



**IB** Instituto de  
Biociências  
Unesp Botucatu

Arthur Marchi Bellon

**Aspectos de Proteção Radiológica em uma Clínica de  
Radiodiagnóstico Veterinário**

Botucatu

2021

Arthur Marchi Bellon

**Aspectos de Proteção Radiológica em uma Clínica de  
Radiodiagnóstico Veterinário**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Botucatu, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Física Médica.

Supervisor: Prof. Dr. José Ricardo de Arruda Miranda

Botucatu

2021

B447a Bellon, Arthur Marchi  
Aspectos de proteção radiológica em uma clínica de radiodiagnóstico veterinário / Arthur Marchi Bellon. -- Botucatu, 2021  
49 p. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Física Médica) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, Botucatu  
Orientador: José Ricardo de Arruda Miranda

1. Proteção radiológica. 2. Radiologia veterinária. 3. Equipamento de proteção individual. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Dedicatória

Dedico este trabalho a toda minha família e amigos.

## Agradecimentos

Aos meus pais, Nilton Cesar Bellon e Fátima Sueli Marchi Bellon por terem suportado as adversidades da vida para me garantir amor incondicional, conforto, proteção e ensino de qualidade.

Aos meus avós Nelson Bellon, Ester Acosta Bellon e Maria Marcolina Polaz Marchi, por terem participado da formação do meu caráter e sempre terem acreditado em mim.

A toda minha família pelo carinho e apoio.

Aos meus amigos Lucas Araújo, Leonardo Badiera e Leonardo Assunção que se tornaram parte da minha família e por me ajudar a superar obstáculos que não conseguiria sozinho.

A empresa Pet Exames Diagnóstico e Reabilitação Animal Ltda, Dra. Sonia Cerquinho e Tatiane Portela pela oportunidade.

A todos os professores que tive no período da faculdade, por terem me ensinado com maestria o que é ser um físico médico.

Ao professor Dr. José Ricardo de Arruda Miranda por ter me supervisionado e me guiado durante este trabalho.

“Conheça todas as teorias, domine todas as técnicas, mas ao tocar uma alma humana, seja apenas outra alma humana.”

– Carl Gustav Jung

## Resumo

A radiologia veterinária é bem difundida no Brasil, sendo uma prática que difere da radiologia humana e ortodôntica e onde não se encontra uma normativa nacional específica que represente a modalidade. Tais diferenças e escassez de regulamentações podem levar ao comprometimento da segurança radiológica. A necessidade do IOE (indivíduo ocupacionalmente exposto) em estar em contato com o animal dentro da sala de raios-x para contenção e posicionamento também é um fator que pode levar a maior exposição de extremidades à radiação e repetição de procedimentos radiográficos. Por esta razão, foi desenvolvido um estudo com os objetivos de avaliar as sinalizações de segurança, implementação de um programa de educação permanente e uso de dosímetro em uma clínica de radiodiagnóstico veterinário, bem como uma análise quantitativa do emprego da anestesiologia e sedação e uso de EPI (Equipamentos de proteção individual) pelo IOE, com foco na dificuldade de utilização das luvas plumbíferas. Em contraste a ausência de normativa nacional, uma revisão bibliográfica de documentos internacionais demonstra atenção adicional às dificuldades da radiologia veterinária com o objetivo de permitir uma prática mais segura. A utilização das luvas plumbíferas reduz a exposição das extremidades, mas pode dificultar o posicionamento, contenção e ocultar regiões anatômicas de interesse diagnóstico. Aspectos socioeconômicos podem ser uma barreira para a implementação da anestesiologia.

Palavra-chave: Proteção radiológica; Radiologia Veterinária; Equipamento de proteção individual.

## Abstract

Veterinary radiology is very widespread in Brazil, being a practice that differs from human and orthodontic radiology and where there is no specific national regulation that represents the modality. Such differences and lack of regulations can lead to compromised radiological safety. The need for the occupational worker to be in contact with the animal inside the X-ray room for containment and positioning is also a factor that can lead to greater exposure of the extremities to radiation and repetition of radiographic procedures. For this reason, a study was developed with the objectives of evaluating safety signals, the implementation of a permanent education program and the use of dosimeter in a veterinary radiodiagnostic clinic, as well as a quantitative analysis of the use of anesthesiology and sedation and the adoption of personal protection equipment by occupational workers, focusing on the difficulty of lead gloves use. In contrast to the absence of national regulations, a bibliographic review of international documents from other countries demonstrates additional attention to the difficulties of veterinary radiology in order to allow a safer practice. The use of lead gloves reduces the exposure of the extremities, but can make positioning, containment difficult and also may hide anatomical regions of diagnostic interest. Socioeconomic aspects can be a barrier to the implementation of sedation and anesthesiology.

**Keywords:** Radiological protection; Veterinary Radiology; Personal protective equipment.

## Lista de Figuras

Figura 1 – Representação de uma onda eletromagnética .....	16
Figura 2 – Representação do espectro eletromagnético .....	16
Figura 3 – Retrato de Anna Bertha Ludwig .....	17
Figura 4 – Retrato de Wilhelm Conrad Roentgen .....	17
Figura 5 – Radiografia da mão da Sra. Roentgen, tirada em 22/12/1895.....	17
Figura 6 – Representação de um tubo de Raios X.....	18
Figura 7 – Gráfico dos fatores de peso de radiação de nêutrons em função de sua energia, ICPR 103 de 2007 .....	25
Figura 8 – Aviso direcionado a menores de 18 anos na sala de Raios X .....	34
Figura 9A– Luz vermelha apagada da porta de entrada da sala de raios X.....	35
Figura 9B – Luz vermelha acesa durante disparo dos feixes de raios X das instalações .....	35
Figura 10 – Sinalização obrigatória na porta de entrada da sala de raios X.....	35
Figura 11 – Avisos obrigatórios segundo a RDC 330 dentro da sala de Raios X.....	36
Figura 12 – Avisos obrigatórios segundo a RDC 330 dentro da sala de Raios X.....	36
Figura 13 – Gráfico das doses mensais obtidas do dosímetro do IOE durante o período de estágio.....	37
Figura 14 – Foto de uma luva plumbífera com recorte das extremidades.....	40
Figura 15 – Simulação de posicionamento com as luvas .....	40
Figura 16 – Gráfico das exposições de extremidades utilizando e não utilizando luvas, com relação aos procedimentos totais sem luva, em intervalos de 20 procedimentos.....	41
Figura 17 – Gráfico da razão entre exposição de extremidades ao feixe primário em procedimentos com luvas .....	42
Figura 18 – Gráfico da razão entre exposição de extremidades ao feixe primário em procedimentos sem luvas.....	42
Figura 19 – Gráfico de porcentagem de repetição de PR .....	43

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Fatores de peso de radiação da ICRP 103 de 2007.....	25
Tabela 2 – Fatores de peso da radiação da posição regulatória 3.01/002 da CNEN de 2014 ..	26
Tabela 3 – Fatores de peso tecidual da ICRP 103 de 2007 .....	27
Tabela 4 – Fatores de peso tecidual da posição regulatória 3.01/002 da CNEN de 2014.....	27
Tabela 5 – Limites de doses anuais da posição regulatória 3.01da CNEN de 2014 .....	29
Tabela 6 – Limites de doses da ICRP 103 de 2007 .....	29
Tabela 7 – Características do aparelho de raios X, processador e ecrans do setor de radiologia da empresa .....	33

## Lista de abreviaturas e siglas

ALARA	As low as reasonably achievable
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CR	Radiografia computadorizada
DDP	Diferença de potencial
DR	Radiografia digital
EPI	Equipamento(s) de proteção individual
IAEA	Agência Internacional de Energia Atômica
ICRP	Comissão Internacional de Proteção Radiológica
IOE	Indivíduo(s) ocupacionalmente exposto(s)
kVp	quilovoltagem-pico
PEP	Programa de educação permanente
PR	Procedimentos radiográficos
RL	Responsável legal
RV	Radiologia veterinária
RT	Responsável técnico
SPR	Supervisor de proteção radiológica

## Sumário

1. Introdução .....	15
2. Fundamentos Teóricos .....	16
2.1 Radiação eletromagnética.....	16
2.2 Descoberta dos raios X.....	17
2.3 Tubo de raios X e seu funcionamento .....	18
2.3.1 Raios X de freamento .....	18
2.3.2 Raios X característicos .....	19
2.4 Interação de raios X com a matéria .....	20
2.4.1 Espalhamento Rayleigh .....	20
2.4.2 Efeito Fotoelétrico .....	20
2.4.3 Efeito Compton.....	21
2.4.4 Produção de pares e Fotodesintegração.....	21
2.5 Danos Biológicos.....	22
2.5.1 Reações teciduais.....	22
2.5.2 Efeitos estocásticos.....	22
2.6 Grandezas dosimétricas .....	22
2.6.1 Exposição.....	23
2.6.2 Kerma .....	23
2.6.3 Dose Absorvida .....	24
2.6.4 Dose equivalente.....	24
2.6.5 Dose efetiva .....	26
2.6.6 Equivalente de dose pessoal .....	27
2.7 Princípios de proteção radiológica.....	28
2.8 Proteção radiológica na veterinária .....	30
3. Metodologia.....	32
4. Resultados e Discussão.....	33
4.1 Características do conjunto radiológico da empresa.....	33
4.2 Sinalização .....	33
4.3 Dosímetro .....	36
4.4 Programa de Educação permanente (PEP) .....	38
4.5 Equipamento de proteção individual (EPI) .....	39
4.6 Repetições de procedimentos radiográficos .....	43

4.7	Sedação e anestesia.....	44
5.	Conclusão.....	47
6.	Referências.....	48

## 1. Introdução

Com a crescente demanda de serviços veterinários, o avanço e redução de custos das tecnologias de raio X, a radiologia veterinária é cada vez mais comum. Perante esta realidade, se torna cada vez mais necessário o emprego de um corpo de regulamentos, requisitos sanitários, normas e condutas que se atentem aos riscos e dificuldades particulares da radiologia veterinária, além da formação e conscientização de profissionais críticos às necessidades dessa modalidade de diagnóstico. Para isto, a Física Médica desempenha uma função de importância, formando indivíduos que vão atuar na área de proteção, colaborando com o processo de aprimoramento de segurança radiológica.

O presente trabalho traz uma análise realizada a partir de um estágio de instrumentação, realizado na empresa Pet Exames Diagnóstico e Reabilitação Animal. A empresa, sediada na cidade de Itu-SP, atua na área de radiodiagnóstico veterinário desde 2013. O estágio se deu no período de 15 de março à 9 de julho de 2021, tendo como objetivo principal o contato profissional com o indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE) no ambiente de trabalho veterinário para acompanhamento e estudo de suas funções, além de uma análise da conduta de proteção radiológica, bem como eventuais dificuldades do seu emprego no dia-a-dia do setor de radiologia veterinária.

Durante o estágio foi feito um estudo do correto emprego da sinalização de segurança das instalações e a implementação do programa de educação permanente. Foi discutido o emprego de sedação para redução de repetições de procedimentos radiográficos (PR). Para avaliar a utilização dos equipamentos de proteção individual (EPI), foi acompanhado 354 procedimentos radiológicos em 120 animais, com ênfase nas luvas plumbíferas, discutindo as dificuldades da sua utilização. Também foi feita uma revisão bibliográfica das normas de proteção radiológica veterinária internacionais para contrastar com as normas brasileiras.

Esta experiência foi fundamental para a associação entre o conhecimento teórico obtido durante a graduação em Física Médica e a prática de proteção radiológica e sua integração no dia-a-dia de uma empresa de radiologia veterinária, levando em consideração dificuldades específicas dessa modalidade de radiodiagnóstico.

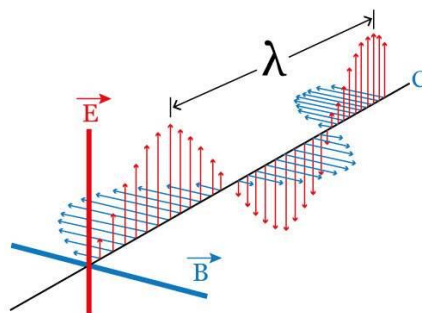
## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1 Radiação Eletromagnética

Uma onda eletromagnética (figura 1) é caracterizada por dois campos, um elétrico e outro magnético, que, oscilando perpendicularmente um ao outro, se propaga na velocidade da luz no vácuo (OKUNO & YOSHIMURA, 2010). Cada onda, também chamada de fóton carrega uma quantidade específica de energia, cuja unidade é o Elétron-Volt (eV), que são classificadas dependendo do seu comprimento de onda ( $\lambda$ ) e frequência (Hz) (THRALL, 2010), como mostra a figura 2.

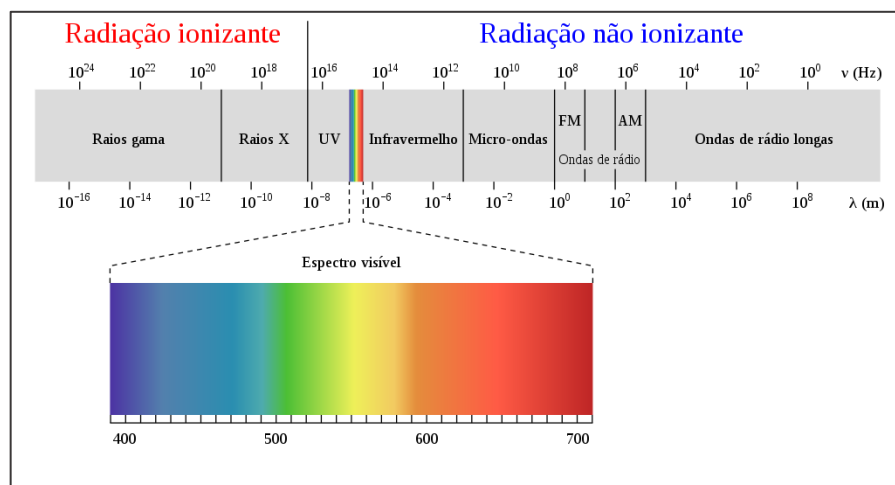
Os raios X são um tipo de radiação eletromagnética ionizante, sua interação com a matéria é capaz de remover elétrons de átomos ou moléculas, criando íons (OKUNO & YOSHIMURA, 2010).

**Figura 1:** Representação de uma onda eletromagnética.



Fonte: Site Educa Mais Brasil<sup>1</sup>

**Figura 2:** Representação do espectro eletromagnético.



<sup>1</sup> Disponível em: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/ondas-eletromagneticas>

Fonte: Site Educa Mais Brasil<sup>2</sup>

## 2.2 Descoberta dos raios X

Os raios X foram descobertos pelo físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen (figura 4) em 08 de novembro de 1895 através de experimentos com o tubo de Crookes (CURRY, DOWNEY & MURRY, 1990). Em 22 de dezembro do mesmo ano a primeira radiografia (figura 5) foi feita por Roentgen da mão de sua esposa Anna Bertha Ludwig (figura 3). O primeiro trabalho em que relatava sua descoberta foi nomeado de “*On a new kind of rays*”, publicado no “*Proceedings of the physical-medical Society*” de Wuzburg, Alemanha. Conforme descrito por Okuno e Yoshimura (2010), pela descoberta, Roentgen recebeu o primeiro Nobel de Física em 1901 (OKUNO & YOSHIMURA, 2010).

Em um período de cerca de um ano após sua descoberta, radiografias diagnósticas eram casualmente obtidas por médicos em ambos os lados do oceano Atlântico (ATTIX, 1986).

**Figura 3 e 4:** Retrato de Anna Bertha Ludwig e Wilhelm Conrad Roentgen.



Fonte: Site Google Arts & Culture<sup>3</sup>

**Figura 5:** Radiografia da mão da Sra. Roentgen, tirada em 22/12/1895



Fonte: Okuno e Yoshimura, 2010.

<sup>2</sup> Imagem disponível em: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/ondas-eletromagneticas>

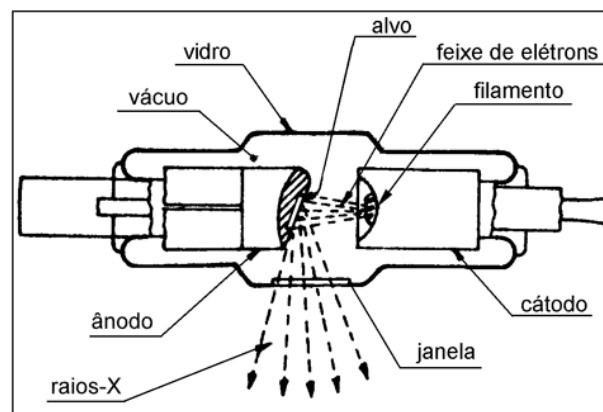
<sup>3</sup> Imagem disponível em: <https://artsandculture.google.com/asset/wilhelm-conrad-r%C3%B6ntgen-and-his-wife-bertha-unknown/OgFmXJiPKsgyKA>

### 2.3 Tubo de raios X e seu funcionamento

Os raios X são produzidos através de um processo de aceleração e frenagem de elétrons. O tubo é constituído de um cátodo e um ânodo, onde uma fonte de alta tensão gera uma DDP. No cátodo há um filamento, que por processo termiônico libera elétrons que são acelerados em direção ao ânodo onde há um alvo de material metálico com alto número atômico e ponto de fusão (comumente Tungstênio ou molibdênio) (Figura 6) (OKUNO & YOSHIMURA, 2010).

Os elétrons acelerados, ao se chocarem com os átomos do alvo, transferem sua energia cinética de 3 principais maneiras: (i) convertendo-a em calor, sendo este o motivo do alvo ter um alto ponto de fusão, (ii) na produção de raios X de freamento (Bremsstrahlung) e (iii) e raios X característicos.

**Figura 6:** Representação de um tubo de Raios X



Fonte: site Researchgate<sup>4</sup>

#### 2.3.1 Raios X de freamento

Uma pequena fração dos elétrons incidentes aproxima-se consideravelmente do núcleo do alvo, e, devido a atração do campo coulombiano do núcleo, sofre uma brusca desaceleração e desvio. Essa interação gera os raios X de freamento (Bremsstrahlung). Este tipo de radiação apresenta um espectro contínuo de energia, pois a energia resultante do raio X produzido depende da distância que o elétron esteve do núcleo durante sua desaceleração e da sua energia cinética inicial. A energia do fóton pode ter desde valores próximos a zero até um valor máximo dependente da DDP no tubo (OKUNO & YOSHIMURA, 2010). A partir deste raciocínio, podemos chegar à equação:

<sup>4</sup> Imagem disponível em: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-64-Esquema-ilustrativo-de-um-tubo-de-raios-X-Eletrons-sao-emitados-termicamente\\_fig18\\_322940573](https://www.researchgate.net/figure/Figura-64-Esquema-ilustrativo-de-um-tubo-de-raios-X-Eletrons-sao-emitados-termicamente_fig18_322940573)

$$K(\text{eletron}) = eV = E_{\text{max foton}} = hv_{\text{max}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{min}}} \quad (1)$$

Onde:

$K(\text{eletron})$  = Energia cinética do elétron incidente;

$e$  = Carga do elétron  $1,6 \times 10^{-19} \text{C}$ ;

$V$  = DDP no tubo, em Volts (V);

$E_{\text{max foton}}$  = Energia máxima do fóton produzido, em elétron-Volt (eV);

$h$  = Constante de Planck  $6,62 \times 10^{-34} \text{m}^2 \text{kg/s}$ ;

$c$  = Velocidade da luz  $3 \times 10^8 \text{m/s}$ ;

$\lambda_{\text{min}}$  = Comprimento de onda mínimo do fóton em metros (m).

### 2.3.2 Raios X característicos

Os raios X característicos diferem em sua produção dos caracterizados como de freamento. Uma pequena fração dos elétrons incidentes acerta um elétron independente encontrado nas camadas mais internas dos átomos constituintes do alvo.

Se o elétron incidente tem energia igual ou superior à energia de ligação entre o elétron vinculado ao átomo na sua devida camada, isso acarreta em sua ejeção, formando uma vacância nesta camada, então um elétron de uma camada mais externa salta quanticamente para a camada mais interna. Para esse salto correr, o elétron deve liberar a diferença das energias de ligação entre uma camada e outra na forma de um fóton. Se a energia for suficiente, o fóton terá o comprimento de onda da ordem dos raios X. Como a energia liberada é sempre a diferença entre camadas, há um espectro discreto de distribuição de energia dos Raios X característicos, e ele depende unicamente dos átomos constituintes do alvo (OKUNO & YOSHIMURA, 2010). A partir desta teoria, podemos chegar a equação:

$$E_{\text{foton}} = E_{\text{camada externa}} - E_{\text{Camada interna}} \quad (2)$$

Onde:

$E_{\text{foton}}$  = Energia do fóton em eletron-volt (eV)

$E_{\text{Camada interna}}$  = Energia do fóton ejetado, da camada mais interna

$E_{\text{camada externa}}$  = Energia do elétron na camada externa.

## 2.4 Interação de raios X com a matéria

Há 5 principais meios de interação dos raios X com a matéria: efeito fotoelétrico, efeito Compton, produção de pares, espalhamento Rayleigh e fotodesintegração (ATTIX, 1986; CURRY, DOWDEY e MURRY, 1990; OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

### 2.4.1 Espalhamento Rayleigh

É um tipo de interação onde o fóton incidente sofre mudança de direção sem alteração no seu comprimento de onda. Esse tipo de radiação não produz ionização, pois o fóton é absorvido pelos elétrons do átomo, deixando-o excitado. Retornando ao seu estado de repouso, ele emite um novo fóton de mesmo comprimento de onda em uma direção diferente. Mesmo que contribua negativamente para qualidade de imagem, geralmente sua ocorrência é pequena, menos de 5% e para energias baixas (CURRY, DOWDEY & MURRY, 1990; SPRAWLS, 1993).

### 2.4.2 Efeito Fotoelétrico

Podemos entender que o efeito fotoelétrico é uma interação onde o fóton incidente atinge um elétron do átomo alvo, que absorve toda energia deste fóton. Parte de sua energia é gasta para ejetar o elétron, suprindo o débito energético da energia de ligação da sua determinada camada. Se o fóton tiver mais energia que a energia de ligação, o restante é convertido em energia cinética para o fotoelétron. A vacância na camada deixada pelo fotoelétron ausente é então preenchida por um outro elétron, proveniente de uma camada mais externa, emitindo o diferencial de energia em forma de fótons de raio X característicos. O resultado final dessa interação é a produção de um íon negativo: o fotoelétron; um íon positivo: o átomo alvo e emissão de radiação característica (ATTIX, 1896; CURRY, DOWDEY & MURRY, 1990; OKUNO & YOSHIMURA, 2010).

Para qualidade de imagem radiológica o efeito fotoelétrico é desejado pois não produz radiação espalhada e aumenta o contraste dos tecidos, já que sua interação depende da terceira potência do número atômico dos tecidos envolvidos. Do ponto de vista de exposição radiológica, este cenário é o menos desejado, pois toda a energia do fóton de raio X é depositado

no paciente em uma interação deste tipo. A fim de resolver este impasse, procedimentos com altas energias de kVp podem reduzir a probabilidade de efeito fotoelétrico, ainda garantindo a qualidade da imagem (CURRY, DOWDEY & MURRY, 1990).

#### 2.4.3 Efeito Compton

A maior parte da radiação espalhada vem do efeito Compton. Um fóton incidente doa parte de sua energia para remover um elétron livre das camadas externas do átomo alvo, conferindo energia cinética ao mesmo, criando um íon positivo: o átomo; um íon negativo: o elétron de recuo, e o restante da energia do fóton continua a se propagar numa nova direção (ATTIX, 1986; CURRY, DOWDEY & MURRY, 1990).

#### 2.4.4 Produção de Pares e Fotodesintegração.

As interações de produção de pares e fotodesintegração, são de pouco interesse para a radiologia comum, já que não ocorrem no range de energias mais baixas do mesmo (ATTIX, 1986; CURRY, DOWDEY & MURRY, 1990; SPRAWLS, 1993).

Na produção de pares um fóton de alta energia interage com o núcleo do átomo alvo, sendo absorvido. Então o núcleo produz um par de partículas, um elétron e um pósitron (elétron com carga positiva). Essa interação só pode ocorrer com fótons cuja energia é de 1,02 MeV, pois a massa de um elétron em repouso equivale a 0,511 MeV (ATTIX, 1986; CURRY, DOWDEY & MURRY, 1990; SPRAWLS, 1993).

Na fotodesintegração parte do núcleo de um átomo é ejetado por um fóton de alta energia, podendo este ser um próton, nêutron, uma partícula alfa ou um cluster de partículas. O fóton incidente deve ter energia o suficiente para ultrapassar a energia de ligação do núcleo da ordem de 7 a 15 MeV (ATTIX, 1986; CURRY, DOWDEY & MURRY, 1990).

## 2.5 Danos biológicos

A radiação ionizante pode danificar o DNA, levando a mutações, aborto ou anormalidades fetais, susceptibilidade à doença e tempo reduzido de vida, carcinogênese e cataratas. Os danos da radiação para o DNA podem ser avaliados como sendo biologicamente amplificados porque o DNA controla os processos celulares que se estendem para gerações subsequentes de células filhas (THRALL, 2010). A natureza dos efeitos biológicos são duas: efeitos estocásticos ou reações teciduais (ou não-estocásticos/determinísticos).

### 2.5.1 Reações teciduais (não-estocásticos/determinísticos)

Nas reações teciduais a gravidade do efeito é em função à dose, ou seja, quanto maior a dose, mais severo se torna o efeito, levando a falência reprodutiva das células, alterações fibróticas e morte celular. Existe um limiar de dose para o surgimento das reações teciduais. Esse tipo de efeito ocorre para doses muito mais altas que os limites de doses recomendados pelos órgãos nacionais e internacionais (OKUNO & YOSHIMURA 2010).

### 2.5.2 Efeitos estocásticos

São alterações que surgem nas células normais, sendo os principais o efeito cancerígeno e o hereditário. Diferentes das reações teciduais onde há a necessidade de uma alta dose, não há um limiar para a aparição dos efeitos, eles podem surgir com qualquer dose, tanto baixa quanto alta. Eles são probabilísticos, ou seja, quanto maior a dose, maior a probabilidade da ocorrência do efeito estocástico. Estes efeitos são sempre tardios, apresentando um período de latência que pode ser de vários anos. Em alguns cânceres o período de latência pode variar de 2 a 10 anos (OKUNO & YOSHIMURA 2010).

## 2.6 Grandezas dosimétricas

As grandezas dosimétricas são grandezas e unidades desenvolvidas pela física da radiação para padronizar as medidas de doses de radiação em indivíduos, bem como desenvolver seus limites. Tais grandezas dosimétricas são separadas em três grupos, sendo: (i) grandezas físicas, caracterizadas pela exposição, dose absorvida e kerma; (ii) grandezas de proteção, onde podemos citar a dose equivalente e dose efetiva; e (iii) grandezas operacionais,

como o equivalente de dose pessoal (OKUNO & YOSHIMURA 2010).

### 2.6.1 Exposição

É uma grandeza física que mede a capacidade de fótons de ionizarem o ar. A exposição, caracteriza um feixe de raios X ou Gama (CURRY, DOWDEY & MURRY, 1990) e mede a quantidade de carga elétrica de mesmo sinal produzido no ar através da ionização do mesmo, por unidade de massa do ar (ATTIX, 1986; OKUNO & YOSHIMURA, 2010). Sua unidade é o Roentgen (R). Sua formula é demonstrada na equação nº 3:

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad (3)$$

Onde:

$dQ$  = Valor absoluto de todas as cargas dos íons do mesmo sinal produzidos no ar, quando todos os elétrons e pósitrons gerados na interação são totalmente freados, em Coulomb (C)

$dm$  = Valor da massa do ar, em quilograma (kg).

### 2.6.2 Kerma

A palavra Kerma se refere a “*Kinetic Energy Released per unit of Mass*”, cuja tradução se dá por “energia cinética liberada por unidade de massa”. é uma grandeza física que caracteriza a soma de todas as energias cinéticas iniciais de todas as partículas carregadas e liberadas pelas interações com radiações sem carga (fótons ou nêutrons), em um volume de massa (CURRY, DOWDEY & MURRY, 1990; OKUNO & YOSHIMURA, 2010). Sua unidade também é o Gray (Gy). Sua formula é demonstrada na equação nº 5.

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm} \quad (5)$$

Onde:

$dE_{tr}$  = Valor da soma de todas as energias cinéticas das partículas carregadas liberadas pelas partículas sem cargas, em Joules (J).

$dm$  = Valor de massa do material incidente, em Kilogramas (Kg).

### 2.6.3 Dose absorvida

A dose absorvida pode ser explicada como a grandeza física que caracteriza a quantidade de energia depositada em qualquer meio por qualquer tipo de radiação, e não somente raios X e Gama, como no caso da Exposição. (CURRY, DOWDEY E MURRY, 1990; OKUNO E YOSHIMURA, 2010). Sua unidade é o Gray (Gy) e sua formula é demonstrada na equação nº 4.

$$D = \frac{dE_{ab}}{dm} \quad (4)$$

Onde:

$dE_{ab}$  = Valor da energia média depositada pela radiação, em Joules (J), e

$dm$  = Valor da massa do meio, em Kilograma (Kg).

### 2.6.4 Dose equivalente

É a grandeza de proteção definida pelo produto da dose absorvida por um fator de ponderação (Tabela 1, 2 e figura 7), que caracteriza o tipo de radiação incidente. (ATTIX, 1986; OKUNO & YOSHIMURA, 2010). Sua unidade é o Sievert (Sv) e sua formula é demonstrada na equação nº 6.

$$H_T = w_R \times D \quad (6)$$

Onde:

$w_R$  = Fator de ponderação, caracterizado pelo tipo de radiação incidente.

$D$  = Dose absorvida no tecido em questão.

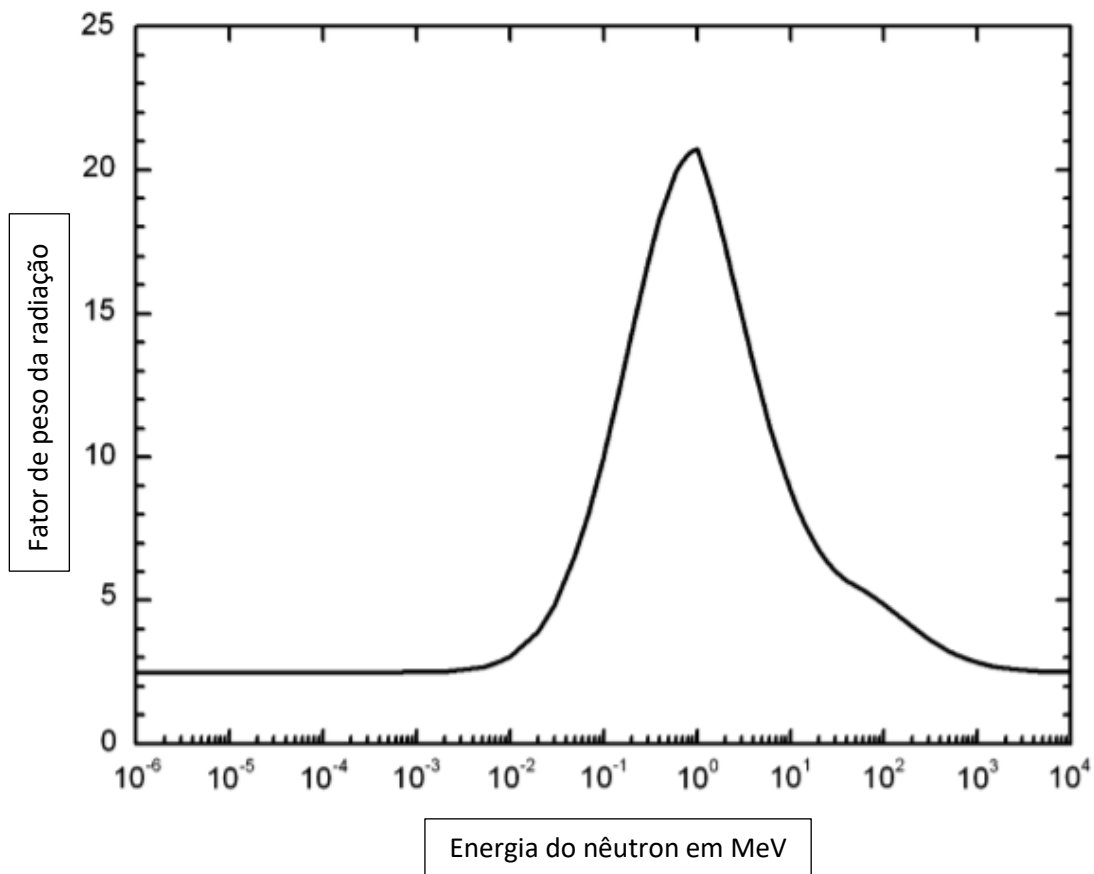
Esta grandeza é utilizada para limitar a exposição do cristalino, pele e das extremidades (mãos e pés) na radioproteção, pois os fatores de ponderação foram escolhidos pela ICRP para cada tipo de partícula e energia como uma forma de representar a efetividade biológica relativa (da sigla RBE, que pode ser transcrita como *relative biological effectiveness*) da radiação em induzir efeitos estocásticos (OKUNO & YOSHIMURA, 2010)

**Tabela 1:** Fatores de peso de radiação da ICRP 103 de 2007<sup>[a]</sup>

<b>Tipo de radiação</b>	<b>Fator de peso da radiação <math>W_R</math></b>
Fotons	1
Elétrons e muons	1
Prótons e pions carregados	2
Partículas $\alpha$ , fragmentos de fissão e íons pesados	20
Nêutrons	Função contínua de energia (figura 7)

[a] Todos os valores referem-se à radiação incidente no corpo ou, para fontes de radiação interna, emitida a partir do(s) radionuclídeo(s) incorporado(s).

Fonte: International Council on Radiological Protection (2007).

**Figura 7:** Gráfico dos fatores de peso de radiação de nêutrons em função de sua energia, ICPR 103 de 2007

Fonte: International Council on Radiological Protection (2007).

**Tabela 2:** Fatores de peso da radiação da posição regulatória 3.01/002 da CNEN de 2014

<b>Tipo e faixa de energia</b>	<b>Fator de peso da radiação <math>W_R</math></b>
Fótons, todas as energias	1
Elétrons e múons, todas as energias	1
Nêutrons, energia: < 10 KeV	5
10 KeV a 100 KeV	10
> 100 KeV a 2 MeV	20
> 2MeV a 20 MeV	10
> 20MeV	5
Prótons, exceto os de recuo, energia > 2 MeV	5
Partículas $\alpha$ , fragmentos de fissão, núcleos pesados	20

[a] Todos os valores referem-se à radiação incidente no corpo ou, para fontes de radiação interna, emitida a partir do(s) radionuclídeo(s) incorporado(s).

Fonte: Posição Regulatória 3.01/002, Fatores de Ponderação para as Grandezas de Proteção Radiológica (2014).

### 2.6.5 Dose efetiva

A grandeza de proteção dose efetiva serve para estabelecer limites de exposição para todo o corpo à radiação. Ela se dá pela soma das doses equivalentes nos tecidos ou órgãos multiplicada por um fator de ponderação tecidual ou do órgão em questão. (OKUNO e YOSHIMURA, 2010). Sua unidade é o Sievert (Sv) e sua formula é demonstrada na equação nº 7.

$$E = \sum_T W_T \times H_T \quad (7)$$

Onde:

$W_T$  = Fator de ponderação tecidual ou do órgão em questão.

$H_T$  = Dose equivalente de cada tecido ou órgão.

Os fatores de ponderação de tecido ou órgão (Tabelas 3 e 4) são relacionados com a sensibilidade de um dado tecido ou órgão à radiação. São baseados em estudos epidemiológicos de indução ao câncer e mortalidade por exposição à radiação (OKUNO & YOSHIMURA, 2010).

**Tabela 3:** Fatores de peso tecidual da ICRP 103 de 2007

<b>Tecido</b>	<b>Fator de ponderação tecidual</b>
Medula óssea vermelha, Cólon, Pulmão, Estômago, Mama, tecidos remanescentes <sup>[a]</sup>	0,12
Gônadas	0,08
Bexiga, Esôfago, Fígado, Tireóide	0,04
Superfície óssea, Cérebro, Glândulas salivares, Pele	0,01

[a] Tecidos remanescentes: Adrenais, Região extratorácica, Vesícula biliar, Coração, Rins, Nódulos linfáticos, Músculo, Mucosa oral, Pâncreas, Próstata, Intestino delgado, Baço, Timo, útero/Cérvix

Fonte: Fonte: International Council on Radiological Protection (2007).

**Tabela 4:** Fatores de peso tecidual da posição regulatória 3.01/002 da CNEN de 2014

<b>Tecido</b>	<b>Fator de ponderação tecidual</b>
Gônadas	0,2
Medula óssea vermelha,	0,12
Cólon	0,12
Pulmão	0,12
Estômago	0,12
Bexiga	0,5
Mama	0,5
Fígado	0,5
Esôfago	0,5
Tireoide	0,5
Pele	0,1
Superfície óssea	0,1
Tecidos remanescentes <sup>[a]</sup>	0,5

[a] Tecidos remanescentes: Adrenais, Região extratorácica, Vesícula biliar, Coração, Rins, Músculo, Pâncreas, Intestino delgado, Baço, Timo, útero

Fonte: Posição Regulatória 3.01/002, Fatores de Ponderação para as Grandezas de Proteção Radiológica (2014).

#### 2.6.6 Equivalente de dose pessoal

A grandeza operacional equivalente de dose pessoal serve como ferramenta para monitoramento individual externo. (CNEN, 2014). Sendo caracterizada pelo produto da dose absorvida em um ponto, por um fator de qualidade da radiação. (OKUNO & YOSHIMURA, 2010). A unidade da grandeza operacional é o Sievert e sua formula é demonstrada pela equação nº 8.

$$H_p(d) = Q \times D$$

(8)

Onde:

$Q$  = Fator de qualidade da radiação

$D$  = Dose absorvida.

$(d)$  = Profundidade em questão, que varia dependendo do tipo de dose que é de interesse estimar.

Quando o dosímetro é mensalmente checado, é obtido a dose equivalente pessoal, a partir deste dado é estimado conservadoramente doses efetivas e equivalentes. Para a verificação do cumprimento das recomendações no tocante ao limite de dose, a profundidade deve ser levada em consideração. Sendo  $H_p(10 \text{ mm})$  referente a verificação da dose efetiva,  $H_p(3 \text{ mm})$  para dose equivalente no cristalino e  $H_p(0,07 \text{ mm})$  para dose equivalente na pele e extremidades. (BRASIL, 2014; OKUNO E YOSHIMURA, 2010).

## 2.7 Princípios de proteção radiológica

Os princípios de proteção radiológica são baseados em 3 pilares: (i) justificção da prática; (ii) otimização da proteção radiológica e (iii) a limitação das doses individuais, sendo estes caracterizados como:

- (i) Justificção: nenhuma prática será aceita a não ser que a mesma produza benefícios, para os indivíduos expostos ou para a sociedade, suficientes para compensar o detrimento correspondente, tendo-se em conta fatores sociais econômicos, assim como outros fatores pertinentes. (CNEN, 2014; ICRP, 2007; OKUNO e YOSHIMURA, 2010).
- (ii) Otimização da proteção radiológica: a proteção radiológica deve ser otimizada de forma que a magnitude das doses individuais, o número de pessoas expostas e a probabilidade de ocorrência de exposições mantenham-se tão baixas quanto razoavelmente exequíveis, fatores que podem ser referenciados como o conceito ALARA, tendo em conta os fatores econômicos e sociais. (CNEN, 2014; ICRP, 2007; OKUNO e YOSHIMURA, 2010). O conceito ALARA, se baseia em 3 pilares: minimizar o tempo de exposição, maximizar a distância da fonte e utilizar correta blindagem, permitindo redução da exposição do IOE e do membro do público à radiação

(IAEA, 2021).

- (iii) Limitação de doses: a exposição dos indivíduos deve ser restringida de tal modo que as doses efetivas ou equivalentes não excedam os limites estipulados pelos órgãos legislativos. Os limites de doses são apresentados nas tabelas 5 e 6. (CNEN, 2014; ICRP, 2007; OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

**Tabela 5:** Limites de doses da posição regulatória 3.01 da CNEN de 2014

<b>Órgão</b>	<b>Grandeza</b>	<b>Indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE)</b>	<b>Indivíduo do público</b>
Corpo inteiro	Dose Efetiva	20 mSv[b]	1 mSv[c]
Cristalino	Dose Equivalente	20 mSv[b]	15 mSv
Pele[d]	Dose Equivalente	500 mSv	50 mSv
Mãos e pés	Dose Equivalente	500 mSv	

[a] Para fins de controle administrativo efetuado pela CNEN, o termo dose anual deve ser considerado como dose no ano calendário, isto é, no período decorrente de janeiro a dezembro de cada ano.

[b] Média aritmética em 5 anos consecutivos, desde que não exceda 50 mSv em qualquer ano.

[c] Em circunstâncias especiais, a CNEN poderá autorizar um valor de dose efetiva de até 5 mSv em um ano, desde que a dose efetiva média em um período de 5 anos consecutivos, não exceda a 1 mSv por ano.

[d] Valor médio em 1 cm<sup>2</sup> de área, na região mais irradiada.

Fonte: Norma NN 3.01, Resolução 164/14. Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica (2014).

**Tabela 6:** Limites de doses da ICRP 103 de 2007

<b>Tipo de dose</b>	<b>Indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE)</b>	<b>Indivíduo do público</b>
Dose efetiva	20 mSv por ano, em média em períodos definidos de 5 anos[b]	1 mSv em um ano[d]
Dose equivalente anual em:		
Cristalino	150 mSv	15 mSv
Pele[c]	500 mSv	50 mSv
Mãos e pés	500 mSv	

[a] Os limites da dose efetiva são para a soma das doses efetivas relevantes da exposição externa no período de tempo especificado e a dose efetiva comprometida da ingestão de radionuclídeos no mesmo período. Para adultos, a dose efetiva comprometida é calculada para um período de 50 anos após a ingestão, enquanto para crianças é calculada para o período até a idade de 70 anos.

[b] Com a cláusula adicional de que a dose efetiva não deve exceder 50 mSv em qualquer ano. Restrições adicionais se aplicam à exposição ocupacional de mulheres grávidas.

[c] Valor médio em 1 cm<sup>2</sup> de área de pele, independentemente da área exposta

[d] Em circunstâncias especiais, poderá ser autorizado um valor maior de dose efetiva em um ano, desde que a dose efetiva média em um período de 5 anos consecutivos, não exceda a 1 mSv por ano.

Fonte: International Council on Radiological Protection (2007).

## 2.8 Proteção radiológica na veterinária

Segundo Thrall (2010), o objetivo da radiologia diagnóstica é obter o máximo de informações diagnósticas com exposição mínima à radiação do paciente, funcionários e público em geral. No entanto, porque os raios X não podem ser vistos ou sentidos, é fácil ignorar o potencial perigo associado com a exposição aos raios X no trabalho. Como resultado, muitos veterinários têm desenvolvido uma atitude arrogante em relação aos riscos associados à radiação ionizante, colocando em risco a si mesmos e seus funcionários, a partir de perspectivas médicas e financeiras.

Historicamente, muitos autores relatam danos nas mãos de veterinários. Em 1930, danos nas mãos de veterinários que trabalham com fluoroscopia podiam ser observados. Segundo Schnelle (1968), na década de 1950, era comum ver cirurgiões veterinários americanos com danos de radiação em suas mãos devido ao uso de raios-x, em grande parte devido à ignorância sobre os riscos da radiação. Em 1970 lesões radio-induzidas eram comuns em veterinários realizando raios-X, conforme visto em Whringley e Borak, (1983).

Em uma pesquisa conduzida por Rosa (2018) concluiu que a ausência de regulamentação própria para a prática contribui para uma falta de padronização e fiscalização das condições de proteção radiológica das instalações. Também há negligência no uso das EPI e dosímetros, e pouca adoção das luvas plumbíferas por atrapalhar os operadores na contenção e possível sobreposição de regiões de interesse diagnóstico.

Para Nascimento (2019), os radiologistas encontram dificuldades no uso de EPI, como por exemplo, as luvas plumbíferas. Os pacientes podem ser muito pequenos ou muito agitados, não permitindo que o radiologista consiga fazer a adequada contenção. Um estudo realizado pelo mesmo onde foi comparado as doses anuais entre dosímetros de tórax e de extremidade sem utilização de luvas demonstrou uma grande diferença entre ambos. Enquanto o monitor de tórax apresentou 15,89 mSv, o monitor de extremidade apresentou 80,60 mSv. Mesmo com esses valores não ultrapassando os limites de doses estipulados pela CNEN, não usar a luva e o avental plumbífero aumentam o risco do surgimento dos efeitos indesejáveis da radiação ionizante, pois a dose é acumulativa.

Devido à natureza diferenciada entre os PR médicos e veterinários, em muitos países é possível encontrar diretrizes, regulamentações e normas específicas voltadas para a RV como: “*Report 17 – Radiation Protection in Veterinary Medicine*” (Austrália), “*Safety Code 28 – Radiation Protection in Veterinary*” (Canadá), “*Report 148- Radiation Protection in Veterinary Medicine*” (Estados Unidos), “*Guide ST 8.1 – Radiation Safety in Veterinary X-Ray*” (Finlândia), “*JSP 392 Management of Radiation Protection in Defense – Leaflet27 – Veterinary Diagnostic X-Ray machine*” (Inglaterra), “*RPII-02/3- Code of Practice for Radiation Protection in Veterinary Medicine*” (Irlanda) e “*CSP 21 - Code of Safe Practice for the use of X-Rays in Veterinary Diagnosis*” (Nova Zelândia).

Segundo Souza (2020) e Fritschi (2000), a peculiaridade de trabalho com animais, a necessidade de contenção do paciente na mesa de exame, associado a falta de treinamento pode contribuir para a exposição elevada desse profissional à radiação ionizante e aumentar sua dose.

Até dezembro de 2019 a Portaria 453 era o documento que regulamentava as diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico no Brasil. Mesmo não citando a medicina veterinária, esse era o documento que a Anvisa se baseava para averiguar as instalações veterinárias. Em 2010, foi emitido outro documento “Referência Técnica para o Funcionamento dos Serviços Veterinários”, que mesmo sem valor legal direcionava as gestões municipais e estaduais da vigilância sanitária em como averiguar as instalações, contudo esse documento se baseava na portaria 453, e até o presente momento não foi atualizado.

A recentemente aprovada RDC 330, ainda permanece com escopo no radiodiagnóstico médico e odontológico, contudo incluiu a medicina veterinária apenas no Parágrafo único da seção 1: “Os serviços de radiologia veterinária diagnóstica ou intervencionista devem atender ao disposto nesta Resolução, no tocante à proteção dos trabalhadores e de indivíduos do público.”.

### 3. Metodologia

O estágio de instrumentação foi realizado na empresa Pet Exames Diagnóstico e Reabilitação Animal, na cidade de Itu-SP. Esta empresa presta serviços de radiodiagnósticos para outras clínicas sem acesso direto à essa tecnologia na cidade de Itu e região.

Durante o período de 15 de março à 9 de julho de 2021, foi acompanhado durante o dia-a-dia do setor de radiologia 354 PR feitos em 120 animais. Sob a perspectiva de estudar as condições de segurança e medidas de proteção requeridas pela RDC 330 e possíveis motivos de dificuldades de suas implementações, foi criado um registro de frequências de:

- Uso dos EPI (equipamentos de proteção individual: Coletes plumbíferos, protetores de tireoide e luvas plumbíferas),
- Exposição de extremidades ao feixe primário
- Repetições de PR
- PR com uso de anestesia ou sedação.

Foi registrado o número de vezes em que o IOE e tutores (0, 1 ou 2) foram necessários dentro da sala de raios-X durante o disparo. Foi relatado e discutido a implementação do PEP do setor e o correto emprego da sinalização de segurança nas instalações. Também foi feita uma revisão bibliográfica de normas internacionais e de outros países com o intuito de comparar qualitativamente a abordagem nacional na proteção radiológica veterinária.

O método de registro de frequências foi feito através de anotações diárias durante os procedimentos. Para cada PR, foi feito a avaliação inicial do paciente dentro da sala de raios-X, seguido da escolha da técnica radiográfica, o processo de se vestir com os EPI(s) pelos IOE e acompanhantes, até o posicionamento final do paciente. Depois da obtenção da radiografia pelo processo de revelação da imagem, foi observada a presença de extremidades na mesma.

É importante salientar que tanto o autor quanto qualquer outro indivíduo exceto os IOE e acompanhantes necessários para contenção do paciente, foram obrigados a se retirarem da sala ANTES dos disparos de raios X.

#### 4.1 RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.2 Características do conjunto radiológico da empresa

Tabela 7: Características do aparelho de raios X, processador e ecrans do setor de radiologia da empresa

Aparelho raios X	Tecno Design MK500 TE
Número de série	8340599
Registro M.S.	2500-007159/99-07
Data de Fabricação	25/05/1999
Gerador N.S.	E-3749
Voltagem	220V. 60Hz
	500mA; 125kV; 2,0 seg.
Versão Controlador	V-5.4F
Processador Digital	AGFA CR-10X IBF-Indústria Brasileira de Filmes
Ecrans (2)	CR MD 1.0
Tamanho	35x43cm
Resolução	10 pixels/mm

Fonte: elaboração do autor

##### 4.2 Sinalização

A sinalização de segurança é de grande importância para proteção radiológica, seu correto emprego evita exposições acidentais pelo público e pelos IOE. Segundo Rosa (2018), é importante que se tenha esta delimitação de área para que pessoas desavisadas não entrem na sala durante o procedimento e se exponham acidentalmente.

Dos 354 PR acompanhados, 351 foram necessários pelo menos um tutor na sala junto ao radiologista durante a tomada da imagem, isso demonstra um alto fluxo de pessoas do público diariamente entrando e saindo das áreas controladas.

A empregabilidade da luz vermelha de sinalização sobre a porta de entrada da sala de raios-x é obrigatória segundo o Art. 52 da RDC 330. Na face externa da porta de entrada é exigido também a existência do símbolo internacional de radiação ionizante, o trifólio, e dos seguintes avisos:

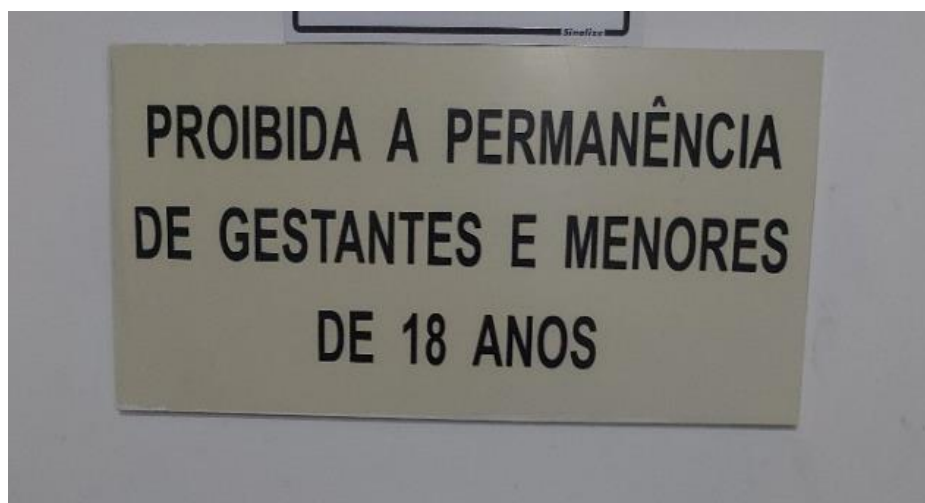
1. “Raios X, entrada proibida” ou “Raios X, entrada proibida a pessoas não autorizadas”;
2. “Quando a luz vermelha estiver acesa, a entrada é proibida”.

Na parte interna da sala de raios-x é exigido, segundo o Art. 53 da RDC 330, os seguintes avisos:

1. “Paciente, exija e use corretamente vestimenta plumbífera, para sua proteção durante o procedimento radiológico”;
2. “Não é permitida a permanência de acompanhantes na sala durante o procedimento radiológico, salvo quando estritamente necessário e autorizado”;
3. “Acompanhante, quando houver necessidade de contenção de paciente, exija e use corretamente vestimenta plumbífera, para sua proteção”;
4. “Nesta sala pode permanecer somente 1 (um) paciente de cada vez”;
5. “Mulheres grávidas ou com suspeita de gravidez: informem ao médico ou ao técnico antes do exame”.

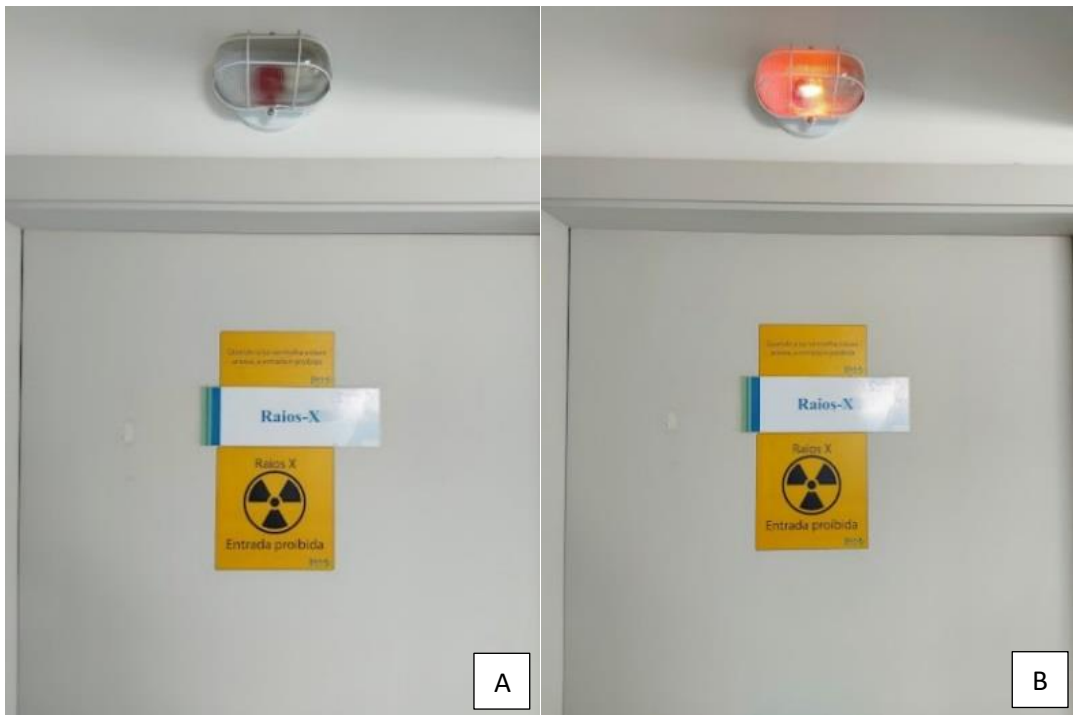
Como os avisos da RDC 330 foram desenvolvidos focados nas práticas da medicina humana e odontológica, as sinalizações direcionadas a se comunicar com o paciente são desnecessárias para RV. Também não há aviso direcionado à tutores menores de 18 anos. Contudo a postura da empresa aderiu a um aviso adicional, impedindo a permanência dos mesmos dentro da sala de raios-x, (Figura 8). As normas de outros países como “*Code of Practice & Safety Guide, Radiation Protection in Veterinary Medicine*” da Austrália não permite a ajuda de tutores menores de 18 anos na contenção física dos animais e exige que existam avisos na sala de raios-x direcionados a esse público.

**Figura 8:** Aviso direcionado a menores de 18 anos na sala de Raios X



Fonte: acervo pessoal do autor.

**Figuras 9A e B:** Luz vermelha apagada e acesa durante disparo dos feixes de raios X das instalações



Fonte: acervo pessoal do Autor.

**Figura 10:** Sinalização obrigatória na porta de entrada da sala de raios X



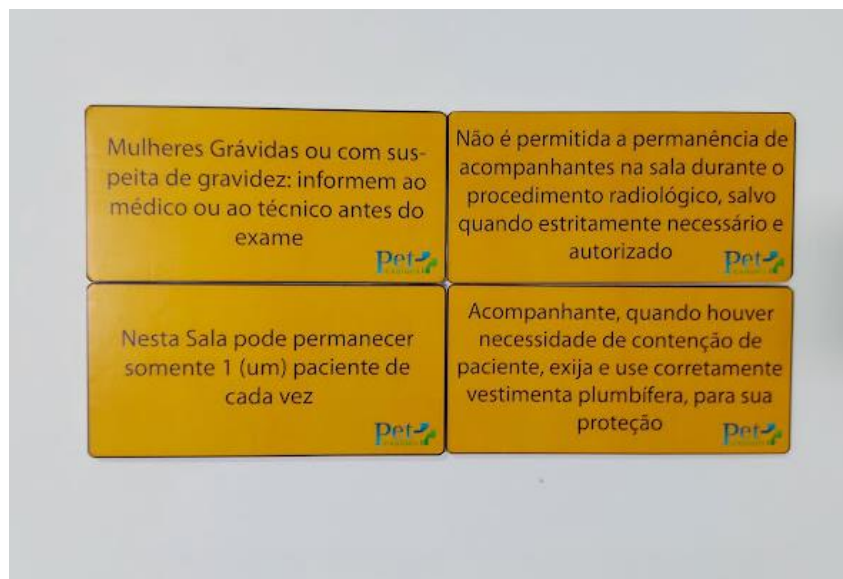
Fonte: acervo pessoal do Autor.

**Figura 11:** Avisos obrigatórios segundo a RDC 330 dentro da sala de Raios X



Fonte: acervo pessoal do Autor.

**Figura 12:** Avisos obrigatórios segundo a RDC 330 dentro da sala de Raios X



Fonte: acervo pessoal do autor.

#### 4.3 Dosímetro

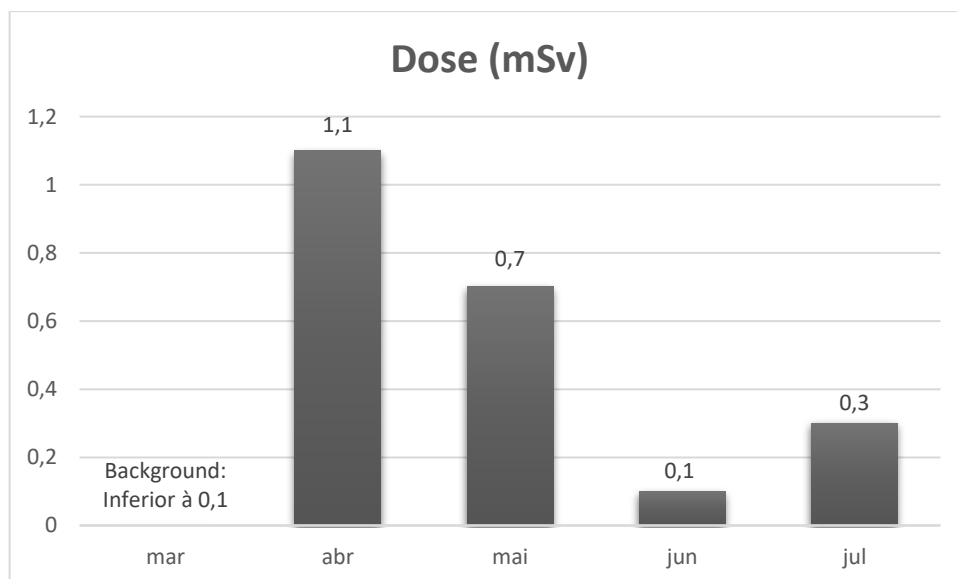
O dosímetro é um equipamento de monitoramento individual, utilizado para estimar as doses equivalentes e efetivas a partir da equivalente de dose pessoal recebidas pelos IOE. Este monitoramento permite atestar que estas doses estejam abaixo dos limites das diretrizes básicas

de proteção radiológica, estabelecidas pela Norma CNEN NN 3.01, e também manter os responsáveis alertas para mantê-las tão baixas quanto razoavelmente exequíveis (ALARA).

O artigo 65 da subseção IV da RDC 330 diz que todo IOE deve usar dosímetro individual durante sua jornada de trabalho e enquanto permanecer em área controlada, enquanto o artigo 66 descreve como ele deve ser utilizado e guardado. Deve ser de uso individual e unicamente usado para o setor ao qual foi adquirido, deve ser trocado mensalmente e guardado em área livre segura junto ao dosímetro padrão quando não estiver em uso.

Foi observado em caráter qualitativo o emprego do dosímetro do IOE durante o período do estágio. O dosímetro é mantido junto ao dosímetro padrão em uma área livre quando não está em uso, fora da jornada de trabalho. Como só há um setor que utiliza radiação ionizante e um profissional atuando como radiologista, não há possibilidade de o dosímetro ser compartilhado. Seu posicionamento sempre foi sobre o colete plumbífero, próximo à altura do peito do IOE. Mensalmente, durante o período de estágio, o dosímetro foi enviado para a empresa terceirizada contratada para averiguar a dose (figura 14).

**Figura 13:** Gráfico das doses mensais obtidas do dosímetro do IOE durante o período de estágio



Fonte: elaboração do autor.

Como demonstra o gráfico da figura 14, as doses foram, em todos os meses, consideravelmente inferiores aos limites estipulados pela NN 3.01 da CNEN, (2014).

Sob o escopo das funções do SPR, é importante garantir o exercício da correta cultura de segurança diária do uso de dosímetro, para que seja minimizado eventuais lapsos de

utilização pelos IOE. Isso pode se exacerbar em pequenas clínicas, onde o indivíduo RT supre também as funções de SPR, mesmo sem formação dedicada para a área.

Na legislação atual, para exercer RV não é citado ou obrigado a utilização de dosímetros diferenciados para estimação de dose em extremidades como os em anel ou pulseira. Contudo sua integração no corpo de leis de radioproteção veterinária ajudaria na proteção radiológica.

O código de conduta de proteção do Reino Unido “*Management of radiation protection in defence: part 2 guidance (JSP 392), Chapter 27: veterinary diagnostic x-ray machines*” diz que quando houver restrição física de animais para radiografia, que sejam utilizado dosímetro em ambas as mãos do IOE, enquanto o código Canadense “*Radiation Protection In Veterinary Medicine - Recommended Safety Procedures For Installation And Use Of Veterinary X-ray Equipment - Safety Code 28*” endossa o uso de monitores de extremidade se as mesmas forem expostas a doses mais altas de radiação.

#### 4.4 Programa de Educação Permanente (PEP)

A RDC 330 requer que haja um PEP para todos os profissionais que trabalham no setor de radiodiagnóstico, ajudando na implementação de melhores condutas de proteção, capacitações e treinamentos inicial e periódicos, com frequência mínima anual. Segundo a mesma, os assuntos e tópicos a serem abordados devem ser no mínimo: (i) normas, rotinas, protocolos e procedimentos operacionais; (ii) segurança do paciente; (iii) gerenciamento dos riscos inerentes às tecnologias utilizadas; (iv) Programa de Garantia da Qualidade; (v) Programa de Proteção Radiológica, quando couber; (vi) e normativas aplicáveis.

É importante que o PEP seja sempre continuado, sua má implementação pode culminar com IOE defasados quanto ao conhecimento sobre os assuntos e tópicos obrigatórios, principalmente no que condiz às normativas, visto que foram atualizadas recentemente da Portaria 453 para a RDC 330.

Segundo a resolução conter nº 10 de 2 de junho de 2021, é permitido ao RT assumir também as funções de SPR, desde que seja possível a compatibilidade entre as funções e não haja prejuízo em seu desempenho, observadas, ainda, as exigências dos demais órgãos competentes. O RT pode também ser o RL do serviço, se cumprida a legislação sanitária vigente em cada jurisdição ou outra norma legal relativa à área.

Dentro da empresa onde foi conduzido o estágio, como o perfil de demanda é baixo, o veterinário radiologista assume as três funções: RT, RL e SPR. Não tendo a formação ideal em física para coordenar um PEP, ele é terceirizado. É implementado através de apresentações

dadas por físicos, técnicos em radiologia e radiologistas de empresas que prestam serviços de proteção radiológica. Durante o período de estágio o programa se deu através da participação do IOE como ouvinte de um *webnário* sobre proteção radiológica focada na medicina veterinária, apresentado por integrantes e convidados da empresa SAPRA no dia 14 de abril de 2021. Todos os tópicos exigidos pela RDC 330 foram abordados, com foco no compartilhamento de experiência e condutas de proteção diferenciadas de radiologistas que trabalharam nos Estados Unidos e suas diferenças com as condutas comumente adotadas no Brasil, com a intenção de conscientizar e ajudar os radiologistas e técnicos brasileiros a implementá-los.

#### 4.5 Equipamento de proteção individual (EPI)

Os EPI são equipamentos utilizados individualmente pelos IOE e pelos tutores que acompanham os procedimentos para atenuar a radiação direta e indireta, que esses indivíduos serão expostos durante os PR.

Na legislação atual, segundo o artigo Art. 59 da RDC 330, todos os profissionais necessários ao funcionamento da sala devem posicionar-se de tal forma que nenhuma parte do corpo, incluindo extremidades, quando possível, seja atingida pelo feixe primário de radiação ionizante sem estar protegida por, no mínimo, 0,5 mm (cinco décimos de milímetro) equivalente de chumbo. E, também, sem proteger-se da radiação ionizante espalhada, por meio de equipamentos de proteção individual e coletiva com atenuação compatível com a energia da radiação, não inferior a 0,25 mm (vinte e cinco centésimos de milímetro) equivalente de chumbo.

Os coletes plumbíferos e protetores de tireoide foram adotados em todos os 354 PR, tanto pelo IOE quanto pelos acompanhantes que foram permitidos dentro da sala de raios-x, contudo a adoção de luvas plumbíferas se mostrou uma dificuldade.

As luvas plumbíferas são um EPI utilizado para proteção das extremidades tanto do feixe primário quanto da radiação espalhada. Durante o contato com o radiologista, foi relatado que as luvas podem interferir na capacidade do mesmo em conter e posicionar o animal, reduzindo o tato. Isso se exacerba tanto em animais pequenos quanto os maiores (mais fortes) ou agitados. Também pode ocorrer de sombrear estruturas, visto que durante a contenção as luvas podem cobrir partes de interesse para o diagnóstico. Estes fatores também podem influenciar na frequência de repetição de PR, o que não é desejado. A luva também não é

totalmente eficaz na proteção das extremidades por si só. O design deixa as extremidades dos dedos não cobertas dependendo do ângulo em que a mão se encontra sob o feixe, como mostra a figura 15. Então mesmo com sua adoção é possível a exposição direta da extremidade ao feixe primário.

**Figura 14:** Foto de uma luva plumbífera com recorte das extremidades<sup>5</sup>



Fonte: acervo pessoal do autor

**Figura 15:** Simulação de posicionamento com as luvas<sup>6</sup>



Fonte: acervo pessoal do autor

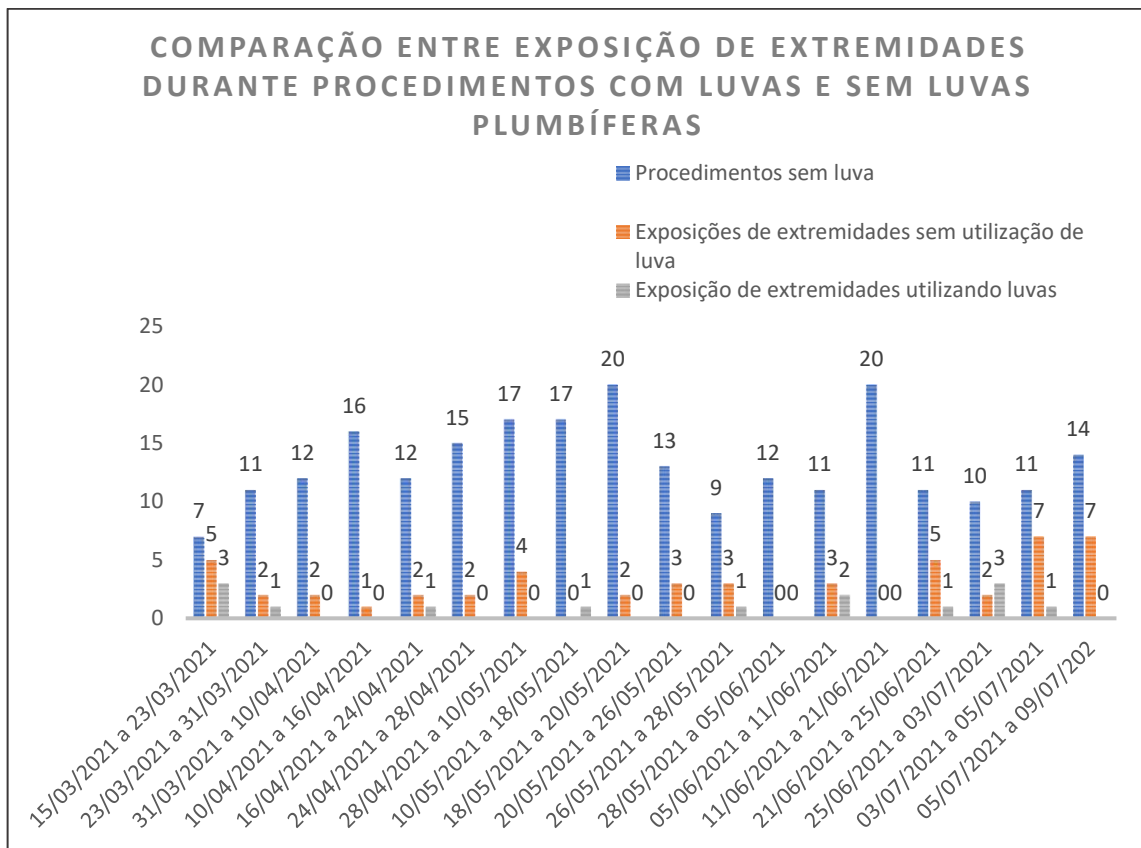
---

<sup>5</sup> O design apresenta um escudo que avança vários centímetros além das mãos, esse escudo pode sombrear estruturas de interesse diagnóstico.

<sup>6</sup> Dependendo do posicionamento do animal, o radiologista é obrigado a escolher entre proteger as mãos com a possibilidade de o escudo das luvas avançarem sobre o corpo do animal possivelmente cobrindo estruturas de interesse para o diagnóstico ou rotacioná-las, expondo os dedos

Foi contabilizado todas as vezes que o radiologista teve que descartar o uso de luvas, e todas as vezes em que a mão do mesmo foi exposta à radiação primária. A partir destes dados foi construído o gráfico apresentado na figura 17.

**Figura 16:** Gráfico das exposições de extremidades utilizando e não utilizando luvas, com relação aos procedimentos totais sem luva, em intervalos de 20 procedimentos

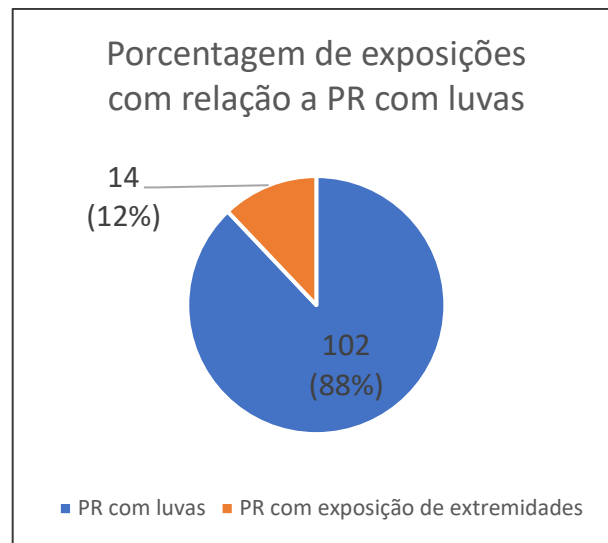


Fonte: elaboração do autor

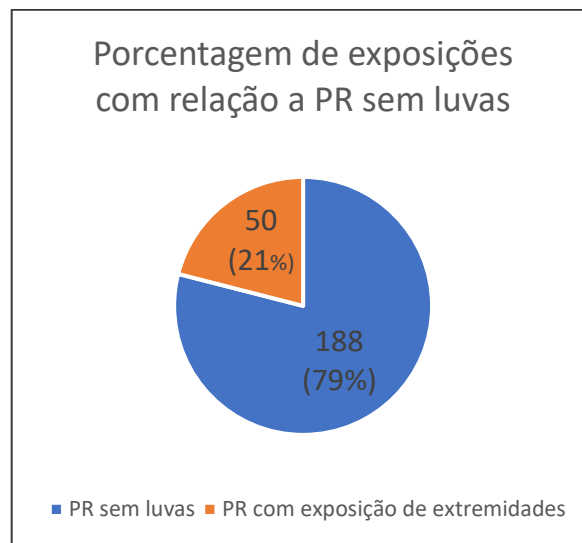
A avaliação de exposição de extremidades foi feita observando as radiografias tomadas, se estas apresentavam ou não a silhueta dos dedos, mão ou pulso do IOE.

Dentre os 354 PR, 238 foram feitos sem uso de luvas plumbíferas, o que totalizou 67% dos casos. Dos 238 procedimentos sem luva, foi totalizado 50 exposições de extremidades, enquanto que dos 116 procedimentos com luvas houve 14 exposições, como mostra os gráficos 18 e 19.

Os períodos em que as luvas foram menos utilizadas nem sempre apresentam maior frequência de exposições de extremidades, isso pode indicar que outros fatores influenciam na exposição (tamanho do animal e temperamento). Contudo a frequência geral de exposição é menor quando utilizado o EPI.

**Figura 17:** Gráficos das razões entre exposição de extremidades ao feixe primário em PR com luvas

Fonte: elaboração do autor

**Figura 18:** Gráficos das razões entre exposição de extremidades ao feixe primário em PR sem luvas

Fonte: elaboração do autor

Mesmo sem a adoção de luvas, uma maneira em que o radiologista protege as extremidades do feixe primário nas práticas é através da correta colimação e acuidade individual em evadir o feixe o máximo possível, enquanto garante a qualidade de imagem.

É importante notar que mesmo que as extremidades não sejam expostas à radiação primária durante os PR, a ausência do uso do EPI deixará as mãos do radiologista expostas a radiação secundária, o que não é o ideal. Isso também ocorre durante procedimentos em que o radiologista apenas cobre as mãos com as luvas para tentar protegê-las do feixe primário.

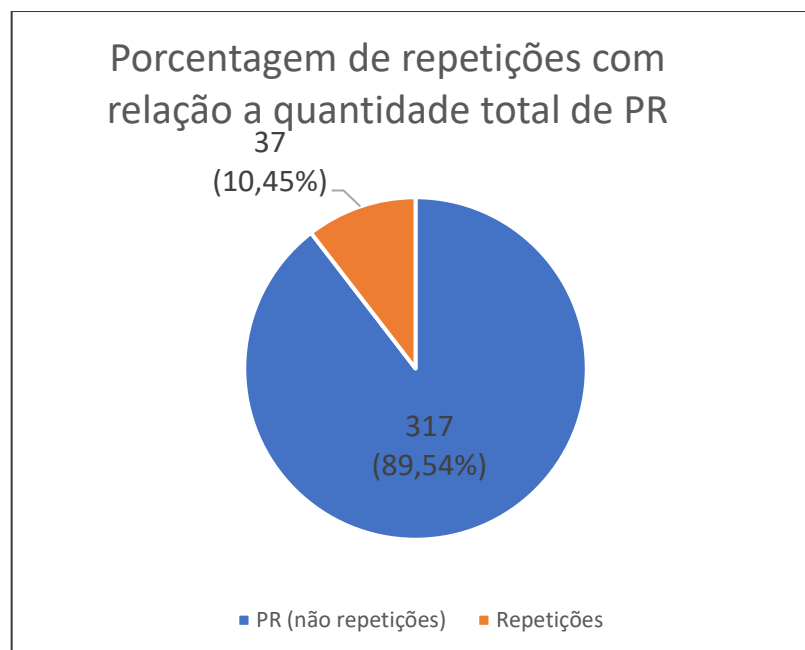
A radiologia digital CR e DR permite o uso de ferramentas de edição de imagem ao radiologista. Este, permite recortar a imagem de suas extremidades da radiografia pós-processamento, visto que isso embeleza e despolui a imagem, pois não há real interesse radiográfico nas suas extremidades. Contudo, há interesse do ponto de vista de proteção radiológica. Existem códigos de condutas, como o Irlandês “*Code of Practice for Radiation Protection in Veterinary Medicine, RPII – 02/3*” que pede que a imagem das bordas do dispositivo de limitação do feixe seja visível na radiografia, ou seja, não é permitido recortar as bordas da radiografia. Se houve exposição de extremidades isso não deve ser removido pós-processamento da imagem.

Com uma cultura de segurança bem desenvolvida, profissionais treinados e conscientizados, a adoção de luvas plumbíferas pode ser melhorada no âmbito veterinário, mas apresenta barreiras significativas para ser utilizada em 100% dos PR pela natureza da prática em si.

#### 4.6 Repetições de procedimentos radiográficos

A frequência de repetição de PR também foi acompanhada. Dos 354 procedimentos, 37 foram repetições, como mostra o gráfico da figura 20.

**Figura 19:** Gráfico de porcentagem de repetição de PR



Fonte: elaboração do autor

É de grande interesse da proteção radiológica reduzir ao máximo a frequência das repetições de PR, visto que isso impactará na redução de dose do IOE, dos tutores que auxiliam e dos pacientes animais. Contudo, é multifatorial os motivos pelos quais ela ocorre. Foi observado durante o período de estágio que animais agitados, acompanhantes com dificuldades de seguir as orientações do radiologista no auxílio da contenção e posicionamento, além do próprio uso das luvas, como citado anteriormente, podem ocasionar a necessidade de repetição.

Segundo Baker (2014), obedecer ao princípio ALARA também significa que se deve ter cuidado para evitar a repetição de PR devido a uma técnica inadequada. Portanto, é crucial que o treinamento adequado seja dado em radiografia, a fim de garantir as melhores práticas de trabalho. Além do posicionamento adequado, deve-se ter cuidado para garantir a sedação e/ou imobilização adequada do paciente. As imagens também devem ser processadas com a melhor técnica disponível, pois isso evitará a necessidade de repetições devido à baixa qualidade das imagens. Em outras palavras, tornar-se bom em radiografia significa que menos exposições serão necessárias.

#### 4.7 Sedação e anestesia

A sedação e anestesia são um fator que podem reduzir erros de repetição gerados pela agitação do animal, pois estas superam a necessidade de contenção, facilitando posicionamento e manuseio e permitindo utilização de ferramentas adicionais de posicionamento (Abridor de boca e travesseiros de espuma). Mesmo assim, foi observado durante o estágio que elas não excluíram a necessidade da presença do radiologista e tutores da sala de raios-x durante os disparos. Dentre os 120 animais acompanhados, apenas 4 foram anestesiados e/ou sedados, totalizando apenas 16 PR com anestesiologia. Todos os 16 PR ocorreram com o radiologista tendo que permanecer na sala para manter a posição do paciente. Não houve exposição de extremidades, mas ainda houve a necessidade de duas repetições (12,5%) o que demonstrou uma constância à frequência geral de repetições. Já no que concerne adoção de luvas, 4 PR foram feitas sem as mesmas (25%), o que mostra uma porcentagem relativamente mais baixa com relação a frequência de não adoção de luvas no geral (67%).

A baixa frequência de procedimentos com sedação é um indicador de que a técnica é subutilizada. Segundo relatos do radiologista obtidos durante o estágio, há pressão econômica em não adotar a anestesiologia, muitos tutores não podem lidar com o custo adicional do serviço e eles também tem medo de uma possível complicação de saúde do animal em decorrência da sua utilização. Há também uma pressão imediatista sob os radiologistas na obtenção das

imagens. A conduta de reagendamento dos PR solicitando sedação perante animais difíceis de posicionar é encarada negativamente pelos tutores.

Há vários códigos de proteção internacionais que já se atentam à utilização de sedação e anestesia ao invés da imobilização física. Os códigos do Reino Unido “*Management of radiation protection in defence: part 2 guidance (JSP 392), Chapter 27: veterinary diagnostic x-ray machines*”, Canadense “*Radiation Protection In Veterinary Medicine - Recommended Safety Procedures For Installation And Use Of Veterinary X-ray Equipment - Safety Code 28*” e Australiano “*Code of Practice & Safety Guide, Radiation Protection in Veterinary Medicine*”, endossam a sedação e a utilização de aparatos de contenção em detrimento da contenção física sempre que possíveis, este sendo utilizado apenas se há um motivo clínico que impossibilite a sedação e/ou anestesia. O código Australiano também apresenta apêndices com ferramentas comumente utilizadas para auxiliar na imobilização e posicionamento dos animais tanto de pequeno quanto grande porte.

#### 4. Conclusão

Por ser um pequeno centro veterinário, onde há uma baixa frequência de procedimentos radiográficos, o radiologista é obrigado a suprir o papel de responsável técnico e de supervisor de proteção radiológica. Aspectos econômicos e sociais podem endossar condutas não ideais como o subemprego da sedação, que corroboram com aumento de repetição de tomadas radiográficas.

Sendo o responsável pelo posicionamento e contenção do animal, o radiologista muitas vezes se expõe à radiação primária (exposição de extremidades ao feixe primário) e espalhada (permanência na sala de raios-x durante o disparo). Isso marca um grande diferencial entre a radiologia veterinária e a radiologia da medicina tradicional. Expor animais à radiação ionizante apresenta dificuldades específicas para os IOE. Para assegurar e manter condutas corretas de proteção radiológica, a implementação de cultura de segurança voltada para esta modalidade de diagnóstico é imperativa.

É visto em vários países a existência de documentos específicos para proteção radiológica veterinária, contudo não há uma instrução normativa brasileira focada para a mesma. A recém aprovada RDC 330 deve ser acompanhada e estritamente implementada, ela é satisfatória em um contexto geral de proteção, contudo, não é um documento que contempla as peculiaridades da radiologia veterinária. A ambiguidade gerada pela ausência de um documento nacional específico para radiologia veterinária pode dificultar a existência de um padrão de fiscalização por parte dos órgãos responsáveis e dificultar o desenvolvimento de uma cultura de segurança.

A experiência promovida por este estágio foi de vital importância para, além de relacionar conhecimentos teóricos e práticos da física do radiodiagnóstico, aspectos de condutas de segurança radiológica e suas regulamentações, evidenciar a realidade e dificuldades de seu emprego dentro da radiologia veterinária.

## 5. Referências bibliográficas

ATTIX, F. H. **Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry**. Alemanha: Wiley-VCH, 1986.

AUSTRÁLIA. **Code of Practice & Safety Guide, Radiation Protection in Veterinary Medicine**. ARPANSA - Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency. Radiation Series n° 17, 2009.

BAKER, M.A. **An Introduction to Radiation Protection in Veterinary Radiography**. Vol 5, N° 9, p.04-09. Inglaterra: The Veterinary Nurse, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Referência Técnica para o Funcionamento dos Serviços Veterinários**. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2010.

BRASIL. **Norma NN 3.01, Resolução 164/14. Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**. Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, Rio de Janeiro, 2014.

BRASIL. **Portaria Federal n° 453**. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 1998. Disponível em: <https://portaldeboaspraticas.iff.fiocruz.br/biblioteca/portaria-svs-ms-n-453-de-1-de-junho-de-1998/>. Acesso em: 29 de setembro de 2021.

BRASIL. **Posição Regulatória 3.01/002, Fatores de Ponderação para as Grandezas de Proteção Radiológica**. Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, Rio de Janeiro, 2014.

BRASIL. **Posição Regulatória 3.01/005, Critérios para cálculo de dose efetiva, a partir da monitoração individual**. Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, Rio de Janeiro, 2014.

BRASIL. **Resolução Conter N° 10, de 2 de junho de 2021**. Entidades de Fiscalização do Exercício das Profissões Liberais/Conselho Nacional de Técnicos em Radiologia. Brasília, 2021.

**BRASIL. Resolução da Diretoria Colegiada RDC Nº 330, de 20 de dezembro de 2019.**  
Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Brasília, 2019.

**CANADÁ. Radiation Protection In Veterinary Medicine - Recommended Safety Procedures For Installation And Use Of Veterinary X-ray Equipment - Safety Code 28.**  
Health and Welfare Canada, 1991.

**CURRY, T. S.; DOWDEY, J. E.; & MURRY, R. C. Christensen's Physics of Diagnostics Radiology.** 4. Ed. United States: Williams & Wilkins, 1990.

**ESTADOS UNIDOS. NCRP Report no. 148. Radiation Protection in Veterinary Medicine.**  
NCRP - National Council of Radiation Protection and Measurements, 2004.

**FINLÂNDIA. Radiation Safety in Veterinary X-Ray Examinations, Guide ST 8.1. STUK**  
– Radiation and Nuclear Safety Authority, 2012.

**FRITSCHI, L. Cancer in Veterinarians. Journal of Occupational and Environmental Medicine.** Vol 57, pages 289 to 297. Australia, 2000.

**IAEA, International Atomic Energy Agency. Safety Report Series no. 104. Radiation Protection and Safety in Veterinary Medicine.** Vienna, 2021.

**ICRP, International Council on Radiological Protection. Publication 103, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.** Elsevier, 2007.

**IRLÂNDIA. Code of Practice for Radiation Protection in Veterinary Medicine, RPII – 02/3.** RPII – Radiological Protection Institute of Ireland, 2002.

NASCIMENTO, E.T.; VIEIRA, L.C.G.; MAZUTTI, M.L.C. **Avaliação dosimétrica de procedimentos radiológicos veterinários realizados sem o uso de luva de chumbo**. Revista Meeting X, 2019

NEW ZEALAND. **Code of Practice for Veterinary Radiation: Draft for consultation**. Ministry of Health, Wellington, 2019.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. M. **Física das Radiações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

REINO UNIDO. **Management of radiation protection in defence: part 2 guidance (JSP 392), Chapter 27: veterinary diagnostic x-ray machines**. 2020. Disponível em: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/946163/JSP\\_392\\_Chapter\\_27\\_-\\_VETS\\_\\_Alt\\_Text\\_.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/946163/JSP_392_Chapter_27_-_VETS__Alt_Text_.pdf). Acesso em: 17 de novembro de 2021.

ROSA, P. C. **Aspectos de radioproteção em radiologia veterinária na cidade de Curitiba – Paraná**. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

SCHNELLE, G.B. **The History of Veterinary Radiology**. 1st International Conference of Veterinary Radiologists. Irlanda, 1968.

SOUSA, C.H.S.; NASCIMENTO, E.T.; PEITOXO, J.G.P. **A medicina veterinária e a necessidade de implementação da cultura de radioproteção radiológica**. Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD / CNEN, 2020

SPRAWLS, P. J. **Physical Principles of Medical Imaging**. 2. ed. Gaithersburg: Aspen Publishers, 1993.

THRALL, D. E. **Diagnóstico de Radiologia Veterinária**. 6. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.