



Revista Agrária Acadêmica

[Agrarian Academic Journal](#)

Volume 3 – Número 5 – Set/Out (2020)



doi: 10.32406/v3n52020/71-81/agrariacad

Efeitos biológicos da radiação e radioproteção - uma revisão sistemática. Biological effects of radiation and radioprotection - a systematic review.

[Mariana Pacheco de Sousa](#)^{1*}, [Wanderson Gabriel Gomes de Melo](#)¹, [Nágila Iane Pacheco](#)², [Elís Rosélia Dutra de Freitas Siqueira Silva](#)³, [Sabrina Barros Araújo](#)⁴, João Macedo de Sousa⁵

¹- Discente de Medicina Veterinária, Centro de Ciências Agrárias, *Campus* Ministro Petrônio Portella, Universidade Federal do Piauí, UFPI, Brasil

²- Discente de Biomedicina, Centro Universitário Unifacid Wyden, UNIFACID, Brasil

³- Docente do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Piauí, UESPI, Brasil

⁴- Médica Veterinária Imaginologista, Hospital Veterinário Universitário, UFPI, Brasil

⁵- Docente do Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária, Centro de Ciências Agrárias, UFPI, Brasil

*Autor para correspondência: E-mail: mar.pacheco@live.com

Resumo

As radiações ionizantes caracterizam-se por feixes de raios capazes de arrancar um elétron de um átomo, desencadeando efeitos biológicos, como mudanças bioquímicas e fisiológicas, que produz alterações na morfologia e funcionamento dos órgãos afetados. O objetivo desse estudo é associar a importância da radioproteção em âmbito médico aos efeitos biológicos estocásticos e determinísticos causados pelas radiações ionizantes. A radiografia proporcionou a clínica médica diagnósticos com maior precisão e assertividade ao tratar de forma mais eficiente. A utilização de equipamentos de proteção individual para profissionais e público envolvido é fundamental para minimizar os riscos proporcionados.

Palavras-chave: Biossegurança. Efeitos determinísticos. Efeitos estocásticos. Radiografia.

Abstract

As ionizing radiation, they are characterized by beams of rays capable of arranging an electron in an atom, triggering biological effects, such as biochemical and physiological changes, which produces changes in the morphology and functioning of Organs affected organs. The aim of this study is to associate the importance of radioprotection in the medical scope with the stochastic biological effects and determinants of ionizing radiation. An X-ray provided a clinical diagnosis with greater precision and assertiveness to treatment more efficiently. The use of personal protective equipment for professionals and the public involved is essential to minimize the risks provided.

Keywords: Biosafety. Deterministic effects. Radiography. Stochastic effects.

Introdução

Os métodos de diagnóstico por imagem empregados na medicina veterinária se assemelham a medicina humana em diversos aspectos, como o uso rotineiro de radiações ionizantes. Da mesma forma, é necessária a utilização de boas práticas de proteção radiológica, para as duas modalidades médicas (THRALL, 2017).

As radiações ionizantes caracterizam-se por serem feixes de raios capazes de arrancar um elétron de um átomo, que ao atravessar uma superfície orgânica, podem levar a desestabilização e consequente quebra de moléculas. A partir disso, efeitos biológicos, podem ser desencadeados após dias ou até dezenas de anos, surgindo como mudanças bioquímicas e fisiológicas, com alterações na morfologia e no funcionamento dos órgãos afetados (OKUNO, 1988; OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

Após o descobrimento da radiação X e a percepção dos danos que este tipo de radiação é capaz de provocar, foi criada a *International Commission on Radiation Units and Measurements* (ICRU), responsável por estabelecer grandezas e unidades físicas das radiações. Posteriormente, foi estabelecido a *International Commission on Radiation Protection* (ICRP) com encargo de elaborar normas de proteção radiológica e limites de exposição à radiação ionizante para indivíduos ocupacionalmente expostos e ao público em geral. No Brasil, o órgão responsável por adequar e regulamentar estas normas é a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) (OKUNO, 2013).

Este trabalho tem como objetivo associar, por meio de revisão de literatura, a importância e a necessidade da utilização da radioproteção por trabalhadores e populações em geral expostos à radiação em âmbito médico aos efeitos biológicos causados pelas radiações ionizantes.

Desenvolvimento

Materiais e Métodos

Foram pesquisados e analisados artigos nacionais e internacionais, contendo os descritores “radiologia veterinária”, “física das radiações”, “CNEN”, “ICRP”, “efeitos biológicos das radiações”, “radioproteção”, “efeitos determinísticos e estocásticos” e “diretrizes básicas de proteção radiológica” nas línguas português, inglês e espanhol. Para a pesquisa, realizou-se associação dos descritores supracitados nos bancos de dados PubMed, Google Acadêmico e SciELO. Foram encontrados 37 estudos relacionados à radioproteção e efeitos biológicos das radiações e, em seguida, foi realizada a análise e seleção de informações pertinentes para composição desta pesquisa.

Formação dos raios-X

Radiação é a energia que se propaga por qualquer meio a partir de uma fonte emissora, considerada como energia em trânsito. As radiações ionizantes, ou seja, partículas anteriormente estáveis que passam a ser eletricamente carregadas se dividem em dois grandes grupos. As radiações corpusculares, que são todos aqueles elementos que possuem massa e uma carga que pode ser positiva, negativa ou neutra, com maior utilidade na radiobiologia e medicina nuclear. E as

radiações eletromagnéticas, que são expressões energéticas dotadas de comprimento de onda e se propagam em linha reta (MENDOZA, 2001).

A formação dos raios-X ocorre a partir de uma corrente de eletricidade contínua, em uma ampola (Figura 1), a qual em seu interior possui dois eletrodos: o primeiro carregado negativamente (cátodo) constituído geralmente pelo metal molibdênio possui na sua extremidade um fino filamento de tungstênio que lança elétrons em forma de nuvem (Efeito Edison) que são direcionados ao ânodo; este carregado positivamente e ponto de origem dos raios-X (MENDOZA, 2001). Okuno (2013) afirma que qualquer tipo de radiação interage com o corpo humano, assim como com qualquer outro corpo, depositando nele energia.

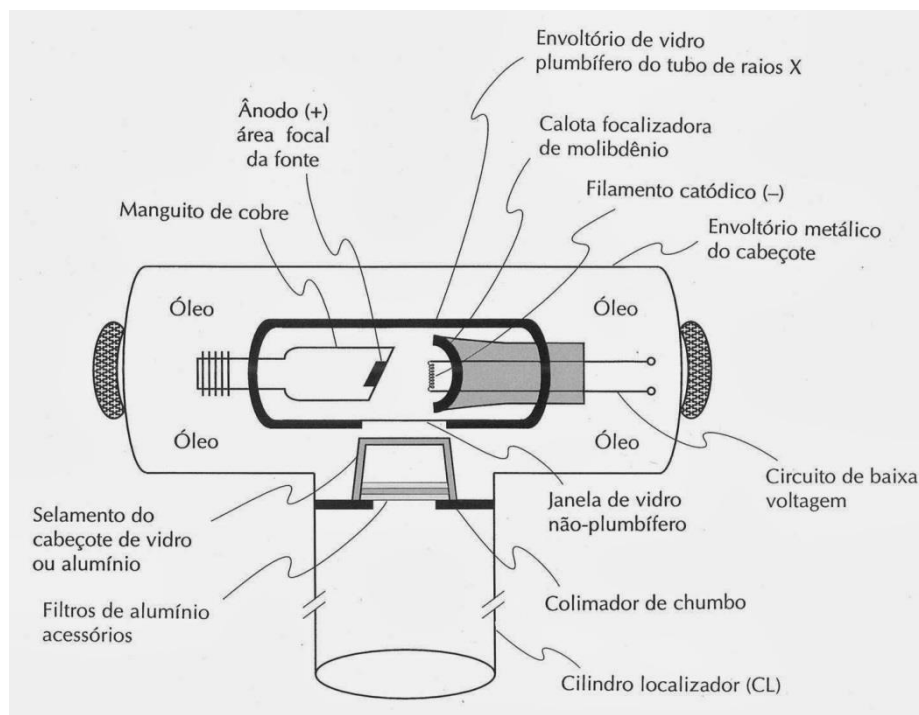


Figura 1 - Representação esquemática de tubo de raios X com identificação dos componentes presentes (Fonte: COSTA, 2019).

Efeitos biológicos da radiação

A exposição às radiações ionizantes tem como resultância efeitos danosos aos tecidos biológicos, sejam eles de cunho tardio ou imediato. Rosa (2018) assume que, assim como os seres humanos, os animais sofrem com os efeitos deletérios das radiações ionizantes. Ginja e Ferreira (2002) e Bassert e Thomas (2014) acordam em relação às regiões mais sensíveis à radiação, sendo estas o sistema hematopoiético e leucopoiético, pele, sistema linfático, glândulas mamárias, ossos e gônadas.

São denominados efeitos determinísticos e efeitos estocásticos os danos biológicos causados pelas radiações ionizantes. Os efeitos determinísticos, também chamados de não estocásticos ou reações teciduais, resultam da exposição à alta dose, superior ao limiar do tecido irradiado. Este limiar varia de acordo com o tipo de radiação e o tecido afetado de modo que, a principal consequência é a morte celular. Esta é pouco notada em casos de poucas células acometidas. Porém, em casos de grande morte celular em um único órgão, o seu funcionamento pode ser prejudicado.

Como exemplo, podem ser citadas as queimaduras (Figura 2), que surgem desde um leve avermelhamento até a formação de bolhas, úlceras cutâneas e opacificação do cristalino (ROSA, 2018).



Figura 2 - Imagem representando lesões determinísticas em mão esquerda, como efeito da não utilização de cuidados com a técnica radiológica empregada, assim como, a não utilização de equipamentos de segurança adequados (Fonte: MEDIZZY JOURNAL, 2019).

Neste tipo de dano quanto maior for à dose recebida pelo tecido, maior será a sua destruição. Acredita-se que as reações teciduais surjam pouco tempo após a exposição, embora existam pesquisas com sobreviventes ao ataque das bombas atômicas no Japão que sugerem aparecimento tardio destas, como opacificação do cristalino e catarata (OKUNO, 2013; OKUNO & YOSHIMURA, 2010). Na prática veterinária, é incomum o aparecimento de lesões de caráter determinística, desde que os protocolos de segurança radiográfica sejam seguidos (WIDMER, 1996).

As tabelas 1 e 2 apresentam valores de limiar de dose estimados para reações teciduais em humanos adultos, conforme estabelecido pela ICRP, órgão responsável pela elaboração de normas de proteção radiológica e pelo estabelecimento dos limites de exposição à radiação ionizante. No Brasil, o órgão responsável pela adequação destas normas internacionais e regulamentação do seu uso é a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

Já os efeitos estocásticos (Figura 3), têm por característica surgir após longo tempo de exposição, com período de latência indefinido, que pode variar intensamente entre os indivíduos afetados. Tem maior probabilidade de ocorrência e gravidade conforme aumenta a exposição, no entanto a mutação de uma única célula pode ser suficiente para gerar danos. Sendo assim, uma exposição com dose muito pequena, pode ter como resultado um efeito estocástico, não havendo limiares de dose definidos, sendo acumulativos (SEARES e FERREIRA, 2002).

Tabela 1 - Limiares de dose para reação tecidual em humanos adultos. *Gy é a unidade da dose de radiação absorvida, denominada de Gray, (joule por quilograma) (Fonte: OKONU, 2010).

Tecido	Efeito	Limiar de dose	
		Dose única aguda (Gy*)	Dose alta total
Testículo	Esterilidade temporária	1,15	Não aplicável
	Esterilidade permanente	3,5 - 6,0	Não aplicável
Ovário	Esterilidade	2,5 - 6,0	6,0
Cristalino	Opacificação de cristalino	0,5 - 2,0	5,0
	Catarata	0,5	>8,0
Medula óssea	Depressão hematopoiética	0,5	Não aplicável

Tabela 2 - Limiares de dose para ocorrência de lesões na pele de pacientes humanos submetidos a procedimento guiado por fluoroscopia (Fonte: CANEVARO, 2009).

Efeito	Limiar aproximado de dose (Gy)	Tempo de aparição dos efeitos
Eritema irritado transiente	2	2 – 24 horas
Depilação temporária	3	Aproximadamente 3 semanas
Depilação permanente	7	Aproximadamente 3 semanas
Escamação seca	14	Aproximadamente 4 semanas
Escamação úmida	18	Aproximadamente 4 semanas
Ulceração secundária	24	>6 semanas
Necrose dérmica isquêmica	18	>10 semanas
Necrose dérmica	>12	>52 semanas

Estas alterações surgem em células antes normais que adquirem dano ao DNA após a exposição, apresentando como principais consequências o câncer, a redução da expectativa de vida e o efeito hereditário. Este último caracteriza-se pelo dano à célula germinativa, com consequente transmissão aos descendentes do irradiado. A correlação dos achados no indivíduo com os efeitos estocásticos é difícil, uma vez que uma série de outros fatores podem ser relacionada ao desenvolvimento destas patologias (OKUNO, 2013; ROSA, 2018).

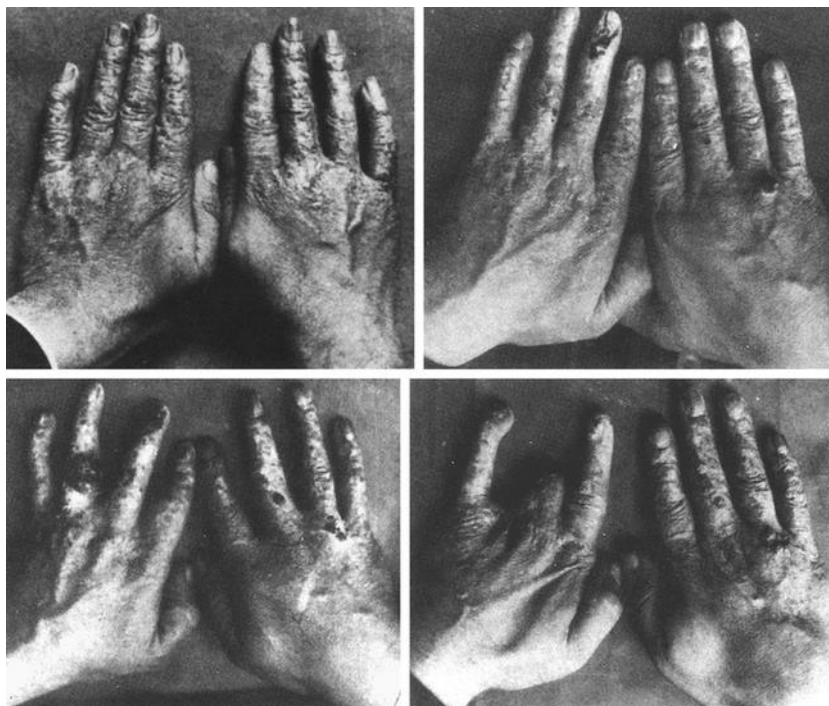


Figura 3 - Imagem representa lesões determinísticas e estocásticas nas mãos de profissionais de saúde dos anos de 1900, com lesões, dermatites e amputações causadas pelo uso inadequado e ausência de proteção no uso de aparelhos de raios-x e fluoroscopia (Fonte: ADLER e CARLTON, 2015).

Radioproteção

A fim de minimizar os riscos a pacientes e profissionais de efeitos danosos, as normas de proteção radiológica devem ser utilizadas para reduzir ao mínimo a dose de radiação, obedecendo aos limites dos valores de dose previamente estabelecidos pela CNEN NN 3.01 (Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica), considerando o que prediz o princípio do “ALARA – As Low As Reasonable Achievable” que tem como significado: tão baixo quanto possivelmente exequível (SEARES e FERREIRA, 2002).

Os requisitos básicos da proteção radiográfica têm como propósito estabelecer padrões apropriados às atividades que utilizem radiações ionizantes sem que haja a perda do seu benefício à sociedade, englobando os trabalhadores, pacientes, público e meio ambiente (MACHADO et al., 2011). Estes requisitos são justificativa, otimização e limitação de dose individual, fazendo parte de documentos que estabelecem os conceitos atuais de proteção radiográfica em âmbito internacional.

O princípio da justificativa baseia-se na responsabilidade de qualquer atividade que envolva exposição às radiações ionizantes seja justificada, levando-se em consideração os benefícios obtidos. Na perspectiva médica, cada exame radiológico deve ser avaliado individualmente quanto à necessidade da exposição, técnicas alternativas disponíveis que não envolvam radiação e a individualidade dos envolvidos. É proibida a exposição de pessoas para fins de demonstração ou treinamento (BRASIL, 2014).

No princípio da otimização, toda exposição deve manter a radiação ionizante em níveis mais baixos possíveis de maneira a ser exequível. Isto inclui o planejamento rigoroso das atividades, detalhamento do que se pretende fazer, a forma como será feito e as medidas de proteção

necessárias estabelecidas, para que assim, seja obtido o mínimo possível de exposição. O princípio ALARA estabelece o aumento nos níveis de proteção contra as radiações ionizantes, ao ponto em que, medidas posteriores de proteção tenham resultados minimamente eficientes, em decorrência da já alta taxa de proteção (TAUHATA et al., 2003).

O princípio da limitação da dose admite que as doses de radiação devem ser inferiores aos limites estabelecidos pelas Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Em indivíduos expostos, a dose efetiva e a dose equivalente de radiação causada por possíveis exposições originadas de práticas autorizadas, não devem exceder o limite de dose especificado, salvo em circunstâncias especiais autorizadas pelo órgão competente (BRASIL, 2014). Este princípio não se aplica aos pacientes, em razão de considerar-se que os possíveis danos ocasionados pelo extrapolamento do limite de dose de radiações ionizantes sejam justificáveis pelos benefícios proporcionados pelo mesmo. A Tabela 3 especifica os limites de dose anuais previstos pela CNEN NN 3,01.

Para que os trabalhadores ocupacionalmente expostos à radiação ionizante obtenham a proteção necessária para a execução de seus serviços sem que haja o aparecimento de efeitos deletérios advindos das radiações, é imprescindível à adoção de formas de radioproteção. O controle das radiações externas pode ser observado operando-se três parâmetros: tempo, distância e blindagem (SEARES e FERREIRA, 2002).

Tabela 3 - Limites de dose anuais para diferentes órgãos estabelecidos pela CNEN para indivíduos ocasionalmente expostos e do público (Fonte: BRASIL, 2014).

Limites de doses anuais			
Grandeza	Órgão	Individuo ocupacionalmente expostos (mSv)	Individuo do público (mSv)
Dose efetiva	Corpo inteiro	20	1
Dose equivalente	Cristalino	20	15
	Pele	500	50
	Mãos e pés	500	-

O tempo que os profissionais atuantes nas áreas de radiologia permanecem em um território exposto à radiação é diretamente relacionado à dose acumulada de radiação em seu organismo. Para isto, formas de redução deste tempo ao mínimo necessário tem a finalidade na prevenção do surgimento de efeitos biológicos das radiações nos trabalhadores. As medidas mais utilizadas são: planejamento da execução do exame em local sem presença de radiação, acrescido do treinamento, qualificação e otimização das habilidades do operador e rodízio de profissionais (TAUHATA et al., 2003).

O aumento da distância é o modo mais eficiente para proteção contra as radiações ionizantes, como prevê a equação da lei do quadrado do inverso. Dessa forma, uma fonte de radiação puntiforme emite raios em todas as direções, com absorção desprezível entre fonte e detector, e o fluxo relacionado a uma determinada taxa de dose em uma distância da fonte é

inversamente proporcional ao quadrado dessa distância. Sendo assim, é possível afirmar que ao ser dobrada a distância entre o objeto (operador, profissional, público em geral) da fonte, existe a redução da taxa de exposição à $\frac{1}{4}$ do valor inicial (HOFF e LIMA, 2015).

Outra medida que deve ser tomada diante da necessidade da utilização das radiações ionizantes, prevendo a concretização da tarefa e segurança dos trabalhadores, é o emprego da blindagem. Na instalação, as barreiras de proteção radiológica devem ser calculadas considerando a localização dos geradores de radiação, as possíveis direções de incidência do feixe, a carga de trabalho e os locais periféricos (Tabela 4) (CARVALHO, 2019).

Tabela 4 - Valores de HVL e TVL em centímetro para chumbo, concreto e ferro, em função da kilovoltagem no pico de tubo de raios-X. *HVL – Half Value Layer ou, em português, Camada Semi Redutora, corresponde ao valor em centímetros do material, suficiente para reduzir à metade a intensidade do feixe de fótons. **TVL – Tenth Value Layer ou Camada Decirredutora, corresponde a espessura do material que reduz um fator de 10 na intensidade do feixe (Fonte: TAUHATA et al., 2003).

kilovolt pico	Material atenuador em (cm)					
	Chumbo		Concreto		Ferro	
	HVL	TVL	HVL	TVL	HVL	TVL
50	0.006	0.017	0.43	1.5		
70	0.017	0.052	0.84	2.8		
100	0.027	0.088	1.6	5.3		
125	0.028	0.093	2	6.6		
150	0.03	0.099	2.24	7.4		
200	0.052	0.17	2.5	8.4		
250	0.088	0.29	2.8	9.4		
300	0.147	0.48	3.1	10.4		
400	0.25	0.83	3.3	10.9		
500	0.36	1.19	3.6	11.7		
1000	0.79	2.6	4.4	14.7		
2000	1.25	4.2	6.4	21		
3000	1.45	4.85	7.4	24.5		
4000	1.6	5.3	8.8	29.2	2.7	9.1
6000	1.69	5.6	10.4	34.5	3	9.9
8000	1.69	5.6	11.4	37.8	3.1	10.3
10000	1.66	5.5	11.9	39.6	3.2	10.5

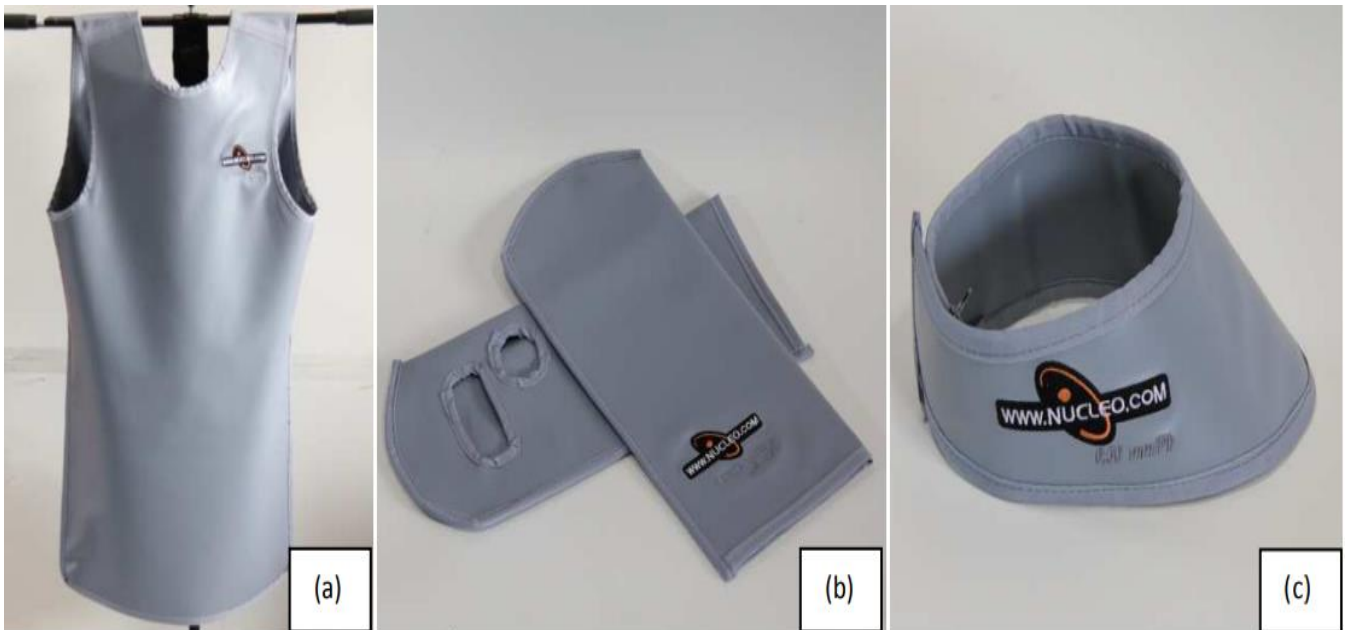


Figura 4 - Equipamentos de proteção individual. (a) avental plumbífero; (b) luvas plumbíferas e (c) rotetor de tireóide (Fonte: ROSA, 2018).

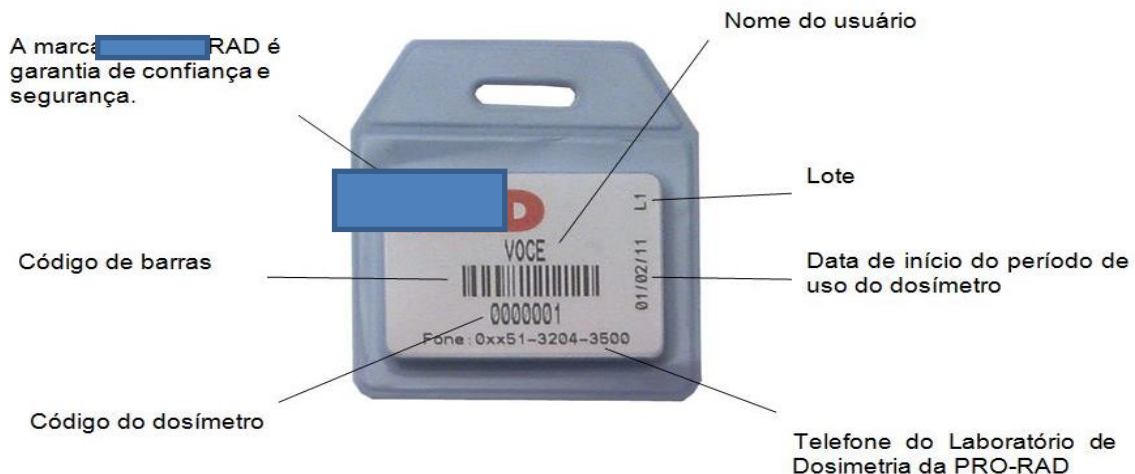


Figura 5 - Imagem ilustrativa de um dosímetro (Fonte: Proteção Radiológica, 2013).

Conclusão

O advento do conhecimento acerca da radiação X proporcionou elevado desenvolvimento na medicina humana e veterinária. A sua utilização proporcionou à clínica médica o diagnóstico com maior precisão e acurácia, promovendo o tratamento mais eficiente. Contudo, deve-se utilizar equipamentos de proteção individual radiológicos, como previsto em legislação vigente pela CNEN e ICRP, para profissionais e público envolvido, com o intuito de minimizar os riscos que a exposição às radiações pode proporcionar.

Referências bibliográficas

- ADLER, A. M.; CARLTON, R. R. **Introduction to Radiologic and Imaging Sciences and Patient Care-E-Book**. Elsevier Health Sciences, 2015.
- BASSERT, J. M.; THOMAS, J. **Clinical Textbook for Veterinary Technicians**. 8ª edição. Estados Unidos: Elsevier, 2014.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Norma CNEN NN 3.01 de 03/2014**. Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica, 2014.
- CANEVARO, L. Aspectos físicos e técnicos da Radiologia Intervencionista. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 3, n. 1, p. 101-115, 2009.
- CARVALHO, M. **Determinação de Blindagens Radiológicas para Procedimento de Radioterapia Veterinária**, 2019. 74f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia - Universidade Estadual Paulista - UNESP, Botucatu, 2019.
- COSTA, H. M. Ensaio Mecânicos. **Fábrica de conhecimento**, Rio de Janeiro, 2019.
- GINJA, M. M. D.; FERREIRA, A. J. A. Efeitos Biológicos da Radiação X e Radioproteção em Medicina Veterinária. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, Lisboa, v. 97, n. 543, p. 101-109. 2002.
- HOFF, G.; LIMA, N. W. Aplicabilidade da lei do inverso do quadrado da distância em radiologia convencional e mamografia. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 3, n. 1A, p. 1-16, 2015.
- MACHADO, M. A. D.; MENEZES, V. O.; QUEIROZ, C. C.; SILVA, D. C.; SAMPAIO, L. J. L.; ALMEIDA, A. Revisão: radioproteção aplicada à Medicina Nuclear. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 4, n. 3, p. 47-52, 2011.
- MENDOZA, J. **Conceptos Básicos de Radiologia Veterinaria**. Buenos Aires, Intermédica, 2001.
- OKUNO, E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de Goiânia. **Estudos avançados**, v. 27, n. 77, p. 185-200, 2013.
- OKUNO, E. **Radiação: efeitos, riscos e benefícios**. São Paulo: Harbra, 1988.
- OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. M. **Física das radiações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- PROTEÇÃO RADIOLÓGICA. O que é Proteção Radiológica. **Proteção Radiológica**, 2013. Disponível em: <<https://jmreh2012.wordpress.com/>>. Acesso em: 12 jul. 2020.
- ROSA, P. C. **Aspectos de radioproteção em radiologia veterinária na cidade de Curitiba - Paraná**. 2018. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.
- SEARES, M. C.; FERREIRA, C. A. **A importância do conhecimento sobre radioproteção pelos profissionais da radiologia**. CEFET, Núcleo de Tecnologia Clínica, Florianópolis, 2002.
- TAUHATA, L.; SALATI, I. P. A.; PRINZIO, M. A. R. R. D. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. 5ª edição. Rio de Janeiro: Instituto de Radioproteção e Dosimetria - CNEN, 2003.
- The hand showing damage from radiation exposure back in 1900's. **MEDIZZY Journal**. 2019. Disponível em: <<https://journal.medizzy.com/the-hand-showing-damage-from-radiation-exposure-back-in-1900s/>>. Acesso em: 12 jul. 2020.
- THRALL, D. E. **Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology-E-Book**. Elsevier Health Sciences, 2017.

WIDMER, W. R.; SHAW, S. M.; THRALL, D. E.; Effects of low – level exposure to ionizing radiation: Current concepts and Concerns for Veterinary Workers. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, Estados Unidos, v. 37, n. 3, p. 227- 239, 1996.

Recebido em 13 de julho de 2020
Retornado para ajustes em 10 de setembro de 2020
Recebido com ajustes em 11 de setembro de 2020
Aceito em 11 de setembro de 2020