o da comunicação de risco radiológico.

Referências:

1. International Atomic Energy Agency [IAEA]. (2012). *Communication with the Public in a Nuclear or Radiological Emergency*. IAEA EPR-Public Communication. IAEA.
2. International Atomic Energy Agency [IAEA]. (n.d.a). *The Nuclear Communicator's Toolbox*. IAEA. <https://www.iaea.org/resources/nuclear-communicators-toolbox>
3. Alexander, D., & Pescaroli, G. (2020) The role of translators and interpreters in cascading crises and disasters: Towards a framework for confronting challenges. *Disaster Prevention and Management*, 29(2), 144-156. <https://doi.org/10.1108/DPM-12-2018-0382>
4. O'Brien, S., & Federici, F. (2020). Crisis Translation: considering language needs in multicultural disaster settings. *Disaster Prevention and Management*, 29(2), 129-143.
5. Baker, M. (2010). Narratives of terrorism and security: 'accurate' translations, suspicious frames. *Critical Studies on Terrorism*, 3(3), 347-364. <https://doi.org/10.1080/17539153.2010.521639>
6. Leech, G. (1981). *Semantics. The study of meaning* (2nd ed, revised and updated). Penguin.
7. Wilber, K. (2000). *A Theory of Everything: An Integral Vision for Business, Politics, Science and Spirituality*. Shambhala.

DOSIMETRIA E INSTRUMENTAÇÃO



IX Congresso de Proteção
Contra Radiações da
Comunidade dos Países
de Língua Portuguesa

COIMBRA,
11 A 15 DE DEZEMBRO DE 2023

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

CORREÇÃO DE ESPECTROS DE RAIOS X DA SERIE N DA ISO 4037-1 MEDIDOS COM CdTe

Nascimento^{a,b} M. R., Santos^c J. C. , Macedo^{a,d} E. M., Pacifico^{a,b} L. C., Magalhães^b L. A. G.,
Peixoto^a J. G. P.

^aInstituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro

^bUniversidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

^cUniversidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

^dInstituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia, Salvador
rebellomatheus99@gmail.com

Introdução: A ISO 4037-1 estabelece qualidades de referência para calibração de dosímetros e medidores de dose em radioproteção e uma forma de validar os feixes que estão sendo utilizados é através da espectrometria de raios X [1]. Pelo fato da instrumentação com espectrômetro de CdTe impor um desafio devido as distorções espectrais causadas principalmente pelo escape de raios X característico, espalhamento Compton e perdas de eficiência intrínseca se faz necessário corrigi-los [2].

Nesse sentido, foram medidos os espectros de feixe estreito da N10 a N150 e posteriormente corrigidos para os três principais fenômenos mencionados anteriormente através de uma abordagem simples da metodologia do Stripping [3, 4].

Metodologia: Os espectros da série N foram obtidos utilizando o detector XR-100T de CdTe da Amptek acoplado a uma PX5. Após a medição das qualidades, elas foram submetidas ao algoritmo de correção implementado em Python 3, presente na figura 1, e seus valores de energia média e resolução espectral foram avaliados.

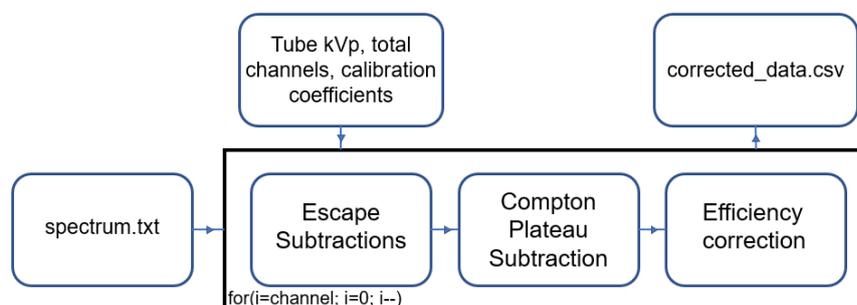


Figura 1: Algoritmo de correção espectral.

Resultados: Os resultados quantitativos da correção espectral estão dispostos na tabela 1 e 2, no qual o * representa os valores com um erro fora do aceitável em norma.

Tabela 1: Energia Média [keV]

	N1	N1'	N2	N2'	N3	N4	N6	N8	N10	N12	N15
Espectro bruto	8	12	16	20	23	29*	44*	62*	77*	87*	97*
Corrigido	8	12	16	20	24	33	48	65	82	95*	107
ISO 4037-1	8	12	16	20	24	33	48	65	83	100	118

Tabela 2: Resolução Espectral [%]

	N1	N1'	N2	N2'	N3	N4	N6	N8	N10	N12	N15
Espectro bruto	26	28	31	33	29	29	33	29	29	35*	44*
Corrigido	27	28	31	33	31	28	34	29	26	30*	45*
ISO 4037-1	28	33	34	33	32	30	36	32	28	27	37

Conclusões: Conforme o trabalho apresentou, há indícios de que o algoritmo utilizado é capaz de corrigir os espectros reduzindo o impacto das distorções do CdTe para as qualidades da série N até 100 kV. Porém, para energias maiores o feixe é endurecido, mas ainda apresenta divergências frente ao padrão estabelecido na ISO 4037-1.

Este resultado traz de questionamento se existem outros modelos físicos de correção espectral que sejam mais adequados para medições em altas energias no CdTe. Nesse sentido, há outras abordagens possíveis, de maior complexidade, centradas na simulação de uma função resposta que consideram a influência de déficit balístico, armadilhamento de cargas e resolução finita do espectrômetro que devem ser avaliados.

Referências:

- [1] International Organization for Standardization. X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy - Part 1.
- [2] Nascimento MR do, Peixoto JGP, Pacifico L de C, et al. Intrinsic challenges in x-ray spectrometry instrumentation with CdTe diode detector. *Brazilian J Radiat Sci*; 9. Epub ahead of print 8 August 2021. DOI: 10.15392/bjrs.v9i2C.1665.
- [3] Tomal A, Santos JC, Costa PR, et al. Monte Carlo simulation of the response functions of CdTe detectors to be applied in x-ray spectroscopy. *Appl Radiat Isot*; 100. Epub ahead of print June 2015. DOI: 10.1016/j.apradiso.2015.01.008.
- [4] Santos JC, Costa PR. *Estudo experimental das relações entre kerma no ar e equivalente de dose ambiente para o cálculo de barreiras primárias em salas radiológicas*. Universidade de São Paulo, 2013.

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

AVALIAÇÃO DE INCERTEZA DA RETA DE CALIBRAÇÃO DO ESPECTRO DE FOTONS DO Am-241 UTILIZANDO O SOFTWARE DPPMCA

Nascimento^a M. R., Macedo^b E. M., Peixoto^a J. G. P.

^aInstituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro

^bInstituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia, Salvador

rebellomatheus99@gmail.com

Introdução: A calibração de um espectrômetro é a base da instrumentação da espectrometria de qualidades de raios X, sendo uma etapa fundamental para que se possa realizar uma análise quantitativa do feixe de radiação. Dessa forma, se torna possível a estimativa de parâmetros como a energia média e resolução espectral, que são requisitos utilizados para estabelecer a rastreabilidade do feixes padrões através da espectrometria, como no caso da ISO 4037-1 [1, 2].

Sendo assim, a avaliação de incerteza na calibração dos espectros é uma primeira etapa na construção do *uncertainty budget* das grandezas mencionadas. Embora seja um tema necessário de se explorar cientificamente, as bibliografias que medem espectros de raios X não costumam avaliar a incerteza dos processos de medição e com isto baseiam as suas análises em parâmetros qualitativos, como o perfil do espectro [3]. Nesse sentido, o trabalho avalia a incerteza percentual obtida para a energia associada aos canais do espectrômetro e estabelece um código em Python para realizar a regressão linear generalizada.

Metodologia: Diante desta necessidade foi medido o espectro de uma fonte selada de Am-241 em um detector de CdTe da Amptek XR-100T controlado pelo software DPPMCA na versão 1.0.0.22, de livre distribuição. Após a aquisição dos dados, o DPPMCA foi utilizado para selecionar os picos de interesse automaticamente e realizar um ajuste gaussiano fornecendo o FWHM e o centroide de resultado.

Dos 8 picos identificados pelo software apenas 4 foram utilizados para realizar a regressão linear (13,90 keV, 20,82 keV, 26,3446 keV e 59,5409 keV), desconsiderando assim os que estavam sobrepostos e os picos de escape do CdTe. Esses dados foram exportados para a regressão com pesos, implementada em Python 3, considerando a incerteza do centroide e da energia dos dados do XGAMA da IAEA [4].

Resultados: Os valores dos coeficientes obtidos estão dispostos na tabela 1 com as incertezas para um fator de abrangência $k=1$. Os coeficientes a e b se referem a uma reta $E=a.c+b$, em que c são os canais.

Tabela 1: Coeficientes da Regressão Linear.

a [keV]	b [keV]
$3,5861(5) \times 10^{-6}$	$9,0(7) \times 10^{-2}$

Propagando a incerteza de a e b para a energia foi obtida a sua incerteza percentual, disposta na figura 1, cujo resultado se aproxima de um valor assintótico da incerteza de a dividida por a , conforme os canais tendem ao infinito.

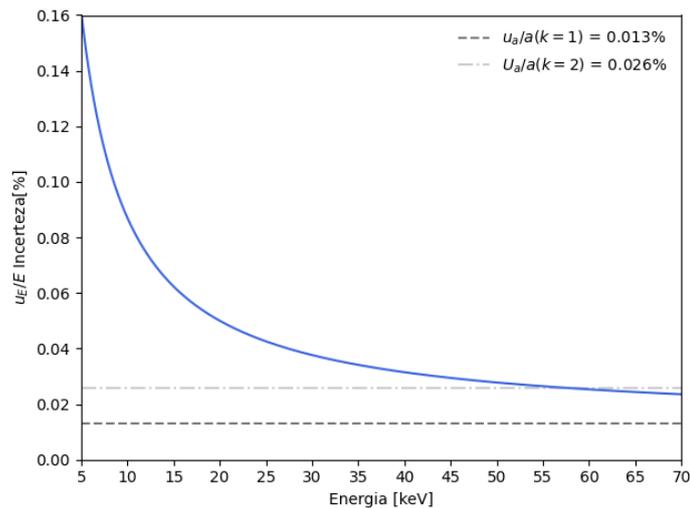


Figura 1: Incerteza percentual da energia.

Conclusões: Conforme o trabalho apresentou, o erro percentual decresce com um aumento da energia tendendo a um valor finito. Uma incerteza percentual constante é relevante para uma maior simplicidade da construção do *uncertainty budget* das grandezas energia média e resolução espectral de espectros de raios X. Portanto cabe investigar se é possível obter curvas de incerteza percentual que consigam convergir rapidamente, a partir de 5 keV-10 keV elevando o total de canais do espectrômetro e/ou reduzindo o fator de ganho.

Entretanto, o DPPMCA na versão 1.0.0.22 não corrige distorções espectrais documentadas em diversas bibliografias, como o escape de raios X característico, platô Compton e armadilhamento de cargas sendo um software deficitário para a análise de dados científicos, já que seu objetivo principal não é este. Sendo assim, é necessário buscar softwares ou códigos auxiliares que possam ser utilizados com o XR-100T.

Referências:

- [1] Nascimento MR do, Peixoto JGP, Pacífico L de C, et al. Intrinsic challenges in x-ray spectrometry instrumentation with CdTe diode detector. *Brazilian J Radiat Sci*; 9. Epub ahead of print 8 August 2021. DOI: 10.15392/bjrs.v9i2C.1665.
- [2] International Organization for Standardization. X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy - Part 1.
- [3] Santoro-Fernandes V, Santos JC, Mariano L, et al. Uncertainty estimation and statistical comparative methodology for mammography x-ray energy spectra. *Biomed Phys Eng Express* 2020; 6: 035018.
- [4] Vuolo JH. *Fundamentos da teoria de erros*. 1 edição. Blucher, 1996)

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

REVISÃO DE DOSE EM CRISTALINO NO PERÍODO 2020 A 2022

J. Muñoz, J. Llansana, S. Pastor, O. Gultresa, J. Gultresa

Centro de Dosimetria, s. l. – Barcelona

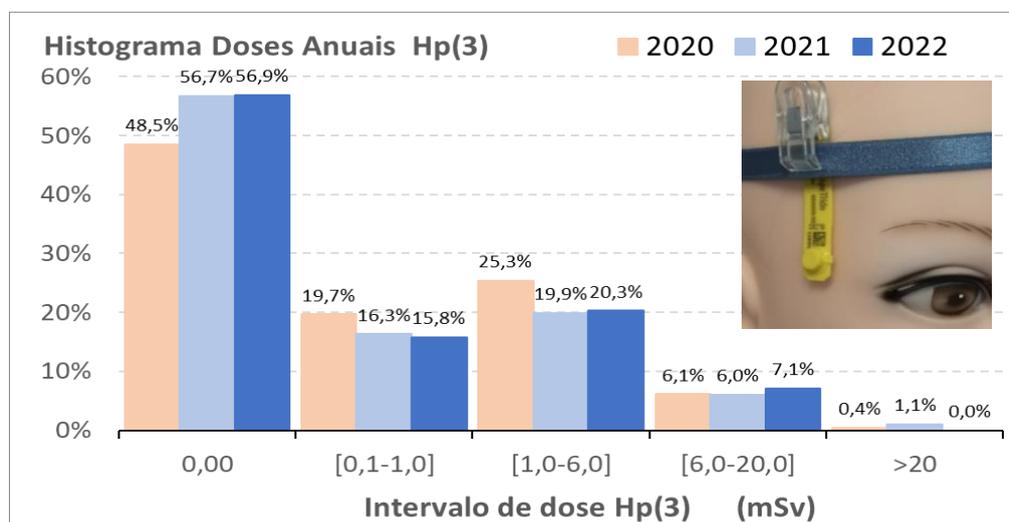
laboratorio@dosimetria.com

Introdução - Foi efetuada a análise da evolução do número de controles de cristalino e das respectivas doses no período 2020 a 2022. Se comparam as doses acumuladas anuais de cristalino relativamente as de corpo inteiro nos casos em que os usuários utilizam ambos os tipos de controlo na mesma instalação.

Metodologia - Leitores TL automáticos, marca RADOS, modelo RE2000, detetores TLD-100, marca HARSAW, porta-dosímetros de corpo inteiro (CI) e de cristalino (CR), modelos desenhados e fabricados por centro de dosimetria, compatíveis com RADOS e calibrados no LCSD de INTE.

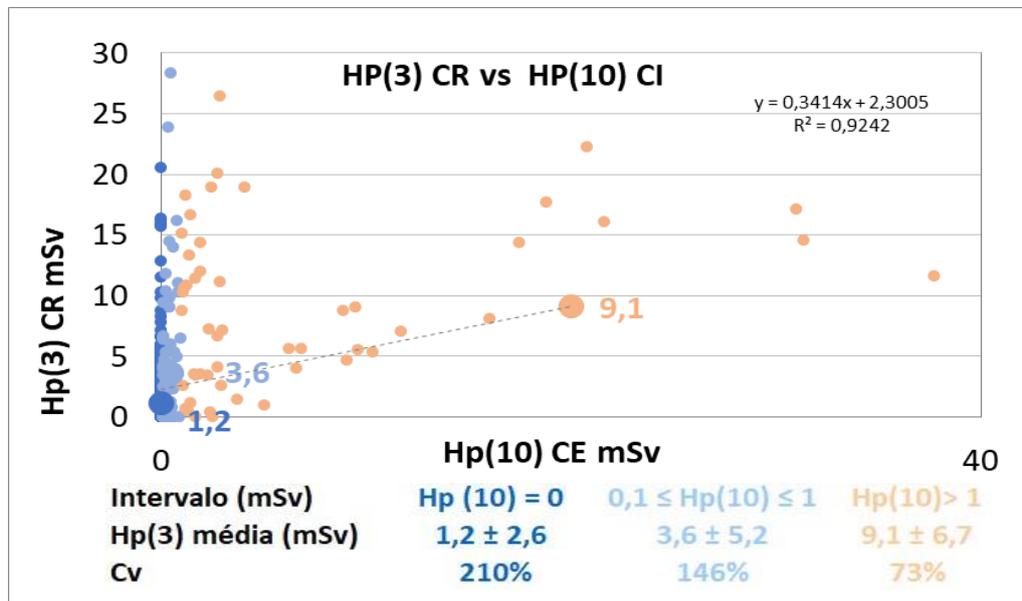
O dosímetro CR está calibrado^{1,2} em termos de $H_p(3)$ e a sua resposta foi verificada na intercomparação^{1,2} EURADOS IC2019exteye. Este dosímetro é de uso único, estanque, ergonómico e com diferentes alternativas para a sua colocação (fita, touca cirúrgica, óculos), permite alojar os detetores, um em cima do outro e a sua forma plana facilita a identificação, realizada mediante gravação laser.

Resultados - O número de controlos de cristalino aumentou de 200 em 2020 a uns 300 na atualidade (substituindo os de sobre avental utilizados até então para estimar a dose no cristalino). Um aumento que não parece refletir a tendência na radioproteção³ do cristalino. Praticamente a totalidade de usuários provém do âmbito sanitário, 96% em radiologia de intervenção e 4% em medicina nuclear. Foram estudados uns 400 controlos e mais de 6500 doses atribuídas. No gráfico seguinte mostra-se a distribuição de doses anuais de cristalino para o período analisado.



Não existem diferenças significativas entre as distribuições de doses dos anos analisados, correspondendo 50% a doses nulas e 30% a doses superiores a 1 mSv/ano.

No gráfico infra foi analisada a relação entre a dose anual de cristalino Hp(3) e a dose equivalente anual Hp(10) do dosímetro de corpo inteiro para os usuários que combinam o uso de ambos os dosímetros na mesma instalação, onde se observa que não há correlação direta entre Hp(10) e Hp(3).



Considerando três intervalos de Hp(10) anual nos controlos de corpo inteiro: a) dose nula, b) dose entre 0,1 e 1 mSv, e c) dose superior a 1 mSv, as doses médias no cristalino para cada intervalo são: $Hp(3)_{CI=0} = 1,2 \pm 2,6$ mSv (Cv= 210%), $Hp(3)_{CI[0,1-1]} = 3,6 \pm 5,2$ mSv (Cv= 146%) e $Hp(3)_{CI \geq 1} = 9,1 \pm 6,7$ mSv (Cv= 73%).

Observa-se que os valores médios de Hp(3) para cada intervalo estão moderadamente correlacionados com Hp(10), segundo vai diminuindo o coeficiente de variação.

Conclusões

- Não podemos estabelecer correlação entre a dose Hp(3) do dosímetro de cristalino e a dose Hp(10) de corpo inteiro, inclusivamente quando ambas as doses são significativas.
- Observa-se uma relação qualitativa entre o intervalo de dose de corpo inteiro e as doses médias no cristalino para cada intervalo.
- Um 22% de controlos com dose anual Hp(10) nula tem dose anual Hp(3) > 1 mSv, isto é, uma dose Hp(10) nula não é um índice de proteção do cristalino.
- Apenas em 5 casos Hp(3) teve resultado superior a 20 mSv/ano (1%).

Referências

- (1) J. Gultresa, O. Gultresa, J. Llansana, J. Muñoz. Anillo plano de un solo uso para dosimetría de extremidades y cristalino. Presentación en 7º Congreso Conjunto SEFM- SEPR, on-line, 2021.
- (2) IEC 62387:2012, Radiation protection instrumentation – Passive integrating dosimetry systems for personal and environmental monitoring of photon and beta radiation
- (3) UNE-EN ISO 15382:2015 Procedimientos para vigilar las dosis en cristalino, la piel y las extremidades.

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

ESTUDO DE UMA METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA CAMADA SEMIRRETUDORA UTILIZANDO O CÓDIGO DE MONTE CARLO PHITS

Soares^a R. E., Lacerda^b M. A. S.

^a Departamento de Física - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte – MG

^b Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), Belo Horizonte - MG

ronaldeduardos@ufmg.br

Introdução - A qualidade do feixe de radiação X produzido por um tubo de raios X é caracterizada numericamente pela camada semirredutora (CSR). A CSR pode ser definida como a espessura de material atenuador que reduz o kerma no ar de um feixe unidirecional de largura infinitesimal à metade do seu valor inicial. Nesta definição, é excluída a contribuição de toda a radiação espalhada, que não seja aquela que possa estar inicialmente presente no feixe. Ou seja, a CSR deve ser determinada em condições de boa geometria, que implica uma configuração que minimize a influência do espalhamento, que tende a aumentar o valor da CSR (International Organization for Standardization, 2019; Lacerda et al., 2007) [1,2]. A ISO-4037-1 detalha o procedimento de medida da CSR (International Organization for Standardization, 2019) [1].

O desempenho de detectores pode ser estudado a partir do espectro e parâmetros do feixe simulados com diferentes códigos computacionais que empregam o Método de Monte Carlo (MMC). Há disponíveis vários códigos de Monte Carlo que podem ser utilizados para esse propósito (Kawrakow, 2001; Kulesza et al., 2022; Tatsuhiko Sato & Niita, 2018) [3-5]. O objetivo do presente trabalho é apresentar uma metodologia para a determinação da CSR utilizando o código de Monte Carlo PHITS (Tatsuhiko Sato & Niita, 2018) [5].

Metodologia - Inicialmente, um anodo rotatório de tungstênio, com 20° de ângulo anódico, foi modelado no vácuo, em proporções semelhantes aquele desenvolvido por (Campillo-Rivera et al., 2021) [6]. Ao seu redor foi modelada uma casca esférica, com 5 cm de raio ; quantificou-se, então, com o tally T-Cross, a fluência de fótons, em intervalos de energia de 1 keV, através dessa superfície, originados da interação de um feixe de elétrons de 30 keV e, posteriormente, de outro de 300 keV com o anodo, contra o qual foram acelerados. Desse modo, foram obtidos os espectros de emissão dos raios X, com um número de histórias simuladas da ordem de 10⁹.

Então definiu-se, em outra geometria, uma fonte isotrópica de fótons com distribuição de probabilidades para as energias dadas a partir de cada um dos espectros obtidos nas simulações supracitadas. O espaço dessas novas simulações é delimitado por um cilindro de 1,05 m de comprimento e 1,05 cm de raio. Próximo a uma de suas extremidades é definida a fonte de fótons, no vácuo. Entre a fonte e um detector esférico, definido no ar seco, com 1 cm de raio e localizado na extremidade oposta, interpõem-se uma camada de vidro, com 2 mm de espessura e uma camada de ar, com 1 cm de espessura ; além dessa camada de ar, para a fonte definida segundo o espectro obtido pela interação do feixe de 30 keV, há uma camada de alumínio, de 4 mm de espessura, conforme as especificações para a qualidade N30 da ISO 4037-1 (International Organization for Standardization, 2019) [1]. Para a fonte definida segundo o espectro obtido a partir da interação do feixe de 300 keV há ainda uma camada de estanho com 3 mm de espessura e uma camada de 5mm de chumbo, também conforme as especificações da ISO 4037 mas, dessa vez, para a qualidade N300. Em ambos os casos o espectro da radiação através do detector foi quantificado utilizando o tally T-Track, com discretização em intervalos de 1 keV. Essa configuração de feixe estreito, adotada para a mitigação da contribuição dos fótons retroespalhados pelos atenuadores para o espectro é semelhante à desenvolvida por (de Jesus Teixeira et al., 2019) [7].

Por fim, com os espectros das qualidades N30 e N300 obtidos a partir das simulações, definiu-se na mesma região delimitada anteriormente, mas agora completamente preenchida por ar seco, com exceção do pequeno segmento em que se dispõe um atenuador de alumínio, de espessura variável, outra fonte de fótons, agora com distribuição de probabilidades dadas segunda cada um dos novos espectros. Para cada uma das fontes, o kerma a 1 metro, por fóton

emitido, foi estimado para variadas espessuras do atenuador de alumínio. Então, ajustes exponenciais realizados sobre a dispersão dos pontos do kerma em função da espessura do atenuador, utilizando a biblioteca Lmfit do Python, e também a Matplotlib para visualização dos dados, permitiram estimar a espessura da camada semirredutora para cada uma das qualidades e comparar os dados com aqueles descritos na literatura.

Resultados - A Tabela 1 mostra uma comparação dos valores estimados de CSR, em mm de alumínio, a partir dos ajustes descritos, e aqueles reportados na literatura (International Organization for Standardization, 2019) [1].

Tabela 1. Comparação dos valores de CSR obtidos nesse trabalho e os reportados na literatura.

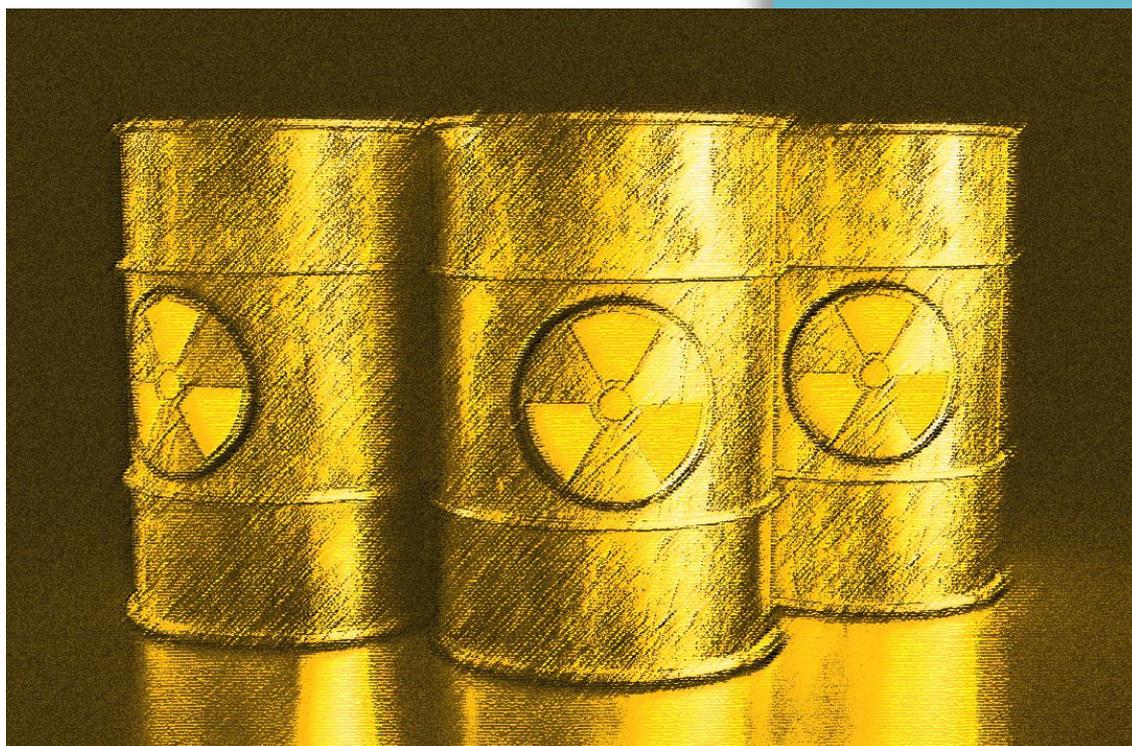
Qualidade ISO 4037	HVL _{Al} Calculado (mm)	HVL _{Al} Referência (mm)
N30	(1.31 ± 0.01)	1.16
N300	(23.04 ± 0.09)	22.94

Conclusões - Os resultados preliminares atestam a efetividade da metodologia e do código empregados. Novas simulações, ainda em curso, objetivam validá-la para outras qualidades de feixe e obter novos resultados associados à qualidade N30, já avaliada, para averiguar a eficiência do ajuste ou estabelecer hipóteses acerca da ineficiência da geometria adotada para feixes de baixa energia. Espera-se também avaliar a correlação entre os resultados obtidos via simulação e os valores calculados por softwares que estimam as grandezas através de outros métodos.

Referências :

- [1] International Organization for Standardization. (2019). Radiological protection—X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy— Part 1 : Radiation characteristics and production methods. *ISO, 4037-1*.
- [2] Lacerda, M. A. S., Silva, T. A., & Oliveira, A. H. (2007). Influência da metodologia de avaliação da camada semi-redutora em radiologia diagnóstica. *Radiologia Brasileira, 40*, 331–336.
- [3] Kawrakow, I. (2001). The EGSnrc code system, Monte Carlo simulation of electron and photon transport. *NRCC Report Pirs-701*.
- [4] Kulesza, J. A., Adams, T. R., Armstrong, J. C., Bolding, S. R., Brown, F. B., Bull, J. S., Burke, T. P., Clark, A. R., Forster III, R. A. A., & Giron, J. F. (2022). *MCNP® code version 6.3. 0 theory & user manual*. Los Alamos National Lab.(LANL), Los Alamos, NM (United States).
- [5] Tatsuhiko Sato, L. S., Yosuke Iwamoto, Shintaro Hashimoto, Tatsuhiko Ogawa, Takuya Furuta, Shin-ichiro Abe, Takeshi Kai, Pi-En Tsai, Norihiro Matsuda, Hiroshi Iwase, Nobuhiro Shigyo, & Niita, K. (2018). Features of Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) version 3.02. *Journal of Nuclear Science and Technology, 55*(6), 684–690. <https://doi.org/10.1080/00223131.2017.1419890>
- [6] Campillo-Rivera, G. E., Torres-Cortes, C. O., Vazquez-Bañuelos, J., Garcia-Reyna, M. G., Marquez-Mata, C. A., Vasquez-Arteaga, M., & Vega-Carrillo, H. R. (2021). X-ray Spectra and Gamma Factors from 70 to 120 KV X-ray Tube Voltages. *Radiation Physics and Chemistry, 184*, 109437.
- [7] de Jesus Teixeira, G., Macedo, E. M., Pereira, W. W., de Queiroz Filho, P. P., dos Santos Gomes, R., David, M. G., Campos, L. T., Santos, M. H., & de Sousa, C. H. S. (2019). Facilidades de códigos de Monte Carlo para obter CSR. *Brazilian Journal of Radiation Sciences, 7*(3B (Suppl.)).

GESTÃO DE FONTES E RESÍDUOS RADIOATIVOS



IX Congresso de Proteção
Contra Radiações da
Comunidade dos Países
de Língua Portuguesa

COIMBRA,
11 A 15 DE DEZEMBRO DE 2023

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

GERENCIAMENTO DE FONTES RADIOATIVAS EM DESUSO EM MOÇAMBIQUE:

DESAFIOS E PERSPECTIVAS

Mussica¹ R.P., Maphossa¹ A.M.

¹Agência Nacional de Energia Atômica, Praça 25 de junho, No380, 2º andar direito, Maputo,

Moçambique

richmussica@hotmail.com

Introdução - O uso de fontes radioativas em diversas aplicações, na medicina, indústria e pesquisa, desempenha um papel fundamental no avanço da ciência e da tecnologia em todo o mundo. No entanto, com o passar do tempo, muitas dessas fontes radioativas se tornam obsoletas e, portanto, representam um desafio significativo em termos de gerenciamento seguro e eficaz.

Em Moçambique, a utilização de fontes de radiação ionizante necessita autorização da *Agência Nacional de Energia Atômica* (ANEA) que é a Autoridade Reguladora criada por Lei de Energia Atômica (Lei nº 8/2017 de 21 de Julho) que regula o uso pacífico da radiação ionizante no país [1].

O objetivo principal deste estudo é analisar o atual estado do gerenciamento de fontes radioativas em desuso em Moçambique, identificar os desafios associados a esse gerenciamento e propor perspectivas para o gerenciamento seguro e eficaz dessas fontes.

São apresentadas algumas soluções e boas práticas adotadas em outros países para o gerenciamento seguro de fontes radioativas seladas em desuso (FRSD). Também são destacadas iniciativas internacionais que poderão colaborar com Moçambique na construção de uma estrutura sólida e eficiente para lidar com FRSD, considerando a importância da cooperação internacional na gestão de questões ambientais e nucleares.

A falta de infraestrutura, capacitação técnica, regulamentos específicos para o gerenciamento de fontes radioativas seladas em desuso e conscientização pública sobre fontes radioativas em desuso em Moçambique representam um desafio significativo para a segurança nuclear e a proteção da população e do meio ambiente.

Por fim, é destacada a importância de um plano de gerenciamento de rejeitos radioativos consistente, abrangente e sustentável, com o propósito de minimizar os riscos à saúde humana e ao meio ambiente, bem como garantir a segurança das gerações futuras.

Através deste estudo, espera-se contribuir para a conscientização sobre essa questão crucial, ressaltando a necessidade de políticas e ações concretas para enfrentar os desafios que o gerenciamento de fontes radioativas em desuso apresenta no contexto moçambicano.

Metodologia - Para alcançar os objetivos propostos, realizou-se uma pesquisa abrangente, que incluiu revisão bibliográfica, visitas a instalações que lidam com fontes radioativas em Moçambique e entrevistas com indivíduos ocupacionalmente expostos. A pesquisa abordou os seguintes aspectos:

- Identificação, quantificação e classificação (por categoria) de fontes radioativas em desuso em Moçambique;
- Avaliação das condições de armazenamento e segurança dessas fontes;
- Análise das políticas e regulamentações relacionadas ao gerenciamento de fontes radioativas em desuso.

Resultados - Com base na pesquisa realizada, os resultados indicam que Moçambique enfrenta vários desafios no gerenciamento de fontes radioativas seladas em desuso:

- Falta de infraestrutura adequada para o armazenamento seguro de fontes radioativas em desuso;

- Escassez de recursos humanos qualificados para lidar com a gestão de resíduos radioativos;
- Falta de regulamentos para o gerenciamento de fontes radioativas em desuso;
- Conscientização limitada sobre os riscos associados ao manuseio inadequado de fontes radioativas.

O gerenciamento seguro de fontes radioativas seladas em desuso é um desafio maior que requer a seleção adequada de locais de armazenamento e o cumprimento de regulamentos específicos.

Durante o processo de inventariação foram encontradas doze (12) fontes radioativas em desuso das quais duas (2) fontes radioativas de Cs-137 de categoria cinco (5) foram devolvidas ao fabricante. As restantes dez (10) encontram-se armazenadas no armazém temporário que fica localizado no Departamento de Oncologia do Hospital Central de Maputo. Estas fontes foram usadas durante a época colonial e a sua proveniência é desconhecida.

Conclusões - Em Moçambique a opção preferencial para o gerenciamento de fontes radioativas seladas fora de uso é o retorno ao seu fornecedor, conforme plasmado na alínea h do número 1 do artigo 10 da Lei Nº 8/2017 (Lei de Energia Atómica) [1].

Os procedimentos de gerenciamento de fontes radioativas em desuso adotados pela autoridade reguladora de Moçambique incluem a seguinte informação: Histórico da fonte/manutenção de registros; Identificação; Caracterização; Redução de volume (se possível); Acondicionamento/reembalagem; Armazenamento intermediário e disposição final (no futuro); Inventário de DSRS / registro de DSRS [2]. O gerenciamento de fontes radioativas em desuso é uma questão crítica que requer atenção imediata [3]. Com base nos resultados da pesquisa, algumas perspectivas podem ser consideradas para melhorar a situação:

- Desenvolver uma Política Nacional e Estratégia para o gerenciamento de FRSD [2];
- Desenvolver infraestrutura de armazenamento adequada e segura para fontes radioativas em desuso;
- Investir na capacitação de pessoal técnico para lidar com a gestão de resíduos radioativos;
- Fortalecer e atualizar as regulamentações relacionadas ao gerenciamento de fontes radioativas em desuso;
- Promover a conscientização pública sobre os riscos associados ao manuseio inadequado de fontes radioativas.

O gerenciamento adequado de fontes radioativas em desuso é essencial para garantir a segurança da população e do meio ambiente em Moçambique. Com esforços coordenados e investimentos adequados, o país pode superar os desafios existentes e estabelecer um sistema eficaz de gerenciamento de resíduos radioativos.

Referências

- [1] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ATÓMICA, Lei nº 8/2017, Lei de Energia Atómica, Maputo, 21 de Julho de 2017. (<http://faolex.fao.org/docs/pdf/moz184079.pdf>)
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY: Management of Disused Sealed Radioactive Sources, IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.3, Vienna (2014);
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, BOSS: Borehole Disposal of Disused Sealed Sources. A Technical Manual, IAEA-TECDOC-1644, IAEA, Vienna (2011).

MODELS OF RADIONUCLIDE MIGRATION FROM
A NEAR-SURFACE REPOSITORY

Carvalho^a C., Pereira^b A., Paiva^c I.

^{a,c}Instituto Superior Técnico, Lisboa; ^bFormerly at Dept. of Physics, Stockholm University, Sweden;

^cCenter for Nuclear Science and Technology, Dept. of Nuclear Engineering and Sciences

^acristiana.neves.carvalho@gmail.com, ^bantonio.de.campos.pereira@outlook.com,

^cipaiva@ctn.tecnico.ulisboa.pt

Introduction - Portugal is considered a Small Inventory Member State (SIMS) [1]. It has no nuclear power plants, and all its radioactive waste primarily emerges from medical, industrial, and research applications. Portuguese radwaste consists of VLLW, LLW, and ILW, storage in a centralized interim facility [2]. In radioactive waste management, near-surface repositories for LLW and ILW are projected to operate for several hundred years [3]. The COMSOL Multiphysics[®] simulation software is essential for estimating the safety conditions of a repository, contributing to an effective radiological protection of the environment and biosphere [4]. The aim of this project was to develop and assess two- and three-dimensional finite-element models of radionuclide migration from a hypothetical near-surface repository, designed for the disposal of LILW, containing ¹³⁷Cs.

Methodology - An initial 2D model was carried out where the migration of ¹³⁷Cs was analyzed. The next step was to develop a mathematically identical model in a 3D geometry. The simulated repository consisted of three sequential vaults assembled at a depth of 48 meters within a granitic medium, where the waste was first enclosed in concrete drums and then isolated by concrete and bentonite-engineered barriers. The post-closure performance of the repository was evaluated using a time-dependent numerical model coupling the hydrological flow (Darcy's Law) to the transport of radionuclides. Nuclide migration was assessed based on release rate values measured at three different locations on the model: at the interface between the repository and the host rock (near-field); at an intermediate distance (100 meters) from the repository; and the end of the geological medium (far-field). Lastly, the committed effective dose, which is equal to the product of radionuclide concentration, annual drinking water ingestion rate, and the ingestion dose coefficient [5], was determined at the far-field region for both models.

Results: Figure 1 illustrates the water streamlines resulting from computing Darcy's velocity field. Water, precipitating on the top surface, infiltrates the top and bottom layers, and flows towards the right side of the geological field, passing through and into the repository. In the process, it interacts with the waste, carrying the radioactive isotope along its path, facilitating the transport of ¹³⁷Cs outside the repository and throughout the geological formation.

Figure 1. Darcy's velocity field streamlines (arrows) along the geological medium in the (a) 2D and (b) 3D models. Concentration of ¹³⁷Cs along the geological formation in the (c) 2D and (d) 3D models, after 300 years (log scale).

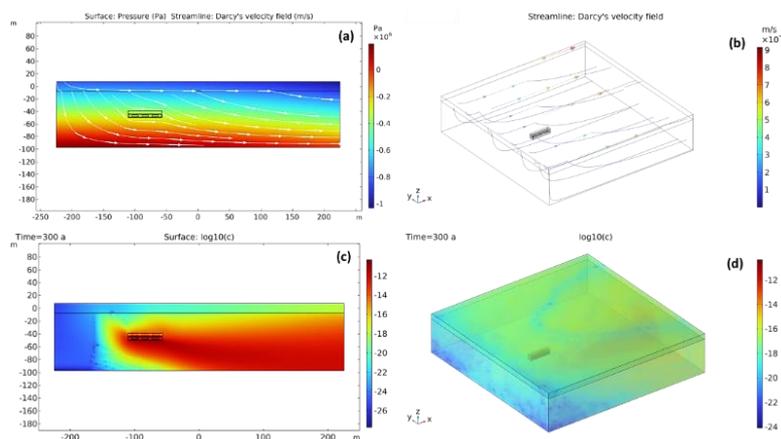
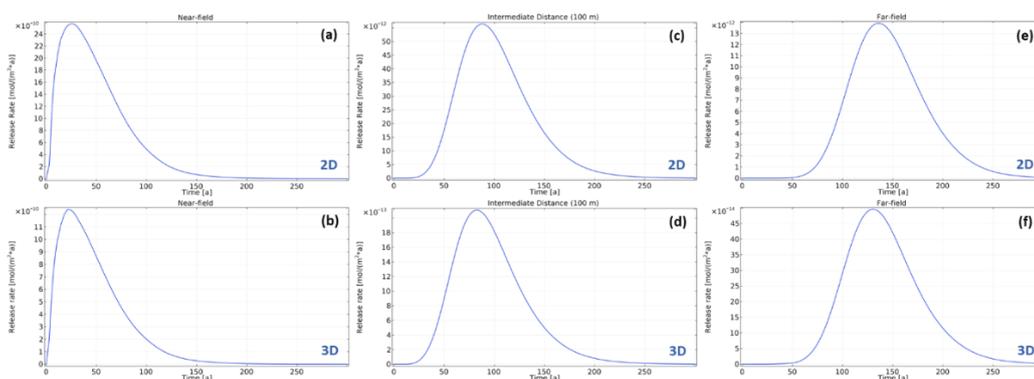


Figure 2 displays the breakthrough curves computed at the three distinct locations on the two simulated models.



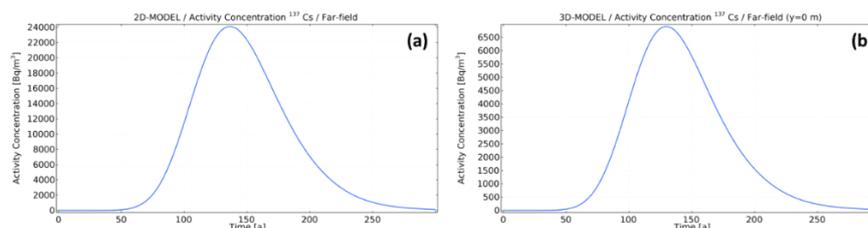
Preliminary findings, which include the decrease in release rate values with the increase in distance from the repository, along with the time retardation of the peaks (Table 1), indicate effective confinement of ^{137}Cs by both the bentonite and the concrete engineered barriers, while it is simultaneously retained by the granitic formation.

Table 1 – Release rate peak values of ^{137}Cs ($\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$) and corresponding time (a) observed in the breakthrough curves.

	2D-model		3D-model	
	Peak	Time	Peak	Time
	($\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$)	(a)	($\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$)	(a)
Near-field	2.57E-09	25.4	1.24E-09	21.5
100 m	5.64E-11	87.8	2.11E-12	82.4
Far-field	1.39E-11	135.5	4.95E-13	130.0

At the far field, concentration peaks of $2.41\text{E}+04 \text{ Bq}/\text{m}^3$ and $6.9\text{E}+03 \text{ Bq}/\text{m}^3$ were observed in the 2D and 3D models, respectively (Figure 2). Based on these concentration values, an estimation of the committed effective dose for an adult member of the public via water ingestion will be presented and discussed. The 2D model dose exceeds the national regulatory limit of $0.1 \text{ mSv}/\text{year}$ (5), while the 3D model dose remains within this limit.

Figure 2. Average concentration of ^{137}Cs (Bq/m^3) over 300 years at the far-field (a) 2D and (b) 3D models.



Conclusions: - The study demonstrates strong retention of ^{137}Cs by the engineered barrier system, reinforcing the central role of the COMSOL software in repository risk assessment. Key processes retarding radionuclide migration include diffusion and sorption of ^{137}Cs within the rock matrix, radioactive decay, and hydrodynamic dispersion. This work is the pioneer in the application of COMSOL Multiphysics® to the safety of radwaste disposal in Portugal.

References:

- [1].Deliverable 9.11: ROUTES-Report presenting the results of the workshop dealing with possible conditioning routes for SIMS. Available from: <http://www.ejp-eurad.eu/>
- [2].Presidência do Conselho de Ministros. Resolução do Conselho de Ministros no 122/2017, de 7 de setembro. Available from: <https://dre.pt/dre/detalhe/resolucao-conselho-ministros/122-2017-108113697>
- [3].IAEA Safety Standards Disposal of Radioactive Waste for protecting people and the environment; Available from: <http://www-ns.iaea.org/standards/>
- [4].Sentís ML, Altorfer F, Herfort M, Jakob A, Kosakowski G, Friedel S. Benchmark Calculations with COMSOL of the Transport of Radionuclides through Clay and Bentonite Barriers in a Geological Repository, 2009.
- [5].Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro de 2017. Available from: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/152-2017-114315242>

PLANEJAMENTO E RESPOSTA A EMERGÊNCIAS



IX Congresso de Proteção
Contra Radiações da
Comunidade dos Países
de Língua Portuguesa

COIMBRA,
11 A 15 DE DEZEMBRO DE 2023

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

EVENTOS SIGNIFICATIVOS : DETEÇÃO, AÇÃO, COMUNICAÇÃO E MITIGAÇÃO

Graça^a S. I., Baptista^b M. C.

^a Hospital Lusíadas Amadora, Av. dos Hospitais Cívicos de Lisboa 8, 2724-002 Amadora,

^b Lusíadas ACE, Rua Laura Alves, 12, 5º Piso, 1050-138 Lisboa

maria.carmo.baptista@lusiadas.pt

Introdução - Qualquer procedimento radiológico, por definição, corresponde a um procedimento que resulte numa exposição médica e conseqüente exposição à radiação ionizante que, poderá ser sujeito a ocorrências de incidentes, ou seja, a qualquer ocorrência não intencional cujas conseqüências ou potenciais conseqüências não sejam negligenciadas do ponto de vista da proteção contra radiações ionizantes.

Situações de exposições acidentais a grávidas enquadram na definição de eventos significativos estando sujeitos a procedimentos de registos, avaliações, optimizações de procedimentos e mudanças operacionais, sempre que justificadas. Este trabalho tem por objetivo otimizar processos que reduzam e/ou mitiguem situações recorrentes de exposições acidentais na sequência do desenvolvimento da prática no âmbito da Tomografia Computorizada.

Metodologia - Um sistema de registo de ocorrências optimizado reflete uma rápida resposta a situações em que se observem eventos significativos dentro do âmbito da radioproteção. Uma análise de risco com os corretos intervenientes parametrizados, possibilita uma abordagem rápida e assertiva neste tipo de processos. Assim, em situações reais o grupo Lusíadas Saúde possui implementado o seguinte fluxograma:

1. Abertura da ocorrência no sistema de registos de eventos :

	HEALTH EVENT & RISK MANAGEMENT	FICHA DO INCIDENTE			
N.º do Incidente	2223/23	Data de Criação:	27-09-2023	Data de Comunicação:	27-09-2023
Estado:	Aguarda Análise	Tipo de Incidente:	2 - Processo/Procedimento Clínico		

2. Passagem da informação associada à paciente e exame realizado ao responsável pela proteção radiológica da prática

	Estimativa de dose absorvida PACIENTE GRÁVIDA	CÓDIGO ----- Pág. 1 / 2
---	--	--------------------------------------

INFORMAÇÃO DA UNIDADE

Unidade: Hospital Lusíadas Amadora

Modalidade: Tomografia Computorizada Radiologia Convencional Mamografia

3. Análise dos parâmetros de exposições, emissão de relatório dosimétrico à paciente e análise do risco de exposição fetal
4. Levantamento dos procedimentos práticos implementados na unidade, nomeadamente: Justificação da prática, recolha do consentimento informado e esclarecido, devidamente assinado pela paciente.
5. Comunicação do evento e respetivos resultados ao titular da prática e direção clínica da unidade.
6. Entrega do relatório à paciente e encaminhamento para a especialidade ginecologia/obstetrícia
7. Comunicação do evento junto da entidade competente, Agência Portuguesa do Ambiente (APA)

Resultados - Para o evento apresentado foram tidos em conta os seguintes critérios de avaliação e respetiva classificação :

Critério	Explicação	
Consequências reais ou prováveis: Nenhumas	Nenhum aumento significativo no risco estocástico (dose efetiva inferior a 100 mSv).	Nível 0
Consequências potenciais máximas:	O evento máximo para isso realmente ocorreu.	Nível 1
Identificação do número de camadas de segurança:	Foi entregue consentimento informado e esclarecido à paciente. Avaliada a justificação da prática consoante prescrição clínica do médico prescriptor, Camadas restantes antes de atingir o evento máximo: nenhuma	Nível 0
Avaliação da classificação básica	Abaixo da escala.	Nível 0
Fatores adicionais	Diagnóstico de infertilidade da paciente	Nível 0
Avaliação geral		Nível 1

Nível de gravidade: Moderado (dano em que o lesado necessita de um tratamento/ procedimento/ orientação/ acompanhamento mais profundo).

Probabilidade de reincidência do evento: Improvável

Fatores decisivos ao dano: Diagnóstico prévio de infertilidade e confirmação de estado de não gravidez por parte da paciente.

Classificação: Nível 1 - Evento com consequências dosimétricas, mas sem consequências clínicas expectáveis. Nenhum sintoma esperado.

Conclusões - Com a sensibilização das equipas da importância dos registos de qualquer evento significativo, por forma a criar sinergias nas respostas a emergências radiológicas, foram implementadas de imediato as seguintes ações de melhorias:

1. Comunicação imediata do incidente, junto do Responsável pela proteção radiológica da prática;
2. Ativação imediata do plano de emergência interno;
3. Registo do evento no sistema de registos HER+;
4. Realização dos relatórios de dose resultantes da exposição à radiação ionizante (paciente e feto);
5. Análise de risco na exposição do feto, tendo em consideração a idade gestacional;
6. Colocação da informação de dose no processo clínico da paciente;
7. Encaminhamento da paciente para a especialidade de obstetrícia;
8. Entrega dos relatórios anteriores à paciente;
9. Revisão do documento Consentimento informado com inclusão de pergunta direta sobre estado de gravidez, complementando a advertência já existente na revisão anterior do documento.

Referências

n.a.

IX Congress of Radiation Protection of the Portuguese Speaking Countries

A NOVEL RADIATION DETECTION SYSTEM INSTALLED ON UAV FOR SECURITY AND SAFETY APPLICATIONS

Marques^a L., Vale^b A., Vaz^c P.

^aCentro de Investigação da Academia da Força Aérea, Granja do Marquês, 2715-021, Portugal

^bInstituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001, Portugal

^cCentro de Ciências e Tecnologias Nucleares, Estrada Nacional 10 (km 139.7), 2695-066, Portugal

lumarques@academiafa.edu.pt

Introduction: Since the 2011 Fukushima nuclear plant incident, unmanned aerial vehicles (UAVs) have played a crucial role in acquiring high-resolution radiation maps. The use of highly maneuverable UAVs, such as multirotors, posed fresh challenges for robust, compact, and lightweight radiation detection systems. Semiconductors and inorganic scintillators with silicon photomultiplier (SiPM) readouts are now integrated into multirotors for safety and security applications due to their spectroscopic capabilities and low weight [1]. While plastic scintillators offer a cost-effective solution with larger detection volumes and diverse shapes, they have limitations in energy resolution. Radiation portal monitors (RPMs) using polyvinyl toluene (PVT) scintillators and helium-3-based neutron detectors are normally employed at seaports, land borders, and airports, aimed at detecting low-intensity gamma and neutron sources, including shielded or concealed materials [2]. The worldwide helium-3 shortage necessitates research into alternative neutron detection technologies [3]. When RPM alarms trigger, manual inspections are time-consuming. An alternative to RPMs is the deployment of a network of detectors for identifying and tracking moving radioactive sources [4]. Compact mobile radiation detection systems (MRDS) are versatile, easily deployable, and can offer significant advantages for inspecting cargo and critical infrastructures, especially in situations involving large areas and confined spaces [6].

This work presents the development of a compact and lightweight MRDS based on plastic scintillators and SiPM readout for the detection of gamma rays, beta particles, and neutrons. The developed MRDS can be used as handheld equipment or easily integrated into a UAV. The use of real-time measurements to inform path-based decisions, rather than relying on predefined routes, has significantly enhanced the accuracy of localizing a gamma-ray source concealed within a maritime shipping container. Ultimately, the combined use of low-cost detection systems and unmanned platforms facilitates its reproduction for the autonomous mapping of contaminated areas, critical facilities inspection, and orphan source detection, reducing the survey times (e.g., use of swarms), and empowering authorities to make prompt decisions and enhance overall safety.

Methodology: Use of the state-of-the-art Monte Carlo N-Particle (MCNP) version 5 code to optimize the detection efficiencies, geometry, and materials used on the neutron moderator, validated with laboratory and field tests. A 1.45 GBq AmBe source was used to test the detection efficiency of the neutron detector considering different moderator configurations. To improve the accuracy of the gamma-ray source localization, a simulation tool was developed to simulate the path performed by the MRDS and the counts obtained at each point (measurements obtained at each second) due to a point source placed inside a 20-foot-long shipping container. Both predefined paths (at a constant height) and informed paths (based on real-time measurements) were considered. An iterative maximum likelihood algorithm runs at each data point for the source localization (a 4 MBq ¹³⁷Cs gamma-ray).

Results: The developed portable radiation detection system was integrated into a multirotor using 3D printed supports and a composite sheet, and consisted of:

- A gamma-ray/beta detection system based on an EJ-200 plastic scintillator with a very thin titanium window (for improved detection efficiency of beta particles);
- Neutron detection system, based on EJ-426HD plastic scintillator, with a lithium-6 content (alternative to helium-3 based technology), embedded in a compact and modular neutron moderator [7].

For the neutron moderator material and geometry optimization Monte Carlo (MC) simulations were used to compare several moderator materials, namely materials commonly used in 3D printing (PET-G, PLA, and nylon), high molecular weight polyethylene (HMWPE), and high-density polyethylene (HDPE). HDPE and HMWPE showed the highest neutron moderation (equivalent results), followed by nylon which can be used to produce complex geometries using 3D printing. After the MC optimization of the HDPE moderator geometry, field tests were performed using the AmBe source. By changing the number of plates placed on each side of the EJ-426HD detector it was possible to optimize the neutron detection efficiency to moderated or not AmBe source. Compared to a commonly used cylindrical moderator (2.2 kg), the developed moderator allowed to significantly reduce the volume and weight (1.1 kg). The neutron detector also fulfilled the security requirements, namely: high neutron detection efficiency, detection of both fast and low/thermal neutron components, and minimal sensitivity to gamma rays (to reduce false alarms) [7].

Some advantages of the developed MRDS can be summarized as follows: high geometric detection efficiency, low cost, lightweight, compact, and low power consumption, which facilitates its integration in any small mobile platform (air, ground, maritime, or hybrid). Despite field tests being performed for the inspection of shipping container cargo, the MRDS can also be used for the inspection of critical infrastructures (e.g., nuclear facilities) or vehicles. By rotating 90° of the EJ-200 detector the MRDS can also be used for the mapping of a contaminated area [2].

A proof-of-concept on the use of the MRDS for the inspection of a shipping container cargo was also performed. Using predefined paths around a shipping container it was possible for the detection and localization of a hidden ¹³⁷Cs source with an accuracy of approximately one meter. An AmBe source was also detected, and a rough localization of the source was obtained (e.g., relative position inside the container: top, center or bottom) [2].

A comparative analysis of predefined paths and informed path-based decisions was performed using a developed simulation code validated by experimental tests. By using the real-time data of the gamma-ray detector to modify the initial path to gather more information, it was possible to improve the localization accuracy (better than a half meter) of the gamma-ray source compared to predefined paths, reducing the inspection time.

Conclusions: A low-cost, compact, and lightweight radiation detection system coupled to a multicopter was developed and tested for the detection and localization of gamma/beta and neutron sources. Despite the proof-of-concept of the mobile radiation detection system for the inspection of shipping container cargo, it can be used for the inspection of critical infrastructures such as nuclear facilities or vehicles. By rotating 90° of the EJ-200 plastic scintillator it is also possible to obtain the mapping of a contaminated area (e.g., post-nuclear or radiological disaster). Using real-time measurements around a shipping container and informed path-based decisions allowed us to significantly improve the localization accuracy of a ¹³⁷Cs source, reducing the inspection time (compared to predefined paths).

References:

1. MARQUES, L., VALE A., VAZ P. State-of-the-Art Mobile Radiation Detection Systems for Different Scenarios. *Sensors*, v. 21(4), 1051, 2021. <https://doi.org/10.3390/s21041051>
2. MARQUES, L. *et al.* Neutron and Gamma-Ray Detection System Coupled to a Multicopter for Screening of Shipping Container Cargo. *Sensors*, v. 23(1), 329, 2023. <https://doi.org/10.3390/s23010329>
3. R. T. KOUZES *et al.* Neutron detection alternatives to ³He for national security applications. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, v. 623(3), p. 1035–1045, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2010.08.021>
4. M. SHARMA, A. ALAJO, H. LEE. Three-dimensional localization of low activity gamma-ray sources in real-time scenarios. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment*, v. 813(3), p. 132–138, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2016.01.001>
5. E. L. CONNOLLY, P. G. MARTIN. “Current and Prospective Radiation Detection Systems, Screening Infrastructure and Interpretive Algorithms for the Non-Intrusive Screening of Shipping Container Cargo: A Review.” *Journal of Nuclear Engineering*, v. 2(3), p. 246–280, 2021. <https://doi.org/10.3390/jne2030023>
6. R. COOGAN, C. MARIANNO. “A strategic analysis of stationary radiation portal monitors and mobile detection systems in border monitoring.” *Nuclear Engineering and Technology*, v. 52(8), 2019. <https://doi.org/10.1016/j.net.2019.08.010>
7. MARQUES, L., VALE, A., VAZ, P. Development of a portable neutron detection system for Security and Defense applications. In: Rocha, Á., Fajardo-Toro, C.H., Riola, J.M. (eds), *Developments and Advances in Defense and Security. Smart Innovation, Systems and Technologies*, v. 328, Singapore: Springer, 2023. p. 283-293. https://doi.org/10.1007/978-981-19-7689-6_24

PROTEÇÃO RADIOLÓGICA DOS TRABALHADORES



IX Congresso de Proteção
Contra Radiações da
Comunidade dos Países
de Língua Portuguesa

COIMBRA,
11 A 15 DE DEZEMBRO DE 2023

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

A PROPOSAL FOR A QUALIFICATION COURSE TO OBTAIN THE REGISTRATION OF SUPERVISOR OF RADIATION PROTECTION (SRP) TO WORK AT TEACHING AND RESEARCH INSTITUTIONS

Nascimento^a J. H. F., Razuck^a F. B.

Institute of Radiation Protection and Dosimetry (IRD), Av. Salvador Allende, 3773, Barra da

Tijuca, Rio de Janeiro, Brazil

fernando.razuck@ird.gov.br

Introduction: According to the CNEN Standard NN 6.01, aiming at professional registration for the preparation, use and handling of radioactive sources in teaching and research (T&R) activities, the candidate must submit to the National Nuclear Energy Commission (CNEN), in addition to the professional registration or diploma recognized by the Ministry of Education (MEC) and the application for registration, proof of radiation protection course, with a minimum load of forty (40) hours [1; 2].

Methodology: In this sense, the present paper is to present a proposal and an experience report of a training course.

The course, developed in conjunction with the rectory of the State University of West Paraná (UNIOESTE)/ Cascavel Campus, was directed to twelve professionals (teachers and technicians of the Chemistry and Biology courses), and carried out at the Fine Equipment Laboratory.

Results: After the training, individuals were registered for the preparation, use and handling of radioactive sources with all the documentation proposed in Standard NN 6.01 to obtain the registration and title of Supervisor of Radiation Protection (SRP) at T&R institutions issued by CNEN (figure 1).

Conclusions: It is understood that the professional qualification course aimed at CNEN certification is of great importance for T&R institutions that use radioactive material and can be applied in other T&R institutions in Brazil, considering that most qualified professionals are located in the Southeast.

The relevance of this work is to train professionals in radiation protection, not only to occupy the space in companies focused on this area, as collaborators, but also, to become multipliers.

Due to the scarcity of professional training courses focused on radiation protection, such professionals are unable to register with the CNEN, so it is necessary to understand the needs in the area of radiation protection that the market is signaling, both in terms of professional training to become SRP, as well as for those who somehow wish to become multipliers of such knowledge working in the T&R area.

This research aims to contribute with new knowledge about radiation protection and thus improve safety in spaces where the use of radiation can be used, benefiting a greater number of people, both professionals and users of instruments that contain any radioactive source.

Figure 1: Registration of the Course participant as Technical Responsible and SRP by CNEN





Ofício: 8070/2021 - CGM/CNEN
Rio de Janeiro, 30/12/2021

Para: Sr.
ALEXANDRE ALMEIDA WEBBER
 UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PARANÁ - CAMPUS CASCAVEL
 CNPJ: 06.688.137/0001-84 MATRÍCULA CNEN: 13913
 RUA UNIVERSITÁRIA, 13913 JARDIM UNIVERSITÁRIO
 CEP: 83814-110 CASCAVEL - PR

Assunto: **AUTORIZAÇÃO PARA OPERAÇÃO**
Ref.: requerimento eletrônico 20/INCR.0199/21

Prezado Senhor,

Informamos que esta entidade está autorizada a operar, sob o ponto de vista de proteção radiológica, na área de Pesquisa, especialidade **Laboratório de Pesquisa**.

Prazo de validade desta Autorização: 30/12/2026.

Grupo de instalação: 3A

Título: Alexandre Almeida Webber

Responsável Técnico: Alexandre Almeida Webber

Responsável pela Proteção Radiológica: Jorge Hipólito Ferreira do Nascimento (AP-1448)

Substituto do Responsável pela Proteção Radiológica: Sílvia Renata Machado Coelho

Fontes Radioativas					
Radionúclido	Nome, Série	Fabricante	Atividade	Unidade	Data Atividade
Co-60	37930	IPEN - SP	308	Bq	01.05.2014

Equipamentos				
Equipamento	Fonte Radioativa	Fabricante	Atividade	Modelo
Cristaloscópio ECD	com ⁹⁰ Sr	Amersham	13 mCi	GC2621ATP

Condições Gerais desta Autorização:

Cabe ao Sr. **ALEXANDRE ALMEIDA WEBBER**, a responsabilidade legal pela adoção e o cumprimento das medidas de proteção radiológica que garantam a proteção dos indivíduos ocupacionalmente expostos, da população e do meio ambiente.

Um **relatório de ocorrências radiológicas** acompanhado de **registros de material radiológico** que contenha descrição de radionúclidos e suas quantidades deve ser encaminhado à CGM/CNEN, a cada dois anos, via requerimento eletrônico OUTROS.

A renovação do presente autorização **deverá ser realizada com 60 (sessenta) dias de antecedência**, mediante atendimento ao disposto na Lei 9.765 de 17 de dezembro de 1998 publicada no D.O.U. de 18 de dezembro de 1998, número 243, páginas 127 e 128, e portaria CNEN 081 de 07 de janeiro de 1999, que condiciona essa renovação ao envio de requerimento próprio.

Comitê Nacional de Energia Nuclear
 Comissão Geral de Instalações Médicas e Industriais
 Rua General Severiano, 90 - Botafogo - CEP: 22.290-901 - Rio de Janeiro-RJ - Brasil
 Tel.: +55 21 2508 1320 - e-mail: cgn@cnem.gov.br





Ofício: 8070/2021 - CGM/CNEN
Rio de Janeiro, 30/12/2021

(SCEA) e guia de recolhimento de Tasa de Licenciamento e Controle (TLC) ou declaração de isenção, conforme aplicável.

Dados indispensáveis para emitir a autorização: As alterações devem ser informadas à CGM/CNEN via requerimento eletrônico OUTROS.

Para encerramento de atividades com equipamento gerador de radiação ionizante ou com material radioativo, independentemente do motivo, é necessária **prévia autorização da CGM/CNEN**, que deve ser solicitada via requerimento eletrônico (SCEA) acompanhado de Plano de Descomissionamento **antes** do encerramento de atividades de instalação radiativa.

Enclaves adicionais, bem como modelos de procedimentos, requerimentos e guia de recolhimento de TLC, estão disponíveis no endereço: <http://www.cnem.gov.br>

Atenciosamente,

Alexandre Falcão Neves de Sales
 Assinado digitalmente por Alexandre Falcão Neves de Sales Soares
 Soares
 Data: 2022-01-01 19:36:00
 Alexandre Falcão Neves de Sales Soares
 Coordenador Geral

Coordenação Geral de Instalações Médicas e Industriais

References:

- [1] CNEN. **Normas para Instalações Radiativas**. Norma CNEN NN 6.01. Requisitos para o registro de pessoas físicas para o preparo, uso e manuseio de fontes radioativas. Resolução CNEN 005/99, 1999.
- [2] CNEN. **Certificação e Registro de Pessoas**. Norma CNEN NN 7.01. Certificação da qualificação de supervisores de proteção radiológica. Resolução CNEN 194/16, 2016.

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

CULTURA DE SEGURANÇA E ENVOLVIMENTO DOS INTERESSADOS

Levy^{a,b} D., Sordi^a G.M.A.A.

^aInstituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – São Paulo, Brasil

^b Omicron Tecnologia e Informação – Atibaia, Brasil

denise@omicron.com.br

Introdução: É incontestável a contribuição dos fatores humanos para a proteção e a segurança radiológica nas instalações. A responsabilidade individual e coletiva permeia várias publicações de diferentes organismos, em especial a referência ao “envolvimento dos interessados” e à “cultura de segurança”. A publicação ICRP 101 ressalta a importância “do envolvimento das pessoas interessadas em nossas modernas sociedades”, que são necessariamente os indivíduos expostos, tanto trabalhadores como membros do público, para a “*construção do entendimento compartilhado e a construção de confiança nas instituições*” [1]. Em relação à Cultura de Segurança, o conceito foi introduzido para a área nuclear na década de 90, pela Safety Series No.75 INSAG 4 [2]. Este conceito, baseado nas atitudes, comportamentos e características dos indivíduos e organizações onde existam riscos radiológicos para a saúde ou meio ambiente, ganhou especial relevância na última década, evidenciando que a proteção radiológica no mais das vezes torna-se uma prática mecanicista, desprovida de valores subjetivos de comprometimento dos interessados. O presente artigo discute a importância da comunicação para o efetivo envolvimento dos interessados diante dos esforços para se reforçar a cultura de segurança nas organizações.

Metodologia: O presente estudo é baseado na revisão integrativa da literatura, com o intuito de analisar, revisar e combinar dados oriundos de diferentes organismos e integrar os resultados, identificando lacunas de comunicação passíveis de serem trabalhadas na prática laboral. Para tanto, foram analisadas recomendações e legislações publicadas ao longo das últimas décadas, de esfera nacional e Internacional [1 – 6].

Resultados: A cultura de segurança trata do envolvimento dos trabalhadores vinculados a atividades que utilizam fontes de radiação ionizante, um conceito que envolve atitudes, comportamentos e investimento pessoal e organizacional. O fator humano é um complicador que permeia inúmeras publicações. A publicação ICRP 76 trata das exposições potenciais e traz análises de cenários, quantificando a probabilidade de falhas em equipamentos eletrônicos, mecânicos e mesmo falhas relacionadas à construção civil. Embora reconheça que é difícil quantificar a ocorrência de falhas humanas, a publicação considera fatores modeladores do desempenho atribuindo um valor de 10^{-3} a 10^{-2} para a ocorrência de falhas humanas, sujeitas a condições objetivas e subjetivas, inclusive de distração e outros “modeladores de desempenho”. Apesar de inserida na área nuclear desde a década de 90 [1], a cultura de segurança parece ter sido transcurada ao longo das décadas. Sensível à importância de se trabalhar o fator humano alinhado com o propósito da proteção e segurança radiológica, o Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores desde 2012 intensifica a importância da temática, iniciando um projeto para fomentar e promover a cultura de segurança envolvendo organizações, trabalhadores e suas hierarquias. Em 2022 foi publicado o IAEA TECDOC 1995, Cultura de la Seguridad en las Organizaciones, Instalaciones y Actividades Vinculadas al Uso de Fuentes de Radiación Ionizante [4]. Percebe-se que em se tratando de proteção radiológica, publicações e recomendações tratam sistematicamente da importância da implementação de uma cultura de segurança eficaz e do efetivo envolvimento dos interessados. Porém, na prática, muitas vezes a proteção radiológica é praticada de forma mecanicista de forma a cumprir minimamente os requisitos para o cumprimento de uma tarefa. Podemos tomar como exemplo algumas instalações médicas, onde a comunicação – destinada a trabalhadores e indivíduos do público – segue normas estritas no Brasil [5 - 6]. Salas de raio-X devem dispor de sinalização de proteção radiológica que restringe a permanência de

acompanhantes e sinalização visível contendo o símbolo internacional de radiação ionizante. Nota-se, entretanto, que tal comunicação, por simples que pareça, em muitos estabelecimentos não é aplicada corretamente. Ninguém do público contesta, nenhum trabalhador estranha, nenhum supervisor orienta. Este é um, dentre os vários exemplos, de como a cultura de segurança e o envolvimento dos interessados são visivelmente trascurados.

Considerações finais: No 14 IRPA Internacional (2016) as temáticas ética, transdisciplinaridade, comunicação com o público, envolvimento dos interessados, harmonização e cultura de segurança foram temas que permearam as apresentações e foram amplamente discutidos nas diferentes áreas de atuação da proteção radiológica [7]. Desde então, publicações e recomendações foram lançadas, cursos foram desenvolvidos, porém, apesar do constante investimento dos organismos de proteção radiológica para fomentar a cultura de segurança e o envolvimento dos interessados, nota-se que ainda há uma grande lacuna entre a teoria e a prática. A comunicação das boas práticas permanece uma necessidade e um desafio. Como contribuição ao desafio da comunicação enfrentado pelos países de língua portuguesa, os autores do presente artigo criaram um sistema para a transmissão da informação, que inclui conteúdos de otimização, monitoramento das radiações ionizantes e exposições potenciais [8]. O sistema inclui perguntas e respostas aplicadas aos diferentes tipos de instalações, com base em publicações do ICRP, AIEA e UNSCEAR, entre outras. A plataforma, inteiramente gratuita e em português, muito acessada no Brasil, colabora para promover condições facilitadoras para a transmissão de conteúdos e valores, exigidos para uma efetiva implementação da cultura de segurança e para a adoção consciente de novas práticas por parte dos interessados.

Referências:

- [1] ICRP, 2006. The Optimization of Radiological Protection - Broadening the Process. ICRP Publication 101b. Ann. ICRP 36 (3).
- [2] IAEA, 1991. Safety Culture. Safety Series No.75 INSAG 4. Vienna, Austria
- [3] ICRP, 1997. Protection from Potential Exposures - Application to Selected Radiation Sources. ICRP Publication 76. Ann. ICRP 27 (2).
- [4] IAEA, 2022. Cultura de la Seguridad en las Organizaciones, Instalaciones y Actividades Vinculadas al Uso de Fuentes de Radiación Ionizante. Vienna Austria.
- [5] ANVISA, 1998. Portaria 453 de 1 de julho de 1998, da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde.
- [6] Brasil, 2005 (2022) – Norma Regulamentadora NR 32 - Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde.
- [7] International Radiation Protection Association (2017). Proceedings of the 14th International Congress of the International Radiation Protection Association. Cape Town. South Africa. <https://www.irpa.net/docs/IRPA14%20Proceedings%20Volume%201.pdf>
- [8] UNIPRORAD – Unificação dos programas de proteção radiológica (2014). Disponível em: www.uniprorad.com.br

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

GESTÃO DE PROTEÇÃO RADIOLOGICA EM SITUAÇÕES EXCECIONAIS: ADAPTAÇÃO ESTRATEGICA A UM CASO DE EXPOSIÇÃO DE IODO-131 DE UM PROFISSIONAL DE SAUDE, DURANTE A PANDEMIA COVID-21

Braz^a S., Oliveira^a J., Lobão^a M.

^aJoaquim Chaves Saúde, Clínica de Radioncologia Madelena Paiva, Av. D. Manuel I, 9500-370

Ponta Delgada, Açores, Portugal

sandra.braz@jcs.pt

Introdução: Durante a pandemia, a garantia de continuidade dos serviços médicos foi uma prioridade em Portugal, em consonância com algumas Diretivas Europeias e Nacionais. Nesta fase tão conturbada, no serviço de Radioterapia houve a necessidade urgente de incorporar um novo profissional de saúde para garantir os recursos técnicos mínimos de forma a dar continuidade aos tratamentos dos pacientes oncológicos. Contudo, a incorporação deste novo profissional, que havia sido muito recentemente submetido a um tratamento de hipertiroidismo, representou um desafio particular no âmbito da proteção radiológica dos restantes trabalhadores e utentes.

Metodologia: No dia da admissão do novo colega, este informou-nos que havia sido submetido a um tratamento de hipertiroidismo com Iodo-131 (10 mCi) 4 dias antes e nos apresentou um relatório clínico que incluía dados de monitorização da dose antes da alta médica. A necessidade imediata da monitorização do colega no local, foi suprida através do uso de um monitor de radiação (Atomtex AT1121, devidamente calibrado). Foram realizadas medidas à superfície da pele, na região da tiroide e a 1m de distância. Estes dados foram posteriormente comparados com os dados apresentados no relatório clínico. Com base nesta informação, elaborou-se um estudo cumulativo de dose efetiva, com base na curva de decaimento físico deste isótopo e levando em conta o tempo de horas de trabalho diário e distanciamento variável (por um período de um ano). Desta forma pôde garantir-se o cumprimento dos limites legais de 0.3mSv/ano para a exposição ao público.

Resultados: Ao calcular a curva de decaimento física com base apenas nos valores patentes no relatório médico apresentado, verificou-se que existia uma discrepância significativa com os valores medidos *in situ* 4 dias depois. A curva teórica mostrava uma diferença de 34% (a menos) que os valores experimentais medidos por nós. Por essa razão, foi decido fazer o estudo considerando sempre os valores obtidos localmente com o nosso equipamento. Estas medições foram inicialmente realizadas a cada 2 dias, passando posteriormente para uma vez por semana.

Criou-se uma tabela que permitisse, em função do tempo de permanência no local de trabalho e a distância recomendada a outros colaboradores, ter um panorama das doses efetivas (ver Tabela 1).

Tabela 1 – Evolução temporal dos valores teóricos (decaimento físico) dos níveis de dose e dos valores medidos (decaimento biológico) em função da regra a aplicar (distanciamento em relação à equipa e tempo de horário laboral), para o cálculo da dose efetiva diária.

Δt (dias)	DR@1m [$\mu\text{Sv/h}$]		Regra a aplicar	Dose efetiva (μSv)
	DR@1m Valores Teóricos	DR@1m Valores Medidos		
4	13,9	13,90	2h @2m	7,20
5	12,75	12,83	AUSENTE	0,00
6	11,69	11,77		
7	10,72	9,80	AUSENTE	0,00
8	9,83	9,00	AUSENTE	0,00
9	9,01	8,25		
10	8,27	7,57		
11	7,58	6,50	4h @2m	8,00
12	6,95	6,30	4h @2m	7,72
13	6,38	5,78		
14	5,85	5,20	4h @2m	6,32
15	5,36	4,70	4h @2m	6,00
16	4,92	4,31		
17	4,51	3,95		
18	4,14	3,50	8h @2m	8,00

O plano definiu tempos de interação e distâncias de segurança, baseando-se na monitorização semanal a 1 m do profissional, para garantir que a exposição cumulativa aos colegas não ultrapassasse 0,3 mSv por ano. A divisão do horário de trabalho do técnico entre dois turnos rotativos minimizou a interação, e as restrições iniciais de 4 horas diárias foram adaptadas ao longo de 15 dias até uma normalização total. A contabilização total da dose efetiva anual foi de 0,246 mSv/ano para cada membro da equipa.

A monitorização contínua através dos dosímetros individuais dos colegas, validaram a eficácia deste plano garantindo que as doses recebidas estavam dentro dos limites seguros estabelecidos.

Conclusões: Esta experiência sublinha a importância de planos de proteção radiológica flexíveis e adaptáveis em situações excecionais. Mesmo sob circunstâncias desafiadoras, é imperativo garantir a segurança e qualidade dos serviços prestados, protegendo todos os envolvidos, desde os profissionais de saúde até aos pacientes. A adaptabilidade e o cumprimento rigoroso das diretrizes europeias e nacionais, são essenciais para responder eficazmente a situações imprevistas, garantindo a proteção radiológica contínua.

Referências:

[1] Decreto-Lei nº 108/2018

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

MONITORIZAÇÃO DOS POSTOS DE TRABALHO E GESTÃO DAS CONDIÇÕES MÁXIMAS DE FUNCIONAMENTO EM TOMOGRAFIA COMPUTORIZADA

Graça^a S. I., Baptista^a M. C.

Hospital Lusíadas Amadora, Av. dos Hospitais Cívicos de Lisboa 8, 2724-002 Amadora,

Lusíadas ACE, Rua Laura Alves, 12, 5º Piso, 1050-138 Lisboa

maria.carmo.baptista@lusiadas.pt

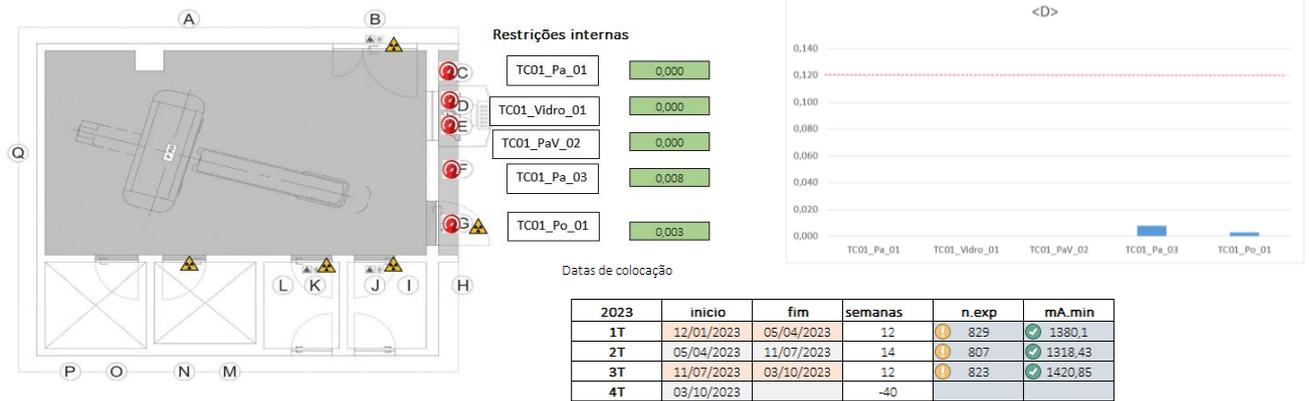
Introdução - Segundo a legislação portuguesa, para efeitos de proteção contra radiações, o titular deve tomar medidas em todos os locais de trabalho adequadas à natureza das instalações e das fontes de radiação, bem como à dimensão e natureza dos riscos associados à exposição ocupacional com base numa avaliação das doses anuais esperadas, e da probabilidade e da magnitude das exposições potenciais. Instalações radiológicas anteriores à publicação do novo regime jurídico a 3 de dezembro de 2018, sofrem uma adaptação a novos valores de taxas de dose semanais, limitadas a 30,0% do valor constante na legislação anterior, sendo assim emergente a verificação e gestão desses valores dentro dos novos limites legais para a aferição das barreiras de proteção, tendo em consideração dos valores de cargas semanais reais de cada equipamento emissor de radiação ionizante (*workload* (mA.min e número de exposições por semana) usados para a determinação das mesmas.

Metodologia - Com recurso de dosímetros termoluminescentes (TLDs), colocados nos pontos críticos de aferição e análise das barreiras de proteção, à data da realização dos testes de aceitação ao equipamento e respetivas barreiras de proteção, torna-se possível uma monitorização contínua, adaptada aos limites reais de operacionalidade do equipamento emissor de radiação ionizante ao qual o trabalhador exposto se encontra alocado a desenvolver a sua atividade laboral. São tidos em conta os parâmetros de funcionamento máximo considerados à data dos testes iniciais, para extrapolação dos valores de taxa semanal máxima em cada ponto de estudo, tendo em consideração a classificação da respetiva área (controlada ou vigiada) bem como o fator de ocupação, T, da mesma e os limites de restrição de dose semanal para cada ponto. Estes valores máximos são usados para efeitos de emissão de licença da prática, restringindo os valores operacionais do equipamento em termos de carga por exposição (mA.s/exposição) e número de exposições por semana, sendo sujeitos e ações de inspeção por parte das entidades competentes nacionais. No período de aquisição da leitura dos dispositivos, são registados os seguintes dados: data de colocação e retirada dos dispositivos dosimétricos, valores reais alocados à prática no que toca a mAs/exposição e número de exposições realizadas no período de monitorização referido anteriormente e leitura do dosímetro no período respetivo.

Resultados - Os dados são registados de forma sistemática, com clareza de posicionamento de cada um dos dispositivos dosimétricos usados, e disponibilizados on-line aos colaboradores do grupo Lusíadas Saúde [1], classificados como trabalhadores expostos e que desenvolvem a sua atividade nas áreas em questão. Para o equipamento de tomografia computadorizada instalado no Hospital Lusíadas Amadora [2], Serviço de Imagiologia, e a título de exemplo obtivemos os seguintes resultados no decorrer do ano 2023 :

Cod.Dos	mSv/leitura				mSv/semana				2023						
	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	<D>	DP	MAX	Limite	<%>	% Max	Estado
TC01_Pa_01	0,00	0,00			✓ 0,000	✓ 0,000			0,000	0,000	0,000	0,120	0,000	0,000	✓
TC01_Vidro_01	0,00	0,00			✓ 0,000	✓ 0,000			0,000	0,000	0,000	0,120	0,000	0,000	✓
TC01_PaV_02	0,00	0,00			✓ 0,000	✓ 0,000			0,000	0,000	0,000	0,120	0,000	0,000	✓
TC01_Pa_03	0,10	0,11			✓ 0,008	✓ 0,008			0,008	0,000	0,008	0,120	0,067	0,069	✓
TC01_Po_01	0,07	0,00			✓ 0,006	✓ 0,000			0,003	0,003	0,006	0,120	0,024	0,049	✓

A que corresponde a distribuição :



Onde de forma resumida foram registados e monitorizados os seguintes parâmetros :

Modalidade	Cod. Inicial	Identificação	mSv/semana		2023 (mSv/semana)				Licença		Real		Estatísticas (%)	
			Límite	TA	<D>	Max	%	W	exp/sem	W	exp/sem	W	exp/sem	
Tomografia Computorizada (TC01)	Area 06 (A1)	TC01_Pa_01	0,12	1,33E-03	0,00	0,000	0,00%	✓	8977	1000	1420,85	829	15,83%	82,90%
	Area 07 (A2)	TC01_Vidro_01	0,12	7,01E-03	0,00	0,000	0,00%	✓						
	Area 08 (A1)	TC01_PaV_02	0,12	1,33E-03	0,00	0,000	0,00%	✓						
	Area 09 (A3)	TC01_Pa_03	0,12	9,34E-03	0,01	0,008	6,94%	✓						
	Area 10 (A4)	TC01_Po_01	0,12	9,01E-03	0,00	0,006	4,86%	✓						

Conclusões - Com esta metodologia simples é possível aferir não só as condições de segurança dos postos de trabalho como também garantir o cumprimento dos parâmetros máximos de exposição para a qual a instalação se encontra autorizada.

Referências:

- [1] Programa de garantia da qualidade – Grupo Lusíadas Saúde
- [2] Programa de proteção radiológica do Hospital Lusíadas Amadora (Imagiologia)

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

PROTEÇÃO RADIOLOGICA EM UMA UNIDADE CIRURGICA DO SUL DO BRASIL: O QUE SABEM OS PROFISSIONAIS?

Leal¹ T.C.; Silva² E.; Ribeiro³ G., Melo⁴ J.; Huhn⁵ A.; Souza⁶ D. C. B.

¹ESTG IP Portalegre

² Enfermeiro, Mestre em Proteção Radiológica pelo Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil

^{1,2,3,4,5,6} Docentes no Mestrado Profissional em Proteção Radiológica do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Brasil.

Email : teresa.s.leal@gmail.com

Introdução: Atualmente, a segurança nos serviços de saúde é, cada vez mais, prioridade nas ações assistenciais, envolvendo as pessoas, como profissionais de saúde e demais trabalhadores que atuam nessas instituições. O trabalho é exercido por uma equipe multidisciplinar, em um ambiente que requer diversas especificidades, motivada por uma necessidade de saúde e de doença das pessoas. O profissional da saúde que realiza atividades diárias com aparelhos e/ou dispositivos emissores de radiação ionizante (RI) precisa desenvolver conhecimentos práticos associados à área profissional; estar devidamente habilitado; saber manusear equipamentos e instrumentos de forma segura e pautado nos princípios de proteção radiológica; conhecer as legislações e normativas relacionadas aos equipamentos emissores de RI, dentre outros conhecimentos e competências exigidas para trabalhar com RI [1, 2]. A unidade cirúrgica apresenta-se como um campo favorável à pesquisa, em razão de manter uma equipe multiprofissional de saúde. Ela contém registros, documentos e numerosas variedades de atividades assistenciais que favorecem o conhecimento das ações que cercam o prescrito e o realizado, quando se trata dos aspectos da proteção radiológica dos profissionais de saúde. Presume-se que a unidade requeira diariamente exames radiológicos, estando o trânsito constante de equipamentos emissores de raios X no cotidiano da unidade. No cenário da prática assistencial, no que se refere à proteção radiológica nos serviços de saúde, formulou-se a seguinte pergunta de pesquisa: Como os profissionais de saúde entendem a proteção radiológica e como essa temática é desenvolvida no cotidiano da prática assistencial em uma UC de um HU da Região Sul do Brasil? E para responder essa pergunta, delineou-se como objetivo conhecer o entendimento dos profissionais de saúde da aplicabilidade no cotidiano da prática assistencial, analisando os documentos legais e institucionais referentes à proteção radiológica.

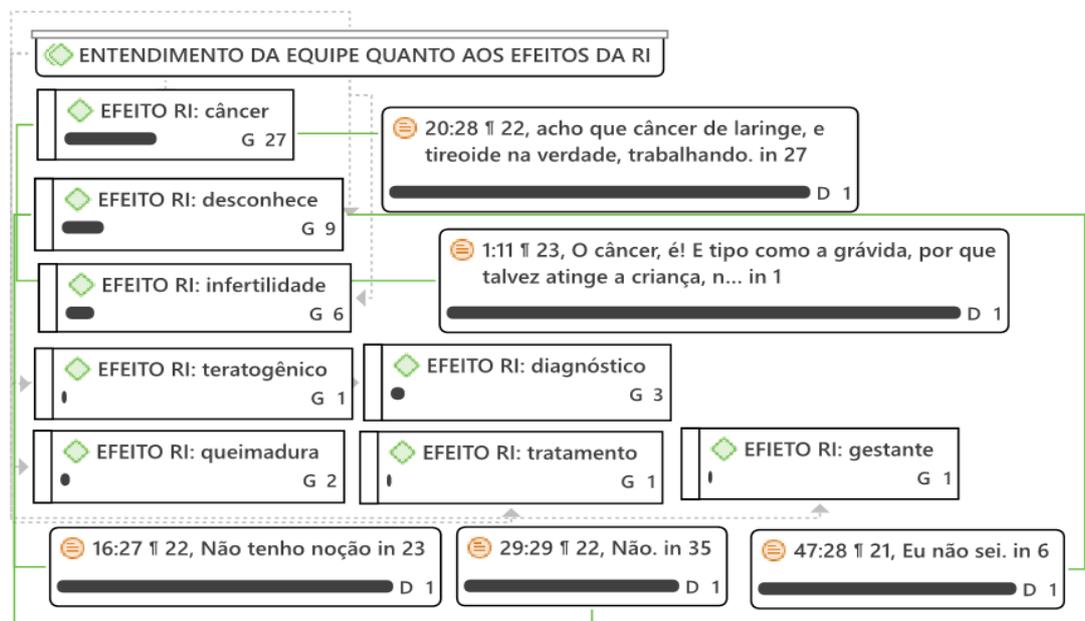
Metodologia: Trata-se de um estudo exploratório de abordagem qualitativa, desenvolvido junto aos profissionais de saúde atuantes em um hospital universitário (HU), que é o maior hospital público com atendimento 100% pelo Sistema Único de Saúde (SUS) no interior do estado do Rio Grande do Sul, com capacidade de 403 leitos e ambulatórios que atende 50 especialidades médicas e não médicas. A amostra foi por intencionalidade e conveniência, intencionalidade por ser em uma UC que envolve profissionais previamente engajados nas práticas assistenciais; conveniência pelo acesso do pesquisador junto à instituição pesquisada. O coletivo de participantes correspondeu a auxiliares de enfermagem, enfermeiros, fisioterapeutas, médicos e técnicos em enfermagem, os quais foram convidados a participar deste estudo, mediante convite realizado em seus locais de trabalho, com anuência por meio da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), com parecer 5.046.446. Os participantes foram identificados pelo número de ordem da entrevista e pelas seguintes siglas: AE para auxiliares de enfermagem; E para enfermeiros; F para fisioterapeutas; M para médicos e TE para técnicos de enfermagem. Os dados coletados foram analisados de acordo com análise temática de conteúdo e organizados com o auxílio do software para pesquisa qualitativa Atlas.ti, versão 9.

Resultados: O presente estudo envolveu 50 profissionais atuantes na assistência da UC, tais como auxiliares de enfermagem, enfermeiros, fisioterapeutas, médicos e técnicos de enfermagem, predominando os profissionais da enfermagem (42 profissionais, entre auxiliares de enfermagem, enfermeiros e técnicos de enfermagem). Conforme orienta a análise temática de conteúdo a partir dos dados coletados e da organização realizada com o auxílio do software Atlas.ti 9, emergindo a seguinte categoria de expressão mais significativa: Entendimento da radiação ionizante e da proteção radiológica.

Entendimento da radiação ionizante e da proteção radiológica

Os principais achados sobre o entendimento da radiação ionizante e da proteção radiológica, foram mencionados pelos participantes, com maior expressão aos relacionados ao desenvolvimento do câncer, seguido pelo desconhecimento, como mostra a figura 1.

Figura 01 - Entendimento da RI por parte dos participantes



Fonte: autores, atlas ti versão 23.

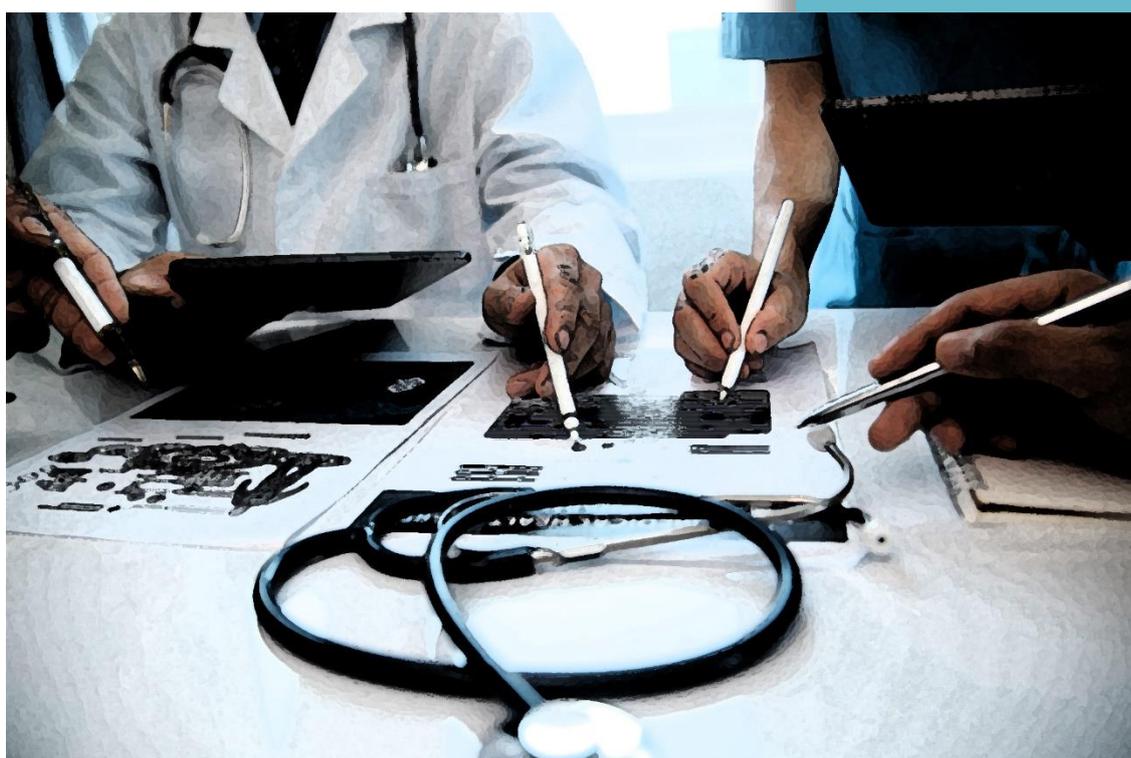
Conclusões: O estudo elucidou o entendimento dos profissionais sobre a radiação ionizante, observando-se ainda, de certo modo, são temas carentes de debates. O trabalho permitiu entender que os profissionais de saúde da unidade cirúrgica possuem limitações quanto aos instrumentos e dispositivos teóricos- práticos para as atividades e ações de segurança à proteção radiológica. Desse modo, entende-se que a proteção radiológica é desafiadora, e compreende-se que a cultura de proteção radiológica ainda está mitigada na unidade cirúrgica.

Referências:

[1] SOUZA, D. C. B. et al. Proteção radiológica em exposições médicas: aspectos legais e históricos. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, v. 11, n. 3, p. e54511326736, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/26736>. Acesso em: 2 jun. 2022.

[2] SILVA, C. B. et al. Conhecimento sobre radiação ionizante diagnóstica em uma população do sul do Brasil. PUBVET, v. 13, p. 130, 2019. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/fcf8/61fe2d9bcb249ddccfb5c0d39b8bc7a1fed2.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2022.

PROTEÇÃO RADIOLÓGICA EM SAÚDE



IX Congresso de Proteção
Contra Radiações da
Comunidade dos Países
de Língua Portuguesa

COIMBRA,
11 A 15 DE DEZEMBRO DE 2023

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

ASSURING THE CONFORMANCE OF A SPECT SYSTEM TO INTERNATIONAL RECOMMENDATIONS

Santos T. ^a, Barros C. ^a, Lopes M. C. ^a

^a Medical Physics Department, Portuguese Institute of Oncology of Coimbra Francisco
Gentil, E.P.E., Portugal

Contact author email: 4119@ipocoimbra.min-saude.pt

Introduction: A comprehensive quality assurance (QA) program to prove the conformance to international recommendations is mandatory in nuclear medicine. This requirement is even more important for end of support (EOS) equipment used in clinical routine. The adopted QA program for a Siemens E.Cam Dual Head system at EOS since 2021 is presented.

Methodology: The protocol published by the IAEA on QA of SPECT systems [1] was the basis of the adopted program. The suspension levels given in RP162 were considered. The list of tests included: the assessment of the intrinsic energy resolution, system planar sensitivity, differential uniformity (DU) and integral uniformity (IU), intrinsic spatial resolution, linearity, and intrinsic count rate performance. Concerning the tomographic performance: the assessment of the centre of rotation (COR) offset, detector head tilt and alignment, the tomographic uniformity, and the tomographic resolution with and without scatter. The test methods and phantoms recommended in the IAEA protocol were used. The total performance of the SPECT system was also assessed using the Jaszczak phantom.

Results: The energy resolution was 11% and 10.8% for detector1 and 2, respectively, below the tolerance limit of 15%. The detector to detector sensitivity variation was 1.2%. The average of the IU and DU values for the UFOV were 6.2% and 3.1%. For the CFOV, the average value was 3.2% for the IU and 1.8% for the DU. For detector2, the IU at UFOV was 7.92%, which is above the 7% tolerance. The intrinsic spatial resolution was of 2.5 mm, well below the suspension level. No significant changes in linearity were observed. The intrinsic count rate was 221.6 kcps for detector1 and 218.7 kcps for detector2, within the acceptance tolerance. The offset found for the COR, detector head tilt and alignment was less than 1 pixel. In the tomographic uniformity evaluation, neither ring artifacts nor sharp cold or hot spots were identified. The SPECT system spatial resolution was less than 15 mm, both with and without scatter. The total performance test revealed an overall acceptable image quality, with no significant degradation over time.

Conclusions: The performance of the SPECT system complies with the suspension limits established in RP162, except for IU in the UFOV of detector2. However, according to IAEA recommendations, as the uniformity in CFOV is acceptable, the system can keep being used to perform both planar and tomographic exams, yet, the detector replacement is recommended.

References:

1. IAEA. Quality Assurance for SPECT Systems. IAEA Human Health Series No6. Vienna: IAEA; 2009

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

USO DE PLATAFORMAS INTERATIVAS E NOVAS TECNOLOGIAS NA APRENDIZAGEM DE RADIOPROTEÇÃO

Leal^{1,2} T.C. ; Oliveira³ A.A. ; Souza² D. C. B.

¹ESTG IP Portalegre

²Docentes no Mestrado Profissional em Proteção Radiológica do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Brasil.

³CIDAARTA- Curitiba, Brasil

teresa.s.leal@gmail.com

Introdução: Unidades curriculares com base na Física têm um grande número de desistências ou reprovações em cursos superiores, o que tem demandado o desafio para que docentes busquem novas metodologias de ensino que tornem o conteúdo ministrado mais atraentes e envolventes para os discentes. Esse cenário tem denotado barreiras elevadas por anos de ensino sem atrativos e repetitivo desde o ensino fundamental que se arrasta até o ensino médio, levando o discente a não perceber os desafios e as estratégias do conteúdo a ser estudado com sua vida profissional o que o coloca de forma passiva e distante. Isso é reforçado ainda pela postura de certos docentes que não querem se adaptar e continuam a lecionar de forma clássica e tradicional sem dar importância às dificuldades apresentadas pela maioria dos discentes, principalmente em se tratando da área de Proteção Radiológica. O enfrentamento destes paradigmas é fundamental para a compreensão do ensino da física das radiações a que se destina tal pesquisa. Este estudo visa refletir uma relação dialética entre os saberes e a realidade envolvendo a práxis existente, o ideal e o dinâmico, para propor uma análise sobre os conceitos envolvidos e discutir a construção de um saber enraizado no conteúdo e em práticas inovadoras de forma que possa propiciar ao discentes um ambiente acolhedor e prazeroso através de práticas que possam evidenciar possibilidades, como jogos e atividades que façam parte da dinâmica do saber aprender a fazer participando, porque possibilita a interação, a integração à incorporação gradativa do conhecimento (GOBATO, 2018). Para tal, objetivou-se a aplicabilidade do uso de plataformas interativas e atividades e o que permitiu ao próprio discentes relacionar o conceito teórico com a prática.

Metodologia: Esta pesquisa intenciona caracterizar o “estado do conhecimento”, que segundo Morosini (2015) é quando se identifica, registra e categoriza de forma sintética a produção científica existente em uma determinada área, em determinado espaço definido segundo a necessidade e propósitos do pesquisador. Assim, o enfoque está voltado para a aprendizagem baseada em problemas, sua aplicação prática especificamente às medidas táticas relacionadas aos objetivos de ensino, integração da física da radiação com saberes básicos no campo da saúde, boa qualidade metodológica e validação de suas conclusões. Na primeira etapa da pesquisa foi realizada uma busca textual ao tema e as dificuldades relacionadas ao conteúdo. Segundo o autor Marconi, esta etapa também pode ser considerada como exploratória, pois visa responder, dar uma hipótese para o problema pesquisado, bem como clarificar conceitos. Marcada também por uma abordagem quantitativa e qualitativa, que difere entre si em relação à sua natureza, do ponto de vista metodológico, elas não se opõem, assim como não há linearidade, entre investigação de ambas. A pesquisa quantitativa atua em níveis de realidade e tem como objetivo trazer resultados através de indicadores e outras técnicas estatísticas. A investigação qualitativa, ao contrário, trabalha com valores, crenças, representações, hábitos, atitudes e opiniões. Ambas possuem suas importâncias nas pesquisas científicas atuais. A segunda etapa se concretizou através de um estudo de caso, conforme sugere Yin (2015), usando uma estratégia que compreende um método completo para abordagens específicas de coletas e análise de dados, enfatizando a abordagem do problema de forma qualitativa e quantitativa. Assim, os instrumentos de coleta de dados utilizados foram a observação e um questionário online com perguntas fechadas, destinado a uma turma de técnicos em enfermagem onde o professor adotou a utilização de plataforma interativa, vídeos e simuladores afim de verificar a evolução do ensino/aprendizagem. Os temas

foram escolhidos de acordo com o conteúdo, especificamente para a compreensão na disciplina de proteção radiológica entre aqueles descrito pelo professor, que vinham apresentando uma maior resistência na aprendizagem por parte dos discentes.

Resultados: A junção das metodologias aplicadas, a *Peer Instruction* (PI) e a gamificação (Aprendizagem Baseada em Times) resultou em um total de 90 % de compreensão do conteúdo por parte dos discentes. Os que apresentaram um percentual menor foi de 75% de compreensão, o que trouxe à turma uma nova perspectiva do assunto ao contrário da forma tradicional de aprendizagem de tal tema. A pesquisa descreve resultados que retratam mudanças que são percebidas nos estudantes durante e após a utilização das ferramentas e demonstram a posição do estudante como sujeito ativo no processo de ensino-aprendizagem. A partir de um movimento de transformação das estruturas disciplinares, evidencia-se a correlação entre a busca de maior participação ativa e crítica dos estudantes quando se tem um dinamismo nas aulas.

Conclusões: Neste trabalho o estudo foi direcionado a uma turma, com 60 discentes do segundo período do curso superior de tecnologia em radiologia. Utilizou-se como instrumentos de coleta de dados, um questionário, com questões da ferramenta *Plickers* e o PHET. O principal objetivo do estudo foi identificar possibilidades de utilização das ferramentas *Plickers* e a PHET para facilitar e/ou melhorar a avaliação tanto diagnóstica como formativa. Em relação à avaliação diagnóstica, a ferramenta *Plickers* demonstrou ser uma ferramenta fácil, rápida e eficaz tanto para os discentes, como para os professores pois ambos têm acesso aos resultados, permitindo que os professores consigam verificar os pré-requisitos dos discentes e que os discentes detectam de onde precisam de maior compreensão ou estudo. Para a avaliação formativa, ambas as plataformas se mostram eficientes para as metodologias escolhidas. Procurava-se uma ferramenta que facilitasse a apresentação do conteúdo, que tivesse um designer estimulante ao discente e que oferecesse uma possibilidade rápida de captação de dados nas atividades propostas pelo professor. Nestes itens a plataforma PHET, foi utilizada, sendo um pouco mais trabalhosa o seu manuseio pelos discentes, porém após explicação do professor quanto ao seu uso, os discentes dominaram perfeitamente as atividades, conseguindo as habilidades para o término da proposta com êxito. A plataforma *Plickers* também foi utilizada neste momento, com base na metodologia de gamificação, onde os discentes demonstraram entusiasmo e conhecimento do conteúdo já previamente analisado por eles. Em relação à avaliação formativa, a ferramenta *Plickers* facilita na autoavaliação. Os dados sugerem que o método de aprendizagem utilizado proporciona aos discentes um feedback para que estes tivessem consciência de quais eram as suas dificuldades no saber aprender, permitindo assim melhorar a aprendizagem. Assim, existem evidências de que 58 discentes melhoraram a sua aprendizagem, tendo como referência os erros realizados na avaliação formativa, através da ferramenta *Plickers* e os acertos de forma significativa do saber a aprender a aprender com tecnologias. Usando o *Plickers*, também foi possível detectar que dois discentes tiveram uma dificuldade inicial com o material prévio fornecido pela plataforma da IES, nos dois instrumentos de avaliação cuja finalidade é estimular a autoaprendizagem, o que permitiu ao professor uma atenção maior a estes discentes. Outro ponto observado pelo docente foi a maior autonomia dos discentes. Estes conseguiram avançar no desenvolvimento das competências da disciplina e identificar os pontos em que apresentaram dificuldades anteriormente, tendo a disciplina nenhum índice de evasão, o que surpreendeu quando comparado aos semestres anteriores. Os resultados obtidos sugerem que o uso das ferramentas PHET e *Plickers* facilitou as estratégias de avaliação, devido ao dinamismo da aula e ao feedback que essas ferramentas oferecem na melhoria da aprendizagem. Observa-se ainda, baseado nos objetivos previamente determinados, que a utilização da tecnologia associada à prática pedagógica, principalmente na avaliação, produz resultados relevantes tanto para discentes quanto para docentes. Para os discentes, por reduzir a ansiedade, diminuir o acúmulo de matéria e utilizar tecnologias às quais os mesmos estão habituados a utilizar em seu cotidiano e para os professores por servir como instrumento de melhoria da avaliação de discentes e da própria prática didática, tornando possível para o mesmo visualizar que conteúdos ministrados não foram bem absorvidos pelos discentes, melhorando o processo ensino-aprendizagem e aumentando a atenção e interesse dos discentes por este conteúdo.

Referências:

- GOBATO, Mariana Mendonça et al. Inovações em propostas de formação docente: um estudo sobre as Licenciaturas em Ciências da Natureza de universidades públicas brasileiras. (2018).
- MOROSINI, M. C. Estado de conhecimento: sua contribuição à ruptura de pré-conceitos. *Revista de Educação da UFSM*, Santa Maria, v. 40 (2015).
- MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, publicações e trabalhos científicos**. 6. reimpr. São Paulo: Atlas (2011).
- YIN, Robert K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. Bookman editora (2015).
- GOOGLE DOCS. Disponível em <https://www.google.com/forms/about/>. Acesso em: 17 ago (2018)
- PhET Interactive Simulation. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/. Acesso em: 10 ago. (2018)
- PLICKERS. Disponível em: <https://www.plickers.com>. Acesso em: 15 ago. (2018).

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

NIVEIS DE REFERENCIA DE DIAGNOSTICO EM EXAMES DE MAMOGRAFIA DIGITAL DE CAMPO TOTAL E EM EXAMES DE TOMOSSINTESE MAMARIA

Rodrigues^a S., Abrantes^a A., Ribeiro^a L.

^aUniversidade do Algarve/Escola Superior de Saúde, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal
srodrigues@ualg.pt

Introdução: A mamografia continua a ser a técnica principal de rastreio e de diagnóstico na deteção precoce do cancro da mama, levando a uma diminuição da mortalidade e morbilidade das mulheres. Com a implementação da mamografia digital de campo total (MDCT) houve uma precisão adicional de diagnóstico, devido à alta qualidade de imagem e capacidade superior de deteção de tumores em tecido mamário mais denso [1].

Mais recentemente, surgiu a tomossíntese mamária (TM), uma alternativa ou complemento da mamografia digital, que possibilita a aquisição de um volume tridimensional através de planos individuais da mama com exposições de baixa dose, reduzindo o efeito de sobreposição de estruturas [1].

A mamografia recorre a radiação ionizante, sendo importante avaliar a dose de radiação a que as pacientes estão expostas. A dosimetria é essencial para quantificar a ocorrência de várias alterações biológicas em função da quantidade de radiação recebida [2]. No exame de mamografia a grandeza dosimétrica utilizada para quantificar a dose média absorvida no tecido glandular no interior de uma mama comprimida é a dose glandular média (DGM) [3].

Uma vez que na exposição médica não são aplicados limites de dose, torna-se necessário estabelecer níveis de referência de diagnóstico (NRDs) como instrumento de otimização nos exames médicos [4]. A *International Commission of Radiation Protection* (ICRP) recomenda a utilização da DGM como grandeza para a determinação dos NRDs na mamografia [3].

Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar os NRDs em duas unidades de mamografia para o exame de MDCT e para o exame de TM. Este trabalho teve também como objetivo comparar os valores obtidos com os NRDs de outros países.

Metodologia: Neste estudo foi utilizado o método retrospectivo quantitativo e descritivo numa amostra de 100 pacientes que realizaram MDCT e 100 pacientes que realizaram MDCT combinada com TM (modo combo = 2D + 3D) em duas unidades de mamografia distintas com equipamentos diferentes. O critério de inclusão da amostragem foi que todas as pacientes tivessem realizado as quatro incidências básicas, isto é, crânio caudal direita (CC DTA), crânio caudal esquerda (CC ESQ), oblíqua médio lateral direita (OML DTA) e oblíqua médio lateral esquerda (OML ESQ).

Para cada incidência foram determinados os valores médios da espessura da mama, força de compressão, parâmetros de exposição e dosimétricos (voltagem, produto corrente-tempo e DGM). A partir do valor da

DGM foi calculado o percentil 75 para determinar o NRD para cada incidência de cada modalidade de exame.

Resultados: As pacientes que realizaram o exame de MDCT tinham idade compreendida entre 31 e 78 anos, sendo a média de $53,6 \pm 10,5$ anos, enquanto as pacientes que realizaram a TM em modo combo tinham idade compreendida entre 50 e 70 anos, com média de $58,5 \pm 5,5$ anos. Na MDCT com uma espessura média da mama de 48,2 mm, os parâmetros médios usados foram: força de compressão de 91,6 N, 29,0 kVp e 88,1 mAs. Para a TM a espessura média da mama foi 54,4 mm e a força de compressão média foi 70,1 N. Nesta modalidade de exame, a aquisição 2D foi adquirida com os valores médios de 29,4 kVp e 118,2 mAs, enquanto a aquisição 3D foi adquirida com os valores médios de 31,6 kVp e 64,6 mAs.

A DGM obtida em média por incidência na modalidade de MDCT foi de 1,51 mGy, na modalidade de TM foi em média de 1,37 mGy na aquisição 2D, 1,99 mGy na aquisição 3D e 3,36 mGy no total. A DGM obtida na TM em modo combo resulta da soma da DGM da aquisição 2D e da aquisição 3D. Na fig. 1 estão representados os valores de DGM para cada incidência nas diferentes modalidades de exame e os NRDs obtidos neste estudo e em outros países.

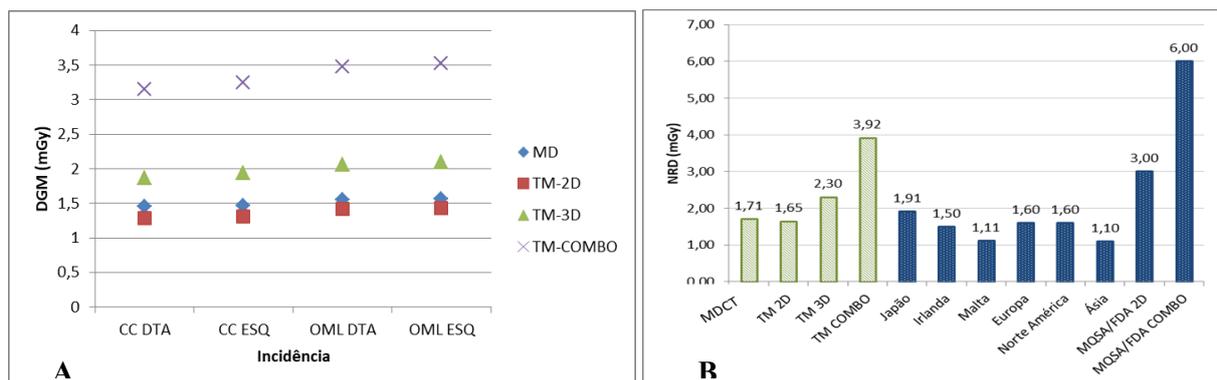


Figura 1 – A – DGM obtida em cada incidência nas diferentes modalidades de exame. B – NRDs obtidos neste estudo para a MDCT, TM aquisição 2D, TM aquisição 3D e TM em modo combo. Apresentação dos NRDs de outros países (estes valores correspondem à MDCT, à exceção correspondente à FDA COMBO) [5][6].

Conclusões: Neste estudo foi possível verificar que os NRDs nos exames de MDCT e na TM encontram-se ligeiramente superiores aos NRDs estabelecidos por outros autores de outros países, mas inferiores aos estabelecidos pela *Mammography Quality Standards Act* (MQSA) da *Food and Drug Administration* (FDA). Quando no exame de TM é utilizada uma técnica isolada, ou seja, é realizada a aquisição 2D ou a aquisição 3D, o resultado da DGM é similar ou inferior aos obtidos na MDCT. Quando combinada a aquisição 2D e a aquisição 3D (modo Combo), os níveis de dose aumentam consideravelmente (aproximadamente o dobro). Os NRDs são uma ferramenta importante na proteção radiológica, pois permite a otimização dos procedimentos radiológicos na exposição médica.

Referências:

- [1] Rafferty, E. A., Park, J. M., Philpotts, L. E., Poplack, S. P., Sumkin, J. H., Halpern, E., & Niklason, L. Assessing Radiologist Performance Using Combined Digital Mammography and Breast Tomosynthesis Compared with Digital Mammography Alone: Results of a Multicenter, Multireader Trial. *Radiology*, 266(1), 104–113, 2013. <https://doi.org/10.1148/radiol.12120674>
- [2] Hendrick, R. E. Radiation Doses and Cancer Risks from Breast Imaging Studies. *Radiology*, 257(1), 246–253, 2010. <https://doi.org/10.1148/radiol.10100570>
- [3] International Commission on Radiological Protection. Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging. ICRP Publication 135. *Ann. ICRP* 46(1), 2017
- [4] Decreto-Lei nº 108/2028 de 3 de dezembro da Presidência do Conselho de Ministros. Diário da República nº 232/2018, Série I, 5490-5543, 2018
- [5] Levine, G., & Lopez, J. Digital Breast Tomosynthesis. In Francescatti & Silverstein (Eds.), *Breast Cancer: A New Era in Management* (pp. 185–194). Nova York: Springer, 2012

[6] Suleiman, M. E., Brennan, P. C., & McEntee, M. F. Diagnostic reference levels in digital mammography: a systematic review. *Radiation Protection Dosimetry*, 167(4), 608–619, 2015. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncu365>

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

NOTIFICAÇÃO DE ALTAS DOSES – AVALIAÇÃO DE 5 ANOS DE EVENTOS SIGNIFICATIVOS

Machado C., Pinto I., Pinto R., Rodrigues A., Oliveira F.

Centro Hospitalar Universitário de Santo António, Largo Prof. Abel Salazar

claudiacarvalhomachado@gmail.com

Introdução:

Desde a descoberta da radiação por Roentgen que têm vindo a ser relatados efeitos determinísticos associados à utilização da radiação ionizante.

Várias sociedades internacionais têm vindo a estabelecer *guidelines* para a gestão de procedimentos de alta dose de radiação. Sendo que a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) recomenda o registo e análise da dose de radiação como um fator essencial da proteção radiológica. (1,2,3)

A nível nacional, o artigo 83º do Decreto-Lei nº 81/2022 refere que “O titular deve implementar um sistema de registo e análise dos eventos significativos (...).

Em 2018 foi criado no Centro Hospitalar Universitário de Santo António (CHUdSA), no âmbito da Comissão de Proteção Contra Radiações (CPCR), um sistema de notificação de dose para pacientes que recebem doses elevadas, bem como o acompanhamento destes pacientes para os possíveis efeitos determinísticos da radiação.

Este trabalho tem como objetivo partilhar a experiência da CPCR do CHUdSA na identificação, acompanhamento e avaliação das exposições dos pacientes a procedimentos com elevados níveis de radiação.

Metodologia:

Este trabalho fundamenta-se numa revisão da literatura, no qual se consultaram as diretivas internacionais e nacionais e artigos de referência.

Pretendemos ainda referir a estatística de 5 anos de notificações de dose da CPCR no CHUdSA, bem como o circuito criado para este tipo de eventos (desde a notificação até à avaliação/accompanhamento dos pacientes).

Resultados:

Foram realizadas 144 notificações de dose, maioritariamente da Cardiologia, Neurorradiologia e Radiologia de Intervenção, sendo que 70 destes pacientes tiveram uma recomendação da CPCR para follow up, dos quais 13 faleceram por doença e um paciente teve efeitos secundários.

Conclusões:

A atribuição à CPCR da competência para identificar, acompanhar e avaliar as exposições de pacientes submetidos a procedimentos de Fluoroscopia e com indicação de notificação de alta dose, permitiu sensibilizar os profissionais para uma maior gestão da dose ao paciente e possíveis efeitos determinísticos da radiação.

Referências:

- 1 - Stecker MS, Balter S, Towbin RB, Miller DL, Vañó E, Bartal G, Angle JF, Chao CP, Cohen AM, Dixon RG, Gross K, Hartnell GG, Schueler B, Statler JD, de Baère T, Cardella JF; SIR Safety and Health Committee; CIRSE Standards of Practice Committee. Guidelines for patient radiation dose management. *J Vasc Interv Radiol.* 2009 Jul;20(7 Suppl):S263-73;
- 2 - Amis Jr, E.S, Butler P.F., Applegate K.E., et al., American College of Radiology white paper on radiation dose in medicine, *J Am Coll Radiol.* 2007; 4: 272-284;
- 3 - International Atomic Energy Agency. Patient radiation exposure monitoring in medical imaging / International Atomic Energy Agency. Vienna. 2023. no. 112.
- 4 - Decreto-Lei n.º 81/2022, 6 de Dezembro de 2022

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

RECOMENDAÇÕES ATUALIZADAS PARA A UTILIZAÇÃO DE BLINDAGEM DE CONTACTO EM IMAGIOLOGIA

Pais, R. M.,

ARS Algarve, E.N. 125 Sítio das Figuras, lote 1, 2º andar, 8005-145 Faro, Portugal

Clínica de Ressonância Magnética do Algarve, Rua Dona Teresa Ramalho Ortigão, 31-A, 8000-314

Faro, Portugal

robertomp@gmail.com

Introdução: A aplicação direta de blindagem de contacto sobre os pacientes sujeitos à realização de exames de diagnóstico e intervenções médicas com exposição à radiação X tem sido uma prática generalizada desde há muitos anos, de forma a reduzir a dose em órgãos críticos.

Contudo, alguns estudos têm questionado a eficácia de tal proteção, levando a uma indesejável inconsistência na regulação e recomendações para a utilização de blindagem a nível europeu e, na prática, a fricções entre pacientes que exigem proteção e profissionais que consideram essa proteção desnecessária ou até mesmo prejudicial.

Neste sentido, diversas entidades representativas de profissionais envolvidos na segurança radiológica e na imagiologia a nível europeu, publicaram em dezembro de 2021 um consenso com recomendações, que servem como guia atualizado para a correta utilização de blindagem de contacto em pacientes expostos a radiação X, tendo em consideração fatores decorrentes da evolução tecnológica dos equipamentos geradores de radiação X, das suas vantagens e limitações, dos estudos relativos aos efeitos biológicos das radiações ionizantes em humanos e do contexto individual de cada paciente. (1,2)

O objetivo desta sessão será dar a conhecer, do ponto de vista teórico e prático, as recomendações atualizadas para a utilização de blindagem de contacto em exames de imagiologia com recurso a radiações ionizantes, de acordo com a modalidade aplicável.

Metodologia: Foi realizada uma pesquisa bibliográfica nas bases de dados PubMed e Google Scholar, recorrendo a diversas palavras-chave, tais como “blindagem de contacto” e “recomendações para a utilização de blindagem de contacto em imagiologia”. Foram selecionados os artigos científicos publicados mais relevantes que abordassem a temática da utilização de blindagem de contacto em imagiologia na perspectiva da sua aplicação prática.

Da pesquisa bibliográfica extraiu-se o seguinte sistema de classificação da evidência: (1)

Análise racional	Consenso Recomendação	Símbolo
Evidência de que a utilização de blindagem de contacto no paciente é benéfico e efetivo.	“Deverá utilizar-se blindagem”	
O consenso favorece a utilização de blindagem de contacto no paciente em algumas circunstâncias.	“Poderá utilizar-se blindagem”	
Evidência ou consenso de não utilização de blindagem de contacto no paciente.	“Não é recomendado utilizar blindagem”	

Extraíram-se ainda recomendações para a aplicação de blindagem de contacto em imagiologia, tendo em consideração o mais recente conhecimento científico na área da proteção radiológica e dos efeitos biológicos das radiações ionizantes, de acordo com a modalidade aplicável.

Resultados: Assumindo que todas as outras estratégias de justificação e otimização em exposições médicas são aplicadas antes da blindagem de contacto ser considerada, as recomendações aplicáveis em imagiologia são as descritas na tabela abaixo.

(Exemplificando, em radiologia convencional, com a colimação adequada e utilizando o posicionamento pósterio-anterior (PA) para o crânio, coluna vertebral e tórax, a blindagem de contacto no paciente terá

provavelmente um benefício desprezável e, em muitos casos, poderá ocultar informação diagnóstica ou levar a um aumento na dose do paciente. (1))

Aplicação	Modalidade com radiação X	Dentro/ fora do campo de exposição	Recomendação	Símbolo
Blindagem de contacto de gónadas	Todas	Ambos	“Não é recomendado utilizar-se blindagem”	
Blindagem de contacto da tireoide	Todas (exceto Cefalometria)	Dentro	“Não é recomendado utilizar-se blindagem”	
	Cefalometria	Dentro	“Poderá utilizar-se blindagem”	
	Radiologia Convencional, Mamografia, Fluoroscopia, TC	Fora	“Não é recomendado utilizar-se blindagem”	
	Dental intraoral Cefalometria	Fora	“Poderá utilizar-se blindagem”	
	CBCT	Fora	“Poderá utilizar-se blindagem”	
Blindagem de contacto da mama	Todas	Ambos	“Não é recomendado utilizar-se blindagem”	
Blindagem de contacto da lente ocular	Todas	Ambos	“Não é recomendado utilizar-se blindagem”	
Blindagem de contacto para embrião/ feto	Todas	Ambos	“Não é recomendado utilizar-se blindagem”	

O contexto individual de cada paciente pode pesar na decisão de aplicar ou não blindagem, nomeadamente a elevada acumulação de dose, por exemplo, decorrente da exposição prévia a radiações ionizantes de estudos de diagnóstico, intervenções, tratamentos prévios ou até de exposições ocupacionais ou acidentais; bem como em pacientes ansiosos ou radiosensíveis. Nestes casos é de salientar a importância da comunicação clara e objetiva com o paciente. (1, 2)

Conclusões: A constante evolução tecnológica dos equipamentos geradores de radiação X e do conhecimento científico aplicado ao estudo dos efeitos biológicos das radiações ionizantes, torna a área da proteção radiológica e, em específico, das estratégias de redução de dose no paciente em exames de diagnóstico com radiação X, volátil a mudanças. Como tal, é necessária uma abordagem multidisciplinar e recorrente das mais recentes recomendações e estudos e a sua atempada transposição para a prática clínica. As presentes recomendações têm em consideração as mais recentes e consensuais descobertas nesta área e, de forma transversal, permitem uma consistência na utilização das blindagens de contacto nos pacientes, nas diferentes modalidades e em variados cenários.

Referências:

1. Hiles P, Gilligan P, Damilakis J et al. *European Consensus on Patient Contact Shielding*. Phys Med. 2022;96:198-203. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2021.12.006>
2. Benson, E., Helen Hughes, B., Rob Loader, B., Dan Shaw, I., Sue Edyvean, I., Yvonne Sullivan, P., Guy Hickson, P., Phil Cosson, R., Lynda Johnson, Sc., & David Domett, Sc. (n.d.). *Guidance on using shielding on patients for diagnostic radiology applications 2*. www.bir.org.uk
3. Ministério do Ambiente e da Transição Energética. (2019). “Portaria n.º 137/2019 de 10 de maio”. Diário da República, 1.ª série – N.º 90 – 10 de maio de 2019. 2391-2393. <https://files.dre.pt/1s/2019/05/09000/0239102393.pdf>

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

APLICAÇÃO PRÁTICA DOS CRITÉRIOS MÍNIMOS DE ACEITABILIDADE DEFINIDOS NA PUBLICAÇÃO RP162 EM PORTUGAL.

NÃO CONFORMIDADES DETECTADAS NOS DIVERSOS TIPOS DE EQUIPAMENTO

Matos Ana^{*1}, Mota Miguel¹, Albuquerque Ana¹, Moreira Joana¹, Brás Patrícia¹, Oliveira Rita¹, Antunes Catarina¹, Pinto José¹, Carvalho Inês¹, Narciso João¹, Schiappa João¹, Silvestre Cristiana¹, Marques Ana¹, Silva Ana¹, Oliveira Miguel¹, Lopes David¹, Perez José¹, Ferreira Flávia¹, Ferreira Helena¹, Lopes Maria¹, Santos Rita¹

¹Ambimed – Gestão Ambiental, Lda, Rua 1º de Maio, s/n, 2560- 587 Torres Vedras

***ana.matos@stericycle.com**

Introdução - A Diretiva Europeia 2013/59/Euratom fixa as normas de segurança de base relativas à proteção contra os perigos resultantes da exposição a radiações ionizantes¹. Esta Diretiva foi transposta para a legislação portuguesa através do DL n.º 108/2018, de 3 de dezembro (e as suas alterações), que obriga a que os equipamentos de radiodiagnóstico médico sejam sujeitos a testes de aceitação definidos pela autoridade competente². A Agência Portuguesa do Ambiente define que os critérios mínimos de aceitabilidade dos equipamentos radiológicos, a utilizar na área médica, têm por base as recomendações que constam do documento da Comissão Europeia: RADIATION PROTECTION N.º 162 "Criteria for Acceptability of Medical Radiological Equipment used in Diagnostic Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy"^{3,4}.

Deste modo, foi feito um levantamento dos testes de aceitação, realizados por uma entidade prestadora de serviços reconhecida com a valência a) do artigo 163.º(2) do DL n.º 108/2018, durante o ano de 2022 e até 30 de junho de 2023, a equipamentos de radiodiagnóstico, de forma a compilar as não conformidades detectadas nos equipamentos de radiodiagnóstico médico.

Deste modo, foram avaliados 2760 equipamentos, separando as não conformidades por tipo de equipamento. A partir dos resultados obtidos, foi possível quantificar a percentagem de equipamentos não conformes, por tipo de equipamento.

O objetivo deste trabalho é avaliar a implementação dos critérios de aceitação definidos no RP162 no parque tecnológico atualmente existente em Portugal.

Metodologia - Os testes aos equipamentos de radiodiagnóstico foram realizados de acordo com as metodologias propostas no documento RP162, descritos em protocolos próprios da entidade prestadora de serviços, utilizando fantasmas específicos e dosímetros para controle de qualidade devidamente calibrados e com verificação periódica adequada, cumprindo as boas práticas e os requisitos legais.

Foram analisados, retrospectivamente, os relatórios emitidos após intervenções a 2760 equipamentos, dos quais 1908 equipamentos de dentária Intraoral (IO), 293 equipamentos de dentária Extraoral (Ortopantomografia, OPG), 222 equipamentos de dentária Extraoral (Tomografia Multidirecional, OTM), 24 Equipamentos de Densitometria Óssea (DO), 84 equipamentos de Radiologia Convencional (RX), 12 equipamentos de Radiologia Telecomandada (RXT), 61 equipamentos de Fluoroscopia tipo Arco em C (RXI), 52 de Radiologia móvel (RXP), 42 equipamentos de Mamografia (MM), 50 equipamentos de

Tomografia Computorizada (TC) e 12 equipamentos de Angiografia (ANG). Apenas foram tidos em conta os relatórios resultantes da primeira intervenção realizada ao equipamento. Relativamente à radiologia dentária intraoral, não foi feita a separação entre equipamentos fixos, móveis ou portáteis, uma vez que os critérios mínimos de aceitabilidade fixados pelo RP162 para este tipo de equipamentos são iguais. Quanto aos equipamentos de ortopantomografia, também não foi feita a separação entre ortopantomógrafos simples e ortopantomógrafos com telerradiografia.

Posteriormente, é objetivo do estudo apresentar os resultados das Não Conformidades detectadas para cada tipo de equipamento, de acordo com o parâmetro avaliado.

Resultados - Após a análise das intervenções efetuadas, e quantificação dos equipamentos que apresentaram não conformidades, os resultados foram compilados na Tabela 1.

Tabela 1. Quantificação dos equipamentos avaliados e percentagem de equipamentos com Não Conformidades detectadas, por tipo de equipamento.

TIPO DE EQUIPAMENTO		IO	OPG	OTM	DO	RX	RXT	RXI	RXP	MM	TC	ANG
Nº DE EQUIPAMENTOS AVALIADOS		1908	293	222	24	84	12	61	52	42	50	12
Nº DE EQUIPAMENTOS COM NÃO CONFORMIDADE DETECTADA	n	334	42	56	0	41	8	7	24	16	4	4
	(%)	17,5	14,3	25,2	0	48,8	66,7	11,5	46,2	38,1	8,0	33,3

Conclusões - É importante referir que grande parte dos equipamentos que fazem parte deste estudo são equipamentos que já se encontravam instalados, o que poderá justificar o número elevado de Não Conformidades detectadas. Relativamente aos IO, por exemplo, o número elevado de Não Conformidades está, em parte, relacionado com o tempo de adaptação à obrigatoriedade de utilização de colimador retangular.

Uma análise mais pormenorizada será efetuada para identificar as Não Conformidades detectadas mais relevantes para cada tipo de equipamento, de modo a avaliar a implementação dos critérios mínimos de aceitabilidade, definidos pelo RP162, em Portugal.

Referências:

¹Directiva 2013/59/Euratom do Conselho, de 5 de dezembro de 2013;

²Decreto-Lei n.º 108/2018 de 3 de dezembro, e as suas alterações;

³Orientação DAN_O1, Orientações genéricas para titulares de práticas, 2020;

⁴European Commission, Radiation Protection n.º 162, Criteria for Acceptability of Medical Radiological Equipment used in Diagnostic Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy, Publications Office of EU, Luxemburg (2012), ISBN 978-92-79-27747-4.

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

MONITORIZAÇÃO E GESTÃO DOS INDICADORES DE DOSE DE FORMA CENTRALIZADA E AUTOMATIZADA

Costa^a F., Fernandes^a R., Baptista^b M. C.

^aSectra Medical Systems SL, R. Roberto Ivens 1333 3.2, 4450-257 Matosinhos,

^b Lusíadas ACE, Rua Laura Alves, 12, 5º Piso, 1050-138 Lisboa

maria.carmo.baptista@lusiadas.pt

Introdução - O sistema Sectra DoseTrack™ permite que os profissionais de saúde monitorizem a exposição dos pacientes à radiação ionizante e garantam que as doses de radiação sejam mantidas tão baixas quanto razoavelmente possível (ALARA) de forma a aumentar a segurança do paciente. A solução nuvem coleta, armazena e monitoriza automaticamente dados de todas as modalidades previamente conectadas, economizando tempo valioso e facilitando análises robustas para otimização da dose. Este sistema pode ser configurado usando os Níveis de Referência de Dose (NRD) locais e nacionais, tendo por objetivo permitir que a organização garanta que o seu desempenho está dentro dos limites esperados.

Metodologia - Os DRLs são definidos em termos das quantidades de dose utilizadas para monitorizar a prática. Estas métricas de dose são facilmente mensuráveis, onde em termos de NRD recomendadas temos por modalidades [1]:

Modalidade	Indicador Primário	Unidade recomendada	Indicador secundário	Unidade recomendada
Radiologia	DAP	mGy.cm ²	ESAK	mGy
Fluoroscopia	DAP	Gy.cm ²	ESAK	mGy
Tomografia Computorizada	DLP	mGy.cm	CTDIvol	mGy
Mamografia	AGD	mGy		
Intraoral	ESAK	mGy		
DEXA	DAP	mGy.cm ²		

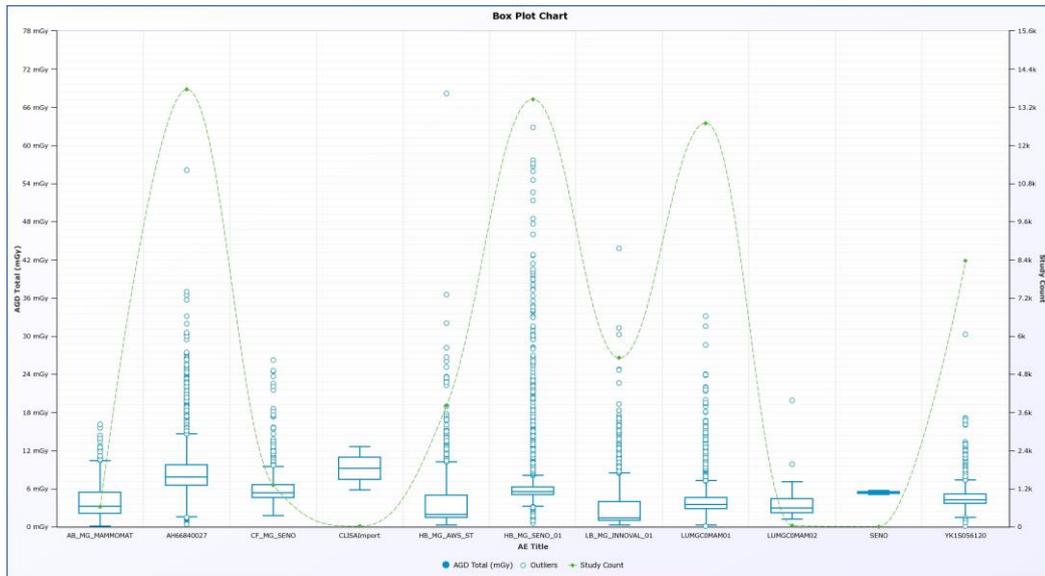
Com o sistema de centralização de indicadores de dose instalado no grupo, DoseTrack, esta monitorização e arquivo de dados torna-se exequível e de rápida ação quando registados e ativados sistemas de alerta, pré-definidos pelo responsável pela proteção radiológica do Grupo Lusíadas Saúde, GLS.

Resultados - Para a modalidade de mamografia e tendo em consideração todos os equipamentos desta modalidade instalados no grupo Lusíadas Saúde obtivemos os seguintes dados:

Equipamento	AET	<AGD> _{total} (mGy)		<AGD> _{inc} (mGy)	
		Mamografia	Tomossíntese	Mamografia	Tomossíntese
MG01	LB_MG_INNOVAL_01	4,10	--	1,35	--
MG02	HB_MG_AWS_ST	4,90	--	1,66	--
MG03	HB_MG_SENO_01	5,20	--	1,30	--
MG04	LUMGC0MAM01	4,13	3,84	0,98	0,50
MG05	YK1S056120	4,58	--	1,12	--
MG06	AH66840027	8,57	--	2,06	--
MG07	AB_MG_MAMMOMAT	4,49	10,81	0,71	0,73
MG08	CF_MG_SENO	5,02	--	1,26	--

Em termos gráficos temos uma representatividade dos indicadores considerados bem como os valores *outliers face* aos valores médios operacionais por equipamento.

Gráfico 01 – Imagem exportada do DoseTrack



Conclusões - Não existindo NRD nacionais, são usados como referência de indicadores, os valores publicados pelo ICRP[2], onde é tido como referência um AGD por incidência CC de 2,3 mGy, sendo o valor máximo permitido de 3 mGy, Os valores médios obtidos nos equipamentos instalados nas unidades do grupo Lusíadas Saúde encontram-se dentro dos parâmetros limites considerados como referência. Os resultados dos testes de controle de qualidade, marca e modelo do equipamento e características anatómicas inerentes à caraterização da amostra do paciente por áreas geográficas são tidos em conta para uma análise de otimização dos NRD locais e posterior determinação dos indicadores do grupo.

Referências

- [1] Diagnostic Reference Levels (DRLs) in medical imaging, IAEA
- [2] DIAGNOSTIC REFERENCE LEVELS IN MEDICAL IMAGING: REVIEW AND ADDITIONAL ADVICE, A web module produced by Committee 3 of the International Commission on Radiological Protection (ICRP)

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

RADIOLOGIA DE INTERVENÇÃO POR TOMOGRAFIA COMPUTORIZADA

Pinto I.^{a), b)}, Machado C., Pinto R., Rodrigues A., Ribeiro I., Oliveira F.

a) Centro Hospitalar Universitário de Santo António, Largo Prof. Abel Salazar

b) Joaquim Chaves Saúde, Rua Aníbal Bettencourt 3

ildefonso.pinto@gmail.com

Introdução - Na última década, os procedimentos de radiologia de intervenção têm sofrido um grande desenvolvimento, não só na quantidade, mas também na complexidade.

Com a transposição da ordem jurídica europeia, a Diretiva n.º 2013/59/Euratom para a legislação portuguesa, os limites de dose foram ajustados, sendo necessário um acompanhamento mais metuculoso dos profissionais expostos para não ultrapassarem os valores recomendados. ^(1,2,3,4)

A avaliação e acompanhamento dos procedimentos em que os intervencionistas estão mais expostos é uma mais valia para a otimização da proteção radiológica destes profissionais (posicionamento dos profissionais na sala, proteção individual utilizada, protocolo utilizado, etc.). ^(5,6)

Este trabalho tem como objetivo avaliar procedimentos de radiologia de intervenção realizados por tomografia computadorizada (TC) do ponto de vista de proteção radiológica, através da otimização de protocolos e das práticas.

Metodologia - Este estudo foi realizado no Centro Hospitalar Universitário de Santo António, acompanhando dois médicos radiologistas executantes de procedimentos de intervenção recorrendo a um equipamento de tomografia computadorizada de 64 cortes. Além dos dosímetros de corpo inteiro e extremidades (anel) habituais, utilizaram-se dosímetros eletrónicos de medição em tempo real durante os procedimentos e verificado o melhor posicionamento na sala para estes profissionais. No período de um mês, foi avaliado o novo protocolo otimizado e o posicionamento dentro da sala de intervenção, ajustado a procedimentos de radiologia de intervenção.

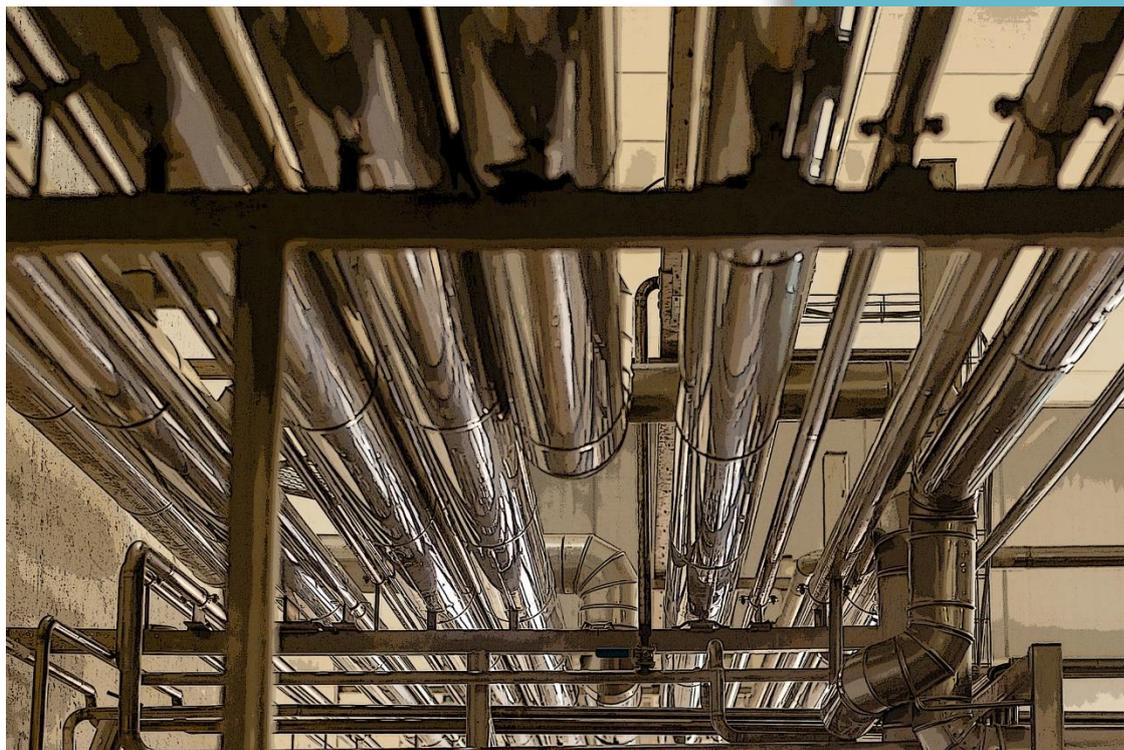
Resultados - No âmbito deste estudo foram analisados os valores médios dos relatórios de doses dos procedimentos de intervenção antes e após a otimização dos protocolos, com uma redução de dose assinalável. Com esta avaliação através de dosímetros real time foi possível constatar a diferença do grau de exposição entre os dois médicos intervencionistas, relacionado com o método individual de execução do procedimento, o que se reflete não só na dosimetria em tempo real como também nos valores anuais dos profissionais.

Conclusões - Com o aumento dos procedimentos de radiologia intervenção, é essencial garantir uma visão global dos procedimentos para otimizar a exposição à radiação dos intervencionistas e para garantir uma maior segurança dos pacientes e dos profissionais. Para garantir esta melhoria é necessário compreender e acompanhar os procedimentos de forma a otimizar/ajustar os protocolos utilizados e ajustar a proteção radiológica à forma de trabalho de cada operador. O conhecimento das condições de utilização do equipamento e da perceção dos níveis de radiação dentro da sala de intervenção, aliado a uma boa comunicação e otimização dos processos de proteção radiológica, são de extrema importância nestes procedimentos complexos de forma a garantir a segurança de todos os envolvidos.

Referências:

- 1- Decreto-Lei n.º 81/2022, 6 de Dezembro de 2022
- 2 - Vañó E, González L, Beneytez F, Moreno F. Lens injuries induced by occupational exposure in non-optimized interventional radiology laboratories. *Br J Radiol.* 1998;71(847):728–733;
- 3 - Miller D L. Overview of contemporary interventional fluoroscopy procedures. *Health Phys.* 2008;95(05):638–644;
- 4 - Shortt C P, Al-Hashimi H, Malone L, Lee M J. Staff radiation doses to the lower extremities in interventional radiology. *Cardiovasc Intervent Radiol.* 2007;30(06):1206–1209;
- 5 - Elsholtz FHJ, Vahldiek JL, Wyschkon S, et al. Radiation exposure of radiologists during different types of CT-guided interventions: an evaluation using dosimeters placed above and under lead protection. *Acta Radiologica.* 2020;61(1):110-116.
- 6 - Stoeckelhuber BM, Leibecke T, Schulz E, et al. Radiation dose to the radiologist's hand during continuous CT fluoroscopy-guided interventions. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2005; 28:589–594.

PROTEÇÃO RADIOLÓGICA NA INDÚSTRIA



IX Congresso de Proteção
Contra Radiações da
Comunidade dos Países
de Língua Portuguesa

COIMBRA,
11 A 15 DE DEZEMBRO DE 2023

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

DESMANTELAMENTO E DEMOLIÇÃO DE UMA FABRICA DE FOSFATO DICALCICO: ASPECTOS DE PROTEÇÃO E SEGURANÇA RADIOLOGICA

Trindade R.¹, Narciso J.¹, Lopes D.¹, Marques S.¹, Albuquerque C.¹, Schiappa J.¹, Matos A.¹, Moreira J.¹

¹Ambimed - Gestão Ambiental, Lda.

Rua 1º de Maio- Rotunda do Catefica, s/n, 2560- 587 Torres Vedras

romao.trindade@stericycle.com

Introdução - A detecção, num pátio da siderurgia, de radiação ionizante em materiais provenientes do desmantelamento e demolição de uma fábrica de fosfato dicálcico fez com que toda esta operação tivesse de ser reformulada, em termos de proteção e segurança radiológica.

Foram analisadas amostras de “lamas secas”, de entulhos, de urinas dos trabalhadores para detecção de eventual contaminação interna, de águas de lavagem e de filtros de ar para detecção e controle de uma qualquer contaminação atmosférica radioativa.

As “lamas secas” que foram analisadas por espectrometria gama revelaram a presença do radionuclídeo ²²⁶Ra em concentrações muito variáveis originando, por isso, valores de débitos de dose de radiação, igualmente, bastante diferentes. As urinas foram analisadas por espectrometria alfa e gama. Foram distribuídos dosímetros individuais aos trabalhadores. A extensão da contaminação foi identificada e as áreas onde se detectaram valores mais elevados foram devidamente sinalizadas.

A partir dos resultados obtidos (débitos de dose de radiação e concentrações de atividade) foi possível estabelecer categorias e separar os materiais contaminados de acordo com as suas características físicas (sucatas metálicas, madeiras, tubagens plásticas, entulhos, lamas, etc.).

Metodologia - As amostras de “lamas secas” foram recolhidas dos reatores e homogeneizadas. Relativamente aos débitos de dose de radiação, em cada ponto de medição em volta do *big bag* registaram-se 10 valores, dos quais se anotaram os valores máximo e mínimo e se calculou a média aritmética.

De um dos conjuntos de *big bags* retiraram-se amostras para determinação da concentração de atividade, de modo a estabelecer uma relação linear com o débito de dose. Para os filtros de ar e águas de lavagem adoptou-se a mesma metodologia de análise espectrométrica.

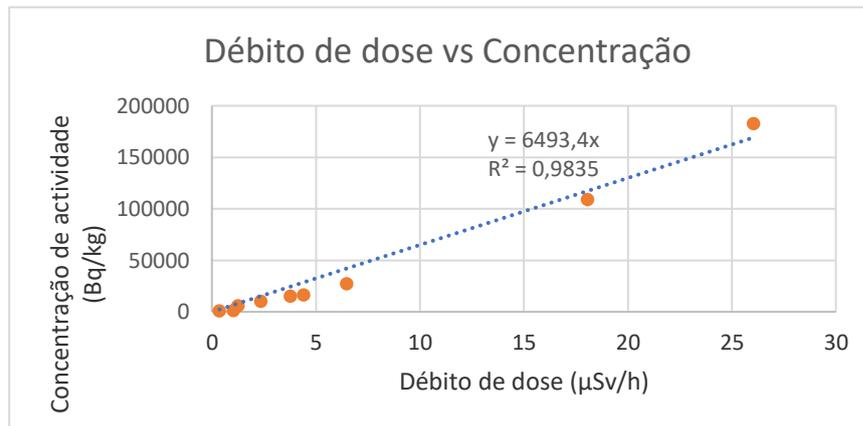
A todos os trabalhadores envolvidos foram distribuídos no primeiro dia dosímetros termoluminescentes individuais, lidos após o final de todas as intervenções.

As urinas destes trabalhadores foram recolhidas no primeiro dia, para estabelecer uma linha de base ou de referência sobre a presença de radioatividade nos trabalhadores. No final dos trabalhos voltaram a ser recolhidas novas amostras para detecção de eventual contaminação interna.

Relativamente aos diferentes tipos de entulhos (betão e tijolo), foram recolhidas amostras compostas em vários pontos da obra.

Resultados - A Fig.1 relaciona os valores de débitos de dose medidos com equipamento portátil e a concentração de atividade em *big bags* previamente escolhidos, calculada por espectrometria gama em laboratório acreditado.

Fig.1: Correlação entre os débitos de dose e a concentração de atividade.



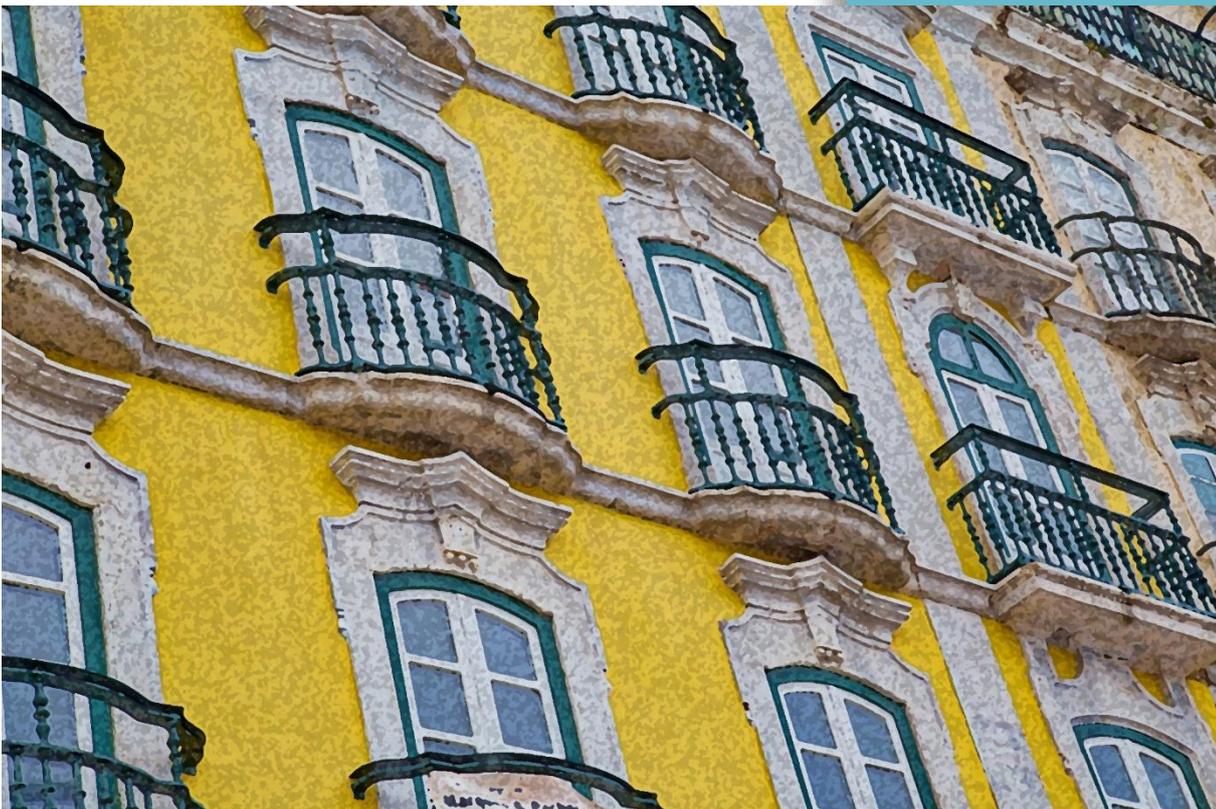
A partir da equação $y = 6493,4 x$, em que x é a média do débito de dose no *big bag* e y a sua concentração de atividade, estimou-se a atividade de todos os *big bags* da obra.

Conclusões - Após o desmantelamento da instalação, os resíduos resultantes que apresentavam débitos de dose superiores aos limites para o público foram acondicionados em *big bags*. Estes sacos foram divididos em 3 grupos, de acordo com os débitos de dose de radiação externa ao contacto e da concentração de atividade. Esta separação permitiu que a autoridade competente pudesse liberar do controlo regulamentar um número significativo de *big bags*. Os restantes encontram-se acondicionados em dois contentores metálicos sujeitos a monitorização radiológica regular, como ilustra a Fig.2.

Fig.2: *Big bags* acondicionados em contentor metálico.



RADÃO



IX Congresso de Proteção
Contra Radiações da
Comunidade dos Países
de Língua Portuguesa

COIMBRA,
11 A 15 DE DEZEMBRO DE 2023

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

O POTENCIAL DA CIÊNCIA CIDADÃ NA CONSCIENCIALIZAÇÃO E REDUÇÃO DA EXPOSIÇÃO AO RADÃO| O CASO RadAR

Simão^a I., Canha^b N., Antunes^a C., Almeida^b S., Felizardo^b M., Fonseca^a H., Lage^b J., Malta^a
M., Reis^b M.

^{a)} Agência Portuguesa do Ambiente (APA), Rua da Murgueira, 9 - Zambujal - Alfragide, 2610-124 Amadora, Portugal

^{b)} Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C²TN), Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Estrada Nacional 10, Km 139.7, 2695-066 Bobadela LRS, Portugal
ines.simao@apambiente.pt

Introdução - O radão é um gás radioativo natural proveniente de rochas e solos, e a sua concentração no interior dos edifícios depende das características geológicas, do tipo de construção e do uso do edifício. A exposição prolongada ao radão no interior dos edifícios tem efeitos nocivos sobre a saúde humana, sendo uma das principais causas para o aparecimento de cancro do pulmão (WHO, 2009). Medir a sua concentração nos espaços interiores é a única forma de aferir se as concentrações do gás excedem o nível de referência nacional (300 Bq/m³) (Decreto-lei n.º 108/2018, 2018) e é o primeiro passo na tomada de decisão dos cidadãos para a redução da sua exposição a concentrações elevadas de radão. Uma das estratégias utilizadas para conscienciar os cidadãos e reduzir o risco da exposição ao radão é através de projetos de ciência cidadã, uma parceria entre cientistas e o público (Martell et al., 2021). A participação voluntária de cidadãos na investigação científica aproxima a comunidade às questões que a ciência pretende resolver, criando uma relação de compreensão mútua e partilha de objetivos. A comunicação local promove essa relação e através de uma comunicação consistente e próxima, a relação é integrada no quotidiano, criando confiança, uma maior interação e um maior impacto junto da comunidade (Hevey et al., 2023; Turcanu et al., 2020).

O RadAR é um projeto nacional de ciência cidadã, aprovado no último concurso do projeto RadoNorm (financiado pelo programa de investigação e formação Euratom 2019-2020 ao abrigo do acordo de subvenção n.º 900009); resulta de uma parceria entre o Instituto Superior Técnico (IST) e a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) e foca-se na problemática da exposição a concentrações elevadas de radão no interior de edifícios, colocando estudantes como a força motriz da sensibilização da população. Através de um projeto escolar, os alunos irão criar e implementar uma estratégia de comunicação local que conduza a comunidade a fazer medição de radão nas suas habitações e agir para reduzir a sua exposição, caso se detectem elevadas concentrações. O RadAR tem como objetivos:

- Promover a consciencialização na população sobre o radão e os efeitos nocivos na saúde humana;
- Promover a monitorização de radão numa zona do país ainda pouco caracterizada;
- Fornecer aos cidadãos as informações necessárias para uma efetiva redução da concentração de radão nos casos em que se verifiquem concentrações elevadas de radão.

Metodologia - O RadAR decorre num período de 9 meses, de setembro de 2023 a maio de 2024, em 3 turmas (9º e 10º anos) de 3 escolas selecionadas no distrito de Portalegre: Escola Secundária de Ponte de Sor, Escola Secundária de São Lourenço e Escola Secundária Mouzinho da Silveira. O projeto arrancou com uma reunião entre a equipa do projeto e cada uma das turmas selecionadas, onde foi apresentado o projeto, a problemática do radão e foi testado o conhecimento dos alunos sobre o tema. Incentivou-se os alunos a criarem uma campanha de comunicação e monitorização local, com a criação de materiais de

disseminação e de uma apresentação para explicar o projeto e os objetivos à comunidade escolar e ao público em geral do seu município. As estratégias implementadas por cada escola têm como objetivo distribuir 100 detetores a voluntários, perfazendo um total de 300 medições de radão, distribuídas pelo distrito de Portalegre, durante 3 meses. Decorrido esse período, os detetores serão recolhidos pelos alunos, entregues à equipa do RadAR e analisados no Laboratório de Proteção Radiológica e Segurança (LPSR) do IST. A concentração de radão de cada habitação será comunicado ao respetivo voluntário e, caso sejam detectadas concentrações elevadas, serão fornecidas informações adequadas para promover a aplicação de medidas de remediação para minimizar a exposição ao radão. Os resultados serão entregues, anonimizados, às turmas para fazerem o seu tratamento, análise e posteriormente a sua apresentação à comunidade. Todos os participantes irão também apresentar o seu projeto e resultados ao público em geral num evento final em Lisboa, no Pavilhão do Conhecimento, com a atribuição de 3 prémios: maior taxa de recuperação de detetores, melhor material de comunicação e melhor apresentação de resultados. A taxa de recuperação de detetores vai ser usada como um indicador de performance do projeto.

Resultados - Nesta fase do RadAR, ainda não há resultados mensuráveis. No entanto, os dados preliminares obtidos indicam que há uma tendência positiva na participação da comunidade escolar no projeto. Os resultados esperados com o desenvolvimento do projeto são:

- Criação e distribuição de material de disseminação sobre o radão, boas práticas e diretrizes para maximizar o sucesso das ações;
- Sensibilização da população para a mediação do radão nas suas habitações recorrendo para este efeito a apresentações públicas organizadas pelos alunos envolvidos no projeto;
- Medição da concentração de radão em 300 habitações numa região pouco caracterizada (distrito de Portalegre);
- Análise dos dados obtidos na campanha de monitorização e apresentação dos resultados ao público;
- Incentivo da remediação, nos casos em que se detectem concentrações elevadas de radão, através da disponibilização de informação aos voluntários;
- Participação e envolvimento ativo da comunidade nas atividades do projeto;
- Aumento da consciência ambiental sobre o radão e os seus impactos nocivos na saúde.

Para a boa prossecução do projeto será fundamental manter escolas/alunos interessados, sendo preponderante a participação ativa da equipa do projeto nas diferentes atividades e em todos os passos do projeto. Será fundamental contornar as limitações da distância Lisboa (equipa RadAR) – Portalegre (escolas), quer seja através de reuniões online sempre que necessário, quer seja por outros meios de comunicação à distância.

O conhecimento dos alunos sobre o radão será reavaliada no último evento para apurar se houve alterações após o seu envolvimento no projeto.

Conclusões - No futuro, espera-se que este projeto venha a ser replicado em outras zonas do país, para uma melhor caracterização do país em termos de concentração de radão e aumentar o conhecimento dos cidadãos quanto aos riscos associados à exposição ao radão e quais as medidas disponíveis para reduzir essa exposição.

Referências

- WHO. 2009. *Handbook on indoor radon. A public health perspective*. Geneva: World Health Organisation.
- Decreto-Lei n.º 108/2018 da Presidência do Conselho de Ministros. Diário da República nº 232, Série I de 03/12/2018. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/118-2013-499237>
- Martell, M., Perko, T., Tomkiv, Y., Long, S., Dowdall, A & Kenens, J. (2021). Evaluation of citizen science contributions to radon research. *Journal of Environmental Radioactivity*, 237. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106685>
- Hevey, D., Perko, T., Martell, M., Bradley, G., Apers, S. & Rovenská, K.N. (2023). A psycho-social-environmental lens on radon air pollutant: authorities', mitigation contractors', and residents' perceptions of barriers and facilitators to domestic radon mitigation. *Frontiers in Public Health* 11. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1252804>
- Turcanu, C., Schieber, C., Schneider, T., Fallon, C., Geysmans, R., Perko, T., Cantone, M.C., Economides, S., Barazza, F., Charron, S, Gschwind, R., Lafage, S., Zeleznik, N., Pözl-Viol, C. (2020). Stakeholder engagement in the management of indoor radon exposures. *Radioprotection* 55 (HS2), 227–233. <https://doi.org/10.1051/radiopro/2020038>

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

AN ANALYSIS OF THE SCIENTIFIC PRODUCTION ON RADON IN BRAZIL

Razuck^a F. B., Ferreira^a P. R.

Institute of Radiation Protection and Dosimetry (IRD), Av. Salvador Allende, 3773, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, Brazil

fernando.razuck@ird.gov.br

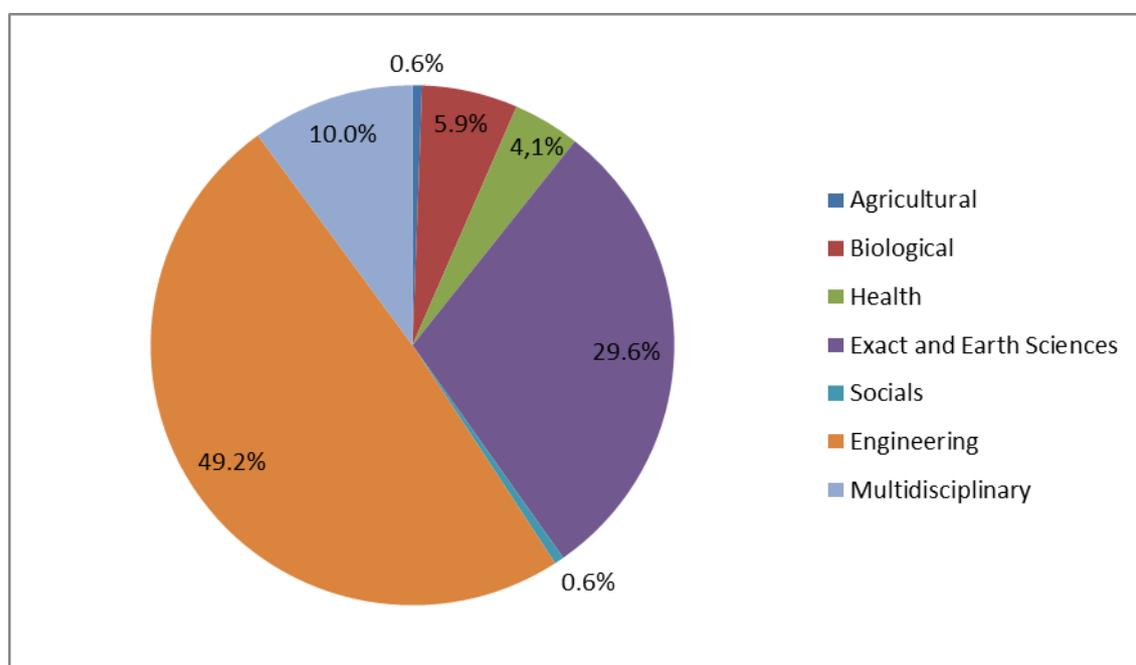
Introduction: Radon is a radioactive gas that emanates from rocks and soils and tends to concentrate in closed spaces. Infiltration of soil gases is the most important source of residential radon, and for this reason it is a major contributor to the dose of ionizing radiation received by the general population [1]. Due to this issue, it is important to quantify the levels of radioactivity in different environments [2].

Methodology: In view of its relevance to public health, this qualitative-quantitative [3] paper sought to assess the state of the art on the radon theme in Brazil. In addition to analyzing the dissertations and theses produced in the country, a survey was carried out according to the Area of Knowledge, Area of Assessment and Area of Concentration, in the Database of Theses and Dissertations (BTD) of the Higher Education Personnel Coordination (CAPES) [3; 4].

At the end, a specific search was made for the nuclear area, in the case of Higher Education Institutions (HEIs) linked to the National Nuclear Energy Commission (CNEN) that have *stricto sensu* postgraduate programs [5].

Results: A total of 177 works on radon were found, 53 of which were theses and 124 dissertations, distributed in 7 Knowledge Areas and 20 Assessment Areas (figure 1).

Figure 1: Production by Knowledge Area



Works were found in 37 HEIs. Regarding to the specific analysis about the HEIs linked to CNEN, were identified 39 works, which corresponds to 22.03% of the total.

Conclusions: Despite being a field of application and study in postgraduate studies studied since 1995, there is a variety of themes related to research on radon, considering the presence of works in 7 of the 9 Areas of Knowledge and in 20 of the 49 Assessment Areas.

Regarding to the specific analysis about the HEIs linked to CNEN, were identified 39 works, which corresponds to 22.03% of the total (39 in relation to the total of 177), which demonstrates its importance for graduate studies in the nuclear area.

In the future, it is intended to make a survey of the research groups in activity, as well as their areas of concentration, in order to carry out a more detailed assessment of research in general and in the nuclear area in the identification of coordinated works with specific objectives in meeting the international recommendations.

Thus, it is understood the importance of this survey for the evaluation of nuclear knowledge management on radon, aiming at new investigations and the construction of knowledge on the subject in the future.

References:

- [1] WHO. **World Health Organization. Radon and cancer** - Fact sheet N°291. 2009.
- [2] ICRP. **The International Commission on Radiological Protection**. ICRP publication 115 - Lung Cancer Risk from Radon. 2010.
- [3] GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- [4] BRASIL. **CAPES**. Banco de Teses e Dissertações (BTD). 2022.
- [5] BRASIL. **CNEN**. Pós-Graduação. Available at: <<http://antigo.cnen.gov.br/pos-graduacao>>. Last accessed on: 05/08/2023.

IX Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países de Língua Portuguesa

RADON EXHALATION FROM BUILDING MATERIALS IN PORTUGAL

Sêco^{a,c} S.L.R., Domingos^{b,c} F.P., Pereira^{b,c} A.J.S.C., Trindade^d M.J., Malta^d M., Fonseca^d H., Santos Silva^e A., Costa^e D., Baptista^e F., Dinis^f M.L., Sousa^g L.

^a University of Coimbra, Instituto Dom Luiz, Department of Earth Sciences, Portugal

^b University of Coimbra, Centre for Earth and Space Research, Department of Earth Sciences, Portugal

^c University of Coimbra, Laboratory of Natural Radioactivity, Department of Earth Sciences, Portugal

^d Portuguese Environment Agency, Portugal

^e National Civil Engineering Laboratory, Portugal

^f University of Porto, Center for Natural Resources and Environment, Faculty of Engineering, Portugal

^g University of Trás-os-Montes e Alto Douro, Geoscience Center, Department of Geology, Portugal

osergioseco@gmail.com

Introduction - Council Directive 2013/59/Euratom, of December 5, 2013, transposed to Portuguese legislation through the Decree-Law No. 108/2018 of December 3, establishes the basic safety standards for protection against the hazards resulting from exposure to ionizing radiation, namely gamma radiation (art. 153-155) and the exposure to radon inside buildings (art. 145), which are linked also to the building materials. Radon (^{222}Rn) and its progenies are formed in the uranium (^{238}U) decay series and occur naturally in rocks and soils, representing the largest source of exposure to ionizing radiation in the population, causing lung cancer [1, 2]. In Portugal, research efforts have focused on geological and water samples, and indoor radon [e.g. 3 to 10]. In order to implement action A2.5 foreseen in the Portuguese National Radon Plan, this study aims to evaluate the potential for ^{222}Rn release of the main types of materials used for building construction in Portugal [see 11], which could contribute to the increase of indoor radon concentrations.

Methodology - A total of 154 samples of materials used for building construction were collected for analysis of ^{226}Ra and ^{222}Rn gas mass activity concentrations. These include naturally occurring materials (ornamental stones, rocks for aggregate production and others: granites, basalts, gabbros, syenites, migmatites, quartzdiorites, schist, limestones, gypsum and pozzolans), industrial products (cement, concrete, mortars, masonry, tiles, ceramic pavement and coating), industrial by-products (ash and slag). The samples were stored in Marinelli-type beakers and left to reach equilibrium between ^{226}Ra and its progeny. ^{226}Ra activity concentrations were determined by gamma-ray spectrometry as described in [12]. ^{222}Rn was determined by the accumulation method [e.g. 8, 9, 10]. The beakers were placed in stainless steel containers, sealed and left until equilibrium was reached between ^{222}Rn and its progeny. The activity concentration per unit of mass (A_m , in Bq/kg), was calculated as the product of the effective sample volume and the average ^{222}Rn volumetric activity, divided by the weight of the sample. The emanation coefficient (EM, %) was evaluated as the ratio between ^{222}Rn and ^{226}Ra mass activity.

Results - Considering natural materials, granites used for aggregates and as ornamental stones present similar average ^{226}Ra mass activity concentration (136 and 146 Bq/kg, respectively), but distinct ^{222}Rn exhalation (5 versus 9 Bq/kg). The emanation coefficient (EM) averages 4% in aggregates and 6% in granitic ornamental stones. Migmatites have, on average, activity concentrations of ^{226}Ra similar to the granites (145 Bq/kg), however, substantially higher A_m and EM, with mean values of 71 Bq/kg and 53 %, respectively. The lowest ^{226}Ra and A_m activities occur in gabbros, with values of 5 and 0.1 Bq/kg,

respectively, and the lowest EM (<0.01 %) is found in quartzdiorites, suggesting their suitability for applications where low radioactivity is essential. In industrial products, the highest average mass activity concentrations of ^{226}Ra are observed in materials used for flooring and coverings (119 Bq/kg). Granite aggregates exhibit the highest A_m (2 Bq/kg), and brick masonry the highest EM (4%). The lowest ^{226}Ra activity concentrations are seen in industrial mortars, cements, ceramic materials and expanded clay, and the lowest A_m and EM in cement plaster and materials used in flooring and coverings. In industrial by-products, ash presents ^{226}Ra activity concentrations higher than slag. In contrast, slag has a higher EM value (2%). With regard to other materials, pozzolans, show higher values for all variables studied when compared to gypsum.

Conclusions - This study shows construction materials exhibit unique characteristics, and the choice of materials can significantly influence the potential radiation exposure. Construction materials incorporating granite, migmatite, and/or pozzolans pose the highest risk of exposure to radon gas, that justifies a greater level of concern. Conversely, industrial mortars and flooring and coverings categorized as Industrial Products exhibit the lowest radon exhalation rates. This study also underscores the importance of considering both ^{226}Ra activity concentrations and radon-related parameters (A_m and EM) when evaluating the radiological impact of rocks and industrial materials used as building materials. Given that materials with lower ^{226}Ra activity concentrations may present higher ^{222}Rn emanation potential, it is imperative to combine this aspect with Index I as outlined in Council Directive 2013/59/Euratom to mitigate the impact of these materials on health.

References

- [1] WHO (2009). WHO Handbook on Indoor Radon – a Public Health Perspective. WHO, p. 110.
- [2] UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2010). Source and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008, Report to the General Assembly with Scientific Annexes, I, p. 463.
- [3] Pereira, A.J.S.C., Pereira, M.D., Neves, L.J.P.F., Azevedo, J.M.M., Campos, A.B.A. (2015). Evaluation of groundwater quality based on radiological and hydrochemical data from two uraniumiferous regions of Western Iberia: Nisa (Portugal) and Ciudad Rodrigo (Spain). *Environ. Earth Sci.*, 73(6), 2717-2731.
- [4] Madureira, J., Paciência, I., Rufo, J., Moreira, A., de Oliveira Fernandes, E., Pereira, A. (2016). Radon in indoor air of primary schools: determinant factors, their variability and effective dose. *Environ. Geochem. and Health*, 38(2), 523-533.
- [5] Silva, A.S., Dinis, M.L., Pereira, A.J.S.C. (2016). Assessment of indoor radon levels in Portuguese thermal spas. *Radioprotection*, 51(4), 249-254.
- [6] Pereira, A., Lamas, R., Miranda, M., Domingos, F., Neves, L., Ferreira, N. (2017). Estimation of the radon production rate in granite rocks and evaluation of the implications for geogenic radon potential maps: a case study in Central Portugal. *J. Environ. Radioact.*, 166, 270-277.
- [7] Martins, L., Pereira, A., Oliveira, A., Fernandes, A., Sanches Fernandes, L.F., Pacheco, F.A.L., (2019). An assessment of groundwater contamination risk with radon based on clustering and structural models. *Water*, 11(5), 1107.
- [8] Sêco, S.L.R., Domingos, F.P., Pereira, A.J.S.C., Duarte, L.V. (2020). Estimation of the radon production potential in sedimentary rocks: A case study in the Lower and Middle Jurassic of the Lusitanian Basin (Portugal). *J. Environ. Radioact.*, 220, 106272.
- [9] Domingos, F.P., Sêco, S.L.R., Pereira, A.J.S.C. (2021). Thoron and radon exhalation and emanation from granitic rocks outcropping in the Central Iberian Zone (Portugal). *Environ. Earth Sci.*, 80(22), 753.
- [10] Siegesmund, S., Pereira, A.J.S.C., Sousa, L., Rucker, S., Kallas, L., Kopka, B., Domingos, F., Sêco, S.L.R. (2022). Is there any health danger by radioactivity on the use of dimensional stones? *Environ. Earth Sci.*, 81:383.
- [11] Trindade, M.J., Malta, M., Fonseca, H., Santos Silva, A., Costa, D., Baptista, F., Pereira, A., Dinis, M.L. (2023). Materiais de construção produzidos e usados em Portugal que podem suscitar preocupação do ponto de vista da proteção radiológica. *Comunicações Geológicas*. *Submitted and under review*.
- [12] Domingos, F., Pereira, A. (2018). Implications of alteration processes on radon emanation, radon production rate and W-Sn exploration in the Panasqueira ore district. *Sci. Total Environ.*, 622, 825-840.

IX Congress of Radiation Protection of the Portuguese Speaking Countries

THE CONTRIBUTION OF LeaRn4LIFE PROJECT FOR THE IMPLEMENTATION OF EU POLICIES AND NATIONAL LEGISLATION IN PORTUGAL AND SPAIN

Antunes C.*, Malta M., Fonseca H., Trindade M. J.

Agência Portuguesa do Ambiente, Rua da Murgueira, 9 - Zambujal - Alfragide | 2610-124

Amadora

* Corresponding author: ana.antunes@apambiente.pt

Introduction - Radon is a radioactive gas that comes from rocks and soils and may accumulate inside buildings. Radon is recognized by the International Agency for Research on Cancer (IARC) as a Class 1 carcinogen [1]. It is well-documented that prolonged exposure to indoor radon is a major cause of lung cancer. According to the World Health Organization, the proportion of all lung cancers related to radon is estimated to lie between 3% and 14%, depending on the average radon concentration in the country and the method of calculation [2].

Over the past decades, due to the recognized long-term health risks, regulations have been formally established to define principles and requirements for limiting the exposure of the public and workers to radon. European Union (EU) Legislation has a significant impact on establishing national requirements. The most important legislative act in the field of radon is Council Directive 2013/59/EURATOM. This EU Directive provides a set of strategies to limit the exposure of the public and workers to radon, which include measures to reduce its concentration inside buildings. With the transposition of the directive into the national legislation of EU Member States, countries such as Portugal and Spain have now internal regulations on radon.

The LeaRn4LIFE project – *Learning radon: professional qualification and social awareness as a strategy for reducing radon exposure* – aims to assist the implementation of some measures set out in EU Directive 2013/59/EURATOM and in Portuguese and Spanish legislation, such as providing adequate education, training, and information to all individuals as part of the strategy to reduce radon exposure. The overall objectives of the LeaRn4LIFE project are:

1. to conceive, develop, and implement adequate training programs to promote and improve technical skills and knowledge of radon professionals, students, teachers, authorities and governmental bodies, medical professionals, and communication professionals working with radon, enhancing market recognition and confidence; and
2. to promote citizens' awareness of the radon problem, as a tool to increase their willingness to act and take the necessary steps to reduce exposure.

Overall, this project intends not only to contribute to the qualification of professionals but also to provide society with solutions to reduce radon in dwellings and workplaces as a whole and in the most cost-effective way.

Methodology - The project is a partnership between Portugal and Spain. It is coordinated by the Portuguese Environment Agency and includes the University of Coimbra and the National Laboratory for Civil Engineering, of Portugal, and the University of Cantabria, of Spain. Beyond the beneficiaries of the project, the work done so far has been supported by a number of stakeholders: Consejo de Seguridad Nuclear, Empresa de Desenvolvimento Mineiro, S.A., ENUSA Industrias Avanzadas, S.A.,

S.M.E., Instituto de las Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Escuela Técnica Superior de Arquitectura – Universidad de Sevilla, Direção Regional do Ambiente e Alterações Climáticas – Madeira and Direção Regional do Ambiente e Alterações Climáticas – Açores. Others stakeholders, such as the European Radon Association, Radosys Atlantic, Ltd, Plataforma Nacional de I+D en Protección Radiológica, and European Builders Confederation will collaborate in different stages of the project. Work meetings with the stakeholders of the project, along with questionnaires distributed to the interested parties were the first step to define the structure and topics of the training programs to be implemented. The contents for each training program are currently being defined taking into consideration the target audience.

Additionally, awareness campaigns for citizens have started and are now underway in Portugal and Spain to cover all territory. Seminars for construction sector companies, platforms, and technical orders will start soon. The objective is to showcase the project and the training programs, aiming to clarify the importance of qualification and how companies/professionals can benefit by obtaining technical qualifications in this field.

Expected Outcomes - The training program under design will respond to existing gaps in the background of current Portuguese and Spanish professionals working on improvement measures in buildings. This will be key to promoting the implementation of the EU policies and national legislation from Portugal and Spain concerning the education and training of radon professionals, to reduce radon exposure.

Moreover, raising awareness among citizens will be an essential component of the strategy and the first step in encouraging them to take the necessary actions to protect themselves and others from radon.

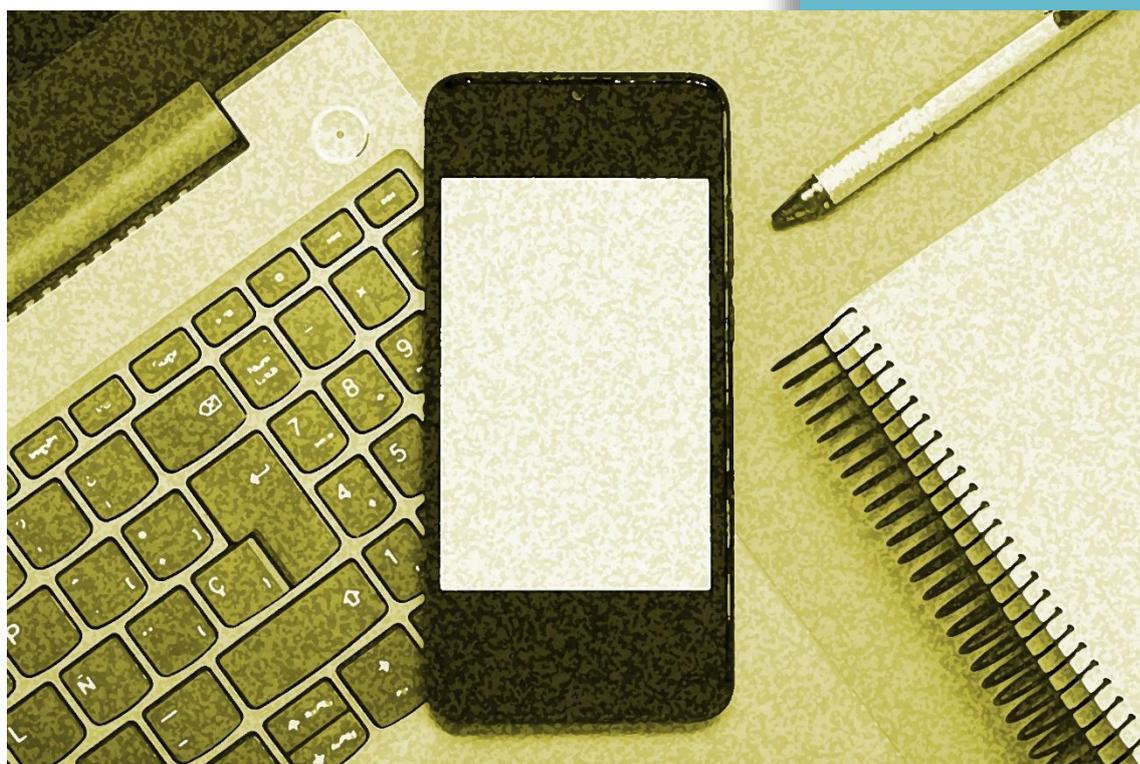
Acknowledgements - The authors wish to express their gratitude to stakeholders supporting this work, namely, Consejo de Seguridad Nuclear, Empresa de Desenvolvimento Mineiro, S.A., ENUSA Industrias Avanzadas, S.A., S.M.E., Instituto de las Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Escuela Técnica Superior de Arquitectura – Universidad de Sevilla, Direção Regional do Ambiente e Alterações Climáticas – Madeira and Direção Regional do Ambiente e Alterações Climáticas – Açores.

The authors are also thankful to the LeaRn4LIFE Project – Learning Radon: Professional Qualification and Social Awareness as a strategy for reducing radon exposure (Grant Agreement no. 101074516), funded by the European Union. Views and opinions expressed are, however, those of the authors only and do not necessarily reflect those of the EU or CINEA. Neither the European Union nor CINEA can be held responsible for them.

References:

- [1] IARC. (1988). Summaries & Evaluations, VOL.: 43, (p. 173). INCHEM.
- [2] WHO. (2009). Handbook on Indoor Radon, A Public Health Perspective. Hajo Zeeb and Ferid Shannoun.

RADIAÇÕES NÃO IONIZANTES



IX Congresso de Proteção
Contra Radiações da
Comunidade dos Países
de Língua Portuguesa

COIMBRA,
11 A 15 DE DEZEMBRO DE 2023

IX Congress of Radiation Protection of the Portuguese Speaking Countries

SAFETY ISSUES OF SOLAR ENERGY INDUSTRY WORKERS DUE TO NON-IONIZING RADIATION EXPOSURES

Samaniego^a R. D., Da Silva ^a M. G., and Ferreira^a A. D.

^aADAI, LAETA, Department of Mechanical Engineering, University of Coimbra, Rua Luis

Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal

danyela.rascon@uc.pt

Introduction: Due to the environmental problems arising from using and exploiting fossil fuels, countries opted for developing technologies based on renewable sources as alternatives to satisfy the growing energy demand. Among the renewable energy technologies, in some countries, solar energy seems to be a promising solution to meet the energy supply due to its abundance and non-polluting character. Usually, solar power plants are located in sunny environments due to requirements for power generation [1]. Meanwhile, as the ozone layer damage has been exceeding its natural restoration, a growing level of UV radiation reaches the surface of the Earth where the solar industry working force will face new risks. The solar radiation passing through the atmosphere is composed of three types of non-ionizing radiation (NIR), namely ultraviolet (UV), visible light (VL), and infrared (IR) radiation, and all of them are classified by their wavelength within the solar spectrum [2][3]. Nearly half of the solar radiation can be perceived through the eyes and the rest of it cannot be perceived by any of the human senses unless the source has a high intensity so it can be perceived by feeling heat. The radiant heat (thermal radiation), known as infrared radiation, is emitted by all objects with temperatures above zero. IR -radiation conforms almost half of the solar radiation. Besides IR radiation in the solar spectrum, the VL is the part of it that can be perceived with the eyes. UV is a form of optical radiation of shorter wavelengths and photons (particles of radiation) more energetic than VL[4][5][6][7][8][9].

When a body surface is exposed to such incident irradiance scatters a part of it and absorbs the other portion in the form of photons. The absorbed fraction induces cellular reactions causing alterations (effects) directly or indirectly in the biological system, which is susceptible to producing physiological, biochemical, or behavioral changes, resulting, from that process, skin impacts (erythema and burns) and several types of damage to the eyes [4][5][8][10][11]. The OSHA [12] defined dehydration, heat exhaustion, and heat stroke as consequences of exposure to heat. According to Parsons [13], there are also behavioral disorders that can negatively influence the performance capacity of the workers due to the discomfort and psychological stress, produced by a hormonal imbalance, which leads to a considerable decrease in their productivity. However, all biological changes depend on a multitude of different factors such as radiation dose, the intensity of the source, time and duration of exposure, power of the radiant beam, characteristics of the source emission, environmental conditions (clouds, air pollution, air humidity, etc.), type of work activities, biological conditions of the body (e.g. the type of skin), and the capacity of absorption of different tissues. It also depends on the wavelength because in the electromagnetic spectrum of solar radiation some wavelengths are more energetic than others. It may also be hard to know whether people are sufficiently sensitive to react physiologically to subtle changes in the spectral content of radiation [3][4][6][8][11]. This work aims to contribute crucial information about the environmental conditions in solar energy facilities in order to prevent health impairments and decrease risky situations of exposure.

Methodology: The study centers on Central Receiver Solar (CRS) facilities and contributes crucial information, on heat-related, eyes, and skin impairments due to solar radiation exposures. The assessment of outdoor environmental conditions, where real data was collected, was conducted in the Solar Platform of Hermosillo (PSH), a solar installation for research purposes, located in the North of Mexico. It describes the assessment methods and safety limits related to skin, eyes, and the level of stress caused by time-exposures in determined environmental conditions. Besides, an assessment of eye, skin, and levels of heat

stress under hot weather conditions in the working population, based on solar radiation measurements is provided. The actions of looking directly at the surface of the heliostats and looking directly at the surface of the receiver were evaluated. Furthermore, the time of exposure necessary to achieve a minimum impact on unprotected skin of non-adapted and adapted individuals according to the type of skin in the Fitzpatrick classification scale is presented. Also, the sequence of exposures to different heat-related environmental conditions in the solar installations has been evaluated and has been linked to work capacity. The percentage of work capacity (productivity) and resting periods for acclimatized and non-acclimatized workers was also presented.

Results: The results showed that the maximum time to stay unprotected under the highest constant flux of solar radiation recorded without receiving a noticeable impact on non-adapted skin type I-IV is 5-15 minutes; while adapted skin type I-IV achieves the dose from 13 to 20 minutes. Skin types V and VI without adaptation will achieve the corresponding dose in 17-30 minutes and 2-3 hours when the skin is adapted. It can be concluded that the workers will be required to pass through a process of skin adaptation in order to increase the time of exposure and decrease the level of risk. Also, it can be concluded that the skin types I-IV with and without adaptation will need strong safety requirements. In results from the glint and glare assessment provide sufficient evidence that the action of seeing the brightness of the receiver does not have the potential to produce an after-image effect on the eye. In the case of the action of looking at the heliostat surface, a person seeing the reflected radiation has a high potential to experience a temporary effect (after-image). Even though this action does not have the potential to interact with the eye in a permanent way, the amount of irradiance that is entering into the eye is close to 8 W/m², which represents the action of seeing directly at the sun. This amount of irradiance that is available to reach the retina could produce permanent damage to the eye. It is highly recommended that the action of seeing directly to the heliostat surface be treated as close to permanent eye damage risk in terms of safety. On the other hand, the workers are exposed to conditions exceeding the recommended exposure to heat stress levels. Sometimes workers develop their tasks under conditions above the alert limits of exposure during the work shift. The employees who have not passed through the process of acclimatization and have a very heavy workload are suggested to take rest periods to work under the WBGT levels analyzed in the facility. Individuals with heavy workload requirements need to rest 45 minutes during each hour, and 30 minutes when the workload is moderate. Additionally, workers need to pass through an introductory acclimatization process and are required to be familiarized with preventive measures due to environmental conditions with elevated heat levels.

Conclusions: The present study provides detailed safety elements for occupational health and safety in Central Receiver Systems. This information contribution headed for solar energy enterprises, policymakers, and environmental scientists will enhance the education of outdoor workers exposed to environmental conditions. The implementation of preventive measures will prevent negative health impacts and healthcare costs on the solar working population. Even though, further studies are desirable to understand deeply solar industry and occupational safety. Additional studies should include the evaluation of working conditions under a heat wave. Also, the evaluation of the level of heat stress in workers related to the construction and installation of solar facilities needs to be addressed. The evaluation of heat stress levels, and ocular and skin exposures in a commercial-scale facility is suggested. The establishment of security measures, training procedures, monitoring systems, and methods of evaluation adapted to the solar industry requirements should be done.

References:

- [1] Franck D., Walzer S. and Chernin O. Assessment and resolution of potential optical safety hazards from a power tower: Solar PACES, Perpignan, Francia; (2010).
- [2] Amaro-Ortiz Alexandra, Betty Yan, and John A. D'Orazio. "Ultraviolet radiation, aging and the skin: prevention of damage by topical cAMP manipulation." *Molecules* 19.5 (2014): 6202-6219
- [3] Polefka T. G., Meyer T. A., Agin P. P., and Bianchini R. J. "Effects of solar radiation on the skin." *Journal of cosmetic dermatology* 11. 2 (2012): 134-143.
- [4] Brauer I. R. Safety and health for engineers, 2nd ed., Nonionizing radiation, A JOHN WILEY & SONS, INC.; 21 (2006): 382-460.
- [5] Carrasco J L. Radiaciones ionizantes y no-ionizantes, aplicaciones y riesgos. Hospital U, Málaga (2003). Available from: <http://www.marcoshurvit.com.ar/Archivos/Docen/ISFT%20190/Radiaciones%20y%20patologia.pdf>, [cited 22.04.17]
- [6] Hodder S. and Parsons K. The Effect of solar Radiation in thermal comfort. *International journal of biometeorology*. DOI 10.2007/s00484-006-0050-y; 51. 3(2007): 233-250
- [7] Knave B. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo: Radiaciones no ionizantes 3rd ed. 49 (2001): 49.1- 49.10
- [8] Kwan-Hoong Ng. Non-Ionizing Radiations – Sources, Biological Effects, Emissions and Exposures: proceedings of the international conference on Non- Ionizing Radiation, UNITEN, ICNIR2003. Available from: <http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/en/keynote3ng.pdf> [cited 22.04.17].
- [9] Yunus C. Heat and Mass Transfer: A Practical Approach. Fundamentals of thermal radiation. McGraw-Hill; 2.11 (2002):561.
- [10] Ho, C.K., Ghanbari C.M., and Diver R.B. Hazard analyses of glint and glare from concentrating solar power plants: Solar PACES (2009):15-18.
- [11] Stanojević, Milenko R., Stanojević, Z., Jovanović, D. L., and Stojiljković, M. "Ultraviolet radiation and melanogenesis." *Archive of Oncology*; 12.4 (2004): 203-205.
- [12] OSHA (Occupational safety and health Administration), n.d. Green Job Hazards: Solar Energy - Heat/Cold Stress. [Online] Available from: https://www.osha.gov/dep/greenjobs/solar_heat.html, [Accessed 11.04.17].
- [13] Parsons, K. "Maintaining Health, Comfort and Productivity in Heat Waves." *Global Health Action*. 2.1 (2009): 2057. DOI: 10.3402/gha.v2i0.2057.CrossRef. Web.

IX Congress of Radiation Protection of the Portuguese Speaking Countries

EXPOSIÇÃO A CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS EM 5G: OS NOVOS DESAFIOS E AS ABORDAGENS A SEGUIR

Correia, Luis M.

IST / INESC-ID / INOV, Universidade de Lisboa, Portugal

luis.m.correia@tecnico.ulisboa.pt

Introdução - O problema da exposição de pessoas a campos eletromagnéticos (CEMs) tem vindo a ser abordado desde há décadas, tendo ganho foco relativamente às radiações eletromagnéticas em radiofrequência associadas aos sistemas de comunicações móveis e sem fios, originadas quer pelos terminais móveis - TMs (vulgo, telemóveis) quer pelas estações base - EBs (vulgo, antenas). Do ponto de vista da engenharia, este problema é comumente abordado tomando-se como referência as recomendações da ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) relativamente aos valores de CEMs e de densidade de potência que não devem ser ultrapassados, designadamente, os que constam da última avaliação do estado da arte em 2020 [1]. O objetivo é então o de estimar essa exposição, separando a de TMs da de EBs, uma vez que as condições de exposição são substancialmente diferentes nos dois casos, nomeadamente: as potências transmitidas são diferentes, com as das EBs sendo normalmente superiores às dos TMs; a proximidade às fontes é substancialmente diferentes, uma vez que o TM está muito próximo do corpo humano enquanto que a EB está a muitos metros (tipicamente, dezenas, no mínimo) de distância; as antenas radiam de modo diferente, com os TMs a radiarem de modo quase uniforme num hemisfério e as EBs a radiarem em setores do espaço.

Os sistemas de comunicações móveis têm evoluído muito desde o seu aparecimento no fim da década de 1970 (a primeira geração), com o lançamento de uma nova geração de sistemas em cada década, até ao recente 5G (5ª Geração). Em cada geração tem havido mudanças mais ou menos profundas no modo como a transmissão de potência é feita, quer pelo TM quer pela EB, e o 5G seguiu também essa tendência. Publicações recentes têm abordado o 5G dos pontos de vista dos TMs e das EBs, bem como numa perspectiva global das redes, [2]-[6]. Este trabalho aborda a exposição a CEMs, identificando os novos problemas decorrentes deste sistema, das abordagens a tomar para a sua análise, e dos resultados que são expectáveis.

Metodologia - O 5G funciona em duas bandas de frequências que estão próximas das que são usadas pelos sistemas já existentes, Tabela 1, o que mostra que as novas questões de exposição a CEMs não se colocam em termos das bandas de frequência. As recomendações da ICNIRP incluem todas as bandas de frequências em utilização, Figura 1, pelo que se pode tomar os valores apresentados em [1] para se fazer a estimativa da exposição a CEMs nos vários cenários a considerar em 5G.

Os problemas originados pelo 5G incluem:

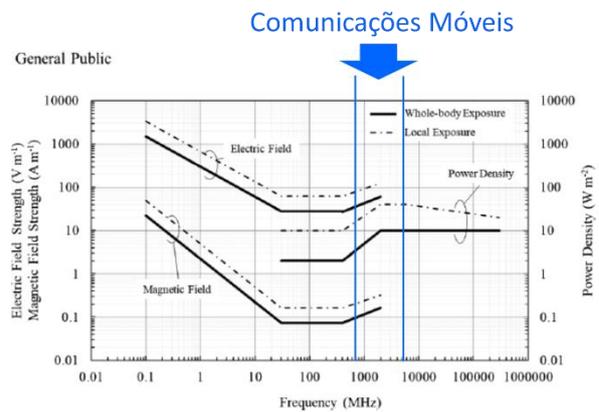
- existência de novos tipos de antenas na banda de 3,6 GHz – antenas que têm lobos de radiação adaptativos (antenas ativas), deixando de radiar constantemente no tempo, mas radiando antes em certas direções dependentes da localização dos utilizadores;
- novos intervalos de transmissão – a transmissão da informação passa a ser feita com intervalos temporais diferentes da geração anteriores, o que poderá ter implicações no tempo médio de exposição;
- novos serviços – espera-se que, em breve, os utilizadores passem a ter ao seu dispor novos tipos de terminais, e.g., os óculos de realidades aumentada e virtual, que constituem cenários novos de utilização e de exposição;

- novo paradigma de localização de antenas nas torres – os operadores venderam as torres com as antenas das EBs a empresas autônomas, o que muda o modo como estas antenas são instaladas, e consequentemente como as pessoas estão expostas a CEMs.

Tabela 1 – Bandas de frequências de sistemas de comunicações móveis e sem fios.

Banda [GHz]	Sistema / Geração
0,7	5G NR
0,8	4G LTE
0,8	2G GSM
1,8	2G GSM
1,9	DECT
2,0	3G UMTS
2,4	WiFi b/g
2,4	Bluetooth
2,6	4G LTE
3,6	5G NR
5,5	WiFi n

Figura 1 – Recomendação da ICNIRP [1], mostrando bandas de frequências relevantes.



Resultados - Os novos problemas originados pelo 5G conduzem à necessidade de novas abordagens para estimar a exposição a CEMs, nomeadamente:

- zonas de exclusão das EBs – distâncias mínimas a que as pessoas podem estar das antenas das EBs, para que as recomendações da ICNIRP sejam verificadas;
- exposição a novos TMs – avaliação da exposição decorrente dos novos tipos de terminais, dependendo da localização dos TMs junto ao corpo e dos novos serviços que possibilitam;
- perfis de utilização dos serviços – elaboração de modelos e estatísticas de utilização dos novos serviços, para que a avaliação de exposição seja o mais precisa possível.

Conclusões - Este trabalho aborda os novos problemas na análise da exposição a CEMs decorrentes no novo sistema de comunicações móveis 5G. Alterações nas antenas das estações base e na transmissão dos sinais, bem com os novos tipos de terminais móveis e os serviços que lhe estão associados, conduzem à necessidade de se ter novas abordagens para a estimação da exposição.

Referências

- [1] ICNIRP, “Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz)”, *Health Physics*, Vol. 118, No. 5, pp. 483–524, May 2020.
- [2] T. Jiang and A.K. Skrivervik, “Monte-Carlo Method for EMF Exposure Distribution Assessment in 5G Base Stations”, *EuCAP 2022 - 16th European Conference on Antennas and Propagation*, Madrid, Spain, Mar. 2022
- [3] A. Fellan and H.D. Schotten, “Overview of the Evaluation Methods for the Maximum EMF Exposure in 5G Networks”, *CSCN 2022 - IEEE Conference on Standards for Communications and Networking*, Thessaloniki, Greece, Nov. 2022.
- [4] M.V.P. Saković, M.T. Koprivica, J.M. Milinković and A.M. Nešković, “Comparison of Average Total EMF Exposure for Microcell/Macrocell Topologies Using Novel Methodology Based on Operational Network Measurements”, *IEEE Access*, Vol. 9, pp. 113 770-113 787, Aug. 2021.
- [5] T. Mazloun, S. Wang and J. Wiart, “Impact of Indoor Distributed Antenna System on RF-EMF Global Exposure”, *IEEE Access*, Vol. 11, pp. 70 587-70 597, Jul. 2023.
- [6] S. Schießl, T. Kopacz and D. Heberling, “Towards a Crowdsourcing-Based EMF Exposure Monitoring: Evaluation of Smartphone Measurements Using Kriging”, *EuCAP 2021 - 15th European Conference on Antennas and Propagation*, Virtual (Düsseldorf, Germany), Mar. 2021.

RADIOATIVIDADE NATURAL



IX Congresso de Proteção
Contra Radiações da
Comunidade dos Países
de Língua Portuguesa

COIMBRA,
11 A 15 DE DEZEMBRO DE 2023

IX Congress of Radiation Protection of the Portuguese-Speaking Countries

DISTRIBUTION OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC RADIONUCLIDES FROM THE EEZ SHELF SEDIMENTS OF PORTUGAL

Cardoso^{a,b} G., Pereira^b A. J. S. C., Malta^a M., Madureira, P.^c

^a Portuguese Environmental Agency, Alfragide, Portugal

^b University of Coimbra, Coimbra, Portugal

^c Mission Structure for the Extension of the Continental Shelf, Paço de Arcos, Portugal

Corresponding author: guilherme.cardoso@apambiente.pt

Introduction - The OSPAR Convention is the mechanism by which 15 Governments and the European Union (the OSPAR Contracting Parties) cooperate to protect the marine environment of the North-East Atlantic.[1]

At the first Ministerial Meeting of the OSPAR Commission, held in 1998 at Sintra, a complete and permanent ban on all dumping of radioactive waste and other matters was agreed. Agreement was also reached on objectives to protect the marine environment of the North-East Atlantic against radioactive substances arising from human activities, and continued as the objectives of the OSPAR Radioactive Substances Strategy (RSS) under the North-East Atlantic Environment Strategy (NEAES) 2010-2020.[1]

Contracting Parties have successfully fulfilled the objectives of the NEAES 2010-2020. However, delivering the aims of the OSPAR Convention is an ongoing task. Therefore, new strategic and operational objectives for radioactive substances were agreed upon by the Ministerial Meeting of the OSPAR Commission 2021 in Cascais, under the North-East Atlantic Environment Strategy 2030. Under the theme of clean seas, the new strategic objective for radioactive substances states that:

OSPAR will prevent pollution by radioactive substances to safeguard human health and to protect the marine environment with the ultimate aim of achieving and maintaining concentrations in the marine environment at near background values for naturally occurring radioactive substances and close to zero for human-made radioactive substances.[1]

The transfer of radionuclides through the trophic chain can be harmful to the ecosystems and human health, justifying continuous monitoring of marine sediments as a dynamic environmental compartment involved in this transfer mechanism.[9] Knowledge about the environmental radiological background is vital in case of future nuclear accidents to assess the impact on food resource management, as aquaculture and fishing industries as well as the dose increase received by humans.

This study aims at the radiological characterization of sediments from areas inside the Portuguese EEZ. For this purpose a group of 16 samples collected between 2008 and 2014, during monitoring campaigns on the EEZ, by the Mission Structure for the Extension of the Continental Shelf (EMEPC) were selected and measured by gamma spectrometry to quantify the specific activity concentrations of natural radioactivity of ²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K), and anthropogenic radioactivity of ¹³⁷Cs, comparing with similar studies.**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** - [8][8]

Methodology - Sixteen superficial sediments (0-5 cm) were collected by the Portuguese Remotely Operated Vehicle (ROV), between 2008 and 2014, from six areas inside the Portuguese EEZ: the Azores

archipelago, Josephine Seamount, Selvagens Islands, Meteor Seamount, Maxwell Fracture Zone, and Kings Trough.

The sediment samples analysed were dry at 60°C and the >2 mm fragments were separated by dry sieving and not considered for analysis. Total samples (<2 mm) were crushed into a fine powder using a bench top Mini Mill 2 (PANalytical B.V.), for 10 minutes in 250rpm.

After homogenization, each sample was vacuum sealed in a 47mm diameter petri dish to prevent loss of material and measured by a Gamma-Ray spectrometer Ortec®, with a 3x3” NaI (Tl) detector.

Results - The results for the activity concentration and distribution of ^{226}Ra (^{238}U) series, ^{232}Th series, ^{40}K , and ^{137}Cs radionuclides, show activity concentrations differ from different depths and locations but are similar to other values reported for the Atlantic Ocean.[3]

The worldwide means obtained from the literature show that the activity concentrations in the Atlantic Ocean are higher than those of all the other locations. Also, ^{40}K dominates over the other radionuclides because it is the most abundant in continental rocks and it is elevated in many light minerals.[1]

Conclusions - In this study, specific activity in 16 sediment samples was determined using gamma spectrometry to determine radionuclides concentration of ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , and ^{137}Cs , and compared with 58 regions obtained from the literature as well as the UNSCEAR world mean [2]. Generally, the activity concentrations of the examined radionuclides did not differ from those reported for the rest of the Atlantic Ocean, with significant progress towards the aim of concentrations in the environment near background values for naturally occurring radioactive substances and close to zero for artificial radioactive substances.

References

- [1] Gwynn, J., Fievet, B., Stackhouse, A., Robinson, C., Aquilonius, K., Arends, P., Baglan, N., Caplin, H., Cardoso, G., Chartier, M., Claes, J., Dewar, A., Hagg, A., Löhle, J., Luque, S., McGinnity, P., Nilsen, M., Nyffenegger, C., Pynn, A., Reynal, N., Ryan, R., Siegfried, M., Tanzi, C.P., Telleria, D., Trinidad, J.A., (2022). Fifth periodic evaluation of progress towards the objective of the OSPAR Radioactive Substances Strategy. In: OSPAR, 2023: The 2023 Quality Status Report for the Northeast Atlantic. OSPAR Commission, London.
- [2] Unsear (United Nations Scientific Committee on Sources and Effects on Ionizing Radiation) (2008). Sources and Effects of Ionizing Radiation. New York, United Nations.
- [3] Carvalho, F. P., Oliveira, J. M., and Soares, A. M. M. (2011). Sediment accumulation and bioturbation rates in the deep Northeast Atlantic determined by radiometric techniques. – ICES Journal of Marine Science, 68: 427–435
- [4] Ait Bouh, H., Laissaoui, A., Ziad, N. (2021). The activity concentrations and hazard indices in sediment samples from the African coasts. Journal of Applied Science and Environmental Studies, 4(2), 365-375.
- [5] Özmen, S. F., Güven, O. (2021). Sediment radioactivity levels of deep-water fishery grounds in Antalya bay. Aquatic Sciences and Engineering, 36 (1), 29-33.
- [6] Akuo-ko, E. O., Adelikhah, M., Amponsem, E., Csordás, A., Kovács, T. (2023). Radiological assessment in beach sediment of coastline, Ghana. Heliyon, Volume 9 (6), 1-14.
- [7] Pourahmad, J., Motallebi, A., Asgharizadeh, F., Eskandari, G. R., Shafaghi, B. (2008). Radioactivity Concentrations in Sediments on the Coast of the Iranian Province of Khuzestan in the Northern Persian Gulf. Journal of Environmental Toxicology, 23 (5), 583-590.
- [8] Putra, D. I. P., Prihatiningsih, W. R., Makmur, M., Yahya, M. N., Priasetyono, Y., Untara (2021). Distribution of some natural and anthropogenic radionuclides in the sediments and seawater along the coastal areas of North Sulawesi. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 890, 1-11.
- [9] Poma-Llantoy, V. R., Mendoza-Hidalgo, P. A., Ricaurte-Villota, C. (2021). Caracterización de radionúclidos en los sedimentos marinos del monte submarino Orca, bahía Almirantazgo y ensenada Mackellar. Bol. Investig. Mar. Costeras, 50 (Supl. Esp.), 109-28.

IX Congress of Radiation Protection of the Portuguese Speaking Countries

THE NATURAL RADIOACTIVITY IN MONDEGO RIVER – CURRENT STATE

Luís^{a,c} G., Pereira^{a,c} A., Sêco^{b,c} S., Erbolato Filho^c J., Neves^{a,c} L.

^a *University of Coimbra, Centre for Earth and Space Research, Department of Earth Sciences, Portugal*

^b *University of Coimbra, Instituto Dom Luiz, Department of Earth Sciences, Portugal*

^c *University of Coimbra, Laboratory of Natural Radioactivity, Department of Earth Sciences, Portugal*

e-mail address: gustavo.psl96@gmail.com

Introduction: In the last decades, radioactivity has been a major health concern of the population of the north and centre re-gion of Portugal, in part due to geology (enriched uranium rocks) but also due to the long period of extraction activities of radioactive resources and its environmental legacy. In total, 61 old radium-uranium mines ceased the exploitation activities, and a significant volume of wastes remained in the old mining sites. In 2001 the environmental requalification of these passives was conceded to the state-owned enterprise Empresa de Desenvolvimento Mineiro (EDM). Mondego river basin is the catchment for all the water of the smaller water streams that run across most of the old mines, which are under continuous environmental control. But the possibility of radioactive pollution of the Mondego river is still a cause of concern among populations. This work is a present state of the natural radioactivity in the surface waters of an important portion of the Mondego river basin. It aims to evaluate the possible health concerns and stablish the base levels of radioac-tivity for future evaluation of possible contaminations.

Methodology: Surface waters were sampled from January of 2022 to November of 2023. Water was collected using a special designed apparatus for Rn-222 sampling described in [1]. Radon-222, gross alpha and gross beta in water were determined by Liquid Scintillation Counting (LSC) techniques, following the international standards ISO 13164 and ISO 11704, at the Laboratory of Natural Radioactivity of the University of Coimbra which is accredited under the scope of ISO/IEC 17025:2017. For Rn-222 determination, the water was injected in-situ, using a gas-tight syringe, under 10 ml of an immiscible scintillation cocktail inside pre-prepared vials. The vials were only counted after 3 hours from preparation, required to reach secular equilibrium between Rn-222 and its short-lived progeny. Assuming a conservative scenario based on the use as drinking water, the effective annual dose due to the ingestion of natural radionuclides (D_{ing}) was estimated according to the equation $D_{ing} (mSv/y) = Concentration\ of\ the\ isotope (Bq.L^{-1}) \times Volume\ of\ water\ intake (L.y^{-1}) \times Dose\ Coefficient (DC) (Sv.Bq^{-1}) \times 10^3$ [2]. DC due to Rn-222 ingestion is $3,5 \times 10^{-9}$ [3]. Following a worst-case scenario where all the alpha radiation is due to Po-210 (an overestimation), for the effective dose of the ingestion of gross alpha was considered $DC_{Po-210} = 1,2 \times 10^{-6}$ [2]. For data analysis values below the detection limit (DL) of the method (56, 11 and 52 mBq/L for Rn-222, gross alpha and gross beta respectively) were replaced by $0,65 \times DL$ following [4].

Results: Results of Rn-222 are shown in Table 1 and Figure 1, with ID numbers increasing downstream. On average upstream samples RM1 to RM4 have larger activity of radon. RM5 and RM6, sampled in two consecutive dams' reservoirs, show a decrease in Rn-222 due to the larger volumes of stored water. Downstream samples RM7 to RM9 show lower Rn-222 concentrations compared to the upstream samples. Gross alpha results show a similar trend, but with higher variability typical of the low values close to the DL. Only three results of gross beta are above DL,

which invalidates the calculation of significant statistics. The differentiation of the upstream and downstream samples is justified by the outcropping lithologies, with higher values related to the granitic outcrops. Assuming the ingestion of 730 L.y⁻¹ of water for an adult [5], the median effective annual dose by the ingestion of Rn-222 of each sampled location was estimated to be always below 0,01 mSv.y⁻¹ (Table 1). In the worst-case scenario, where all the alpha radiation is due to Po-210, the higher median effective dose is 0,04 mSv.y⁻¹. In all the samples, the total median effective annual dose by the ingestion of the water is below 0,05 mSv.y⁻¹.

Table 1. Descriptive statistics of Rn-222 and gross alpha in water samples of Mondego river and median effective dose due to water ingestion.

ID	N	Rn-222 (mBq.L ⁻¹)					Gross alpha (mBq.L ⁻¹)					Lithology	Med	Med
		Avg	SD	Min	Med	Max	Avg	SD	Min	Med	Max		D _{ing, Rn222} (mSv/y)	D _{ing, a-Po210} (mSv/y)
RM1	7	1 076	487	445	1 236	1 832	30	25	7	22	83	Granitic	< 0,01	0,02
RM2	8	2 374	3 472	729	1 201	10 921	25	16	15	17	59	Granitic	< 0,01	0,02
RM3	8	2 056	797	1 214	1 964	3 303	33	24	7	27	87	Granitic	< 0,01	0,03
RM4	12	1 262	1 113	240	987	4 055	55	35	18	40	122	Granitic	< 0,01	0,04
RM5	8	935	1 055	79	513	3 378	37	18	17	34	66	Granitic	< 0,01	0,03
RM6	8	286	236	36	309	604	24	22	7	14	65	Metasedimentary	< 0,01	0,01
RM7	25	824	337	255	816	1 345	33	32	7	18	123	Metasedimentary	< 0,01	0,02
RM8	32	909	296	376	951	1 306	26	30	7	14	105	Metasedimentary	< 0,01	0,01
RM9	32	714	224	243	732	1 091	29	34	7	14	128	Sedimentary	< 0,01	0,01

ID – sampling location; N – number of samples; Avg – average ; SD – standard deviation; Min – minimum; Med – median; Max – maximum; D_{ing} – Effective dose ingested.

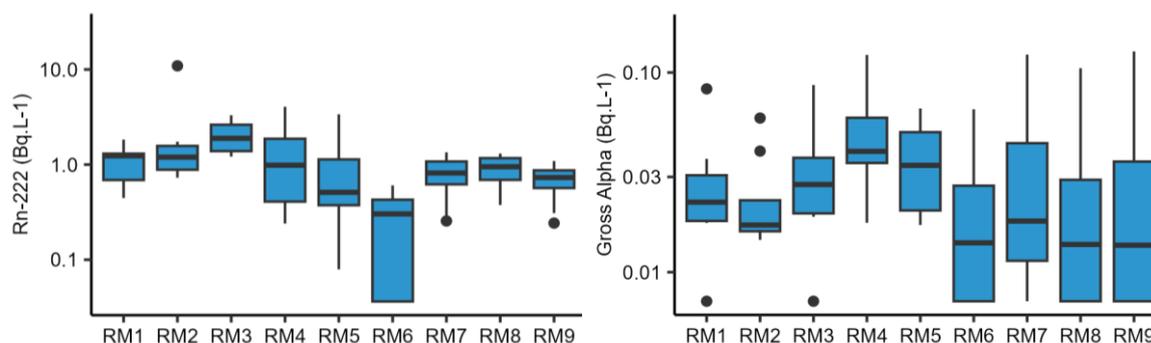


Figure 1. Boxplots of Rn-222 and gross alpha radiation in water samples of Mondego river.

Conclusions: From the data obtained and considering the geological setting there is no evidence in the present day of contamination linked to the old uranium mine sites in the studied portion of Mondego river. Even with the assumption of the worst-case scenario, assuming that the gross alpha radiation is entirely due to Po-210, the ingestion of this waters is not expected to exceed the recommendation of 0.10 mSv.y⁻¹ by the World Health of Organisation (WHO) [5] for radioactivity in drinking water. Of a broader significance, this work also establishes a natural background for future evaluations.

References:

- [1] Luís, G., Carvalho, J., & Pereira, A. (2022). Método de colheita em águas superficiais para análise do gás radão: Estudo preliminar em perfis transversais no rio Mondego (Portugal). In Geoquímica Ibérica: Compendio de los trabajos presentados en el XIII Congreso Nacional de Geoquímica y XIII Congreso Ibérico 2022.
- [2] ICRP, International Commission on Radiological Protection (2012). Compendium of dose coefficients based on ICRP publication 60 (eds Clement, C. H. et al.). ICRP Publication 119. Annals of the ICRP Volume 41 Supplement 1.
- [3] UNSCEAR, United Nation Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation (2000). Annex B: Exposures from Natural Radiation Sources. United Nations. 96-108.
- [4] Palarea-Albaladejo, J., Martín-Fernandez, J.A. (2013). Values below detection limit in compositional chemical data. Analytica chimica acta, 764, 32-43.
- [5] WHO, World Health Organization (2017). Guidelines for drinking-water quality. 4ed Ch. 9, 203–218, WHO publications, Geneva (2017).

REGULAMENTAÇÃO, POLÍTICAS E RECOMENDAÇÕES



IX Congresso de Proteção
Contra Radiações da
Comunidade dos Países
de Língua Portuguesa

COIMBRA,
11 A 15 DE DEZEMBRO DE 2023

IX Congress of Radiation Protection of the Portuguese-Speaking Countries

REGULATORY INFRASTRUCTURE FOR RADIATION PROTECTION AND THE SAFETY OF RADIATION SOURCES IN MOZAMBIQUE

Mavie^a C. M., Mussica^b R., Matias^a L. dos S.

^a *Faculdade de Ciências/Universidade Eduardo Mondlane, Campus Universitário Principal*

Av. Julius Nyerere, nr. 3453, Maputo, Moçambique

^b *Agência Nacional de Energia Atômica, Praça 25 de junho, No 380, 2o andar direito,*

Maputo, Moçambique

cleridesmavie@gmail.com

Introduction - The use of ionizing radiation in Mozambique dates back to colonial times, and since Mozambique became a member state of the International Atomic Energy Agency (IAEA) in 2006 there has been a growing number of peaceful applications of ionizing radiation in various activities in the country including medical practices, industrial radiography, well logging, nuclear gauges, container and security scanners [1]. After joining the IAEA, two priorities were identified: (i) one was to establish a radiation safety authority, which was established in 2009 and named Agência Nacional de Energia Atômica (ANEA) and was tasked with establishing and developing a national regulatory infrastructure for radiation safety and control of occupational exposure, draft the Atomic Energy bill, and fully comply with international standards [2]. As a result, in 2017 the bill was approved and ANEA was recreated by the law [2]. ANEA is under the authority of the minister, who oversees the area of mineral resources and energy; (ii) another priority was to establish a radiotherapy and nuclear medicine facility at the Maputo Central Hospital [2]. Mozambique ratified the African Nuclear-Weapon-Free-Zone Treaty (Pelindaba Treaty) in March 2008 to use nuclear material exclusively for peaceful purposes, signed a Comprehensive Safeguards Agreements (CSA) with the IAEA in 2010, and also signed the Treaty on the Prohibition of Nuclear Weapons in August 2020 [1]. In 2018, a number of associated decrees were approved with the aim of regulating specific aspects of the Atomic Energy Law such as the regulations on Radiation Protection Regulation, the Radioactive Waste Management Regulation and the Radioactive Material Transport Regulation. The purpose of this paper is to provide an overview of the regulatory infrastructure for radiation protection and the safety of radioactive sources in Mozambique, considering the current infrastructure, challenges and future steps.

Materials And Methods - Literary review was used to collect the data from International Atomic Energy Agency (IAEA) publications and most of the non-published information was collected at ANEA and at the Faculty of Science of Universidade Eduardo Mondlane (UEM) in Maputo, Mozambique. Some aspects of the radiation protection infrastructure were described.

Results And Discussion

Inventory of radioactive sources and uses - ANEA has adopted the Regulatory Authority Information System (RAIS) to register the inventory of radioactive sources. The ongoing national inventory takes into account all radiation sources (in use and disuse) in different practices in various locations in Mozambique. More than 78% of the sources are used in the industry, comprising 265 radioactive sources and 77 X-ray generators. The other 22% are medical X-ray generators, a total of 92. The country has

one Co-60 source for brachytherapy not yet in use, and does not have Co-60 machines and nuclear medicine. There are two (2) LINACs, one used for medical treatment in radiotherapy, and the other is for training purposes. Most of the radioactive sources fall below category 3, where category 5 has about 57% of the sources, that are fixed gauges mostly used in the coal mining industry for the on-line monitoring of the ash content of coal and, in fill level gauges in beverage and soft drinks factories. Common radionuclides are Cs-137 and Am-241:Be. There are also disused sealed radioactive sources stored in a temporary storage, that were used during colonial times. These sources are of the following radionuclides: Cs-137, Sr-90, Co-60, Cf-252, Ra-226, with unknown activity.

System of notification, authorization, inspection and enforcement

- The authorization issued by ANEA takes the form of a License for all categories of sources and for all X-ray generators. In the past five years, there's been a growing number of licenses issued, and as for 2022, 97 utilization licenses, 24 export licenses, 16 import licenses, 10 transport licenses were issued.
- Major findings of inspections revealed the low level of protection in place and are summarized as follows: lack of qualified professionals in radiation protection, especially the radiation protection officer; lack of radiation monitoring devices and personal monitoring; poor understanding of the regulations; radiation protection plan not in place and not implemented. In 2022, 139 regulatory inspections were performed.
- In the past five years, more than 50 facilities received a penalty, mostly for operating without a Utilization License or due to non-conformities found during inspections; however, no facility has been shut down by ANEA.

Human resources development - In terms of education, there are about 10 medical physicists trained internationally and 10 professionals trained through IAEA Postgraduate Educational Course in Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources. Starting in November 2021, radiation protection training courses are organized by the Faculty of Sciences of UEM, in cooperation with experts from ANEA, Maputo Central Hospital (HCM), and the Ministry of Health (MISAU), focusing mainly on training Radiation Protection Officers (RPOs). As of 2023, there are about 100 trained RPOs by the University. This 60 hours training course is offered for the following areas: diagnostic radiology, nuclear gauges, industrial radiography, and security and container scanners, aimed at professionals that hold a university certificate in science, technology or engineering. Currently, candidates with a high school or technical certificate are accepted as well.

Occupational, public and medical exposure control - ANEA inaugurated its first Dosimetry Laboratory in March 2023, as part of an IAEA project to create capacity for provision of personal monitoring services locally. This laboratory uses thermo-luminescence dosimetry technique. Currently, only monitoring of external gamma and X-ray radiation doses is performed in the country. Guidance documents for occupational monitoring are yet to be developed. Currently, Mozambique does not have any permanent deposits of radioactive waste for licensed sources. The licensee is required to present a letter of disposal of radioactive source/equipment from the supplier/manufacturer during the licensing process with provisions to export the goods after the end of its useful life. Additionally, there's no active Uranium mine [1]. In terms of NORMs there is still a need for the adoption and enforcement of radiation protection regulations in activities with these NORM materials. For medical exposures, MISAU is responding to the challenges proposed in the legislation in order to keep the ALARA principle in force. Meanwhile, the UEM has an ongoing project that will contribute to strengthening the capacity to carry out quality control in diagnostic radiology, to ensure that all equipment is performing to acceptable standards.

Challenges

- Shortage of qualified professionals with competence in radiation protection, in particular RPOs;
- Shortage of human and financial resources at the regulatory authority to carry out its activities.
- Reluctance to adhere to dosimetry services for occupational exposure control;

- At the NORM industry, poor infrastructure for material analysis, regulation, management of NORM residues/waste, assessment of facilities;

Future steps

- Perform individual monitoring and evaluation of extremities and eye lens doses for interventional radiology;
- Approve the guidelines for accreditation of radiation protection officers for all practices;
- Develop codes of practice for radiation protection in well logging and nuclear gauges, diagnostic and interventional radiology, radiotherapy, industrial radiography, container and security scanners..
- Develop an emergency preparedness and response plan for radiological events on a national level.
- Develop a national policy and strategy for the management of disused radioactive sources as well as a long term storage for them.

Conclusion - The establishment of a national radiation safety authority has been successful to ensure protection of the people and environment from detrimental effects of ionizing radiation. After the promulgation of the Atomic Energy law, a number of associated regulation and decrees followed and as the activities associated with peaceful use of ionizing radiation in the country continue to increase, the current legal framework will evolve to strengthen the current regulation and also to address novel areas of peaceful uses of ionizing regulation in the country. The importance of the RPO has been emphasized in the regulation, and a successful RPO training programme offered by UEM has been achieved in collaboration with ANEA, HCM, and MISAU.

References

- [1] VELICHKOV, K. **Synchronising Nuclear Governance in SADC Member States Through Regional Cooperation**. South African Institute of International Affairs, 2021. *JSTOR*, <http://www.jstor.org/stable/resrep37454>.
- [2] IAEA. 2020. Available at: <https://www.iaea.org/sites/default/files/20/07/tc-mozambique.pdf>

INDÚSTRIAS NORM



IX Congresso de Proteção
Contra Radiações da
Comunidade dos Países
de Língua Portuguesa

COIMBRA,
11 A 15 DE DEZEMBRO DE 2023

IX Congress of Radiation Protection of the Portuguese-Speaking Countries

TRANS-BORDER TRANSPORTATION AND FINAL DISPOSAL OF NORM FROM THE BRAZILIAN OIL AND GAS INDUSTRY

Rodrigues, Leandro de Oliveira

Lotus LLC, 818 East Broadway – Andrews – TX - USA

leandro@lotusllc.com

Introduction - The oil and gas production market in Brazil has been growing year by year; and with the discovery of new oil fields in the pre-salt layer, in 2020 Brazilian oil production achieved 3 million barrels per day, positioning itself as the ninth largest oil-producing country in the world.

The gradual increase in oil production has brought an increase in NORM generation, and the necessity to regulate and establish the best management practices. The regulatory agencies are responsible for deliberating on NORM-related issues, which play a fundamental part in this initiative.

Currently, Brazil has no facility licensed to conduct the final disposal of NORM. Instead, a non-commercial licensed warehouse for temporary storage was the only alternative in the past. Thus, with the overall increase in oil production, the volume of NORM generation has been increasing; resulting in the need for additional storage space to be constructed. Consequently, this lack of any long-term final solution has generated more exposure to workers during the warehouse operation phase and subsequently increased demand for more rigid management practices for NORM storage.

Brazilian scenario before NORM export and final disposal operations - In terms of reasonable solutions in Brazil before the NORM export and final disposal operations, the only option available in Brazil was the construction, licensing, and operation of a radioactive waste deposit. This option was regulated by Federal Law 10308 / 2001 and later detailed through CNEN Standard NN 8.02 / 2014, which describes the criteria and information necessary to license radioactive waste deposits.

Therefore, with the lack of an available licensed warehouse for storage, and the impossibility of rent deposits already in use, it was not possible to disembark the NORM from some FPSOs (Floating, Production, Storage, and Offloading) quickly.

Due to this necessity, the idea arose by oil companies was, instead of building, licensing, and storing the NORM drums in their own warehouse, to export the material directly to the United States for final disposal.

Conclusion - After regulatory agencies' authorizations from both countries (Brazil and the United States), the NORM inventory of several oil producers has been exported without any accidental occurrence, having been disposed to an appropriate and licensed final disposal facility in the United States of America - USA.

The regulatory agencies were fully involved and reported about the NORM export process, and all operations complied with the obligations and requirements of NORM management at national and international levels.

Considering the Brazilian scenario, this export and final disposal operation also brought some advantages compared to the initial strategy of construction, licensing, and operating a NORM storage warehouse in the long term.

- Reduction of occupational exposure.
- Decrease of radiological and environmental risks.
- Definitive solution.
- Lower cost compared with construction, licensing, and operation of NORM storage warehouse in the long term.

References

BRASIL. Comissão Nacional De Energia Nuclear (CNEN). Norma CNEN NN 3.01 – Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Website : <https://www.gov.br/cnen/pt-br/acesso-rapido/normas/grupo-3#1>. Visitado em : 08 de setembro de 2023.

BRASIL. Comissão Nacional De Energia Nuclear (CNEN). Norma CNEN NE 5.01 – Transporte de Materiais Radioativos. Website : <https://www.gov.br/cnen/pt-br/acesso-rapido/normas/grupo5/grupo-5-transporte-de-materiaisradioativos#3>. Visitado em : 08 de setembro de 2023.

BRASIL. Comissão Nacional De Energia Nuclear (CNEN). Norma CNEN NN 8.01 – Gerência de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação. Website : <https://www.gov.br/cnen/pt-br/acessorapido/normas/grupo-8/grupo-8-rejeitos-radioativos>. Visitado em : 08 de setembro de 2023.

BRASIL. Comissão Nacional De Energia Nuclear (CNEN). Norma CNEN NN 8.02 –Licenciamento de depósitos de rejeitos radioativos de baixo e médio níveis de radiação. Website : <https://www.gov.br/cnen/pt-br/acessorapido/normas/grupo-8/grupo-8-rejeitos-radioativos>. Visitado em : 08 de setembro de 2023.